SHENGWU

通向金牌之路

全国中学生生物学竞赛理论教程

全国中学生生物学联赛（浙江赛区）竞赛委员会 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

目　录

第一章　分子与细胞
- 第1讲　细胞的分子组成
- 第2讲　细胞的结构
- 第3讲　细胞的代谢
- 第4讲　细胞的增殖、分化、衰老、凋亡和癌变

第二章　遗传与进化
- 第1讲　遗传的物质基础
- 第2讲　遗传的基本定律
- 第3讲　生物的变异、人类遗传病
- 第4讲　生物的进化

第三章　稳态与环境
- 第1讲　植物的代谢
- 第2讲　植物的生长物质及生长生理
- 第3讲　植物的生殖生理和抗逆生理
- 第4讲　动物的消化、呼吸、循环、排泄系统
- 第5讲　动物的神经调节和体液调节
- 第6讲　免疫
- 第7讲　生殖和发育
- 第8讲　运动
- 第9讲　生物与环境
- 第10讲　种群与群落
- 第11讲　生态系统
- 第12讲　动物行为

第四章　生物技术实践

第1讲　微生物的利用及酶的应用
第2讲　生物技术在食品加工及其他方面的应用
第五章　现代生物科技专题
第1讲　基因工程及克隆技术
第2讲　胚胎工程、生物技术的安全性和伦理问题、生态工程
第六章　动植物学
第1讲　植物的组织和组织系统
第2讲　植物的营养器官
第3讲　植物的生殖器官
第4讲　低等植物分类
第5讲　高等植物分类
第6讲　无脊椎动物
第7讲　脊椎动物

通向金牌之路

全国中学生生物学竞赛
理论教程

全国中学生生物学联赛（浙江赛区）竞赛委员会　编

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

全国中学生生物学竞赛理论教程／全国中学生生物学联赛（浙江赛区）竞赛委员会编．—杭州：浙江大学出版社，2010.1
ISBN 978-7-308-07343-1

Ⅰ．①全… Ⅱ．①全… Ⅲ．①生物课—中学—教学参考资料
Ⅳ．①G634.913

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第015115号

全国中学生生物学竞赛理论教程
全国中学生生物学联赛（浙江赛区）竞赛委员会 编

责任编辑 沈国明
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
（杭州市天目山路148号 邮政编码310007）
（网址：http://www.zjupress.com）
排 版 杭州求是图文制作有限公司
印 刷 富阳市育才印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 35.5
字 数 1180千
版印次 2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-07343-1
定 价 56.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换
浙江大学出版社发行部邮购电话 （0571）88925591

前　言

“全国中学生生物学联赛”和“全国中学生生物学竞赛”是在中国科协、国家教育部和国家自然科学基金委领导和支持下，面向学有余力的高中学生的竞赛活动。通过上述活动，已激发和促进了我省中学生学习生物学的兴趣、积极性和生物学课外活动的开展，从而提高了青少年的生命科学素质，同时也促进和提高了我省中学生物学教学改革和生物学教学水平。

上述两项生物学赛事的深度和广度是在现行中学教学大纲的基础上有所提高和扩展。因此，我们以目前我省高中生物学教材为基础，结合生物学竞赛的特点，以基础知识、基本理论为主线，通过“知识梳理、例题解析、针对训练”的方式，企望为提高广大学生的生物学竞赛成绩起一定的作用。我们真诚地希望想参加生物学竞赛的同学们，一定要在学好中学教材的基础上，再学习本教材，只有打好基础，循序渐进才能有所作为。

参加本教材编写共11位老师，其中（按章节先后为序）萧山中学董柯锋编写“细胞的分子组成，细胞的代谢，微生物的利用及酶的应用”等3讲；杭州十四中学方淳编写“细胞的结构，细胞的增殖、分化、衰老、凋亡和癌变”等2讲；杭州二中金永生编写“遗传的物质基础，遗传的基本定律”等2讲；金华一中庄金友编写“生物的变异、人类遗传病，生物的进化”等2讲；学军中学胡晓华编写“植物的代谢，植物的生长物质及生长生理，植物的生殖生理和抗逆生理”等3讲；省教育厅教研室周初霞编写“动物的消化、呼吸、循环、排泄系统，动物的神经调节和体液调节”等2讲；柯桥中学叶建伟编写“免疫，生态系统，动物行为，基因工程及克隆技术”等4讲；诸暨中学赵文浪编写“生殖和发育，运动”等2讲；诸暨中学李志军编写“生物与环境，种群与群落”等2讲；学军中学余林编写“生物技术在食品加工及其他方面的应用，低等植物分类，高等植物分类”等3讲；温州中学许晖编写“胚胎工程、生物技术的安全性和伦理问题、生态工程”；温州中学苏宏鑫编写“植物的组织和组织系统，植物的营养器官，植物的生殖器官”等3讲；效实中学范少迎编写“无脊椎动物，脊椎动物”等2讲，最后由姜乃澄负责统稿。

本教材是这11位教师多年从事指导生物学竞赛并取得较好成绩的经验之作，对于参与生物学竞赛指导而尚缺经验的年青教师一定会有所教益，但生物学竞赛在不断发展，我们准备每隔1年对竞赛教材进行修订。由于时间仓促，书中错误一定不少，疏漏也在所难免，恳请同行和使用本教材的同学们批评指正，以便再版时进一步完善与提高。

本材教在编写过程中得到省竞赛委员会丁平、傅承新主任，杨英、于明坚、杨友金副主任的大力支持，特此致谢。

全国中学生生物学联赛（浙江赛区）竞赛委员会秘书处

2010年1月于杭州

第一章　分子与细胞

第1讲　细胞的分子组成

（萧山中学　董柯锋）

【知识梳理】

除了病毒之外，一切生物体均是由细胞组成的。细胞是生物体结构和功能的基本单位。各种细胞虽然形态各异，功能不同，但它们的化学组成却基本相似，主要由元素和各种化合物组成，后者主要包括：水、无机盐、糖类、脂质、蛋白质、核酸等。

一、元素

细胞中各种分子大约由50多种元素组成，常见的元素约有20多种。其中，C、H、O、N、P、S、Ca的含量约占细胞总重的99%以上，而C、H、O、N四种元素是构成细胞的主要元素，约占细胞总重的96%。不同生物体内化学元素种类大致相同，但不同元素的含量相差很大。

细胞均含有的元素称为必需元素，其他称为非必需元素。常见的必需元素包括C、H、O、N、P、S、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Cl等。在必需元素中，含量占生物体总重量万分之一以上的元素称为大量元素，如C、H、O、N、P、S、K、Ca、Mg；含量占生物体总重量万分之一以下的元素称为微量元素，如Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Cl等。其中，Fe元素尽管是微量元素，但其含量明显高于其他微量元素，故又称为半微量元素。微量元素在生物体内含量虽然很少，但是为生物体生命活动所必需。

除了C、H、O之外，植物可以通过根系从土壤中获得的元素称为矿质元素。矿质元素又称为灰分元素。

在这些元素中，C元素由于具有特殊的结构特点，而成为所有生命系统中的核心元素。碳原子共有6个电子，在电子排布的第一层有2个电子，第二层（即最外层）有4个电子，要使最外层达到8个电子的稳定结构，必须要获得4个电子。因此，碳原子既会与别的原子，如H、O、N、P、S等共用电子对，形成共价键，也会在碳原子之间相互共用

电子，形成C—C键。由于碳原子之间可相互连接，故以碳原子为骨架既可形成长链结构，也可以形成环状结构，从而生成各种大分子。可以说，地球上的生命就是在碳元素的基础上建立起来的。

矿质元素能调节机体的生命活动。如B元素能影响花粉粒的形成、促进花粉的萌发和花粉管的伸长，如果植物缺B元素，则会影响植物的受精作用，出现“花而不实”的现象。I元素是甲状腺激素的组成元素，如果缺乏，则可能造成地方性甲状腺肿大（俗称：大脖子病）。

由于元素存在着同位素，因此在生物学研究领域内，常用同位素示踪的技术来研究某个生理生化过程或物质的转移途径，该元素中被标记的原子称为示踪原子。常见的同位素，如氢具有氕（^{1}H）、氘（^{2}H）、氚（^{3}H）三种同位素，常用^{3}H标记亮氨酸追踪分泌蛋白的转移过程；用^{14}C来标记二氧化碳，追踪光合作用过程中碳元素在植物体内的运行和变化；用^{32}P和^{35}S分别标记DNA和蛋白质，研究噬菌体侵染细菌过程中物质的传承；用^{15}N标记DNA，研究DNA的复制方式；用^{18}O分别标记水分子和二氧化碳分子，了解光反应中氧气的来源等等。

二、化合物

不同生物的细胞中，其分子组成大体是相同的。粗略估计，在一个典型细胞中约有1000多种不同的分子，除了水和无机盐之外，其他均为有机分子，即碳的化合物。表1-1-1列出了细菌细胞大致的化学组成。细胞的性质取决于组成细胞的各种不同分子（包括有机小分子和有机大分子），它们是生物体完成生长、发育、繁殖等生命活动的基础。

表1-1-1　细菌细胞大致的化学组成

	总细胞质量的百分比（%）	每类分子的总数
水	70	1
无机离子	1	20
糖及其前体	1	250
氨基酸及其前体	0.4	100
核苷酸及其前体	0.4	100
脂肪酸及其前体	1	50
其他小分子	0.2	约300
大分子（蛋白质、核酸、多糖）	26	约3000

（一）水

地球上最早的生命是在原始海洋中孕育的，所以生命从一开始就离不开水。生物体中水的含量一般为60%～90%，特殊情况下可能超过90%，如水母的含水量就可达97%。水是生命的介质，没有水就没有生命。

不同生物体或同一个生物体的不同器官中，细胞原生质中水的含量也有所不同。通常来说，水生生物的含水量要高于陆生生物；同一生物体中，代谢旺盛的器官含水量要高于一般器官；女性含水量要高于男性；婴幼儿含水量要高于成年人。

水在生物体和细胞中有两种存在状态：自由水与结合水。结合水又称束缚水，是吸附和结合在有机固体物质上的水，主要依靠氢键和蛋白质的极性基团相结合形成水胶体，这部分水不蒸发、不流动、不能析离，也不参与代谢，它是细胞和生物体重要的结构组成部分。自由水是指填充在有机固体微粒之间的水，可蒸发、可流动、加压力可析离，能参与代谢。水是极性分子，凡是有极性的分子或离子都易溶于其中。故自由水最主要的作用是作为良好的溶剂存在。生命系统中很多分子都是电解质或极性分子，如糖类分子，它们都能溶于水，水也成为生命系统中各化学反应的理想介质。除此之外，自由水还可促进营养物质和代谢废物的运输。由于自由水和结合水的特点，在生物学上，常用自由水与结合水的比值来衡量细胞代谢和生理功能。当自由水比例增加时，代谢活跃，生长迅速，但同时细胞和生物体对外界环境的抗逆性降低；而当结合水比例增加时，代谢强度虽然降低，但细胞和生物体的抗寒、抗旱、抗热性会提高。在不同的条件下，细胞中自由水和结合水可以相互转化，如温度升高，则部分结合水可以转变为自由水。

水分子有极性，并且由于正、负电荷的相互吸引，水分子之间会形成氢键。一个水分子可以通过氢键与另外4个水分子缔合在一起。这种氢键很脆弱，可以快速地断开和形成，造成大量水分子总是以不稳定的氢键缔合成一片，水的这一特性使水有了较强的内聚力、表面张力和附着力。由于内聚力，水可以在蒸腾拉力的推动下，在根、茎、叶的导管中形成不间断的水柱，从而将水从植物根部一直拉到叶片表面。由于表面张力，一些小型昆虫，如水黾等能在水面行走，而且水的纯度越高，表面张力越强。由于附着力，水可以附着在一些亲水性的物质上，如蛋白质、淀粉、纤维素等，这使得不同质地的种子在萌发早期均能获得较多水分。

（二）无机盐

无机盐在生物体内含量不高，约占1%～1.5%，一般都是以离子状态存在的。但它们对于维持生物体的生命活动有着重要的作用。无机盐在细胞和生物体中的主要作用有：

1．参与构成细胞或生物体的某些复杂化合物。如PO_4^{3-}是组成磷脂、核苷酸等的原料；Fe^{2+}是组成细胞色素、血红蛋白的原料；Mg^{2+}是组成叶绿素的原料。

2．调节细胞渗透压和pH值。细胞内无机盐的含量是维持原生质渗透压的重要因素。如Na^+维持细胞外液的渗透压；K^+维持细胞内液的渗透压；以H_2CO_3/HCO_3^-和$HPO_4^{2-}/H_2PO_4^-$为主组成的缓冲体系，可以调节血浆的pH值。

3．参与调节生物体代谢活动。许多无机离子是酶、激素或维生素的主要成分，或是酶的激活剂和抑制剂。如已知70多种酶的活动与锌有关，Mg^{2+}是许多酶的激活剂，Ca^{2+}作为凝血因子之一，可以促进血液中凝血酶原转变为凝血酶。

（三）糖类

糖类是细胞中很重要的一大类有机化合物。糖分子含C、H、O三种元素，大多数糖中三者比例一般为1：2：1，故糖分子又称碳水化合物，其通式为$C_n(H_2O)_m$，如葡萄糖为$C_6H_{12}O_6$；但也有例外，如鼠李糖为$C_6H_{12}O_5$，脱氧核糖为$C_5H_{10}O_4$，它们不符合上述比例，故现在已很少使用碳水化合物这一称呼。

糖是生命活动所需的主要能源物质，又是重要的中间代谢物，有些糖还是构成生物大分子，如核酸和蛋白质的成分，因而具有重要意义。糖类化合物按其组成成分可分为单糖、寡糖和多糖。如果糖类化合物中尚含有非糖物质部分，则称为糖复合物，如糖蛋白、蛋白多糖、糖脂和脂多糖等。

1．单糖

单糖是最简单的糖，不能水解为更小的单位，是糖类的结构单元。单糖的分子式通常为：$(CH_2O)_n$。含有3、4、5、6或7个碳原子，分别称为丙糖、丁糖、戊糖、己糖和庚糖。各种单糖可以有两种存在形式，即D型和L型，它们互为镜像，称为光学异构体。天然存在的单糖一般都是D型。单糖分子既可以开链形式存在，也可以闭环形式存在，如图1-1-1。在环式结构中，如果第一位碳原子上的—OH与第二位碳原子上的—OH在环的同一面，称为α型；如果两个—OH是在环的两面，则称β型。

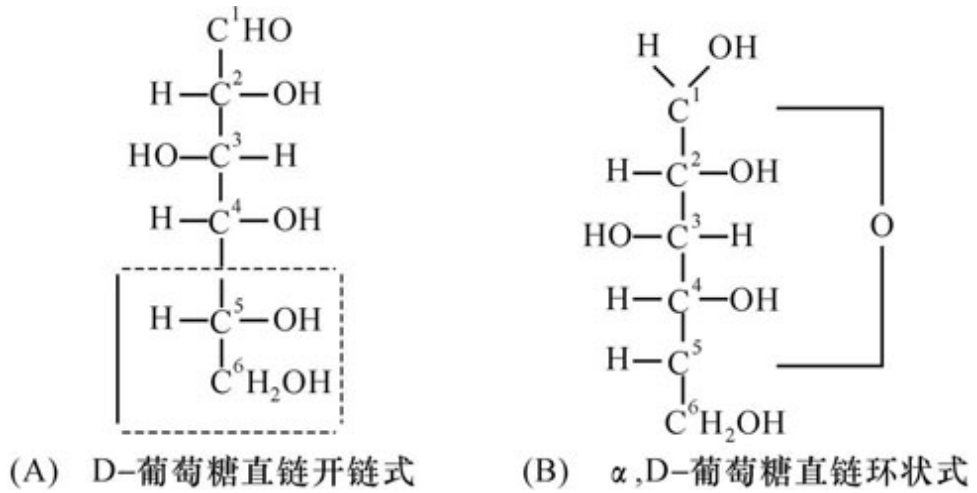


图1-1-1　葡萄链式和环式结构

细胞内相对重要的单糖有以下几种：

（1）丙糖

如甘油醛（醛糖）和二羟丙酮（酮糖）。它们的磷酸酯是细胞呼吸和光合作用中重要的中间代谢物。

（2）戊糖

戊糖又称五碳糖。戊糖中最重要的有核糖（醛糖）、脱氧核糖（醛糖）和核酮糖（酮糖）；核糖和脱氧核糖是核酸的重要成分，两者结构如图1-1-2。核酮糖是重要的中间代谢物。

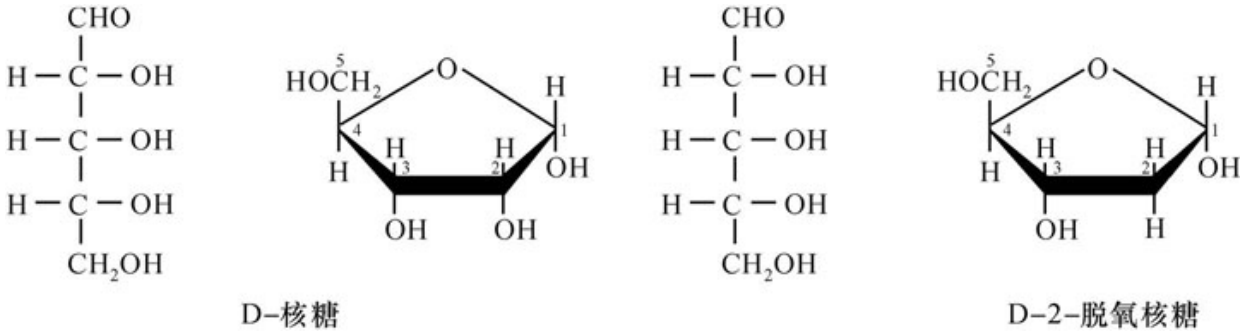


图1-1-2　核糖和脱氧核糖

（3）己糖

己糖又称六碳糖，是最常见的单糖。如葡萄糖、果糖、半乳糖等都是六碳糖，其结构如图1-1-3。所有六碳糖的分子式都是$C_6H_{12}O_6$，但是结构不同，互为同分异构体。在己糖中，以葡萄糖数量最多，在自然界分布亦广。葡萄糖、果糖均能使斐林试剂或班氏试剂还原，所以属可溶性还原糖。

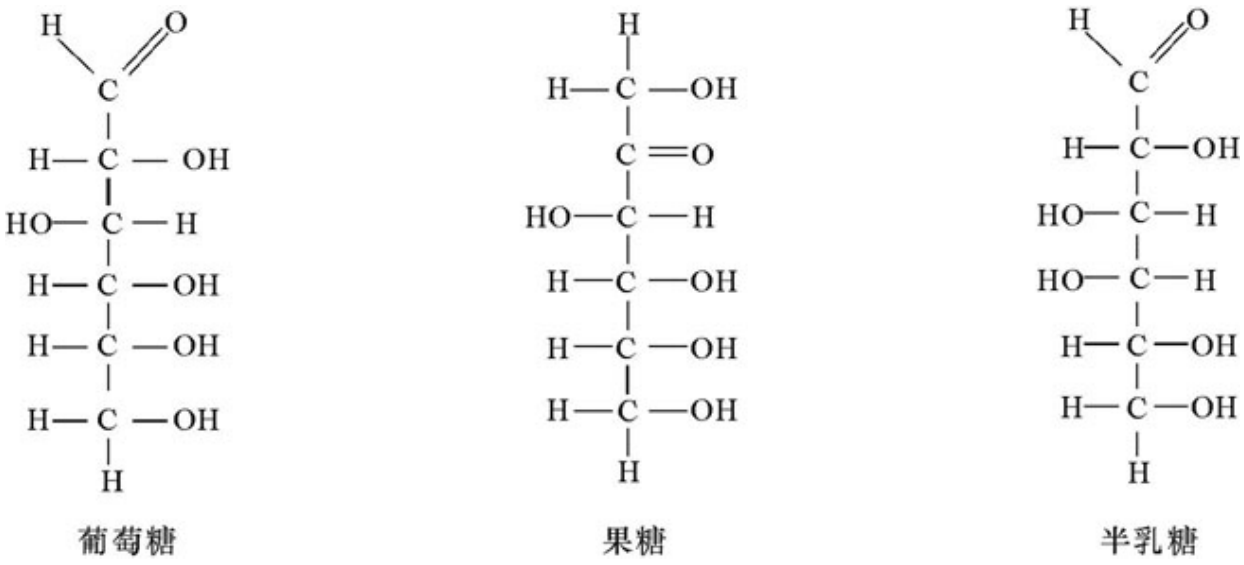


图1-1-3　三种六碳糖

2．寡糖

由少数（2～6）几个单糖缩合而成的糖称为寡糖。最多的寡糖是双糖，如麦芽糖、蔗糖、纤维二糖、乳糖等，其结构及组成见图1-1-4。

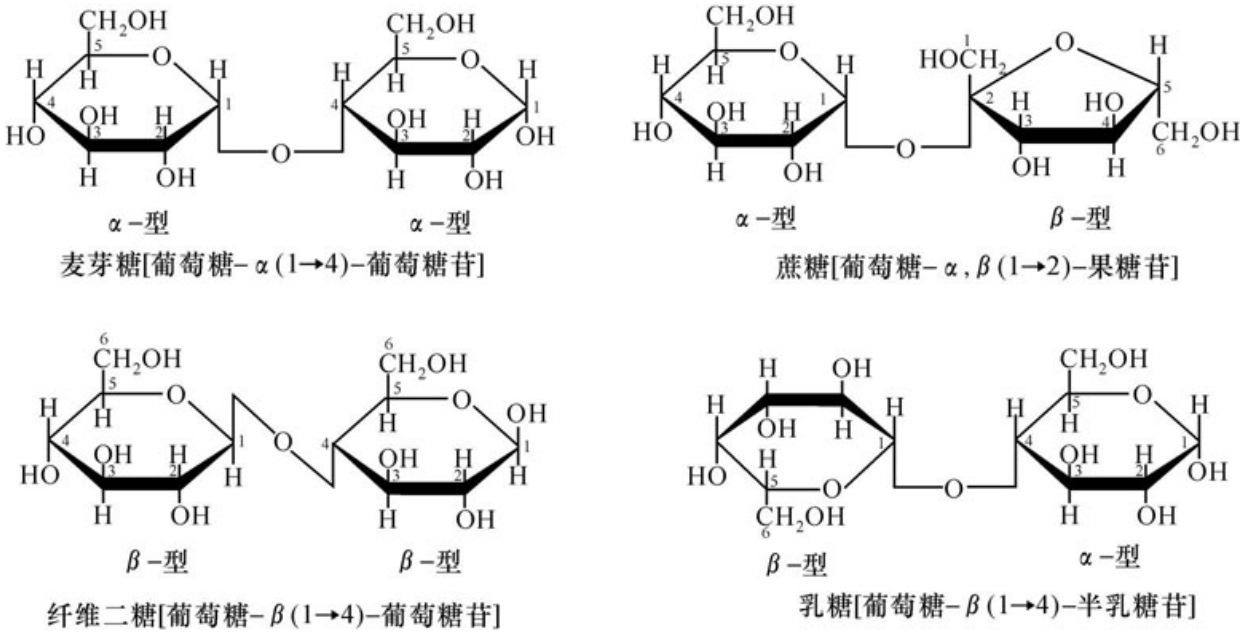


图1-1-4　几种寡糖

（1）麦芽糖

麦芽糖由两个α-D-葡萄糖通过α-1，4-糖苷键结合而成。麦芽糖是植物双糖，是淀粉的基本单位，淀粉水解后即产生麦芽糖，所以麦芽

糖通常只存在于淀粉水解的组织中。一般发芽的谷物中大量存在麦芽糖，如麦芽；动物唾液中含淀粉酶，也能将淀粉水解为麦芽糖。麦芽糖分子内有一个游离的苷羟基，也能使斐林试剂或班氏试剂还原，所以属可溶性还原糖。

（2）蔗糖

蔗糖由1分子α-D-葡萄糖和1分子β-D-果糖脱水缩合而成。蔗糖是植物双糖，是日常食用的主要糖类。蔗糖无游离的醛基，不具有还原性。富含蔗糖的作物通常被称为糖料作物，我国南方主要是甘蔗（茎），北方主要是甜菜（根）。

（3）纤维二糖

纤维二糖由两个β-D-葡萄糖通过β-1，4-糖苷键结合而成。纤维二糖是植物双糖，是纤维素的基本结构单位。

（4）乳糖

乳糖由1分子α-D-葡萄糖与1分子β-D-半乳糖脱水缩合而成。乳糖是动物双糖，主要存在于哺乳动物的乳汁中。乳糖具有还原性。

3．多糖

自然界数量最大的糖类是多糖。多糖分子是由很多单糖分子脱水缩合而成的分支或不分支的长链分子。常见的多糖有淀粉、糖元、纤维素、几丁质和黏多糖等。

（1）淀粉

淀粉几乎存在于所有绿色植物的多数组织中。光照下，它在叶中积累；长时间置黑暗下，则降解。一般淀粉由直链淀粉和支链淀粉组成。但有的淀粉（如糯米）全部为支链淀粉；而有的淀粉（如豆类）则全是直链淀粉，直链淀粉见图1-1-5。

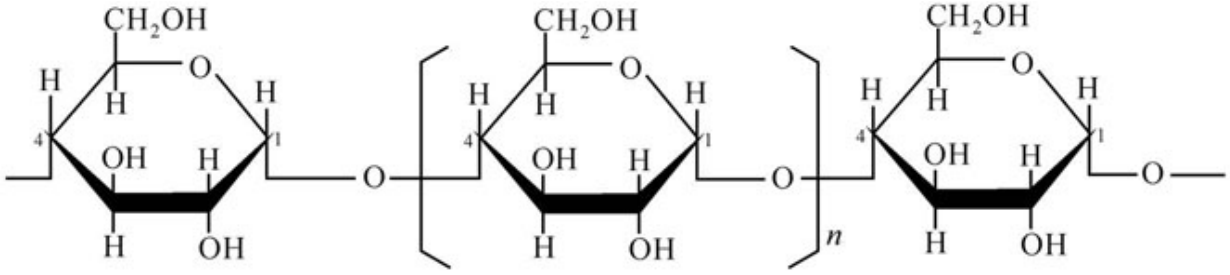


图1-1-5　直链淀粉

直链淀粉是α-D-葡萄糖以α-1，4-糖苷键连接的多糖链，其空间构象卷曲成螺旋形，每一回转为6个葡萄糖基，具体结构见图1-1-6。

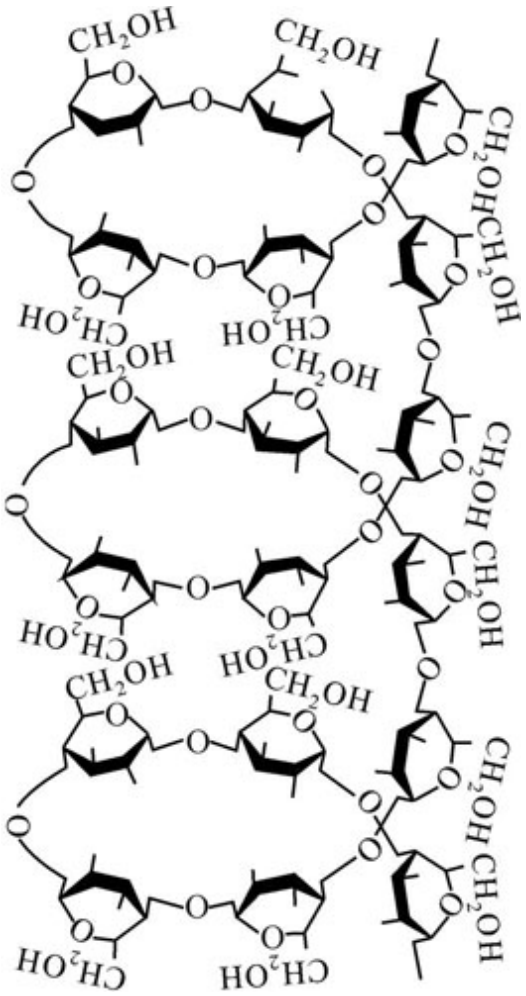


图1-1-6　直链淀粉的空间构象，示螺旋形分子

支链淀粉分子中除有α-1，4-糖苷键的糖链外，还有α-1，6-糖苷键连接的分支，每个分支平均含20～30个葡萄糖基，其平面和空间构象分别如图1-1-7、1-1-8所示。

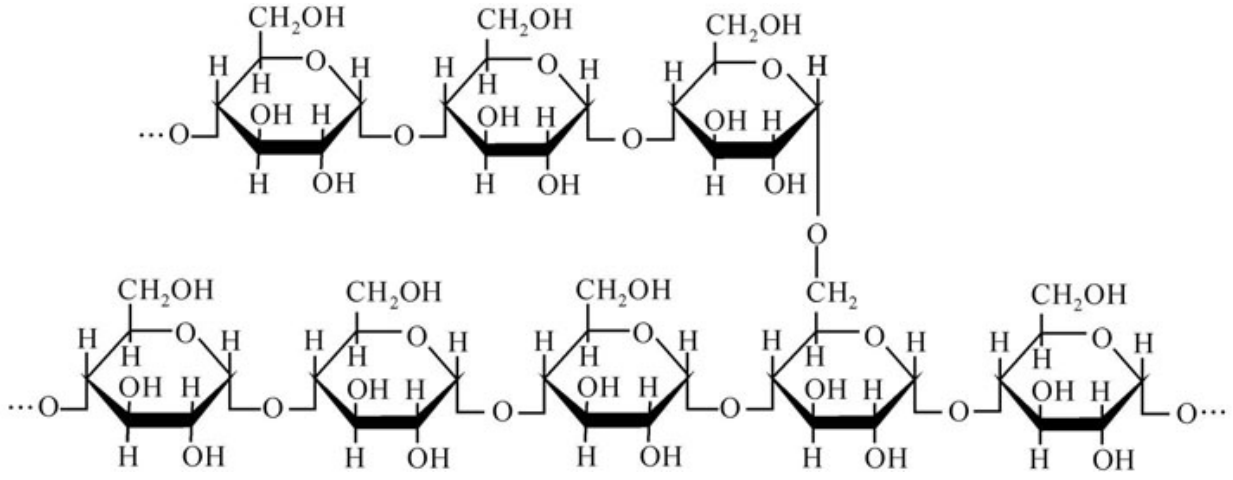


图1-1-7　支链淀粉

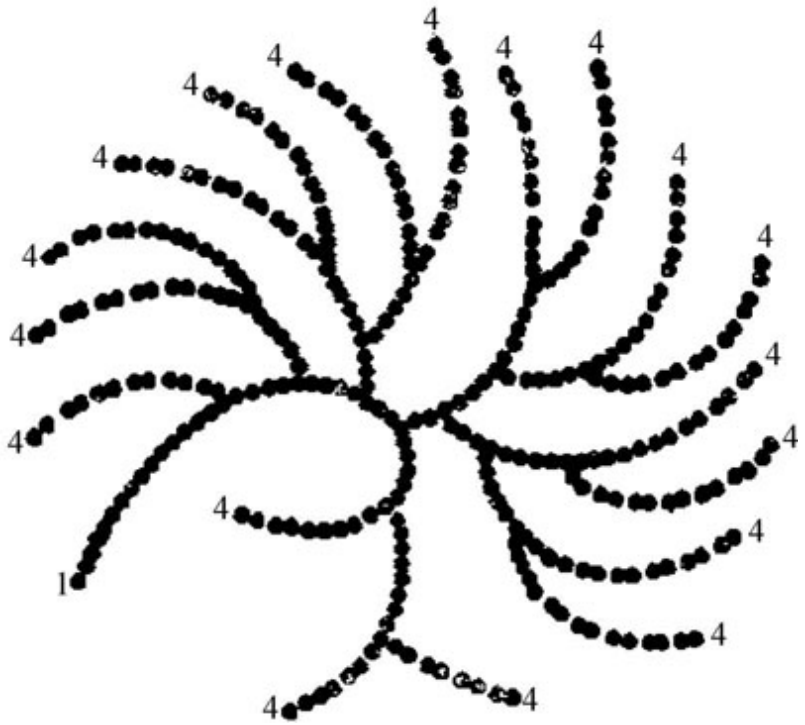


图1-1-8　支链淀粉结构示意图

淀粉与碘有呈色反应，直链淀粉反应呈紫蓝色，支链淀粉反应呈紫红色。在稀酸或酶作用下，淀粉逐步水解。在水解过程中，最初的水解产物是糊精，最终的水解产物是α-D-葡萄糖。与碘的呈色反应可以检验淀粉的水解程度，具体见图1-1-9。

淀粉	→ 红色糊精	→ 无色糊精	→ 麦芽糖	→ 葡萄糖
遇碘显（紫蓝色）	（红色）	（不显色）	（不显色）	

图1-1-9　淀粉水解过程不同产物与碘的颜色反映

（2）糖元

糖元是动物组织中贮存的多糖，其作用与淀粉在植物中的作用是一样的，故有“动物淀粉”之称。它在动物组织中分布很广，肝脏和骨骼肌中贮量最为丰富。肝脏中的糖元称为肝糖元，它与血液中的葡萄糖（血糖）之间可以相互转化：当血糖含量偏高时，部分血糖转化为肝糖元的形式贮存；当血糖含量偏低时，肝糖元分解形成血糖，从而维持血糖的正常水平。骨骼肌中的糖元称为肌糖元，肌糖元不能直接转化为血糖，但通过肝脏可以间接转化。

糖元的组成与淀粉相似，也是由α-D-葡萄糖以α-1，4-糖苷键连接形成主链，以α-1，6-糖苷键连接形成分支，但糖元的分支比支链淀粉

多。糖元遇碘呈色反应显棕红色。

细菌细胞在特殊情况（如碳源提供丰富等）下，也会发生糖元的积累。这部分积累的糖元主要用于供能和供碳。

（3）纤维素

纤维素是地球上最丰富的有机化合物，是植物细胞壁的主要成分。它由β-D-葡萄糖以β-1，4-糖苷键连接成多糖直链，没有分支，其结构见图1-1-10。纤维素不溶于水，也不与碘发生呈色反应。

除反刍动物胃外，一般动物（包括人）胃无纤维素酶，不能消化纤维素。但纤维素可以促进胃肠蠕动，促进消化和排便，从而减少癌症的发生，故膳食纤维又称为第七营养素。与淀粉一样，纤维素也是逐步水解，最初水解产物是纤维素糊精，最终水解产物是β-D-葡萄糖。

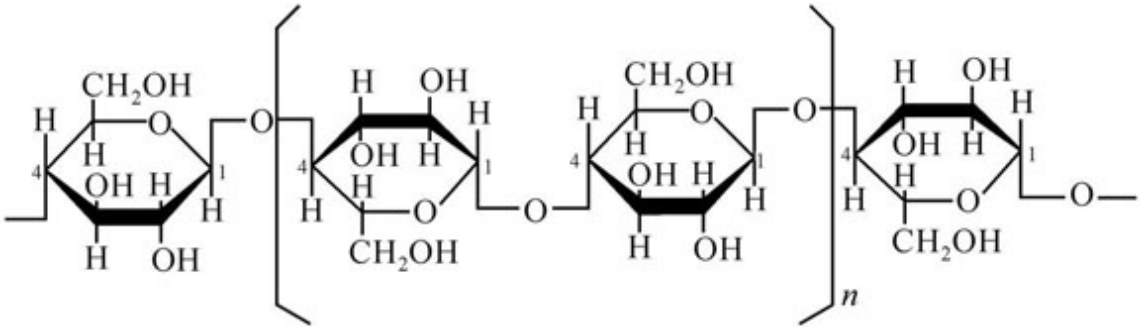


图1-1-10　纤维素个体链

（4）几丁质

几丁质又称壳多糖，是氨基葡萄糖的多聚体。它是昆虫和甲壳动物外骨骼的主要成分，也是真菌细胞壁的构成成分。

（5）其他多糖

琼脂：某些海藻所含的多糖物质，是微生物培养基组分，也是电泳、免疫扩散的支持物之一。食品工业中常用来制造果冻、果酱等。

黏多糖：又称糖胺聚糖，是一种由重复的二糖单位所组成的线状多聚物，包括肝素等。

4．糖复合物

糖复合物是由糖类的还原端与非糖物质以共价键结合在一起形成的，又称结合糖。它包括糖蛋白和蛋白聚糖、糖脂和脂多糖等。

（1）糖蛋白和蛋白聚糖

糖类与蛋白质的结合有两种不同类型的苷键，一种是利用肽链中天冬酰胺的氨基与糖基上的半缩醛羟基形成N-糖苷键；另一种是利用肽链上苏氨酸或丝氨酸（或羟基赖氨酸、羟基脯氨酸）的羟基与糖基

上的半缩醛羟基形成O-糖苷键。按多糖与蛋白质的相对比例，糖与蛋白质的复合物可分为糖蛋白与蛋白聚糖（也称蛋白多糖）两类。

糖蛋白以蛋白质为主，其总体性质更接近于蛋白质，其中糖含量变化很大。人和动物体中结缔组织的胶原蛋白、黏膜组织分泌的黏蛋白，血浆中的转铁蛋白、免疫球蛋白、补体等都是糖蛋白。细胞表面的糖蛋白与细胞定位、胞饮、识别、迁移、信息传递、肿瘤转移等密切相关。

蛋白聚糖是糖一定部位上与若干肽连接而成的肽聚糖。糖含量可超过95%，总体性质上与多糖更相近。蛋白多糖主要分布在结缔组织的细胞外基质中。

（2）糖脂与脂多糖

糖脂与脂多糖是脂类与糖（低聚糖）结合的一类复合糖。糖脂分为甘油醇糖脂和N-脂酰神经鞘氨醇糖脂（糖鞘脂）。甘油醇糖脂由甘油二酯与己糖结合而成，己糖主要是半乳糖、甘露糖等。N-脂酰神经鞘氨醇糖脂可分为中性和酸性两类，分别以脑苷脂和神经节苷脂为代表。脂多糖主要是革兰氏阴性细菌细胞壁所具有的复合多糖，一般由外层专一性低聚糖链、中心多糖链、脂质3部分组成。外层专一性低聚糖链的组分随菌株不同而异，是细菌使人致病部分；中心多糖链则多数相似或相同；脂质与中心多糖链相连接。

（四）脂质

脂质是生物体内一类重要的有机化合物。它们有一个共同的物理性质，即不溶于水，但溶于非极性有机溶剂（如氯仿、乙醚、丙酮等）。脂质的组成元素主要有C、H、O，但O元素含量低，C、H元素含量高，彻底氧化后可以放出更多能量，所以在生物体内，油脂是最主要的储能物质。此外，有的脂类还含有N和P。生物体内常见的具有重要生理功能的脂质主要有油脂、磷脂、类固醇、萜类、蜡等。

1．油脂

油脂是人体内和食物中最常见的脂质。又称为甘油三酯、三脂酰甘油或脂肪。在组成上，是由1分子甘油和3分子脂肪酸结合而成的，结构如图1-1-11所示。

在组成油脂的3个脂肪酸分子中，R基可以相同，也可以不同。如果相同，则为单甘油酯；若不相同，则为混合甘油酯。油脂中位于甘油碳链中间那个C原子上连接的脂肪酸，若在右侧为D型，在左侧则为L型，天然的脂肪酸都是L型。

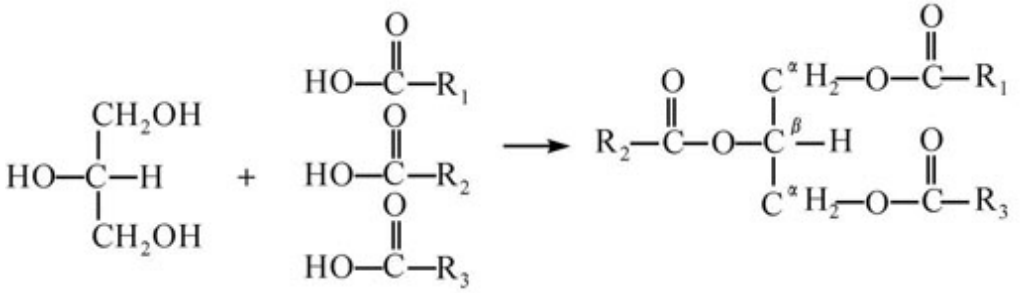


图1-1-11　甘油脂肪酸与酯的关系

脂肪酸可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。饱和脂肪酸碳氢链上没有双键，如软脂酸、硬脂酸，其熔点高。不饱和脂肪酸的碳氢链上含有不饱和双键，如油酸含有1个双键，亚油酸含有2个双键，亚麻酸含有3个双键，因此熔点低。动物油脂大多富含饱和脂肪酸，在室温下为固态，俗称“脂”；植物油脂含大量油酸和亚油酸，在室温下为液态，俗称“油”。哺乳动物体内能够合成饱和和单不饱和脂肪酸（如油酸），但不能合成亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等具有2个及以上双键的不饱和脂肪酸，故这些脂肪酸只能从外界摄取，称为必需脂肪酸，尤其以亚油酸含量最多。

油脂主要的功能是作为储能物质存在。同时，也能够起到保温的效果，并可润滑和缓冲。鉴定油脂的存在，可以用苏丹III或苏丹IV染液进行显色。前者呈色反应显橙黄色，后者呈色反应显红色。

2．磷脂

磷脂又称为甘油磷脂。其结构与甘油三酯相似，在甘油三酯分子中，甘油的3个羟基均连着脂肪酸，而磷脂中的甘油只有2个羟基连着脂肪酸，第三个羟基并不连脂肪酸，而是连着磷酸，即被磷酸酯化。

由于两个脂肪酸分子各含有一条长的碳氢链，具有亲脂性（非极性），而磷酸分子则具有亲水性（极性），故磷脂分子是一端亲脂，另一端亲水的两性分子。通常把亲水的一端称为头部，把亲脂的一端称为尾部。在水溶液中，这种两性分子只有形成双层结构才能稳定存在：即头部朝外，与有水的环境接触；尾部朝内，形成一个亲脂的小环境。在尾部的两个脂肪酸分子中，总有一个是不饱和的，因此两个脂肪酸不是平行并列的，其中一个脂肪酸总是有折弯的。

头部磷酸上的—OH可以被另外的物质取代，从而形成不同种类的磷脂。如被胆碱取代，则为卵磷脂；被胆胺取代，则为脑磷脂；被丝氨酸取代，则为丝氨酸磷脂。

3．类固醇

类固醇分子的基本结构是环戊烷多氢菲。最熟知的类固醇是在环戊烷多氢菲上连有一个碳氢链的胆固醇，见图1-1-12。胆固醇是脊椎动物细胞的重要成分，在神经组织和肾上腺中含量特别丰富。动物能吸收利用食物胆固醇，也能自行合成。其生理功能与生物膜的透性、神经髓鞘的绝缘物质以及动物细胞对某种毒素的保护作用有一定关系。

性激素、维生素D和肾上腺皮质激素也都属于类固醇。

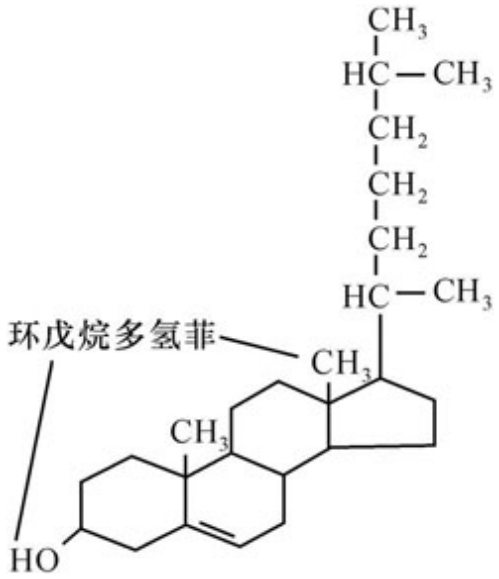


图1-1-12　胆固醇结构

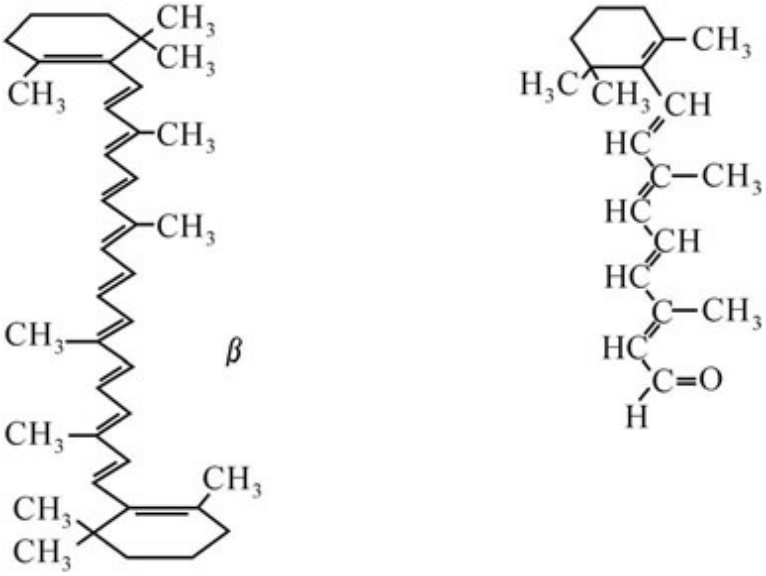


图1-1-13　β-胡萝卜素（左）和视黄醛（右）

4．萜类

萜类是由不同数目的异戊二烯连接而成的分子。维生素A（视黄醇）、维生素E、维生素K、类胡萝卜素都是萜类。β-类胡萝卜素裂解就成两个维生素A，维生素A可氧化成视黄醛，对动物感光活动有重要作用，β-胡萝卜素和视黄醛结构见图1-1-13。植物中，多数萜类都具有特殊臭味，而且是各类植物特有油类的主要成分。如柠檬苦素、薄荷醇、樟脑分别是柠檬油、薄荷油、樟脑油的主要成分。

5．蜡

蜡是由高碳脂肪酸和高碳醇或固醇所形成的脂，不溶于水，温度稍高时，它是柔软的固体，温度低时变硬。它存在于皮肤、毛皮、羽毛、树叶、果实表面以及昆虫的外骨骼中，起保护作用。

（五）蛋白质

1．一般特性

蛋白质是细胞和生物体的重要组成成分，是占细胞干重最多的有机物。丝绸、皮革、毛发、血液的主要成分都是蛋白质。蛋白质分子由C、H、O、N4种元素组成，有些蛋白质还含有S元素。其中，N元素在多种蛋白质中含量比较接近，平均为16%，这是蛋白质元素组成的一个特点。因此，要测定混合物中蛋白质的含量，只要测定蛋白氮的含量，然后乘6.25即可，此为凯氏定氮法。

蛋白质在生物体内可以供能，但一般不是生物体内的能源物质。它们是生命活动的承担者，在体内执行各种功能。生物的结构和性状都与蛋白质有关。蛋白质还参与基因的调节，以及细胞中氧化还原反应、电子传递、神经传递乃至学习和记忆等多种生命活动过程。在细胞和生物体内各种化学反应中起催化作用的酶绝大多数是蛋白质。调节生命活动的重要激素，很多也是蛋白质，如胰岛素、胸腺激素等。在动物免疫中发挥作用的抗体都是蛋白质，部分淋巴因子也是蛋白质。在血液中起运输氧气作用的血红蛋白是蛋白质。细胞膜上的载体，神经传递过程中的受体，均是蛋白质。可以这样说，生物体的一切生命活动都与蛋白质有关。

2．氨基酸

蛋白质是高分子化合物，具有复杂的化学结构和空间结构。其基本单位是氨基酸。目前已发现的天然氨基酸有180多种，但参与组成蛋白质的氨基酸只有20种。除脯氨酸外，各种氨基酸在结构上具有一个共同点：与羧基相邻的α-碳原子上都有一个氨基，因而称为α-氨基酸（脯氨酸和羟脯氨酸不属于α-氨基酸）。结构通式，见图1-1-14。

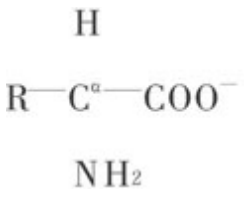


图1-1-14　氨基酸通式

α-氨基酸的α-碳原子是一个不对称碳原子或手性中心，因而具有旋光性（甘氨酸的R基为—H，故不存在旋光性）。根据旋光性的不同，有L-氨基酸（左旋）和D-氨基酸（右旋）之分，天然蛋白质中存在的氨基酸，除甘氨酸无旋光性之外，其余全部是L-氨基酸。

（1）分类

根据R基团极性不同，氨基酸可分为：非极性氨基酸（9种）、极性不带电氨基酸（6种）、极性带负电氨基酸（2种）和极性带正电氨基酸（3种）。如表1-1-2所列。

表1-1-2　氨基酸分类

氨基酸分类	氨基酸名称	英文全名	三字符号	单字符号
带负电荷的酸性氨基酸	谷氨酸	aspartic acid	Asp	D
	天冬氨酸	glutamic acid	Glu	E
带正电荷的碱性氨基酸	赖氨酸	lysine	Lys	K
	精氨酸	arginine	Arg	R
	组氨酸	histidine	His	H
不带电荷的极性氨基酸	甘氨酸	glycine	Gly	G
	丝氨酸	serine	Ser	S
	苏氨酸	threonine	Thr	T
	半胱氨酸	cysteine	Cys	C
	谷氨酰胺	glutamine	Gln	Q
	天冬酰胺	asparagine	Asn	N

续表

氨基酸分类	氨基酸名称	英文全名	三字符号	单字符号
不带电荷的非极性氨基酸	丙氨酸	alanine	Ala	A
	缬氨酸	valine	Val	V
	亮氨酸	leucine	Leu	L
	异亮氨酸	isoleucine	Ile	I
	脯氨酸	proline	Pro	P
	苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F
	色氨酸	tryptophan	Trp	W
	甲硫氨酸	methionine	Met	M

其中，非极性氨基酸由于疏水，使得蛋白质分子中带有这些氨基酸的部分往往折叠到大分子内部而远离水相；在强疏水环境中，又往往暴露在大分子的外面。甘氨酸实际没有侧链，它们往往位于蛋白质分子内部狭窄的角落处，使蛋白质链能够在这里紧密缠绕。在极性氨基酸中，半胱氨酸能形成二硫键（—S—S—），有稳定蛋白质分子构象和使蛋白质分子折叠起来的效果。

根据成年人营养需求，20种氨基酸又可按其能否在体内合成而分为必需氨基酸与非必需氨基酸。必需氨基酸是指成年人体内不能合成而必须由食物提供的一类氨基酸，包括亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、色氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸8种。精氨酸和组氨酸在幼儿时期体内合成量满足不了生长需要，需食物补充，称为半必需氨基酸。

（2）一般物理性质

氨基酸是白色晶体，熔点很高，一般在200°C以上。每种氨基酸都有特殊的结晶形状。除胱氨酸和酪氨酸之外，一般都能溶于水。脯氨酸和羟脯氨酸还能溶于乙醇或乙醚中。

（3）两性解离、等电点和滴定

α-氨基酸在中性水溶液中或固体状态下主要是以两性离子的形式存在，即H_3N^+—CRH—COO^-，在同一个氨基酸分子上带有能放出质子的—H_3N^+正离子和能接受质子的—COO^-负离子。因此，氨基酸是两性电解质。当两性氨基酸溶于水时，其正负离子都能解离，但解离度与溶液的pH值有关。向氨基酸溶液加酸时，其两性离子的—COO^-负离子接受质子，自身成为正离子H_3N^+—CRH—COOH，在电场中向负极移动。加入碱时，其两性离子的—H_3N^+正离子解离放出质子与—OH^-合成水，其自身成为负离子H_2N—CRH—COO^-，在电场中向正极移动。当调节氨基酸溶溶液的pH值，使氨基酸分子上的—H_3N^+和—COO^-的解离度完全相等时，即氨基酸所带净电荷为零，在电场中既不向正极移动，也不向负极移动，此时氨基酸所处溶液的pH值称为该氨基酸的等电点，以符号pI表示。在等电点时，氨基酸的溶解度最小，容易沉淀，利用这一性质可以分离制备各种氨基酸。在等电点以上的任何pH，氨基酸带净负电荷，并因此在电场中将向正极移动。在低于等电点的任何pH，氨基酸带有净正电荷，在电场中将向负极移动。在一定pH范围内，氨基酸溶液的pH离等电点越远，则氨基酸所携带的净电荷也越大。可根据这一特性，利用电泳技术将氨基酸混合物分开。

氨基酸是一种两性电解质，因无合适的指示剂可被选用，故常用甲醛滴定。在滴定时，分别在—COO和—H_3N^+处形成滴定点，两处拐点的pH值分别用pK_1和pK_2表示，故对中性氨基酸而言，其等电点为：pI＝（pK_1＋pK_2）/2。因氨基酸的R基也会电离，影响滴定，故对R基的滴定值用pK_R表示。对酸性氨基酸（在酸性溶液中，净电荷为零，包括天冬氨酸和谷氨酸）而言，其等电点为：pI＝（pK_1＋pK_R）/2。对碱性氨基酸（在碱性溶液中，净电荷为零，包括赖氨酸、精氨酸和组氨酸）而言，其等电点为：pI＝（pK_2＋pK_R）/2。

（4）紫外吸收光谱

各种氨基酸在可见光区都没有光吸收，在远紫外区均有光吸收。而在近紫外光区仅色氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸有光吸收。其中色氨酸最大吸收波长为279nm，酪氨酸最大吸收波长为278nm，苯丙氨酸最大吸收波长为259nm。利用紫外光法可测定这些氨基酸的含量。

（5）重要化学反应

氨基酸的α-氨基、α-羧基和侧链R基均能单独或共同参与反应。常见反应如下：

α-氨基能与茚三酮反应，产生紫色沉淀（脯氨酸和羟脯氨酸为黄色沉淀），用于定性或定量测定各种氨基酸。

α-氨基可与亚硝酸反应生成氮气（只有一半来自氨基酸，另一半来自亚硝酸），可定性计算氨基酸的量。此为Van Slyke法测定氨基氮的基础。

α-氨基可与2，4-二硝基氟苯（DNFB）生成2，4-二硝基氟苯氨基酸（DNP-氨基酸）。此反应又称Sanger反应，用于鉴定多肽或蛋白质的NH_2末端氨基酸。

α-氨基可与异硫氰酸苯脂（PITC）反应生成苯硫乙内酰硫脲衍生物（PTH），此反应为Edman反应，利用Edman降解，一次能连续测出60～70个氨基酸残基的肽段顺序。

3．蛋白质的结构

已确认的蛋白质结构有不同层次，人们为了认识的方便，通常将其分为一级结构、二级结构、三级结构和四级结构，一级结构又称为平面结构，后三者合称为空间结构。

（1）一级结构

蛋白质的一级结构又称为初级结构、化学结构或平面结构，是指蛋白质分子内氨基酸的排列顺序。蛋白质分子中氨基酸主要通过肽键

相互连接，肽键是由一个氨基酸分子中的α-氨基与相邻的另一个氨基酸分子中的α-羧基，通过脱水缩合而成的，这样连起来的氨基酸聚合物称为肽。由两个氨基酸连成的叫二肽，图1-1-15示某种二肽。由多个氨基酸连成的叫多肽。肽与多肽的区分主要根据分子的大小，通常相对分子质量在1500以下的称为肽，在1500以上的称为多肽。多肽链上各个氨基酸由于相互连接过程中丢失了α-氨基上的—H和α-羧基上的—OH，被称为氨基酸残基。在多肽链一端的氨基酸含有一个未反应的游离氨基（—NH_2），被称为肽链的氨基末端，常写作N端；另一端的氨基酸含有一个尚未反应的游离羧基（—COOH），称为肽链的羧基末端，常写作C端。一般表示多肽时，总是N末端写在左边，C末端写在右边。肽链中除肽键外还有二硫键（—S—S—），它是由肽链中相应部位上两个半胱氨酸（R基上有—SH）脱氢连接而成，是连接肽链内和肽链间的主要桥键（又称硫桥）。

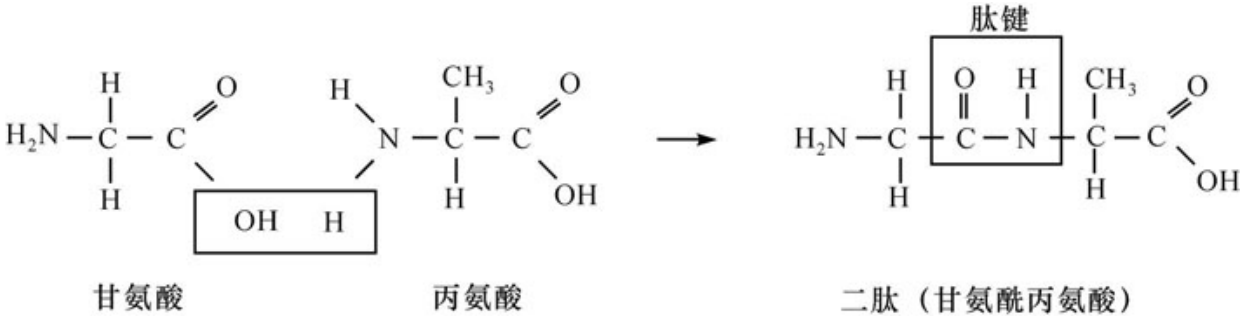


图1-1-15　二肽形成

（2）二级结构

二级结构是指多肽链本身卷曲折叠成有规律的结构或构象。这种结构是以肽链内或肽链间的氢键来维持的。氢键是稳定二级结构的主要作用力。二级结构的三种基本类型是：α-螺旋、β-折叠、β-转角。

①α-螺旋

α-螺旋是蛋白质中最常见，含量最丰富的二级结构。指甲、毛发以及有蹄类的蹄、角、羊毛等的成分都是呈α-螺旋的纤维蛋白，称为α-角蛋白。α-螺旋属链内连接。具有较强的弹性。

α-螺旋的特征是：多肽链中氨基酸残基以100°的角度围绕螺旋轴心盘旋上升，每3.6个残基就旋转一圈，螺距为0.54nm，即每个残基沿螺旋体中心轴上升0.15nm。蛋白质中的α-螺旋几乎都是右手的，右手比左手的稳定。多肽链内的氢键由肽链中一个肽键的—CO中的氧原子与其后第三个肽键的—NH中的氢原子组成，每个氢键所形成的环内共有13个原子，这种螺旋称为3.6_{13}，具体见图1-1-16。

②β-折叠

是蛋白质中第二种最常见的二级结构。两条或多条几乎完全伸展的多肽链侧向聚集在一起，相邻肽链主链上的—NH和C＝O之间形成有规则的氢键。β-折叠是链间连接，分两种类型。一种是平行式，即所有肽链N端都在同一端；另一种是反平行式，即肽链的N端一顺一反的排列。丝蛋白的二级结构主要是β-折叠，故其弹性较差。图1-1-17示β-折叠的两种方式。

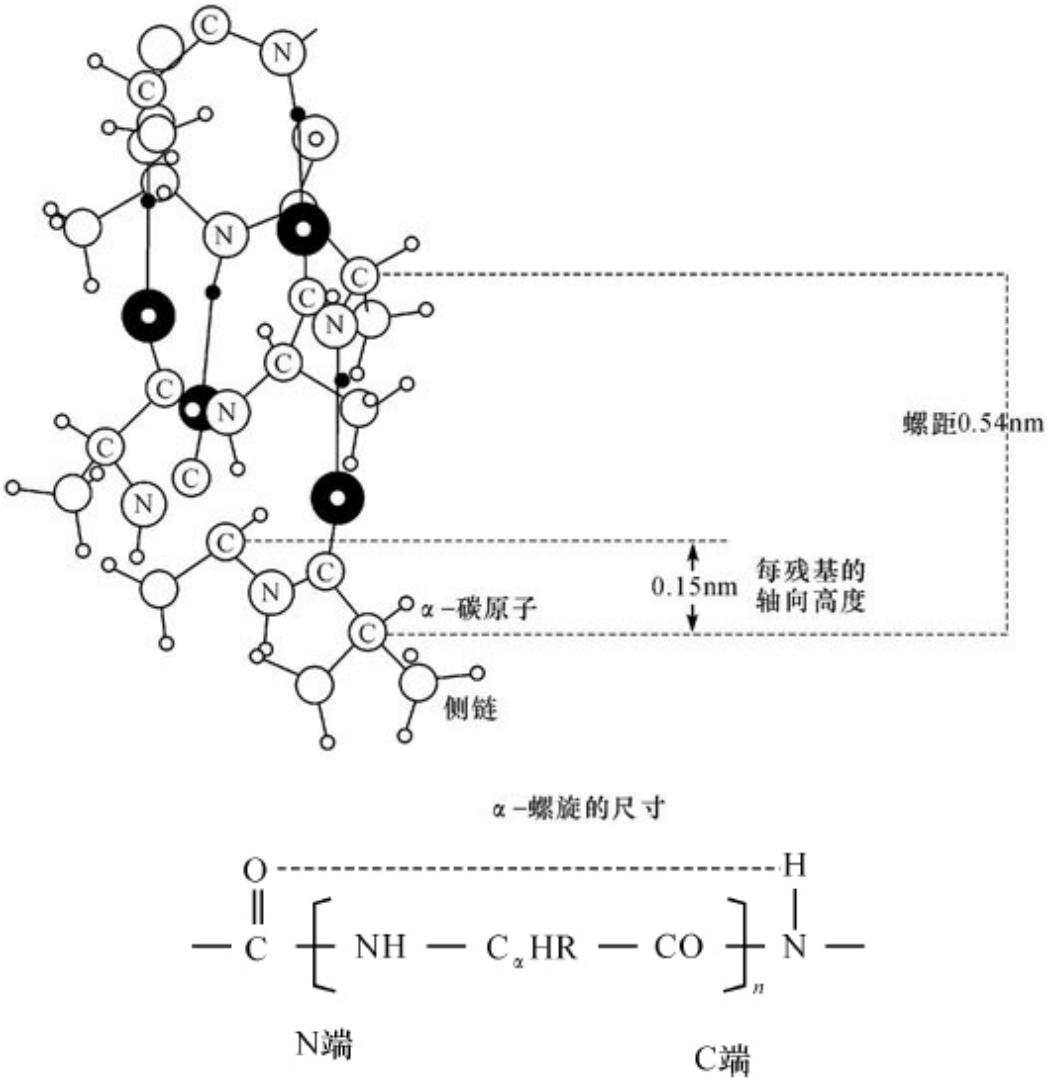


图1-1-16　α-螺旋

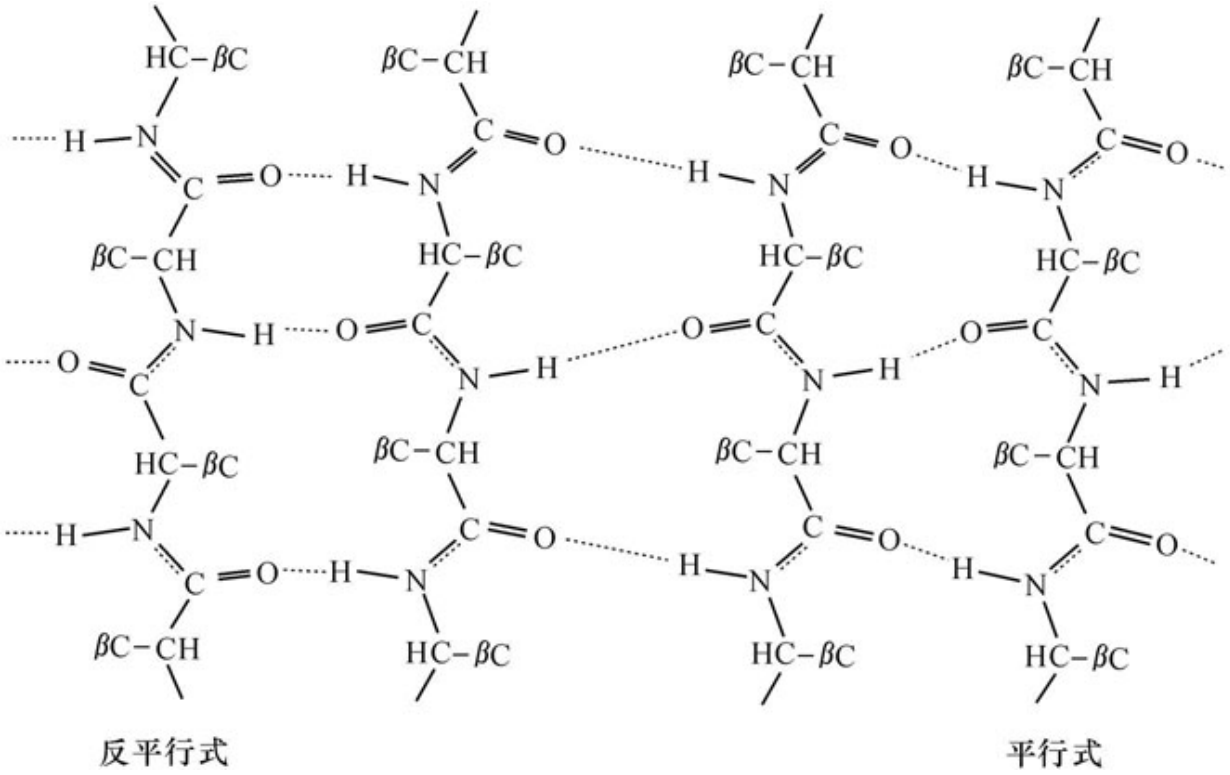


图1-1-17　β-折叠的平行式和反平行式

③β-转角

蛋白质分子的多肽链上经常出现180°的回折，在这种肽链的回折角上就是β-转角结构。β-转角为链内弯曲，多数都处在球状蛋白质分子的表面，在这里改变多肽链的方向所遇阻力比较小。

（3）三级结构

纤维状蛋白质一般只有二级结构，而球状蛋白质在二级结构的基础上，经过超二级结构和结构域，进一步组装成三级结构。维持三级结构的作用力主要是一些次级键，包括氢键、盐键、疏水键和范德华力等。其中，疏水键在维持蛋白质的三级结构上有突出地位。

（4）四级结构

蛋白质的四级结构是指蛋白质分子内具有三级结构的亚单位通过氢键、盐键、疏水键和范德华力等弱作用力聚合而成的特定构象。所谓亚单位又称亚基，是指构成蛋白质的，在化学上相互独立但自身又具有特定构象的肽链。如血红蛋白有4个不同的亚基，2条α链和2条β链，每一个链都是一个三级结构的球蛋白，这4个肽链以一定形式结合在一起，形成特定的构象，即是四级结构。图1-1-18示四级结构。

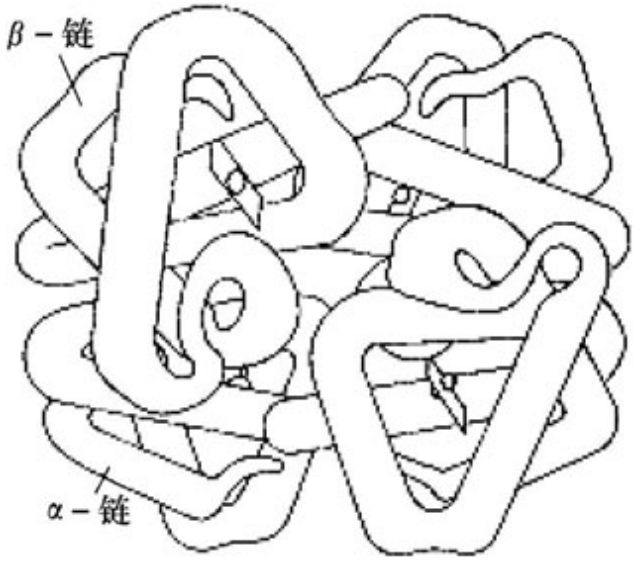


图1-1-18　蛋白质的四级结构

4．蛋白质的理化性质

（1）胶体性质

蛋白质是高分子化合物，相对分子质量很大，其在水溶液中所形成的颗粒具有胶体溶液的特征，如布朗运动、丁达尔现象、不能通过半透膜等。溶液中，蛋白质胶体颗粒带有相同电荷，彼此排斥，而且颗粒表面极性分子能与水分子形成一层水膜，将蛋白质颗粒相互隔开，因此蛋白质颗粒比较稳定，不易沉淀。

（2）两性电解质

蛋白质分子除了肽链两端有自由的α-氨基和α-羧基外，许多氨基酸残基的侧链上存在不少可解离的基团，所以蛋白质是两性电解质。在酸性溶液中蛋白质带正电，在碱性溶液中蛋白质带负电。当溶液达到某一pH值时，可使蛋白质所带的正负电荷相等，这时溶液的pH值叫做蛋白质的等电点（pI）。一般含酸性氨基酸较多的蛋白质，等电点偏酸；含碱性氨基酸较多的蛋白质，等电点偏碱。可以根据蛋白质的不同等电点用电泳法分离蛋白质。

（3）沉淀反应

如果在蛋白质溶液中加入适当试剂，破坏蛋白质的水膜并中和蛋白质的电荷，则蛋白质胶体溶液就变得不稳定而出现沉淀现象。可引起沉淀反应的试剂有高浓度的盐类（如硫酸铵、硫酸钠、氯化钠等）、有机溶剂（如酒精、丙酮等）、重金属盐（如硝酸银、硫酸铜、醋酸铅等）及某些酸类（如苦味酸、单宁酸等）等。

（4）变性

蛋白质因受物理或化学因素的影响，其分子的空间结构发生变异，导致其理化性质、生物活性等发生改变，这种现象称为蛋白质的变性。能使蛋白质变性的化学因素有强酸、强碱、重金属离子、尿素、酒精、丙酮等。能使蛋白质变性的物理因素有加热振荡或搅拌、超声波、紫外线及X射线照射等。蛋白质生物活性的丧失是蛋白质变性的主要特征，变性后的蛋白质最明显的理化性质改变是溶解度降低，从而凝固。变性过程中不发生肽键断裂和二硫键的破坏，因而一级结构没有改变；主要是氢键、疏水键的破坏，使肽链有序的卷曲、折叠状态变得松散无序。

（5）紫外吸收

蛋白质在280nm的紫外光区有最大吸收峰值，这主要是由于肽链中酪氨酸和色氨酸的R基团引起的。因此可以用紫外分光光度法测定蛋白质在280nm的光吸收值来测定蛋白质的含量。

（6）变构作用

含两个以上亚基的蛋白质分子，如果其中一个亚基与小分子物质结合，那么不但该亚基的构象会发生改变，而且其他亚基的构象也会受影响而发生变化，结果整个蛋白质分子的构象乃至活性均会改变，这一现象称为变构作用（或别构作用）。例如，血红蛋白有4个亚基，当氧气与其中一个亚基结合后，即引起该亚基的构象改变，进而又会引起另外3个亚基构象发生变化，结果整个分子构象改变，使所有亚基更易于与氧结合，大大加快血红蛋白与氧结合的速度。

（7）呈色反应

蛋白质分子中因含有某些特殊的结构或某些特殊氨基酸残基，能与多种化合物发生颜色反应。通常采用双缩脲反应来鉴定蛋白质分子。双缩脲试剂能与肽键发生反应，生成紫色络合物，而肽和蛋白质因具有肽键，故能与双缩脲试剂反应。氨基酸不具备双缩脲反应。

5．蛋白质分类

根据蛋白质的分子组成，可将蛋白质分为简单蛋白质和结合蛋白质两大类。简单蛋白质仅由α-氨基酸组成，又称单纯蛋白质，如球蛋白、白蛋白、组蛋白等。结合蛋白质由简单蛋白质和非蛋白质物质两部分组成。非蛋白质部分通常称为辅基。辅基可以是核酸、糖类、脂类、色素、磷酸等，由此组成的结合蛋白质分别称为核蛋白、糖蛋白、脂蛋白、色蛋白、磷蛋白等。

根据功能，蛋白质大体分为结构蛋白和调节蛋白两大类。结构蛋白参与细胞结构的组成。调节蛋白主要起到调节、催化等作用。酶是活细胞产生的一类具有极高催化效率的有机物，绝大多数酶是蛋白

质，生物体内的绝大多数化学反应都需要在酶的催化作用下才能进行。关于酶的详细介绍，请参考第四章第一讲。

（六）核酸

核酸是生物大分子中最重要的一类。1870年，瑞士的F. Miescher从脓细胞核中最早分离得到，因为呈酸性，故称为核酸，意指从细胞核中得到的酸性物质。天然的核酸分为两类：脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）。DNA主要存在于细胞核内的染色质中，线粒体和叶绿体中也有，是遗传信息的携带者；RNA在细胞核内产生，然后大多数进入细胞质中，在蛋白质合成中起重要作用。

1．核苷酸

正如多糖的基本单位是单糖，蛋白质的基本单位是氨基酸一样，核酸的基本单位是核苷酸。DNA和RNA分子都是由许多按一定顺序排列的核苷酸组成的大分子。将核酸水解可以得到基本单位核苷酸，而核苷酸还可以进一步分解成核苷和磷酸，而核苷又可以进一步分解为碱基和戊糖。所以，一分子核苷酸是由一分子磷酸，一分子戊糖（五碳糖）和一分子含氮碱基组成的，见图1-1-19。

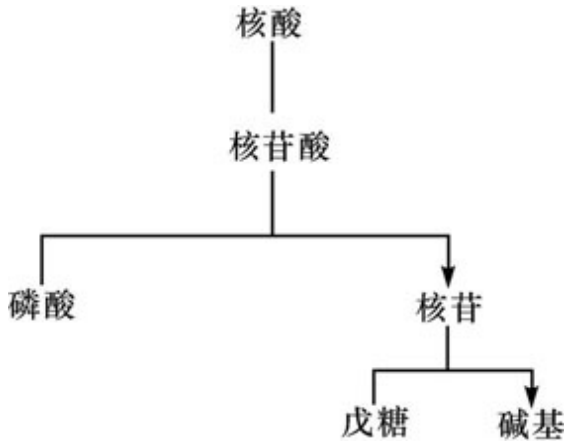


图1-1-19　核苷酸

（1）戊糖

组成核酸的戊糖有两种：β-D-核糖和β-D-2-脱氧核糖，都是β-呋喃型的。前者存在于RNA中，后者存在于DNA中。根据核酸中所含戊糖种类不同，核酸分为核糖核酸和脱氧核糖核酸。

（2）碱基

核酸中的碱基分为两类：嘧啶碱和嘌呤碱。嘧啶碱为单环分子，核酸中常见的嘧啶碱有三类：胞嘧啶（C）、胸腺嘧啶（T）和尿嘧啶（U）；嘌呤碱为双环分子，常见的嘌呤碱有两类：腺嘌呤（A）和鸟

嘌呤（G）。DNA中含有A、G、C、T，RNA中含有A、G、C、U。几种碱基结构见图1-1-20。

在核酸中还存在少量其他修饰碱基。由于这些修饰碱基通常很少，所以也称为微量碱基或稀有碱基。核酸中的修饰碱基多是4种主要碱基的衍生物，大多是甲基化碱基，都是在核酸生物合成后，通过酶促反应修饰而成。这些修饰碱基对核酸的生物功能具有重要作用。tRNA的修饰碱基种类较多，如次黄嘌呤、二氢尿嘧啶、4-硫尿嘧啶、5-甲基胞嘧啶等。

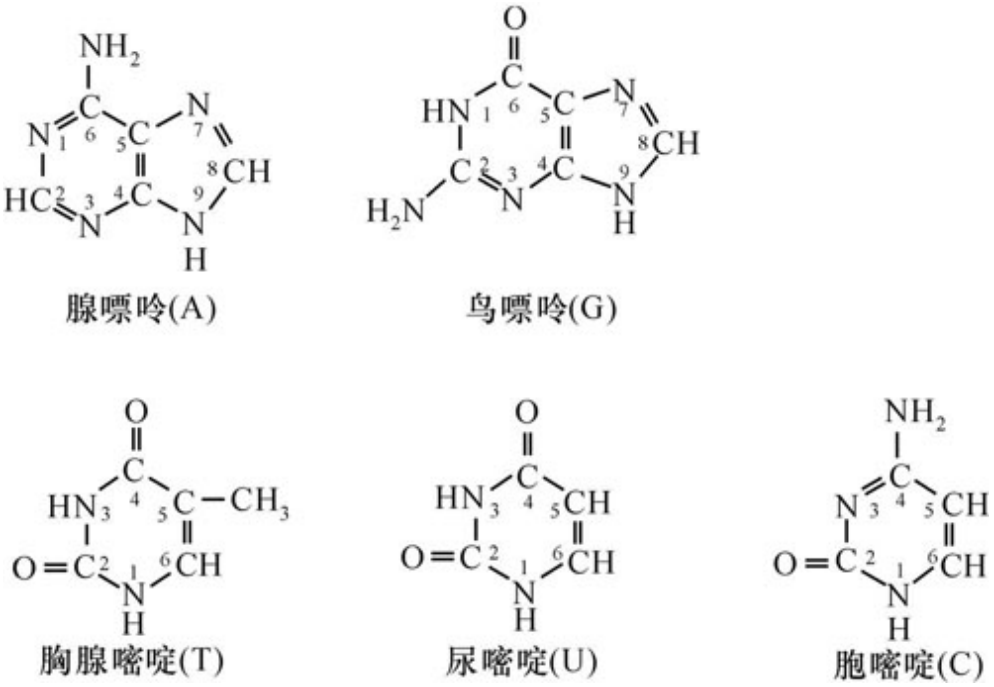


图1-1-20　几种碱基结构

（3）核苷

戊糖C_1的羟基与嘧啶碱N_1或嘌呤碱N_9上的氢缩合连接成共价的β-N-糖苷键，形成核苷。由核糖组成的核苷为核糖核苷，用单符号（A、G、C、U）表示；由脱氧核糖构成的核苷为脱氧核苷，在单个符号前加一个小写的d（dA、dG、dC、dT）。tRNA中存在少量5-核糖尿嘧啶，是一种碳苷，其C_1是与尿嘧啶的第5个碳原子相连，因为戊糖与碱基连接方式比较特殊，故也称假尿苷，用符号ϕ表示。几种常见核苷结构见图1-1-21。

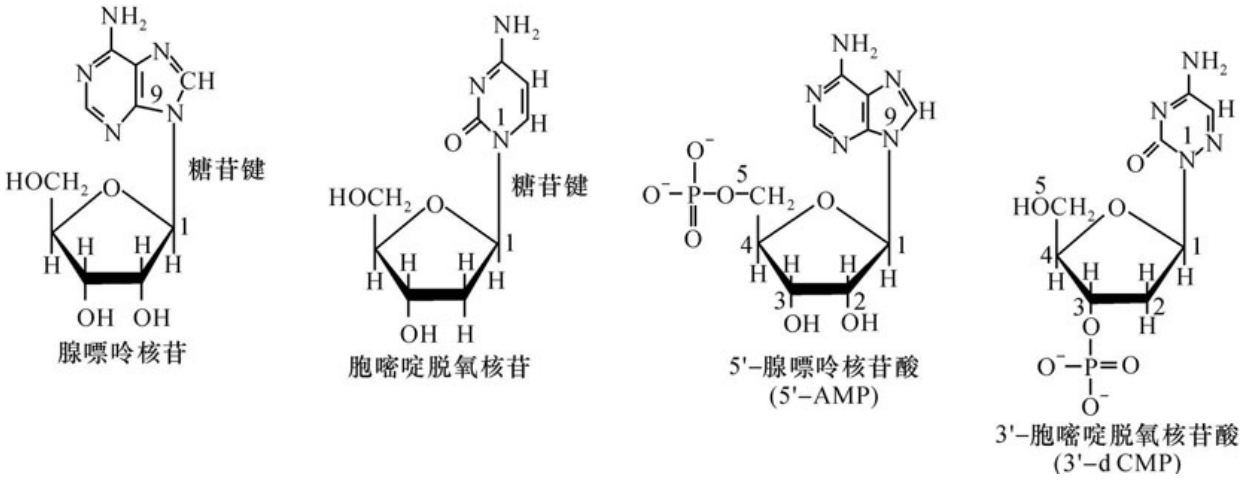


图1-1-21　几种常见核苷和核苷酸结构

（4）核苷酸

核苷酸是核苷的磷酸酯。核糖核苷酸的核糖有3个自由的羟基，因此磷酸酯化分别可以生成2′-、3′-和5′-核苷酸。脱氧核苷酸的糖上只有两个自由羟基，只能生成3′-和5′-脱氧核苷酸。生物体内的游离核苷酸多为5′-核苷酸。

（5）体内重要的游离核苷酸及其衍生物

①15′-核苷二磷酸类及5′-核苷三磷酸类

生物体内一磷酸腺苷（AMP，即腺嘌呤核糖核苷酸）可与一分子磷酸结合成二磷酸腺苷（ADP），ADP再与一分子磷酸结合成三磷酸腺苷（ATP）。ATP的3个磷酸残基之间的磷酸酯键是高能磷酸键，在水解时能放出30.5kJ/mol的热能，一般用“～”符号表示。故ATP可写成A—P～P～P。ATP对生物体化学能的贮存和利用起着关键的作用，其结构见图1-1-22。除ATP外，由其他有机碱构成的核苷酸也有重要的生物功能，如三磷酸鸟苷（GTP）是蛋白质合成过程中所需要的；三磷酸尿苷（UTP）参与糖元合成；三磷酸胞苷（CTP）是脂肪和磷脂合成过程中所必需的；而三磷酸脱氧腺苷（dATP）、三磷酸脱氧鸟苷（dGTP）、三磷酸脱氧胞苷（dCTP）和三磷酸脱氧胸苷（dTTP）则是DNA合成所需要的原材料。

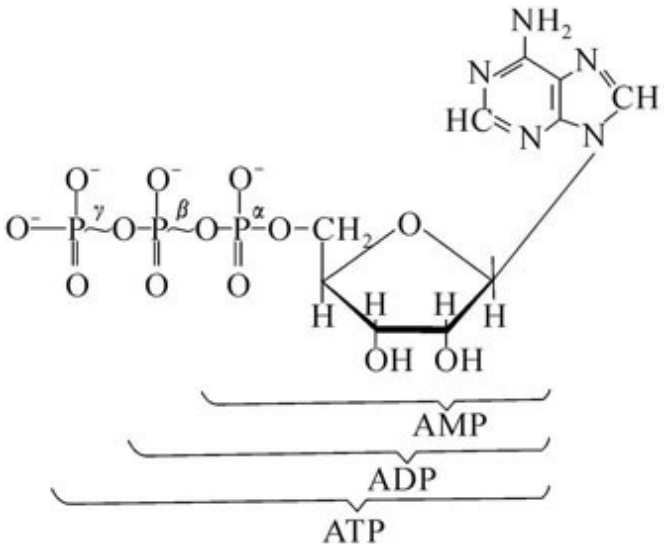


图1-1-22　ATP结构

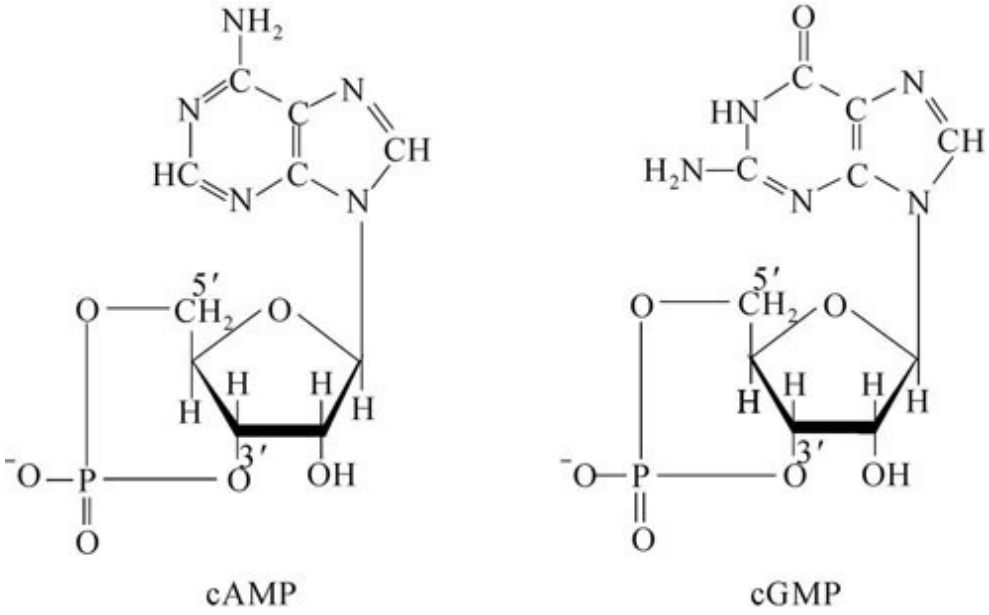


图1-1-23　cAMP与cGMP结构

②环状核苷酸

每一种核苷酸都可以在环化酶的催化下生成环式的一磷酸核苷。其中以对3′，5′-环状腺苷酸（cAMP）的研究最多。ATP能够在腺苷酸环化酶的作用下生成cAMP。cAMP是生物体内的基本调节物质，是传递细胞外信号的信使，相当于某些激素的作用。近来还发现，cGMP也有调节作用，但其作用与cAMP正好相反，两者共同在细胞的生长发育中起调节作用。图1-1-23示cAMP与cGMP分子结构。

③辅酶核苷酸类

包括NAD^+和NADH、$NADP^+$和NADPH。其中，NAD^+又称辅酶Ⅰ，全称：烟酰胺腺嘌呤二核苷酸，NADH称还原型辅酶Ⅰ；$NADP^+$又称辅酶Ⅱ，全称：烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸，NADPH称还原型辅酶Ⅱ。它们是多种脱氢酶的辅酶，起递氢体的作用，能从底物取得电子和氢。NAD^+和$NADP^+$均是以分子中的烟酰胺部分来接受电子的。

2．核酸的结构

（1）DNA的结构

DNA的结构包括平面的一级结构和立体的二、三级结构。

①一级结构

构成DNA的脱氧核苷酸之间，由前一个残基的脱氧核糖3′-羟基与后一个残基脱氧核糖的5′-磷酸形成磷酸酯键，彼此相连而形成多脱氧核苷酸长链。整个长链有两个游离的末端：脱氧核糖5′-OH末端（称5′末端）和脱氧核糖3′-OH末端（称3′末端），长链由5′末端向3′末端延伸，用5′末端→3′末端表示。书写DNA多脱氧核苷酸链通常采用线条式缩写，也可以进一步用文字简化式。

DNA的一级结构就是指多脱氧核苷酸链中脱氧核苷酸的排列顺序。不同的DNA分子具有不同的一级结构，即含有的脱氧核苷酸数目不同，4种碱基的比例不同，排列顺序也不同。

②二级结构

根据Chargaff发现的A＝T，G＝C的碱基组成规律（即Chargaff规则），以及Wilkins和Franklin的DNA晶体的X光衍射实验数据，1953年Watson和Crick提出了DNA的双螺旋结构模型，具体结构见图1-1-24。该模型认为：a．DNA分子由两条多脱氧核苷酸链反向平行（一条链是3′→5′，另一条链是5′→3′），围绕着同一个轴，右手盘旋成一个右手平行螺旋结构，螺旋直径为20nm；b．磷酸和脱氧核糖以磷酸酯键的形式交替连接，排列在双螺旋结构的外侧，构成DNA分子的基本骨架；c．碱基排列在内侧，按A与T，C与G配对，其中A—T对有2个氢键，C—G对有3个氢键，碱基对平面与纵轴垂直，每个碱基对间相隔0.34nm，旋转方向相差36°，因此绕中心轴每旋转一圈有10个核苷酸，每隔3.4nm重复出现同一结构；d．螺旋表面有一条大沟和一条小沟，这两条沟对DNA和蛋白质的相互识别很重要。

DNA双螺旋结构很稳定，有3种化学键参与维持：互补碱基之间的氢键、碱基对之间的碱基堆积力和主链上带负电的磷酸根与阳离子之间的离子键，其中碱基堆积力起主要作用。

进一步研究发现，在不同湿度条件下，含不同盐离子的DNA结晶，其X衍射图谱也不同，说明有不同的双螺旋构象。据此，又将DNA

分成A型、B型、C型、D型和Z型等多种构象。Watson和Crick将相对湿度为92%的DNA钠盐所得到的X衍射图定为B型双螺旋结构，细胞内的DNA与其非常相似。相对湿度为75%的DNA钠盐结构有所不同，为A型。A型DNA与RNA分子中的双螺旋区以及DNA-RNA杂交分子在盐溶液中的构象很接近，因此推测在转录时DNA分子发生了B型→A型的转变。左旋DNA又称Z型DNA，这种构象外形虽也是双螺旋，却是左手螺旋（其他的A型、B型、C型、D型皆为右手螺旋），其表面只有一条较明显的大沟或小沟。现已证明，天然DNA的绝大部分区域是B型DNA，但局部区域由于碱基的特殊组成和排列，可以是Z型，而且A型与Z型之间可以相互转化。

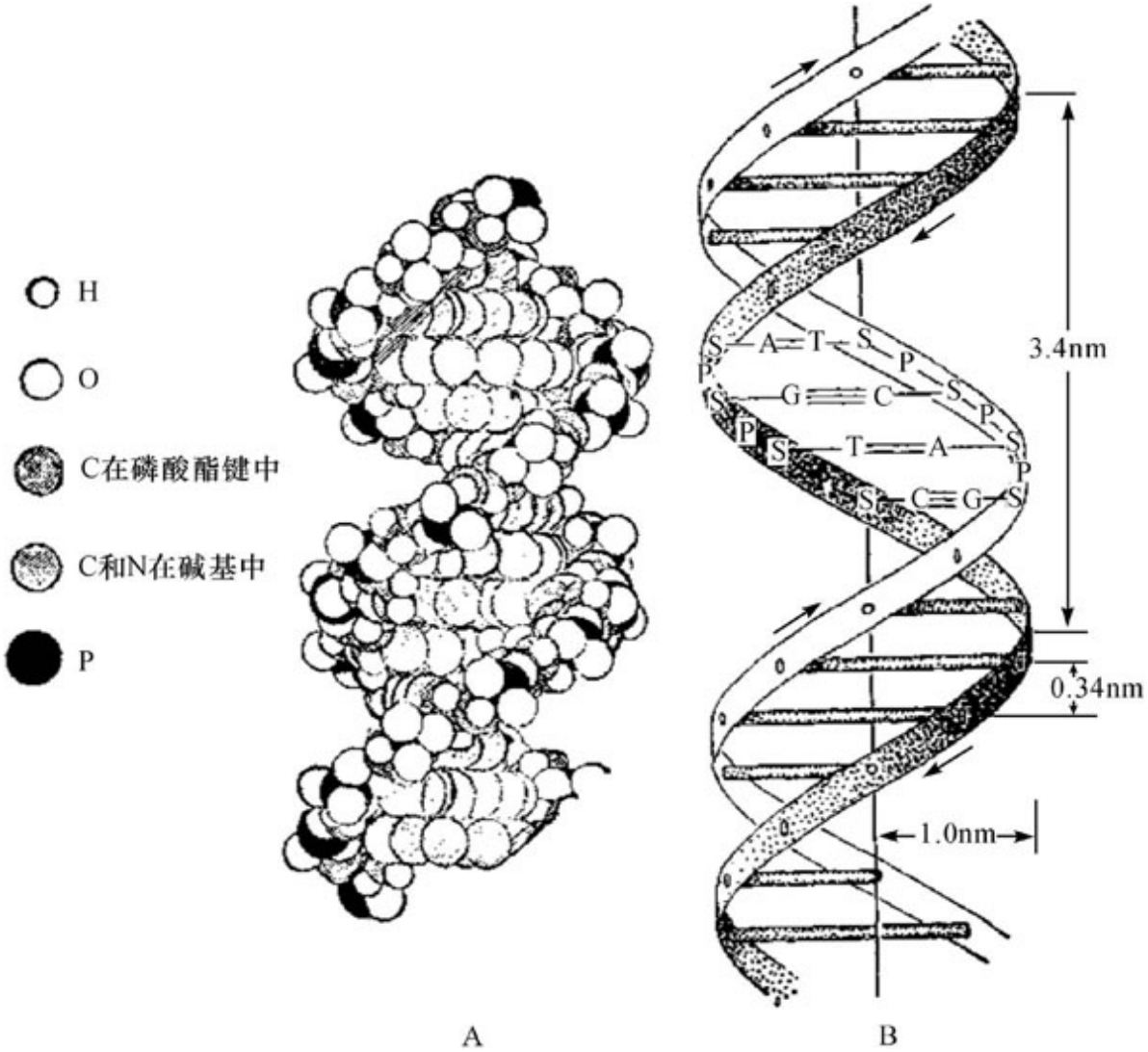


图1-1-24　DNA分子双螺旋结构模型（A）及其图解（B）

③三级结构

DNA的三级结构是指双螺旋DNA的扭曲或再螺旋。超螺旋是DNA三级结构的基本形式。绝大多数原核生物以及线粒体和叶绿体的DNA是共价环双链DNA，这种环状双螺旋DNA分子，如果通过细胞内的拓扑异构酶的作用，即可在环形分子的内部引起张力，这种新产生的张力不能释放到分子外部，而只能在DNA分子内部促使原子的位置重排，造成双螺旋的再螺旋，即产生形状类似麻花的超螺旋结构。如果引进张力的方向与原先右手螺旋的方向相同，则超螺旋的螺旋方向是左手螺旋，称为正超螺旋。反之，则为负超螺旋。生物体内天然存在的环形DNA分子，均以负超螺旋形式存在，比松弛DNA更紧密。

真核细胞染色质和有些病毒DNA是双螺旋线形分子，当线形DNA分子的两端均固定时也可形成超螺旋结构。

（2）RNA的结构

RNA主要有3大类，分别是核糖体RNA（rRNA），占RNA总数的80%以上，是核糖体的主要成分；转运RNA（tRNA），占总数的15%，在蛋白质的合成中负责搬运氨基酸；信使RNA（mRNA），占总数5%，是合成蛋白质的模板。不同种类的RNA结构各不相同，为了表述方便，将mRNA作为一级结构的例子，tRNA、rRNA作为二级结构的例子，三级结构则介绍最简单的tRNA。

①一级结构

RNA分子的一级结构是一条线形的多核苷酸链，由4种核苷酸以磷酸酯键形式连接而成。RNA的一级结构是指RNA链上的核苷酸排列顺序以及各功能部位的排列顺序。

mRNA是以DNA为模板转录产生的，一般原核mRNA为直接转录产生，而真核mRNA首先形成的是分子大小极不均一的、无生物活性的前体RNA（hnRNA），再经过加工成为成熟的mRNA。

原核mRNA一般为多顺反子，即一条mRNA链含有指导合成几种蛋白质的信息，它的5′末端和3′末端无特殊结构。在分子内部，一个顺反子的编码区，是从起始密码子AUG开始，到终止密码子UAG为止，各顺反子的编码区之间，以及5′末端第一个顺反子的编码区之前，3′末端最后一个顺反子编码区之后，都含有一段非编码区。

真核mRNA一般为单顺反子，一条mRNA只翻译产生一种多肽链。真核细胞成熟mRNA分子3′末端有150～200个腺苷酸（A）顺序，即多聚腺苷酸（polyA）尾巴，它的作用可能是使mRNA分子穿过核膜进入细胞质，并且根据被3′-核酸外切酶切割的速度来决定mRNA的寿命。5′末端是一个甲基化的鸟苷酸，即G-帽。它除保护mRNA的5′末端不被

5′-核酸外切酶切割之外，还使mRNA分子识别核糖体，和核糖体结合，进行蛋白质合成。

②二级结构

RNA的二级结构是指单链RNA自身回折，链内的互补碱基对形成的局部双螺旋区与非配对顺序形成的突环相间分布的花形结构。RNA分子中的双螺旋构象与A型DNA类似，一般双螺旋区约占分子碱基数量的40%～70%。

tRNA的二级结构是三叶草型的，见图1-1-25，一般由4臂4环组成（分子中由A-U、C-G碱基对构成的双螺旋区叫臂，不能配对仍显单链的部分叫环）。4个环分别是二氢尿嘧啶环（D环）、反密码环、TΨC环和额外环。4个臂分别为氨基酸接受臂、二氢尿嘧啶臂（D臂）、反密码臂和TΨC臂。不同的tRNA具有不同大小的额外环，所以额外环是tRNA分类的重要指标。在氨基酸接受臂，3′-OH端有一个单链区NCCA-3′-OH，在酶的作用下，活化了的氨基酸连接在tRNA分子末端腺苷3′-OH上。在反密码环上，其中有3个碱基代表着某种氨基酸的反密码子，正好与mRNA配对。

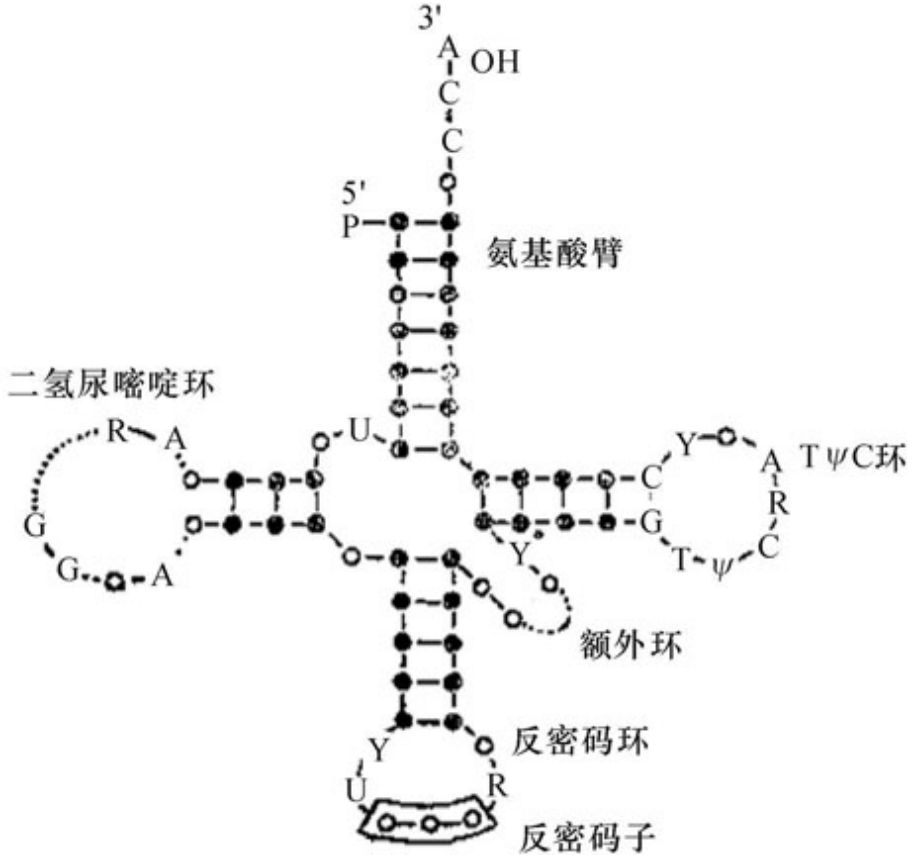


图1-1-25　tRNA的二级结构（三叶草形）

rRNA与多种蛋白质一起组装成核糖体，是构成核糖体的骨架。原核生物体中，rRNA有3类：5S rRNA、16S rRNA和23S rRNA；真核生物核糖体中rRNA有4类：5S rRNA、5.8S rRNA、18S rRNA和28S rRNA。许多rRNA的一级和二级结构均已阐明。

③三级结构

在RNA二级结构的基础上，进一步回折扭曲，以使分子内部的自由能达到最小值。在二级结构突环上未配对的碱基，由于RNA链的再度扭曲而与另一突环上的未配对碱基相遇，形成新的氢键，从而构成RNA的三级结构。tRNA的二级结构为三叶草型，在此基础上，形成的三级结构为倒L型，见图1-1-26所示。倒L型的三级结构是tRNA发挥生物学功能的基础。

3．核酸的性质

（1）一般理化性质

核酸既有磷酸基，又有碱性基团，是两性电解质，因磷酸的酸性强，通常表现为酸性。DNA为白色纤维状固体，RNA为白色粉末，都微溶于水，不溶于一般有机溶剂，因此常用乙醇从溶液中沉淀核酸。D-核糖与浓盐酸和苔黑酚（甲基间苯二酚）共热显绿色；D-2-脱氧核糖与酸和二苯胺共热显蓝紫色。可利用这两种糖的特殊颜色反应区分DNA和RNA。

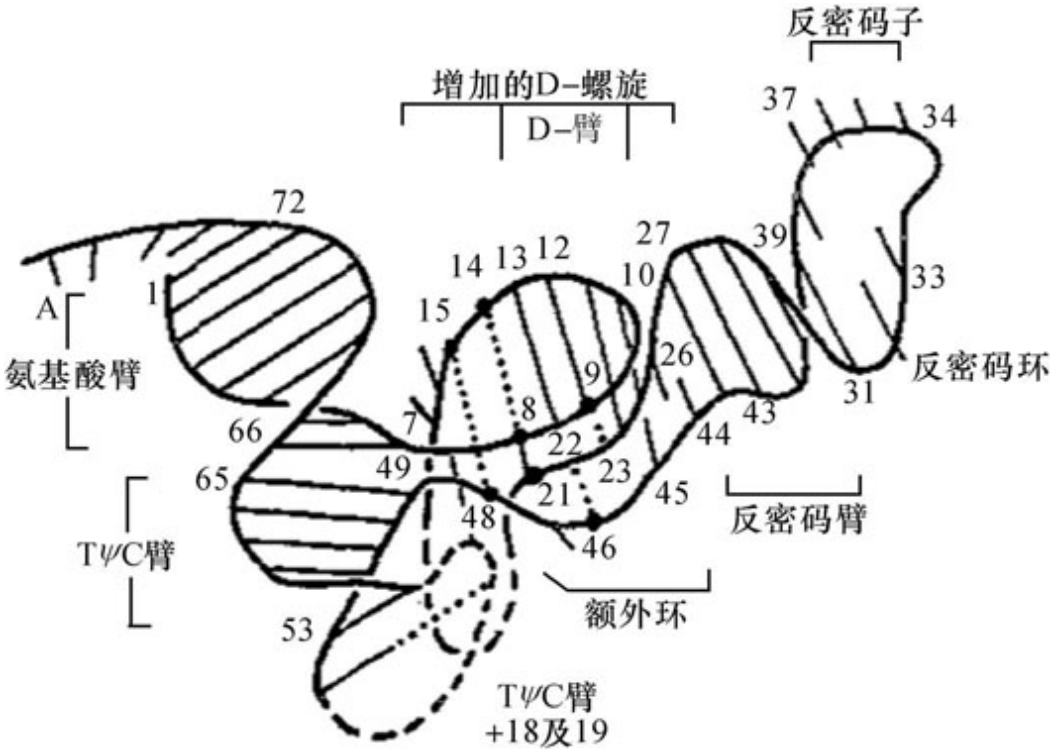


图1-1-26　酵母苯丙氨酸tRNA的三级结构

（2）紫外吸收

核酸中的嘌呤和嘧啶环的共轭体系能强烈吸收260～290nm波段的紫外光，最大吸收值在260nm。利用这一特性可以对核酸进行定性和定量测定。纯核酸在变性时，吸收值显著升高，此为增色效应。在一定条件下，变性的核酸可以复性，复性后吸收值又回复至原来水平，此为减色效应。

（3）变性、复性及分子杂交

①变性

核酸的变性指双螺旋区氢键断裂，空间结构破坏，形成单链无规则线团状结构的过程。变性只涉及次级键的变化，而不涉及磷酸酯键的断裂，故一级结构没有破坏（若磷酸酯键断裂，则称为核酸降解或水解）。核酸变性后，紫外吸收值明显升高，黏度下降，浮力密度升高，生物功能部分或全部丧失。引起核酸变性的因素很多，如温度、有机溶剂、酸碱度、尿素、酰胺等。DNA热变性是爆发式的，即在很窄的温度范围内发生。通常将热变性温度称为熔点或解链温度，用T_m表示。DNA的解链温度T_m是指增色效应达到最高值一半时的温度，即50%DNA变性时的温度。T_m值的大小与碱基组成有关，因为G—C是3个氢键，故G—C对占DNA碱基对的比例越高，T_m值也越大。变性过程可见图1-1-27。

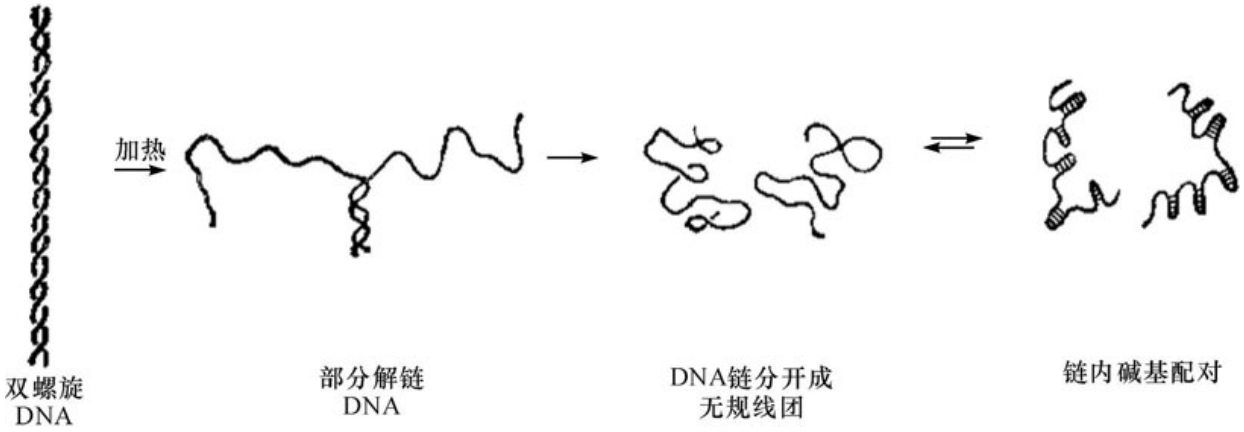


图1-1-27　DNA的变性过程

②复性

与蛋白质的变性不同（蛋白质变性不可复性），变性DNA在适当条件下，又可使两条分开的链重新缔合成双螺旋的结构，称为复性。

复性的DNA生物活性可以得到部分恢复。若将热变性的DNA缓慢冷却，则氢键又可重新生成，DNA实现复性，故DNA复性又称为退火。DNA片段越大，复性越慢。DNA浓度越大，复性越快。若将热变性的DNA骤然冷却，则不能复性，仍为分离的单链结构，常用此法来获得DNA的单链。

③分子杂交

在退火条件下，不同来源的DNA分子互补区形成双链，或者DNA单链和RNA链的互补区形成DNA-RNA杂交双链，此过程称为分子杂交。核酸的杂交在分子生物学和分子遗传学中应用极广。在杂交的分子中，互补配对的区称为杂合区（或杂交区），没有配对的区称为游离区。关于分子杂交的具体应用，将在生物技术章节里详细介绍。

（七）维生素

凡是生物生长需要，但不能自己合成或合成很少，必须从外界摄取的极少量的有机物质，均属维生素，又称维他命。维生素不是供能的物质，它们一般都是辅酶分子或辅酶分子的一部分。

动物和人体对维生素的需要量非常之少，因而很难确定各种维生素的最低需要量，对维生素的作用机理我们也知道的很少。但如果缺乏某种维生素，往往会患相应维生素的缺乏症。

维生素种类多，化学结构差别大，通常按其溶解性质不同，分为水溶性和脂溶性两大类。脂溶性的有维生素A、D、E、K等，水溶性的有维生素B族（包括B_1、B_2、PP、B_6、B_{12}、泛酸、生物素、叶酸等）和维生素C等。

1．水溶性维生素

（1）维生素C

维生素C呈酸性，由于能防治坏血病，故又称抗坏血酸，是一种分子最简单的维生素。多数动植物都能合成维生素C，但人、猴和豚鼠在肝脏内缺少一个古洛内酯氧化酶，无法合成，故必须从食物中获得，否则会患坏血病，表现为：毛细血管脆弱，皮肤出现小血斑，牙龈发炎出血，牙齿动摇等。维生素C在食物中含量较多，但若食物烹饪不当，则可使维生素C破坏殆尽。

（2）维生素B族

①维生素B_1

维生素B_1是大多数脊椎动物和某些微生物所必需的B族维生素。人缺少B_1，就要发生脚气病（脚气与脚气病不同，脚气为真菌感染引起）；鸟类缺少B_1，就要发生多发性神经炎。在生活细胞中，维生素

B_1以硫胺素焦磷酸的形式存在。硫胺素焦磷酸是丙酮酸脱羧酶（糖代谢中的一种酶，可使丙酮酸脱羧，产生二氧化碳和乙醛）的辅酶，故又称辅羧酶。

②维生素B_2

维生素B_2又称核黄素。细胞呼吸过程中的辅酶FMN和FAD都是核黄素类化合物。FMN是电子传递链中氢的载体之一。植物细胞都能合成核黄素，高等动物不能自己合成，必须从食物中获得。

③烟酰胺

烟酰酰胺是NAD和NADP的主要成分。烟酰胺之得名是因为烟酸是烟草尼古丁的主要成分。植物和多种动物都能利用蛋白质中的色氨酸等氨基酸合成烟酸。但如食物中缺少蛋白质，失去了合成烟酸的原料，烟酸缺乏症（如厚皮症）就可能发生。

④泛酸

泛酸是辅酶A的主要成分，辅酶A则是与乙酰结合生成乙酰辅酶A（CoA）进入三羧酸循环的。植物和细菌都能合成泛酸，脊椎动物则需从食物中获得。

⑤维生素B

维生素B_6包括吡哆醛和吡哆胺。它的磷酸盐是转氨酶的辅酶。

⑥维生素B_{12}

维生素B_{12}即钴胺素。含钴，它的作用与红细胞的形成有关。恶性贫血的病因就是对维生素B_{12}的吸收或利用出现障碍。动植物都不能合成维生素B_{12}，只有某些微生物可以合成。人和哺乳动物都是依靠消化道中的微生物（如大肠杆菌等）来合成维生素B_{12}的。肠道菌群可以合成大量动物所需的维生素，如维生素B_{12}、烟酸、泛酸、叶酸、维生素E，一旦菌群失调，往往会引起持续的低烧。

⑦叶酸

叶酸是植物细胞中普遍存在的一种B族维生素。由于最早是在菠菜叶中发现的，故称叶酸。叶酸能促进动物红细胞生长发育，并促进某些核苷酸的合成。所以，叶酸对于细胞分裂的正常进行是必需的。缺少了叶酸，动物就可能贫血，并且不能正常生长、发育。

2．脂溶性维生素

（1）维生素A

维生素A即视黄醇。缺乏时，眼、皮肤、呼吸、消化及泌尿、生殖系统的上皮细胞变硬、角质化、抗感染的能力降低。各种腺体也因为

上皮细胞的不正常而萎缩。骨骼的生长也可因维生素A的缺乏而受到阻碍。最显著的维生素A缺乏症发生在视网膜。在幼儿和少年，维生素A缺乏可出现干眼症，继续发展可导致全盲。在成人，维生素A缺乏时易出现夜盲。维生素A是视网膜中视杆细胞的感光物质，即视紫红质的主要成分。当维生素A缺乏时，视紫红质在光照时不能发生正常反应，使视杆细胞失去了感光的能力，而正常的视杆细胞则能够感受夜间昏暗弱光。

蔬菜、水果，特别是胡萝卜中含有类胡萝卜素类的物质，其中有几种胡萝卜素在人体内能转化成维生素A。鱼肝油中维生素A的含量特别高。但若服用过多，则会使骨骼变脆、易折。

（2）维生素D

维生素D是类固醇物质，有多种形式，最重要的是维生素D_2（麦角钙化固醇）。各种维生素D都有促进小肠吸收Ca^{2+}的功能。儿童食物中如缺乏维生素D就要患佝偻病，出现骨骼畸形、鸡胸等。蛋黄、鱼油中富含维生素D。紫外光照射能使皮肤中的固醇类物质转变为维生素D，故热带人几乎没有佝偻病。

（3）维生素E

维生素E最早是在植物油中发现的，又称生育酚。与动物的生育有关。若啮齿动物体内缺乏维生素E，除引起不育外，还可使肌肉发育不良，出现萎缩、衰亡现象。维生素E还有抗氧化功能，能防止不饱和脂肪酸的自身氧化，因而有保护生物膜的功能。

（4）维生素K

维生素K对正常的血液凝结有重要作用。缺乏维生素K可出现血凝缓慢，甚至可出现大出血。通常，人的肠道菌群能合成维生素K，足够人体需求。

各种维生素的具体情况可参见表1-1-3。

表1-1-3　维生素

维生素	缺乏症	所　在	功　能
水溶性：			
B_1（硫胺素）	脚气病，多发性神经炎	糙米、粗面粉、酵母、肝、猪肉、水果类	丙酮酸脱羧酶的辅酶前体
B_2（核黄素）	角膜充血、结膜炎、视觉障碍、舌唇溃疡	乳类食物、蛋、酵母、麦芽、叶类蔬菜	FAD 和 FMN 的组成部分
B_6（吡哆醛和吡哆胺）	搐搦、皮炎、抗体系统损伤	肉、蛋、肝、新鲜蔬菜、豆类	转氨酸的辅酶
泛酸	肾上腺皮质机能障碍，关节炎，抗体系统损伤	新鲜蔬菜、全谷粒等	辅酶 A 的成分
生物素	动物皮炎及结膜炎（人无明显症状）	多种食物，如肝、酵母、新鲜蔬菜等	脂肪和糖元合成、氨基酸代谢的辅酶
烟酰胺	厚皮症（皮炎、腹痛、麻木、精神障碍）	肉、酵母、全麦	NAD、NADP 的组成部分
叶酸	贫血、抗体系统损伤、生长停滞	叶状蔬菜、肝	核酸的氨基酸代谢的辅酶
B_{12}（钴胺素）	恶性贫血	肝、肉类	核酸代谢的辅酶，促红细胞成熟

续表

维生素	缺乏症	所　在	功　能
C（抗坏血酸）	坏血症（牙龈出血、齿松、贫血、关节肿痛、消瘦、憔悴）	柑橘类、番茄，其他水果	胶原纤维合成，保持结缔组织基质
脂溶性：			
A（视黄醇）	皮肤、上皮角质化、眼组织角质化导致干眼症或全盲、夜盲	蔬菜、水果、胡萝卜、蛋黄、鱼肝油	视紫红质主要成分，保持上皮组织健康
D（钙化醇）	软骨症	卵黄、乳、鱼肝油	骨骼生长，促进 Ca 的吸收
E（生育酚）	肌肉和神经机能失常、红细胞破坏导致贫血，雄性不育	植物油、麦芽、绿色蔬菜、肉类、卵等各种动植物性食物	抗氧化，防止细胞膜损伤
K（叶绿醌）	出血、血凝缓慢	绿色蔬菜	促血液凝结

【例题解析】

例1　淀粉和纤维素都是由葡萄糖分子结合在一起而组成的。在人体中淀粉通过酶促过程被水解，但纤维素不能被水解，其原因是（　　）

A．纤维素中葡萄糖分子的连接方式与淀粉中的不同

B．纤维素水解的最适温度比淀粉高得多

C．水解纤维素的最适pH与水解淀粉不一样

D．人体的消化道不够长

解析　淀粉和纤维素都是植物多糖。淀粉由α-D-葡萄糖以α-1，4-糖苷键（支链淀粉分子中除有α-1，4-糖苷键外，还有α-1，6-糖苷键）连接而成，而纤维素则由β-D-葡萄糖以β-1，4-糖苷键连接而成，只有直链，无支链。在生物体内，酶促反应具有专一性。人体消化液中有淀粉酶，而不具有纤维素酶。淀粉酶只能打断淀粉中的α-1，4-糖苷键，而不能打断纤维素中的β-1，4-糖苷键。能够打断β-1，4-糖苷键的酶主要存在于真菌（尤其是霉菌）中。这与是否最适温、最适pH以及消化道的长短均无关系。

答案　A

例2　对哺乳动物而言，下列哪种化合物是必需脂肪酸（　　）（多选题）

A．油酸

B．亚油酸

C．软脂酸

D．亚麻酸

解析　必需脂肪酸是指哺乳动物体内不能自己合成，只能从外界食物中摄入的脂肪酸。根据碳氢链上的饱和程度，可将脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。饱和脂肪酸碳氢链上没有双键，常见如软脂酸、硬脂酸等。不饱和脂肪酸的碳氢链上含有不饱和双键，且数量不等，如油酸含有1个双键，亚油酸含有2个双键，亚麻酸含有3个双键。哺乳动物体内能够合成饱和（如软脂酸、硬脂酸）和单不饱和脂肪酸（含一个双键，如油酸），但不能合成亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等具有2个及以上双键的不饱和脂肪酸，故将亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等称为是必需脂肪酸。

答案　BD

例3　下列何种反应可用来区别蛋白质和氨基酸（　　）

A．双缩脲反应

B．茚三酮反应

C．二硝基氟苯反应

D．黄色反应

E．坂口反应

解析　在有机物的鉴定和区分中，常用各种特定基团参与的某些反应来进行。这些基团包括：α-氨基、α-羧基、α-氨基与α-羧基、R基、肽键等。双缩脲反应的原理是碱性条件下的新制氢氧化铜能与肽键反应，生成紫色络合物。故这一反应通常用于鉴定肽键。肽、蛋白质、缩二脲等因为含有肽键，可以发生双缩脲反应；但氨基酸不含肽键（侧链R基也不含有），故没有此反应。茚三酮能在弱酸性溶液中与α-氨基发生反应，从而引起脱氨和脱羧，最后茚三酮与反应产物——氨和还原茚三酮发生作用，生成紫色物质。天然氨基酸均含α-氨基，可与茚三酮反应（脯氨酸与羟辅氨酸尽管不含α-氨基，但仍可发生茚三酮反应，不同的是产物为黄色化合物）。蛋白质的N端也含有α-氨基，在C端可提供弱酸性条件，故也能发生茚三酮反应。二硝基氟苯反应又称为Sanger反应，也是α-氨基参与的反应，既可以用于氨基酸的α-氨基测定，也可用于鉴定多肽或蛋白质的N末端氨基酸。黄色反应是指与侧链R基上的苯环发生的反应，氨基酸和蛋白质均可能存在侧链苯环。坂口反应指与精氨酸侧链R基发生的呈色反应，蛋白质中的精氨基酸残基也能反应。

答案　A

例4　下列关于构成蛋白质的氨基酸的叙述中，正确的是（　　）（多选题）

A．所有氨基酸均为α-氨基酸

B．除甘氨酸外均为L-氨基酸

C．只含有α-氨基和α-羧基

D．均有极性侧链

E．天冬酰胺和谷氨酰胺为动植物共有的储氮形式

解析　构成蛋白质的氨基酸约为20种（哺乳动物中发现存在21种氨基酸）。在氨基酸的通式中，以α-碳原子为手性中心，连接其上的氨基和羧基分别称α-氨基和α-羧基。侧链R基上也可能连着氨基或羧基。连在侧链第一个碳原子上的称为β-氨基或羧基，以此类推。故氨基酸除了含有α-氨基和α-羧基外，尚有侧链氨基或羧基，如谷氨酸含有γ-羧基，赖氨酸含有ε-氨基。在20种氨基酸中，脯氨酸的手性碳原子上并没有连接游离的α-氨基，其氨基与侧链R基连在一起，故脯氨酸并不是α-氨基酸。除了甘氨酸无手性碳原子外，其余氨基酸均有旋光性，天然氨基酸皆为L-氨基酸。根据氨基酸侧链基团的不同，可分为极性氨基酸和非极性氨基酸两大类，如甘氨酸等皆为非极性氨基酸。天冬氨酸和谷氨酸R基上均有游离的羧基。在氨基酸代谢中，通过脱氨基作用脱下的游离氨基首先与天冬氨酸和谷氨酸R基上的游离羧基反应，

分别生成天冬酰胺和谷氨酰胺，是氨基氮的暂时储存形式，从而避免游离氨对生物体造成的危害。

答案　BE

例5　蛋白质变性和DNA热变性共有的特征是（　　）

A．维持空间结构的氢键被破坏

B．构成一级结构的共价键断裂

C．被降解

D．生物学活性并未丧失

E．在一定的条件下，均可复性

解析　蛋白质和DNA均为高分子化合物，具有一级结构和空间结构。一级结构又称平面结构，由基本组成单位按一定的顺序以共价键的方式连接而成，在蛋白质中，为肽键；DNA中为磷酸酯键。这些共价键键能很大，一般理化条件下不能断裂，只能用相应的酶来处理，如肽酶和限制性核酸内切酶等。空间结构由一些次级键，如氢键、疏水键等维持，键能相对较小，易破坏。蛋白质和DNA的生物学活性是由空间结构来体现的，空间结构一旦失去，生物学活性随之丧失。故变性只是破坏了空间结构，并没有破坏一级结构。降解又称水解，是在相应酶作用下的分解，变性后，仍保留一级结构。热变性后的DNA分子，如果在缓慢降温的条件下，是可以复性的，此为退火；但蛋白质分子不能复性。

答案　A

例6　下列关于核苷酸的叙述中，正确的是（　　）

A．核糖核苷酸与脱氧核苷酸的差异只有戊糖不同

B．ATP失去两个磷酸基以后，即为RNA的基本组成单位之一

C．核苷酸在生物体内只负责连接成多核苷酸链

D．在真核生物中，mRNA的头部5′末端需要形成保护性的多聚腺苷酸

解析　核糖核苷酸与脱氧核苷酸分别是RNA和DNA的基本单位，两者主要有两方面的差异，其一是戊糖不同，前者为核糖，后者为脱氧核糖；其二是碱基略有差异，前者有U，后者有T。ATP为腺苷三磷酸，失去两个高能磷酸键后，为AMP（腺苷一磷酸），也就是RNA的基本组成单位之一的腺嘌呤核糖核苷酸。除了以磷酸酯键的方式连接成多核苷酸链外，核苷酸还可以在生物体内形成环核苷酸，对生命活动起调节作用，比如cAMP等。真核生物mRNA在加工、修饰后，其头部5′末端是一个甲基化的鸟苷酸，即G-帽；3′末端才是多聚腺苷酸（polyA）尾巴。

答案　B

例7　关于生物体内RNA与DNA的比较，正确的是（　　）

A．RNA是以DNA为模板转录而成的，故RNA的长度与DNA单链等长

B．DNA和RNA中均含有多种稀有碱基，尤其是mRNA中

C．RNA也可以形成局部的双链结构

D．与DNA一样，RNA也有空间结构，典型的tRNA三级结构为三叶草形

解析　以DNA为模板，转录成RNA，但转录过程中，并不是以DNA的整条链作为模板，而是以基因作为转录的单位来进行的，一条DNA链上有若干基因，故DNA长度远远长于RNA。稀有碱基主要存在于RNA中，尤其是tRNA中的含量很高。RNA长链在局部自身碱基间也可以配对，从而形成局部双链，构成RNA的二级结构。典型的tRNA三级结构为倒L型，其二级结构才是三叶草形。

答案　C

例8　DNA热变性特征是（　　）

A．碱基间的磷酸酯键断裂

B．一种3股螺旋的形成

C．黏度增高

D．熔解温度因G—C对的含量而异

E．在260nm处的光吸收降低

解析　DNA变性时，碱基对间的氢键断裂，双链分开形成单链，但连接多核苷酸链的磷酸酯键并没有断裂。变性后DNA溶液的黏度降低，浮力密度增加，旋光偏振光改变，在260nm处的光吸收增加。变性后的单链可以和其他来源的互补核苷酸链在退火条件下形成杂合双螺旋结构，但不会形成3股螺旋。由于G—C对含3个氢键，而A—T对仅有2个氢键，故G—C对含量高，则DNA双螺旋结构越稳定，变性时的熔解温度越高。

答案　D

【针对训练】

1．用^{14}C测定年代的原理是（　　）

A．$^{14}C/^{12}C$在一个标本中是恒定的，这个比值反映了当时大气中的比值

B．$^{14}C/^{12}C$在一个标本中随时间增加

C．$^{14}C/^{12}C$在一个标本中随时间恒定减少

D．^{14}C可以以恒定的速率衰变成^{12}C

2．水的哪种特性最有利于体内的生物化学反应（　　）

A．水的流动性大

B．水分子极性强

C．水分子比热大

D．水有润滑作用

3．生命离不开水的环境，是因为（　　）（多选题）

A．水分子高的内聚作用

B．水分子的极性特点

C．其固体比重小于液体比重的特点

D．水分子的高比热值

4．对于维持细胞内的酸碱平衡、调节渗透压、维持细胞的形态和功能有主要作用的物质是（　　）

A．蛋白质

B．无机盐

C．脂肪

D．水（结合水）

5．某小孩儿喜欢晒太阳，但有时却发生抽搐，那么应建议他服用哪种物质防止抽搐发生（　　）

A．维生素A

B．生理盐水

C．糖水

D．钙片

6．构成细胞的化学元素中（　　）

A．以C为核心，因为C元素含量最多

B．以H为基础，因为H是代谢最活跃元素

C．C、H、O存在于所有有机物中

D．C、H、O、N、P只存在于核酸中

7．关于生物大分子，以下哪一项叙述是不正确的（　　）

A．不同生物体的有机大分子类型大体相同

B．组成细菌中蛋白质的氨基酸种类与高等生物的不同

C．碳原子的不同排列方式和长短是生物大分子多样性的基础

D．生物大分子均是由单体小分子脱水缩合而成

8．碳水化合物被称为人体营养金字塔的塔基，是因为（　　）（多选题）

A．生命物质主体均为碳骨架

B．葡萄糖是体内物质与能量代谢的直接供体
C．葡萄糖是血红细胞能量来源的唯一供体
D．葡萄糖是大脑正常供能的唯一供体
9．预测细菌最难以生存的葡萄糖溶液的浓度是（　　）
A．5%
B．10%
C．30%
D．50%
10．下列有机物中，体外燃烧和体内氧化产热量相等而耗氧量较小的是（　　）
A．糖类
B．脂肪
C．蛋白质
D．脂肪和蛋白质
11．下列哪一种物质能与斐林试剂共热生成砖红色沉淀（　　）
A．蔗糖
B．纤维素
C．淀粉
D．果糖
12．蔗糖在常温下很稳定，这是因为（　　）
A．蔗糖需要较高的活化能
B．蔗糖是天然防腐剂
C．蔗糖处于一种低能级状态
D．葡萄糖不易同其他化合物反应
13．淀粉同纤维素的差别是（　　）（多选题）
A．淀粉由葡萄糖和果糖组成，纤维素仅含葡萄糖
B．淀粉可能分支，纤维素没有分支
C．淀粉比较稳定
D．淀粉可以被降解，纤维素不能被降解
E．淀粉溶于水，纤维素不溶于水
14．下列多糖中，不能与碘液发生呈色反应的是（　　）
A．糖元
B．纤维素
C．直链淀粉
D．支链淀粉
15．下列关于纤维素的说法，正确的是（　　）（多选题）

A．不存在于细菌细胞壁中
B．不存在于人的膳食成分中
C．水解终产物是葡萄糖
D．彻底氧化产物是二氧化碳和水
16．生物界中数量最多的糖类物质是（　　）
A．葡萄糖
B．淀粉
C．糖元
D．纤维素
17．在进行琼脂糖凝胶电泳前，用什么溶液溶解琼脂糖（　　）
A．蒸馏水
B．自来水
C．缓冲液
D．蔗糖溶液
18．脂肪被作为动物体的能量储备是因为（　　）（多选题）
A．完全的还原态
B．强疏水性
C．在自然界含量丰富
D．易于消化
19．含不饱和程度最高的脂肪酸是（　　）
A．牛油
B．花生油
C．冷水海鱼油
D．热带海鱼油
20．每克完全氧化能产生最多ATP的物质是（　　）
A．油脂
B．葡萄糖
C．蛋白质
D．核酸
21．纤瘦的人的体内，含量最少的脂质是（　　）
A．磷脂
B．胆固醇
C．性激素
D．脂肪
22．在生物体内，下列物质中还原程度最高的是（　　）
A．葡萄糖

B．丙酮酸
C．脂肪酸
D．氨基酸
23．构成跨膜区段的蛋白质的氨基酸大部分是（　　）
A．碱性氨基酸
B．酸性氨基酸
C．疏水性氨基酸
24．大多数蛋白质易溶于水。基于这一点，你认为像亮氨酸这样的疏水氨基酸最有可能存在于天然蛋白质的哪个部位（　　）
A．内部
B．表面
C．肽链的末端
D．完全随机存在
25．蛋白质分子中，下列哪一种元素的含量最稳定（　　）
A．C
B．H
C．O
D．N
26．下列哪种氨基酸不是人体必需氨基酸（　　）
A．赖氨酸
B．蛋氨酸
C．谷氨酸
D．色氨酸
E．苏氨酸
27．天然蛋白质中不存在的氨基酸是（　　）（多选题）
A．半胱氨酸
B．脯氨酸
C．瓜氨酸
D．丝氨酸
E．鸟氨酸
28．赖氨酸滴定时有3个pK值：pK_1＝2.1，pK_2＝9.0，pK_3＝10.5，则赖氨酸的pI为（　　）
A．4.2
B．5.55
C．6.3
D．9.75

E．10.5

29．下面哪些（种）蛋白质上的氨基酸残基可能被修饰（　　）（多选题）

A．丙氨酸

B．丝氨酸

C．苯丙氨酸

D．甘氨酸

E．赖氨酸

30．组成蛋白质的氨基酸的α-碳原子是不对称的，但哪一种除外（　　）

A．丙氨酸

B．组氨酸

C．甘氨酸

D．谷氨酸

31．与茚三酮反应呈黄色的氨基酸是（　　）

A．苯丙氨酸

B．酪氨酸

C．色氨酸

D．脯氨酸

32．氨基酸在等电点时具有的特点是（　　）

A．不具正电荷

B．不具负电荷

C．溶解度最大

D．在电场中不泳动

33．氨基酸与蛋白质共有的特性是（　　）

A．胶体性质

B．沉淀反应

C．两性性质

D．双缩脲反应

34．下列不属于蛋白质分子的二级结构的是（　　）

A．α-螺旋

B．β-折叠

C．β-转角

D．氨基酸序列

35．蛋白质分子中某些氨基酸或某些特殊结构与某些试剂反应能产生一定的颜色，下列反应中在两液层间出现紫色环的是（　　）

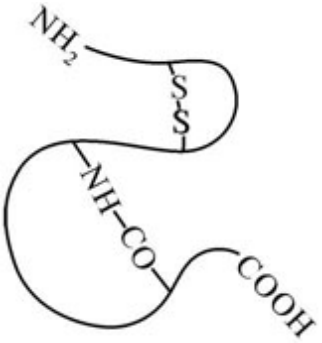
A．双缩脲反应
B．乙醛酸反应
C．酚试剂反应
D．米伦氏反应
36．Western印迹技术用于检测（　　）
A．DNA
B．RNA
C．蛋白质
D．多糖
37．分子识别常表现为受体与配体的相互作用，受体是指位于细胞膜上、细胞质或细胞核中能与来自细胞外的生物活性分子专一性结合，并将其带来的信息传递给效应器，从而引起相应的生物学效应的大分子。这些大分子大多是（　　）
A．蛋白质
B．核酸
C．糖类
D．脂质
38．已在哺乳动物体内发现的蛋白质氨基酸共有（　　）
A．20种
B．21种
C．22种
D．22种以上
39．主要成分是蛋白质的有（　　）（多选题）
A．毛发
B．指甲
C．蜘蛛丝
D．棉花
40．“n个平均相对分子质量为x的氨基酸构成的蛋白质，其相对分子质量约等于nx。”用这一方法计算简单蛋白质的相对分子质量，其结果与实际结果相比（　　）
A．基本正确
B．误差为±10%
C．大10%左右
D．小10%左右
41．右图表示一个由153个氨基酸残基构成的蛋白质分子。下列叙述中正确的是（　　）

A．该分子中含有152个肽键

B．参与构成该分子的氨基酸中至少有1个酸性氨基酸和1个碱性氨基酸

C．该分子中有1个氨基酸残基含硫

D．该分子彻底水解将产生153种氨基酸



42．下列有关溶液中蛋白质的带电情况的描述，哪一个正确（　　）

A．只与酸性氨基酸的数量和碱性氨基酸的数量有关

B．只与溶液的pH值有关

C．只与蛋白质的折叠方式和溶液的pH值有关

D．与上述三种因素都有关系

43．关于蛋白质变性特征叙述正确的是（　　）

A．由于一级结构的改变，导致蛋白质活性丧失

B．由于空间结构的改变，导致蛋白质活性丧失

C．由于物理因素的作用，使蛋白质失去必需基团，导致蛋白质活性丧失

D．由于化学因素的作用，使蛋白质失去必需基团，导致蛋白质活性丧失

44．DEAE-纤维素离子交换层析法可用于分离纯化蛋白质，主要是由于（　　）

A．蛋白质的溶解度不同

B．蛋白质与层析介质吸附力不同

C．蛋白质分子能与其对应的配体进行特异性结合

D．蛋白质所带电荷不同

45．测定一个蛋白质相对分子质量时，哪一种方法不常用（　　）

A．超速离心

B．电泳

C．层析
D．X光衍射
46．在碱性条件下与新制氢氧化铜发生双缩脲反应的有（　　）（多选题）
A．球蛋白
B．麦芽糖
C．RNA
D．缩二脲
47．当蛋白质溶液的pH值与蛋白质等电点相同时，蛋白质的（　　）
A．溶解度最大
B．溶解度最小
C．溶解度与溶液pH无关
D．蛋白质变性
48．在pH＝5.12时进行电泳，哪种蛋白质既不向正极移动，也不向负极移动（　　）
A．血红蛋白（pI＝7.07）
B．胸腺组蛋白（pI＝10.8）
C．β-球蛋白（pI＝5.12）
D．血清蛋白（pI＝4.64）
49．在升温使蛋白质变性过程中，以下哪些现象常会出现（　　）（多选题）
A．肽键断裂
B．氢键的断裂
C．溶解度下降
D．相对分子质量减少
E．辅酶脱离
50．使蛋白质变性的物理因素是（　　）
A．加热、X射线照射
B．超声波作用、紫外照射
C．高压、剧烈振荡
D．上述都是变性因素
51．治疗重金属中毒的一种方法是让中毒者（　　）
A．大量服用鸡蛋清
B．大量服用鸡蛋黄
C．大量服用维生素

D．大量喝水

52．在蛋白质变性的时候最不可能被断裂的键是（　　）

A．疏水键

B．氢键

C．二硫键

D．范德华力

53．某种蛋白质的相对分子质量为40000，氨基酸的平均相对分子质量为110，假如该分子的构象为n螺旋体，则其分子长度约为（　　）

A．54.54nm

B．36.36nm

C．12.1nm

D．10.1nm

54．免疫球蛋白是一种（　　）

A．铁蛋白

B．糖蛋白

C．核蛋白

D．铜蛋白

55．蛋白质在生物体的生命过程中起着重要的作用。下列关于蛋白质研究的说法中正确的是（　　）（多选题）

A．现代研究发现，所有蛋白质都是在基因控制下合成的酶

B．活性多肽的本质是一定数量的氨基酸通过脱水缩合以肽键相连接形成的活性物质

C．细胞中既有蛋白质合成系统，也有将其分解为几个氨基酸的短肽的蛋白质降解系统

D．蛋白质在消化道中被酶降解为多肽和氨基酸的过程是一种水解过程

56．以下关于蛋白质的叙述中，正确的有（　　）（多选题）

A．蛋白质可以作为能源

B．蛋白质可以转变成脂肪

C．蛋白质只能在消化道内水解

D．蛋白质只能在核糖体上合成

57．研究DNA在细胞中的代谢，常用的同位素标记物为（　　）

A．^{14}C-戊糖

B．^{32}P-磷酸

C．^{15}N-鸟嘌呤

D．^{3}H-胸腺嘧啶

58．组成DNA的核苷酸包括三个部分，以下哪些描述是正确的（　　）（多选题）

A．碱基相同

B．磷酸基团相同

C．脱氧核糖相同

D．以上三种物质都不同

59．稀有核苷酸碱基主要是在下列哪类核酸中发现（　　）

A．rRNA

B．mRNA

C．tRNA

D．核仁DNA

60．tRNA中，假尿嘧啶与核糖以（　　）

A．C—N相连

B．C—C相连

C．N-N相连

D．C-O相连

61．RNA所具有的生物功能包括（　　）（多选题）

A．遗传物质

B．酶

C．蛋白质合成的模板

D．细胞代谢的感应器

E．蛋白质的分泌

62．下列所示细菌DNA含氮碱基的数量比例关系中，正确的有（　　）（多选题）

A．A＝C，T＝G

B．A＝T，C＝G

C．A＋T＝C＋G

D．A＋C＝T＋G

E．（A＋G）/（C＋T）＝1

63．DNA与RNA分类的主要依据是（　　）

A．空间结构的不同

B．所含碱基不同

C．所含戊糖不同

D．在细胞中存在的部位不同

64．Watson-Crick DNA模型的特点是（　　）（多选题）

A．两股螺旋结构
B．两条链走向相同
C．碱基间形成共价键
D．磷酸戊糖骨架位于DNA螺旋外部
65．将DNA双螺旋的两条链维系在一起的化学键是（　　）
A．氢键
B．C＝C双键
C．疏水键
D．磷酸酯键
66．对生物大分子的叙述，正确的是（　　）
A．构成蛋白质的氨基酸绝大多数属于L型
B．肽链二级结构都是α-螺旋体，且右手螺旋较左手螺旋稳定
C．构成核酸的核糖一般没有镜像异构体
D．自然界存在的DNA的螺旋走向都是右手螺旋
67．能形成螺旋的生物分子有（　　）（多选题）
A．DNA
B．RNA
C．蛋白质
D．淀粉
68．不能被水解的生物分子有（　　）（多选题）
A．葡萄糖
B．蔗糖
C．氨基酸
D．ATP
69．生物的种类愈相近，则结构愈相似的成分有（　　）（多选题）
A．DNA
B．蛋白质
C．糖类
D．脂质
E．酶
70．从某种病毒中提取出核酸，经测定，其碱基的组成中A与T含量相等，C与G的含量相等。以下有关这种病毒核酸种类的结论哪个正确（　　）
A．RNA
B．单链DNA

C．双链DNA
D．环状DNA
71．如果有人给你一种单链DNA的样品，你不相信，于是你对样品做了核苷酸组成分析，以下能证明你的样品是单链DNA的数据是（　　）
A．38%A，12%C，12%G，38%U
B．22%A，32%C，17%G，29%U
C．22%A，32%C，17%G，29%T
D．38%A，12%C，12%G，38%T
72．DNA分子一般由成千上万甚至数百万个碱基对组成，基因中核苷酸的专一序列就是一种信息。双链DNA之所以具有较高的熔解温度是由于它含有较多的（　　）
A．A＋G
B．C＋T
C．A＋T
D．C＋G
73．下列有关DNA和mRNA的描述中正确的是（　　）（多选题）
A．mRNA易被水解，DNA则较稳定
B．DNA可以配对形成双链结构，而mRNA则不能
C．在一定条件下，DNA和mRNA都可以形成双链结构
D．细菌的mRNA与其DNA一样稳定
74．关于DNA分子的构象，以下哪些说法是正确的（　　）（多选题）
A．DNA二级结构（双螺旋）主要具有A、B、D、E、Z等构象
B．B型是右手螺旋，其他是左手螺旋
C．活细胞中B型最多，且稳定不变
D．细胞中A、B、Z型等都可能存在，在一定的生理条件下发生部分变构
E．不同的构象转录活性不一样，A型最高
75．在DNA变性过程中，以下哪些现象会出现（　　）（多选题）
A．磷酸酯键的断裂
B．双螺旋之间氢键的断裂
C．黏度下降
D．沉降速度增加

E．紫外吸收增加

76．热变性的DNA分子，在适当条件下可以复性，条件之一是（　　）

A．浓缩

B．加入无机盐

C．骤然冷却

D．缓慢冷却

77．来源于四种细菌的DNA样品的鸟苷酸的比例如下：细菌A：40%；细菌B：35%；细菌C：30%；细菌D：25%。那么，最有可能从温泉（90°C）里分离出来的细菌是（　　）

A．细菌A

B．细菌B

C．细菌C

D．细菌D

78．下列关于核酸的描述中，哪项是不正确的（　　）

A．核酸既有磷酸基团又有碱性基团，所以是两性电解质，因磷酸的酸性强，通常表现为酸性

B．核酸变性后会发生减色效应，而复性时会发生增色效应

C．核酸的最高紫外吸收峰值接近260nm

D．G—C对的含量愈高，介质的离子强度越高，核酸的T_m值就越高

79．能发生热变性而丧失生物功能的分子有（　　）（多选题）

A．蛋白质

B．DNA

C．酶

D．mRNA

80．人体消化道中的大肠杆菌能产生的维生素是（　　）（多选题）

A．维生素A

B．维生素B

C．维生素C

D．维生素D

E．维生素K

81．转氨酶的辅酶是（　　）

A．TPP

B．磷酸吡哆醛

C．生物素
D．核黄素
82．可通过大量服用治疗感冒的维生素是（　　）
A．维生素A
B．维生素B
C．维生素D
D．维生素E
83．一个胆道堵塞的人最容易缺乏的维生素是（　　）
A．维生素B_1
B．维生素B_2
C．维生素C
D．维生素E
84．具有抗氧化功能的维生素有（　　）（多选题）
A．维生素A
B．维生素B
C．维生素C
D．维生素D

【参考答案】

1．C　2．B　3．ABCD　4．B　5．D　6．C　7．B　8．BCD　9．D　10．A　11．D　12．A　13．BE　14．B　15．ACD　16．D　17．C　18．AB　19．C　20．A　21．C　22．C　23．C　24．A　25．D　26．C　27．CE　28．D　29．BE　30．C　31．D　32．D　33．C　34．D　35．B　36．C　37．A　38．B　39．ABC　40．C　41．B　42．D　43．B　44．D　45．D　46．AD　47．B　48．C　49．BCE　50．D　51．A　52．C　53．A　54．B　55．BCD　56．ABD　57．D　58．BC　59．C　60．B　61．ABCDE　62．BDE　63．C　64．AD　65．A　66．A　67．ABCD　68．AC　69．ABE　70．C　71．C　72．D　73．AC　74．AD　75．BCDE　76．D　77．A　78．B　79．AC　80．BE　81．B　82．B　83．D　84．AC

第2讲　细胞的结构

（杭州十四中　方淳）

【知识梳理】

一、真核细胞的结构

（一）细胞膜

任何细胞的表面都有一层极薄的膜包围，借此把细胞内的原生质和外界环境分隔开来，这层膜叫做细胞膜或质膜。

1．细胞膜的基本组成成分

细胞膜主要由脂类和蛋白质组成，此外含有少量的糖类，形成糖脂和糖蛋白。一般来讲，脂类约占50%，蛋白质约占40%，糖类约占1%～10%。实际上它们的比例随着膜种类的不同而有很大的差异。功能多而复杂的膜其蛋白质比例大，相反，膜功能越简单，所含的蛋白质的数量和种类就越少。

（1）膜脂

细胞膜所包含的脂类主要有三种：磷脂、胆固醇和糖脂。所有三种脂类均具有亲水脂性质。它们包括一个亲水的极性头和一个疏水的非极性末端，这种一头亲水一头疏水的分子称为双型性分子或称双亲媒性分子。磷脂在脂类中含量最为丰富，占脂类50%以上。它具有以下主要特征：具有一个极性头和两个由脂肪酸链形成的非极性尾；脂肪酸碳链为偶数；既含饱和脂肪酸，又含不饱和脂肪酸。胆固醇只存在于动物细胞，细菌、蓝藻等原核细胞和植物细胞膜中一般没有胆固醇。胆固醇分子包括三部分：代表极性头部的羟基团，非极性的类固醇环结构（环戊烷多氢菲）和非极性的碳氢尾部。这种化合物对调节膜的流动性，加强膜的稳定性以及降低水溶性物质的通透性有着重要的作用。

（2）膜蛋白

细胞膜中膜蛋白的种类相当多，它们都是球形蛋白，有单体也有聚合体。根据膜蛋白与膜脂的相互作用方式和存在部位，膜蛋白可分为两大基本类型：外在膜蛋白（或称外周膜蛋白）和内在膜蛋白（或称整合膜蛋白）。外在蛋白为水溶性蛋白，靠离子键或其他较弱的键与膜表面的蛋白分子或脂分子结合，只要改变溶液的离子强度或者提高温度，外在蛋白就可从膜上分离下来。内在蛋白以不同程度嵌入脂双层内部，有的横跨全膜，它们的疏水区域与脂双层中脂类分子的疏水尾部相互作用，亲水区域暴露在膜的一侧或两侧表面。内在蛋白与膜脂结合紧密，只有用较为剧烈的方式，如用去垢剂处理，才能分离内在蛋白。

（3）膜糖类

膜结构的糖类主要是与膜脂、膜蛋白以共价键形成的糖脂或糖蛋白。膜糖只存在于质膜的外层，即远离细胞质的一层，与细胞质接触的一层没有糖类。膜糖的成分主要有半乳糖、甘露糖、半乳糖胺、葡萄糖胺、葡萄糖以及唾液酸等。糖链一般都是短而分支的寡糖链。它们与细胞识别有关，也可能有固定膜中的穿膜蛋白质的作用。

2．细胞膜的流动镶嵌模型

膜结构模型迄今为止已提出几十种之多，在已知的模型中，流体镶嵌模型（图1-2-1）得到较广泛的认可。它是由Singer和Nicolson于1972年通过对已有的模型进行修正而提出的。要点为：（1）脂双分子层是细胞膜的主要结构支架，具有极性头部和非极性尾部的磷脂分子以疏水性尾部相对，极性头部朝向水相；（2）膜蛋白为球蛋白，分布于脂双层表面或镶嵌脂分子中，有的甚至横跨整个脂双层；（3）在膜的两侧脂分子的分布、蛋白质分子的分布与性质是不相同的，即具有不对称性；（4）膜结构中蛋白质分子和脂类分子都能运动，具有流动性。

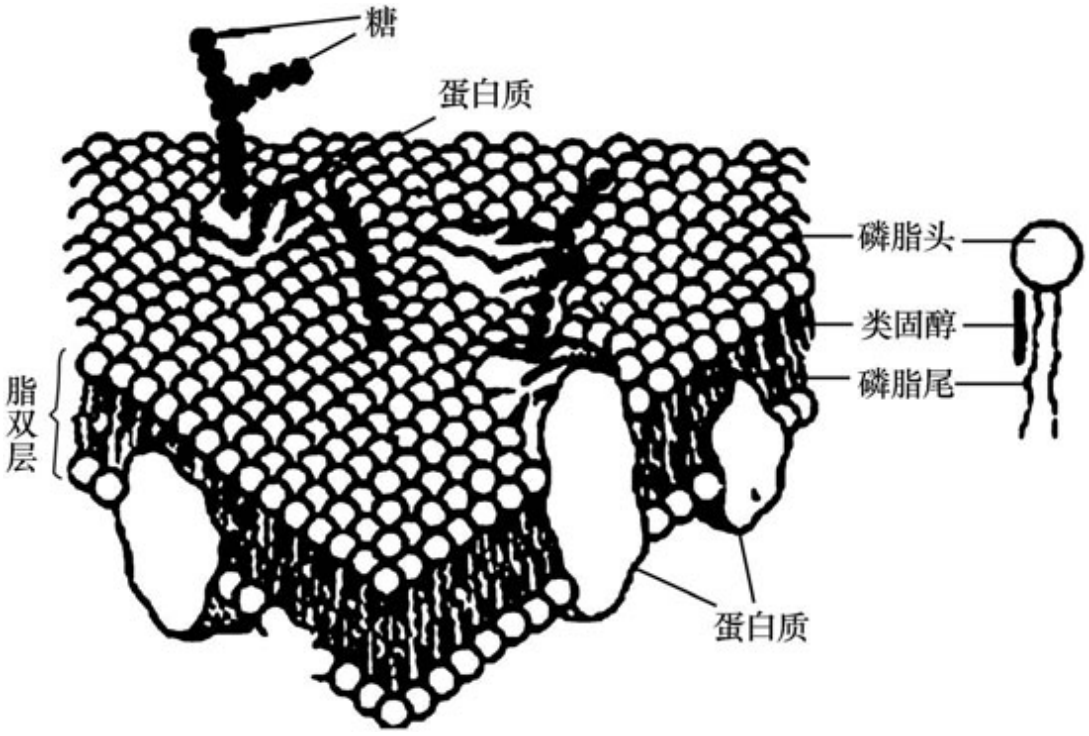


图1-2-1　流体镶嵌模型

3．细胞膜的流动性和不对称性

（1）膜的流动性

膜的流动性是指膜结构分子的运动性，它包括膜脂的运动和膜蛋白的运动。膜脂的运动方式主要有侧向扩散、旋转运动、左右摆动以及翻转运动等。影响膜脂流动性的重要因素是磷脂分子的脂肪酸链的不饱和程度和长度，双分子层中不饱和脂肪酸越多，脂肪酸链越短，膜脂流动性越大。温度对膜脂的运动也有明显的影响，环境温度下降，膜脂的流动性减弱，相反，在一定限度内温度升高则膜脂的流动性增加。此外，胆固醇含量的增加，可增加膜脂的有序性，降低膜脂的流动性。卵磷脂与鞘磷脂的比值越高，膜脂的流动性越大。

膜中蛋白质分子的运动大体分为侧向扩散和旋转运动。侧向扩散是指膜蛋白沿膜的二维表面移动。荧光抗体免疫标记实验能清楚地证明膜蛋白的这种运动。膜蛋白除侧向扩散外，还能围绕与脂双分子层垂直的轴进行旋转运动。蛋白质的运动也受很多因素的影响。如温度，在低温下膜蛋白移动减慢或停止。再如细胞骨架，膜蛋白常与质膜内表面和细胞质中的微管、微丝组成的网架相联系，这些微管和微丝的活动对膜蛋白的移动有一定的影响。此外，膜蛋白与膜脂分子的相互作用也是影响膜流动性的重要因素。

膜的流动性并不只是膜脂与膜蛋白在膜中位置的变化，它与质膜的许多重要功能相关，如物质运输、细胞融合、细胞识别、细胞表面受体功能与调节等。

（2）膜的不对称性

膜的不对称性包括膜脂、膜蛋白及糖类的不对称性。膜蛋白不同程度地嵌入脂双层中或分布于膜表面，同时不同部位膜蛋白的种类和数量也不同；在脂双层中，各种类型脂分子的分布也是不均匀的，卵磷脂、鞘磷脂多分布于脂双层的外层，而脑磷脂则多分布于内层；糖类在细胞膜中只存在于膜外表面，与外层脂分子或蛋白质结合形成糖脂或糖蛋白。

4．细胞膜的生物学功能

（1）细胞膜与物质的跨膜运输

物质出入细胞都要穿过细胞膜，穿过细胞膜的方式大体可分为扩散、主动运输、内吞作用和外排作用等方式。

①扩散

物质分子通过细胞膜从高浓度一侧移动到低浓度一侧的过程即扩散，推动这一过程的动力是细胞膜两侧的浓度梯度，包括简单扩散或协助扩散。

a．简单扩散

疏水的小分子或小的不带电荷的极性分子（如O_2、CO_2、乙醇、尿素等）以自由扩散的方式跨膜转运，不需要细胞提供能量，也没有膜蛋白协助，这种运输方式称为简单扩散。一般认为，在简单扩散的跨膜运输中，物质先溶解在膜脂中，再从一侧扩散到另一侧。因此物质穿透膜的难易取决于分子的大小和分子的极性，小分子比大分子容易穿膜，非极性分子比极性分子容易穿膜，而带电离子的跨膜运输则需要更高的自由能。具有极性的水分子容易穿膜可能是因水分子非常小，又不带电，可以通过由于膜运动而产生的间隙。

b．协助扩散

有些物质如葡萄糖，本身不易自由地穿过细胞膜，但可以借助于特异膜蛋白即转运蛋白的协助而穿越细胞膜，这种扩散称为协助扩散。这种运输形式也是顺着浓度梯度进行的，不需要细胞提供能量。由于有特异膜蛋白协助，物质转运速率增加，特异性增强。

膜转运蛋白可分为两类：一类称载体蛋白，如转运葡萄糖分子的蛋白；另一类称通道蛋白，它横跨质膜形成亲水的通道，允许一定大小和一定电荷的离子通过。载体蛋白相当于结合在细胞膜上的酶，如它可与被传递的分子特异性结合，转运过程具有类似于酶与底物作用的动力学曲线，可被抑制剂抑制。

②主动运输

主动运输是物质由浓度低的一侧向浓度高的一侧的跨膜运输方式。这种运输需要消耗细胞的代谢能，需要有载体分子参加。根据主动运输过程中所需能量来源不同，它分为两种基本类型。

a．ATP直接提供能量

这种主动运输，是由膜上的一类特殊膜蛋白——“泵”参与完成的（图1-2-2）。“泵”能特异性地识别并结合某种物质，利用ATP水解释放的能量将物质逆浓度梯度而运输。这种组成泵的蛋白实际上就是一种ATP酶，在质膜上，作为泵的ATP酶有很多种，目前研究较清楚的是存在于动物细胞膜中与Na^+、K^+逆浓度梯度转运有关的Na^+-K^+泵即Na^+-K^+-ATP酶。它是由4个亚基组成，即$\alpha^2\beta^2$。其中α亚基向着细胞质的一面有一个ATP结合位点和3个Na^+结合位点，它的外表面带有2个K^+结合位点。一般认为Na^+-K^+泵首先在膜内侧与细胞内的Na^+结合，ATP酶活性被激活后，由ATP水解释放的能量使“泵”本身构象改变，将Na^+输出细胞；与此同时，“泵”与细胞膜外侧的K^+结合，发生去磷酸化后构象再次改变，将K^+输入细胞内。每消耗1个ATP分子，可使细胞内减少3个Na^+并增加2个K^+。除Na^+-K^+泵外，还有与Ca^{2+}、H^+转运

有关的Ca^{2+}泵和质子泵。Ca^{2+}泵又称ca^{2+}-ATP酶，主要存在于质膜和内质网膜上，它将Ca^{2+}输出细胞或泵入内质网腔中储存起来，以维持细胞内低浓度的Ca^{2+}，每消耗一个ATP分子转运出两个Ca^{2+}。质子泵可分为三种，分别存在于真核细胞的细胞质膜上，溶酶体膜和植物泡膜上以及线粒体内膜、植物内囊体膜上。

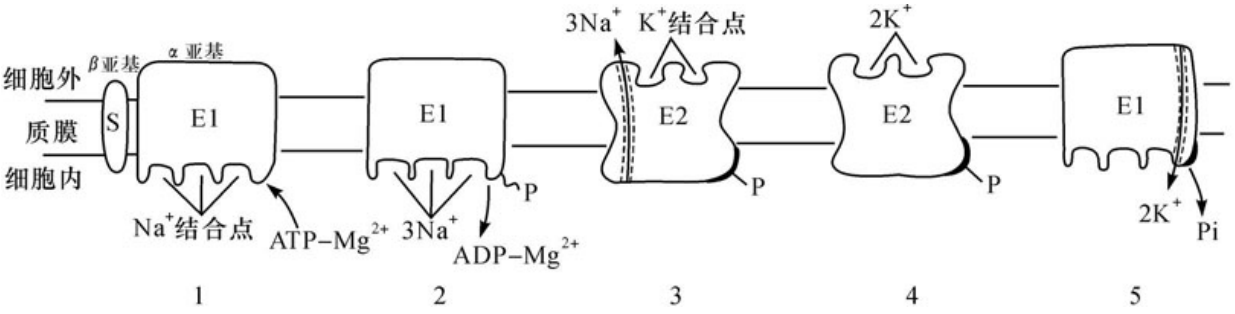


图1-2-2　Na^+-K^+泵的运输机制

b．协同运输（伴随运输）

协同运输是一类靠间接提供能量完成的主动运输方式，即物质的跨膜运输不是由ATP提供能量，而是借其他物质的浓度梯度为动力来进行的（图1-2-3）。如果进行协同运输的这两种物质运输方向一致，称为同向协同运输；若这两种物质运输方向相反，则称为反向协同运输。

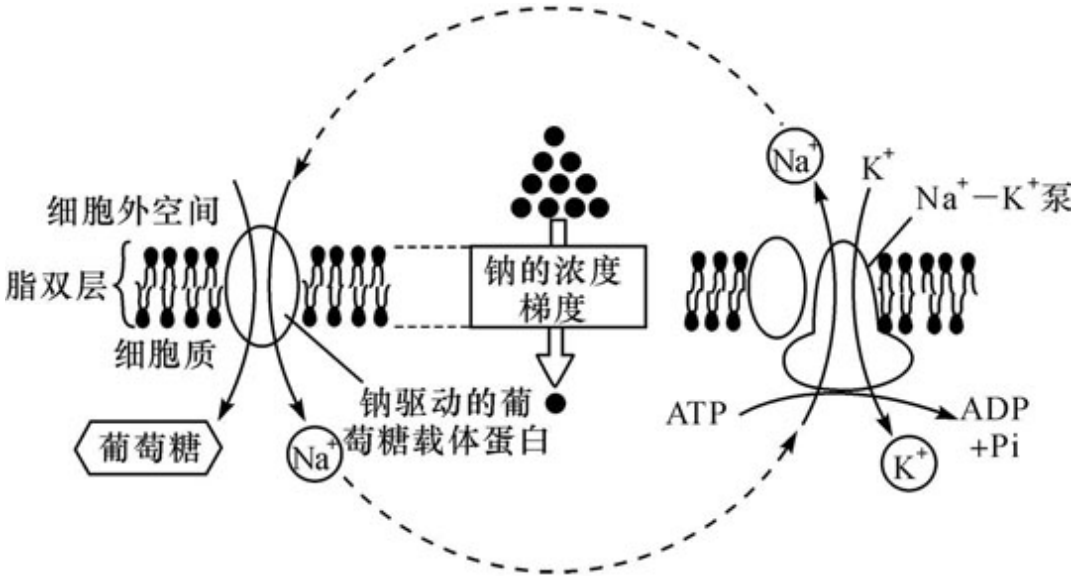


图1-2-3　Na^+-K^+泵、钠泵和载体协同运输示意图

动物细胞中葡萄糖的跨膜运输就是采用协同运输这种方式。此运输方式需两个运输系统，一个是Na^+-K^+泵，它靠ATP提供能量把Na^+送出细胞膜外，使细胞内外产生Na^+浓度梯度。再一个是负责协同运输的载体蛋白。这种蛋白有两个结合位点，Na^+与被运输物质如葡萄糖分别与载体蛋白的不同位点结合，借浓度梯度的力量使Na^+与葡萄糖相伴进入膜内侧，再与载体蛋白脱离，Na^+又可被Na^+-K^+泵排出细胞，载体蛋白恢复原样反复工作。

③内吞作用与外排作用

被动运输和主动运输转运的都是些小分子或离子。大分子（如蛋白质、多核苷酸、多糖）或颗粒物质很难直接穿过膜运输，必须通过细胞的内吞作用和外排作用来完成。

内吞作用是通过细胞膜内陷形成小囊，将被转运的物质包在囊内，而后脱离细胞膜形成小囊泡，从而将物质转运到细胞内的物质运输方式。根据内吞物质的性质，内吞作用又分为两种：若内吞的是较大的固体颗粒物质（如细菌），称为吞噬作用；若内吞溶液或极细颗粒，则称作胞饮作用。

外排作用中是细胞内合成的大分子物质通过形成囊泡，与膜相互融合，将所含大分子物质排出细胞外的物质运输方式。研究表明，细胞的内吞作用与外排作用都需要细胞提供能量。

（2）细胞膜与细胞连接

细胞连接是多细胞有机体中相邻细胞通过细胞质膜相互联系，协同作用的重要组织方式。根据行使功能的不同，细胞连接可分为封闭连接、锚定连接、通讯连接（包括间隙连接、神经细胞间的化学突触、植物细胞中的胞间连丝）。

①封闭连接（紧密连接是典型的代表）（图1-2-4）

紧密连接是封闭连接的主要形式，一般存在于上皮细胞之间，在光镜下小肠上皮细胞之间的闭锁堤区域便是紧密连接存在的部位。紧密连接可阻止可溶性物质从上皮细胞层一侧扩散到另一侧，因此起到重要的封闭作用。电镜观察显示，紧密连接是通过特殊的跨膜蛋白成串排列形成网络状的嵴线使相邻细胞质膜密切地连接在一起，封闭了细胞之间的空隙，阻止溶液中的分子沿细胞间隙出入。上皮细胞对溶液中的分子的封闭程度直接与嵴线的数量有关，如肾小管上皮细胞之间紧密连接的嵴线只有1～2条，胰腺腺泡细胞为3～4条，而小肠上皮细胞间多达6条以上。

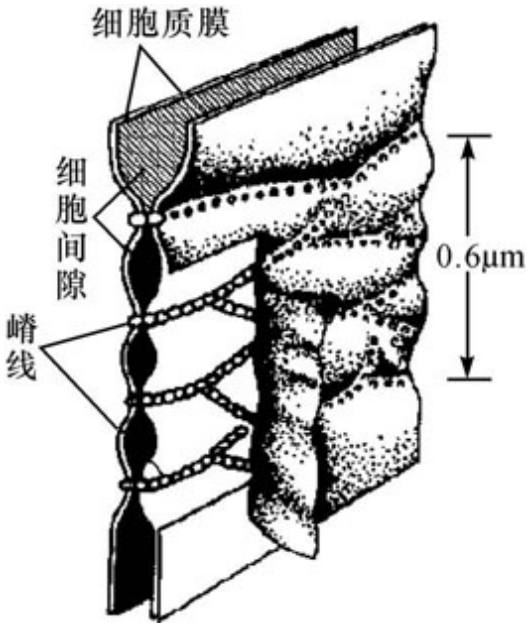


图1-2-4　封闭连接

②锚定连接（图1-2-5）

锚定连接在机体组织内分布很广泛，在上皮组织、心肌和子宫颈等组织中含量尤为丰富。通过锚定连接将相邻细胞的骨架系统或将细胞与基质相连形成一个坚挺、有序的细胞群。锚定连接具有两种不同形式：与中间纤维相连接的锚定连接主要包括桥粒和半桥粒；与肌动蛋白纤维相连接的锚定连接主要包括黏着带与黏着斑。

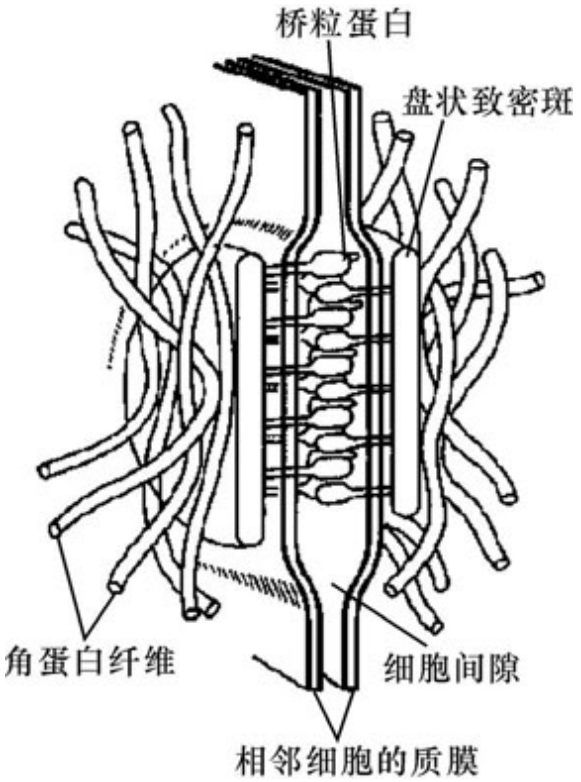


图1-2-5　锚定连接

a．桥粒和半桥粒

两个细胞之间形成的纽扣式的连接结构称为桥粒，它将相邻的细胞铆接在一起，同时它也是细胞内中间纤维的锚定位点。在桥粒处，两层细胞膜相互平行，膜间空隙约30nm，其中充满纤维物质，在质膜的胞质面有一块厚度为15～20nm的盘状致密斑，中间纤维直接与其相连，相邻两细胞的致密斑由跨膜连接糖蛋白相互连接。细胞质内的中间纤维通过桥粒相互连接形成贯穿于整个组织的整体网络，支持该组织并抵抗外界压力与张力。

半桥粒在形态上与桥粒类似，但功能和化学组成不同。它们使上皮细胞固着在基底膜上，在半桥粒中中间纤维不是穿过而是终止于半桥粒的致密斑内。

b．黏着带和黏着斑

黏着带一般位于上皮细胞紧密连接下方，相邻上皮细胞间形成的一种连续的带状结构。

连接处相邻细胞膜间存在着宽约15～20nm的间隙（间隙宽介于紧密连接和桥粒之间，所以黏着带也被称为中间连接），其中充满跨膜连接糖蛋白。在连接处细胞膜下方的细胞质增浓，由肌动蛋白组成的环形微丝穿行其中。

黏着斑是肌动蛋白纤维与细胞外基质之间的一种连接方式。在黏着斑处，跨膜连接糖蛋白行使纤黏连蛋白受体的功能，并通过纤黏连蛋白与胞外基质结合，跨膜连接蛋白的细胞内结构域则通过某些微丝结合蛋白与肌动蛋白纤维结合。黏着斑与黏着带均起着附着和支持功能。

③通讯连接

通讯连接包括间隙连接、植物细胞中的胞间连丝、神经细胞间的化学突触）。

a．间隙连接（图1-2-6）

间隙连接是两个细胞的质膜之间有2～3nm的间隙的一种连接方式。构成间隙连接的基本单位称连接小体。每个连接小体由6个相同或相似的跨膜蛋白亚单位环绕，中心形成一个直径约1.5nm的孔道。连接小体成簇并两两相对分别包埋在两相邻细胞的质膜中，形成一个间隙连接单位，一些小分子物质（如无机盐离子、蔗糖、氨基酸、核苷酸、ATP、cAMP、激素等）可通过相通的中央孔道自由进出相邻细胞。因此，间隙连接是细胞之间代谢耦联的物质基础，在神经冲动信息传递中形成电耦联（电突触）以及早期胚胎发育和细胞分化过程中都有一定的作用。间隙连接主要分布于上皮、平滑肌及心肌等组织细胞间。

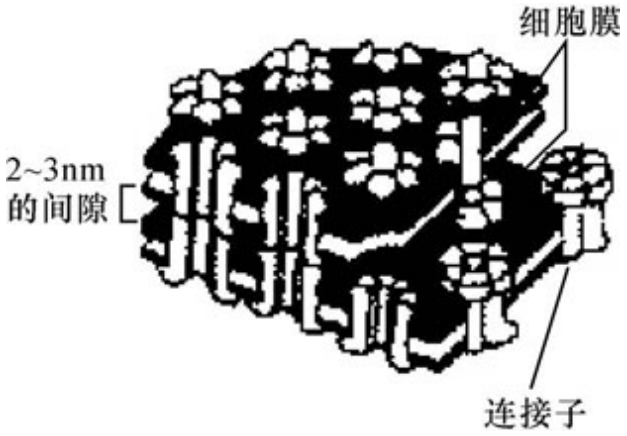


图1-2-6　间隙连接

b．胞间连丝（图1-2-7）

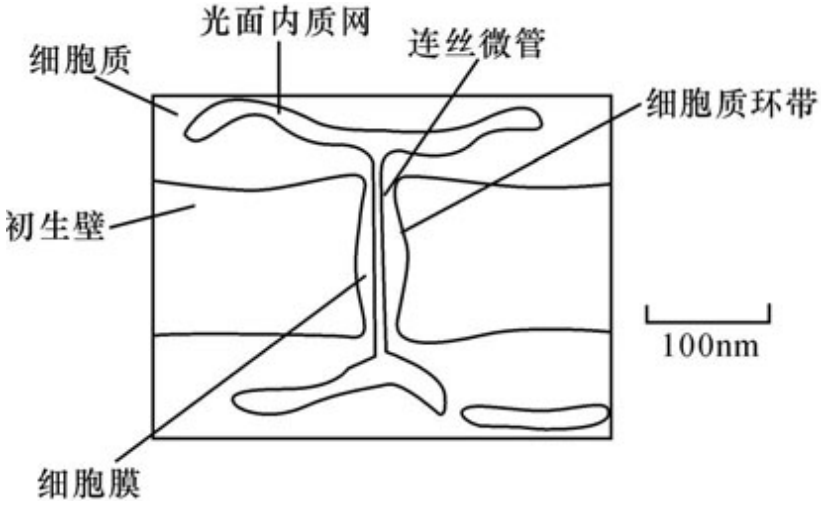


图1-2-7　胞间连丝

植物细胞间特有的连接方式。在胞间连丝连接处的细胞壁不连续，相邻细胞的细胞膜共同形成20～40nm的管状结构，中央是由内质网延伸形成的链管状结构。链管与管状质膜之间是由胞液构成的环带。胞间连丝形成了物质从一个植物细胞进入到另一个植物细胞的通路，它在植物细胞间的物质运输和信息传递中具有重要作用。

c．化学突触

化学突触是存在于可兴奋细胞之间的连接方式，它通过释放神经递质来传导神经冲动。化学突触是相对于电突触而言的，它们共同完成可兴奋细胞之间的通讯。

（3）细胞膜与细胞识别、信号通路

细胞识别是细胞通过其表面的特殊受体与胞外信号物质分子（配体）选择性的相互作用，从而导致胞内一系列生理生化变化，最终表现为细胞整体的生物学效应。细胞识别是细胞通讯的一个重要环节。细胞接受外界信号，通过一整套特定机制，将胞外信号转化为胞内信号，最终调节特定基因的表达，引起细胞的应答反应，这种反应系列称为细胞信号通路。细胞识别正是通过各种不同的信号通路实现的。

①细胞的信号分子与受体

a．细胞的信号分子

信号分子，即配基，指能够被受体识别的各种类型的大、小分子物质，又有信号分子和被识别子之称。

亲脂性信号分子：甾类激素。直接进入细胞与细胞质或核中受体结合，形成激素受体复合物，调节基因表达。

亲水性信号分子：神经递质、生长因子、多数激素等，不能直接进入细胞，先与膜上受体结合，再经信号转换机制，在细胞内产生第

二信使（cAMP和肌醇磷脂），或激活蛋白激酶、蛋白磷酸酶的活性，引起细胞的应答反应。

气体信号分子：20世纪80年代发现一氧化氮（NO）是一种重要的信号分子和效应分子，它能进入细胞直接激活效应酶，参与体内众多的生理过程，成为人们关注的“明星分子”。

b．受体

受体的概念最早是1910年Ehrlich提出的，近来有人建议改称“识别子”。受体都是蛋白质大分子（多为糖蛋白），一般至少包括两个结构功能区域，即与配体结合的区域及产生效应的区域。组成糖链的单糖种类、数量及排列方式不同，从而形成该细胞特定的“指纹”，是细胞之间、细胞与其他大分子之间联络的“文字”和“语言”。

根据靶细胞上受体存在的部位，可将受体分为两类，即细胞内受体（受胞外亲脂性信号分子的激活）和细胞表面受体（受胞外亲水性信号分子的激活）。两者通过不同的机制介导不同的信号传递通路。

②第二信使与分子开关

通过分泌化学信号进行细胞间通讯的过程：化学信号分子的合成→信号细胞释放化学信号分子→转移至靶细胞→被受体识别→信息跨膜传递→引起细胞内生物学效应。

a．第二信使：20世纪70年代初，Sutherland及其合作者提出激素作用的第二信使学说，认为胞外化学物质（第一信使）不能进入细胞，它作用于细胞表面受体，而导致产生胞内第二信使，从而激发一系列生化反应，最后产生一定的生理效应，第二信使降解使其信号作用终止。

b．分子开关：在细胞内一系列信号传递的级联反应中，必须有正、负两种相反相成的反馈机制进行精确控制，即对每一步反应既要求有激活机制又必然要求有相应的失活机制。

③细胞内的信号传导

a．通过细胞内受体介导的信号传递

亲脂性小分子（甾类激素）穿膜进入细胞，通过与细胞内（细胞质或核）受体结合传递信号。这类受体有三个结构域：C末端区——结合激素；中部——结合DNA；N末端区——激活基因转录。

b．通过细胞表面受体介导的信号跨膜传递

亲水性信号分子（神经递质、蛋白激素、生长因子等）一般不能直接进入细胞，而是通过与膜上特异受体结合对靶细胞产生效应。

根据信号转导机制和受体蛋白类型的不同，细胞表面受体分属三大家族。

离子通道耦联的受体：由多亚基组成的受体—离子通道复合体，本身既有信号结合位点，又是离子通道。

G蛋白耦联的受体：这类受体与酶或离子通道的作用要通过与GTP结合的调节蛋白（G蛋白）相耦联，在细胞内产生第二信使，从而将外界信号跨膜传递到细胞内进而影响细胞生物学效应。由G蛋白耦联受体所介导的细胞信号通路主要包括两类：

cAMP信号通路：激素（第一信使）→激活受体→进一步激活腺苷酸环化酶，使ATP→cAMP（第二信使），然后通过激活一种或几种蛋白激酶来促进蛋白酶的合成，促进细胞分化，抑制细胞分裂。受体和腺苷酸环化酶由G蛋白耦耦连在一起，并使细胞外信号跨膜转换成细胞内信号——cAMP。

磷脂酰肌醇信号通路：外界信号分子识别并结合膜表面受体，激活磷酸二酯酶（PIC），使4，5-二磷酸磷脂酰酰肌醇（PIP_2，存在于真核细胞膜的成分）水解成1，4，5-三磷酸肌醇和（IP_3）和二酰基甘油（DG）两个第二信使，IP_3；可引起胞内Ca^{2+}升高，通过结合钙调素并使之构象改变，进而与受体酶结合形成钙调素—酶复合物，进一步调节受钙调素调节的酶的活性，最后引起对胞外信号的应答。DG可激活蛋白激酶C（PKC），使细胞内pH升高，进而引起对胞外信号的应答。

与酶耦联的受体：这类受体一旦被配基（信号分子）活化即具有酶的活性。这类受体均为跨膜蛋白质。

（二）细胞质

细胞质是核外部分的总称，由包围于细胞外周的细胞膜、细胞质液及各种细胞质内容物组成。

1．细胞质基质（透明质）

细胞质基质是细胞质中除去所有细胞器和各种颗粒以外的部分。在光学显微镜下呈均质半透明的胶体状物质，又称为透明质。其中包含了水、无机离子、脂类、氨基酸、核苷酸、蛋白质、RNA、脂蛋白、多糖等。细胞质基质中含有大量的酶，生物代谢的中间代谢过程如糖酵解途径、磷酸戊糖途径、脂肪酸合成等都是在细胞质基质中完成。细胞质基质作为细胞器的微环境，为维护细胞器正常结构和生理活动提供所需要的生理环境；同时也为细胞器的功能活动提供底物。实际上，在高压电子显微镜下可观察到细胞质基质不是均匀一致的，其中存在着由蛋白质细丝构成的不规则的三维空间网络即细胞质骨架，包括微管、微丝和中间丝。

2．线粒体

（1）线粒体的形态、大小、数目与分布

线粒体是广泛存在于真核细胞中较大的细胞器，其形状、大小、数目和分布，常因细胞种类、生理状况和生理功能不同而有较大差别。最常见的是卵圆形颗粒或短线状，横径约0.2μm～1μm，长约2μm～8μm，相当于一个细菌的大小。一般说，需要能量较多的细胞，线粒体数目也较多，例如，肝细胞、胃壁细胞、肾上腺皮质细胞中线粒体数目较多。一般未分化的细胞、淋巴细胞线粒体数目比较少，许多哺乳动物的成熟细胞甚至还缺少线粒体。植物细胞的线粒体数量常常比动物细胞要少，这是由于植物细胞中的叶绿体代替了线粒体的某些功能。在多数细胞中线粒体均匀分布于细胞质，但也常常聚集在需能较多的部位。如分泌细胞中的线粒体聚集在分泌物合成的区域，肌细胞的线粒体沿肌纤维规则排列，精子中的线粒体集中在鞭毛中区。

（2）线粒体的结构

线粒体是由内外两层单位膜构成的封闭的囊状结构，主要由外膜、内膜、膜间隙和基质组成（图1-2-8）。

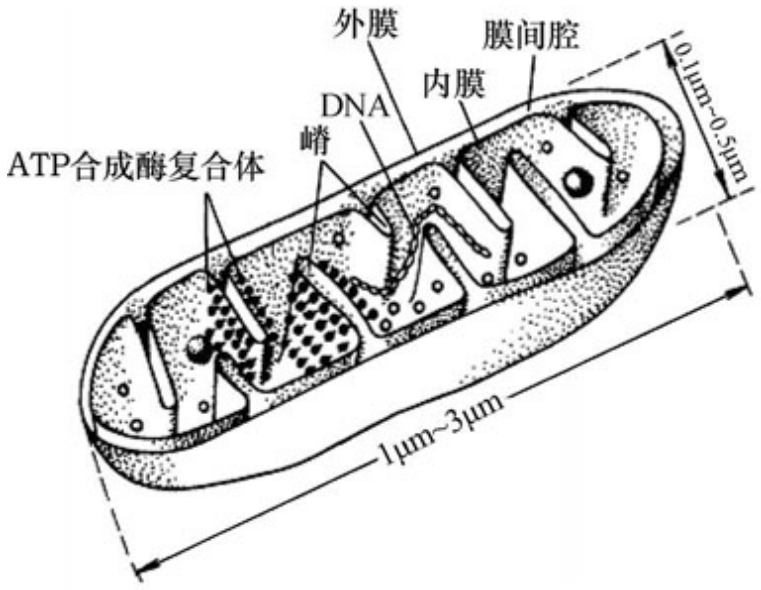


图1-2-8　线粒体的结构

①外膜：是一层完全将线粒体包围起来的单位膜，其表面光滑，膜中蛋白质与脂类含量几乎均等。在膜上有孔洞蛋白通道，物质通透性较高。

②内膜：也是一层单位膜，膜蛋白质含量高，占整个膜的80%左右。内膜的通透性很低，只有不带电荷的小分子才能通过，一些较大的分子或离子进入基质则需要特异的运载系统。内膜向线粒体腔内皱褶形成嵴，大大扩增了内膜的表面积。嵴的数目与细胞的功能状态相关，需要能量较多的细胞，不仅线粒体的数目多，嵴的数目也多。内膜和嵴的基质面上有许多排列规则的带柄的球状小体，称为基粒，基粒包括三个部分：头部（F_1因子，为水溶性蛋白质，具有ATP酶活性）、膜部（F_0因子，由疏水性蛋白质组成）、柄部（位于F_1与F_0之间）。

③膜间隙：指线粒体内外膜之间的腔隙，其中充满无定形液体，内含许多可溶性酶、底物和辅助因子。

④基质：内膜和嵴包围的腔中所含的胶状物为基质，它含有很多蛋白质和脂类，线粒体中催化三羧酸循环、脂肪酸和丙酮酸氧化等有关的酶类都存在于基质中。此外，基质中还含有线粒粒体基因组DNA及线粒体特有的核糖体，各种RNA、DNA聚合酶，氨基酸活化酶等。

（3）线粒体的化学组成

线粒体主要的化学成分是蛋白质和脂类（其中蛋白质占线粒体干重的65%～70%，脂类占25%～30%），此外还有少量DNA、RNA、辅酶等。线粒体含有多种酶类，其中有的酶是线粒体某一结构特有的，比如线粒体外膜的标记酶为单胺氧化酶，内膜为细胞色素氧化酶，间隙为腺苷酸激酶，线粒体基质的标记酶为苹果酸脱氢酶。线粒体的外膜和内膜在化学成分上有显著的差异，例如，外膜上含有14种蛋白质而内膜上含有21种，外膜上主要含卵磷脂而内膜主要含心磷脂；再如，线粒体内、外膜上脂类与蛋白质的比值不同，内膜为0.3：1，而外膜为1：1。这与它们的功能有关。

（4）线粒体的功能

线粒体的主要功能是进行氧化磷酸化，合成ATP，为生命活动提供直接能量。线粒体是糖、脂肪和氨基酸最终氧化释能的场所。糖、脂肪和氨基酸等营养物质在细胞质中初步分解的产物如丙酮酸和脂肪酸等选择性地进入到线粒体基质中，经过一系列分解代谢形成乙酰辅酶A并进入三羧酸循环，三羧酸循环中脱下的氢经线粒体内膜上的电子传递系统，最后传递给氧，所释放的能量使ADP磷酸化，生成含高能磷酸键的ATP，贮存于体内供细胞各种生命活动所需。

（5）线粒体是半自主性细胞器

线粒体基质中裸露的双链环状DNA分子能以半保留方式进行自我复制，并转录形成RNA；线粒体中还含有核糖体，可合成部分蛋白。即线粒体有一套自身的遗传系统。但线粒体自身编码的蛋白质只是一小部分，绝大多数蛋白质是由细胞核DNA编码并在细胞质核糖体合成，再运送至线粒体。因此，线粒体是半自主性细胞器。

（6）线粒体的起源

在细胞进化过程中，最早的线粒体是如何形成的？目前有两种不同的假说，即内共生假说和分化假说。内共生假说认为线粒体是来源于被原始的前真核生物吞噬的好氧性细菌；这种细菌与前真核生物共生，在长期的共生过程中通过演化变成了线粒体。分化假说则认为线粒体在进化过程中的发生是由于质膜的内陷，再经过分化后形成的。

3．质体

质体是真核植物细胞特有的细胞器之一。根据所含色素和功能的不同，可分为白色体、叶绿体和有色体三种类型。

（1）前质体

前质体（或称原质体）是质体的前体，通常存在于植物的分生组织中，能进行多次分裂发展成为白色体和叶绿体。在黑暗条件下，前质体发展成为白色体，在光照条件下则发展为叶绿体。

（2）白色体

有的质体不含有色素，称为白色体。它主要存在于分生组织以及不见光的细胞中。在不同的组织，白色体可积累淀粉（如马铃薯的块茎中），也可积累蛋白质或油类，分别称为造粉体、造蛋白体和造油体。

（3）有色体

有的质体含有各种色素如类胡萝卜素等而呈现一定的颜色，称为有色体。花瓣、胡萝卜的根、成熟的果实以及秋天落叶的颜色主要就是由于这些器官组织中含有各种有色体所致。例如，西红柿的红色来自一种含有特殊的类胡萝卜素和番茄红素的有色体。

（4）叶绿体

①叶绿体的形态、大小和数目

在高等植物中，叶绿体一般为扁平的椭圆形或卵圆形。低等植物细胞中叶绿体形态差别很大，可呈带状、杯状、板状或星状。高等植物中的叶绿体平均直径为4～6μm，生长在不同环境下的植物，叶绿体大小也不一样。在阳光充足的条件下，其叶绿体的体积大而且数量多。大多数高等植物的叶肉细胞一般含有50～200个叶绿体，可占细胞质体积的40%。

②叶绿体的结构

叶绿体由叶绿体膜、类囊体和基质三部分构成，如图1-2-9。

a．叶绿体膜。叶绿体膜是由双层单位膜构成，内、外两层膜之间有20μm宽的间隙，称为膜间隙。叶绿体膜具有控制代谢物质进出叶绿体的功能，但外膜通透性大，许多化合物均可通过。内膜对物质的透过选择性较强，是细胞质和叶绿体基质间的功能屏障。

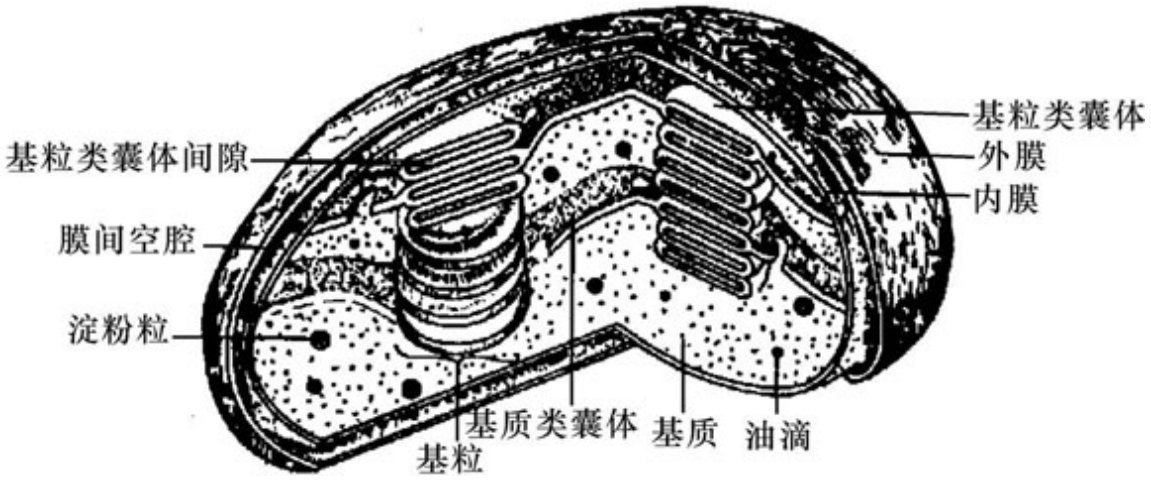


图1-2-9　叶绿体的结构

b．类囊体。在叶绿体基质中，有许多由单位膜封闭形成的扁平小囊，称为类囊体。类囊体是叶绿体内部组织的基本结构单位，其上分布有光合作用色素，是光合作用的光反应场所。类囊体一般沿叶绿体长轴平行排列。在一些部位，许多圆盘状的类囊体堆成为柱形颗粒，称为基粒。构成基粒的类囊体称为基粒类囊体，贯穿在两个或两个以上基粒之间的没有发生重叠的类囊体，称为基质类囊体。

c．基质。叶绿体膜与类囊体之间充满了无定形物质，称为基质。基质中主要存在着大量的RuBP羧化酶等可溶性蛋白质和其他代谢活跃的物质，此外还含有核糖体、DNA、RNA、淀粉粒等。

③叶绿体功能

叶绿体的主要功能是进行光合作用。光合作用过程包括光反应和暗反应。其中光反应阶段在叶绿体类囊体上进行，而暗反应在叶绿体基质中完成。

④半自主性细胞器

叶绿体中的DNA含量比线粒体显著多，其DNA也呈双链环状，不与组蛋白结合，能以半保留方式进行复制。同时还有完整的蛋白质合成系统，含有mRNA、tRNA及70S型核糖体。与线粒体一样，叶绿体中的DNA信息量非常有限，不可能满足自身正常结构和生理功能的需

要，还必须依靠由核基因编码、在细胞质中合成的大量蛋白质。其生长与增殖受核基因及其自身基因两套遗传系统控制，故也被称为半自主性细胞器。

⑤叶绿体的起源

关于叶绿体的起源和线粒体一样也有两种互相对立的假说，即内共生说和分化说。按内共生假说，叶绿体的祖先是蓝藻或光合细菌。

4．内质网（ER）（图1-2-10）

在电镜下观察，内质网由一层单位膜构成的形状大小不同的扁平囊、小囊及小管组成，并连成一个连续网状管道系统。这些管腔外与质膜相通，内与核被膜的外膜相连，核周腔实际上就是内质网腔的一部分。内质网根据其有无核糖体附着，可分为两种类型：粗面内质网（rER）和光面内质网（sER）两类。其中粗面内质网所占比例要远大于光面内质网。

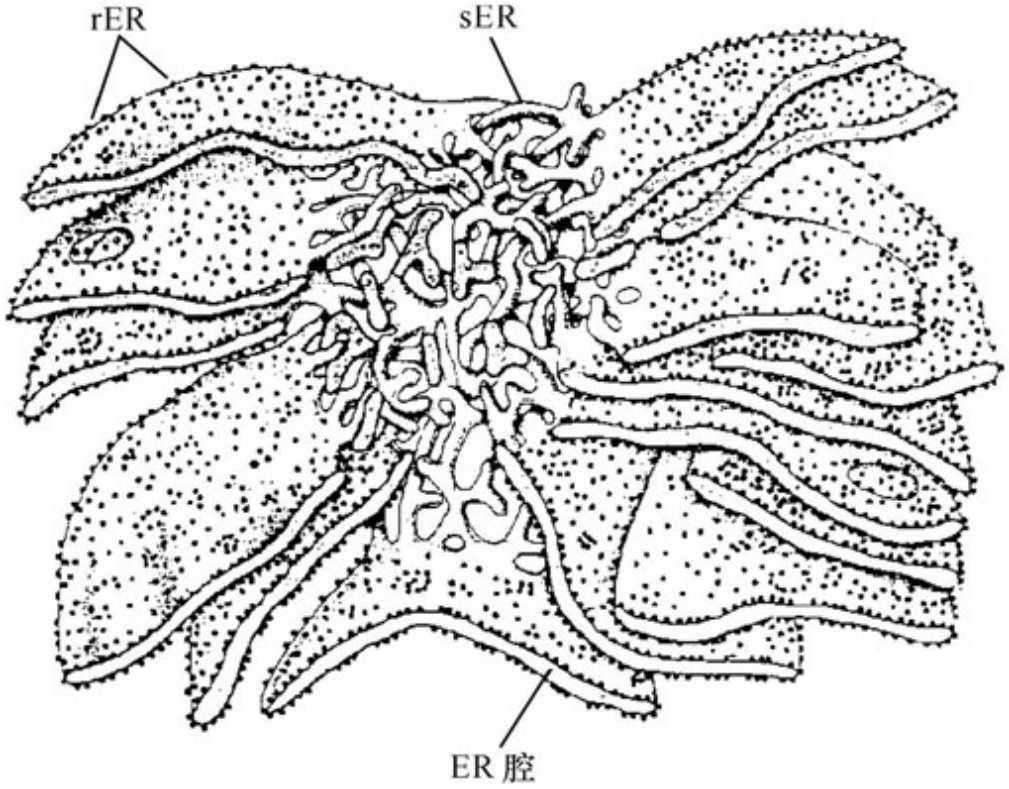


图1-2-10　内质网

（1）粗面内质网（rER）

粗面内质网排列较整齐，细胞质一侧的表面上结合着核糖体。核糖体是细胞合成蛋白质的场所，所以粗面内质网与蛋白质合成、转运和加工有关。粗面内质网上合成的蛋白质主要有：①向细胞外分泌的

蛋白质，如酶、抗体、激素和胞外基质的成分等；②膜蛋白，包括细胞质膜上以及内质网、高尔基体和溶酶体上的膜蛋白；③需要与其他细胞组分严格分隔的蛋白质，如溶酶体中的酸性水解酶类；④需要进行复杂修饰的蛋白质，修饰与加工是由内质网及高尔基体中固有的一系列的酶来完成的。

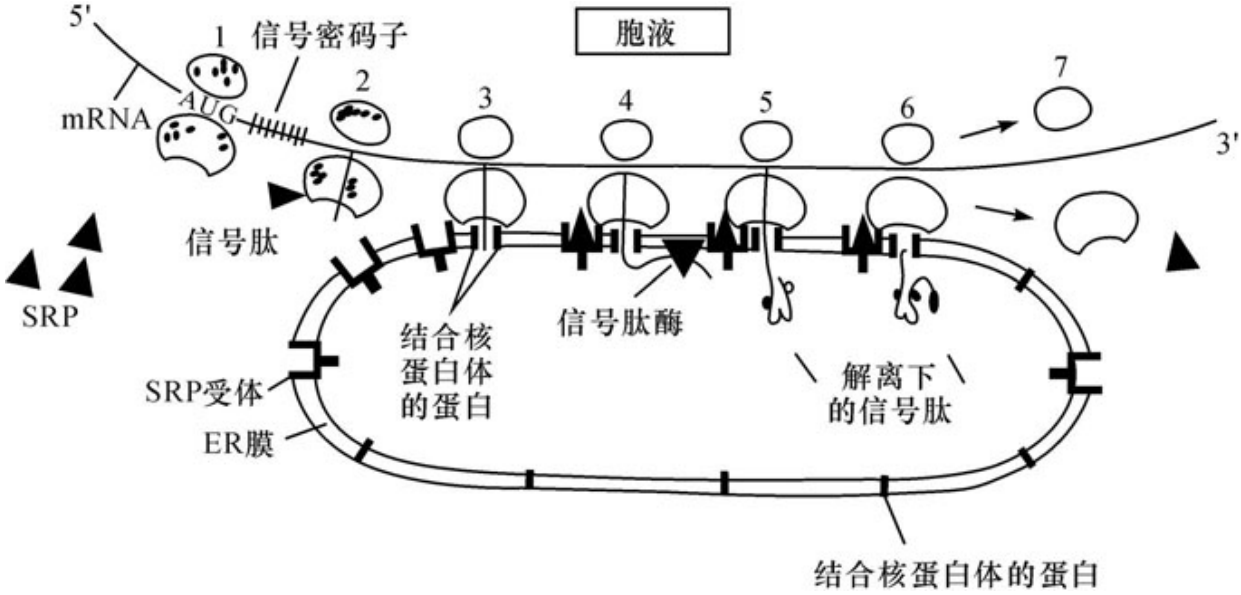


图1-2-11　粗面内质网上蛋白质的合成示意图

对于粗面内质网上蛋白质的合成，有人提出了“信号假说”，认为核糖体与膜结合受制于mRNA中5′端特定的密码顺序（即信号），具有这种密码顺序的mRNA与核糖体结合指导合成一段长度约为15～35个氨基酸残基、主要由疏水性氨基酸构成的“信号肽”，如图1-2-11。当游离核糖体合成的肽链中带有信号肽时，被细胞质中的信号识别颗粒（SRP）专一性地识别，形成SPR核糖体复合体，复合体能与rER膜上的SRP受体结合。从SRP识别信号肽，到核糖体结合于rER膜上的这一过程中，蛋白质合成暂时停止。核糖体与rER膜结合后，翻译重新开始，延伸的肽链在信号肽的引导下穿过膜进入rER腔中。当信号肽进入rER腔后，其作用已完成，被结合于ER膜内侧的信号肽酶水解，新合成的多肽链继续伸入rER腔中，直至合成结束。进入内质网的蛋白质会发生一些化学修饰，其主要类型有糖基化，是指在糖基转移酶的作用下，有顺序地将由N-乙酸葡萄糖胺、甘露糖和葡萄糖等组成的寡糖转移到蛋白质上形成糖蛋白的过程。寡糖链主要连接于天冬酰胺侧链的—NH_2上，称为N-连接糖基化。内质网腔中完成的新合成蛋白质，

通过高尔基体和运输泡，送到细胞表面，或者成为细胞膜上蛋白质的补充，或者作为分泌蛋白质被分泌到胞外。

（2）光面内质网（sER）

光面内质网膜表面光滑，无核糖体颗粒附着。其主要功能是参与脂类合成，如合成磷脂、固醇、脂肪等。因此，与脂类代谢有关的细胞中如睾丸间质细胞、卵巢黄体细胞和肾上腺细胞中光滑型内质网非常发达。在肝脏细胞中，光面内质网的某些磷酸酶能参与糖元的合成和分解；而另一些酶能将药物和有潜在毒性的物质分解，例如作为镇静剂的巴比妥盐、作为兴奋剂的安非他明和某些抗体等药物都由于这些内藏的酶而被解毒。在肌细胞中内质网特化为肌质网，是肌细胞中的Ca^{2+}蓄库。肌质网膜上的Ca^{2+}泵将细胞质基质中的Ca^{2+}泵入肌质网膜中储存起来，受神经冲动刺激后释放出来，最终引起肌细胞收缩。

5．核糖体

核糖体是呈椭圆形的粒状结构，普遍存在于原核细胞和真核细胞中，在线粒体和叶绿体内也有核糖体存在。核糖体可以游离于细胞质中，称为游离核糖体，也可附着在内质网膜表面，称为附着核糖体。其主要的化学成分是蛋白质和rRNA，其中rRNA约占60%，蛋白质约占40%，蛋白质分子基本上排列在核糖体的表面，rRNA则位于内部，两者靠非共价键结合在一起。

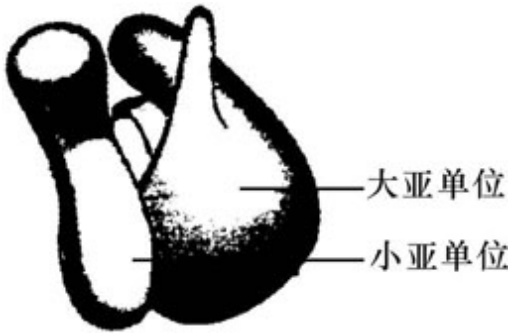


图1-2-12　核糖体大、小亚单位

电镜下观察，核糖体由大、小亚单位两部分组成（图1-2-12）。由于沉降系数不同，核糖体又分为70S型和80S型两类。70S型核糖体主要存在于原核细胞及叶绿体、线粒体基质中，其小亚单位为30S，由16S RNA和21种蛋白质组成；大亚单位为50S，由23S RNA和5S RNA及31种蛋白质组成。80S型核糖体主要存在于真核细胞中，其小亚单位为40S，由18S RNA和33种蛋白质组成；大亚单位为60S，由28S、5.8S和5S三种RNA以及49种蛋白质组合而成。核糖体大小亚基在细胞内常常游离于细胞质基质中，只有当小亚基与mRNA结合后大亚基才

与小亚基结合成完整的核糖体，肽链合成终止后，大小亚基解离。核仁是进行rRNA的合成、加工和核糖体大小亚基的装配的场所。

核糖体的主要功能是按照mRNA的指令参与蛋白质的生物合成。因此核糖体是细胞不可缺少的基本结构，存在于所有细胞中。在蛋白质合成时核糖体往往并不是单个独立进行的，而是由多个核糖体串连在一条RNA分子上高效地进行肽链的合成。这种具有特殊功能与形态的核糖体和rnRNA的聚合体称为多聚核糖体。

6．高尔基体

高尔基体，又称高尔基器或高尔基复合体，最初是由意大利医生高尔基在神经细胞中发现的。后来发现它存在于所有的动植物细胞中（哺乳动物及人的成熟的红细胞除外），是比较普遍的一种细胞器。其主要成分是脂类、蛋白质及多糖物质组成。标志酶为糖基转移酶。

（1）高尔基体的结构（图1-2-13）

在电镜下可见高尔基体是由单位膜围成的数个扁平囊堆叠在一起，周围结合有一些小管或大小不等的小囊泡组成的结构。典型的高尔基体表现一定的极性，靠近细胞核的一面，扁平囊弯曲成凸面又称形成面或顺面；面向细胞质膜的一面常呈凹面又称成熟面或反面。形成面的膜较薄，与内质网膜相似，能接受内质网合成的物质，并对其进行初步分类、加工；中间膜囊含糖基转移酶，是糖基化的主要部位；成熟面的膜较厚，与质膜相似，能将物质分类并排出。

（2）高尔基体的功能

①为细胞提供一个内部的运输系统

高尔基体的主要功能是对内质网合成的多种蛋白质进行加工、分类与包装，然后分门别类地运到细胞特定的部位或分泌到细胞外。内质网上合成的脂类一部分也要通过高尔基体向细胞质膜和溶酶体膜等部位运输，因此可以说高尔基体是细胞内大分子运输的一个主要的交通枢纽。

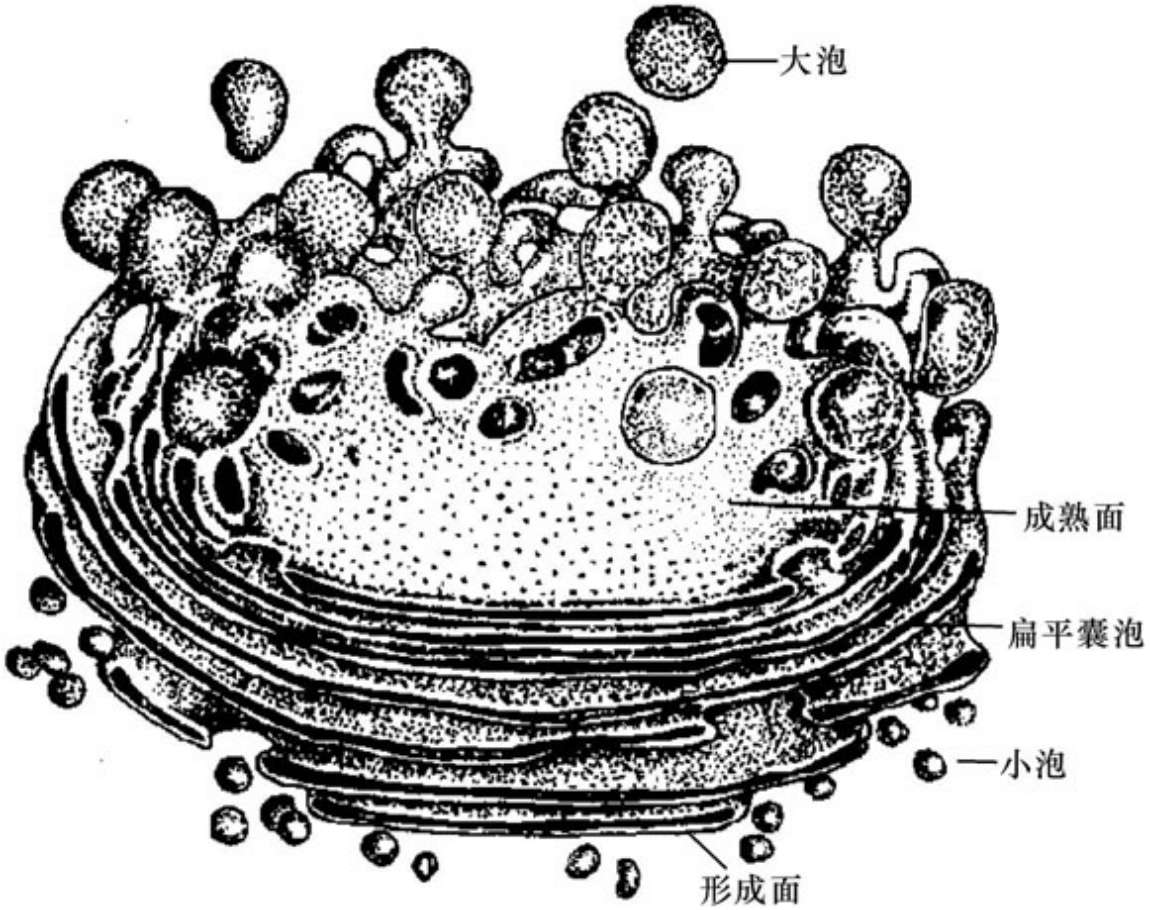


图1-2-13　高尔基体结构

②糖基化作用

高尔基体中含有多种糖基转移酶，能进一步加工、修饰蛋白质和脂类物质。与内质网不同的是，高尔基体中进行O-连接糖基化，即糖基在糖基转移酶的催化下，与肽链中的丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸残基的侧链羟基相连。

③合成和运输多糖

纤维素、果胶等多糖物质在高尔基体中合成，这可能与植物细胞壁的形成有关，在植物细胞分裂过程中，由高尔基小泡内所含物质形成胞间层及初生壁。

7．溶酶体

电镜下观察，溶酶体是由一个单位层膜围成的球状体，主要化学成分为脂类和蛋白质。溶酶体内富含水解酶，由于这些酶的最适pH值为5左右，因而称为酸性水解酶。其中酸性磷酸酶为溶酶体的标记酶。溶酶体几乎存在于所有的动物细胞中，植物细胞中也有与溶酶体

功能类似的细胞器有圆球体、糊粉粒及植物中央液泡。原生动物细胞中也存在类似溶酶体的结构。

（1）溶酶体的类型

溶酶体是一种具有多样性和异质性的细胞器，不同溶酶体的形态大小、所含水解酶的种类及活性都明显不同。根据溶酶体在发育和功能上的不同阶段，可分为初级溶酶体、次级溶酶体和残余小体（图1-2-14）。

①初级溶酶体　从高尔基体扁囊端部膨大脱离下来所形成的溶酶体称为初级溶酶体。其中含有多种酸性水解酶，这些酶是在粗面内质网的核糖体上合成并转运到高尔基体，但这些酶还不具有消化作用，处于潜伏状态。

②次级溶酶体　当初级溶酶体与来自细胞外部或细胞内部的被消化物质融合后，正在进行消化的溶酶体称为次级溶酶体，又称消化泡。次级溶酶体可根据所消化的物质来源不同分为自噬性溶酶体、异噬性溶酶体和混合性溶酶体三种。自噬性溶酶体的作用底物为内源性的，即来源于细胞内退变、崩解的某些细胞器或局部细胞质。异噬性溶酶体的作用底物是外源性的，即系细胞吞噬、胞饮作用所摄入的细胞外物质。当吞噬作用或胞饮作用形成吞噬小体或胞饮小泡时，它们和初级溶酶体或次级溶酶体融合即成异噬性溶酶体。混合性溶酶体的作用底物兼有内源性和外源性两种。

③残余小体　经过一段时间的消化后，次级溶酶体中的小分子物质可通过膜上的载体蛋白转运到细胞质基质中，未被消化的物质残存在溶酶体中形成残余小体。残余小体可通过细胞外排作用将内容物排出细胞。

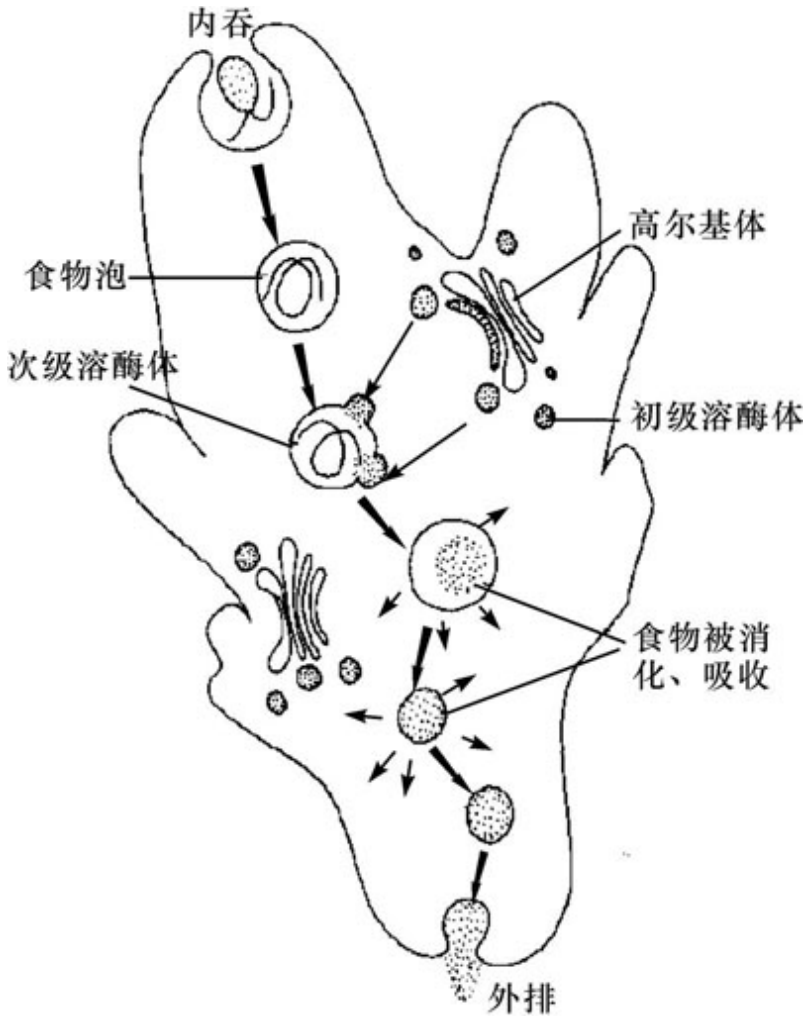


图1-2-14　初级溶酶体、次级溶酶体和残余小体

（2）溶酶体的功能

①参与细胞内的正常消化作用

外部环境中大分子营养物质经内吞作用进入细胞形成的胞饮小体或吞噬小体，它们与初级溶酶体融合成为次级溶酶体，其中的酸性水解酶能将这些物质消化分解为小分子物质扩散到细胞质中，对细胞起营养作用。一些未消化的物质就残留在溶酶体内，形成残余小体，最后排出体外。细胞吞噬的异物（如细菌、病毒和毒物等）也可在溶酶体内被消化，因此溶酶体还具有防御作用。

②自体吞噬作用

溶酶体可以消化细胞内衰老的细胞器，其降解的产物可重新被细胞利用。

③自溶作用

在一定条件下，溶酶体膜破裂，其内的水解酶释放到细胞质中，从而使整个细胞被酶水解、消化，甚至死亡，发生细胞自溶。细胞自溶在个体正常发生过程中有重要作用。如无尾两栖类在变态时尾巴的消失，即是由溶酶体破裂，水解酶把大量的尾部细胞破坏引起的。再如在受精过程中，精子的顶体相当于特化的溶酶体，能溶解卵细胞的外被及附着的滤泡细胞，使精子进入卵细胞。

8．液泡

在成熟的活的植物细胞中经常有一个大的充满液体的中央液泡，它是在细胞生长和发育过程中由小的液泡融合而成的。一个中央液泡一般占据了细胞中央很大部分，而将细胞质和细胞核挤到细胞的周缘。动物细胞中也有一些小液泡，如原生动物的食物泡和伸缩泡就是液泡，具有消化食物排出水分的作用。

液泡是由单层膜包围的充满液体的囊泡。外面的膜称为液泡膜，具有选择透过性；内部的液体称为细胞液，溶有无机盐、糖类、脂类、蛋白质、酶、树胶、丹宁、生物碱以及各种色素，特别是花青素等。

细胞液是高渗的，植物液泡的主要功能是保持细胞的紧张状态和参与水分的吸收和排出。液泡还能贮藏各种物质，例如甜菜中的蔗糖就是贮藏在液泡中，茶叶、柿子的果皮液泡中含有丹宁，植物代谢有毒的废物则以晶体的状态沉积于液泡中。细胞液中的花青素与植物颜色有关，花、果实和叶的紫色、深红色都是决定于花青素。花青素的颜色随着细胞液的酸碱性的不同而变化，酸性时呈红色，碱性时呈蓝色，中性时呈紫色。

9．微体

微体也是一种由单位膜围成的细胞器。它呈圆球状、椭圆形、卵圆形或哑铃形。根据功能的不同可分为两种类型：过氧化物酶体和乙醛酸循环体。

（1）过氧化物酶体

过氧化物酶体是动、植物细胞都有的微体。其中含有氧化酶，细胞中大约有20%的脂肪酸是在过氧化物酶体中被氧化分解的。氧化反应会产生对细胞有毒的H_2O_2。但过氧化物酶体中还存在着一些酶，如过氧化氢酶等，它们能使H_2O_2分解，生成H_2O和O_2，从而起到解毒作用。有些细胞，如肝、肾细胞中过氧化物酶体的过氧化氢酶还能利用H_2O_2来解毒，即通过过氧化氢酶的作用使酚、甲酸、甲醛和乙醇等毒物氧化、排出。人们饮入的酒精，有25%以上是在过氧化物酶体中被

氧化的。在高等植物叶肉细胞内的过氧化物酶体能与叶绿体、线粒体相配合，参与“光呼吸”过程。过氧化氢酶是过氧化物酶体标记酶。

（2）乙醛酸循环体

乙醛酸循环体是只存在于植物细胞中的一种微体。该微体含有与乙醛酸循环有关的酶系，如异柠檬酸裂合酶、苹果酸合成酶等。它主要出现在油料种子萌生成幼苗的细胞中，与圆球体和线粒体相配合，把储藏的脂类转化为糖类。动物细胞没有乙醛酸循环体，不能将脂类转化为糖。

10．细胞骨架

细胞骨架是指真核细胞中的蛋白纤维网络体系。广义的细胞骨架包括细胞核骨架、细胞质骨架、细胞膜骨架和细胞外基质；狭义的细胞骨架则只指细胞质骨架。细胞膜骨架是指细胞膜下由蛋白质纤维组成的网架结构。一般认为，膜骨架参与维持细胞膜的形态，并协助细胞膜完成多种生理功能。细胞核骨架则是指存在于真核细胞核内的蛋白纤维网架体系，包括核基质、核纤层和核孔复合体。在这里着重介绍狭义的细胞骨架，主要包括微管、微丝、中间纤维和微梁系统。

（1）微管（MT）

①微管的化学组成和结构

微管是由微管蛋白二聚体组装成的长管状结构，外径为24～26nm，中间腔直径为15nm，外周壁厚5nm，由13条原纤丝螺旋排列而成（图1-2-15）。每条原纤维丝由直径为15nm的球形亚单位α、β微管蛋白组成。各种生物的微管蛋白几乎完全相同，这说明微管蛋白在进化上极为保守。微管在细胞中可装配成单管、二联管、三联管三种形式。大部分细胞质微管是单管微管。二联管由两条微管组成，两条微管分别称为A管和B管，A管由13条原纤维丝组成，B管由10条纤维丝组成，与A管共用三条原纤维丝，纤毛和鞭毛周围结构的小管为二联。三联管存在于中心粒和基体中，它除了A管和B管外还有C管，C管包括10条原纤维丝。

微管在适合的条件下能进行自我装配，即由二聚体组成多聚体，此过程称为组装，相反由多聚体解离成二聚体的过程称为去组装，组装和去组装是相互动态平衡的过程。体外实验表明，在低温或Ca^{2+}存在时，微管趋于去组装。在生活细胞中，微管的组装与去组装在时间和空间上是高度有序的。微管在生理状态解聚后重新装配的发生处称为微管组织中（MTOC）。动物细胞中，中心体就是MTOC，能够产生微管，同时也控制所产生的微管数目、分布及结构，并决定着微管的

极性。秋水仙素和长春花碱能阻断微管组装，而紫杉酚则促进微管组装并使微管稳定存在。

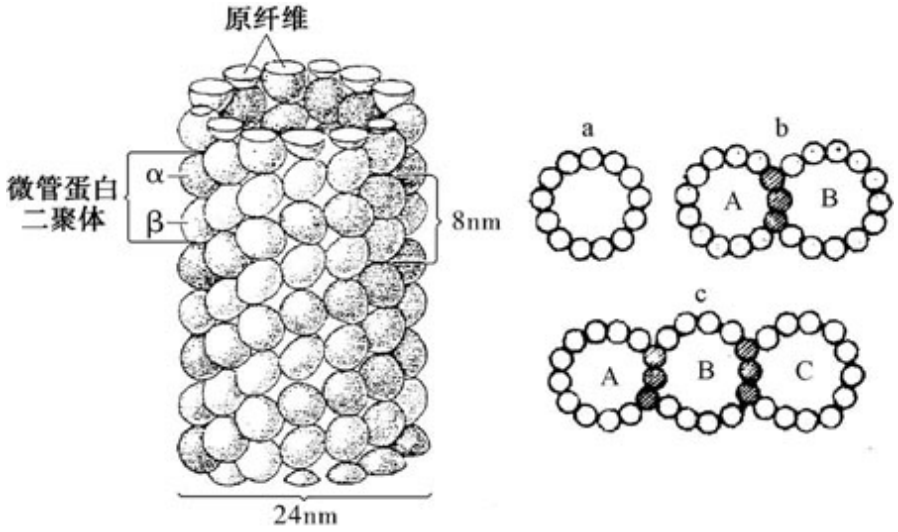


图1-2-15　微管

②微管的功能

a．维系细胞形态

如用秋水仙素处理破坏微管，就会导致细胞变圆，这说明微管对维持细胞的不对称形状是重要的。

b．细胞内运输

真核细胞内部是高度区域化体系，细胞中物质的合成部位往往不是它们发挥功能的部位，常常需要在细胞内运输。而物质运输的轨道和物质运输的快慢与微管在胞质中形成的网络相关。如微管参与神经元的轴突运输，参与细胞内色素颗粒的运输。

c．纤毛和鞭毛运动

鞭毛和纤毛是细胞表面的特化结构，具有运动功能。鞭毛和纤毛的结构基本相同，只是鞭毛较长，数目少，纤毛较短，数目多。它们都是由鞭杆和基体二部分组成（图1-2-16）。鞭杆横切面为9（2）＋2结构，即外围环绕9对二联体。中间一对单管。基体外围为9对二联体，中央无微管，成9（2）＋0结构。滑动学说认为鞭毛和纤毛运动是由外围相邻二联体间滑动所致。

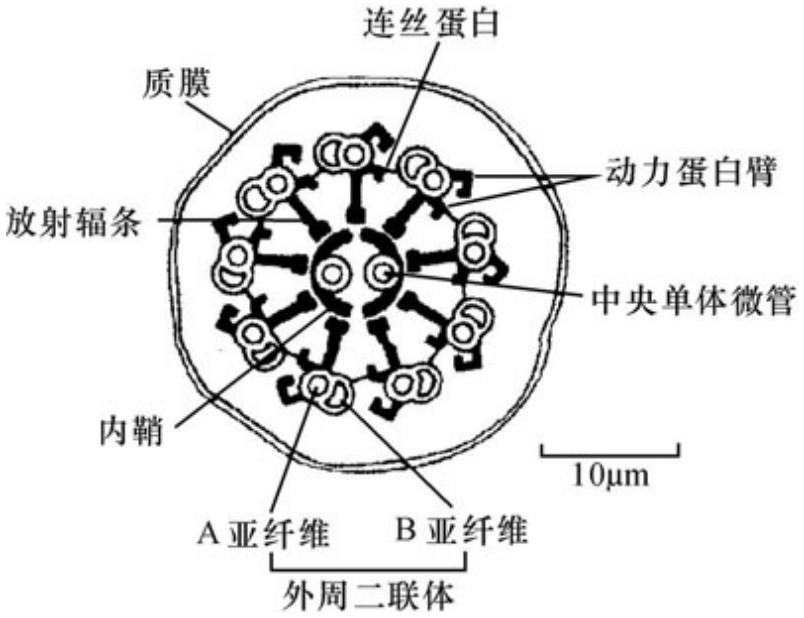


图1-2-16　鞭毛结构

d．细胞分裂期染色体的运动

当细胞进入分裂期时，间期细胞的胞质微管网络崩解，微管解聚为微管蛋白，这些蛋白重新组装成使染色体分离所需的纺锤体。分裂末期染色体完成分离后，纺锤体微管解聚为微管蛋白，并重新组装形成胞质微管网络。组成纺锤体的微管根据其所处的位置和作用分为四种：染色体微管（或着丝粒微管），一端与染色体的着丝点相连，一端伸向细胞的极端；连续微管，从细胞的一极伸向另一极；中间微管，既不与着丝点相连，也不连接两极，属于纺锤体中的微管；星体微管，由位于两极的中心体放射出的丝状结构。有关染色体运动的分子机制有两种学说。动力平衡说：认为染色体的运动与微管组装和去组装有关；滑行学说：认为染色体的运动与微管间的滑动有关。

e．中心体和中心粒

中心体由一对相互垂直的中心粒及周围的基质构成，它是动物细胞中主要的微管组织中心，纺锤体微管和胞质微管是由中心体发出的。中心粒呈圆柱状，其壁由9组大约呈30度倾斜排列的微管三联体组成，从横断面看像一只风车，为9（3）＋0结构（图1-2-17）。

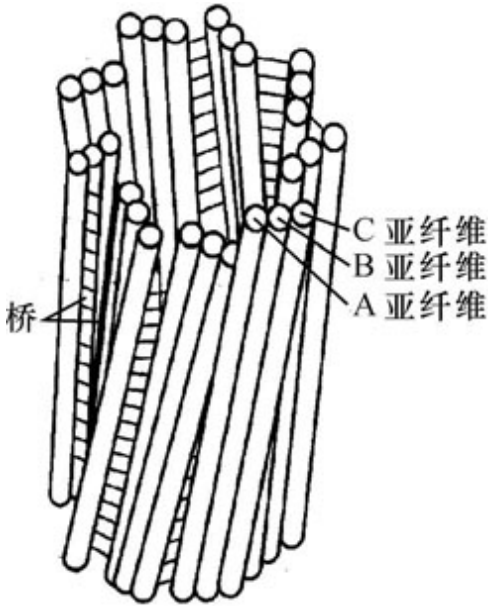


图1-2-17　中心粒

（2）微丝（MF）

①微丝的化学组成和结构

微丝是由肌动蛋白构成的螺旋状纤维，直径约为7nm（图1-2-18）。螺旋的分子结构具有两种不同的模型。一种是比较传统的模型，认为每个肌动蛋白分子是接近球形的，即球形肌动蛋白，两根由肌动蛋白单位连成的链相互盘绕起来呈右手螺旋。另一种模型认为肌动蛋白单体呈哑铃形，整个纤维是由一条单链形成的右手螺旋。每个肌动蛋白亚单位是有极性的，它们在装配成纤维时头尾相接，所以整个微丝也是有极性的。

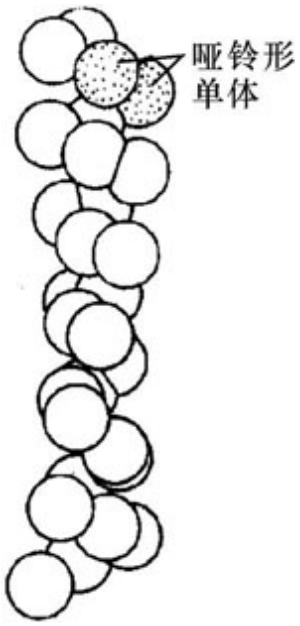


图1-2-18　微丝

在含有ATP和Ca^{2+}以及低浓度的Na^{+}、K^{+}等阳离子溶液中，微丝趋向于解聚成球形肌动蛋白，而在Mg^{2+}和高浓度的Na^{+}、K^{+}溶液诱导下，球形肌动蛋白则装配为纤维状肌动蛋白。新的球形肌动蛋白加到微丝的端点，使微丝延伸。在适当条件下，球形肌动蛋白可以加到微丝的两端。但（＋）极端延伸的速度较（—）极端快得多。在一定条件下，微丝也可以表现出一端因加亚单位而延长，而另一端因亚单位脱落而减短，即出现踏车现象。有些药物能与微丝特异性地结合，影响微丝的组装和去组装。如细胞松弛素B能结合到微丝末端而阻止微丝的组装；鬼笔环肽能与微丝强烈亲和，从而抑制微丝解聚。

微丝系统的主要组分是肌动蛋白纤维，此外，微丝系统中还包括许多微丝结合蛋白。细胞中不同的微丝可以含有不同的微丝结合蛋白，形成独特的结构以行使特定的功能。如与肌肉收缩活动有关的肌球蛋白、原肌球蛋白、肌钙蛋白；影响微丝组装的封端蛋白、抑制蛋白；使微丝交联的绒毛蛋白、细丝蛋白、α-辅肌动蛋白等。

②微丝的功能

a．与肌肉的收缩密切相关

肌原纤维是肌细胞收缩的单位，是由粗丝和细丝组成的。粗丝的成分是肌球蛋白，细丝的成分是肌动蛋白，辅以原肌球蛋白和肌钙蛋白。肌肉收缩系由肌动蛋白丝与肌球蛋白丝的相对滑动所致。

b．胞质分裂

动物细胞有丝分裂末期，两个即将分离的子细胞之间产生一个由大量平行排列的微丝束构成的缢缩环，微丝束中肌动蛋白和肌球蛋白的相对滑动引起缢缩环收缩，两个子细胞分离。

c．细胞变形运动

原生动物的变形虫，高等动物的巨噬细胞、白细胞等可以依靠细胞体的形态变化进行移动，这种移动方式称为变形虫运动。变形运动的产生是许多细胞骨架成分协同作用的结果。然而它们最直接依赖的是紧贴细胞质膜下一层含有丰富肌动蛋白纤维的区域。

d．胞质环流运动

在丽藻中央有一个大的液泡，液泡周围有15μm厚的原生质层。原生质层可分为两个部分，即内质和外质，外质不产生流动，内质会发生环流运动。在外质与内质交界处有许多平行于环流方向的微丝束，它们与环流直接相关。如果用细胞松弛素B处理细胞，可使环流停止。

e．微绒毛

小肠上皮细胞微绒毛中心的轴丝是由微丝通过微丝结合蛋白平行交联成束。微丝束起到维持绒毛形状的作用。

（3）中间纤维（IF）

①中间纤维的化学组成和结构

在电镜下，中等纤维的电子密度很低，是中空的管状结构，直径介于微管和微丝之间，约10nm（图1-2-19）。中间纤维具有严格组织特异性，在不同组织细胞中，中间纤维的化学组成是不同的，有角蛋白纤维、波形纤维、结蛋白纤维、神经元纤维、神经胶质纤维等五种类型。各种中间纤维在分子结构上具有高度同源性：具有约310个氨基酸的α-螺旋组成的杆状区，这是一个高度保守的二级结构；杆状区两端则分别为非螺旋的头部区和尾部区，头尾这两部分是高度可变的。

一般认为组装中间纤维时，先是通过两条多肽链杆部的α-螺旋区结合形成二聚体，一对二聚体聚合为四聚体，四聚体是在溶液中存在的最小稳定单位，这样的两个四聚体再形成一根亚丝，由四根亚丝盘绕成一根完整的中等纤维。

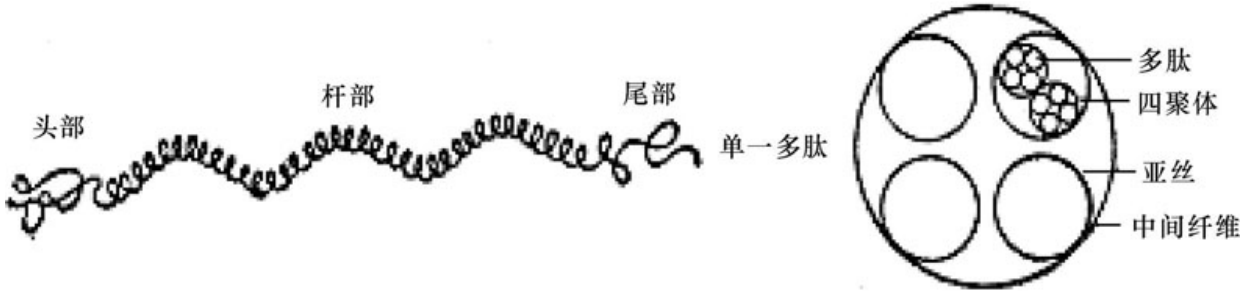


图1-2-19　中间纤维

②中间纤维的功能

中间纤维的功能并不十分清楚。一般认为，中间纤维在细胞质中起支架作用，并与细胞核定位有关系。中间纤维在细胞间、组织中也有支架作用，如角蛋白中间纤维参与桥粒的形成和维持，结蛋白纤维参与横纹肌Z盘的结构。中间纤维在胞质中形成精细发达的纤维网络，外与细胞膜及细胞外基质相连，内与核纤层有直接联系，推测中间纤维参与传递细胞内机械的或分子的信息，可从细胞膜传至细胞核，也可由细胞核传至细胞膜。胞质mRNA锚定于中间纤维，它可能与mRNA的运输有关，可能对其在细胞内的定位及是否翻译起决定作用。

（4）微梁系统

微梁系统是20世纪70年代利用高压电镜研究细胞基质结构时被发现的，它是细胞骨架中最细的一种纤维，直径约2～3nm，长度一般小于0.3μm。它一般不成束分布，化学成分也比较复杂，含有多种蛋白质。微梁系统在细胞内形成立体的网络系统，可以与其他细胞骨架成分共同对细胞起支架作用。微梁系统不仅将微管、微丝、中间纤维整合在一起，并且与线粒体、核糖体等各种细胞器相连。不过目前微梁网络作为细胞骨架的一个组成部分还未得到普遍确认。

（三）细胞核

细胞核是细胞内最大的细胞器，它含有全部基因组的染色体，是生命活动的控制中心。细胞核主要由核膜、核基质、染色质、核仁组成（图1-2-20）。

1．核膜

核膜是细胞核的界膜，由内外两层平行的单位膜组成，在内、外膜之间有宽约10～50nm的间隙，称为核周腔。核外膜上常附着核糖体颗粒，有些部位与粗面内质网膜相连，核周腔与内质网腔相通，由此可将核外膜看作是内质网膜的一个特化区域。

在核内膜与染色质之间紧靠核内膜的区域分布着一层由特殊的中间纤维形成的网络结构，称为核纤层。核纤层与核膜、染色质及核孔合体在结构上有密切的联系，

一般认为核纤层为核膜及染色质提供了结构支架。内外核膜在一些位点上融合形成环状开口，称为核孔，其直径约为50～100nm。核孔是由RNA和蛋白质组成的丝状网架结构封在其上，这是一种特殊的跨膜运输的蛋白复合体，称为核孔复合体。核孔是细胞核和细胞质之间大分子物质（如合成DNA和RNA所需的酶，核内合成的各种RNA等）进行交换的通道，这些物质与核孔复合体上的受体蛋白结合，通

过“主动运输”过程进出。核孔数目的多少与细胞代谢状况有关，代谢旺盛的细胞，核孔较多。

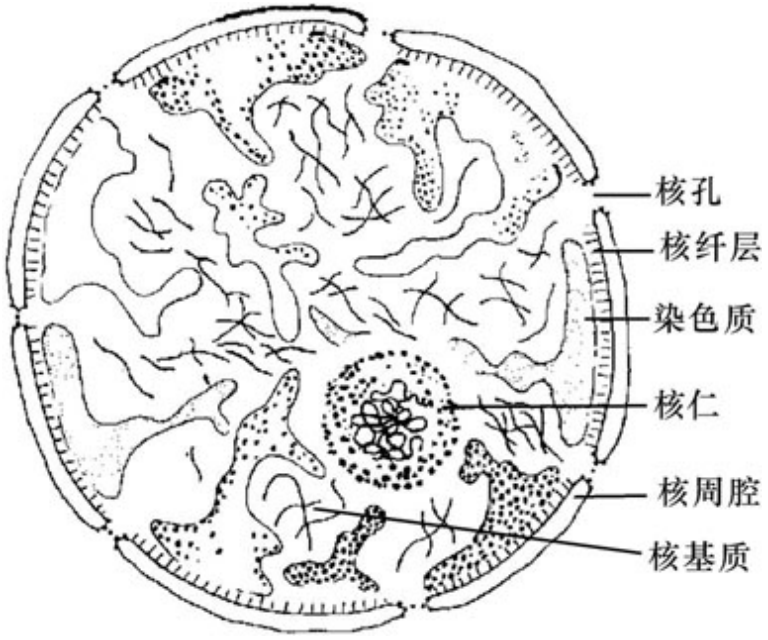


图1-2-20　细胞核

2．核基质

核基质为间期核内非染色或染色很浅的透明黏稠的液体，主要成分是蛋白质和少量的RNA。

事实上核基质不是无结构的液体，而是一个以蛋白质成分为主的网架结构体系（核骨架），网孔中充满液体。染色质和核仁悬浮在核基质中。它是核内代谢作用的场所，与DNA的复制、转录以及与染色体的构建相关。

3．染色质和染色体

（1）染色质的概念和分类

染色质是指间期细胞核内易被洋红、龙胆紫、苏木精等碱性染料着色的细丝状结构，是间期细胞遗传物质存在的形式。染色体是指细胞在有丝分裂或减数分裂过程中，由染色质聚缩而成的棒状结构。两者之间的区别不在化学组成上，而在构型上，反映了它们处于细胞周期的不同阶段。间期染色质可以按其形态表现和染色性能区分为两种类型：常染色质和异染色质。常染色质是指间期核内染色质丝折叠压缩程度低，处于伸展状态，用碱性染料染色时着色浅的那些染色质。构成常染色质的DNA主要是单一序列DNA和中度重复序列的DNA。常染色质为功能活跃的部分，能进行复制与转录。异染色质是指间期核

中染色质丝折叠压缩程度高，处于凝集状态，碱性染料染色时着色深的那些染色质。异染色质又分为结构异染色质和兼性异染色质。结构异染色质指的是各种类型的细胞除复制时期外在整个细胞周期均处于聚缩状态，DNA包装在整个细胞周期中基本没有变化的染色质。结构异染色质在中期染色体上多定位于着丝粒区、端粒、次缢痕及染色体臂的某些节段；由相对简单、高度重复的DNA序列构成，具有显著遗传惰性，不转录也不编码蛋白质。兼性异染色质是指在某些细胞类型或一定的发育阶段，原来的常染色质凝缩，丧失基因转录活性，变为异染色质。如哺乳动物雌性两条X染色体之一，在发育的早期阶段随机发生异染色质化而失活，在上皮细胞核内，这个异固缩的X染色体称巴氏小体。

（2）染色质的化学组成

染色质的主要成分是DNA、组蛋白、非组蛋白及少量RNA，DNA和组蛋白是染色质的稳定成分，非组蛋白与RNA的含量则随着生理状态而变化。组蛋白是染色体的基本结构蛋白，富含带正电荷的精氨酸和赖氨酸等碱性氨基酸，其等电点在pH10.0以上，属于碱性蛋白，可以与酸性的DNA紧密结合，而且一般不要求特殊的核苷酸序列。用聚丙烯酰胺凝胶电泳可将组蛋白区分为5种组分，即H_1、H_2A、H_2B、H_3和H_4。非组蛋白是指在染色质中与特异的DNA序列相结合蛋白质。非组蛋白富含有天冬氨酸、谷氨酸等酸性氨基酸，主要包括各种酶（如连接酶、转录酶等）以及少量的结构蛋白，它们能帮助DNA分子折叠，以形成不同的结构域，还能协助启动DNA复制以及控制基因转录等。非组蛋白具有种属和组织特异性，而且含量在活动的染色质中比不活动的染色质中要高。

（3）染色质和染色体的结构

在电子显微镜下可看到染色质成串珠状的细丝，小珠称核小体（图1-2-21A），是染色质的基本结构单位，它的主要结构要点是：①每个核小体单位包括200碱基对左右的DNA和一个组蛋白八聚体以及一分子的组蛋白H_1；②组蛋白八聚体构成核小体的核心结构，由H_2A、H_2B、H_3和H_4各两个分子所组成；③DNA分子盘绕核小体的核心7/4圈，共140个碱基对，称为核心DNA；④一个分子的组蛋白H_1与DNA结合，锁住核心DNA的进出口，从而稳定了核小体的结构；⑤两相邻核小体之间是一段连接DNA，含60个碱基对。

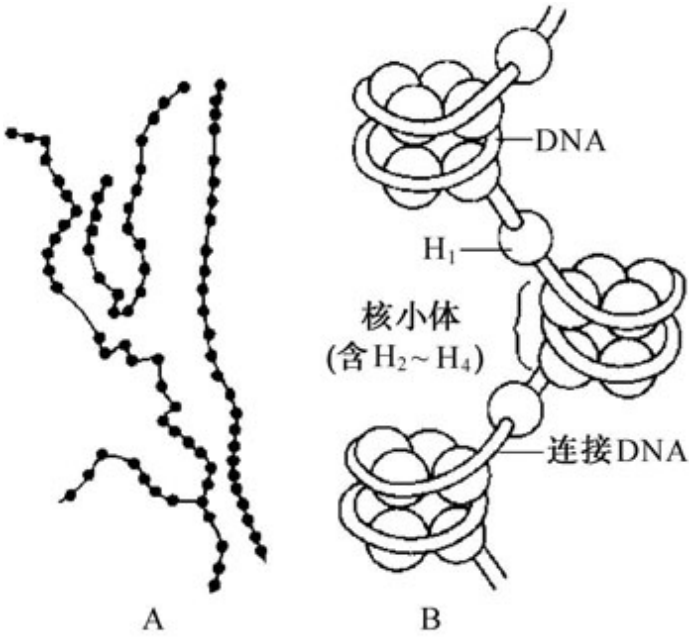


图1-2-21　核小体和DNA链

A．DNA链　B．放大示核小体

染色体是染色质在分裂期紧密卷曲凝缩的结构形式（图1-2-21B）。染色体包装的四级结构模型认为：在组蛋白H_1的作用下核小体彼此连接形成直径约10nm的核小体串珠结构，这是染色质包装的一级结构；直径10nm的核小体串珠结构进一步螺旋盘绕，形成每圈含6个核小体，外径30nm，内径10nm，螺距11nm的螺线管，这是染色体包装的二级结构；以螺旋管为基础再次螺旋化形成直径0.4μm的圆筒状结构，称为超螺旋管，即为染色体包装的三级结构；超螺旋管进一步螺旋形成染色体的四级结构。这样通过四级螺旋包装形成的染色体结构，共压缩了8400倍。

染色体在细胞周期不同时期凝集程度不同，其形态结构有很大的差异（图1-2-22）。有丝分裂中期的染色体达到了最大收缩，形态最典型，且比较稳定。它由两条相同的姐妹染色单体构成，彼此以着丝粒相连。根据着丝粒在染色体上的位置，可将染色体分为四种类型：（1）中部着丝粒染色体，两臂长度相等或大致相等；（2）亚中部着丝粒染色体，两臂长度不相等，分为长臂和短臂；（3）端部着丝粒染色体，着丝粒位于染色体一端；（4）亚端部着丝粒染色体，有一个非常小的或难以察觉的短臂。

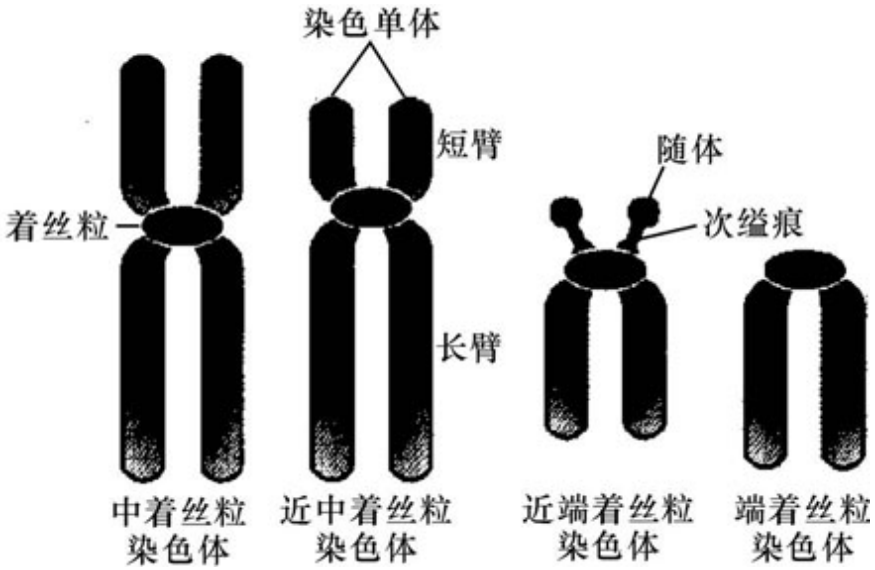


图1-2-22　染色体类型

（4）染色体各部分的主要结构

①着丝粒和着丝点（动粒）

着丝粒连接着两个染色单体，由于染色体在着丝粒部位内缢，所以将此部位称为主缢痕。着丝粒是一种高度有序的整合结构，在结构和组成上都是非均一的，至少包括3个不同的结构域：a．着丝点结构域，又称动位，即着丝粒外表面的结构，它又可分为3个区域，一是与着丝粒中央结构域相联系的内板，二是中间间隙，电子密度低，为半透明区，三是外板，在外板表面覆盖着由微管蛋白相成的纤维冠。着丝点微管与内外板相连。b．中央结构域．这是着丝粒结构域的主体，由富含高度重复序列的DNA构成，并结合多种着丝粒蛋白。c．配对结构域，位于着丝粒内表面，这是中期姐妹染色单体相互作用的位点。

②次缢痕　除主缢痕外染色体上浅染缢缩的部位。它的数目、位置和大小是某些染色体所特有的形态特征，因此可作为鉴定染色体的标记。

③核仁组织区（NOR）　位于染色体的次缢痕部位，但并非所有次缢痕都是核仁组织区。染色体核仁组织区是rRNA基因所在的部位（除5S rRNA基因外），与间期细胞核仁形成有关。

④随体　指染色体末端部分的圆形或圆柱形的染色体节段，通过次缢痕区与染色体的主要部分相连，它是鉴别染色体的一个重要标志。

⑤端粒　指染色体端部的特化结构，由端粒DNA和端粒蛋白构成。其生物学作用在于维持染色体的稳定，保证DNA的完全复制及参

与染色体在核内的空间排布。

4．核仁

在光学显微镜下观察，真核细胞间期核中通常可见到单一或多个均质的球形小体，称为核仁。尽管核仁的大小、形状和数目随生物的种类、细胞类型和细胞代谢状态而变化，但是核仁均由三种基本结构组分所组成。

（1）纤维中心　核仁内部一个或几个浅染的低电子密度的圆形结构体，其中包含染色体核仁组织区（NOR）的DNA，这种DNA是编码rRNA的基因，称为rDNA。

（2）致密纤维组分　核仁超微结构中电子密度最高的部分，由致密的纤维构成，通常看不到颗粒。rRNA以很高的密度出现在这个区域，推测它是rDNA转录合成rRNA的区域。

（3）颗粒组分　是核仁的主要结构，由直径10～20nm的核糖核蛋白颗粒构成，这些颗粒是正在加工的核糖体亚单位前体颗粒。

核仁的主要功能是rRNA的合成、加工和核糖体亚单基的装配。所以蛋白质合成旺盛的细胞如分泌细胞、卵母细胞、肿瘤细胞等核仁较大，相反在一些蛋白质合成不活跃的细胞中如肌细胞、休眠的植物细胞等核仁很小或根本没有。

二、原核细胞与古细胞

原核细胞没有核膜，遗传物质集中在一个没有明确界限的低电子密度区。DNA为裸露的环状分子，通常没有结合蛋白，环的直径约为2.5nm，周长约几十纳米。没有恒定的内膜系统，核糖体为70S型。原核细胞构成的生物称为原核生物，均为单细胞生物，包括细菌、放线菌以及立克次氏体、支原体、衣原体等。原核细胞与真核细胞的区别见表1-2-1。

表1-2-1　原核细胞与真核细胞的区别

区　别		原核细胞	真核细胞
大小		1～10μm	10～100μm
细胞核		无核膜	有双层的核膜
染色体	形状	环状 DNA 分子	线性 DNA 分子
	数目	一个基因连锁群	2 个以上基因连锁群
	组成	DNA 裸露或结合少量蛋白质	DNA 同组蛋白和非组蛋白结合
DNA 序列		无或很少有重复序列	有重复序列
基因表达		RNA 和蛋白质在同一区间合成	RNA 在核中合成和加工;蛋白质在细胞质中合成
细胞分裂		二分或出芽	有丝分裂和减数分裂,少数出芽生殖。
内膜		无独立的内膜	有,分化成各种细胞器
鞭毛构成		鞭毛蛋白	微管蛋白
光合与呼吸酶分布		质膜	线粒体和叶绿体
核糖体		70S(50S+30S)	80S(60S+40S)
营养方式		吸收,有的行光合作用	吸收,光合作用,内吞
细胞壁		肽聚糖、蛋白质、脂多糖、脂蛋白	纤维素(植物细胞)

（一）蓝藻

又称蓝细菌，是原核生物，又是最简单的自养生物（图1-2-23）。它的光合作用类似于高等植物（以水为电子供体，放出O_2）而不同于光合细菌。没有叶绿体，但有质膜内陷形成的捕光装置。DNA分子环状，但遗传信息量很大，可与高等植物相比。体积比其他原核细胞大得多，直径约10μm左右，甚至可达70μm（如颤藻）。属单细胞生物，但有些蓝藻经常以丝状的细胞群体存在，如蓝藻门念珠藻类的发菜就是蓝藻的丝状体。分布十分广泛，淡水、海洋、高山、极地、沙漠、草原与森林均有分布。含有色素，如藻蓝素与叶绿素，使细胞呈绿色。有些种类的蓝藻含有黄色、红色色素，使细胞呈现不同的颜色。

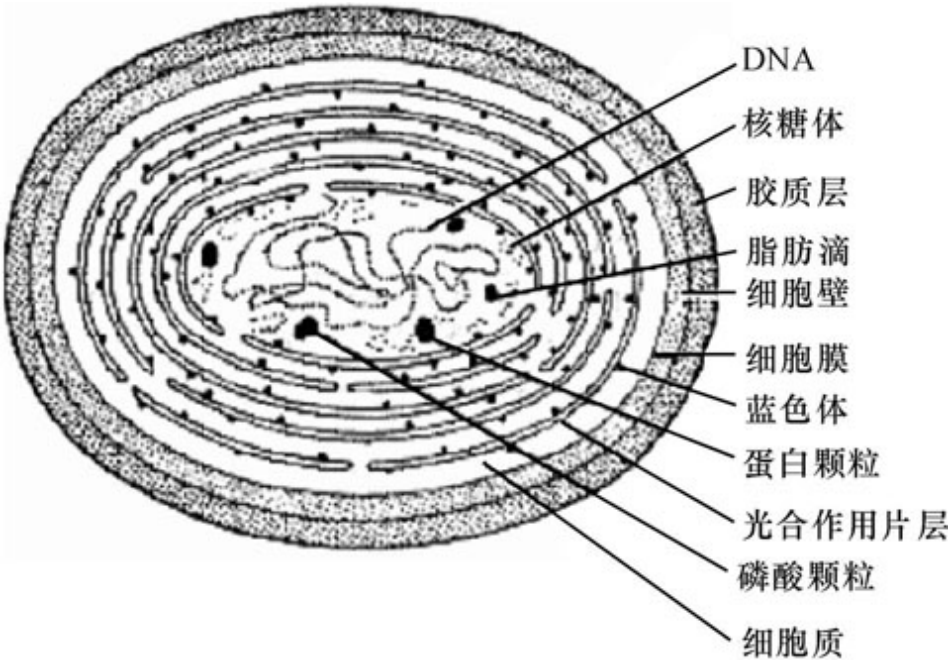


图1-2-23　蓝藻

蓝藻细胞的基本特征：

1．中心质　蓝藻是遗传物质DNA所在的部位，相当于细菌的核区，称为中心质或中央体。DNA裸露，不与碱性蛋白结合。复制连续，不局限于某一特定时间。

2．光合作用片层　位于细胞质部分的同心环样的膜片层结构，上面规则地排列着直径约35nm的小体，称藻胆蛋白体。藻胆蛋白的作用是将光能传递给叶绿素a。蓝藻不含叶绿素b，所以光合效率比高等植物低。蓝藻的光合作用细菌不同：蓝藻放出氧气，而光合细菌不能放出氧气。

3．细胞内含物　蓝藻细胞包含许多各具特点的内含物，包括蓝藻淀粉、脂滴、颗粒体、多磷酸脂体、多角体等。内含物的形态各异，与细胞的生理状态、发育时期和环境因素有关。

4．细胞表面结构　细胞壁：电镜观察可见四个结构层次，除了含有和高等植物一样的纤维素成分外，还含有与细菌相似的肽聚糖。胶质层：细胞壁外的胶质层也称为鞘。易被碱性染料着色。鞘对于蓝藻抵抗不良环境很重要。

（二）放线菌

生活于土壤中，具“土腥气”。菌落放射状，能形成有分支的菌丝，多有基内菌丝和气生菌丝（图1-2-24）。繁殖慢，常用于抗生素的生产，如红霉素、链霉素。

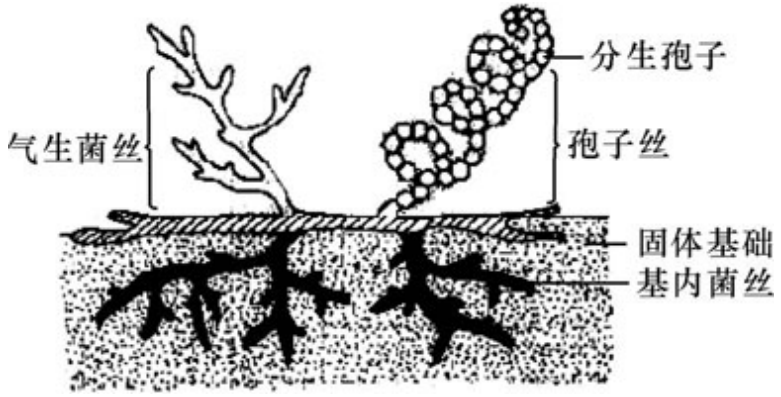


图1-2-24　放线菌

（三）细菌

细菌是自然界分布最广、个体数量最多、与人类关系极为密切的有机体。形态：球形、杆形、梭形、螺旋形或弧形。直径：0.5～5.0μm（图1-2-25）。

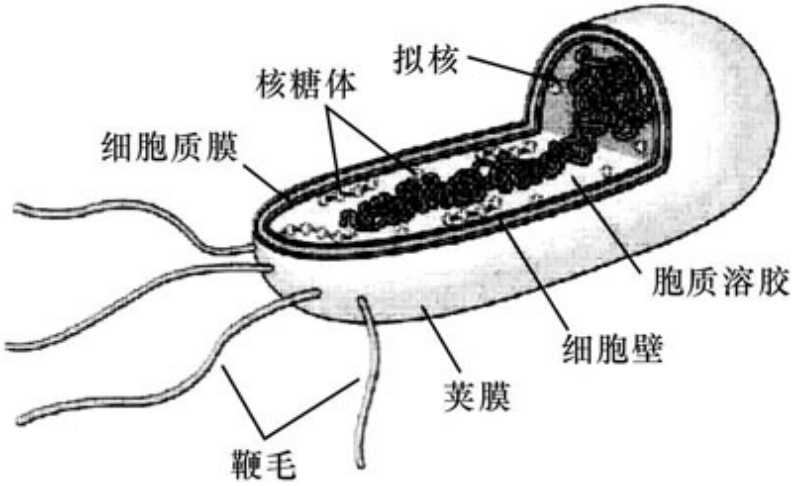


图1-2-25　细菌

1．细菌细胞的核区

细菌的细胞只有原始形态的核，没有核膜，更没有核仁，结构简单，称为核区或拟核。细菌的核区主要由一个环状、双螺旋DNA分子组成，习惯地称之为细菌染色体。然而它没有或只有极少的组蛋白与DNA结合。因为细菌没有核膜，所以细菌的DNA环在复制时结合在质膜上作为支持点。质膜参与遗传物质的复制和分配，然后进行细胞的分裂。细菌没有核膜，DNA的转录与蛋白质合成没有空间的隔离，所以细菌的RNA转录与蛋白质翻译几乎是同步进行的，这是原核与真核生物的最主要的差别。

2．细菌细胞的表面结构

细菌细胞的表面结构是指细胞膜、细胞壁及其特化结构：中膜体、夹膜与鞭毛等。

（1）细胞膜　细胞膜又称质膜，是包围细菌原生质的典型生物膜，由磷脂双分子层与镶嵌蛋白质构成的富有弹性的半透膜。膜厚约8～10nm，外侧紧贴细胞壁。细菌细胞的细胞质膜是多功能的，其最重要的功能就是运输作用，包括营养物质的吸收、废物的排除、能量代谢等。细菌的细胞膜含有丰富的酶系，执行许多代谢功能，如线粒体、内质网和高尔基体的部分功能等。

（2）中膜体　中膜体又称间体或质膜体，由细胞质膜内陷形成。每个细胞内有一个或数个。

中膜体与DNA有联系，推测可能起DNA复制的支点作用，也有人推测其他有类似线粒体的作用。

（3）细胞壁　细胞壁是位于细胞膜外的一层较厚、较坚韧并略具有弹性的结构。所有细菌的细胞壁都具有共同的成分是肽聚糖，由N-乙酰葡糖胺和N-乙酰胞壁酸构成的双糖单元与四五个氨基酸短肽聚合而成的多层网状大分子。革兰氏阳性菌细胞壁厚约20～80nm，有15～50层肽聚糖片层，每层厚1nm，含90%的壁酸，有的还具有少量蛋白质。革兰氏阴性菌细胞壁厚约10nm，仅2～3层肽聚糖，另外还有脂多糖、细菌外膜和脂蛋白，壁酸含量仅占5%。革兰氏阳性菌对青霉素敏感，而革兰氏阴性菌对青霉素不敏感，因为青霉素的抑菌作用主要是通过抑制壁酸的合成。阳性菌因壁酸的含量极高，故对青霉素很敏感。细胞壁对细胞有保护作用，对物质的交换起部分调节作用。细胞壁的成分与抗原性、致病性及对病毒的敏感性均有关系。

（4）荚膜　荚膜是某些细菌表面的特殊结构，是位于细胞壁表面细菌最外表的一层多糖类物质，边界明显的称荚膜，如肺炎球菌；边界不明显的称黏液层，如葡萄球菌。功能：抵御不良环境；保护自身不受吞噬；选择性地黏附到特定细胞的表面上。

（5）鞭毛　是某些细菌的运动器官，由一种称为鞭毛蛋白弹性蛋白构成，结构上不同于真核生物的鞭毛。

3．细菌细胞的核糖体

约含5000～50000个。部分附着在细胞膜内侧，大部分游离于细胞质中。沉降系数为70S。由大亚单位（50S）与小亚单位（30S）组成。大亚单位含有30S rRNA，5S rRNA与30多种蛋白质，小亚单位含有16SrRNA与20多种蛋白质。30S的小亚单位对四环素与链霉素敏感，50S的大亚单位对红霉素与氯霉素敏感。

4．细菌细胞核外DNA

除核区DNA外，可进行自主复制的遗传因子，称为质粒。质粒是裸露的环状DNA分子，所含遗传信息量为2～200个基因，能进行自我复制，有时能整合到核DNA中去。质粒常用作基因重组与基因转移的载体。质粒常常赋予细胞对抗生素的抗性。

5．细菌细胞的内生孢子

某些细菌处于不利的环境，或耗尽营养时，形成内生孢子，又称芽孢，是对不良环境有强抵抗力的休眠体。

（四）立克次氏体

立克次氏体是专性寄生于动物、植物活性细胞中的致病性原核微生物，形态结构与细菌相似，以二分裂方式进行繁殖。

（五）衣原体

衣原体是一类比立克次氏体小，自身的结构更简单，专门寄生在活细胞中的致病性原核微生物。由于它自己没有产能系统，需要从其他生物取得能量，故有“能量寄生物”之称。

这类微生物在宿主细胞内生活周期独特，存在原体和始体两种形态，始体形态较大，以二等分裂方式在宿主细胞内形成一个微菌落，随后，大量的子细胞又分化成较小而壁厚的感染性衣原体。衣原体比一般病毒大得多，而且可以被抗生素杀死，这是它和病毒的主要区别。

（六）支原体

支原体又称霉形体，细胞直径一般是0.1～0.3μm，仅为细菌的十分之一，是目前发现的最小、最简单的原核细胞（图1-2-26）。没有细胞壁，形态多变，有圆形、丝状或梨形，光镜下难以看清其结构。具有细胞膜。细胞膜中胆固醇含量较多，约占36%，凡能作用于胆固醇的物质（如二性霉素B、皂素等）均可引起支原体膜的破坏而使支原体死亡。有一环状双螺旋DNA，没有类似细菌的核区（拟核），能指导合成700多种蛋白质。唯一可见的细胞器是核糖体，每个细胞中约有800～1500个。可以在培养基上培养，也能在寄主细胞中繁殖。没有鞭毛，无活动能力。可以通过一分为二的方式繁殖，也有进行出芽增殖的。

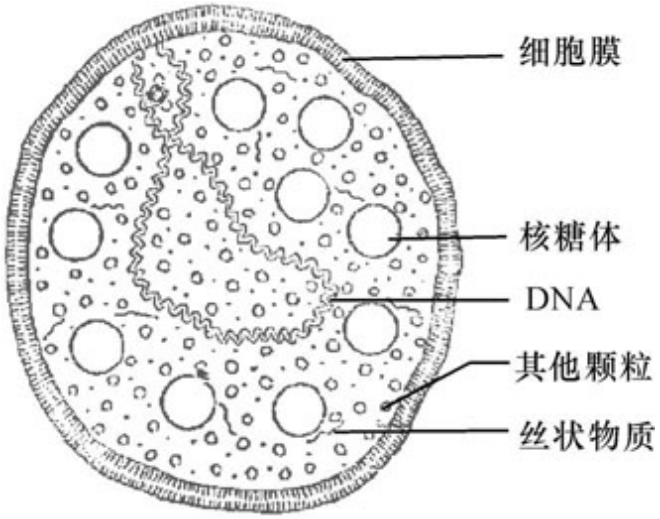


图1-2-26　支原体

（七）古细菌

古细菌是一类很特殊的细菌，多生活在极端的生态环境中，如海底火山附近的高温、高压热水环境。具有原核生物的某些特征，如无核膜及内膜系统；也有真核生物的特征，如以甲硫氨酸起始蛋白质的合成、核糖体对氯霉素不敏感、RNA聚合酶和真核细胞的相似、DNA具有内含子并结合组蛋白。此外还具有既不同于原核细胞也不同于真核细胞的特征，如：细胞膜中的脂类是不可皂化的；细胞壁不含肽聚糖，有的以蛋白质为主，有的含杂多糖，有的类似于肽聚糖，但都不含胞壁酸、D型氨基酸和二氨基庚二酸。因之有人认为古细菌代表由一共同祖先传来的第三界生物（古细菌、原核生物、真核生物），它们包括酸性嗜热菌、极端嗜盐菌及甲烷微生物，可能代表了活细胞的某些最早期的形式。

1．极端嗜热菌：能生长在90℃以上的高温环境，是生物界耐受高温的冠军。如Pyrolobus fumarii可以生活在90～113℃，pH4.0～6.5。其最适生存温度为106℃，低于85℃和高于115℃则不生长，能在121℃的高温中存活1h。极端嗜热菌以化能自养的方式生活，许多以硫为电子受体获取能量。

2．极端嗜盐菌：生活在高盐度环境中，盐度可达25%，如死海和盐湖中，它们通过其细胞膜上光驱动的质子泵，产生质子动力势，合成ATP。

3．极端嗜酸菌：能生活在pH值1以下的环境中，往往也是嗜高温菌，生活在火山地区的酸性热水中，能氧化硫，硫酸作为代谢产物排出体外。

4．极端嗜碱菌：多数生活在盐碱湖或碱湖、碱池中，生活环境pH值可达11.5以上，最适pH值8～10。

5．产甲烷菌：是严格厌氧的生物，能利用CO_2使H_2氧化，生成甲烷，同时释放能量。

三、病毒、类病毒、蛋白质感染因子

（一）病毒

病毒是一类非细胞形态的介于生命与非生命形式之间的物质。有以下主要特征：①个体微小，可通过滤菌器，大多数必须用电镜才能看见；②仅具有一种类型的核酸，或DNA或RNA，没有含两种核酸的病毒；③专营细胞内寄生生活；④具有受体连结蛋白，与敏感细胞表面的病毒受体连结，进而感染细胞。

病毒的大小一般在10～30nm之间。结构简单，由核酸（DNA或RNA）芯和蛋白质衣壳所构成，称核衣壳，衣壳有保护病毒核酸不受酶消化的作用。各种病毒所含的遗传信息量不同，少的只含有3个基因，多的可达300个不同的基因。

病毒衣壳由一至几种蛋白组成，组成病毒衣壳的亚单位称壳微粒。病毒的形成不需要酶的参加，只要条件具备，核酸和蛋白质便可自我装配成病毒。其装配形式有二十面体对称、螺旋对称和复合对称三种类型。二十面体对称型的衣壳蛋白形成二十面体，核酸包在其中；螺旋对称型的衣壳蛋白与核酸呈螺旋形排列，核酸交织在其中；复合对称型为同时具有或不具有两种对称性形式的病毒

一个成熟有感染性的病毒颗粒称“病毒体”，电镜观察有五种形态。①球形：大多数人类和动物病毒为球形，如脊髓灰质炎病毒、疱疹病毒及腺病毒等；②丝形：多见于植物病毒，如烟草花叶病病毒、人类流感病毒；③弹形：形似子弹头，如狂犬病毒、疱疹性口炎病毒等，其他多为植物病毒。④砖形：如天花病毒、牛痘苗病毒等；⑤蝌蚪形：由一卵圆形的头及一条细长的尾组成，如噬菌体。其中①为二十面体对称；②、③为螺旋对称；④、⑤为复合对称。

有的病毒衣壳外面尚有一层被膜，这层被膜是病毒粒子脱离细胞时，包被上的宿主细胞的质膜，被膜中含有病毒融合蛋白，如流感病毒。病毒融合蛋白在病毒进入宿主细胞时起着关键作用。

病毒只有在侵入细胞以后才表现出生命现象。病毒的生活周期可分为两个阶段：一个是细胞外阶段，以成熟的病毒粒子形式存在；另一个是细胞内阶段，即感染阶段，在此阶段中进行复制和繁殖。感染

阶段开始时，病毒的遗传物质由衣壳中释放出来，注入宿主细胞中，然后在病毒核酸信息的指导控制下，形成新的病毒粒子。

根据寄生的宿主不同，病毒可分为动物病毒、植物病毒和细菌病毒（即噬菌体）三大类。根据病毒所含的核酸的性质和状态不同，可将病毒分为6类：①双链±DNA→＋mRNA→蛋白质，如天花病毒、T-偶数噬菌体。②单链＋DNA→±DNA→＋RNA→蛋白质。③双链±RNA→＋mRNA→蛋白质，如呼肠孤病毒。④单链＋RNA→—RNA→＋RNA→蛋白质脊髓灰质炎病毒。⑤单链—RNA→＋RNA→＋蛋白质，如流感病毒、副流感病毒、狂犬病毒。⑥单链＋RNA→DNA→±DNA→＋mRNA→蛋白质，即逆转录病毒，又称RNA肿瘤病毒。

（二）类病毒

类病毒在结构上比病毒还要简单，没有蛋白质外壳，仅为一裸露的RNA分子。由于它们具有感染作用，类似于病毒，故称为类病毒。它们不能像病毒那样感染细胞。只有当植物细胞受到损伤，失去了膜屏障，它们才能在供体植株与受体植株间传染。例如，马铃薯纺锤块茎类病毒仅由一个含359个核苷酸的单链环状RNA分子组成，链内有一些互补序列。分子长约40～50nm，不能制造衣壳蛋白。

（三）蛋白质感染因子

蛋白质感染因子由Prusiner 1982年发现于患羊瘙痒病的仓鼠，命名为prion，译为蛋白质感染因子或朊病毒（图1-2-27）。Prusiner因此于1997年获得诺贝尔奖。

prion（PrP）由Prnp基因编码，位于人20号染色体，小鼠2号染色体。这种蛋白质存在于神经元和神经胶质细胞表面，可能起信号转导作用。正常Prnp基因产物为PrP^{c}蛋白，对蛋白酶很敏感，具有致病作用的是PrP^{sc}蛋白。



图1-2-27　蛋白质感染因子（朊病毒）

PrP^{sc}与PrP^{c}均由253～254个氨基酸组成，PrP^{c}具有43% 的α-螺旋，3%的β-折叠，而PrP^{sc}具有34%α-螺旋，43%的β-折叠。动物被

感染后，PrP^{sc}蛋白堆积在脑组织中，形成不溶的淀粉样蛋白沉淀，无法被蛋白酶分解，引起神经细胞凋亡。

朊病毒本身不能繁殖，它是通过胁迫PrP^{c}畸变进行自我复制的。其复制途径大致如下：一个PrP^{sc}分子击中一个PrP^{c}分子，PrP^{c}在PrP^{sc}的胁迫下结构发生转化，形成PrP^{sc}二聚体；接着2个PrP^{sc}分子再分别击中2个PrP^{c}产生4个PrP^{sc}分子。如此循环，当PrP^{sc}累积到一定浓度后就会损坏神经元。由此可见，蛋白粒子病的发病机制是正常型的PrP^{c}转变为致病型的PrP^{sc}形式，而PrP基因的突变是导致这种转变的主要原因。Prusiner证实，PrP^{c}呈α-螺旋的部分肽链在PrP^{sc}的类似区域中为β-折叠结构。现已有两种模型解释这一过程。一种为“催化”模型，认为正常PrP^{c}遭遇PrP^{sc}单体后会形成一种亚稳定的寡聚复合物，进而诱导正常的PrP^{c}变构为PrP^{sc}，该复合物最终形成淀粉样纤维结构的蛋白聚合物；另一种为“结晶”模型，认为正常的PrP^{c}会瞬间自发地变构为PrP^{sc}形式，但仅在致病的PrP^{sc}作为“晶种”时形成聚合物，从而导致脑神经损伤。

蛋白质感染因子的增殖既不是由于基因过分表达，也不是因翻译量增加，而是由于正常分子的构象发生转变造成的，所以亦称朊病毒。目前已知的人类Prion疾病主要有：克—雅二氏病、变异型克—雅氏、GSS综合征、克鲁病、致死性家族性失眠症。对于蛋白质感染因子引起的疾病，目前尚没有有效的治疗措施。这类蛋白具有很强的抵抗力，对抗生素和消毒剂不敏感。

【例题解析】

例1　下列有关细胞质膜的叙述中，错误的是（　　）

A．在绝大多数质膜的两层膜脂中，胞质层膜脂和胞外层膜脂有相同的脂质组成

B．膜蛋白在两层膜脂中呈不对称分布

C．大多数蛋白和膜质在膜中可以横向运动

D．细胞被膜在外质层上面

解析　本题考查的知识点是细胞质膜的结构及特征。细胞质膜的结构是以脂双分子层为基本支架，膜蛋白覆盖、镶嵌或贯穿于脂双层分子中。质膜有流动性、不对称性等基本特征。膜的流动性包括膜脂的运动和膜蛋白的运动，主要形式是侧向扩散，即指膜蛋白和膜脂沿膜的二维表面的横向移动。膜的不对称性包括膜脂、膜蛋白和膜糖类不对称性。膜脂的不对称性指同一种膜脂分子在膜的脂双层中呈不均

匀分布，无论是脂类的种类，还是同一种脂质的数量均不相同；膜蛋白的不对称性不仅是指所有的膜蛋白，不论是外周膜蛋白还是内在膜蛋白在膜上都是不对称分布的，而且每种膜蛋白分子在细胞膜上都具有明确的方向性；膜糖的分布更表现出完全的不对称性，糖类在细胞膜中只存在于膜外表面，与外层脂分子或蛋白质结合形成糖脂或糖蛋白。这些糖类物质共同构成质膜外的细胞被膜。

答案　A

例2　如何用实验区分内在膜蛋白和外周膜蛋白（　　）

A．用1mol/L NaCl，仅外周蛋白而不是内在膜蛋白能从膜上除去

B．用0.1mol/L NaOH，仅内在膜蛋白能从膜上除去

C．用1mol/L NaCl，仅内在膜蛋白能从膜上除去

D．仅外周蛋白而不是内在膜蛋白在变性剂去污剂中可被溶解除去

E．仅外周蛋白而不是内在膜蛋白可被蛋白水解酶作用

解析　内在膜蛋白和外周膜蛋白的划分主要根据膜蛋白从膜上分离的难易程度及其与脂质分子的结合方式。外周膜蛋白只是靠离子键或其他较弱的键与膜表面的蛋白质分子或脂分子结合，因此当溶液的离子强度一改变，就有可能将其从膜上分离下来，但膜结构并不被破坏。而内在膜蛋白与膜结合非常紧密，只有用去污剂等使膜崩解才可分离出来。所以B、C、D均不对。使用蛋白水解酶，则无论是外周膜蛋白还是内在膜蛋白均将被水解，故E也不对。正确答案为A。

答案　A

例3　什么是动物和植物细胞细胞质之间直接联系的通道途径（　　）

A．胞间连丝，桥粒

B．胞间连丝，Ca^{2+}-ATP酶

C．膜孔蛋白，间隙连接

D．间隙连接，胞间连丝

解析　Ca^{2+}-ATP酶是存在于细胞膜和内质网膜上的一种离子汞，它能将Ca^{2+}输出细胞或泵入内质网腔中贮存起来，以维持细胞内低浓度的Ca^{2+}。膜孔蛋白是一种跨膜蛋白，可构成膜上的非特异性的跨膜通道。桥粒、胞间连丝、间隙连接则是多细胞有机体相邻细胞间的连接形式。桥粒借细胞骨架系统如中间纤维将相邻细胞紧密地铆接在一起。间隙连接由跨膜蛋白亚单位组成的连接子构成，连接子中间为跨膜通道，允许小分子物质包括信号分子直接通过。胞间连丝是植物细胞之间通过原生质丝构成的一种连接，允许小分子通过。

答案　D

例4　（1）下列细胞组成成分与其功能的关系，哪个是正确的（　　）

A．线粒体——合成多肽链

B．叶绿体——形成ATP

C．核糖体——光合作用

D．光滑内质网——多肽及脂类合成

（2）下列细胞组成成分与其功能的关系，哪个是正确的？（　　）

A．粗糙内质网——细胞组装核糖体亚单位

B．高尔基体——蛋白质及脂类的内部运输及传递

C．核仁——细胞内的消化

D．细胞骨架——多肽链的修饰

解析　此题考查了各种细胞器的功能，在这里概述一下：

①线粒体：各种生命活动所需的能量大部分都是靠线粒体中合成的ATP提供的，因此有细胞的“动力工厂”之称。所以第（2）题A错。

②叶绿体：叶绿体是质体的一种，是绿色植物进行光合作用的场所。质体是植物细胞所特有的。它可分为具色素的叶绿体、有色体和不具色素的白色体。

③核糖体：核糖体是无膜的细胞器，主要成分是蛋白质与RNA，二者靠非共价键结合在一起。核糖体分为附着核糖体和游离核糖体。在附着核糖体上形成的蛋白质属于分泌蛋白，要借助内质网和高尔基体的加工及运输。在游离核糖体上形成的蛋白质属于内在蛋白，不从细胞中出去，作为结构蛋白或功能蛋白，只在细胞中起作用。所以第（1）题C错。

④内质网：内质网外与细胞膜相连，内与核膜的外膜相通，组成细胞质的膜系统，将细胞中的各种结构连成一个整体，具有承担细胞内物质运输的作用。内质网分为滑面型内质网和粗面型内质网两种。滑面内质网上没有核糖体附着，它与脂类合成、糖类代谢有关。所以第（1）题D错。粗面内质网上附着有核糖体，其功能主要是蛋白质的合成与修饰，能进行N-连接糖基化。而组装核糖体亚单位的功能由核仁执行，所以第（2）题A错。

⑤高尔基体：高尔基器的第一个主要功能是为细胞提供一个内部的运输系统，它把由内质网合成并转运来的分泌蛋白质加工浓缩，通过囊泡运出细胞。高尔基体对脂质的运输也起一定的作用。高尔基体的第二个重要功能是能合成和运输多糖，这可能与植物细胞壁的形成

有关。第三个方面就是糖基化作用，即高尔基体中含有多种糖基转移酶，能进行O-连接糖基化。因此第（2）题B对。

⑥细胞骨架：包括细胞质骨架和细胞核骨架，主要由微丝、微管和中间纤维组成。细胞骨架系统的主要作用是维持细胞的一定形态。细胞骨架对于细胞内物质运输和细胞器的移动来说又起交通动脉的作用；细胞骨架还将细胞内基质区域化；此外，细胞骨架还具有帮助细胞移动行走的功能。所以第（2）题D错。

⑦溶酶体：溶酶体在细胞内消化中起关键作用，所以第（2）题C错；通过异体吞噬作用消化分解细菌、病原体等，故具有防御功能；通过自体吞噬作用，以自身物质作为营养，应付外界不利条件，避免自身永久性伤亡；通过自溶作用清除发育过程中退化细胞、器官及死亡细胞，保证细胞正常生长与发育。精子顶体就是特化的溶酶体。

⑧过氧化物酶体：是具有过氧化氢酶活性的小体，内含许多氧化酶、过氧化氢酶，能将对细胞有害的H_2O_2转化为H_2O和O_2。在植物叶肉细胞中，过氧化物酶体执行光呼吸的功能。

⑨乙醛酸循环体：除含过氧化物酶体有关的酶外，还含有乙醛酸循环有关的酶，如异柠檬酸裂合酶、苹果酸合成酶等。乙醛酸循环体除了具有分解过氧化物的作用外，还参与糖异生作用。

答案　（1）B　（2）B

例5　在体外非细胞系统蛋白合成体系中，含有SRP和SRP受体，不含有微粒体，则（　　）

A．多肽链根本不能合成

B．多肽链仅合成信号肽部分

C．多肽链完全合成，含信号肽部分

D．多肽链完全合成，不含信号肽部分

解析　肽链的信号序列被合成出来之后，细胞质内的信号识别颗粒（SRP）能够引导正在合成蛋白质的游离核糖体结合到内质网（ER）膜上，然后使新合成肽链进入ER腔，分送到细胞的各个部位。在这一体系中，在没有SRP、SRP受体和微粒体情况下，能够合成出带有信号序列的蛋白质；如果在这一合成体系中加入SRP，蛋白合成达到70～100个氨基酸的长度便会停止，原因是由于SRP与这一肽段结合，占据了核糖体上tRNA进入的A位点，影响了蛋白质合成的正常进行；此时，如果再加入SRP受体，当SRP受体与SRP结合成复合体之后，在GTP提供能量的情况下，SRP便脱离开所结合的核糖体A位点，使已经中止的蛋白质合成恢复进行，直到合成完整的肽链为止。如果在这一合成体系中同时加入SRP和膜上嵌有SRP受体的微粒体，则新合成肽链

的游离核糖体在SRP的作用下，结合在微粒体膜上并继续合成蛋白，新合成的肽链可穿过微粒体膜进入腔中，在信号肽酶作用下，切去信号肽，完成整条肽链的合成。故C正确。

答案　C

例6　下列哪些现象中，表明溶酶体具有使细胞自溶的功能的是（　　）

A．植物冬季落叶

B．蝌蚪发育后期尾部退化

C．白细胞吞噬侵入机体的病原微生物

D．破碎的线粒体被吸收

解析　本题考查的知识点是溶酶体的功能。溶酶体是细胞内溶解大分子的一种细胞器，功能有三种：异体吞噬、自体吞噬和自溶作用。消化和分解来自细胞外的物质称为异体吞噬，如白细胞吞噬病毒、细菌等。消化和分解生理或病理原因破损的细胞或其碎片称为自体吞噬。如果溶酶体膜的破裂，使整个细胞被释放出的水解酶所消化，导致细胞自溶而死亡，则称为自溶作用，如蝌蚪的尾部退化消失、黄体的退化等都是这种作用的结果。

答案　B

例7　和微管结合，在细胞内物质运输中起作用的马达蛋白有（　　）（多选题）

A．肌球蛋白

B．驱动蛋白

C．胞质动力蛋白

D．肌钙蛋白

解析　微管参与细胞内物质运输主要是由马达蛋白来完成，它可分两大类：胞质动力蛋白和驱动蛋白。两类蛋白都具有ATP酶的活性，能在ATP的作用下将物质沿微管滑动进行机械做功，所以称为马达蛋白。

答案　BC

例8　下面哪项是对的（　　）

A．动力蛋白是一种Ca^{2+}-ATP酶，可以产生用于纤毛和鞭毛弯曲所需的能量

B．微管蛋白开始聚合成为微管的地方，被称为微管组织中心

C．如果用微注射法向细胞内注入钙离子，微管解聚受阻，聚合增强

D．结蛋白是一种微丝

E．结蛋白在心肌细胞和平滑肌细胞中不存在

解析　在纤毛和鞭毛轴心的二联体微管的A亚纤维上有伸向相邻二联体微管的B亚纤维的突起，称为动力蛋白臂；组成它们的动力蛋白是一种多亚单位高分子ATP酶，能为Ca^{2+}、Mg^{2+}所激活，动力蛋白只能分解ATP释放能量，而不能产生ATP，产生用于纤毛和鞭毛弯曲所需的能量，答案A不正确。纤毛和鞭毛运动的滑动学说认为纤毛和鞭毛运动是由于ATP水解，使动力蛋白臂的构象改变，进而使相邻二联体微管相互滑动引起的。一般认为微管蛋白开始聚合成为微管的地方，被称为微管组织中心，如有丝分裂中的中心体、鞭毛和纤毛基体均是微管组织中心，答案B正确。钙离子与微管蛋白相互作用，能阻止微管的形成，故用微注射法向细胞内注入钙离子，微管聚合受阻，解聚增强，答案C不正确。结蛋白纤维是中间丝的一种，存在于肌细胞中，答案D、E不正确。其他种类的中间丝分别是：角蛋白纤维，存在于上皮细胞；波形纤维，存在于间质细胞和中胚层来源的细胞中；神经元纤维，存在于神经元中；神经胶质纤维，存在于神经胶质细胞。

答案　B

例9　以下哪个有关核仁的说法是错误的（　　）

A．核仁在有丝分裂中消失

B．rRNA合成在核仁进行

C．tRNA合成在核仁进行

D．小核仁可融合成大核仁

解析　核仁在有丝分裂中周期性地消失（前期）和重建（末期）；核仁是rRNA的转录、加工和装配成核糖体的场所；在有丝分裂末期小核仁可逐步融合成大核仁。而核仁与tRNA合成无关。

答案　C

例10　（1）原核生物（　　）（多选题）

A．具有细胞器，但不具有细胞核

B．能产生ATP，能独立进行生命过程

C．细胞壁含几丁质

D．大多具有环状DNA

E．都是厌氧生物

（2）病毒的特点是（　　）（多选题）

A．可采用光学显微镜观察病毒

B．病毒不能产生ATP，不能独立进行各种生命过程

C．病毒毒粒内含有DNA和RNA

D．病毒能通过细菌滤器

E．病毒没有细胞结构

解析　此题考查了原核生物和病毒的主要特征，在这里简要地介绍一下：

原核生物是由原核细胞组成的生物，包括蓝细菌、细菌、古细菌、放线菌、立克次氏体、螺旋体、支原体和衣原体等。

原核生物的特点

①核质与细胞质之间无核膜，因而无成形的细胞核。

②遗传物质是一条不与组蛋白结合的环状双螺旋脱氧核糖核酸（DNA）丝，不构成染色体（有的原核生物在其主基因组外还有更小的能进出细胞的质粒DNA），所以第（1）题D对。

③以简单二分裂方式繁殖，无有丝分裂或减数分裂。

④没有性行为，有的种类有时通过接合、转化或转导，将部分基因组从一个细胞传递到另一个细胞的准性行为（见细菌接合）。

⑤没有由肌球、肌动蛋白构成的微纤维系统，故没有形成伪足、吞噬作用等现象。

⑥鞭毛并非由微管构成，更无“9＋2”的结构，仅由几条螺旋或平行的蛋白质丝构成。

⑦细胞质内仅有核糖体而没有线粒体、高尔基器、内质网、溶酶体、液泡和质体（植物）、中心粒（低等植物和动物）等细胞器，所以第（1）题A错。

⑧细胞内的单位膜系统，除蓝细菌另有类囊体外，一般都由细胞膜内褶而成，其中有氧化磷酸化的电子传递链（蓝细菌在类囊体内进行光合作用，其他光合细菌在细胞膜内褶的膜系统上进行光合作用；化能营养细菌则在细胞膜系统上进行能量代谢）；细菌的代谢方式多种多样，不全为厌氧，所以第（1）题E错。

⑨在蛋白质合成过程中起重要作用的核糖体散在于细胞质内，核糖体的沉降系数为70S（50S＋30S）。

⑩大部分原核生物有以肽聚糖为主要成分的细胞壁，所以第（1）题C错。

病毒的定义：病毒是一类原始的、有生命特征的、能够自我复制和严格细胞内寄生的非细胞生物。

病毒的特点

①形体微小，100nm左右，能通过细菌滤器，无法用光学显微镜观察，具有比较原始的生命形态和生命特征，缺乏细胞结构，所以第（2）题A错，D、E对。

②只含一种核酸，DNA或RNA，所以第（2）题C错。

③依靠自身的核酸进行复制，DNA或RNA含有复制、装配子代病毒所必需的遗传信息。

④缺乏完整的酶和能量系统，不能产生ATP，不能独立进行各种生命过程，所以第（2）题B对。

⑤严格的细胞内寄生，任何病毒都不能离开寄主细胞独立复制和增殖。

答案　（1）BD　（2）BDE

例11　下列选项中，不属于衣原体显著特征的是（　　）

A．它们是小的细菌

B．它们的生命周期包括原体和始体阶段

C．它们引起洛基山斑疹热和斑疹伤寒

D．它们只在生活的细胞中繁殖

解析　衣原体是一类在真核细胞内专营寄生生活的微生物，1957年开始将衣原体分类于细菌类。衣原体有两种存在形态，分别称为原体和始体，原体有感染力，它是一种不能运动的球状细胞；原体逐渐伸长，形成无感染力的个体，称为始体，这是一种薄壁的球状细胞，形体较大。引起洛基山斑疹热和斑疹伤寒由立克次氏体引起。

答案　C

【针对训练】

（一）单选题

1．生物细胞膜的两个主要成分是（　　）

A．核酸和糖类

B．ATP和肽聚糖

C．蛋白质和脂类

D．DNA和RNA

2．细胞内各种膜相结构的膜，具有相似的基本结构形式，电镜下由以下哪项组成3层结构形式作为一种单位，称为单位膜（　　）

A．外层为深色带中间和内层为浅色带

B．内外层为深色带，中间为浅色带

C．外层浅色带，中间和内层为深色带

D．内外两层为浅色带，中间夹有1层深色带

3．以下对生物膜“流动镶嵌模型”描述正确的是（　　）

A．脂膜由脂双层构成，内外表面各有一层球状蛋白质分子

B．脂膜由脂双层构成，中间有一层蛋白质分子

C．脂膜由脂双层构成，蛋白质以不连续的颗粒形式嵌入脂层，脂分子可以移动，蛋白质不能移动

D．脂膜由脂双层构成，蛋白质以不连续的颗粒形式嵌入脂层，脂分子和蛋白质均呈流动状态

4．构成跨膜区段的蛋白质的氨基酸大部分是（　　）

A．碱性氨基酸

B．酸性氨基酸

C．疏水性氨基酸

D．亲水性氨基酸

5．小肠上皮细胞间的哪种结构能够防止营养物质从细胞间隙进入血液（　　）

A．桥粒

B．紧密连接

C．间隙连接

D．胞间连丝

6．为动物细胞间的物质交换、化学信息的传递提供直接通道的是（　　）

A．间隙连接

B．紧密连接

C．桥粒

D．胞间连接

7．线粒体的功能是（　　）

A．水解蛋白质

B．自我复制

C．合成脂类

D．产生ATP

8．下列有关线粒体内蛋白质合成的说法哪一个正确（　　）

A．线粒体的蛋白质都是在细胞质中合成后转运到线粒体的

B．线粒体的蛋白质都是在线粒体内部合成的

C．线粒体内膜的蛋白质由线粒体合成，外膜的蛋白质则来自于细胞质

D．线粒体蛋白质既有核基因编码合成的蛋白，也有线粒体自己合成的蛋白

9．下面哪些反应在线粒体中发生（　　）

①NADP还原　②脂肪酸含成　③氧化磷酸化　④基因表达　⑤卡尔文循环　⑥柠檬酸循环　⑦脂肪酸的氧化分解代谢　⑧亚硝酸还原

A．①③⑥⑦
B．②③④⑦
C．③④⑥⑦
D．④⑥⑦⑧
E．①③⑤⑧
10．线粒体基质腔的标志酶为（　　）
A．单胺氧化酶
B．苹果酸脱氢酶
C．琥珀酸脱氢酶
D．细胞色素氧化酶
E．腺苷酸激酶
11．下列哪一种说法描述线粒体DNA较为确切（　　）
A．是与核DNA密码略有不同的环状DNA
B．mtDNA含线粒体全部蛋白的遗传信息
C．是与核DNA密码略有不同的线状DNA
D．线状DNA
E．环状DNA
12．叶绿体不具有下面哪一项功能（　　）
A．氮同化
B．DNA复制
C．合成组蛋白
D．产生ATP
13．下面哪项不是叶绿体内共生起源学说的证据（　　）
A．叶绿体靠裂殖方式分裂
B．叶绿体DNA大小在100～200kb之间
C．有的叶绿体含有藻胆体
D．有的原核光合生物含有叶绿素b
14．与蛋白质、脂类和糖类的合成都有关的细胞器是（　　）
A．核糖体
B．溶酶体
C．内质网
D．中心体
15．溶酶体酶发挥活性的最适pH范围是（　　）
A．2～4
B．3～6
C．5～6

D．8～10
E．7～9
16．光面内质网高度发达的细胞是（　　）
A．卵巢黄体细胞
B．红细胞
C．干细胞
D．肿瘤细胞
E．胰腺细胞
17．胰腺细胞分泌很多与消化作用相关的酶，下列哪种胰腺细胞中酶分子的“移动”路径是正确的（　　）
A．内质网→高尔基体→细胞核
B．高尔基体→内质网→溶酶体
C．细胞核→内质网→高尔基体
D．内质网→高尔基体→膜泡与质膜融合
18．胰岛素原转变成胰岛素是在哪种细胞器中中进行的（　　）
A．线粒体
B．溶酶体
C．高尔基体
D．核糖体
19．高尔基复合体具有极性，可分为形成面和成熟面。从形成面到成熟面，膜的厚度和化学成分发生渐变，这种渐变是（　　）
A．形成面似核膜，成熟面似内质网
B．形成面似内质网，成熟面似细胞膜
C．形成面似核膜，成熟面似细胞膜
D．形成面似内质网，成熟面似核膜
20．内质网的标志酶是（　　）
A．葡萄糖-6-磷酸酶
B．半乳糖基转移酶
C．苹果酸脱氢酶
D．酸性磷酸酶
21．细胞化学和电镜观察结果表明，溶酶体广泛分布于所有的动物细胞中，例外的是（　　）
A．哺乳动物睾丸细胞
B．哺乳动物肝细胞
C．哺乳动物胰腺细胞
D．哺乳动物肌细胞

E．哺乳动物成熟红细胞

22．粗面内质网的发达程度可作为判断细胞分化程度和功能状态的一种形态指标，下列哪种说法是错误的（　　）

A．分化程度低的细胞，粗面内质网不发达

B．胰腺细胞中粗面内质网发达

C．胚胎细胞及干细胞中粗面内质网不发达

D．浆细胞中，粗面内质网发达

E．生长速度快，恶性程度高的肿瘤细胞中，粗面内质网发达

23．关于信号肽，下列哪项是错误的（　　）

A．富含一段亲水性氨基酸

B．由18～30个氨基酸残基组成

C．只有合成信号肽的核糖体才能与内质网结合

D．可与信号识别颗粒结合

E．信号肽具有起始肽链跨膜转移的作用，并消耗GTP所提供的能量

24．微管是一类重要的细胞骨架，以下微管相关的细胞结构中，哪一组微管的结构模式是相似的（　　）

A．鞭毛和基粒

B．鞭毛和中心粒

C．纤毛和基粒

D．基粒和中心粒

25．肌动蛋白踏车现象需要消耗能量，由哪种物质水解提供（　　）

A．CTP

B．ATP

C．TTP

D．GTP

E．UTP

26．可切断微丝的特异性药物是（　　）

A．秋水仙素

B．鬼笔环肽

C．紫杉醇

D．细胞松弛素

E．长春花属生物碱

27．纤毛和鞭毛毛部中的微管是（　　）

A．单管

B．9×2＋2二联管
C．9×3＋3三联管
D．9×2二联管
E．9×3三联管
28．关于微管的组装，叙述正确的是（　　）
A．异二聚体→αβ微管蛋白→多聚体→13条原纤维→微管
B．α、β微管蛋白→多聚体→异二聚体→13条原纤维→微管
C．α、β微管蛋白→异二聚体→多聚体→13条原纤维→微管
D．α、β微管蛋白→异二聚体→多聚体→微管→13条原纤维
E．α、β微管蛋白→异二聚体→13条原纤维→多聚体→微管
29．下列何种构造与纺锤丝组成相同（　　）
A．变形虫的伪足
B．原生生物的鞭毛
C．肠黏膜表皮细胞的微绒毛
D．核膜内衬的核纤层
E．肌原纤维中的肌动蛋白丝
30．秋水仙素对细胞的作用是（　　）
A．促进细胞分裂
B．抑制细胞分裂
C．促进细胞融合
D．破坏微管结构
31．鞭毛摆动和细胞分裂收缩环的作用主要分别涉及细胞骨架（　　）
A．微管与微丝
B．中间纤维与微管
C．中间纤维与微丝
D．都是微管
32．关于核孔复合体的主动运输过程，哪一项是错误的（　　）
A．主动运输的有效孔径比被动运输大
B．细胞质中核糖核蛋白体上的蛋白质需要进出核孔复合体两次
C．小GTP酶Ran在核质之间的穿梭循环在核输入和核输出过程中均有重要作用
D．被运输的物质需要具备核定位信号或者核输出信号
E．由于主动运输的孔径非常大，所以不会发生饱和现象
33．核纤层的化学成分是（　　）
A．组蛋白

B．核纤层蛋白质
C．核糖体和RNA
D．DNA
E．微管蛋白
34．下列细胞中核仁较小的是（　　）
A．胰腺细胞
B．肿瘤细胞
C．神经细胞
D．胚胎细胞
35．核仁组织区是核仁的中心结构，它的组成成分是（　　）
A．rRNA
B．rRNA和蛋白质
C．转录rRNA的DNA
D．核糖体蛋白
36．巴氏小体是（　　）
A．端粒
B．凝集的X染色体
C．随体
D．巨大染色体
37．染色体端粒酶的作用是（　　）
A．防止DNA从端粒处降解
B．降解DNA复制后余留的RNA引物
C．防止DNA因为复制过程而变短
D．合成RNA引物
38．光学显微镜能观察到的最小生物是（　　）
A．酵母
B．植物细胞
C．细菌
D．噬菌体
39．在下列关于细胞基本共性的描述中，哪一项是错误的（　　）
A．所有细胞表面均具有脂蛋白体系构成的细胞膜
B．所有的细胞都有两种核酸（DNA与RNA）作为遗传信息复制与转录的载体
C．所有的细胞都有线粒体，作为产能细胞器
D．所有的细胞都具有核糖体作为蛋白质合成的机器

40．自然界最小的细胞是（　　）
A．病毒
B．支原体
C．血小板
D．细菌
41．蓝藻与光合作用有关的色素有（　　）
A．叶绿素a，叶绿素c，藻胆素
B．叶绿素a，叶绿素d，藻胆素
C．叶绿素b，叶绿素c，藻胆素
D．叶绿素a，类胡萝卜素，藻胆素
42．质粒与病毒的主要区别是（　　）
A．质粒DNA是环状的
B．质粒可以在大肠杆菌内繁殖
C．质粒DNA与蛋白质结合
D．病毒基因组能编码外壳蛋白
43．病毒的基因组由什么组成（　　）
A．蛋白质
B．多糖
C．同一病毒中既有DNA，又有RNA
D．或DNA或RNA
44．溶源性病毒是一种什么样的病毒（　　）
A．核酸能够整合在宿主细胞染色体中
B．进入细胞后立即复制
C．含有复制所需的自己的ATP
D．含有复制所需的自己的酶
45．观察培养中活细胞的连续生理活动该使用（　　）
A．电子显微镜
B．倒置相差显微镜
C．荧光显微镜
D．扫描电子显微镜
E．暗视野显微镜
46．关于光镜的使用，下列哪项有误（　　）
A．按从低倍镜到高倍镜再到油镜的顺序进行标本的观察
B．使用油镜时，需在标本上滴上香柏油或石蜡油
C．使用油镜时，不可一边在目镜中观察，一边下降镜筒或上升载物台

D．用显微镜观察标本时，应双眼同睁，双手并用
E．使用油镜时，需将聚光器降至最低；光圈关至最小
47．电子显微镜分辨本领可以达到（　　）
A．200nm
B．100nm
C．0.4nm
D．0.1nm
48．在下列4位学者中，哪一位最早观察到活细胞（　　）
A．Z. Jansen
B．A. van Leuwenhoek
C．R. Hooke
D．R. Brown
49．提出原生质理论的学者是（　　）
A．Pukinje
B．Max Schultze
C．von Mohl
D．Hanstein
50．观察活细胞、组织样品或已经褪色的生物标本时，可选用什么显微镜观察（　　）
A．明视野显微镜
B．暗视野显微镜
C．微分干涉差显微镜
D．荧光显微镜
（二）多选题
51．生物膜的特性是（　　）
A．不对称性
B．不流动性
C．对称性
D．流动性
52．膜脂分子的运动方式（　　）
A．旋转运动
B．翻转运动
C．左右摆动
D．侧向移动
53．判断下列关于细胞膜的结构的说法是否正确（　　）
A．由双层膜组成

B．由两层磷脂分子和蛋白质分子组成
C．磷脂分子和蛋白质分子都有流动性
D．厚约12nm
54．下列有关细胞膜的叙述正确的是（　　）
A．细胞膜为双层脂质构造，且内、外层磷脂质组成相同
B．细胞膜中的胆固醇使磷脂质更紧密聚合
C．流体镶嵌模型显示细胞膜上的蛋白质固着在特定的位置
D．耐寒植物会在寒冬增加其不饱和磷脂质，以防细胞膜凝固
E．在细胞膜上磷脂及蛋白质皆可能具有寡糖侧链
55．关于紧密连接下列描述正确的是（　　）
A．起着将上皮细胞联合成整体的机械作用
B．紧密连接处无细胞外衣
C．是血脑屏障的结构基础
D．应用冷冻复型技术，电镜下观察呈现为一条点线
E．通过封闭上皮细胞周围的间隙阻止上皮上下两侧物质的自由穿行
56．小肠通过主动转运或次级主动转运吸收（　　）
A．葡萄糖
B．氨基酸
C．脂肪酸
D．水
57．细胞消耗能量的主动跨膜运输包括（　　）
A．简单扩散
B．质子泵
C．协同运输
D．易化扩散
E．钠钾泵
58．关于钙泵，下列描述正确的是（　　）
A．每一分子ATP水解可运转两个Ca^{2+}，并伴有两个Mg^{2+}反向运转
B．含Ca^{2+}-ATP酶极丰富的细胞内膜系统是横纹肌的肌浆网
C．维持细胞内高钙环境
D．钙泵的活性需Mg^{2+}的存在
59．关于细胞膜的物质交换，下列哪种说法正确（　　）
A．自由扩散是不需能的
B．大分子进出细胞主要通过被动运输
C．主动运输须有载体蛋白协助

D．任何离子和小分子都能进出细胞
60．在真核细胞中具有半自主性的细胞器为（　　）
A．高尔基体
B．质网
C．线粒体
D．质体
E．溶酶体
61．有关线粒体膜的特点下列说法正确的是（　　）
A．外膜的通透性较大，内膜的通透性较小
B．外膜的通透性较小，内膜的通透性较大
C．内膜上有嵴和基粒
D．外膜具有排列整齐的筒状圆柱体，称为孔蛋白
E．内外膜均富含特殊的脂类——心磷脂
62．下列有关叶绿体的叙述，正确的有（　　）
A．叶绿体含有DNA
B．叶绿体内的DNA是在细胞核内合成后再输入的
C．叶绿体内的蛋白质都是由叶绿体内的mRNA为模板所合成
D．叶绿体含有RNA
E．叶绿体内的DNA复制方式与原核细胞相似
63．有关线粒体的结构哪一种说法是正确的（　　）
A．线粒体是动物细胞中唯一含有核外环状DNA的细胞器
B．由单层膜包裹而形成的细胞器
C．线粒体嵴上含基粒
D．线粒体基质腔中有tRNA
E．线粒体基质腔中有核糖体
64．细胞中核糖体存在的部位为（　　）
A．细胞质基质
B．粗面内质网
C．细胞核外膜
D．溶酶体膜
65．细胞内经高尔基体加工后的蛋白质的去向是（　　）
A．分泌到细胞外
B．溶酶体
C．细胞核
D．细胞膜
66．下列关于过氧化物酶体的叙述，正确的是（　　）

A．含有能够将过氧化氢分解的酶
B．含有内膜，是细胞呼吸的场所
C．能帮助细胞内有机物质的再循环
D．与肝脏或是肾脏中分解酒精的毒性有关
E．可以分解脂肪酸及氨基酸
67．能抑制微管形成的物质有（　　）
A．高Ca^{2+}
B．Mg^{2+}
C．秋水仙素
D．细胞松弛素
68．具有MTOC作用的结构包括（　　）
A．端粒
B．着丝点
C．中心体
D．微体
E．基体
69．下列哪些纤维属于中等纤维（　　）
A．波形蛋白纤维
B．胶质蛋白纤维
C．肌原纤维
D．角质蛋白纤维
E．胶原纤维
70．请选择观察染色质的方法（　　）
A．电镜
B．相差显微镜
C．普通光学显微镜
D．苏木精—伊红染色
E．姬姆萨（Giemsa）显带原核细胞
71．原核细胞与真核细胞相同的特性是（　　）
A．均含有环状DNA
B．均含有线状DNA
C．染色体的基本单位是核小体
D．均含有作为蛋白质合成的机器——核糖体
72．病毒的特点是（　　）
A．可采用光学显微镜观察病毒的形态特征
B．病毒不能产生ATP，不能独立进行各种生命过程

C．病毒毒粒内含有DNA和RNA
D．病毒能通过细菌滤器
E．没有细胞结构

【参考答案】

（一）单选题

1．C　2．B　3．D　4．C　5．B　6．A　7．D　8．D　9．C　10．B　11．A　12．C　13．B　14．C　15．C　16．A　17．D　18．C　19．B　20．A　21．E　22．E　23．A　24．D　25．B　26．D　27．B　28．C　29．B　30．D　31．A　32．E　33．B　34．C　35．C　36．B　37．C　38．C　39．C　40．B　41．D　42．D　43．D　44．A　45．B　46．E　47．D　48．B　49．B　50．C

（二）多选题

51．AD　52．ABCD　53．BC　54．DE　55．ABCE　56．AB　57．BCE　58．BD　59．AC　60．CD　61．ACD　62．ADE　63．ACDE　64．ABC　65．ABD　66．ACDE　67．AC　68．BCE　69．ABD　70．ACD　71．AD　72．BDE

第3讲　细胞的代谢

（萧山中学　董柯锋）

【知识梳理】

生物的新陈代谢，简称代谢，是生物体内所进行的全部物质和能量变化的总称，它是最基本的生命活动过程。对细胞自身而言，其代谢活动是维持细胞高度有序的结构和保证细胞正常生长、增殖的基础。细胞代谢从物质与能量角度分，可分为物质代谢和能量代谢；从合成和分解角度分，可分为合成代谢（同化作用）和分解代谢（异化作用）。但无论是能量与物质代谢，还是合成与分解代谢，两者均紧密联系，不可分割。

一、细胞与能量

1．能量的描述

生命是一个开放的系统，它不断地与外界环境进行物质和能量的交流。在此过程中，要发生无数的化学反应，要在体内和体外作无数的机械功。这些过程都伴随着能量的转化。在压力和温度都恒定的条件下能够做功的能称为自由能。当一种形式的自由能转化为另一种形式的自由能时，总有一部分能转化为热。即生物体内的化学反应总是沿着自由能降低的方向进行的。

转化为热的那一部分能导致分子无规则运动的增加，即体内分子无序性的增大。在热力学中，熵是系统的状态函数，是无序性的量度。熵值越大，则系统的无序性越大，有序性越少。生物体内的反应，导致了熵的增加，称熵的产生，记作dis。由于生命体是一个开放的系统，它不断地从环境中吸收能量，也不断把热送回环境。即生命体一直在与它的环境发生熵的交流，交流的最终结果，使得生命体的熵值减少，称为熵流，记作des。故细胞或生物体内全部熵值变化（ds），是上述两种熵值变化的代数和：

$$ds=des+dis \quad 其中，dis\geqslant 0 \quad des\leqslant 0$$

当ds＝0时，表示生命体可以维持生存状态；当ds＜0时，表示生命体有序性增加，处于生长和进化状态；当ds＞0时，表示生命体有序性减少，处于体质下降，向死亡发展。也就是说，生命体在空间结构和物质变化的时间上，均是高度有序的，要维持这种生活状态，必须不断的排出熵，故生命体是以“负熵流”为生的。

2．能量的货币

生命体本质上是一个等温系统，在体内化学反应中产生的热无法做功。因此，在细胞和生物体的能量转换中起重要作用的不是热能，而是化学能。通常以腺苷三磷酸（ATP）作为各种类型能量转换的媒介物。许多放能反应总是与ATP合成相耦联的，如光合磷酸化耦联、氧化磷酸化耦联等，将放出的能量贮存在ATP中；而许多需能反应也总是和ATP分解相耦联的，从ATP中获得自由能。故ATP在生物体内起到能量转换的作用，称为“能量货币”。

ATP的具体结构以及与ADP的相互转换，在第1讲已作说明。

3．化学平衡

生物体中，有些反应不需要从外部供能就可发生，称为自发反应。自发反应通常都是不可逆的。例如，淀粉可以自发转变成麦芽糖，而不需要外部供能，但麦芽糖却不会自发地生成淀粉。而一般的化学反应都是可逆的，即同时向2个相反的方向进行，称为可逆反应。可逆反应进行到一定程度时，就达到了动态平衡，此时，正向反应和

逆向反应速度相等，反应物和产物的消耗和生成数量相等，两者在体系中的浓度不再发生变化。这种平衡的状态称为化学平衡。

无论是自发反应还是可逆反应，均伴随着能量的变化。自发反应通常进行得很充分，并且能释放自由能，这种反应称为放能反应。而有些反应只有从外界加入自由能才能进行，称为吸能反应。麦芽糖不会自发地生成淀粉，如要生成，则必须加入自由能才能进行。自由能用G表示，其绝对值无法测定，只能测定反应前后自由能的变化，即ΔG。若ΔG＜0，则反应为放能反应；若ΔG＞0，则反应为吸能反应；若ΔG＝0，则反应既不吸能，也不放能。

在生物体内，通常总是一个吸能反应和一个放能反应组成一个体系的。如：

（1）A—→B＋C　　ΔG＝+20.920kJ/（mol·L）

（2）C—→D　　ΔG＝-33.472kJ/（mol·L）

（3）A—→B＋D　　ΔG＝-12.262kJ/（mol·L）

在上述体系中，A是反应物，C是中间产物，B、D才是最终产物，自由能的净变化ΔG＝-12.262kJ/（mol·L）为负值，总体表现放能。反应（2）推动了反应（1）的进行，由于C这一中间产物的存在，而使（1）、（2）两个反应耦联在一起，故将这2个反应称为耦联反应。耦联反应在细胞代谢中具有重要意义。

二、酶

酶是由活细胞产生的，能在体内或体外起同样催化作用的一类具有活性中心和特殊构象的生物大分子，包括蛋白质和核酸。因绝大多数酶均为蛋白质，这里主要讨论蛋白质属性的酶。

（一）酶促反应的特点

酶具有一般催化剂的共同特点：反应前后酶本身没有数量和性质的变化；酶只改变可逆反应的进程，不改变反应的平衡系数；酶只能催化热力学上允许进行的反应，而不能使本来不能进行的反应发生等等。

酶作为生物的催化剂与一般的催化剂相比，又有其特点：

1．催化效率高。酶催化反应速度比非酶催化反应速度高10^{8}～10^{20}倍。

2．作用条件温和。无机催化剂通常要在高温高压下催化反应，而酶是生物大分子，催化活性易受到环境变化（如温度、pH值的变化等）的影响。故酶催化的反应通常在常温常压下进行。

3．高度专一性。一种酶只能催化一种或一类化学反应。通常被酶作用的物质称为该酶的底物。其专一性又可分为立体结构专一性和结构专一性。

立体结构专一性又可分为：①旋光异构专一性。指当底物具有旋光异构体时，酶只能作用于其中一种。例如，L-氨基酸氧化酶只催化L-氨基酸氧化，而对D-氨基酸无作用。②几何异构专一性。指酶对于顺反异构体只能作用于其中之一。例如，延胡索酸酶只能催化延胡索酸（反丁烯二酸）加水生成L-苹果酸，而对马来酸（顺丁烯二酸）则无作用。

结构专一性又表现为：①键专一性。指有的酶只对分子中其所作用的键要求严格，而不管键两端所连接的基团。例如，二肽酶可以水解二肽的肽键，而不管这个二肽是由哪种氨基酸组成的。②基团专一性。指有的酶不但要求底物具有一定的化学键，而且对于键的某一端所连接的基团也有一定的要求。例如，胰蛋白酶作用于蛋白质的肽键，此键羧基必须由赖氨酸或精氨酸提供，而对肽键氨基部要求不严。③绝对专一性。指有的酶对底物要求严格，甚至有时只能催化一种底物，进行一种反应。例如，脲酶只能作用于尿素，催化其水解产生氨及二氧化碳，而对其他一切尿素的衍生物都不起作用。

（二）酶的化学组成

绝大多数酶是蛋白质，根据酶的化学组成，可以把酶分为单纯酶和结合酶。单纯酶完全由蛋白质组成，不含其他成分。结合酶由简单的蛋白质（称为酶蛋白）和辅助因子两部分组成，构成全酶。全酶＝酶蛋白＋辅助因子，其中，酶蛋白也称主酶，它决定了酶催化反应的高效性和专一性。辅助因子可以是金属离子或小分子有机物。根据与酶蛋白的结合程度，可将小分子有机物分为辅酶或辅基。辅酶指与酶蛋白结合比较松，可以用透析法除去的小分子有机物；而辅基则指与酶蛋白结合比较紧，用透析法不易除去的小分子有机物；两者没有本质的区别。与主酶不同，辅酶或辅基的作用是对分子、原子或某些基团起传递作用；而金属离子在酶分子中，或作为酶活性部位的组成成分，或帮助形成酶活性所必需的构象。全酶才具有生物学活性，主酶或辅助因子单独存在，均不具备催化活性。

（三）酶的结构特点

酶分子中有很多化学基团，但并不是所有的基团都与酶的活性有关。酶的活性仅与一部分基团有直接关系，这些基团称为酶的必需基团。如果把这些基团进行取代或修饰，则酶的活性丧失。酶的必需基团在一级结构上可能相距很远，甚至可能不在一条肽链上，但由于肽

链盘绕折叠使它们在空间上彼此靠近，形成具有一定空间结构的区域，直接与酶的催化功能有关。这种区域称为酶的活性中心。对需要辅助因子的酶来说，辅助因子或辅助因子上的某一部分往往就是酶活性中心的组成部分。酶活性中心包括两个功能部位：一个是结合部位，一定的底物靠此部位结合到酶分子上；一个是催化部位，底物分子中的化学键在此处被打断或形成新的化学键，从而发生一定的化学反应。为了维持和稳定酶活性部位的空间结构，有些酶分子还有活性部位以外的必需基团。

（四）酶的作用机制

1．酶的催化作用

在一个反应体系中，任何反应物分子都有进行化学反应的可能，但并非全部反应物分子都能进行反应。因为在反应体系中各反应物分子所含有的能量高低不同，只有那些能量达到或超过某一限度（称为能阈）的活化分子（处于过渡态的分子）才能在碰撞中发生化学反应。显然，活化分子越多，反应速度越快。将分子由常态转为活化状态（过渡态）所需的能量，称为活化能。在相同条件下，活化能越低，反应进行的可能性就越大，图1-3-1表示其催化的基本状况。

酶的催化作用就是降低化学反应的活化能。由于在催化反应中只需较低的能量就可使反应物进入“过渡态”，所以同非催化反应相比，活化分子的数量大大增加，从而加快反应的速度。

2．中间产物学说

酶为什么能降低反应的活化能？中间产物学说能比较好地解释这个问题。该学说认为：在催化某一反应的时候，酶首先与底物形成不稳定的中间产物，然后中间产物再分解，释放出酶及反应产物。可用公式表示：

$$\begin{array}{ccccccc} S & + & E & \longrightarrow & E\cdot S & \longrightarrow & E+P \\ \text{底物} & & \text{酶} & & \text{中间产物} & & \text{酶}\quad\text{产物} \end{array}$$

这样，把原来无酶参加的一步反应S—→P分成了两步进行。这两步反应所需的活化能比原来一步反应的低，因而加快了反应速度。显然，酶之所以降低反应活化能是由于酶与底物生成了中间产物从而改变了反应途径所致。

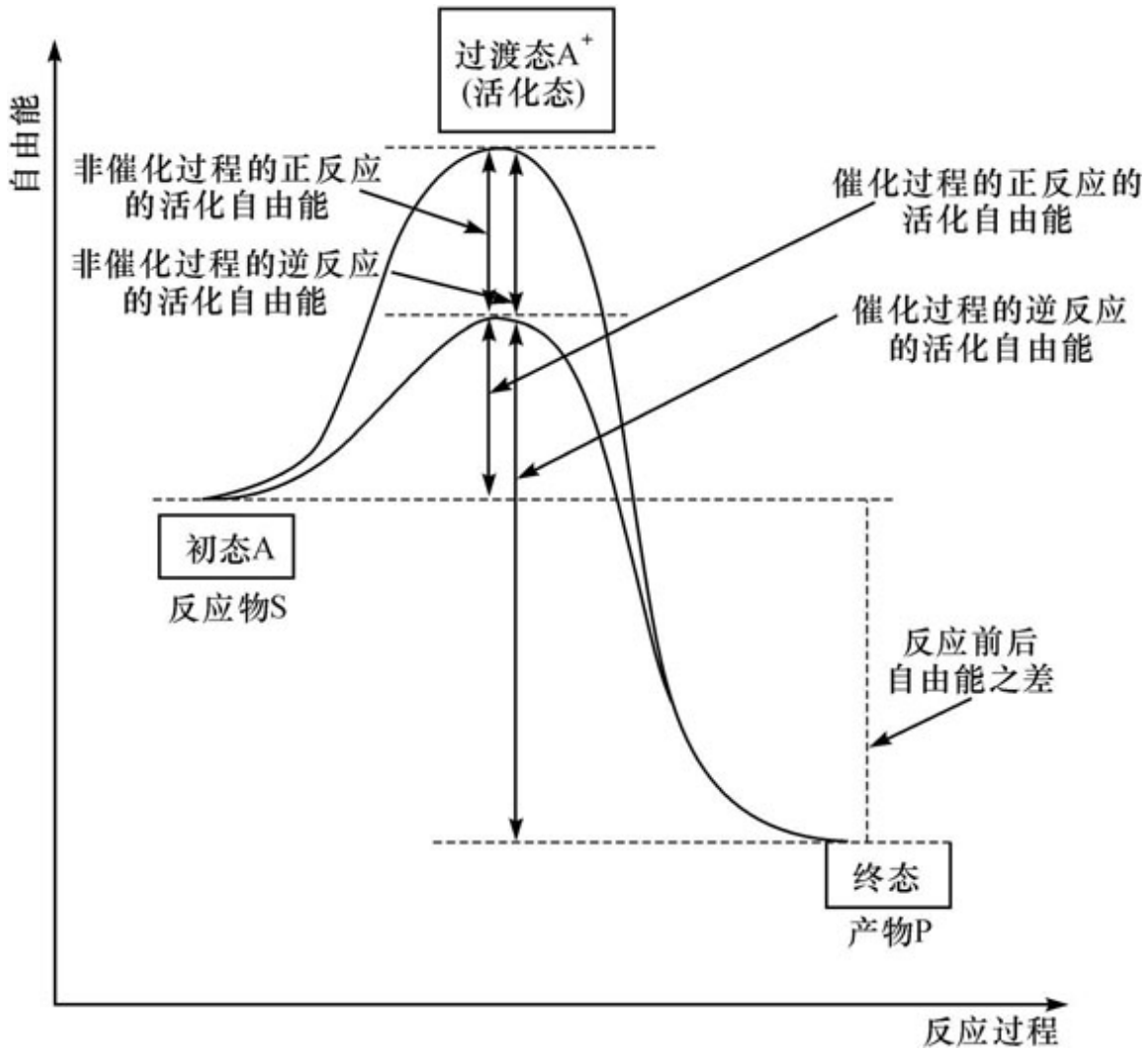


图1-3-1　非催化过程及催化过程自由能的变化

3．“锁—钥匙”学说和“诱导楔合”学说

酶与底物是如何结合成中间产物的？又如何完成其催化作用的？1890年，Fischer提出“锁—钥匙”学说，认为酶和底物结合时，底物的结构必须和酶活性部位非常吻合，就像锁和钥匙一样，这样才能紧密结合形成中间产物。这在一定程度上解释了酶促反应的特性，如专一性。但该学说把酶的结构看成是固定不变的，并且该模型无法解释可逆反应。1958年，Koshland提出了“诱导楔合”学说，克服了“锁—钥匙”模型的缺点，认为酶与底物结合时，底物能诱导酶分子的构象变化，使酶能与底物分子很好地结合，从而发生催化作用。图1-3-2表示两种学说的模型。

4．使酶具有高效性的因素

酶为什么比一般催化剂具有更高的催化效率？主要有以下几个因素：

①邻近定向效应。指底物和酶活性部位的邻近，对于双分子反应来说也包含酶活性部位上底物分子之间的邻近。而互相靠近的底物分子之间以及底物分子与酶活性部位的基团之间还要有严格的定向（正确的立体化学排列），这样就大大提高了活性部位上底物的有效浓度，使分子间反应近似分子内的反应，同时还为分子轨道交叉提供了有利条件，使底物进行反应的活化能降低，从而大大增加了酶—底物中间产物进入过渡态的几率。

②“张力”和“形变”。底物与酶结合可以诱导酶分子构象的变化，而变化的酶分子又使底物分子的敏感键产生“张力”甚至“形变”，从而促进酶—底物中间产物进入过渡态。

③酸碱催化。酶活性部位上的某些基团可以作为良好的质子供体或受体对底物进行酸碱催化。

④共价催化。某些酶可以与底物形成不稳定的共价中间物，这种共价中间物进一步生成产物要比非催化反应容易得多。

（五）影响酶促反应的因素

1．酶浓度的影响

在酶促反应中，如果底物浓度大到足以使酶饱和，则反应速度与酶浓度成正比。

2．底物浓度的影响

①底物浓度对酶促反应速度的影响：在酶浓度等条件恒定，反应体系中没有不利于酶发挥作用的因素存在时，用反应速度对底物浓度作图可以得到一矩形双曲线。由曲线可以看出：当底物浓度较低时，反应速度与底物浓度几乎成正比，此表现为一级反应；当底物浓度较高时，反应速度随底物浓度的增加而升高，但不显著，这一阶段表现为混合级反应；当浓度大大增加时，反应速度趋近一个最大值即最大速度V_{max}，此时的反应速度与浓度无关，曲线表现为零级反应，说明酶已经被底物饱和。所有酶都有饱和现象，但各自达到饱和时所需底物浓度并不相同。图1-3-3表示酶促反应曲线。

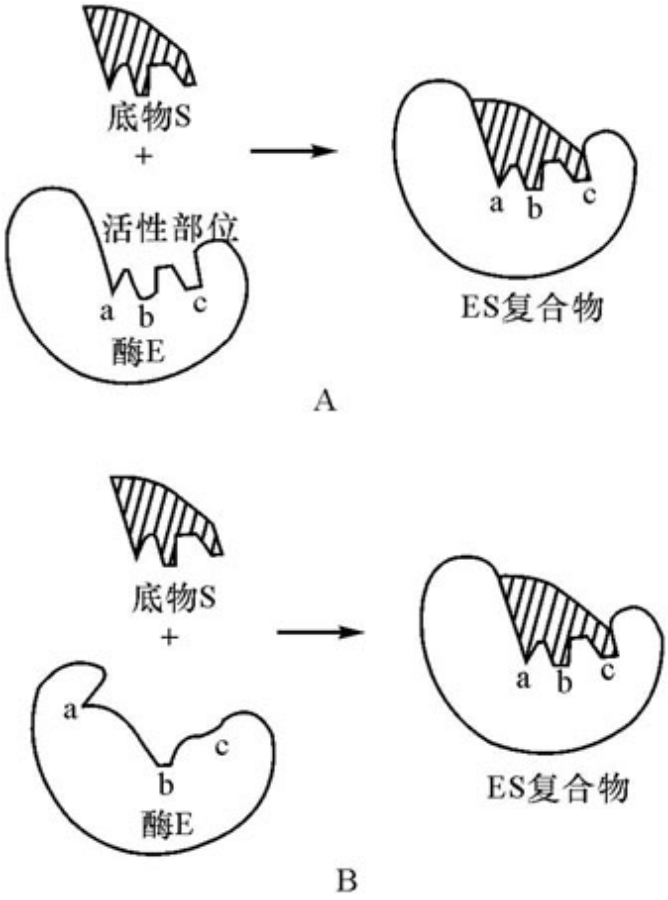


图1-3-2　酶与底物相互作用的模型

A．钥匙—锁模型，酶的活性部位构象不变　B．诱导—楔合模型

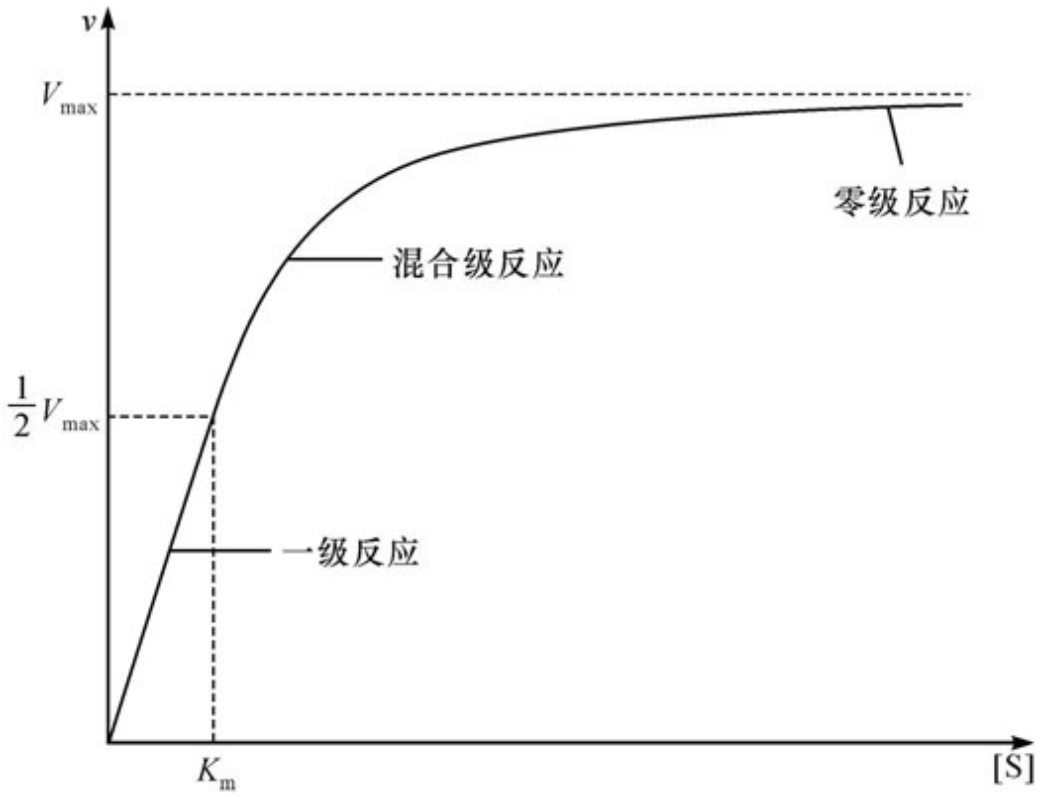


图1-3-3　酶反应速度与底物浓度的关系

②米氏方程。1913年，Michaelis和Menten根据中间产物学说推导出一个数学式子，后又经过Briggs和Haldane的修正，得到：

$$v=\frac{V_{max}[S]}{K_m+[S]}。$$

这个式子称为米氏方程。其中，v为酶促反应速度，V_{max}为最大反应速度，［S］为底物浓度，K_m为米氏常数。米氏方程表明了底物浓度与酶促反应速度间的定量关系，这就使中间产物学说得到了普遍的承认，现在一般称为“米氏学说”。

结合曲线，可以发现，当［S］很低时，分母中的［S］可以忽略不计，方程表现为反应速度与浓度成正比，即为曲线中的一级反应；当［S］很高时，K_m可以忽略不计，方程表现为反应速度与底物浓度无关，即为曲线中的零级反应。

③K_m的意义。米氏常数的含义是反应速度为最大反应速度一半时的底物浓度。其单位一般用mol/L表示。它是酶的特征性物理指数，和酶的性质有关，而与酶的浓度无关，故可用K_m来鉴别不同的酶。如果

一个酶有几种底物，则对每一底物，各有一个特定的K_m值。其中，K_m值最小的底物一般称为该酶的最适底物或天然底物。

3．pH的影响

酶常常限于某一pH范围内才表现出最大的活力，这种表现出酶的最大活力的pH就是酶的最适pH。当pH高于或低于这个最适值时，酶活力就会降低。pH对酶活力影响的原因，除了由于过酸或过碱使酶变性失活外，主要是由于影响了酶分子活性中心上有关基团的解离或底物的解离，从而影响了酶与底物的结合，影响了酶的活力。

4．温度的影响

各种酶在一定条件下都有一个最适温度，高于或低于最适温度，酶活力就会降低。高温与低温对酶活性的影响是不一样的，高温破坏了酶分子的结构，使酶分子发生变性，故这种影响是不可逆的。低温只是抑制了酶分子的活性，并没有破坏酶分子的结构，故低温的影响是可以逆转的。提纯酶分子时，考虑到尽量减少酶活力的损失，全部操作均需在低温下进行，通常在0～5℃间进行。而在保存酶分子或酶制品时，也一般在20℃以下低温保存。

5．激活剂的影响

能提高酶活性的物质称为激活剂。按分子的大小可以分为三类：第一类是无机离子，如Mg^{2+}是各种激酶的激活剂，Cl^-能激活α-淀粉酶。第二类是中等大小的有机化合物，一种是还原剂，如半胱氨酸、还原型谷胱甘肽等，另一种是金属离子螯合剂，能除去酶中重金属杂质，从而解除重金属对酶的抑制，如EDTA。第三类为具有蛋白质性质的大分子化合物，这类激活剂用于酶原激活，使无活性的酶原变成有活性的酶。

6．抑制剂的影响

某些物质，不引起酶蛋白变性，但能使酶分子上某些必需基团发生变化，因而引起酶活力下降，甚至丧失，这种作用称为抑制作用。起抑制作用的物质称为抑制剂。酶的抑制作用分为不可逆抑制作用和可逆抑制作用两类。

不可逆抑制作用是指抑制剂以共价键方式与酶蛋白的必需基团结合，使之永久失活，不能用透析、超滤等物理方法除去抑制剂而恢复酶的活性。例如有机磷农药、神经毒气DFP、有机汞、有机砷化物、烷化剂、氰化物等。

可逆抑制作用是指抑制剂以非共价方式结合而引起酶活性降低或丧失，用透析、超滤等物理方法可以除去抑制剂而恢复酶的活性。可

逆抑制作用又可分为竞争性抑制作用、非竞争性抑制作用和反竞争性抑制作用三类。

①竞争性抑制作用。指抑制剂结构与底物相似，能与底物竞争酶活性中心的结合位点，使酶不能与底物结合，从而造成酶活性下降。提高底物浓度可以解除竞争性抑制。

②非竞争性抑制作用。抑制剂的结构与底物不同，它们能与酶同时结合在底物的不同部位，但由此形成的酶—底物—抑制剂复合物不能发生反应，从而抑制酶促反应。

③反竞争性抑制作用。抑制剂不与酶结合，只与酶—底物复合体结合，形成酶—底物—抑制剂复合物，此复合物也不能发生反应。

几种抑制剂的作用过程，见图1-3-4。

（六）具有催化功能的核酸

最初发现的酶无一例外是蛋白质，故最初对酶的认识是具生物催化活性的蛋白质。随着认识的加深，陆续发现了一些非蛋白类的酶。

1981年，Cech的研究组发现，原生动物四膜虫的rRNA前体具有自我剪接功能，由此，Cech首次提出了核酶的概念，意指具有催化功能的RNA。随后，又陆续发现了许多其他的RNA催化剂。

最近又发现了特异切割RNA的DNA分子，称为脱氧核酶。

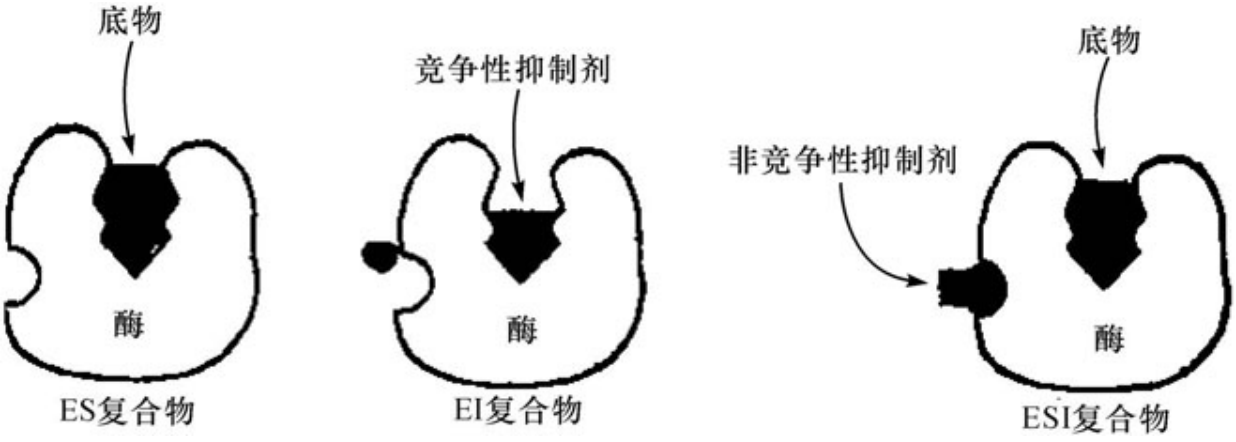


图1-3-4　酶与底物或抑制剂结合的中间物

核酶和脱氧核酶的发现，使人们打破了固有的观念，对酶作出了重新的审视，并对生命起源、生物进化等方面的研究起着重要意义。

三、细胞呼吸

细胞氧化葡萄糖、脂肪酸或其他有机物以获取能量并产生CO_2的过程称为细胞呼吸。细胞呼吸也可称为生物氧化。细胞呼吸是多种酶参

与的复杂过程。真核细胞中，线粒体（尤其是内膜）是细胞呼吸的重要场所；原核细胞中，细胞膜是细胞吸呼的重要场所。

在有氧的情况下，葡萄糖等有机物会被彻底氧化分解为二氧化碳和水，并放出能量。此时的能量与葡萄糖在体外完全燃烧时放出的能量是一致的，均为2870kJ/mol。细胞呼吸产生的CO_2和消耗的O_2的分子比（CO_2/O_2）称为呼吸商（简称RQ）。不同呼吸底物有不同的呼吸商。例如，葡萄糖的呼吸商为1，蛋白质的呼吸商为0.8，脂肪酸的呼吸商为0.71。呼吸商反映了底物富含氢的程度，呼吸商越低，含氢量越高，则所含的化学能也越多。在有机物中，脂肪的呼吸商最低，故在生物体中，脂肪是主要的储能物质。

当然，自然界中也存在一些微生物，能以无机物作为氧化基质，利用氧化过程中释放出的能量来合成有机物，进行生长。这些代谢途径称为化能合成类。例如，氢细菌、硫细菌、铁细菌分别能以氢气、硫或硫化物、铁作为能源物质。硝化细菌将氨（铵盐）氧化成亚硝酸盐或将亚硝酸盐氧化成硝酸盐的过程称为硝化作用。

（一）葡萄糖的分解代谢

生物体所需的大部分能量来自糖的氧化分解。葡萄糖的分解代谢途径主要有3条：①在无氧情况下，经酵解途径生成丙酮酸，再经发酵生成乳酸等；②在有氧情况下，经酵解后再经三羧酸循环被彻底氧化分解成水和二氧化碳；③经磷酸戊糖途径分解为水和二氧化碳。

1．糖酵解（EMP）及发酵

细胞内都有糖的酵解途径，它是糖分解代谢的共有途径。该途径的基本过程通常是指把葡萄糖（或淀粉、糖元）分解成丙酮酸的过程。丙酮酸的进一步发酵转变则有不同情况。糖酵解有关酶都在细胞质基质（细胞溶胶）中，因此该途径发生在细胞质基质中，而且不需要消耗氧气。从葡萄糖开始，糖酵解全过程共有10步，可分为2个阶段，前5步为消耗ATP的准备阶段；后5步为产生ATP的贮能阶段。

①第一阶段：准备阶段。葡萄糖的氧化是放能反应，但葡萄糖是很稳定的化合物，如果要使它氧化放能，则必须先给以活化能来推动这个反应。这个活化能即由ATP来提供。

首先发生葡萄糖磷酸化。具体过程是：在己糖激酶、6-磷酸果糖激酶的催化下，葡萄糖在1号和6号碳原子上两次磷酸化生成1,6-二磷酸果糖，为分解成两分子的丙糖做准备。每一个分子的葡萄糖磷酸化生成1,6-二磷酸果糖需要由两个分子的ATP分解提供能能量和磷酸基。但如果从淀粉或糖元开始分解，则形成6-磷酸葡萄糖的反应是由磷酸化

酶等（不是己糖激酶）催化的，不需要消耗ATP，只要在6-磷酸葡萄糖变成1,6-二磷酸果糖时消耗1个ATP就可以了。

其次发生磷酸丙糖的生成。1分子的1,6-二磷酸果糖在醛缩酶的催化下裂解为2分子的磷酸丙糖，即3-磷酸甘油醛（PGAL）的过程。

此阶段最终将1分子葡萄糖转化为2分子PGAL，是消耗ATP的阶段。若从葡萄糖开始，需消耗2个ATP；若从淀粉或糖元开始，则需消耗1个ATP。

②第二阶段：贮能阶段。在这个阶段，每1个分子3-磷酸甘油醛在酶催化下，脱氢氧化和磷酸化生成1,3-二磷酸甘油醛，此为高能化合物，含有1个高能磷酸键。脱下的氢则由NAD^+接受。1,3-二磷酸甘油醛继续在酶的催化下，发生两次底物水平磷酸化，转变成丙酮酸，并生成2个ATP分子。

此阶段最终将2分子PGAL转变成2分子丙酮酸，并产生4个ATP分子，有2个NAD^+被还原。

总结糖酵解过程的两个阶段：最终将1个葡萄糖分子转变为2个丙酮酸分子，有2个NAD^+被还原，净增加2个ATP分子（增加4个ATP，减去消耗的2个ATP）。若从淀粉或糖元开始，净增加3个ATP（增加4个，消耗只有1个）。各种酶参与了催化，其中己糖激酶、6-磷酸果糖激酶和丙酮酸激酶催化的反应为不可逆反应，其他都是可逆反应。故上述酶催化的反应为糖酵解的关键反应，调节这些酶的活性可以影响糖酵解的进行。

③发酵

发酵指糖酵解的产物丙酮酸在无氧条件下被还原成乳酸，或丙酮酸脱羧转变成乙醛，乙醛进而被还原成乙醇的过程。常见的发酵是酒精发酵和乳酸发酵。

在动物、植物和微生物细胞内，发酵的最终产物可以不同。例如，在动物细胞内，丙酮酸被还原成乳酸；在植物细胞内，能生成乙醇、乙醛或乙酸；在微生物细胞内，丙酮酸可以转变为乳酸、酒精等。在这一过程中，糖酵解过程中产生的NADH被氧化再生成NAD^+，而且其再生速率与糖酵解速率相对应。特别指出的是，在生醇发酵中，如果有氧气存在，3-磷酸甘油醛脱氢产生的NADH不能用于乙醛的还原，从而使乙醇生成量降低，此现象称为巴斯德效应。

2．葡萄糖的有氧分解

葡萄糖有氧分解指在氧气存在情况下，葡萄糖首先在细胞质基质中被酵解成丙酮酸，然后丙酮酸继续氧化分解成二氧化碳和水，并放出大量能量的过程。因此，糖的有氧分解实质上是丙酮酸进一步氧化

的过程。原核细胞中，丙酮酸的进一步氧化是在质膜上完成的；真核细胞中，则是在线粒体中进行的。葡萄糖有氧分解的全过程可以分为三个阶段。下面以真核细胞为例介绍。

①第一阶段：葡萄糖（或淀粉、糖元）被酵解成丙酮酸。此过程是在细胞质基质中完成的，净产生2个ATP分子和2个NADH。

②第二阶段：丙酮酸氧化脱羧，生成乙酰辅酶A。丙酮酸氧化脱羧，与辅酶A结合成为活化的乙酰辅酶A（乙酰CoA），并放出1个CO_2（细胞呼吸最早放出的CO_2），同时发生NAD^+的还原，产生NADH。这一过程是在线粒体的基质中完成的。

③第三阶段：柠檬酸循环（又称三羧酸循环，简写作TCA循环或Krebs循环）。指乙酰辅酶A最终被分解成CO_2和水，并产生大量ATP、NADH和$FADH_2$的过程。此过程相当复杂，参与柠檬酸循环的酶，除琥珀酸脱氢酶定位于线粒体内膜上外，其他均存在于线粒体基质中。故通过琥珀酸脱氢酶，才使柠檬酸循环和定位于线粒体内膜上的电子传递链连接起来。

柠檬酸循环（图1-3-5）的基本过程是：乙酰辅酶A（乙酰CoA）与草酰乙酸（OAA）反应，合成具有三个羧基的柠檬酸。柠檬酸氧化过程中逐步脱去两个羧基碳，经过一系列的变化，最后又形成草酰乙酸。而草酰乙酸又可以和新的乙酰辅酶A结合重新进入下一轮循环。通过柠檬酸循环，乙酰辅酶A最终被氧化生成CO_2和水，脱下的氢由NAD^+或FAD接受，形成NADH或$FADH_2$，并经线粒体内膜上的电子传递链（呼吸链）传递，最终与O_2结合生成水。

在柠檬酸循环中，柠檬酸的合成和α-酮戊二酸的氧化脱羧反应是不可逆反应，故柠檬酸循环是单方向进行的。柠檬酸循环的中间代谢物，从理论上讲是可以循环使用而不被消耗的。但由于循环中的某些成分还有其他代谢途径，例如草酰乙酸与氨结合可以形成天冬氨酸，因此循环的组成成分会不断更新，并由此沟通了生物体内有机物的代谢。

一次柠檬酸循环，投入的原料是1个乙酰辅酶A，结果产生2个CO_2，3个NADH，1个$FADH_2$和1个ATP。而1个葡萄糖分子可产生2个乙酰辅酶A，故1个葡萄糖分子经柠檬酸循环，可产生4个CO_2，6个NADH，2个$FADH_2$和2个ATP。

3．电子传递和氧化磷酸化

葡萄糖经过糖酵解和柠檬酸循环而全部被氧化，氧化所产生的能量一部分贮存到ATP中，另一部分还保留在NAD^+和FAD所接受的高能电子中，即保留在NADH和$FADH_2$中。这些高能的电子通过电子传递系统或电子传递链，并最终与氧化磷酸化耦联，从而将能量转移给ATP。

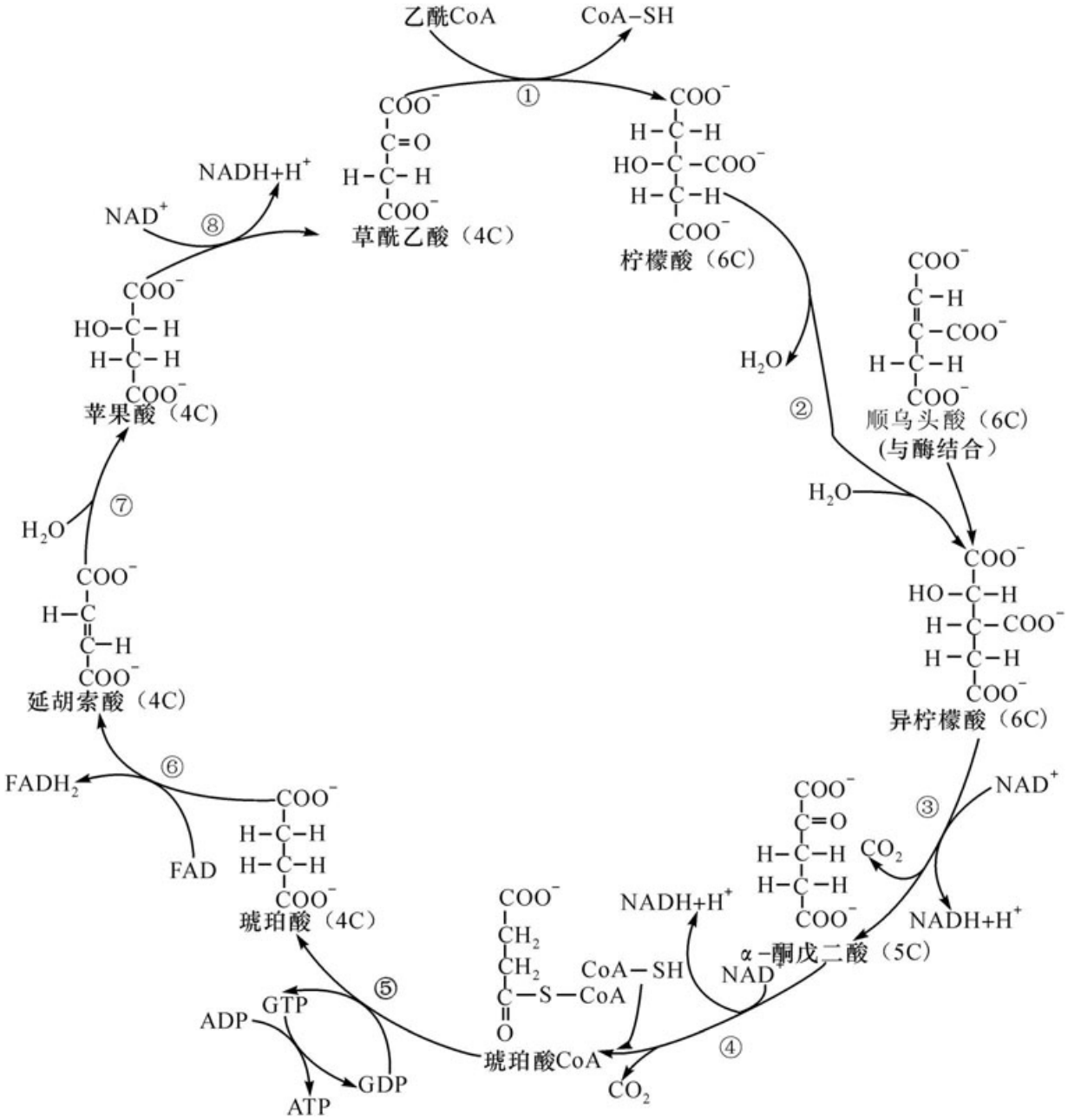


图1-3-5　柠檬酸循环

电子传递链指位于线粒体内膜上的一系列有关氧化磷酸化的脂蛋白复合物，如FMN、CoQ和各种细胞色素等。它们在线粒体内膜上有

严格的排列顺序和方向。糖酵解和柠檬酸循环产生的NADH和$FADH_2$中的高能电子，沿着电子传递链上各电子传递体的氧化还原反应而从高能水平向低能水平顺序传递，最后到达分子氧。分子氧作为电子传递链中最后的电子受体。在这一过程中，高能电子所释放的能量就通过磷酸化而被贮存到ATP中，这一磷酸化过程是和氧化过程的电子传递紧密相关的，称为氧化磷酸化，与之前的底物磷酸化是有区别的。氧化磷酸化中，ATP的形成是发生在线粒体内膜上的，且与氧化过程的电子传递密切相关，而底物磷酸化产生ATP与氧是否存在没有关系。图1-3-6表示了整个过程。

关于氧化磷酸化的机制，以1961年Mitchell的化学渗透学说最为著名。其要点是：电子传递链位于线粒体的内膜上，分布并不对称，但各有固定的位置。当高能电子在迂回传递时，所释放的能量将质子从内膜基质一侧泵至膜间隙（电子传递体本身有质子泵的作用，靠电子传递来驱动）。而内膜对质子不能自由通过，从而使膜间隙的离子浓度高于基质，故在内膜两侧形成了电化学质子梯度。在这个梯度产生的能量的推动下，质子穿过内膜上的ATP合成酶复合物（即线粒体的基粒）返回到基质时，释放出自由能，驱动ATP的合成。每形成1个ATP需要3个质子通过ATP合成酶的参与才能合成，具体如图1-3-7所示。

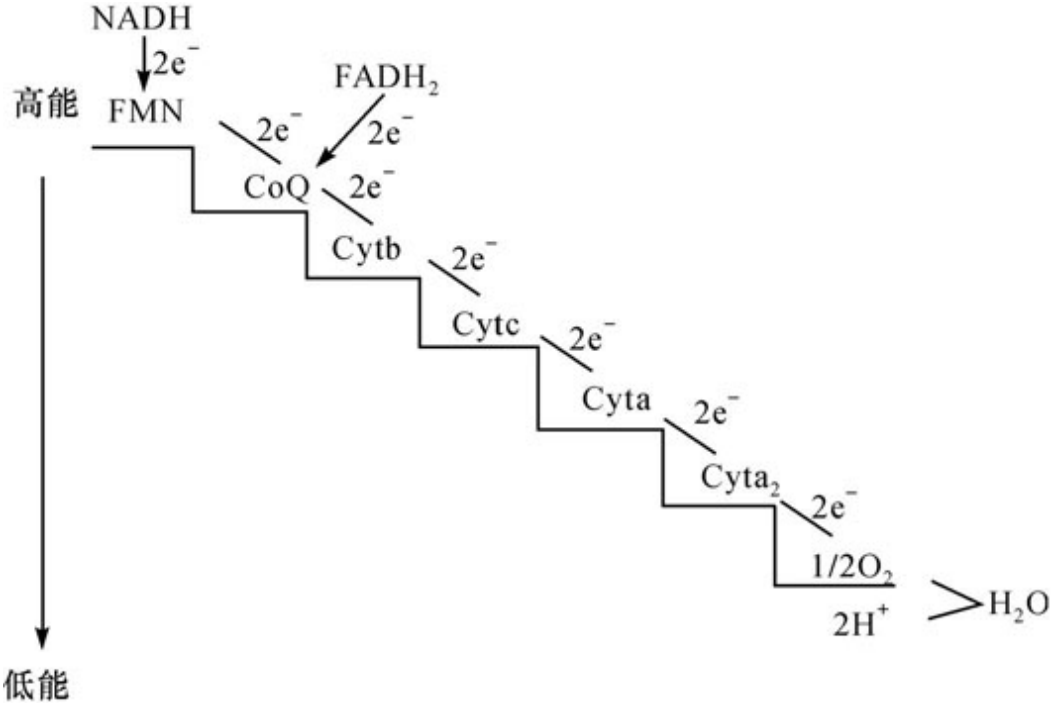


图1-3-6　细胞呼吸中的电子传递链示意图（实际上电子载体远远多于图中所示）

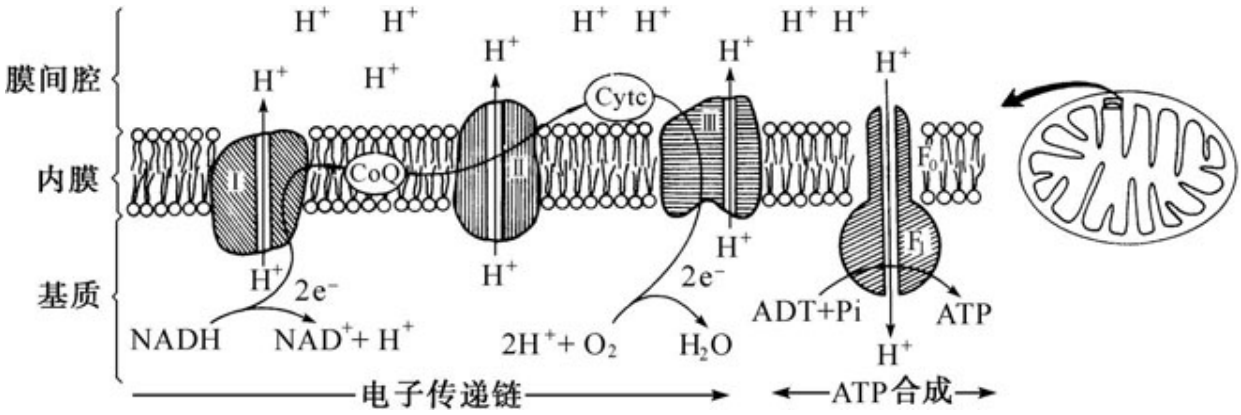


图1-3-7　线粒体氧化磷酸化的化学渗透学说

4．细胞呼吸产生的ATP统计

1个葡萄糖分子经上述呼吸全过程，产生的ATP数量并不一致，可以对各个阶段产生和消耗的量作一简单的统计：

糖酵解：底物水平的磷酸化	+4ATP(细胞质基质)
己糖分子活化消耗	−2ATP(细胞质基质)
产生2个NADH，经电子传递生成	+4或6ATP(线粒体)
净积累	+6或8ATP
丙酮酸氧化脱羧：产生2个NADH，生成	+6ATP(线粒体)
柠檬酸循环：底物水平磷酸化	+2ATP(线粒体)
产生6个NADH，生成	+18ATP(线粒体)
产生2个$FADH_2$，生成	+4ATP(线粒体)
总共生成	+36或38ATP

5．乙醛酸循环途径

有些微生物和植物细胞内除有柠檬酸循环的酶外，还有异柠檬酸裂解酶和苹果酸合成酶。异柠檬酸在异柠檬酸裂解酶的作用下分解为琥珀酸和乙醛酸。乙醛酸可与乙酰辅酶A在苹果酸合成酶的作用下合成苹果酸。通过这一反应，异柠檬酸越过柠檬酸循环中的一些反应过程，形成了一个与柠檬酸循环相联系的小循环，即乙醛酸循环。

6．磷酸戊糖途径

磷酸戊糖途径在动物的肝脏、脂肪组织、乳腺、肾上腺皮质和植物的豌豆、玉米、向日葵、胡萝卜等的细胞以及微生物细胞中都存在。发生于细胞质基质中。该途径不需要经过酵解和柠檬酸循环，以$NADP^+$为脱氢酶的辅酶。该途径能为细胞的合成代谢，如脂肪酸、胆

固醇、类固醇激素和蛋白质的合成，提供还原力，每个NADPH也可通过呼吸链氧化产生3个ATP。循环中产生的5-磷酸核糖是合成核酸的原料。

（二）脂肪的分解

脂肪首先水解成脂肪酸和甘油。甘油可转变为磷酸二羟丙酮再进入糖酵解途径。

脂肪酸将与CoA反应形成化学性质活泼的脂肪酰CoA。这一过程称为脂肪酸的活化。然后，脂肪酰CoA被转运进入线粒体，在线粒体基质中进行氧化。脂肪酸在线粒体基质中进行氧化的主要途径是β-氧化。即从脂肪CoA的β-碳原子开始，依次每两个碳原子进行水解，裂解为与CoA相结合的两碳化合物——乙酰CoA（有些奇数碳原子的脂肪酸会产生丙酰CoA），生成的乙酰CoA或丙酰CoA进入柠檬酸循环被进一步氧化分解。余下的继续进行β-氧化。故β-氧化过程是脂肪酸氧化的基本过程。

要注意的是，脂肪的还原程度要比糖高，故同等情况下，脂肪氧化所产生的水和ATP均要比糖高很多。

（三）蛋白质的分解

蛋白质首先被水解为基本单位氨基酸。氨基酸通过脱氨基作用生成含氮部分和不含氮部分，不含氮部分即为某种有机酸（酮酸），该有机酸最后会进入糖酵解或柠檬酸循环供能。而含氮部分为脱下的氨基，先暂时贮存在天冬氨酸或谷氨酸的R基上，形成两种相应的酰胺，即天冬酰胺和谷胺酰胺。然后，进入肝脏，转化为无毒的尿素，最后通过肾脏排出体外。不同的动物，排氮的方式有所不同：甲壳类以氨为主，称排氨动物；鸟类和干旱地区爬行类以尿酸为主；而鱼类、两栖类和哺乳类则以尿素为主。

与糖类和脂肪代谢有所不同，氨基酸在动物体内不能储存，而动物每天都在分解部分氨基酸，故对动物而言，必须每天都摄入一定数量的氨基酸。若不足，则造成氨基酸缺乏，长此以往可造成组织水肿；若一次性摄入过多，则多余的氨基酸只能分解，会加重肝脏和肾脏的负担。

（四）糖的异生作用

由非糖物质转化为葡萄糖或糖元的过程称为糖的异生作用。如丙酮酸、甘油、乳酸以及某些氨基酸等均可被合成葡萄糖或糖元。糖的异生作用基本上按糖酵解的逆过程进行。脂肪酸分解产生的乙酰CoA，可经柠檬酸循环形成草酰乙酸，进而通过糖的异生作用合成糖。

在生理情况下，肝脏是糖异生作用的主要器官。饥饿和酸中毒时，肾脏也可成为糖异生的重要器官。糖的异生作用在保证血糖浓度的相对恒定、组织细胞中酵解过程产生的乳酸的利用等方面有重要作用。例如，肌糖元分解形成的乳酸即可通过异生作用形成血糖或肝糖元。

四、光合作用

光合作用属于同化作用。具有光合色素的生物，如绿色植物、藻类、光合细菌均能进行光合作用。光合作用是自然界将光能转化为化学能的主要途径。光合作用的本质是将无机物（CO_2和水）生成有机物，同时将光能转化为稳定化学能的过程。光合细菌的光合作用与绿色植物有所不同，下面均以绿色植物为代表来介绍。

（一）光合作用的研究历程

从公元前3世纪开始，人们就在研究植物的光合作用现象。1772年，英国化学家Priestley发现植物能更新、净化空气。1779年，荷兰人Ingenhousz确定植物净化空气依赖于光。1864年，Sachs观察到光合作用产生淀粉。1937年，Hill提出著名的希尔反应，即离体叶绿体在电子受体存在时，可在没有CO_2的情况下，将水分解放出氧气。这一反应一方面证明了光合作用产生的氧气来自于水，另一方面，也将光合作用分为光反应与暗反应两个阶段。后来又陆续通过一些实验，逐渐揭示了光合作用的基本过程。

（二）光合作用的基本过程

光合作用的过程包括许多复杂的反应。综合这些反应，大体上可分为3个步骤：原初反应；电子传递和光合磷酸化；碳同化。但它们是一个连续的互相配合的过程，最终有效地将光能转化为化学能。光合作用的前两步属于光反应，它是在类囊体（基粒）膜上由光引起的化学反应，通过叶绿素等光合色素分子吸收、传递和转换，先将光能转换为电能，然后再转换为活跃化学能（ATP和NADPH中）的过程。其实，真正需光的仅为第一步原初反应，其后并不需要光。碳同化属暗反应，它是在叶绿体的基质中完成的，有光或无光均可进行，利用光反应产生的ATP和NADPH使CO_2还原为以糖类为代表的有机物，即将活跃的化学能转换为稳定的化学能，贮存于有机物中。

1．原初反应

原初反应指叶绿素分子从被激发至引起第一个光化学反应为止的过程，包括光能的吸收、传递与转换，即光能被捕光色素分子吸收，

并传递至反应中心，在反应中心发生最初的化学反应，使电荷分离，从而将光能转换为电能的过程。

①光合色素

高等植物叶绿体中所含有的光合色素包括叶绿素a、叶绿素b、胡萝卜素和叶黄素4种。胡萝卜素和叶黄素属于类胡萝卜素。叶绿素由卟啉环和叶醇组成，卟啉环的中央有一个镁原子。叶绿素a、叶绿素b的结构十分相近，不同之处只是卟啉环上的一个基团不同：叶绿素a上的是一个—CH_3，而叶绿素b上则是一个—CHO。叶绿素b只存在于高等植物和绿藻中，其他藻类大多没有。一般藻类和光合细菌中，除普遍具有叶绿素a之外，通常还有一些叶绿素c或d、藻胆素等，也能参与光合作用。

以高等植物为例，色素分子按其作用可分为两类：一类为捕光色素（聚光色素），这类色素只具有吸收、聚集光能，并将光能传递给反应中心的作用，而无法转换光能，故又称为天线色素。包括大部分的叶绿素a、全部的叶绿素b、胡萝卜素和叶黄素。另一类为反应中心色素（作用中心色素），由极少数处于特殊状态的叶绿素a分子组成。它们既能捕捉（吸收）光能，也能接受捕光色素传递过来的光能，又具有光化学活性，能将光能转换为电能。

光合色素的作用是吸收可见光，其波长在380～760nm之间。对不同波长的光有不同的吸收强度。从吸收光谱可以看出，叶绿素a和叶绿素b各有2个吸收高峰，一个位于蓝光区，一个位于红光区；类胡萝卜素的吸收高峰都位于蓝光区。光合色素对绿光基本无吸收，故对色素的提取液，其透射光呈现绿色，此颜色为基本无吸收的绿光的颜色；而其反射光则是经过了色素分子吸收以后，再发出的光，能量很低，故为红色。此为荧光现象。

②光系统

光合色素并不是随机分布，而是有规律地组成许多特殊的功能单位，称光系统。每一光系统一般包括若干个特殊状态的叶绿素a分子和其他色素分子，它们紧密结合，分布于类囊体膜上。根据吸收高峰的不同，分为光系统Ⅰ和光系统Ⅱ，简称PSⅠ和PSⅡ。PSⅠ在红光区的吸收峰值为700nm，即其反应中心在700nm时被激活，故中心色素可写作P700。它被激活后不产生氧气，而是与一系列电子载体连接，最终产生NADPH。PSⅡ在红光区的吸收峰值为680nm，故中心色素可写作P680。它被激活后进行水的光解，产生氧气。

尽管存在两个光系统，它们具不同波长的吸收峰值，但研究表明，同时在680nm和700nm两种不同波长光照射下，光合作用效率要

比用单一一种波长照射下所产生的光合作用的总和还要大，此现象称为双光增效现象（爱默生效应）。实验证明，光合作用效率（产生的氧气和质子效率，即水的光解）在680nm以上时会急剧下降，此为红降现象，但在700nm时，仍有光系统Ⅰ的存在，这说明光系统Ⅰ与氧气的产生（水的光解）没有关系。这充分说明了，光合作用的两个系统是串连在一起的，各司其职，互相补充。

③原初反应基本过程

无论是PSⅠ还是PSⅡ，其反应中心均是由一个中心色素分子P，一个原初电子供体D和一个原初电子受体A组成。构成的结构为：D·P·A。

在光能作用下，P因电子跃迁到外层轨道而被激发形成激发态P^*。P^*极不稳定，在电子受体A存在时会放出电子交给A并被氧化为带正电荷的P^+，而A因为接受电子而形成A^-。此时的P^+因为具有较强的氧化性，能从氧化性比它更弱的电子供体D中获得电子，恢复为原来的状态，而D因为失去电子，形成D^+。随着光能不断的提供，在反应中心完成了光能转换为电能的过程。表示如下：

$$D\cdot P\cdot A \xrightarrow{光能} D\cdot P^*\cdot A \longrightarrow D\cdot P^+\cdot A^- \longrightarrow D^+\cdot P\cdot A^-$$

2．电子传递和光合磷酸化

①电子传递

在光合链中能量变化有两次起落，涉及两个光系统，可分为两个阶段。

第一阶段：涉及光系统Ⅱ。光刺激下，P680被激发形成$P680^*$，在电子受体存在下被氧化成$P680^+$。激发出的电子首先传递给Ph（脱镁叶绿素，是P680的原初电子受体），然后再经两个中间产物Q（包括Q_A和Q_B，Q结构不是很清楚）而传递给PQ（质体醌，其还原型为PQH_2），再通过细胞色素bf复合物，传递到PC（质蓝素），最终将电子传递给P700。而另一方面，失去电子后的$P680^+$具有强氧化性，能从氧化性比它更弱的物质中获得电子而恢复原来状态。首先从Z（结构不清楚）中获得电子，使Z失去电子，形成具强氧化性的Z^+（氧化性比$P680^+$弱），而后Z^+又会从一系列比它氧化性更弱的物质中获得电子，最后，因水的氧化性最弱，故最终会从水中获得电子，同时将水分解产生了质子和氧气。

第二阶段：涉及光系统Ⅰ。光刺激下，P680被激发形成$P680^*$的同时，P700也被激发形成$P700^*$。在电子受体存在下被氧化成$P700^+$。

激发出的电子首先传递给A（一种特殊状态的叶绿素a，分为A_0和A_1，是P700的原初电子受体），然后传递给Fe-S（铁硫中心），再传递给Fd（铁氧还蛋白），最后通过Fp将电子最终传递给$NADP^+$，后者将质子摄入并结合电子形成NADPH。另一方面，$P700^+$获得来自光系统Ⅱ的电子，恢复原来状态。

通过这一电子链（如图1-3-8所示），我们可以发现：光能的作用实际上是推动了电子传递源源不断地进行，即源源不断地将来自水的电子传递给$NADP^+$，故水是最终的电子供体，$NADP^+$是最终的电子受体；水的光解、质子与氧气的产生是在光系统Ⅱ中完成的，而NADPH的产生是在光系统Ⅰ中完成；通过光系统Ⅱ最终将电子传给光系统Ⅰ，故两者是串连在一起，互相配合的，在电子传递过程中，两者形成一个“Z”字形的传递链，故称为“Z”链或光合链。

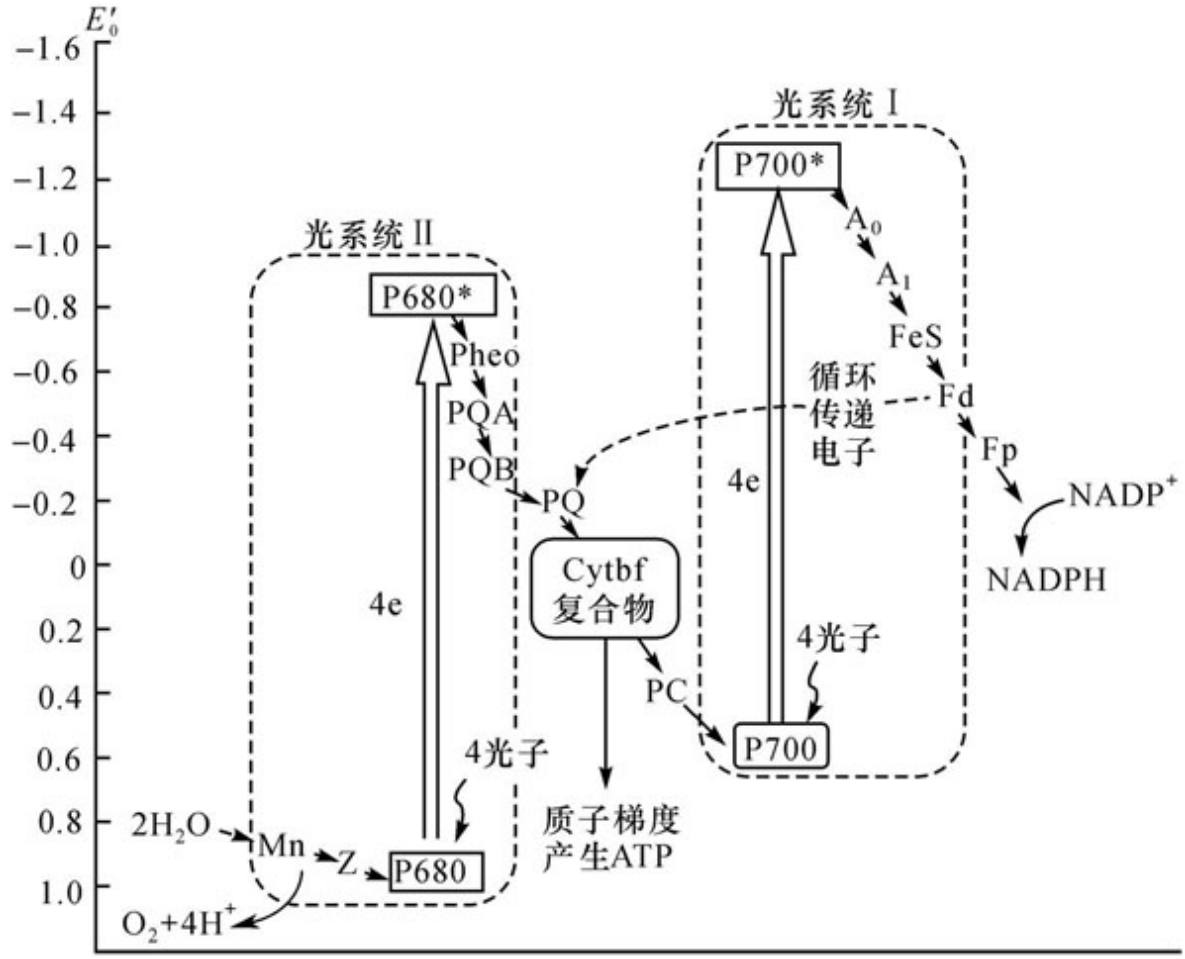


图1-3-8　光合链光合作用中电子从H_2O至$NADP^+$的传递过程

从位置上看，PS II 的放氧端位于类囊体膜的内侧，因此水光解产生的氧气和质子进入类囊体腔。PS I 中的$NADP^+$的还原端位于类囊体膜的外侧，因此生成的NADPH进入叶绿体基质。而PQ是亲脂分子，位于膜的磷脂双分子层中，可在流动的膜中迅速扩散，故它既可以作为电子载体又能作为质子载体：在膜外侧接受电子和质子被还原，而在膜内放出电子和质子被氧化。因此，伴随着电子的传递，PQ同时把类囊体膜外侧的质子不断转运到类囊体腔中。

②光合磷酸化

由光照所引起的电子传递和磷酸化作用相耦联而生成ATP的过程，称为光合磷酸化。电子传递在前，磷酸化作用在后。通过两个光系统，最终将质子大量分布于类囊体腔中，这样就形成了类囊体内外的质子梯度。当质子穿过类囊体膜上的ATP合成酶复合体上的管道从类囊体腔流向叶绿体基质时，会将能量通过磷酸化作用而贮存在ATP中。

当$NADP^+$供应不足时，PS I 中P700释放的电子可经一个环式途径，即经可溶性Fd→PQ→$Cytb_6$—f→PC，而又回到P700。这一环式途径中虽然不生成NADPH，也不发生水的裂解和氧气的释放，但电子在电子传递链上传递时，仍然有一定的质子积累，因而仍可形成一定量的ATP。这一过程称为环式光合磷酸化。某些光合细菌就是按这一途径进行光合作用的。而前面所讲的，有2个光系统参与的．随着水的裂解、氧气的释放和NADPH的形成的磷酸化，由于电子传递的途径不是环式的，故称为非环式光合磷酸化。两者的区别和联系可用图1-3-9表示。

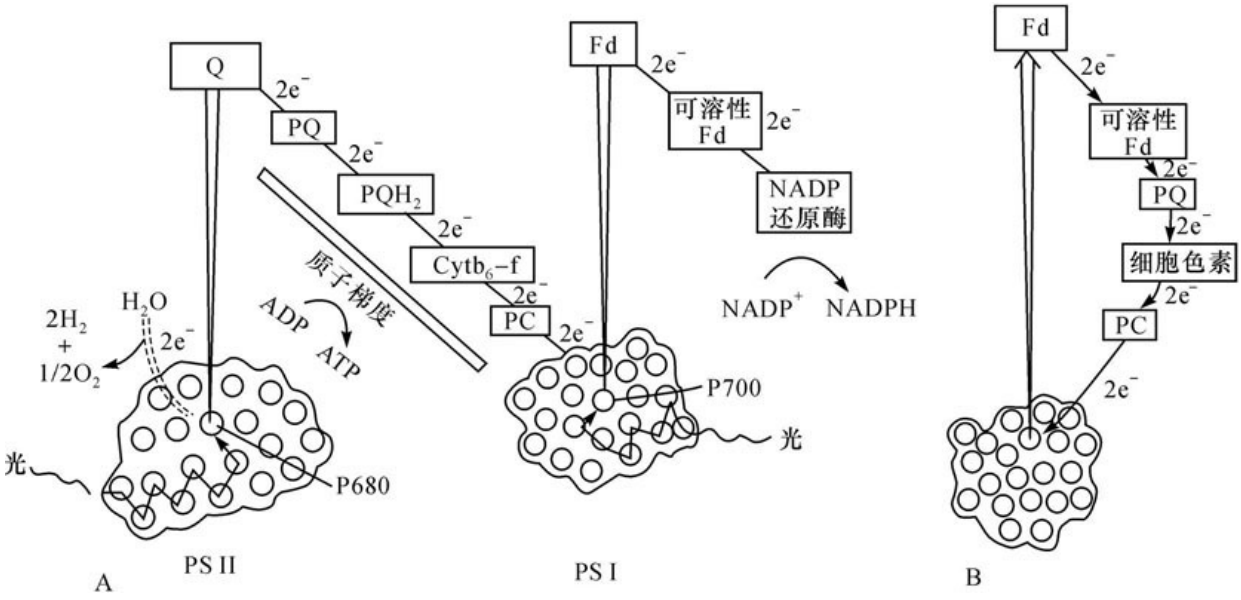


图1-3-9　光合作用中的电子传递

A．非环式光合磷酸化；B．环式光合磷酸化

3．碳同化

碳同化是将光反应产生的ATP和NADPH中活跃的化学能，转换为贮存在糖类中稳定的化学能的过程。高等植物碳同化有3条途径：卡尔文循环、C_4途径和景天科酸代谢途径。其中，卡尔文循环是碳同化最重要也是最基本的途径。只有这条途径才具有合成淀粉等产物的能力，其他两条途径只能固定和转运CO_2，不能单独形成淀粉等产物。

①卡尔文循环

卡尔文循环固定CO_2的最初产物是3-磷酸甘油酸（三碳化合物），也称C_3途径，是美国科学家卡尔文和他同事发现的，故称卡尔文循环或卡尔文—本生循环（如图 1-3-10所示）。用$^{14}CO_2$示踪法能证实该途径。该途径是所有植物进行光合碳同化所共有的基本途径，可简化为3个阶段：羧化、还原和RuBP再生。

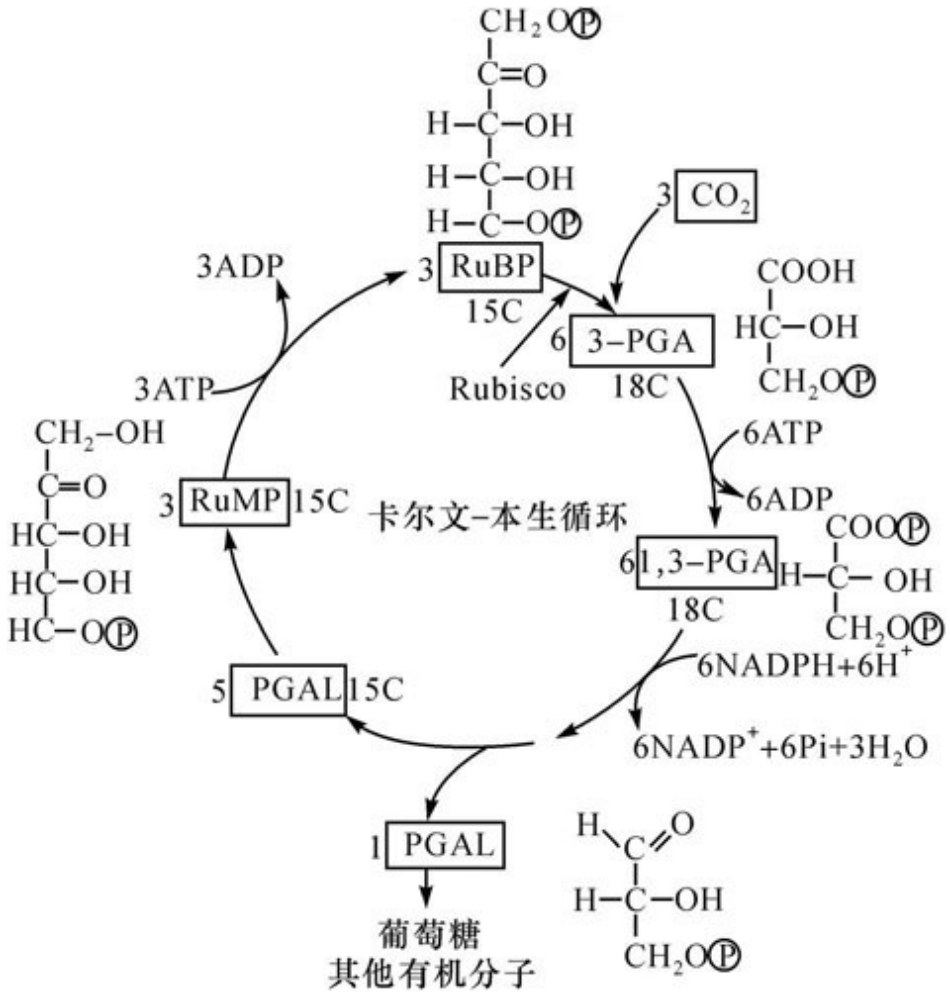


图1-3-10　卡尔文—本生循环

羧化阶段：核酮糖-1,5-二磷酸（RuBP，即C_5）是CO_2的接受体，两者在RuBP羧化酶的催化下，发生反应，生成两分子的3-磷酸甘油酸（PGA，即C_3）。

还原阶段：PGA在3-磷酸甘油酸激酶催化下被ATP磷酸化，形成1,3二磷酸甘油酸，然后在甘油醛磷酸脱氢酶催化下被NADPH还原成3-磷酸甘油醛（PGAL）。这一阶段是需能反应，在光反应中形成的ATP和NADPH主要是在这一阶段被利用。所以，还原反应是光反应与暗反应的连接点。CO_2被还原成3-磷酸甘油醛，标志着光合作用的贮能过程已经完成。

RuBP再生阶段：3-磷酸甘油醛经过一系列转变，生成5-磷酸核酮糖（RuMP），然后在磷酸核酮糖激酶的催化下发生磷酸化作用形成RuBP，该过程再消耗1个分子ATP。

由此可见，C_3途径是靠光反应合成的ATP和NADPH作能源，推动CO_2的固定、还原。卡尔文循环本身的直接产物不是葡萄糖，而是3碳的丙糖，即PGAL。葡萄糖则是由2个分子的PGAL聚合而成的。由于每循环1次只能固定1个CO_2分子，所以必须循环6次才能把6个CO_2分子同化为1个己糖分子。

②C_4途径

某些热带或亚热带起源的植物，如甘蔗、玉米、高粱、苋菜等，除了具有卡尔文循环外，还有另一个独特的固定CO_2途径，称C_4途径或C_4循环。它们固定CO_2的最初产物是草酰乙酸（OAA，即C_4），所以这些植物被称为C_4植物，图1-3-11是C_3与C_4植物叶片结构的比较。

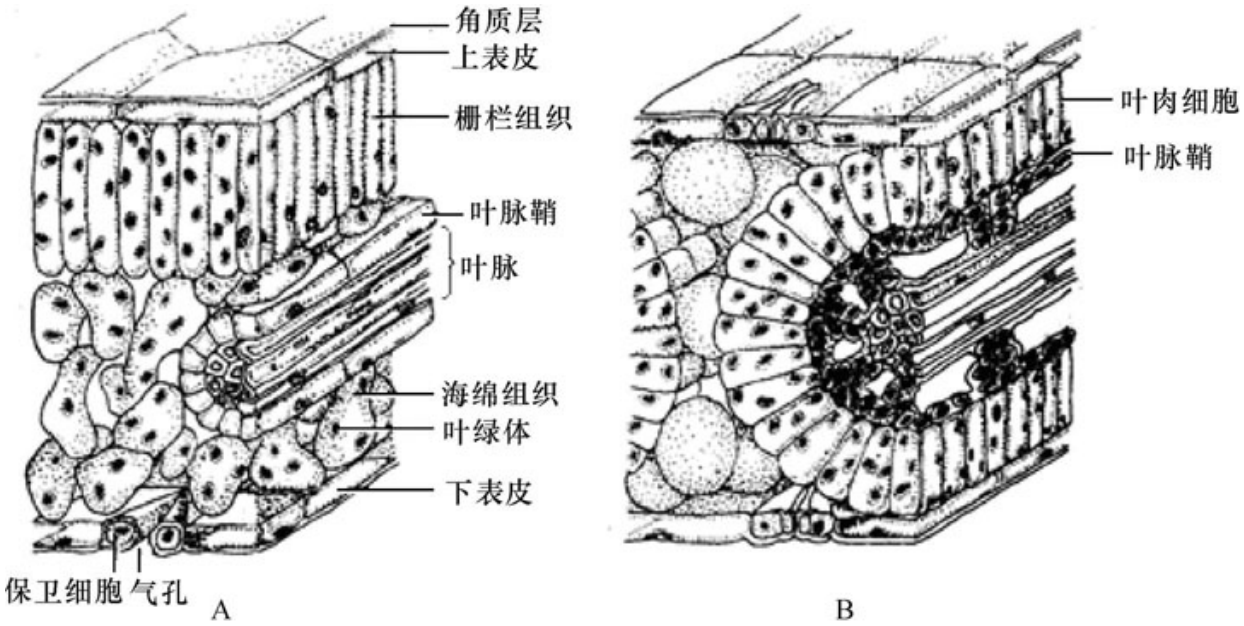


图1-3-11　C_3植物（A）和C_4植物（B）叶片解剖

C_4植物的主要特点是：在叶片的叶脉周围有一圈维管束鞘细胞，其外面又环列着排列整齐的叶肉细胞，维管束鞘细胞和叶肉细胞均含叶绿体。而C_3植物的维管束鞘细胞不含叶绿体。C_4植物对CO_2的固定是由这两类细胞紧密配合完成的。先在叶肉细胞内完成C_4途径：磷酸烯醇式丙酮酸（PEP，也为C_3化合物）在PEP羧化酶的催化下，与CO_2反应最先生成草酰乙酸，继而形成苹果酸（C_4化合物）。苹果酸进入维管束鞘细胞，脱羧放出CO_2转变为丙酮酸，丙酮酸再回到叶肉细胞，再

次消耗ATP形成PEP，成为CO_2的接受体。而放出的CO_2则在维管束鞘细胞中完成卡尔文循环，最终生成有机物。

PEP羧化酶催化CO_2固定的能力要比RuBP羧化酶高60倍，因此在很低的CO_2浓度下，甚至当气孔全部关闭的情况下，仍可催化CO_2的固定。故C_4植物光合作用效率高，称为高光效植物。

可以发现，C_4植物既有C_4途径也有C_3途径，而C_3植物只有C_3途径。尽管两者均有C_3途径，但发生的场所有差异：C_4植物是在维管束鞘细胞中完成，而C_3植物则是在叶肉细胞中完成。C_4植物最初固定CO_2的受体为PEP，产物为OAA，且需消耗ATP；而C_3植物最初固定CO_2的受体为RuBP，产物为PGA，不需消耗ATP。图1-3-12表示了C_3途径与C_4途径的关系。

③景天科酸代谢途径

景天科等肉质植物，如景天、落地生根等，因生活的环境干旱缺水，因而它们的气孔夜间开放吸进CO_2，完成C_4途径，以苹果酸的形式贮存CO_2；而白天气孔关闭，进行光反应，将夜间贮存的CO_2释放出来，参与C_3途径合成有机物。这种固定CO_2的方式称为景天科酸代谢（CAM）。这些植物也相应称为CAM植物，它们夜间的有机酸含量很高，而糖含量下降；白天则相反。CAM途径与C_4途径相似，只是CO_2的固定与光合作用产物的生成，在时间及空间上与C_4途径不同。

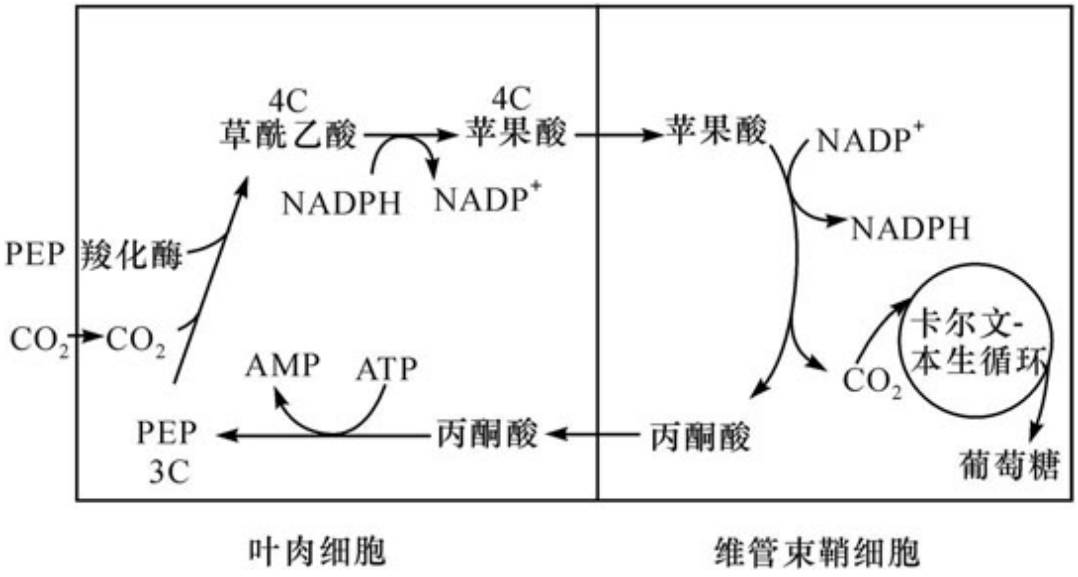


图1-3-12　C_3与C_4途径的关系

4．光呼吸

光呼吸是植物在光照下，发生光合作用的同时发生的吸收O_2放出CO_2的呼吸作用。光呼吸的主要过程是在过氧化物酶体中发生的乙醇酸的氧化，需要O_2。乙醇酸来自叶绿体。乙醇酸氧化的产物进入线粒体，在线粒体中放出CO_2。故光呼吸发生于3个细胞器中，即过氧化物酶体、叶绿体和线粒体。

光呼吸与光合作用关系密切。称之为光呼吸是因为：它吸收O_2，分解有机物放出CO_2，但不产生ATP或NADH；在光照下，当CO_2浓度降低，O_2浓度增加时才会发生。所以光呼吸与细胞呼吸（相应称为暗呼吸，在有光或无光下均可进行）不同，它对光合作用有机物的积累是不利的，在选择植物时，应考虑光呼吸低的植物。

【例题解析】

例1　下列关于酶变构调节的叙述中，不正确的是（　　）

A．无共价键变化

B．有构象变化

C．作用物或代谢产物常是变构剂

D．酶动力学遵守米氏方程

解析　酶的变构作用是指一些小分子物质能够与酶的调节部位或亚基以非共价键形式结合，使酶的构象发生改变，使酶的活性增强或减弱，从而调控代谢反应的现象，这种受调节的酶称为变构酶。引起变构作用的物质称为变构效应剂，变构效应剂常常是变构酶的底物或代谢终产物。变构酶的动力学不遵守典型的米氏方程，即不呈现典型的矩形双曲线，而呈现S形曲线。

答案　D

例2　糖酵解过程中发生什么变化，什么是最终产物（　　）

A．CO_2中的氧为氢所取代并形成葡萄糖

B．由于葡萄糖分子被发酵作用所分解，形成了两个分子的三碳酸并合成了两个分子的ATP

C．此过程中脂肪分子分解，能量释放出来，此能量为细胞所需

D．三碳酸分解为CO_2和水，其结果是合成了36个ATP

解析　糖酵解指在无氧条件下，葡萄糖（淀粉或糖元）在细胞质基质中被不彻底分解，形成2个丙酮酸（三碳化合物）分子，并释放出部分能量的过程。因在最初磷酸化时要消耗2个ATP分子，而后又会产

生4个ATP分子，故这一过程若从葡萄糖开始，则净多2个ATP分子。而后，丙酮酸进入柠檬酸循环被彻底分解为CO_2和水，并再产生34个ATP。这一过程属于柠檬酸循环，不属于糖酵解。糖酵解专指糖类而言，若脂肪分子要分解，则先水解成甘油和脂肪酸，甘油可以变为磷酸二羟丙酮进入糖酵解途径；而脂肪酸则通过β-氧化以乙酰CoA的形式进入柠檬酸循环。而选项A指的是光合作用过程中的葡萄糖合成。

答案　B

例3　下述哪种酶不是糖酵解和有氧氧化所共用的（　　）

A．葡萄糖激酶

B．磷酸果糖激酶

C．丙酮酸激酶

D．柠檬酸合成酶

解析　糖的分解代谢有3种途径：①在无氧情况下，经酵解途径生成丙酮酸，再经发酵生成乳酸等。②在有氧情况下，经酵解后再经三羧酸循环被彻底氧化分解成水和二氧化碳。③经磷酸戊糖途径分解为水和二氧化碳。糖酵解是指将葡萄糖变成丙酮酸的过程；而有氧氧化则指先将葡萄糖分解为丙酮酸，然后再变成乙酰CoA，最终通过三羧酸循环彻底氧化分解成水和二氧化碳的全过程。故两者共有的过程为糖酵解．凡是能催化糖酵解的酶均是共用的酶。糖酵解过程中：首先在葡萄糖激酶催化下生成6-磷酸葡萄糖，然后在磷酸果糖激酶催化下，生成1,6-二磷酸果糖，再经一系列酶促反应，形成磷酸烯醇式丙酮酸（PEP），PEP在丙酮酸激酶催化下，生成丙酮酸，糖酵解结束。而柠檬酸合成酶则是在三羧酸循环中催化乙酰CoA和草酰乙酸合成为柠檬酸的酶。

答案　D

例4　软脂酰CoA经过一次β-氧化，其产物通过柠檬酸循环和氧化磷酸化生成的ATP的摩尔数为（　　）

A．5

B．9

C．12

D．17

解析　软脂酰CoA通过一次β-氧化，可产生1分子NADH、1分子$FADH_2$及1分子乙酰CoA。通过电子传递和氧化磷酸化，1分子NADH可产生3个分子ATP；1分子$FADH_2$可产生2个分子ATP；1分子乙酰CoA通

过柠檬酸循环彻底氧化可产生12分子ATP。故每进行一次β-氧化可形成17个分子ATP。

答案　D

例5　一个光合单位包括（　　）

A．天线色素系统和反应中心色素分子

B．ATP酶复合物和电子传递体

C．电子传递体和NADPH

D．ATP酶复合物和P700

解析　光合作用单位是植物进行光合作用的最小结构单位，它具有电荷分离和能量转换功能。能独立地将光能转换为电能。色素分子中，具有能量转换功能的色素是反应中心色素（即极少数处于特殊状态的叶绿素a），它与另外一些有机物共同构成反应中心；而大量色素为捕光色素（即天线色素），虽不能转换能量，但对于光的吸收和传递起重要作用。故一个光合单位实际上是由两部分构成：捕光色素和反应中心，后者包括反应中心色素和一些有机物。ATP酶复合物位于类囊体膜上，当质子穿过它上面的管道从类囊体腔流向叶绿体基质时，会催化磷酸化作用而将能量贮存在ATP中，故它是在光合磷酸化过程中发挥作用的酶。电子传递体包含了整个电子链上的各物质。而NADPH则是最终电子传递后的产物。P700指光系统Ⅰ中的中心色素。三者在表述上，与光合作用单位属不同概念。

答案　A

例6　在卡尔文循环中，与二氧化碳结合的物质是（　　）

A．磷酸烯醇式丙酮酸

B．核酮糖-1,5-二磷酸

C．3-磷酸甘油酸

D．5-磷酸核酮糖

解析　光合作用的碳同化过程可分为两条途径：C_3途径和C_4途径。C_3途径又称为卡尔文循环，指CO_2首先与核酮糖-1,5-二磷酸（RuBP）结合，生成3-磷酸甘油酸（PGA），而后会生成3-磷酸甘油醛，3-磷酸甘油醛会在酶催化下生成磷酸烯醇式丙酮酸（PEP），再经一系列反应，再生形成5-磷酸核酮糖，消耗1个ATP后，又可重新生成核酮糖-1,5-二磷酸。故在卡尔文循环中，与二氧化碳结合的物质是核酮糖-1,5-二磷酸（RuBP）。在C_4途径中，与二氧化碳结合的物质为磷酸烯醇式丙酮酸（PEP），形成4个碳原子的化合物：草酰乙酸（OAA）。值得注意的是，如果表述为C_4植物，因为C_4植物兼有C_3途

径和C_4途径，故与二氧化碳结合的物质分别是磷酸烯醇式丙酮酸和核酮糖-1,5-二磷酸。

答案　B

例7　一般来说，在干旱条件下（　　）

A．C_4植物比C_3植物生长得好

B．C_3植物比C_4植物生长得好

C．两者状况一致

D．植物抗旱能力与C_3、C_4途径无关，与植物种类有关

解析　C_3植物与C_4植物最大的区别在于：当外界CO_2浓度很低时，对CO_2固定能力的强弱。由于C_4途径中的PEP羧化酶对CO_2固定能力要比C_3途径中的RuBP羧化酶高60倍左右，因此，C_4植物更能适应低CO_2浓度的环境。凡是能影响空气中CO_2浓度的因素，都可能对C_3植物与C_4植物的生长造成影响。干旱条件下，植物蒸腾作用减弱，气孔关闭，造成对CO_2的吸收量下降，在低度CO_2下，C_4植物生长要好于C_3植物。

答案　A

例8　下列对底物水平磷酸化、氧化磷酸化和光合磷酸化的叙述中，正确的是（　　）

A．均通过电子传递链完成

B．均与氧气的存在有关

C．均有ATP的产生

D．均需要完整的膜才能完成

解析　底物水平磷酸化是生物获得能量的一种形式，它与氧的存在与否没有关系。它所形成的高能化合物（ATP）是由于底物脱氢或脱水时伴随着分子内部的能量重新分布而形成的高能磷酸键，并没有涉及电子的传递链。而且，此过程发生在细胞质基质（细胞溶胶）中，与膜没有关系。氧化磷酸化和光合磷酸化的ATP产生是由质子移动所推动的，由ATP合成酶复合体催化完成，故均需完整的膜存在。氧化磷酸化和光合磷酸化均需通过相应的电子传递链，实现能量的转换。氧气是氧化磷酸化过程中最终的电子受体，是光合磷酸化过程中水光解以后的“副产品”。

答案　C

【针对训练】

1．地球上生命的能量始源于（　　）

A．食物
B．水
C．太阳
D．ATP
2．参与体内供能反应最多的高能磷酸化合物是（　　）
A．磷酸肌酸
B．三磷酸腺苷
C．PEP
D．UTP
E．GTP
3．细胞中的ATP产生时所消耗的能量形式和ADP产生时释放的能量形式分别是（　　）
A．只能是化学能；可能是化学能、机械能、电能或热能等
B．化学能和光能；只能是化学能
C．都只能是化学能
D．化学能或光能；可能是化学能、机械能、电能、热能等
4．肌肉收缩时直接能源是（　　）
A．ATP
B．磷酸肌酸
C．葡萄糖
D．GTP
5．50m短跑能量供应的特点是（　　）
A．ATP供能
B．糖酵解供能
C．氧化分解供能
D．ATP与磷酸肌酸供能
6．下面哪种有关酶的描述是错的（　　）
A．所有酶都是蛋白质
B．酶有专一性
C．酶在细胞外也可以发挥功能
D．酶可以不需要辅基
7．酶能提高生物化学反应速度的原因是（　　）
A．向反应体系提供能量
B．降低反应体系的自由能变化
C．降低反应的活化能
D．降低底物的能量水平

8．酶能改变化学反应速度，因为酶能够（　　）

A．提高反应物的活化能

B．降低产物自由能，使逆反应速度下降

C．降低反应物的自由能

D．增加反应物中的活化分子数

9．在植物叶片的提取液中没有测出某种酶的活性，下列说法中哪一种是错误的（　　）

A．酶可能被液泡中存在的丹宁变性

B．酶可能被蛋白酶降解

C．酶还是以酶原形式存在，没有成为成熟的酶

D．不是酶活性测定的最适条件

10．酶促反应的初速度（　　）

A．与［E］（酶的浓度）成正比

B．与［S］（底物浓度）无关

C．与K_m（米氏常数）成正比

D．与［Ⅰ］（抑制剂浓度）成正比

11．在酶促反应中，如果加入竞争性抑制剂（　　）

A．米氏常数不变

B．最大反应速度不变

C．米氏常数和最大反应速度都不变

D．米氏常数和最大反应速度都变

12．酶促反应速度与酶浓度成正比的条件是（　　）

A．底物被酶饱和

B．反应速度达到最大

C．酶浓度远远大于底物浓度

D．底物浓度远远大于酶浓度

13．下列哪种物质产生的热量最高（　　）

A．1g糖

B．1g脂肪

C．1g蛋白质

D．1g维生素

14．关于物质代谢和能量代谢的叙述中，正确的有（　　）（多选题）

A．物质代谢中伴随着能量代谢

B．先进行合成代谢，后进行分解代谢

C．先贮藏能量，后释放能量

D．合成代谢和分解代谢同时进行

15．呼吸商是呼吸作用的一个重要指标，它是呼吸作用所放出的CO_2的摩尔数或体积与所吸收的O_2的摩尔数或体积之比。蓖麻油的分子式是$C_{57}H_{101}O_9$，如它是呼吸底物并完全被氧化：$C_{57}H_{101}O_9+O_2\rightarrow CO_2+H_2O$，则呼吸商是（　　）

A．0.57

B．1.65

C．0.73

D．0.89

16．下列哪种情况会促进脂肪分解（　　）

A．血液中胰高血糖素水平升高

B．血液中胰岛素水平升高

C．膳食中碳水化合物摄取量偏低

D．膳食中蛋白摄取量偏低

17．动物脂肪氧化供能的特点是（　　）（多选题）

A．氧化时释放能量多

B．动物体所消耗的能量的绝大部分是由脂肪提供

C．在短期饥饿情况下，脂肪是主要的能量来源

D．脂肪不能在机体缺氧时供能

18．人体主要以脂肪而不是糖元为能量储存物质的主要原因是（　　）（多选题）

A．脂肪的疏水性

B．脂肪酸氧化比碳水化合物氧化释放的能量多

C．碳水化合物氧化比脂肪酸氧化释放的能量多

D．脂肪比重轻

19．在离体的完整线粒体中，有可氧化底物存在时，加入哪一种物质可提高电子传递和氧气的摄入量（　　）

A．TCA循环的酶

B．ADP

C．$FADH_2$

D．NADH

20．以下哪种物质不属于糖酵解过程中的产物（　　）

A．磷酸烯醇式丙酮酸

B．3-磷酸甘油酸

C．2-磷酸甘油醛

D．果糖-6-磷酸

21．葡萄糖转变为1-磷酸葡萄糖需要（　　）

A．ATP

B．NAD

C．1,6-二磷酸果糖

D．1,6-二磷酸葡萄糖

22．以下哪种物质具有高能键（　　）

A．磷酸烯醇式丙酮酸

B．3-磷酸甘油酸

C．2-磷酸甘油醛

D．果糖-6-磷酸

23．葡萄糖酵解的产物是（　　）

A．丙氨酸

B．丙酮醛

C．丙酮酸

D．乳酸

E．磷酸丙酮酸

24．下列能有效促进糖酵解过程的物质是（　　）

A．氧气

B．ADP和AMP

C．丙酮酸

D．葡萄糖

25．下列哪些反应的主要进行部位不是线粒体（　　）

①糖酵解；②Krebs循环；③氧化磷酸化；④乙醛酸循环；⑤脂肪酸合成；⑥酮体合成

A．①④⑤

B．②⑤⑥

C．①③⑤

D．③④⑤

26．水淹导致植物死亡的原因是（　　）

A．土壤水势过高

B．植物的根缺氧

C．呼吸产生的CO_2的毒害作用

D．土壤中的物质溶于水中达到毒害作用的浓度

27．洪涝灾害发生时，农作物根系往往因下列哪种原因而受损、发黑甚至坏死，进而导致整株植物的死亡（　　）

A．病原菌感染
B．饥饿
C．过度吸水
D．无氧呼吸及发酵
28．厌氧条件下，哪一种化合物会在哺乳动物的肌肉组织中积累（　　）
A．乳酸
B．丙酮酸
C．葡萄糖
D．CO_2
29．若葡萄糖1,4位的碳用^{14}C标记，经酵解转变为2分子乳酸时，乳酸中被标记的碳原子是哪些（　　）
A．只有羧基碳被标记
B．只有羟基碳被标记
C．羧基碳和羟基碳都被标记
D．一分子乳酸的羧基碳被标记，另一分子的甲基碳被标记
30．动物和植物细胞中的丙酮酸在厌氧环境中都会发生酵解反应，下列哪一化合物不是该反应的直接产物（　　）
A．乙醇
B．NAD^+
C．乳酸
D．CO_2
31．巴斯德效应指的是（　　）
A．由于氧化磷酸化作用增强，因而己糖激酶活性增强
B．由厌氧代谢转变为需氧代谢时，由丙酮酸生成乙醇增多
C．由厌氧代谢转变为需氧代谢时，葡萄糖利用减少
D．由厌氧代谢转变为需氧代谢时，葡萄糖利用增加
32．以有机物为基质的生物氧化反应中，主要以外源无机氧化物作为最终电子受体，称为（　　）
A．好氧呼吸
B．无氧呼吸
C．发酵
D．分子内呼吸
33．成熟红细胞的主要能量来源是（　　）
A．糖的有氧氧化

B．脂肪酸β-氧化
C．糖酵解
D．磷酸戊糖途径

34．下列哪一生化代谢途径是发生在厌氧环境中（　　）
A．三羧酸循环
B．线粒体电子传递链
C．糖酵解
D．糖异生

35．下列代谢过程中，存在于人红细胞中的有（　　）（多选题）
A．糖酵解
B．三羧酸循环
C．乙醛酸循环
D．磷酸戊糖途径

36．反应式：丙酮酸＋NADH＋H^+→乳酸＋NAD^+，其中还原剂是（　　）
A．丙酮酸
B．NADH
C．H^+
D．NAD^+

37．CH_3—CHOH—COO^-→CH_3—CO—COO^-属于哪种类型的反应（　　）
A．氧化反应
B．脱羧反应
C．羧化反应
D．磷酸化反应

38．CH_3—CH_2—CO—COO^-→CH_3—CH_2—CHO＋CO_2属于哪种类型的反应（　　）
A．氧化反应
B．脱羧反应
C．磷酸化反应
D．水解反应

39．CH_3—CO—S—CoA＋HCO_3^-＋ATP→$^-$OOC—CH_2—CO—S—CoA＋ADP＋Pi属于哪种类型的反应（　　）
A．氧化反应

B．水解反应
C．羧化反应
D．磷酸化反应
40．细胞进行有氧呼吸时，电子传递是在（　　）
A．细胞质内
B．线粒体的内膜
C．线粒体的膜间腔内
D．基质内
41．三羧酸循环第一步反应产物是（　　）
A．柠檬酸
B．草酰乙酸
C．乙酰CoA
D．CO_2
42．氧化磷酸化过程中电子传递的主要作用是（　　）
A．形成质子梯度
B．将电子传给氧分子
C．转运磷酸根
D．排出二氧化碳
43．1分子丙酮酸经TCA循环及呼吸链氧化时（　　）
A．生成3分子CO_2
B．生成5分子H_2O
C．生成12个分子ATP
D．有5次脱氢，均通过NAD^+开始呼吸链
44．乙酰-CoA是代谢中的关键分子，下列哪种物质不是由乙酰-CoA转化而来的（　　）
A．半胱氨酸
B．胆固醇
C．酮体
D．脂肪酸
45．下列哪一化合物进入三羧酸循环的目的是为了进一步的分解代谢（　　）
A．乙酰-CoA
B．酮酸
C．苹果酸
D．乙醇

46．每1分子葡萄糖在有氧呼吸第一阶段将分解产生2分子丙酮酸和2分子NADH。已知在线粒体中，每1分子NADH经电子传递将生成3分子ATP。但上述过程产生的NADH最终经线粒体中的电子传递只产生4分子ATP。损失ATP的原因是（　　）

A．该过程产生的NADH与线粒体中的NADH不是相同的物质

B．线粒体中的NADH不是全部都参与电子传递

C．细胞质基质中的NADH跨线粒体膜运输消耗能量

D．细胞质基质中的NADH不能与O_2结合产生H_2O

47．有一株酵母突变株，缺乏一种三羧酸循环中的酶，只有在培养基中加入α-酮戊二酸后才能生长，该酵母缺乏什么酶（　　）

A．α-酮戊二酸脱氢酶

B．丙酮酸脱氢酶

C．柠檬酸异构酶

D．异柠檬酸脱氢酶

E．都不是

48．不参与氧化还原反应的化合物有（　　）

A．NAD^+

B．$NADP^+$

C．CoA

D．硫辛酰胺

49．一分子葡萄糖完全氧化可以生成多少分子ATP（　　）

A．35

B．38

C．32

D．24

50．若NADH（H^+）和$FADH_2$分别计2.5和1.5ATP，则1分子丙酮酸彻底氧化成CO_2和H_2O，释放的ATP数是多少（　　）

A．12.5

B．14

C．15

D．11.5

51．在下列各项中，属于有氧呼吸和发酵的共同特征的有（　　）（多选题）

A．都以葡萄糖为原料

B．都会产生CO_2、H_2O和两个ATP

C．作用速率都受温度影响
D．都在粒线体中进行反应
52．在提取叶绿素时，加入少量碳酸钙的目的是（　　）
A．增加叶绿素的溶解度
B．破坏膜系统，使叶绿素被充分提取
C．防止叶绿素在提取时受到破坏
D．防止叶绿素与其他物质结合
53．以下有关光合色素性质的论述中，哪一项是正确的（　　）
A．完整叶绿体提取液的荧光比叶绿体色素提取液的荧光强
B．只有少数叶绿素b具有光能转换的功能
C．溶解度法分离叶绿素和类胡萝卜素的机理是类胡萝卜素发生皂化反应后转移至上层水中
D．醋酸—醋酸铜溶液使植物叶片保绿的原因是它可促使叶绿素转变为稳定的亮绿色的去镁叶绿素
54．蓝藻中与光合作用有关的色素有（　　）
A．叶绿素a，叶绿素c，藻胆素
B．叶绿素a，叶绿素d，藻胆素
C．叶绿素b，叶绿素c，藻胆素
D．叶绿素a，类胡萝卜素，藻胆素
55．所有进行光合放氧的生物都具有哪种色素（　　）
A．叶绿素a，叶绿素b
B．叶绿素a，叶绿素c
C．叶绿素a，类胡萝卜素
D．叶绿素a，藻胆素
56．光合链中数量最多，能同时传递电子、质子的电子传递体是（　　）
A．Fd
B．PQ
C．PC
D．Cytb
57．在光合作用中最先形成的三碳糖是（　　）
A．磷酸甘油酸
B．磷酸甘油
C．磷酸甘油醛
D．磷酸丙酮酸
58．电子传递链中的哪种组分是脂溶性的（　　）

A．辅酶Q
B．黄素蛋白
C．细胞色素
D．$FADH_2$
59．氰化钾是下列什么物质的抑制剂（　　）
A．细胞色素c
B．超氧化物歧化酶
C．ATP酶
D．细胞色素氧化酶
60．光合作用电子传递过程中（　　）
A．电子总是成对地转移
B．电子总是不成对地转移
C．电子总是从低电位载体向高电位载体转移
D．叶绿素参与电子传递
61．质蓝素是在细胞质中合成后被转运到叶绿体类囊体腔中实行电子传递功能的。在细胞质中合成的质蓝素前体含有多少个转运肽（　　）
A．1个
B．2个
C．3个
D．0个
62．以下哪一个关于化学渗透学说的描述是正确的（　　）
A．OH^-聚集在线粒体内膜外，而H^+聚集在膜内
B．H^+聚集在线粒体内膜外，而OH^-聚集在膜内
C．OH^-及H^+都聚集在线粒体内膜内
D．OH^-及H^+都聚集在线粒体内膜外
63．以下哪些参与光合磷酸化（　　）
A．P680，P700，P450
B．P680，P700，去镁叶绿素
C．P680，P700，叶绿素b
D．细胞色素c，细胞色素b，NADH
64．下面有关光系统 II 的论述哪些是正确的（　　）（多选题）
A．在受光激发后，原初电子供体P680失去电子
B．P700是P680的氧化态形式
C．每一个吸收的光子可以导致两个电子传递
D．放氧过程产生的质子可以用于ATP合成

E．光系统 II 仅在叶绿体存在

65．光合作用过程中在叶绿体类囊体腔中完成的反应步骤有（　　）

A．三碳化合物的形成

B．水的光解和氧的释放

C．$NADP^+$的还原

D．ATP的生成

66．在光合作用过程中，水的分解是一个重要的步骤，关于水的分解的叙述正确的是（　　）

A．水的分解属于光反应

B．水的分解属于还原反应

C．水的分解所需能量来自ATP

D．水的分解产物为氢气与氧气

67．光合作用中CO_2固定和同化一定需要（　　）（多选题）

A．RuBP

B．NADPH

C．ATP

D．放出氧气

68．光合作用产生以下哪种物质用于卡尔文循环（　　）

A．热能

B．ATP和NADPH

C．ADP和$NADP^+$

D．糖和O_2

E．CO_2和H_2O

69．光合产物是以什么形式从叶绿体转移到细胞质中去的（　　）

A．核酮糖

B．葡萄糖

C．蔗糖

D．磷酸丙糖

70．光合产物蔗糖形成的部位是在（　　）

A．叶绿体基粒

B．叶绿体间质

C．细胞质

D．类囊体

71．在较强光照强度下，降低CO_2浓度，下列作物中的哪两种光合速率下降得更快（　　）

（1）棉花　（2）玉米　（3）高粱　（4）小麦

A．（1）和（3）

B．（1）和（4）

C．（2）和（3）

D．（2）和（4）

72．C_4植物同C_3植物相比（　　）（多选题）

A．C_4植物能在弱光下生长更好

B．C_4植物能在低CO_2浓度下生长更好

C．C_4植物利用高光合速率补偿高光呼吸带来的损失

D．C_4植物光合速率受高温抑制相对较小

73．对于进行C_4光合作用的植物，在叶肉细胞内合成的C_4化合物的主要功能是（　　）

A．驱动ATP合成

B．与CO_2结合生成葡萄糖

C．降低$NADP^+$

D．将CO_2转运至鞘细胞

74．以下哪个关于C_4植物的描述是正确的（　　）

A．均为单子叶植物

B．叶片只进行C_4光合作用途径

C．光呼吸中放出的CO_2能被高效利用

D．氧气对其CO_2固定影响较小

75．哪些特征使得景天科植物适应在炎热荒漠环境生长（　　）（多选题）

A．维管束的排列方式特异

B．具有C_4代谢途径

C．白天气体交换少

D．储存酸性物质可以抗虫

76．在含硫热泉或深海火口中生活的极端嗜热嗜酸菌，作为唯一的碳源进行硫的代谢的是（　　）

A．甲烷

B．二氧化碳

C．氨基酸
D．甲醛
77．光呼吸底物氧化的地点在（　　）
A．叶绿体
B．过氧化物酶体
C．线粒体
D．细胞质
78．下列过程中哪一个释放能量最多（　　）
A．糖酵解
B．三羧酸循环
C．生物氧化
D．暗反应

【参考答案】

1．C　2．B　3．D　4．A　5．D　6．A　7．C　8．D　9．C　10．A　11．B　12．D　13．B　14．AD　15．C　16．C　17．ABD　18．AB　19．B　20．C　21．D　22．A　23．C　24．B　25．A　26．B　27．D　28．A　29．D　30．A　31．C　32．B　33．C　34．C　35．AD　36．B　37．A　38．B　39．C　40．B　41．A　42．A　43．A　44．A　45．A　46．C　47．D　48．C　49．B　50．C　51．AC　52．C　53．A　54．D　55．C　56．B　57．D　58．A　59．D　60．D　61．B　62．B　63．B　64．AD　65．B　66．A　67．ABC　68．B　69．D　70．C　71．B　72．BD　73．D　74．D　75．BC　76．B　77．B　78．C

第4讲　细胞的增殖、分化、衰老、凋亡和癌变

（杭州十四中　方淳）

【知识梳理】

一、细胞增殖

细胞增殖是生命的基本特征，种族的繁衍、个体的发育、机体的修复等都离不开细胞增殖。一个受精卵发育为初生婴儿，细胞数目增至10^{12}个，长至成年有10^{14}个，而成人体内每秒钟仍有数百万新细胞

产生，以补偿血细胞、小肠黏膜细胞和上皮细胞的衰老和死亡。细胞增殖是通过细胞周期来实现的，而细胞周期的有序运行是通过相关基因的严格监视和调控来保证的。

（一）细胞周期

1．细胞周期概述

进行连续分裂的细胞，从上一次分裂结束开始到下一次分裂完成为止所经历的过程，称为一个细胞周期。细胞周期可分为分裂间期和分裂期（M期）。分裂间期又可细分为G_1期、S期、G_2期。细胞周期是高度有序地沿着G_1期→S期→G_2期→M期运转，并周而复始（图1-4-1）。

不同生物的细胞以及不同种类的细胞，其完成一个细胞周期的时间有明显差异，若具体比较各个时相，其差异最明显的为G_1期，S期、G_2期与M期的时间变化较小。在同一个细胞周期中各个时相所占时间也不尽相同，一般而言M期最短，S期较长。

多细胞生物，尤其是高等生物，可以看作是由一个受精卵经过许多次分裂分化所形成的细胞社会。在这个细胞社会中，有些细胞可能会持续分裂，即细胞周期持续运转，这些细胞常称为周期细胞，如高等动物表皮基底层细胞、部分骨髓细胞、植物的顶端分生组织细胞等。也有一些细胞永久地失去了分裂能力，而分化为具一定形态结构及生理功能的组织细胞，称为终端分化细胞，如神经细胞、肌肉细胞等。还有些细胞会暂时离开细胞周期，停止细胞分裂，去执行一定的生物学功能，但在适当的刺激下，它们可重新进入细胞周期，如肝细胞、肾细胞等，称为静止期细胞或G_0期细胞。

2．细胞周期时间的测定

标记有丝分裂百分率法（PLM）是一种常用的测定细胞周期时间的方法。其原理是对测定细胞进行脉冲标记、定时取材、利用放射自显影技术显示标记细胞，通过统计标记有丝分裂细胞百分数的办法来测定细胞周期。

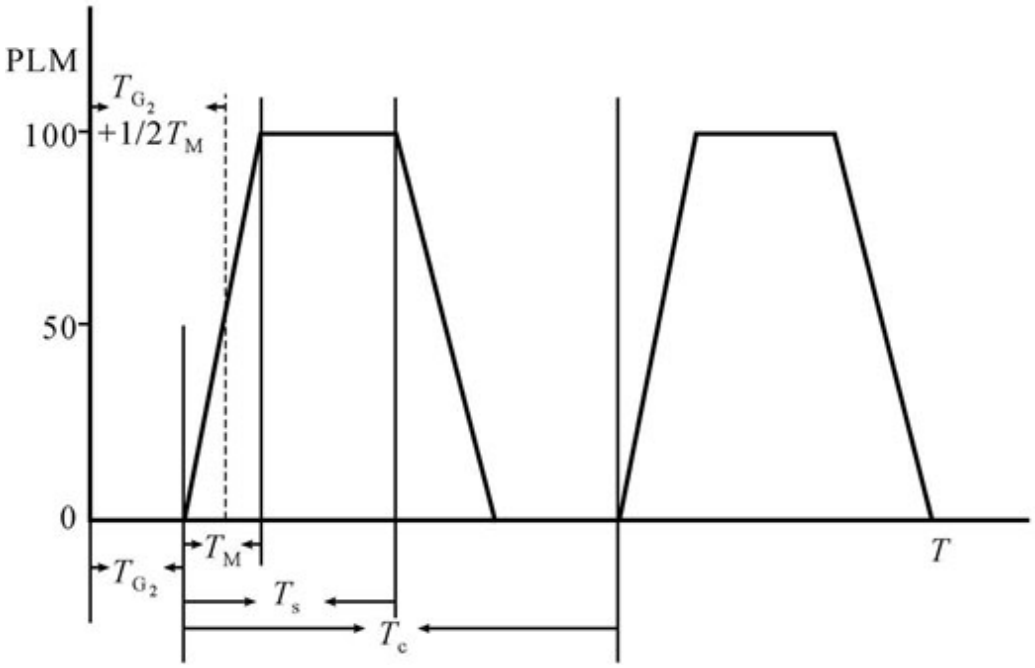


图1-4-1　细胞周期

T_{G_1}：G_1期的持续时间；T_{G_2}：G_2期的持续时间；T_S：S期的持续时间；T_M：M期的持续时间；T_C：一个细胞周期的持续时间；PLM：标记的有丝分裂细胞所占的比例；TDR：胸腺嘧啶核苷，是DNA的特异前体，能被S期细胞摄入，而掺进DNA中。通常使用的是^3H或者^{14}C标记的TDR。

测定原理：①待测细胞经^3H-TDR标记后，所有S期细胞均被标记。②S期细胞经G_2期才进入M期，所以一段时间内PLM＝0。③开始出现标记M期细胞时，表示处于S期最后阶段的细胞，已度过G_2期，所以从PLM＝0到出现PLM的时间间隔为T_{G_2}。④S期细胞逐渐进入M期，PLM上升，到达到最高点的时候说明来自处于S最后阶段的细胞，已完成M，进入G_1期。所以从开始出现M到PLM达到最高点（≈100%）的时间间隔就是T_M。⑤当PLM开始下降时，表明处于S期最初阶段的细胞也已进入M期，所以出现M到PLM又开始下降的一段时间等于T_S。⑥从M出现到下一次M出现的时间间隔就等于T_C，根据

$T_C = T_{G_1} + T_S + T_{G_2} + T_M$即可求出的$T_{G_1}$长度。

事实上由于一个细胞群体中T_C和各时相不尽相同，第一个峰常达不到100%，以后的峰会发生衰减，PLM不一定会下降到零，所以实际测量时，常以$(T_{G_2} + 1/2\,T_M) - T_{G_2}$的方式求出$T_M$。

3．细胞同步化

细胞同步化是指在自然过程中发生或经人为处理造成的细胞周期同步化，前者称自然同步化，后者称为人工同步化。

（1）自然同步化

①多核体：如黏菌只进行核分裂，而不发生胞质分裂，形成多核体。数量众多的核处于同一细胞质中，进行同步化分裂。疟原虫也具有类似的情况。

②某些水生动物的受精卵如海胆卵可以同时授精，最初的3次细胞分裂是同步的，再如大量海参卵受精后，前9次细胞分裂都是同步化进行的。

③增殖抑制解除后的同步分裂：如真菌的休眠孢子移入适宜环境后，它们一起发芽，同步分裂。

（2）人工同步化

①选择同步化

a．有丝分裂选择法：使单层培养的细胞处于对数增殖期，此时分裂活跃。有丝分裂细胞变圆隆起，与培养皿的附着性低，此时轻轻振荡，M期细胞脱离器壁，悬浮于培养液中，收集培养液，再加入新鲜培养液，依法继续收集，则可获得一定数量的中期细胞。其优点是操作简单，同步化程度高，细胞不受药物伤害，缺点是获得的细胞数量较少（分裂细胞约占1%～2%）。

b．细胞沉降分离法：不同时期的细胞体积不同，而细胞在给定离心场中沉降的速度与其半径的平方成正比，因此可用离心的方法分离。其优点是可用于任何悬浮培养的细胞，缺点是同步化程度较低。

②诱导同步化

a．DNA合成阻断法：选用DNA合成的抑制剂，可逆地抑制DNA合成，而不影响其他时期细胞的运转，最终可将细胞群阻断在S期或G_1/S交界处。5-氟脱氧尿嘧啶、羟基脲、阿糖胞苷、氨甲蝶呤、高浓度ADR、GDR和TDR，均可抑制DNA合成使细胞同步化。其中高浓度TDR对S期细胞的毒性较小，因此常用TDR双阻断法诱导细胞同步化：在细胞处于对数生长期的培养基中加入过量TDR（Hela细胞，2mol/L；CHO细胞，7.5mol/L）。S期细胞被抑制，其他细胞继续运转，最后停在G_1/S交界处。移去TDR。洗涤细胞并加入新鲜培养液、细胞又开始分裂。当释放时间大于T_S时，所有细胞均脱离S期，再次加入过量TDR，细胞继续运转至G_1/S交界处，被过量TDR抑制而停止。优点是同步化程度高，适用于任何培养体系，可将几乎所有的细胞同步化，缺点是产生非均衡生长，个别细胞体积增大。

b．中期阻断法：利用破坏微管的药物将细胞阻断在中期，常用的药物有秋水仙素和秋水仙酰胺，后者毒性较少。优点是无非均衡生长现象，缺点是可逆性较差。

（二）有丝分裂

1．有丝分裂过程：有丝分裂包括分裂间期和分裂期。

（1）分裂间期是细胞生长期，为分裂期作物质准备，包括G_1、S、G_2三个时期。

①G_1期（又称DNA复制预备期）

细胞结束上一次有丝分裂后进入G_1期。在这一期主要是细胞生长，体积扩大，RNA和蛋白质合成旺盛，尤其是与DNA复制有关的酶明显增加；中心粒分开、复制；线粒体、叶绿体分裂增殖；内质网扩大，核糖体、高尔基体、溶酶体增多。

②S期（DNA复制期）

在这一时期，主要是遗传物质的复制。这时DNA通过复制而加倍，并与相关的组蛋白和非组蛋白结合形成染色质。

③G_2期（有丝分裂准备期）

这个时期，有新的RNA和蛋白质合成，特别是微管蛋白等与M期有关的物质大量合成，为有丝分裂作准备。

（2）分裂期：细胞一旦完成了细胞分裂的准备，就进入有丝分裂期，根据这一过程中形态学特征的变化人为地将它分为6个时期。

①前期

G_2期结束后，细胞进入前期。S期已复制的染色质进一步螺旋化、折叠与包装。染色体凝集完成后，可以看到每条染色体包括两条染色单体，即两条姐妹染色体。

动物细胞具有中心体，周围有微管组织中心，中心粒在间期加倍，有丝分裂前期两组中心体沿核膜彼此分离，运动到相对的位置后便停止，并形成星体和纺锤体，由此决定了有丝分裂的极。

到前期末，核仁解体，核膜也崩解。

②早中期

核膜一崩解，则进入早中期。此时原核周围的纺锤体微管伸入到细胞中心区。一部分纺锤体微管自由端最终结合到着丝点上，形成染色体牵丝。染色体在纺锤体的牵引下剧烈地活动，趋向赤道面。

③中期

染色体呈辐射状排列在细胞中央（赤道面），小的染色体排列在内侧，大的在周缘，没有着丝粒者不能排列在赤道面上。这时染色体

着丝点两边受到的方向相反强度相等的拉力，因而达到了一种暂时的平衡。中期是在光学显微镜下最易观察染色体形态的时期。

④后期

姐妹染色单体在此期相互分离（着丝点部位分离），形成两组子染色体，在纺锤丝的牵引下它们以相同的速度分别向两极移动。

⑤末期

两组子染色体向两极运动结束。染色体解螺旋，回复为染色质，并且在其周围由内质网和原先崩解的核膜小泡重新装配成核膜。核仁出现。同时纺锤体微管解聚。

⑥细胞质分裂

有丝分裂的晚后期或末期，随着染色体的分离，细胞器和胞质等也要分开，分别进入两个子细胞，此过程称细胞质分裂。

在动物细胞中，一般认为是在赤道面部位出现内缢缩凹陷——它是由与分裂平面平行但极性相反的肌动蛋白纤维组成的缢缩环，由于缢缩环收缩最后将细胞一分为二。现在普遍认为缢缩环的收缩机制与肌肉的收缩机制相似，是肌动蛋白与肌球蛋白分子的相互滑动所致。如果用肌动蛋白和肌球蛋白抗体，或用细胞松弛素B处理分裂随细胞，可阻断缢缩环的收缩，使细胞不能完成胞质分裂。需要分配到子细胞中的线粒体则早在分裂间期已通过二分裂法得到增殖；高尔基体、内质网在细胞分裂时解体变成碎片，而它们进入子细胞后再进行装配。

植物细胞的胞质分裂不是通过细胞膜内陷，而是在赤道面中央残留的纺锤体微管密集形成成膜体，而高尔基体小泡和内质网囊泡等也集中在成膜体上彼此融合，形成有膜包围的平板，即细胞板。板上的囊泡中所携带的多糖释放出来，并生成果胶、半纤维素和初生细胞壁的其他成分。与此同时，有更多的高尔基体囊泡继续积累、融合，细胞板也不断向四周延伸，直至与质膜融合，此时两个子细胞完全分隔开。同时还有纤维素、微丝等沉积在其上，最终形成了与原来细胞壁相连的新的细胞壁（如图1-4-2）。

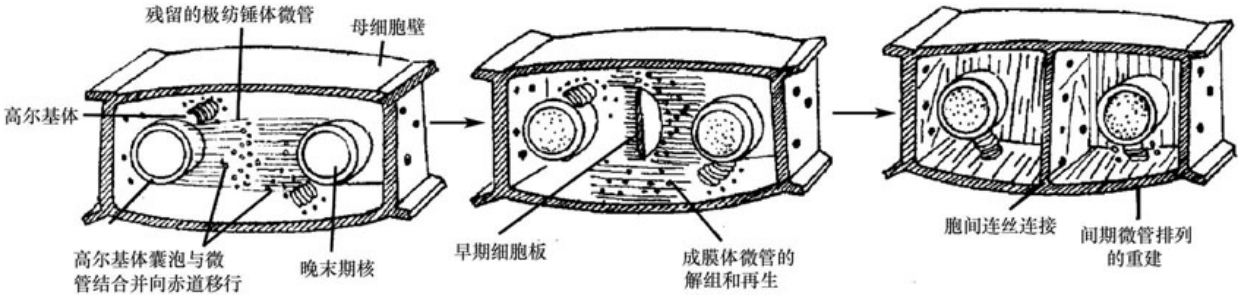


图1-4-2　细胞壁的形成

2．有丝分裂的机理

有丝分裂的核心问题是如何均等分配遗传物质给两个新产生的子细胞，整个过程中的所有活动都是围绕这一核心问题进行的。染色体的分裂与分配是靠纺锤体的形成、运动和解聚来完成的。

（1）纺锤体微管的类型及其形成

纺锤体又称有丝分裂器，它是在有丝分裂期间，从中心粒形成的各种微管，包括动粒粒微管、极微管、星体微管等（图1-4-3）。它的功能是将遗传物质均等分配到两个子细胞。

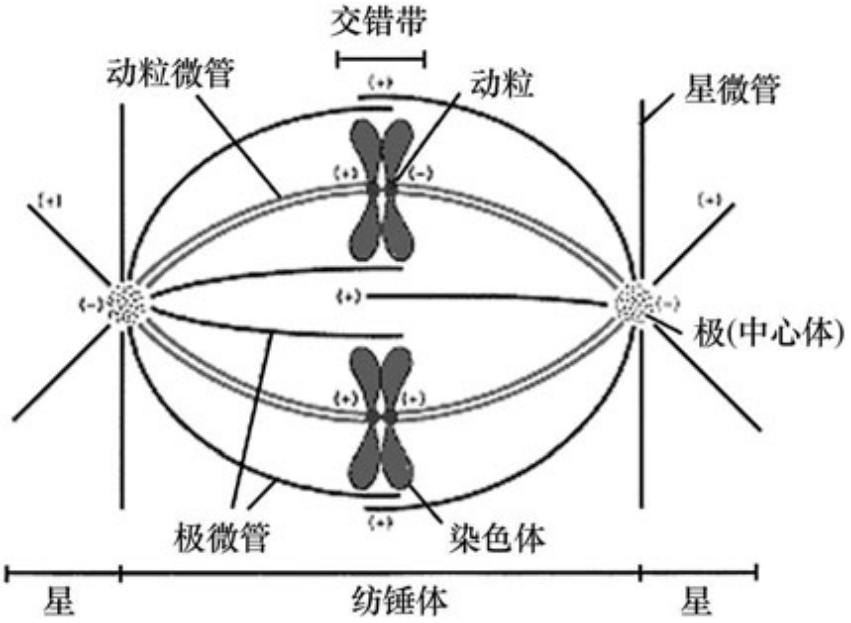


图1-4-3　纺锤体微管

中期有丝分裂器的半数纺锤体微管源自极中心体，因此，有丝分裂器的形成首先依赖于中心体的复制，并分别移动到两极。中心体在细胞周期中具有复制—分离—复制周期，这一过程称为中心体循环。中心体循环始于G_1期，在G_1期，一对亲代中心粒分开，到S期和G_2期，子代中心粒从亲代中心粒上生长出来，并逐渐长大，但仍在同一个中心体中。有丝分裂早期，中心体裂开，每对中心粒移向细胞相反的两端，然后装配成有丝分裂器。

（2）后期A与后期B

在有丝分裂过程中染色体被拉向两极是受两种力的作用：一种是动粒微管去装配产生的拉力，另一种是极微管的聚合产生的推力。根据所使用的力，有丝分裂的后期可分为两个阶段：后期A和后期B（图1-4-4）。在后期A，染色体运动的力主要是由动粒微管的去装配产生

的，此时的染色体运动称为向极运动。在后期B，染色体运动的力主要是由极微管的聚合产生的，此时的运动称为染色体极分离运动。

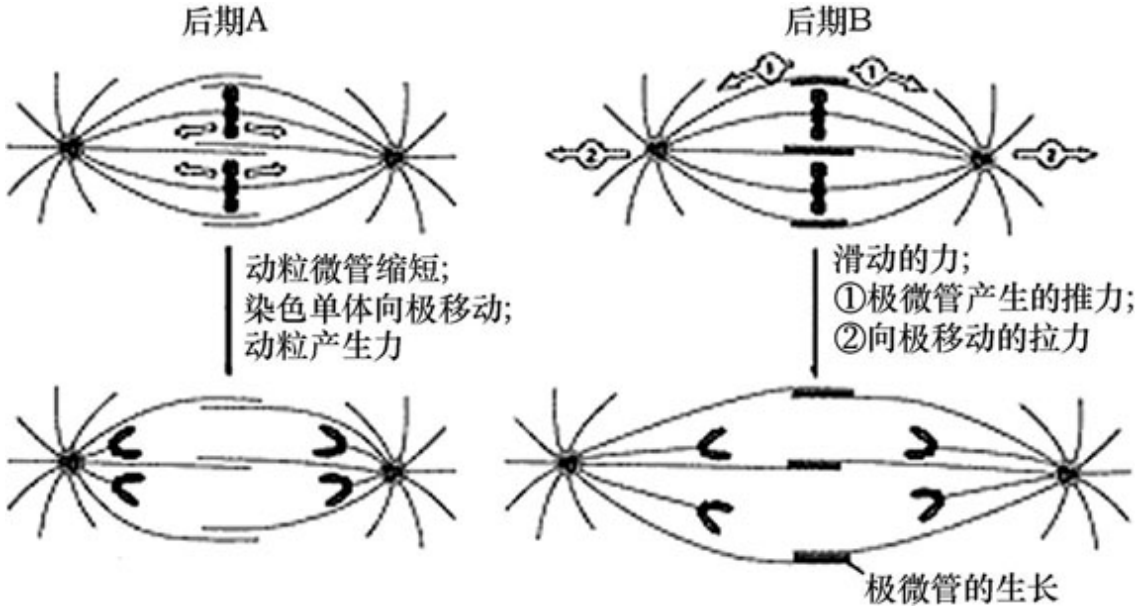


图1-4-4　后期染色体移动

（3）纺锤体微管运动机理

①后期A：微管去聚合作用假说

主要是用于解释后期A向极运动而提出的一种模型。这种模型可能的机理是：微管的正端插入动粒的外层，微管蛋白分子和动粒蛋白分子有亲和性，微管蛋白在此端可以组装和去组装。在动粒中，ATP分子水解可以提供能量，驱动微管上的动力蛋白马达分子向两极移动，结果是将染色体拉向两极（图1-4-5）。

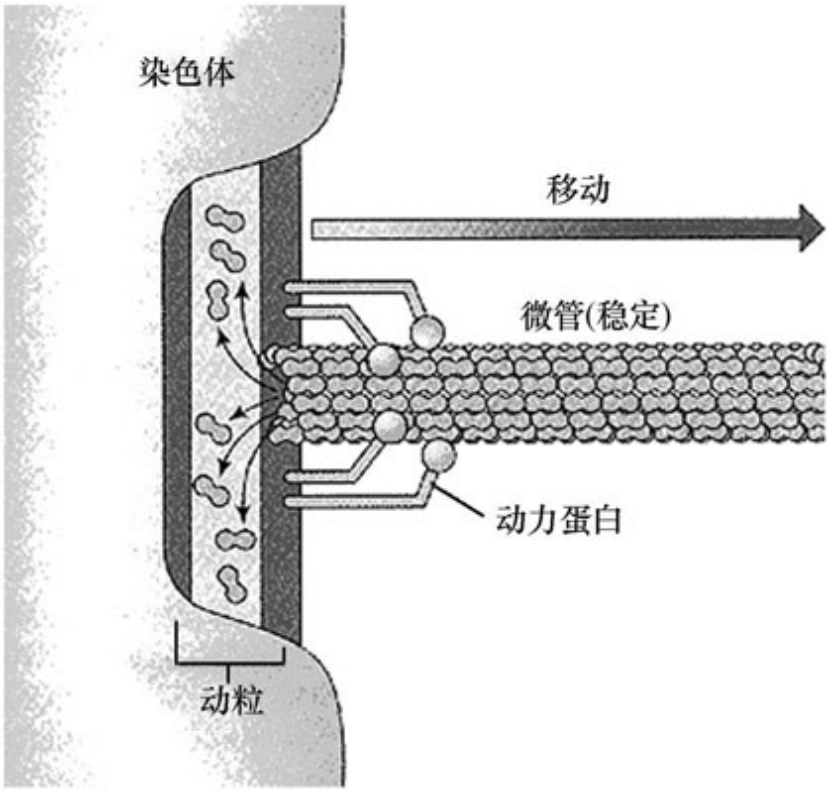


图1-4-5　微管去聚合作用假说

②纺锤体微管滑动假说

这一假说认为：极—极分离是由极微管的两种不同类型的变化引起的。第一，极微管在＋端添加微管二聚体进行聚合延长，使两极的极微管产生重叠的带。第二，极微管间产生滑动，形成将两极分开的力。电子显微镜观察到微管表面有突出的短丝伸到相邻的微管上，形成横桥，横桥上有较高的ATP酶活性，推测横桥是发电机蛋白，可在两极微管间产生滑动。由于两极微管＋端不断聚合，微管延长，重叠区保持不变，这样就不断将染色体推向两极（图1-4-6）。

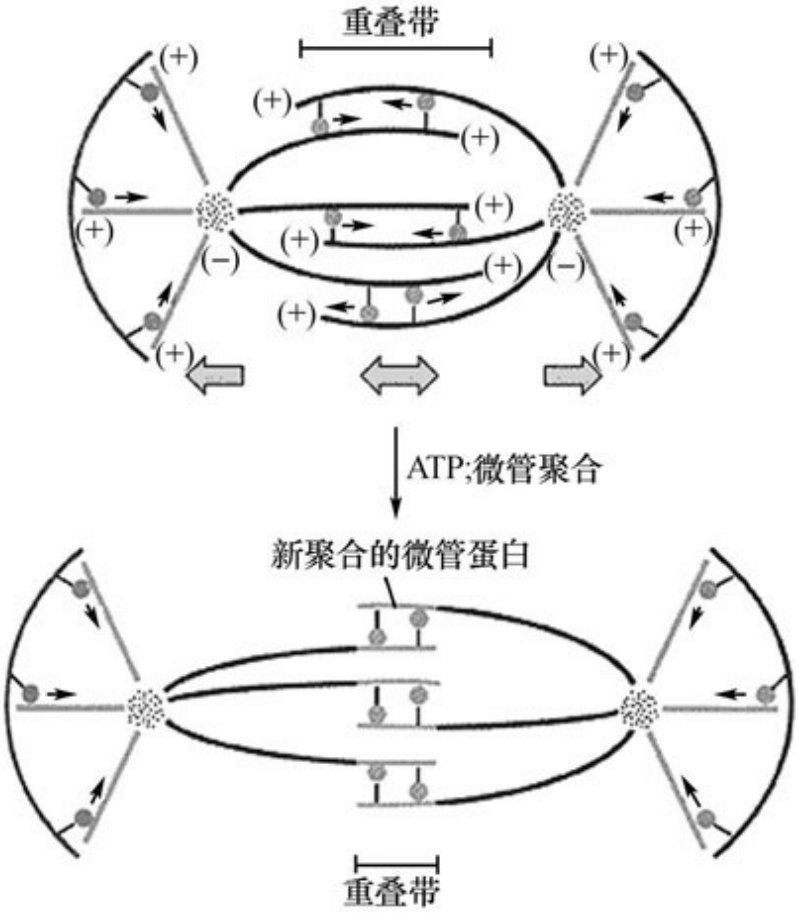


图1-4-6　微管滑动假说

（4）核的解体与重建机理

核解体：H_1组蛋白和核纤层蛋白的磷酸化导致染色体的凝集和核膜的解体，它们的磷酸化作用主要由激活的促成熟因子（MPF）催化的。

核重建：核重建是核解体的相反过程。后期末，子代染色体已经分成相等的两组，分别移到了纺锤体的两极。在有丝分裂的末期，前期核解体时形成的核被膜小泡此时又围绕染色体聚集和融合形成两个子代细胞核膜。在核被膜重建过程中，同样要重新构建核孔。此外，前期磷酸化的核纤层蛋白经去磷酸化后重新形成核纤层（图1-4-7）。

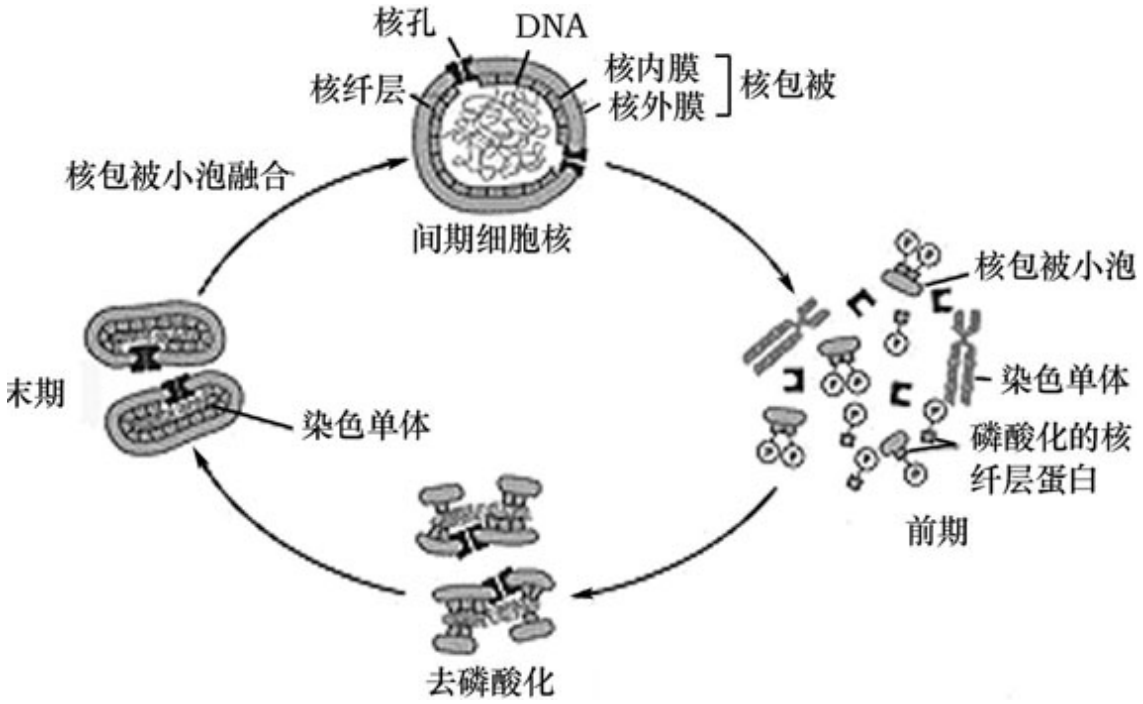


图1-4-7　核的解体与重建

（三）减数分裂（图1-4-8）

减数分裂是有性繁殖的生物为了形成单倍体配子，以便完成生殖过程而进行的一种分裂。完整的减数分裂经历两次连续的分裂过程，而只有一次染色体复制，所以使二倍体体细胞的染色体数目减半，形成单倍体生殖细胞。



图1-4-8　减数分裂图解

a、b、c阶段两单体间裂隙实际看不到，引出的圆圈内结构为局部结构的放大；b：箭头所指处配对在发展；d：可见四分体

1．减数分裂类型

①配子减数分裂，也叫终端减数分裂，其特点是减数分裂和配子的发生紧密联系在一起，在雄性脊椎动物中，一个精母细胞经过减数分裂形成4个精细胞，后者在经过一系列的变态发育，形成成熟的精子。在雌性脊椎动物中，一个卵母细胞经过减数分裂形成1个卵细胞和2～3个极体。

②孢子减数分裂，也叫中间减数分裂，见于植物和某些藻类。其特点是减数分裂和配子发生没有直接的关系，减数分裂的结果是形成单倍体的配子体（小孢子和大孢子）。小孢子再经过两次有次分裂形成包含一个营养核和两个雄配子（精子）的成熟花粉（雄配子体），大孢子经过三次有丝分裂形成胚囊（雌配子体），内含一个卵核、两个极核、3个反足细胞和两个助细胞。

③合子减数分裂，也叫初始减数分裂，仅见于真菌和某些原核生物，减数分裂发生于合子形成之后，形成单倍体的孢子，孢子通过有丝分裂产生新的单倍体后代。

此外某些生物还具有体细胞减数分裂现象，如在蚊子幼虫的肠道中，有一些由核内有丝分裂形成的多倍体细胞（可高达32X），在蛹期又通过减数分裂降低了染色体倍性，增加了细胞数目。

2．减数分裂的过程。

（1）减数分裂前间期

有丝分裂细胞在进入减数分裂之前要经过一个较长的间期，称前减数分裂间期。前减数分裂期也可分为G_1期、S期和G_2期（图1-4-4），在G_1期和S期把麝香百合的花粉每细胞在体外培养，则发现细胞进行有丝分裂，将G_2晚期的细胞在体外培养则向减数分裂进行，说明G_2期是有丝分裂向减数分裂转化的关键时期。和有丝分裂不同的是，DNA不仅在S期合成，而且也在前期合成一小部分。D. E. Wimber和W. Prensky（1963）认为偶线期—粗线期合成大约2%的DNA。Y. Hotta等人（1966）在百合属（Lilium）和延龄草属（Trillium）中发现，粗线期合成大约0.3%的DNA。这些合成的DNA称为偶线期DNA（zyg-DNA）或粗线期DNA（P-DNA），可能与联会复合体的形成有关。

（2）第一次减数分裂（减裂Ⅰ）

减数分裂的一些重要过程主要发生在第一次分裂中，整个过程复杂且持续时间长，包括前、中、后、末四个时期。

①前期Ⅰ

与有丝分裂相比，前期Ⅰ中染色体的变化要复杂得多，也进行得比较慢，因此人为地将它再分成了五个期：

细线期（凝集期）　染色体凝集。染色体已经进行了复制，一条染色体应由两条染色单体组成，但一般看不出两条染色单体，好像是单股的。细线的两端通过接触斑与核膜相连，核的体积逐渐增大。

偶线期（配对期）　同源染色体两两配对，即联会。在配对部位，沿两条同源染色体间长轴形成一特殊结构——联会复合体，包括侧生组分、中间区、中央组分三部分。

粗线期（重组期）　联会的两条同源染色体紧密结合，同源的非姊妹染色单体间发生局部交换，形成新的等位基因组合。此时每对配对的染色体中含有四条染色单体，称为四分体。粗线期持续的时间比细线期和偶线期要长得多。

双线期（合成期）　联会的同源染色体分离，但尚未完全分开，仍有若干处相连。这些相连点是染色体间发生互换的结果。染色体与核被膜脱离接触。此外双线期有旺盛的mRNA与rRNA的转录。

终变期（再凝集期）　染色体凝集成短棒状，核仁开始消失，核膜开始解体。四分体较均匀地分布在核中，同源染色体间依靠端部交叉相结合，姐妹染色体由着丝粒相连。终变期的完成标志着减数分裂前期的结束。

②中期Ⅰ

核膜破裂，纺锤体形成，配对的同源染色体（二价体）在纺锤丝的作用下，移到细胞的赤道面上。这时二价体因长短的不同和交叉数目的多少及有无而呈不同形态，比如环状、棒状、C字型、十字型等。

③后期Ⅰ

二价体中两条同源染色体分开，分别向两极移动。不同的同源染色体对分向两极时相互是独立的，这时来自父母双方的染色体随机组合。

④末期Ⅰ

染色体完全到达两极，核膜重建，核仁重新形成，接着进行胞质分裂，成为两个子细胞。

（3）减数分裂间期

在减裂Ⅰ和减裂Ⅱ之间有一个间期，时间很短，且并不进行DNA合成。有些生物甚至没有这个间期，而直接由末期Ⅰ直接转为前期Ⅱ。

（4）第二次减数分裂（减裂Ⅱ）

减裂Ⅱ也分为前、中、后、末四个时期。整个过程与有丝分裂基本相同。前期Ⅱ时间较短；中期Ⅱ染色体排列于赤道面；后期Ⅱ时两

条染色单体分开，移向两极；末期 II 时染色体解螺旋化，形成核膜，出现核仁经过胞质分裂，完成减数分裂过程。

在减数分裂过程完成之后，雄性动物形成4个精细胞，雌性动物形成一个卵细胞和3个极体细胞。精细胞和卵细胞均含有单倍体染色体，即其染色体数目为体细胞染色体数目的一半。

3．联会复合体

联会复合体（SC）是减数分裂偶线期两条同源染色体之间形成的一种结构，它与染色体的配对、交换和分离密切相关。SC是同源染色体间形成的梯子样的结构。在电镜下观察，两侧是约40nm的侧生组分，电子密度很高；两侧之间为宽约100nm的中间区，在电镜下是明亮区，中间区的中央为中央组分，宽约30nm。侧生组分与中央组分之间有横向排列的粗约7～10nm的SC纤维，使SC外观呈梯子状。长期以来人们认为SC将同源染色体组织在一起，使伸入SC的DNA之间产生重组，但实验证明不仅SC的形成晚于基因重组的启动，而且基因突变不能形成SC的酵母中，同源染色体间照样可以发生交换。现在一般认为它与同源染色体间交换的完成有关。在磷钨酸染色的SC中央，还可以看到呈圆形或椭圆形的重组节，RNs是同源染色体发生交叉的部位，RNs上有基因交换所需要的酶。从形态学来看，SC形成于偶线期，成熟于粗线期，并存在数天，消失于双线期。联会复合体的形成与偶线期DNA有关，在细线期或偶线期加入DNA合成抑制剂，则抑制SC的形成。

（四）细胞周期的调控

尽管目前对细胞周期调控的许多细节还不清楚，但可以肯定地认为细胞周期是受基因控制的，是基因有序表达的结果。各类细胞均按各自的基因表达进行细胞周期活动，为了能使细胞周期这一生命增殖过程有条不紊地进行，细胞内就有了一系列调控机制来对这一过程进行严格的监控。

1．检验点监控细胞周期的运行

检验点为细胞周期中的控制点。一旦通过这一点，不管外界条件如何，细胞都将完成周期的其他时期。这些特异的监控机制犹如交通路途中设立的检查站，随时检查过往的行人和车辆，因而，把这些监控机制称为检验点：这些特异的监控机制可以鉴别细胞周期进程中的错误，并诱导产生特异的抑制因子，阻止细胞周期的进一步运行。目前了解检验点不仅存在于G_1晚期，也存在于其他时期，如G_2期检验点、M期检验点等。

2．cdc基因有序表达调控着细胞周期的有序运转

cdc基因是指细胞分裂周期基因，主要编码与细胞增殖密切相关的一些蛋白质。当有丝分裂期细胞与间期细胞融合后，会使间期细胞产生形态各异的染色质提前凝集，称作染色体提前凝集（简称PCC）。这一现象表明，分裂期细胞中可能存在某种诱导染色质发生凝集的因子。在成熟卵母细胞、分裂期黏菌、酵母等中提取到了这种促使染色质凝集与细胞分裂的因子，称为促成熟因子（简称MPF）。MPF由调节亚单位和催化亚单位组成。调节亚单位是一类随细胞周期变化而周期性出现或消失的蛋白质，称为细胞周期蛋白（cyclin），它具有细胞周期特异性及细胞类型特异性。而催化亚单位是由cdc2基因编码的一类蛋白质，它只有与调节亚单位cyclin结合后，才具有蛋白激酶活性，促使细胞进入分裂期。

3．cAMP与细胞周期的关系

一些生长因子、激素等蛋白质或多肽物质与膜上特异受体结合，激活细胞膜上腺苷酸环化酶，使ATP转变为cAMP，通过cAMP和cGMP等第二信使，启动细胞内一系列生理生化反应，对细胞的代谢起调节作用。cAMP水平随细胞周期不同出现周期性变化，分裂期时，cAMP水平显著降低；有丝分裂后，cAMP的水平立即又增加。大量的实验证明，cAMP具有抑制细胞增殖，促进细胞分化的作用，而cGMP的作用与cAMP的作用是相互拮抗的，从而调节控制细胞的增殖、分化、代谢。

4．癌基因和抑癌基因参与细胞周期的调控

癌基因是控制细胞生长和分裂的正常基因的一种突变形式。由于碱基序列的突变导致所编码的蛋白产物超活化或失去控制，引起正常细胞无限增殖最终导致肿瘤形成。而抑癌基因实际是正常细胞增殖过程中的负调控因子，它编码的蛋白质往往在细胞周期的检验点上起阻止周期进程的作用。如果抑癌基因突变，丧失其细胞增殖的负调控作用，则导致细胞周期失调而过度增殖。因此，在细胞增殖调控中，大多数原癌基因是促进和发挥正调控作用，而抑癌基因是与其相反的抑制与负调控作用。癌基因和抑癌基因所编码的蛋白质，对正常细胞的生长、分化是极为重要的，只有通过细胞增殖相关基因和抑制细胞增殖相关基因的协同作用，才能共同调控细胞的正常增殖进程。一旦这种调控作用失去控制，就会导致细胞周期紊乱。

除上述各种调控细胞周期的因素外，还有不少其他因素参与细胞周期调控过程，如环境中的许多信息都是通过细胞内信号系统的传递而调节细胞的增殖。因此，信号系统也参与了细胞增殖的调节。

二、细胞分化

（一）细胞分化的概念

简单地说，细胞分化是个体发育过程中细胞之间产生稳定差异的过程。所以，细胞分化是指同源细胞通过分裂，发生形态、结构与功能特征稳定差异的过程。

（二）细胞分化的实质

1．细胞分化是基因选择性表达的结果

在个体发育过程中基因按照一定程序相继活化的现象，称为基因的差次表达或顺序表达。即在同一时间内不是所有的基因都具活性，而是有的有活性，有的无活性，有些细胞是这部分基因有活性，有些细胞则是另外一些基因有活性。

2．管家基因和奢侈基因

管家基因是维持细胞最基本生命活动的基因，是所有一切细胞都需具备的，由此译制基本生命活动所必需的结构和功能蛋白，它们与细胞分化关系不大。如编码与细胞分裂、能量代谢、细胞基本建成有关的蛋白质的基因属此类。奢侈基因是译制特异蛋白质的基因，与细胞的基本生存无直接关系，但与细胞分化关系密切。

（三）影响细胞分化的因素

调控蛋白的组合启动组织特异性基因的选择性表达是影响细胞分化的主要的直接原因。一般来说，这种影响主要受胞外信号系统的调控，而胞外信号甚至细胞微环境的调控又是通过细胞自身的因素如胞内因素、细胞位置等起作用的。

1．胞内因素的作用

（1）细胞质在细胞分化中的决定作用　受精卵卵裂过程的每次分裂，核物质都均匀地分配到子细胞中，但由于受精卵细胞质中物质的分布是不均匀的，因此胞质分裂时，细胞质物质在各子细胞的不均等分配在一定程度上决定了细胞的早期分化。有人将培养的爪蟾肾细胞核注入蝾螈的卵母细胞内，分析蛋白质的合成情况，发现原来肾细胞中表达的基因此时不表达了，而原来不表达的基因这时却被激活了。另外，羊的乳腺细胞的全能性是很不容易表达的，但将乳腺细胞的核移植到去核的卵细胞中，却培养出克隆羊“多利”来了。可见，细胞质中含有某些物质，对基因的表达有调节作用。

（2）细胞核在细胞分化中的作用　细胞核是真核细胞遗传信息的贮存场所，控制着细胞的遗传和代谢活动，细胞分化的方向终究还是由细胞核中的遗传物质所控制的。在细胞分化过程中，细胞核控制着

细胞质的生理代谢活动，而细胞质对细胞核的组织特异性基因的选择性表达又具调节作用。

此外，有些生物的细胞分化还与染色质变化、基因重排有密切关系。100多年前人们就发现仅有1对或2对染色体的马蛔虫在卵裂过程中，染色体出现了消减现象；追踪到32个细胞的分裂球阶段，发现除一个细胞保留正常的染色体外（将分化成生殖细胞），其余将分化成体细胞的31个细胞中都出现了染色体的丢失。抗体是由浆细胞分泌的，在B淋巴细胞分化成浆细胞的过程中，B淋巴细胞中的DNA经过了基因片段的断裂丢失或重排的复杂变化。

2．胞外因素的作用

（1）细胞间相互作用与位置效应　细胞对邻近细胞的形态发生（即分化）产生影响，并决定其分化方向的作用称为胚胎诱导。在胚胎研究中已经发现，胚胎诱导在胚胎发育过程中对细胞分化和器官建成有重要的影响。例如，将鸡胚的腿部真皮（来源于中胚层）分离并移植到足部的表皮下面，结果足的这块表皮产生出腿部的羽毛而不是产生鳞片。现在发现，成体内也存在类似于胚胎诱导的现象。

细胞所处的位置不同对细胞分化的命运也有影响。实验证明，改变细胞所处的位置可导致细胞分化方向的改变，这种现象称位置效应。例如，发育3、4天的鸡胚，将腿芽移植到切去翅芽的部位，结果这个腿芽发育成的是翅而不是腿，这表明腿芽细胞在鸡胚发育的前4天就已经接受了位置信息的指令。

（2）细胞信号分子对细胞分化的影响　组合调控的过程主要受细胞信号转导系统的调控。信号分子可归为两大类：激素类和旁泌素。在多细胞个体发育过程中，激素作用于靶细胞，从而引发和促进靶细胞按预定分化程度进行分化。譬如，雄性激素能促进雄性生殖器官的发育和精子的产生，能激发并维持雄性第二性征。旁泌素又称细胞生长分化因子，其特点是细胞分泌的信号分子只作用于周围的细胞，因此称为旁泌素，其作用机理目前尚不清楚。如上面所述的鸡胚腿部真皮细胞就能产生一种旁泌素影响表皮的发育。

（3）环境温度、日照等因素对性别分化的影响

胞外因素对细胞分化可产生影响，并进而影响到生物的个体发育。但是，这些影响因素又都是通过细胞自身的遗传机构发挥作用的。因此说，个体发育中的细胞分化的基础是建立在细胞的内部，而外部因素只是条件。

一般情况下，细胞分化不涉及染色质DNA的改变，但在100多年前就有人发现马蛔虫在卵裂过程中，体细胞中的染色体都出现部分丢

失，没有染色体丢失的细胞将发育成生殖细胞。

三、细胞的衰老

细胞衰老的研究只是整个衰老生物学（老年学，人类学）研究中的一部分。所谓衰老生物学是研究生物衰老的现象、过程和规律。其任务是要揭示生物（人类）衰老的特征，探索发生衰老的原因和机理，寻找推迟衰老的方法，根本目的在于延长生物（人类）的寿命。

（一）早期的细胞衰老研究

100年前，魏斯曼曾提出种质不死而体质会衰老和死亡的学说，后来，Carrel和Ebeling认为细胞本身不会衰老，衰老是由于环境的影响造成的。特别是20世纪40—50年代，由于L系小鼠细胞和Hela细胞系的建立，又使细胞不死性的观点更加巩固。直到60年代初，Hayflick等人的出色工作才对细胞不死的观点彻底改变。

（二）Hayflick界限

Hayflick通过对不同生物的胚成纤维细胞的体外培养，发现物种寿命和培养细胞寿命之间存在着确切的相互关系。

Hayflick巧妙的设计实验，进一步证明了决定细胞衰老的因素在细胞内部，而不是外部环境。取老年男性个体的细胞（间期无巴氏小体）和年轻女性个体的细胞（间期有巴氏小体）进行单独或混合培养，并统计其倍增次数。结果发现，混合培养中的两类细胞的倍增次数与各自单独培养时相同，即在同一培养液，当年轻细胞旺盛增殖的同时，年老细胞就停止生长了；年轻细胞的胞质体与年老的完整细胞融合时，得到的杂种细胞不能分裂；年老细胞的胞质体与年轻的完整细胞融合时，杂种细胞的分裂能力几乎与年轻细胞相同。这充分说明决定细胞的衰老是细胞核，而不是细胞质；体外培养的细胞，不是不死的，而是有一定寿命的，它们的增殖能力不是无限的，而是有一定的界限，即Hayflick界限。这引出了细胞最高分裂次数的问题。

（三）细胞在体内条件下的衰老

在机体内，细胞的衰老和死亡是常见的现象，甚至在个体发育的早期也会发生；正常情况下终生保持分裂的细胞，其分裂能力也表现出随着有机体年龄的增高而下降；衰老动物体内，细胞分裂速度显著减慢，其原因主要是G_1期明显延长；衰老个体内的环境因素影响了细胞的增殖和衰老；骨髓干细胞移植实验说明随着年龄的增加，干细胞增殖速度也趋缓慢。

（四）细胞衰老的特征

1．形态变化

衰老细胞的形态变化主要表现在细胞皱缩，膜通透性、脆性增加，核膜内折，细胞器数量特别是线粒体数量减少，胞内出现脂褐素等异常物质沉积，最终出现细胞凋亡或坏死。总体来说老化细胞的各种结构呈退行性变化（表1-4-1）。

表1-4-1　衰老细胞的形态特征

核	增大、染色深、核内有包含物
染色质	凝聚、固缩、碎裂、溶解
质膜	黏度增加、流动性降低
细胞质	色素积聚、空泡形成
线粒体	数目减少、体积增大、mtDNA 突变或丢失
高尔基体	碎裂
尼氏体	消失
包含物	糖元减少、脂肪积聚
核膜	内陷

2．分子水平的变化

衰老细胞会出现脂类、蛋白质和DNA等细胞成分损伤，细胞代谢能力降低，主要表现在以下方面。

（1）DNA：复制与转录受到抑制，但也有个别基因会异常激活，端粒DNA丢失，线粒体DNA特异性缺失，DNA氧化、断裂、缺失和交联，甲基化程度降低。

（2）RNA：mRNA和tRNA含量降低。

（3）蛋白质：含成下降，细胞内蛋白质发生糖基化、氨甲酰化、脱氨基等修饰反应，导致蛋白质稳定性、抗原性、可消化性下降，自由基使蛋白质肽断裂，交联而变性。氨基酸由左旋变为右旋。

（4）酶分子：活性中心被氧化，金属离子Ca^{2+}、Zn^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}等丢失，酶分子的二级结构，溶解度，等电点发生改变，总的效应是酶失活。

（5）脂类：不饱和脂肪酸被氧化，引起膜脂之间或与脂蛋白之间交联，膜的流动性降低。

（五）细胞衰老的机理

关于衰老的机理具有许多不同的学说，概括起来主要有差错学派和遗传学派两大类，前者强调衰老是由于细胞中的各种错误积累引起的，后者强调衰老是遗传决定的自然演进过程。其实，现在看来两者是相互统一的。

1．差错学派

差错学派认为细胞衰老是各种细胞成分在受到内外环境的损伤作用后，因缺乏完善的修复，使“差错”积累，导致细胞衰老。根据对导致“差错”的主要因子和主导因子的认识不同，可分为不同的学说，这些学说各有实验证据。

（1）代谢废物积累

细胞代谢产物积累至一定量后会危害细胞，引起衰老，哺乳动物脂褐质的沉积是一个典型的例子。脂褐质是一些长寿命的蛋白质和DNA、脂类共价缩合形成的巨交联物，次级溶酶体是形成脂褐质的场所，由于脂褐质结构致密，不能被彻底水解，又不能排出细胞，结果在细胞内沉积增多，阻碍细胞的物质交流和信号传递，最后导致细胞衰老，如老年性痴呆（AD）就是由β-淀粉样蛋白沉积引起的，因此β-AP可作为AD的鉴定指标。

（2）大分子交联

过量的大分子交联是衰老的一个主要因素，如DNA交联和胶原胶联均可损害其功能，引起衰老。在临床方面胶原交联和动脉硬化、微血管病变有密切关系。

（3）自由基学说

自由基是一类瞬时形成的含不成对电子的原子或功能基团，普遍存在于生物系统。主要包括：氧自由基（如羟自由基·OH）、氢自由基（·H）、碳自由基、脂自由基等，其中·OH的化学性质最活泼。人体内自由基的产生有两方面：一是环境中的高温、辐射、光解、化学物质等引起的外源性自由基；二是体内各种代谢反应产生的内源性自由基。内源性自由基是人体自由基的主要来源，其产生的主要途径有：①由线粒体呼吸链电子泄漏产生；②由经过氧化物酶体的多功能氧化酶（MFO）等催化底物羟化产生。此外，机体血红蛋白、肌红蛋白中还可通过非酶促反应产生自由基。

自由基含有未配对电子，具有高度反应活性，可引发链式自由基反应，引起DNA、蛋白质和脂类，尤其是多不饱和脂肪酸等大分子物质变性和交联，损伤DNA、生物膜、重要的结构蛋白和功能蛋白，从而引起衰老各种现象的发生。实验表明DNA中OH8dG随着年龄的增加

而增加。OH8dG完全失去碱基配对特异性，不仅OH8dG被错读，与之相邻的胞嘧啶也被错误复制。

正常细胞内存在清除自由基的防御系统，包括酶系统和非酶系统，前者如超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-PX），后者如维生素E、醌类物质等电子受体。Orr WC和Sohal RS（1994）将铜锌超氧化物歧化酶基因导入果蝇，使转基因株具有3个拷贝的SOD基因，其寿命比野生型延长1/3。这个实验为衰老的自由基学说提供了有力的证据。

（4）线粒体DNA突变

在线粒体氧化磷酸化生成ATP的过程中，大约有1%～4%氧转化为氧自由基，也叫活性氧，因此线粒体是自由基浓度最高的细胞器。mtDNA裸露于基质，缺乏结合蛋白的保护，最易受自由基伤害，而催化mtDNA复制的DNA聚合酶γ不具有校正功能，复制错误频率高，同时缺乏有效的修复酶，故mtDNA最容易发生突变。mtDNA突变使呼吸链功能受损，进一步引起自由基堆积，如此反复循环。衰老个体细胞中mtDNA缺失表现明显，并随着年龄的增加而增加，许多研究认为mtDNA缺失与衰老及伴随的老年衰退性疾病有密切关系。

（5）体细胞突变与DNA修复

外源的理化因子，内源的自由基均可损伤DNA，导致体细胞突变。如辐射可以导致年轻的哺乳动物出现衰老的症状，这与个体正常衰老非常相似。正常机体内存在DNA的修复机制，可使损伤的DNA得到修复，但是随着年龄的增加，这种修复能力下降，导致DNA的错误累积，最终细胞衰老死亡。DNA的修复并不均一，转录活跃基因被优先修复，而在同一基因中转录区被优先修复，而彻底的修复仅发生在细胞分裂的DNA复制时期，这就是干细胞能永葆青春的原因。

（6）重复基因失活

真核生物基因组DNA重复序列不仅增加基因信息量，而且也是使基因信息免遭机遇性分子损害的一种方式。主要基因的选择性重复是基因组的保护性机制，也可能是决定细胞衰老速度的一个因素，重复基因的一个拷贝受损或选择关闭后，其他拷贝被激活，直到最后一份拷贝用完，细胞因缺少某种重要产物而衰亡。实验证明小鼠肝细胞重复基因的转录灵敏度随年龄而逐渐降低，哺乳动物rRNA基因数随年龄而减少。

2．遗传学派

遗传学派认为衰老是遗传决定的自然演进过程，一切细胞均有内在的预定程序决定其寿命，而细胞寿命又决定种属寿命的差异，外部

因素只能使细胞寿命在限定范围内变动。

（1）程序性衰老

程序性衰老理论认为，生物的生长、发育、衰老和死亡都是由基因程序控制的，衰老实际上是某些基因依次开启或关闭的结果。例如在小鼠肝中，胚胎早期表达的胞质丙氨酸转氨酶为A型，随后停止表达，但是在衰老时则表达B型cAAT，其他类似的衰老标志物如肝脏中的衰老标志蛋白2也是在老年期表达。此外程序性学派还认为衰老还与神经内分泌系统退行性变化以及免疫系统的程序性衰老有关。

（2）复制性衰老

Hayflick（1961）认为，人的成纤维细胞在体外培养时增殖次数是有限的。后来许多实验证明，正常的动物细胞无论是在体内生长还是在体外培养，其分裂次数总存在一个“极限值”，此值被称为“Hayflick”极限，亦称最大分裂次数。如人胚成纤维细胞在体外培养时只能增殖60～70代。

细胞增殖次数与端粒DNA长度有关。Harley等（1991）发现体细胞染色体的端粒DNA会随细胞分裂次数增加而不断缩短。细胞DNA每复制一次端粒就缩短一段，当缩短到一定程度至Hayflick点时，可能会启动DNA损伤检测点，激活p53，引起p21表达，导致不可逆地退出细胞周期，走向衰亡。资料表明人的成纤维细胞端粒每年缩短14～18bp，可见染色体的端粒有细胞分裂计数器的功能，能记忆细胞分裂的次数。端粒的长度还与端粒酶的活性有关，端粒酶是一种反转录酶，能以自身的RNA为模板合成端粒DNA，在精原细胞、干细胞和肿瘤细胞（如Hela细胞）中有较高的端粒酶活性，而正常体细胞中端粒酶的活性很低，呈抑制状态。

（3）长寿基因

统计学资料表明，子女的寿命与双亲的寿命有关，各种动物都有相当恒定的平均寿命和最高寿命，成人早衰症病人平均39岁时出现衰老，47岁左右生命结束，患婴幼儿早衰症小孩在1岁时出现明显的衰老，12～18岁即过早夭折。由此来看物种的寿命主要取决于遗传物质，DNA链上可能存在一些“长寿基因”或“衰老基因”来决定个体的寿限。

四、细胞坏死与凋亡

死亡是生命的普遍现象，但细胞死亡并非与机体死亡同步。正常的组织中，经常发生“正常”的细胞死亡，它是维持组织机能和形态

所必需的。细胞死亡的方式通常有3种：细胞坏死、细胞凋亡、细胞程序性死亡（PCD）。

（一）细胞坏死

细胞坏死是细胞受到化学因素（如强酸、强碱、有毒物质）、物理因素（如热、辐射）和生物因素（如病原体）等环境因素的伤害，引起细胞死亡的现象。坏死细胞的形态改变主要是由下列2种病理过程引起的，即酶性消化和蛋白变性。参与此过程的酶，如来源于死亡细胞本身的溶酶体，则称为细胞自溶；若来源于浸润坏死组织内白细胞溶酶体，则为异溶。

细胞坏死初期，胞质内线粒体和内质网肿胀、崩解，结构脂滴游离、空泡化，蛋白质颗粒增多，核发生固缩或断裂。随着胞质内蛋白变性、凝固或碎裂，以及嗜碱性核蛋白的降解，细胞质呈现强嗜酸性，故坏死组织或细胞在苏木精/伊红染色切片中，胞质呈均一的深伊红色，原有的微细结构消失。在含水量高的细胞，可因胞质内水泡不断增大，并发生溶解，导致细胞结构完全消失，最后细胞膜和细胞器破裂，DNA降解，细胞内容物流出，引起周围组织炎症反应。

（二）细胞凋亡

细胞凋亡是借用古希腊语，表示细胞像秋天的树叶一样凋落的死亡方式。1972年Kerr最先提出这一概念，他发现结扎大鼠肝的左、中叶门静脉后，其周围细胞发生缺血性坏死，但由肝动脉供应区的实质细胞仍存活，只是范围逐渐缩小，其间一些细胞不断转变成细胞质小块，不伴有炎症，后在正常鼠肝中也偶然见到这一现象。

凋亡细胞的主要特征是：①染色质聚集、分块、位于核膜上，胞质凝缩，最后核断裂，细胞通过出芽的方式形成许多凋亡小体；②凋亡小体内有结构完整的细胞器，还有凝缩的染色体，可被邻近细胞吞噬消化，因始终有膜封闭，没有内容物释放，故不会引起炎症；③凋亡细胞中仍需要合成一些蛋白质，但是在坏死细胞中ATP和蛋白质合成受阻或终止；④核酸内切酶活化，导致染色质DNA在核小体连接部位断裂，形成约200bp整数倍的核酸片段，凝胶电泳图谱呈梯状；⑤凋亡通常是生理性变化，而细胞坏死是病理性变化。

细胞坏死与细胞凋亡的区别如表1-4-2所示：

表1-4-2　细胞凋亡和细胞坏死的区别

区别点	细胞凋亡	细胞坏死
起因	生理或病理性	病理性变化或剧烈损伤
范围	单个散在细胞	大片组织或成群细胞
细胞膜	保持完整，一直到形成凋亡小体	破损
染色质	凝聚在核膜下呈半月状	呈絮状
细胞器	无明显变化	肿胀、内质网崩解
细胞体积	固缩变小	肿胀变大
凋亡小体	有，被邻近细胞或巨噬细胞吞噬	无，细胞自溶，残余碎片被巨噬细胞吞噬
基因组 DNA	有控降解，电泳图谱呈梯状	随机降解，电泳图谱呈涂抹状
蛋白质合成	有	无
调节过程	受基因调控	被动进行
炎症反应	无，不释放细胞内容物	有，释放内容物。

在细胞凋亡一词出现之前，胚胎学家已观察到动物发育过程中存在着细胞程序性死亡（PCD）现象，它是胚胎正常发育所必需的。近年来PCD和细胞凋亡常被作为同义词使用，但两者实质上是有差异的。首先，PCD是一个功能性概念，描述在一个多细胞生物体中，某些细胞的死亡是个体发育中一个预定的，并受到严格控制的正常组成部分，而凋亡是一个形态学概念，指与细胞坏死不同的受到基因控制的细胞死亡形式；其次，PCD的最终结果是细胞凋亡，但细胞凋亡并非都是程序化的。

五、癌变

肿瘤是一种基因病，但并非是遗传的，它是指细胞在致瘤因素作用下，基因发生了改变，失去对其生长的正常调控，导致异常增生。肿瘤可分为良性和恶性两大类。前者生长缓慢，与周围组织界限清楚，不发生转移，对人体健康危害不大；后者生长迅速，可转移到身体其他部位，还会产生有害物质，破坏正常器官结构，使机体功能失调，威胁生命。恶性肿瘤也叫癌症，是目前危害人类健康最严重的一类疾病。

（一）癌细胞的主要特征

癌细胞有三个显著的基本特征：即不死性、迁移性和失去接触抑制。除此之外，癌细胞还有许多不同于正常细胞的生理、生化和形态特征。

1．癌细胞的形态特征

（1）癌细胞大小形态不一，通常比它的源细胞体积要大，核质比显著高于正常细胞，可达1：1，正常的分化细胞核质比仅为1：（4～6）。

（2）核形态不一，并可出现巨核、双核或多核现象。核内染色体呈非整倍态，某些染色体缺失，而有些染色体数目增加。正常细胞染色体的不正常变化，会启动细胞凋亡过程，但是癌细胞中，细胞凋亡相关的信号通路产生障碍，也就是说癌细胞具有不死性。

（3）线粒体表现为不同的多型性、肿胀、增生，如嗜酸性细胞腺瘤中肥大的线粒体紧挤在细胞内，肝癌细胞中出现巨线粒体。

（4）细胞骨架紊乱，某些成分减少，骨架组装不正常。细胞表面特征改变，产生肿瘤相关抗原。

2．癌细胞的生理特征

（1）细胞周期失控，就像寄生在细胞内的微生物，不受正常生长调控系统的控制，能持续地分裂与增殖。

（2）具有迁移性，细胞黏着和连接相关的成分（如ECM、CAM）发生变异或缺失，相关信号通路受阻，细胞失去与细胞间和细胞外基质间的联结，易于从肿瘤上脱落。许多癌细胞具有变形运动能力，并且能产生酶类，使血管基底层和结缔组织穿孔，使它向其他组织迁移。

（3）接触抑制丧失，正常细胞在体外培养时表现为贴壁生长和汇合成单层后停止生长的特点，即接触抑制现象，而肿瘤细胞即使堆积成群，仍然可以生长。

（4）定着依赖性丧失，正常真核细胞，除成熟血细胞外，大多须黏附于特定的细胞外基质上才能抑制凋亡而存活，称为定着依赖性。肿瘤细胞失去定着依赖性，可以在琼脂、甲基纤维素等支撑物上生长。

（5）去分化现象，已知肿瘤细胞中表达的胎儿同工酶达20余种。胎儿甲种球蛋白（甲胎蛋白）是胎儿所特有的，但在肝癌细胞中表达，因此可做肝癌早期检定的标志特征。

（6）对生长因子需要量降低，体外培养的癌细胞对生长因子的需要量显著低于正常细胞，是因为自分泌或其细胞增殖的信号途径不依赖于生长因素。某些固体瘤细胞还能释放血管生成因子，促进血管向肿瘤生长，获取大量繁殖所需的营养物质。

（7）代谢旺盛，肿瘤组织的DNA和RNA聚合酶活性均高于正常组织，核酸分解过程明显降低，DNA和RNA的含量均明显增高。

（8）蛋白质合成及分解代谢都增强，但合成代谢超过分解代谢，甚至可夺取正常组织的蛋白质分解产物，结果可使机体处于严重消耗的恶病质状态。

（9）线粒体功能障碍，即使在氧供应充分的条件下也主要是通过糖酵解途径获取能量。与三个糖酵解关键酶（己糖激酶、磷酸果糖激酶和丙酮酸激酶）活性增加和同工酶谱的改变，以及糖元异生关键酶活性降低有关。

（10）可移植性，正常细胞移植到宿主体内后，由于免疫反应而被排斥，多不易存活。但是肿瘤细胞具有可移植性，如人的肿瘤细胞可移植到鼠类体内，形成移植瘤。

（二）癌症形成的内因

恶性肿瘤的形成往往涉及多个基因的改变，与原癌基因、抑癌基因突变的逐渐积累有关。

1．原癌基因

原癌基因是细胞内与细胞增殖相关的基因，是维持机体正常生命活动所必需的，在进化上高等保守。当原癌基因的结构或调控区发生变异，基因产物增多或活性增强时，使细胞过度增殖，从而形成肿瘤。原癌基因的产物主要包括：①生长因子，如sis；②生长因子受体，如fms、erbB；③蛋白激酶及其他信号转导组分，如src、ras、raf；④细胞周期蛋白，如bcl-1；⑤细胞凋亡调控因子，如bcl-2；⑥转录因子，如myc、fos、jun。

原癌基因的激活方式多种多样，但概括起来无非是基因本身或其调控区发生了变异，导致基因的过度表达，或产物蛋白活性增强，使细胞过度增殖，形成癌症。如在肝癌中cyclin A过度表达，在乳腺癌中常有cyclinA、B、D1、E等过度表达。

（1）点突变：ras基因家族，均以点突变为主，如膀胱癌细胞中克隆出来的c-Ha-ras基因与正常细胞的相比仅有一个核苷酸的差异。

（2）DNA重排：原癌基因在正常情况下表达水平较低，但当发生染色体的易位或倒位时，处于活跃转录基因强启动子的下游，而产生过度表达。如Burkitt淋巴瘤细胞的染色体易位，使c-myc与IG重链基因的调控区为邻，由于免疫球蛋白重链基因表达十分活跃，其启动子为强启动子，且在CH-VH之间还有增强子区，致使c-myc过度表达。再如在良性甲状旁腺肿瘤患者的染色体中，cyclin D1基因倒位处于甲状旁腺素基因启动子下游而过度表达，使细胞出现异常增殖。染色体易位的主要原因是人类染色体存在着脆性位点，而染色体重排的断裂热

点多位于脆性位点。恶性肿瘤的染色体重排是获得性的体细胞变化，而不是发生在生殖细胞内的变化。

（3）插入激活：某些不含v-onc的弱转化逆转录病毒，其前病毒DNA插入宿主DNA中，引起插入突变。如逆转录病毒MoSV感染鼠类成纤维细胞后，病毒两端各有一个相同的冗长末端重复序列（LTR），它们不编码蛋白质，而含有启动子、增强子等调控成分，病毒基因组的LTR整合到细胞癌基因c-mos邻近处，使c-mos处于LTR的强启动子和增强子作用之下而被激活，导致成纤维细胞转化为肉瘤细胞。再如鸟类白血病病毒ALV不含v-onc，但插入c-myc的上游，导致基因过度表达。

（4）基因扩增：在某些造血系统恶性肿瘤中，癌基因扩增是一个极常见的特征，如前髓细胞性白血病细胞系和这类病人的白血病细胞中，c-myc扩增8～32倍。

2．抑癌基因

抑癌基因也称为抗癌基因。早在20世纪60年代，有人将癌细胞与同种正常成纤维细胞融合，所获杂种细胞的后代只要保留某些正常亲本染色体时就可表现为正常表型，但是随着染色体的丢失又可重新出现恶变细胞。这一现象表明，正常染色体内可能存在某些抑制肿瘤发生的基因，它们的丢失、突变或失去功能，使激活的癌基因发挥作用而致癌。

抑癌基因的产物是抑制细胞增殖，促进细胞分化，和抑制细胞迁移，因此起负调控作用，通常认为抑癌基因的突变是隐性的。

抑癌基因的产物主要包括：①转录调节因子，如Rb、p53；②负调控转录因子，如WT；③周期蛋白依赖性激酶抑制因子（CKI），如p15、p16、p21；④信号通路的抑制因子，如ras GTP酶活化蛋白（NF-1），磷脂酶（PTEN）；⑥DNA修复因子，如BRCA1、BRCA2。⑥与发育和干细胞增殖相关的信号途径组分，如APC、Axin等。

抑癌基因失活的途径：①等位基因隐性作用。失活的抑癌基因的等位基因在细胞中起隐性作用，即一个拷贝失活，另一个拷贝仍以野生型存在，细胞呈正常表型。只有当另一个拷贝失活后才导致肿瘤发生，如Rb基因。②抑癌基因的显性负作用。抑癌基因突变的拷贝在另一野生型拷贝存在并表达的情况下，仍可使细胞出现恶性表型和癌变，并使野生型拷贝功能失活。这种作用称为显性负作用或反显性作用。如近年来证实突变型p53和APC蛋白分别能与野生型蛋白结合而使其失活，进而转化细胞。③单倍体不足假说。某些抗癌基因的表达水

平十分重要，如果一个拷贝失活，另一个拷贝就可能不足以维持正常的细胞功能，从而导致肿瘤发生。如DCC基因一个拷贝缺失就可能使细胞膜黏附功能明显降低，进而丧失细胞接触抑制，使细胞克隆扩展或呈恶性表型。

（三）肿瘤形成的外因

人类肿瘤约80%是由于与外界致癌物质接触而引起的，根据致癌物的性质可将其分为化学、生物和物理致癌物三大类。

1．化学致癌物

按化学结构可分为：①亚硝胺类，这是一类致癌性较强，能引起动物多种癌症的化学致癌物质。在变质的蔬菜及食品中含量较高，能引起消化系统、肾脏等多种器官的肿瘤；②多环芳香烃类，这类致癌物以苯并芘为代表，将它涂抹在动物皮肤上，可引起皮肤癌，皮下注射则可诱发肉瘤。这类物质广泛存在于沥青、汽车废气、煤烟、香烟及熏制食品中；③芳香胺类，如乙萘胺、联苯胺、4-氨基联苯等，可诱发泌尿系统的癌症；④烷化剂类，如芥子气、环磷酰胺等，可引起白血病、肺癌、乳腺癌等；⑤氨基偶氮类，如将二甲基氨基偶氮苯（即奶油黄，可将人工奶油染成黄色的染料）掺入饲料中长期喂养大白鼠，可引起肝癌；⑥碱基类似物，如5-溴尿嘧啶、5-氟尿嘧啶、2-氨基腺嘌呤等，由于其结构与正常的碱基相似，进入细胞能替代正常的碱基掺入到DNA链中而干扰DNA复制合成；⑦氯乙烯，目前应用最广的一种塑料聚氯乙烯，由氯乙烯单体聚合而成。大鼠长期吸入氯乙烯气体后，可诱发肺、皮肤及骨等处的肿瘤。通过塑料工厂工人流行病学调查已证实氯乙烯能引起肝血管肉瘤，潜伏期一般在15年以上；⑧某些金属，如铬、镍、砷等也可致癌。

2．生物性致癌因素

生物性致癌因素包括病毒、细菌、毒菌等，其中以病毒与人体肿瘤的关系最为重要，研究也最深入。

（1）肿瘤病毒

与人类肿瘤发生关系密切的有四类病毒：①逆转录病毒（如T细胞淋巴瘤病毒，HTLV-I）；②乙型肝炎病毒（HBV）；③乳头状瘤病毒（HPV）；④Epstein-Bars病毒（EBV），后三类都是DNA病毒。

（2）霉菌与肿瘤发生

目前已知有数十种霉菌毒素对动物有致癌性。但除黄曲霉毒素外，对其他的研究都较少。黄曲霉菌广泛存在于污染的食品中，尤以霉变的花生、玉米及谷类含量最多。黄曲霉毒素有许多种，是一类杂

环化合物，其中黄曲霉毒素B1是已知最强的化学致癌物之一，可引起人和啮齿类、鱼类、鸟类等多种动物的肝癌。

3．物理因素

（1）电离辐射

电离辐射可以引起人体各部位发生肿瘤，但据估计在所有肿瘤的总病例数中只占2%～3%左右。辐射可引起染色体、DNA的突变，或激活潜伏的致癌病毒。放射线引起的肿瘤有：白血病、乳腺癌、甲状腺肿瘤、肺癌、骨肿瘤、皮肤癌、多发性骨髓瘤、淋巴瘤等。

（2）紫外线

紫外线照射可引起细胞DNA断裂、交联和染色体畸变，紫外线还可抑制皮肤的免疫功能，使突变细胞容易逃脱机体的免疫监视，这些都促使皮肤癌和基底细胞癌的发生。近年来由于环境恶化，大气层的臭氧减少，地球出现臭氧空洞，地表紫外线的辐照强度急剧增高，其诱发人体皮肤癌的潜在危险性已大为增加。据估计，大气臭氧减少1%，皮肤癌就要增加2%～6%。

【例题解析】

例1　细胞周期的长短取决于（　　）

A．G_1期

B．S期

C．G_2期

D．M期

解析　细胞周期分为G_1-S-G_2-M四个时期，不同细胞的周期长短主要区别在G_1期。G_1期是一个生长期，在这一时期主要进行RNA和蛋白质的生物合成，并且为下阶段S期的DNA合成做准备。如：合成各种与DNA复制有关的酶；线粒体、核糖体等增多；内质网更新扩大；来自内质网的高尔基体、溶酶体等增加；动物细胞的2个中心粒也彼此分离并开始复制。

答案　A

例2　高等植物细胞和动物细胞之间在细胞分裂机制方面的不同点是（　　）

①着丝点分裂　②细胞质分裂　③纺锤丝的功能　④中心粒存在

A．①②

B．①④

C．②④

D．③④

解析　植物细胞中没有中心粒；动物细胞中有中心粒，是微管组织中心，能产生微管参与纺锤体的形成。植物细胞细胞质分裂是在细胞中央形成细胞板，进而形成新的细胞壁将两个子细胞分隔开来；动物细胞细胞质分裂是在细胞中央形成收缩环，收缩环缢缩细胞膜内陷最终将细胞分隔为两个子细胞。故答案C正确。着丝粒分裂、纺锤丝的功能在动植物细胞分裂中是一样的。

答案　C

例3　下面哪一个实验的观察现象（有些是真实的，有些是编造的）不符合我们所学到的有关胞质分裂的知识（　　）

A．抗肌球蛋白抗体（anti-myosin）注射到分裂的细胞，导致胞质分裂的停止

B．当肌球蛋白 II （myosin- II ）基因突变时，细胞进行细胞核分裂，但不能胞质分裂

C．抗肌动蛋白抗体（anti-actin）注射到分裂细胞对胞质分裂没有影响

D．显微镜观察的肌动蛋白纤维（F-actin）是平行地排列于分裂沟处

解析　在后期和末期，动物细胞的细胞膜在两极之间的“赤道”上形成一个由肌动蛋白和肌球蛋白构成的环带，微丝收缩使细胞膜以垂直于纺锤体轴的方向向内凹陷，使细胞质分裂。

答案　C

例4　减数分裂（　　）

A．在任何情况下都会产生配子

B．在任何情况下都会产生孢子

C．在动物和植物都产生孢子和配子

D．在植物常产生孢子，在动物常产生配子

解析　减数分裂是染色体数目减半的核分裂，它包括两个连续的分裂过程。第一次分裂产生的两个子细胞核内，染色体数目为母细胞的一半；第二次分裂为正常的有丝分裂，最后形成4个单倍体的子细胞。一般的动物、许多原生动物，还有少数低等植物在将形成配子之前发生减数分裂。高等植物有世代交替，每个世代交替于单倍体与二倍体之间。受精产生二倍体的孢子体世代，减数分裂发生于孢子体世代的某些点上，产生的是孢子而不是配子。这种孢子称为减数孢子。减数孢子形成单倍体的配子体世代。成熟时，配子体世代又分化成精

子和卵子，精卵结合，再回复到二倍体世代。所以，只有D是正确的答案。A、B、C都不对或不全面。

答案　D

例5　减数分裂时，等位基因的DNA片段的交换和重组通常发生在（　　）

A．偶线期

B．粗线期

C．双线期

D．终变期

解析　偶线期同源染色体开始联会；粗线期，非姐妹染色单体发生交换；双线期非姐妹染色单体相互交叉缠结，出现交叉端化；终变期螺旋化程度更高，分裂进入中期。

答案　B

例6　蚕的丝腺细胞能产生大量的蛋白质，这种蛋白质叫丝蛋白。这些细胞不产生血液中的蛋白质，因此推测丝腺细胞（　　）

A．只有丝蛋白基因

B．有血蛋白和丝蛋白基因

C．有丝蛋白基因和其他基因，但没有血液蛋白基因

D．比合子的基因少

解析　在通常情况下，细胞的分化并不涉及基因的丢失，不同的分化细胞其基因组是完全一样的，但被活化或被抑制的基因在不同的细胞中却是不同的。在丝腺细胞中，血红蛋白基因和丝蛋白基因都是存在的，但丝蛋白基因得以表达，而血蛋白基因没有表达，故答案B正确。

答案　B

例7　癌细胞的特征有（　　）

A．可以远端转移

B．仅在人类和灵长类发现

C．其所有的癌基因表达上升

D．不存在细胞凋亡

解析　癌细胞表面糖蛋白减少，细胞黏着性下降，不受接触抑制，可以远端转移；而且不受细胞周期的G_1到S和G_2到M两个控制点的限制，只要不缺营养，可以无限增殖。

答案　A、D

例8　皮肤癌一般发生于（　　）

A．表皮细胞有丝分裂期

B．生发层细胞有丝分裂S期

C．真皮细胞有丝分裂G期

D．生发层细胞有丝分裂中期

解析　细胞的癌变与基因突变紧密相关，而基因突变通常发生在DNA复制过程中，也即发生在细胞有丝分裂的S期。皮肤的结构中只有生发层细胞具强烈的分裂能力，而表皮和真皮一般不能分裂。因此，皮肤癌易发生在皮肤生发层细胞有丝分裂的S期，答案B正确。

答案　B

【针对训练】

1．下列哪种细胞周期时相组成是准确的（　　）

A．前期—中期—后期—末期

B．G_1—G_2—S—M

C．G_1—S—G_2—M

D．M—G_1—S—G_2

2．处于休眠期的种子，其内部的细胞大都处于（　　）

A．G_1期

B．S期

C．M期

D．G_2期

E．G_0期

3．以下哪个说法最有可能是错误的（　　）

A．将一个M期细胞与一个间期细胞融合后培养，发现间期细胞发生染色体聚集，这个实验说明M期细胞中可能存在一种诱导染色体聚集的因子

B．用紫外线照射一个培养中的G_1期细胞，发现G_1期细胞不再走向分裂，这个实验说明细胞中可能存在一种抑制细胞走向分裂的因子

C．将一个G_1期细胞与一个S期细胞融合后培养，发现G_1期细胞发生染色体复制，这个实验说明S期细胞中可能存在一种促DNA复制因子

D．癌细胞可以无限制地分裂是由于抑制细胞走向分裂的因子丧失了活性

4．光学显微镜观察有丝分裂过程，参照下表应选择下列哪种植物作为最佳实验材料（　　）

植物种别(选项)	细胞周期(h)		
	分裂间期	分裂期	合计
A. 物种	10.6	0.4	11
B.物种	18	0.5	18.5
C.物种	16.5	2	18.5
D.物种	10.4	2.3	12.7

5．下列有关细胞分裂的叙述哪一条是不正确的（　　）

A．无丝分裂仅存在于低等生物中，高等脊椎动物细胞中不存在无丝分裂

B．细胞可通过细胞分裂来恢复正常的细胞表面积/体积、细胞核/质的比例

C．无丝分裂又称为直接分裂

D．减数分裂是一种特殊方式的有丝分裂

E．无丝分裂分裂迅速，能量消耗少，分裂中细胞仍能行其功能

6．人体肝细胞属于（　　）

A．G_1期细胞

B．终端分化细胞

C．干细胞

D．暂不增殖细胞

E．周期性细胞

7．有人要确定细胞周期S期的长度，他在处于分裂期的细胞间质中加入了以氚标记的R化合物。在下列化合物中，哪一种最适合作为R化合物（　　）

A．腺嘌呤

B．胞嘧啶

C．鸟嘌呤

D．胸腺嘧啶

E．ATP

8．基本上不具有G_1期和G_2期的细胞是（　　）

A．癌细胞

B．肝细胞

C．内胚层细胞

D．卵裂早期细胞

9．用“有丝分裂选择法”制备M期同步细胞时，宜采用（　　）

A．生长致密的单层培养细胞

B．生长旺盛的悬浮培养细胞
C．单层培养，处于对数生长期的细胞
D．分裂相多的骨髓细胞
10．动物细胞基因组DNA的复制发生在细胞生活周期的哪一个特定时期（　　）
A．G_1期
B．G_2期
C．S期
D．M期
11．有丝分裂中，姊妹染色单体着丝粒分开发生于（　　）
A．前期
B．中期
C．后期
D．末期
12．动物细胞中与有丝分裂有关的细胞器是（　　）
A．人溶酶体
B．高尔基体
C．内质网
D．中心体
13．核仁逐渐解体，核膜逐渐消失发生在有丝分裂的哪一期（　　）
A．前期
B．中期
C．后期
D．末期
14．细胞有丝分裂中期开始（　　）
A．染色体形成
B．核仁消失
C．染色体复制
D．核膜消失
E．染色体排列在赤道板上
15．对药物的作用相对不敏感的时期是（　　）
A．G_1期
B．S期
C．G_2期

D．M期

E．G_0期

16．有关植物细胞的胞质分裂，下列哪项错误（　　）

①植物细胞形成细胞板　②胞质分裂可在有丝分裂中开始　③植物细胞具有收缩环　④膜的融合联系母细胞的细胞板及细胞膜　⑤在两个子细胞完成前，高尔基体不参与植物细胞的胞质分裂

A．①②④⑤

B．③

C．③⑤

D．④⑤

E．④

17．染色体上与纺锤体微管相连的结构是（　　）

A．次缢痕

B．端粒

C．动粒

D．着丝粒

18．核纤层的磷酸化与下列哪种酶有关系（　　）

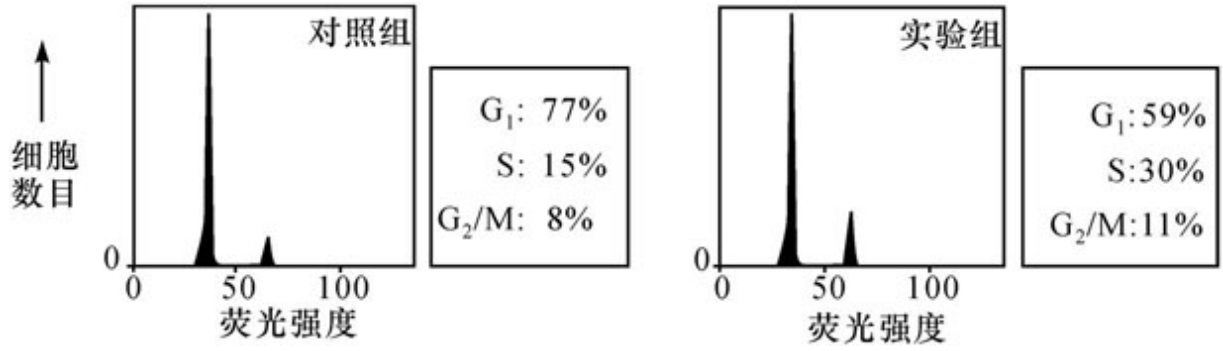
A．蛋白酶

B．蛋白激酶

C．核酸酶

D．核酸激酶

细胞周期可分为G_1，S，G_2，M四个时期，科学家发现有一类蛋白质在细胞内的浓度，会随着每一次的细胞循环而起落，这类蛋白质称为“循环子”，不同的循环子调节细胞进入不同的循环期。下图为有关循环子E的实验，对照组的细胞只植入载体，实验组细胞则植入含循环子E基因的载体；横坐标为荧光强度（代表DNA含量），纵坐标为细胞数目。请根据下图回答19～21题。



19．由图中数据显示，循环子E（cyclin E）可促使细胞进入哪一期（　　）

A．G_1→S

B．S→G_2/M

C．G_2/M→G_1

D．S→G_1

E．G_2→M

20．由图中显示，在G_2/M期的细胞，其DNA含量约为G_1期细胞的几倍（　　）

A．0.5倍

B．1.0倍

C．1.5倍

D．2.0倍

E．2.5倍

21．由图中推断，S期的细胞正进行何种反应（　　）

A．有丝分裂

B．形成纺锤丝

C．分解细胞核膜

D．DNA复制

E．染色体浓缩

22．用适当浓度的秋水仙素处理分裂期细胞，导致的结果是（　　）

A．姐妹染色单体不分离，细胞滞留在M中期

B．姐妹染色单体分开，但不向两极运动

C．微管破坏，纺锤体消失

D．微管和微丝都破坏，使细胞不能分裂。

23．在细胞有丝分裂过程中，核被膜经历解体与重建的动态变化，该变化与下列事件之一有关（　　）

A．有丝分裂开始，核纤层蛋白磷酸化，核纤层解聚，核膜解体；有丝分裂末期，核纤层蛋白去磷酸化，核纤层重建，核被膜重建

B．有丝分裂开始，核纤层蛋白去磷酸化，核纤层解聚，核膜解体；有丝分裂末期，核纤层蛋白磷酸化，核纤层重建，核被膜重建

C．有丝分裂开始，核纤层蛋白磷酸化，染色质凝聚，核膜解体；有丝分裂末期，核纤层蛋白去磷酸化，染色质解聚，核被膜重建

D．有丝分裂开始，核纤层蛋白去磷酸化，染色质凝聚，核膜解体；有丝分裂末期，核纤层蛋白磷酸化，染色质解聚，核被膜重建

24．同源染色体联会发生在（　　）

A．有丝分裂中期

B．有丝分裂前期

C．减数分裂前期

D．减数分裂后期

25．减数分裂过程中，Z-DNA的合成发生在（　　）

A．细线期

B．偶线期

C．粗线期

D．双线期

E．终变期

26．减数分裂时（　　）

A．在分裂中期 II 四分体形成

B．在分裂前期 I 产生交叉

C．在分裂前期 II 同源染色体成对

D．在分裂后期姐妹染色单体分离

27．在以下哪些细胞中能观察到核仁数量扩增（　　）

A．减数分裂前间期细胞

B．蝾螈卵母细胞减数分裂前期 I 双线期（合成期）

C．蛙卵母细胞减数分裂前期 I 粗线期rDNA扩增时

D．成熟卵

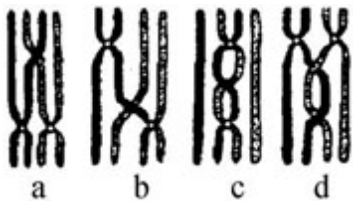
28．四位学生画下了减数分裂 I 期中的染色体（右图），会发生交换的图是（　　）

A．a、b

B．a、d

C．a、c

D．b、d

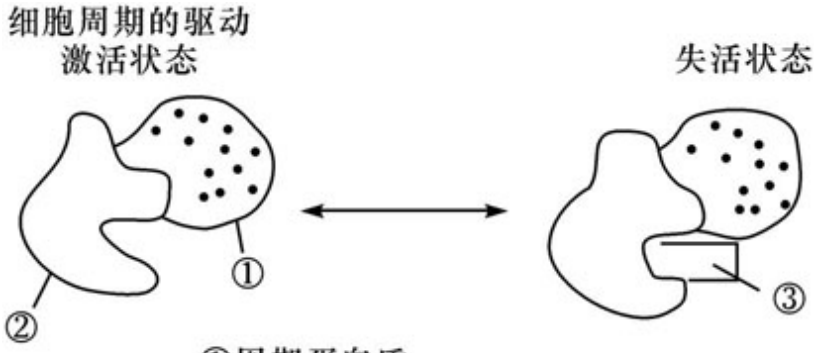


29．将S期细胞与G_2期细胞融合，G_2细胞核将发生如下哪一种变化（　　）

A．不发生变化
B．被诱导进行DNA合成，可见3H-TdR掺入
C．成为双股的“早熟凝集染色体”
D．成为单股的“早熟凝集染色体”

30．在细胞周期中，蛋白激酶CDK的活性呈周期性的变化。CDK活性的增加是由于（　　）
A．核糖体合成更多的CDK
B．失活的CDK与周期蛋白cyclin结合后活化
C．通过磷酸化将非活化的周期蛋白cyclin变成活化的CDK
D．失活的CDK经过切割被活化

31．美、英有两位科学家因发现了与细胞周期调控机制有关的几种物质，在“细胞周期”研究作出了重大的贡献，获得了2001年度诺贝尔生理学和医学奖。他们的研究如右图所示。如将此原理用于癌症治疗，最佳方法是使哪一物质的含量降低（　　）
A．①
B．②
C．③
D．①③



32．下哪种方法不能促使非洲爪蟾卵母细胞成熟（　　）
A．浸于孕酮
B．注射促成熟因子MPF
C．注射周期蛋白的mRNA
D．针刺激

33．我们的肌肉细胞不同于神经细胞主要因为（　　）

A．它们表达了不同的基因
B．它们具有不同的基因
C．它们采用不同的遗传密码
D．它们具有统一的核糖
34．关于持家基因表达描述最确切的是（　　）
A．在生物个体全生命过程的几乎所有细胞中的持续表达
B．在生物个体的所有细胞中表达
C．在特定环境下的生物个体全生命过程的所有细胞中持续表达
D．在特定环境下的生物个体全生命过程的部分细胞中持续表达
E．在生物个体全生命过程的部分细胞中持续表达
35．鸡的输卵管细胞能合成卵清蛋白、红细胞能合成β-珠蛋白、胰岛细胞能合成胰岛素，用编码上述蛋白质的基因分别做探针，对三种细胞中提取的总DNA的限制酶切片片段进行杂交实验；用同样的三种基因的单链片段做探针，对上述三种细胞中提取的总RNA进行杂交实验，上述实验结果如下表：

	细胞总 DNA			细胞总 RNA		
	输卵管细胞	红细胞	胰岛细胞	输卵管细胞	红细胞	胰岛细胞
卵清蛋白基因	＋	＋	＋	＋	－	－
β-珠蛋白基因	＋	＋	＋	－	＋	－
胰岛素基因	＋	＋	＋	－	－	＋

“＋”表示杂交过程中有杂合双链；“－”表示杂交过程有游离的单链

下列叙述中正确的是（　　）
A．胰岛细胞中只有胰岛素基因
B．上述三种细胞的分化是由于细胞在发育过程中某些基因被丢失所致
C．在红细胞成熟过程中有选择性地表达了β-珠蛋白基因
D．在输卵管细胞中无β-珠蛋白基因和胰岛素基因
36．下列关于持家基因和奢侈基因表述正确的是（　　）
A．二者均参与细胞分化方向的确定
B．二者均不参与细胞分化方向的确定
C．只有持家基因参与细胞分化方向的确定
D．持续表达的持家基因多为非甲基活化态
37．决定细胞分化过程的根本因素在于（　　）

A．细胞质
B．环境因素
C．遗传控制
D．基质
38．cAMP（环磷酸腺苷）在细胞内的调节作用是（　　）
A．cAMP浓度升高，促进DNA合成
B．cAMP浓度升高，导致细胞分裂
C．cAMP浓度升高，抑制细胞分化
D．cAMP浓度升高，导致细胞分化
39．癌细胞与正常细胞的不同之处在于（　　）
A．癌细胞不能合成DNA
B．癌细胞被锁定在细胞周期中的S期
C．癌细胞能持续分裂尽管彼此紧密相接
D．癌细胞始终处于细胞周期中的分裂期
40．原癌基因的正确含义是（　　）
A．能编码生长因子的基因，同时也表达合成癌蛋白
B．编码生长因子受体的基因，同时也编码癌蛋白
C．人类细胞被感染产生的癌蛋白
D．由病毒感染传给人类细胞的致癌基因
E．人类细胞中固有的基因，不当表达可造成细胞癌变
41．抑癌基因的作用是（　　）
A．抑制癌基因的表达
B．编码抑制癌基因的产物
C．编码生长因子
D．编码细胞生长调节因子
42．癌细胞贴壁性下降是由于（　　）
A．钙黏蛋白合成减少
B．纤黏连蛋白合成减少
C．葡糖胺聚糖合成减少
D．黏着斑蛋白合成减少
43．在正常细胞中，原癌基因（　　）
A．不表达
B．激活后表达
C．不受控制地表达
D．有控制地表达
44．哪个是癌细胞的特征（　　）

A．细胞萎缩，新陈代谢的速度减慢
B．无限增殖，失去控制
C．仍具有发育的潜能
D．细胞内的色素逐渐积累
45．下列哪一种恶性肿瘤在人类中发生的平均年龄较小（　　）
A．胃癌
B．肝癌
C．膀胱癌
D．白血病
46．癌细胞对药物杀伤最不敏感的阶段是（　　）
A．G_1期
B．G_2期
C．G_0期
D．S期
47．皮肤癌一般发生于（　　）
A．表皮细胞有丝分裂期
B．生发层细胞有丝分裂S期
C．真皮细胞有丝分裂G_1期
D．生发层细胞有丝分裂G_2期
48．细胞衰老是一种正常的生命现象。人细胞在衰老过程中不会出现的变化是（　）
A．细胞内有些酶活性降低
B．细胞内色素减少
C．细胞内水分减少
D．细胞内呼吸速度减慢
49．下列哪项不属于细胞衰老的特征（　　）
A．线粒体数目减少，核膜皱襞
B．核明显变化为核固缩，常染色体减少
C．脂褐素减少，细胞代谢能力下降
D．原生质减少，细胞形状改变
E．细胞膜磷脂含量下降，胆固醇含量上升
50．下列哪一项不是细胞凋亡的特征（　　）
A．细胞凋亡是一种程序化过程
B．细胞凋亡不引起炎症
C．DNA降解

D．细胞凋亡起源于原核生物
51．下列有关减数分裂说法中正确的是（　　）（多选题）
A．高等植物的孢子体可以发生减数分裂
B．高等植物的配子体可以发生减数分裂
C．植物减数分裂一般直接产生配子
D．高等植物减数分裂的产物是配子
E．高等植物减数分裂的产物是大孢子及小孢子
52．属于奢侈基因的有（　　）（多选题）
A．血红蛋白基因
B．卵清蛋白基因
C．肌动蛋白基因
D．抗体基因
E．rRNA基因
53．以下有关细胞分化的叙述中，哪些正确（　　）（多选题）
A．发生在所有的多细胞动物
B．分化之后，不同的细胞具有不同的基因
C．分化过程牵涉基因的选择性表达
D．细胞在细胞周期中同时进行细胞分化
E．分化过程可由细胞激素调控
54．克隆羊多利的诞生可以证明（　　）（多选题）
A．细胞分化过程的稳定性
B．细胞质对细胞核基因的表达有调控作用
C．决定先于分化
D．动物体分化的体细胞的胞核具有发育的全能性
E．细胞分化过程的可逆性
55．下列有关癌细胞的叙述，哪些正确（　　）（多选题）
A．细胞内染色体数目一定比正常细胞多
B．细胞内讯息传递的调控不正常
C．细胞不再进行分裂
D．细胞内基因的表现与正常细胞不同
E．细胞分裂周期的调控不正常

【参考答案】

1．C　2．E　3．D　4．D　5．A　6．D　7．D　8．D　9．C　10．C　11．C　12．D　13．A　14．E　15．E　16．C　17．C　18．B　19．A　20．D　21．D　22．B　23．A　24．C　25．

B 26. C 27. B 28. B 29. A 30. B 31. A 32. D 33. A 34. A 35. C 36. D 37. C 38. D 39. C 40. E 41. D 42. C 43. D 44. B 45. D 46. C 47. B 48. B 49. C 50. D 51. AE 52. ABCD 53. ACE 54. ABDE 55. BDE

第二章　遗传与进化

第1讲　遗传的物质基础

（杭州二中　金永生）

【知识梳理】

遗传学自1900年诞生后，在差不多半个世纪的时间里，人们一直在探索到底什么是遗传物质。生物学家通过对细胞的有丝分裂、减数分裂和受精过程的研究，认识到染色体在生物的遗传中具有重要的作用。染色体主要由DNA、组蛋白、非组蛋白以及RNA组成。DNA和组蛋白的分量大致相等，两者相加，构成了染色体的大部分。非组蛋白的比例变化很大，RNA含量很低。以前，由于蛋白质在生命活动中有十分重要的作用，并且组成蛋白质的单体即氨基酸，有20种之多，因而人们把注意力集中于蛋白质，以为蛋白质是遗传物质。直到20世纪40年代以后，通过一系列以微生物为对象进行的实验，才以确凿的事实证明了生物体内遗传物质主要是DNA，而不是蛋白质。

一、遗传物质是DNA（或RNA）的实验证据

（一）肺炎双球菌的转化实验

1928年，英国科学家格里菲思（Fredrick Griffith）进行了肺炎双球菌的转化实验。他将肺炎双球菌的光滑型（有荚膜，毒性强，可引起动物发生肺炎，简称S型）和粗糙型（无荚膜，不引起疾病，简称R型）分别给小鼠注射，发现S型使小鼠死亡，R型不使小鼠致死；若将S型加热杀死再注入小鼠体内，小鼠不死；若将加热杀死后的S型与R型混合，并给小鼠注入，则小鼠死亡并在小鼠体内发现S型。他的结论是：可能是死细菌中的某一成分（转化源）将无致病能力的细菌转化为病原细菌。

1944年，美国科学家艾弗里（O. T. Avery）等为了寻找导致细菌转化的原因，发现从S型肺炎球菌中提取的DNA与R型肺炎球菌混合后，能使某些R型菌转化为S型菌，且转化率与DNA纯度呈正相关，若将DNA预先用DNA酶降解，转化就不发生。他的结论是：S型菌的DNA将其遗传特性传给了R型菌，DNA就是遗传物质。从此核酸是遗传物质

的重要地位才被确立，人们把对遗传物质的注意力从蛋白质移到了核酸上。

（二）噬菌体侵染细菌的实验

1952年美国冷泉港卡内基遗传学实验室的赫尔希（Hershey）及其学生蔡斯（Chase）利用T_2菌体为实验材料，进行同位素标记感染实验，进一步证明了DNA是遗传物质。他们将噬菌体外壳的蛋白质用^{35}S标记，核酸用^{32}P标记，结果进入宿主细胞能复制的是^{32}P标记的核酸，^{35}S蛋白质外壳留在宿主细胞的外面。

（三）烟草花叶病毒的感染实验

烟草花叶病毒（TMV）是一种RNA病毒，不含DNA，它有一个圆筒状的蛋白质外壳，由很多相同的蛋白质亚基组成，外壳中有一条单链RNA分子，沿着内壁在蛋白质亚基间盘绕着。TMV约含6%的RNA和94%的蛋白质。

1956年德国科学家康拉特（Fraenkel-Conrot）用TMV所进行的分离与重建实验证明了RNA也是遗传物质。在TMV中有不同的株系：有的感染不同的寄主植物，有的则在寄主植物叶片上形成不同的病斑，也有外壳蛋白的组成不同等等。例如，S株系的外壳蛋白不具有组氨酸和甲硫氨酸，HR株系则含有这两种氨基酸。他们采用一定的化学方法分别使S株系和HR株系的蛋白质外壳与RNA分开（图2-1-1a），得到S株系的蛋白质外壳，和HR株系的RNA。然后用S株系的蛋白质外壳与HR株系的RNA重新构建成一种杂种病毒（图2-1-1b）。这种具有S株系蛋白质外壳杂种病毒可以被抗S株系的抗体失活，而不受抗HR株系的抗体的作用。证实杂种病毒的蛋白质外壳是来自S株系，用杂种病毒感染烟草叶片时，产生了HR株系所特有的病斑（图2-1-1c），说明了杂种病毒的感染特性是由HR株系的RNA决定的。从病斑中分离的病毒经过抗HR株系的抗体处理后失去了感染活性，显然，杂种病毒所增殖的子代病毒颗粒既有HR株系的RNA又有HR株系的蛋白质外壳（图2-3-1d）。当HR株系的蛋白质外壳与S株系的RNA结合重建成杂种病毒来感染烟草叶片时，病斑的类型及其增殖的子代病毒的蛋白质外壳也同RNA供体株系（S株系）一样。即实验结果说明，决定杂种病毒的感染特征和蛋白质的特性是由其RNA决定的，而不是由蛋白质所决定，充分证明，RNA是TMV的遗传物质（图2-1-1）。

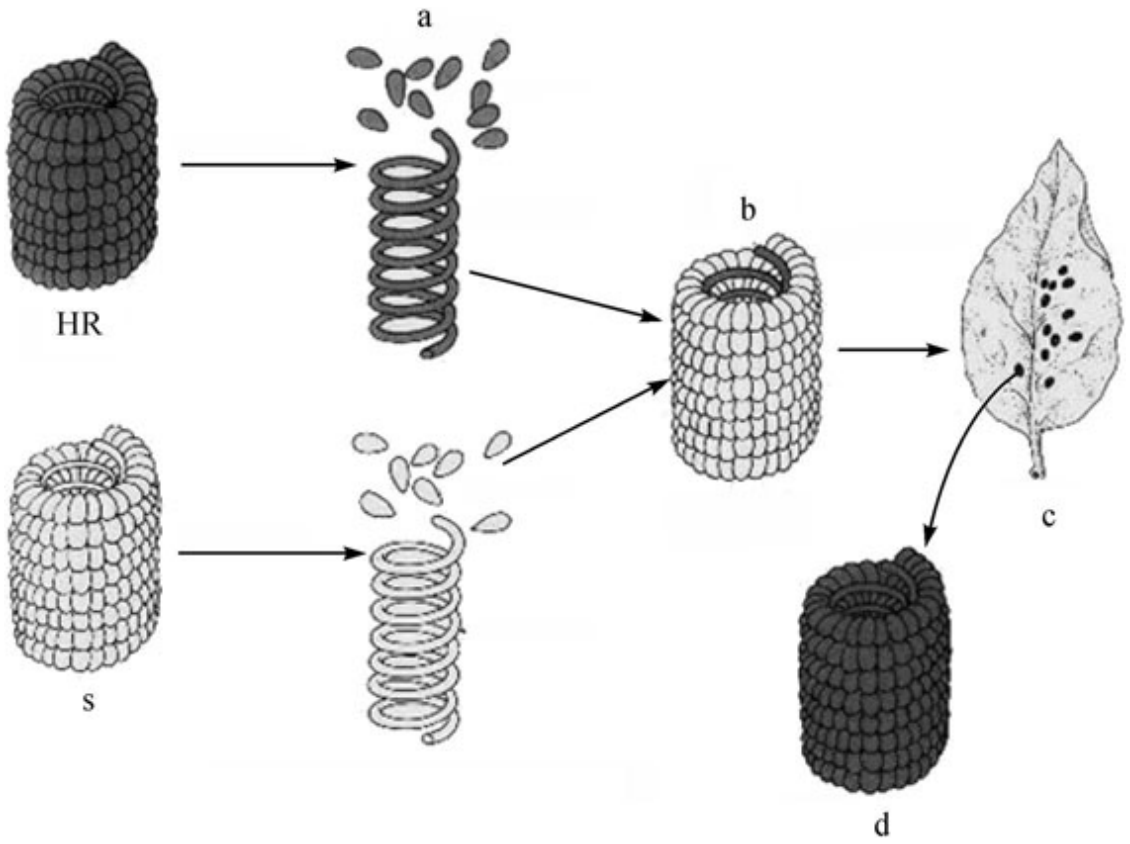


图2-1-1　烟草花叶病毒重建实验

二、DNA双螺旋结构

确定遗传物质为核酸后，科学家们就考虑：DNA分子应该具有怎样的结构？1953年，美国科学家沃森（Watson）和英国科学家克里克（Crick）以非凡的洞察力，得出了正确的答案。他们以立体化学上的最适构型建立了一个与DNA X射线衍射资料相符的分子模型——DNA双螺旋结构模型。他们认为DNA分子应是螺旋形的，并确定其上重复排列的碱基对之间的距离为0.34nm。经过努力，DNA双螺旋结构终于在1953年被揭露出来（如图2-1-2）。他们两人也由此获得了诺贝尔奖。

DNA双螺旋结构主要有以下几个重要特征：

1．DNA分子含有2条多核苷酸长链。这2条长链的走向是相反的，是反向平行的。我们知道，多核苷酸长链是通过磷酸和戊糖的3′、5′碳相连而成的，因此长链的两端是不同的，一端是3′端（3′C—OH），一端是5′端（5′C—PO_4）。DNA分子的一条长链是从5′到3′，另一条长链是从3′到5′（图2-1-3）。

2．两链的碱基互相以氢键相连成对。DNA的碱基配对是很准确的，A总是与T配对，G总是与C配对。A、T之间以2个氢键相连，G、C

之间以3个氢键相连（图2-1-3）。

3．DNA的2条长链不是直线形的，而是互相缠绕而成螺旋形的分子，两链之间以A—T和G—C碱基对相连。关于这2条多核苷酸的螺旋走向，X射线衍射分析以及其他研究证明，它们形成“右手”螺旋。所谓右手螺旋，最简单地说，就是多核苷酸链从左下方走向右上方时，位于另一多核苷酸链的上面（图2-1-2）。碱基是疏水的，它们都位于螺旋的里面。X射线衍射图还表明，碱基对之间的距离为0.34nm，每一螺旋长为3.4nm，因而可知，每螺旋含有10对碱基，它们顺序排在2条多核苷酸之间，很像梯子的横阶。

近来的研究发现了左手螺旋的DNA，称为Z-DNA。例如，果蝇的DNA分子中就有Z-DNA的部分。Z-DNA分子的螺旋形不规则，它的磷酸核糖骨架不是平均的而是折弯的，所以称为Z-DNA。

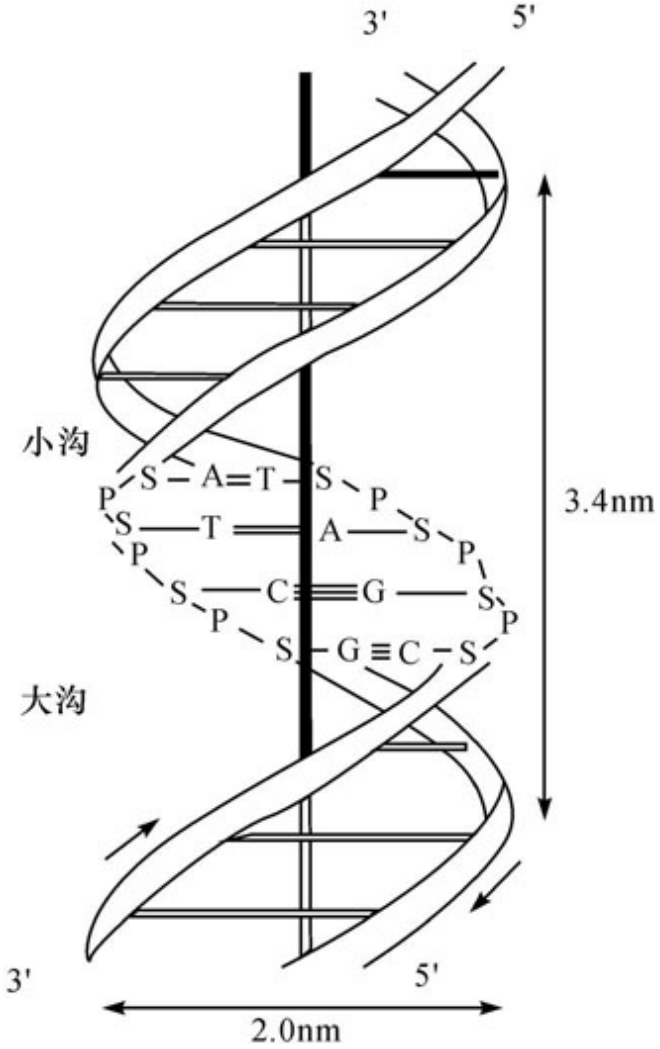


图2-1-2　DNA双螺旋结构

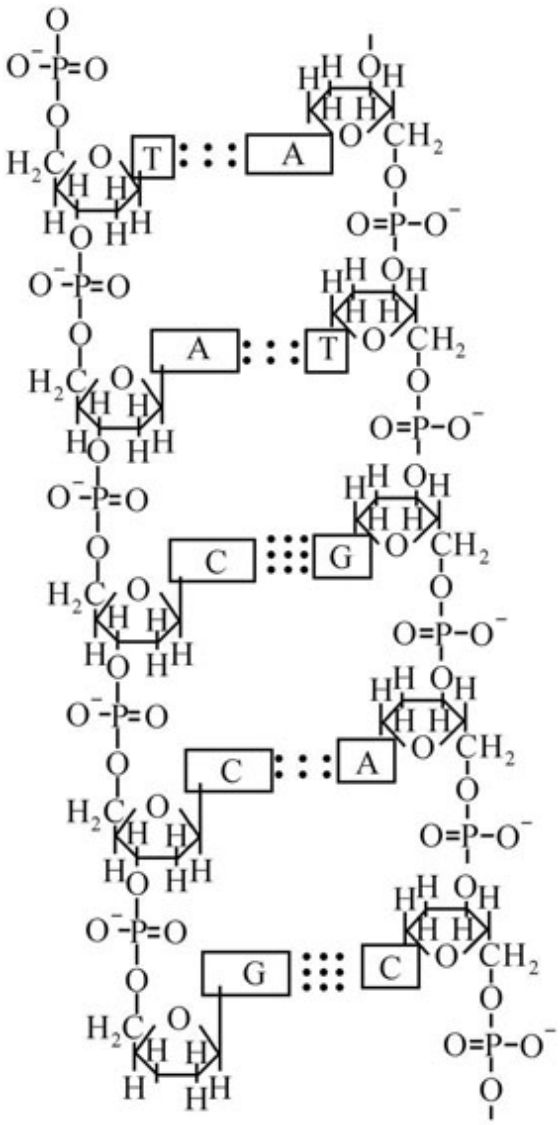


图2-1-3　DNA双链的碱基配对示意图

一个DNA分子的碱基对数目是很多的，一般有几千到几万个，多至数百万个。如果一个DNA分子只有100个碱基对，这100个碱基对在这个分子上的排列就有4^{100}种。但最简单的病毒就含有约5000个碱基对，而人的46个染色体的DNA，估计应有30亿碱基对，因此它们的排列数目简直是天文数字了。这就说明了DNA的分子是多种多样的，这才能使它储藏无穷的遗传信息。但是应该指出，真核细胞中的DNA碱基顺序，很多都是没有表达功能，即没有基因的特性，不能表达为蛋白质的，有基因功能的不超过10%，如人DNA有基因功能的不过1%。原核细胞则相反，DNA几乎都有表达功能。真核细胞DNA的另一个特点是有许多重复的碱基顺序，这在原核细胞是没有的。例如，在小鼠

的DNA中，有10%是高度重复顺序，共含约100万个重复顺序，每一顺序含300个碱基对。染色体两端和着丝粒部分都是重复顺序，它们没有转录的功能。真核细胞染色体DNA都是线形的，细菌的DNA则为环形分子，很多病毒的DNA也是环形的。真核细胞的线粒体和叶绿体中的DNA也是环形的。

三、DNA复制

DNA是遗传信息的载体，故亲代DNA必须以自身分子为模板准确地复制成两个拷贝，并分配到两个子细胞中去，完成其遗传信息载体的使命。而DNA的双链结构对于维持这类遗传物质的稳定性和复制的准确性都是极为重要的。

（一）DNA的半保留复制

Waston和Click在提出DNA双螺旋结构模型时曾就DNA复制过程进行过研究，他们推测，DNA在复制过程中碱基间的氢键首先断裂，双螺旋解旋分开，每条链分别作模板合成新链，每个子代DNA的一条链来自亲代，另一条则是新合成的，故称之为半保留式复制。1958年，米西尔森（Meselson）和斯坦尔（Stanl）采用含^{15}N重同位素的NH_4Cl培养大肠杆菌，放在正常的培养液里繁殖，然后用梯度离心技术测定分裂时DNA复制时的密度变化，证实了DNA的半保留复制。

（二）DNA复制的起始，方向和速度

DNA在复制时，双链DNA解旋成两股分别进行。其复制过程的复制起点呈现叉子的形式，故称复制叉（图2-1-4）。实验证明DNA的复制是由一个固定的起始点开始的。一般把生物体的单个复制单位称为复制子。一个复制子只含一个复制起点。一般说，细菌、病毒以及线粒体DNA分子均作为单个复制子完成其复制，真核生物基因组可以同时在多个复制起点上进行双向复制，即它们的基因组包括多个复制子。多方面的实验结果表明，大多数生物内DNA的复制都是从固定的起始点以双向等速方式进行的。复制叉以DNA分子上某一特定顺序为起始点，向两个方向等速生长前进。

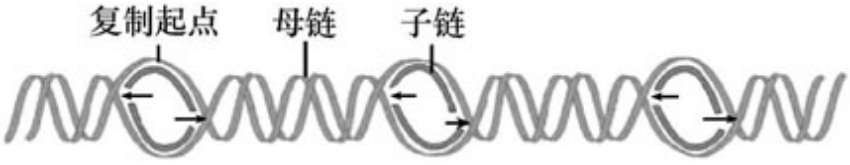


图2-1-4　DNA复制叉

（三）DNA复制过程（图2-1-5）

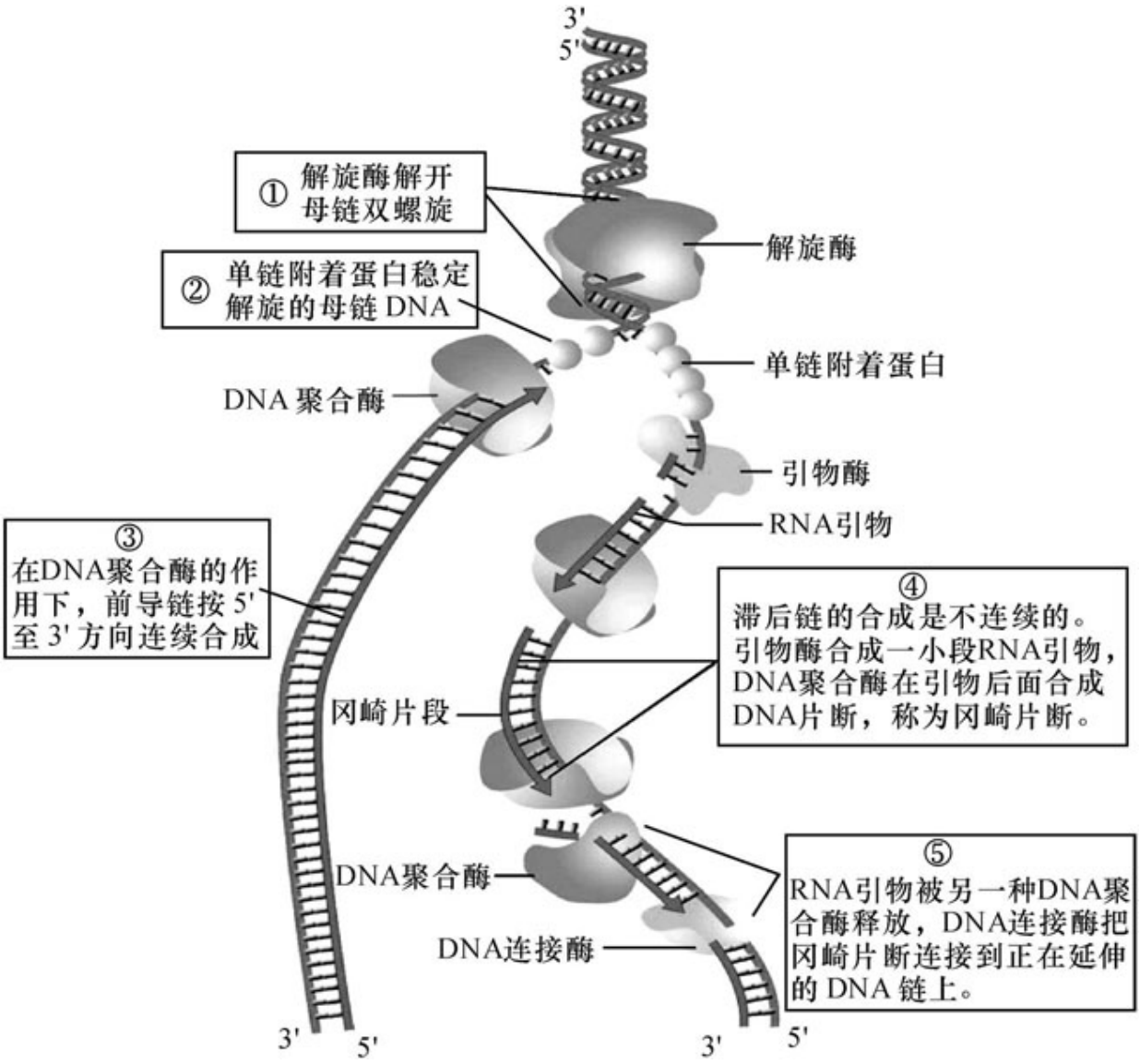


图2-1-5　DNA复制过程

1．DNA双螺旋的解旋

DNA在复制时，其双链首先解开，形成复制叉，而复制叉的形成则是由多种蛋白质及酶参与的较复杂的过程。

（1）单链DNA附着蛋白（ssbDNA蛋白）

ssbDNA蛋白是较牢固地结合在单链DNA上的蛋白质。它的作用是保证解旋酶解开的单链在复制完成前能保持单链结构，它以四聚体的形式存在于复制叉处，待单链复制后才脱下来，重新循环。所以，ssbDNA蛋白只保持单链的存在，不起解旋作用。

（2）DNA解旋酶

DNA解旋酶能通过水解ATP获得能量以解开双链DNA。复制时，DNA解旋酶可随着复制叉的前进而移动，参与解链的除解旋酶外还有一些特定蛋白质，一旦DNA局部双链解开，就必须有ssbDNA蛋白以稳定解开的单链，保证此局部不会恢复成双链。

2．DNA聚合酶

DNA聚合酶是促成DNA复制的重要酶，其作用是使游离于核中的脱氧核苷酸准确地和DNA两条模板链上所暴露出来的碱基结合，即链上的A和游离的T相连，G和游离的C相连，C和游离的G相连，T和游离的A相连。并使结合上去的脱氧核苷酸顺序连接成链。这样，一个双链DNA分子就复制成各含一个旧链和一个新链的2个双链DNA分子了。

3．冈崎片段与半不连续复制

因DNA的两条链是反向平行的，故在复制叉附近解开的DNA链，一条是5′→3′方向，另一条是3′→5′方向，两个模板极性不同。所有已知DNA聚合酶合成方向均是5′→3′方向，不是3′→5′方向，因而无法解释DNA的两条链同时进行复制的问题。为解释DNA两条链各自模板合成子链等速复制现象，日本学者冈崎（Okazaki）等人提出了DNA的半连续复制模型。其复制过程为一条模板链为3′→5′走向，在其上DNA能以5′→3′方向连续合成，称为前导链；另一条模板链为5′→3′走向，在其上DNA也是5′→3′方向合成，但与复制叉移动的方向正好相反，故随着复制叉的移动形成许多不连续的片段，称为冈崎片段，这些片段通过DNA连接酶的作用互相连接成一条完整的DNA链，该链称为滞后链。实验证明前导链的连续复制和滞后链的不连续复制在生物界具有普遍性，故称为DNA双螺旋的半不连续复制。

4．复制的引发和终止

所有的DNA的复制都是从一个固定的起始点开始的，而DNA聚合酶只能延长已存在的DNA链，不能从头合成DNA链，新DNA的复制是如何形成的？经大量实验研究证明，DNA复制时，往往先由RNA聚合酶在DNA模板上合成一段RNA引物，再由聚合酶从RNA引物3′端开始合成新的DNA链。对于前导链来说，这一引发过程比较简单，只要有一段RNA引物，DNA聚合酶就能以此为起点，一直合成下去。对于滞后链，引发过程较为复杂，需要多种蛋白质和酶参与，而且每段冈崎片段的前端都要有一个RNA引物，复制完成后。RNA引物即为DNA短链取代，再由DNA连接酶将各个片段连接起来。

四、DNA与蛋白质的合成

基因是能够自我复制，永远保存的单位，它的生理功能是以蛋白质的形式表达出来的。所以DNA核苷酸序列是遗传信息的储存者，它通过自主复制得以永存，通过转录生成信使RNA，进而翻译成蛋白质的过程来控制生命现象，这个过程的信息传递方向是：DNA→RNA→蛋白质。

（一）转录

DNA分子所带的遗传信息被传递到RNA分子中去的过程称为转录。各种RNA分子都是以DNA分子为模板，从DNA分子转录而来的。下面介绍DNA转录成mRNA的过程，因为mRNA带着来自DNA的合成蛋白质的信息，在蛋白质合成中起着模板的作用。

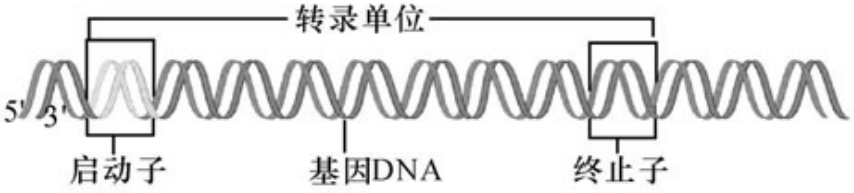
1．过程（图2-1-6）

mRNA合成过程和DNA复制一样，需要多种酶催化，从DNA合成RNA的酶称RNA聚合酶。DNA双链分子转录成RNA的过程是全保留式的，即转录的结果产生一条单链RNA，DNA仍保留原来的双链结构。转录的第一步是RNA聚合酶 II 和启动子结合。启动子是DNA链上的一段特定的核苷酸序列，转录起点即位于其中。RNA聚合酶与启动子的结合，使DNA分子的双链解开，转录就从此起点开始。解开的DNA双链中只有一条链可以充当转录模板的任务，RNA聚合酶 II 沿着这一条模板链由3′端向5′端移行，一方面使DNA链陆续解开，同时将和模板DNA上的脱氧核苷酸互补的核苷酸序列连接起来形成5′→3′的RNA，RNA聚合酶只能在DNA的3′连接新的核苷酸，即mRNA分子按5′→3′方向延长，这就说明了为什么DNA两条链中只有一条可作为模板。当RNA聚合酶沿模板链移动到DNA上的终止子时，转录便停止下来。终止子也是DNA链上的一段特定的核苷酸序列，RNA合成后，便陆续脱离模板DNA游离于细胞核中。

2．加工

转录出来的RNA必须经过加工方能变为成熟的mRNA。mRNA的前体是分子较大的hnRNA（核内不均一RNA）。真核细胞中的hnRNA 5′端要连上一个甲基化的鸟嘌呤，这就是mRNA的5′端帽子，在3′端加上poly（A）“尾巴”，并且在切除内含子后把所有外显子连接起来才能成为成熟的mRNA。成熟的mRNA分子穿过核孔进入细胞质。

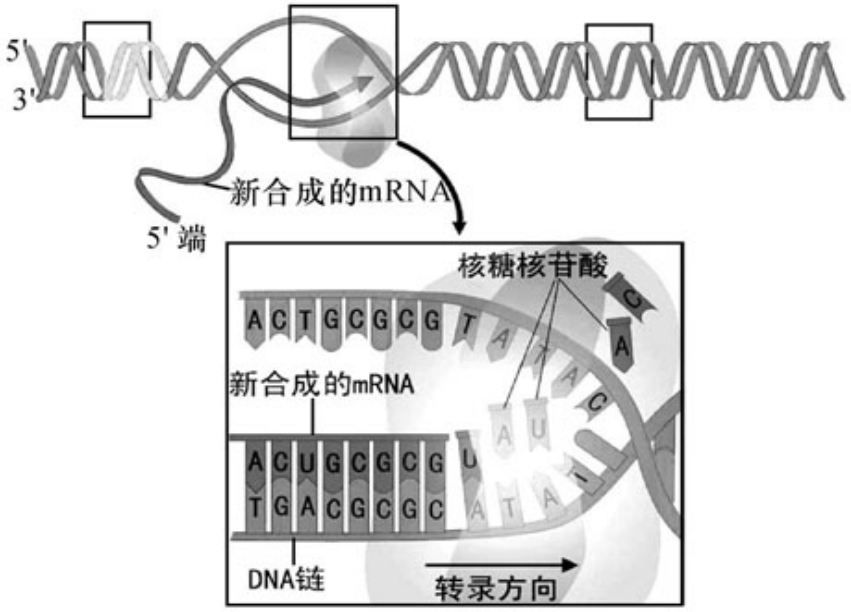
1.转录单位



2.转录起始



3.mRNA链的延长



4.转录终止

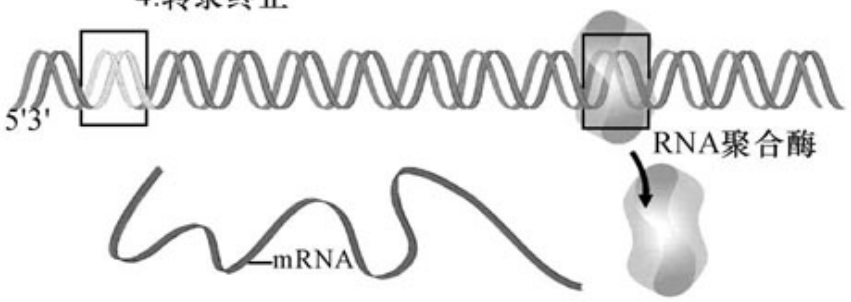


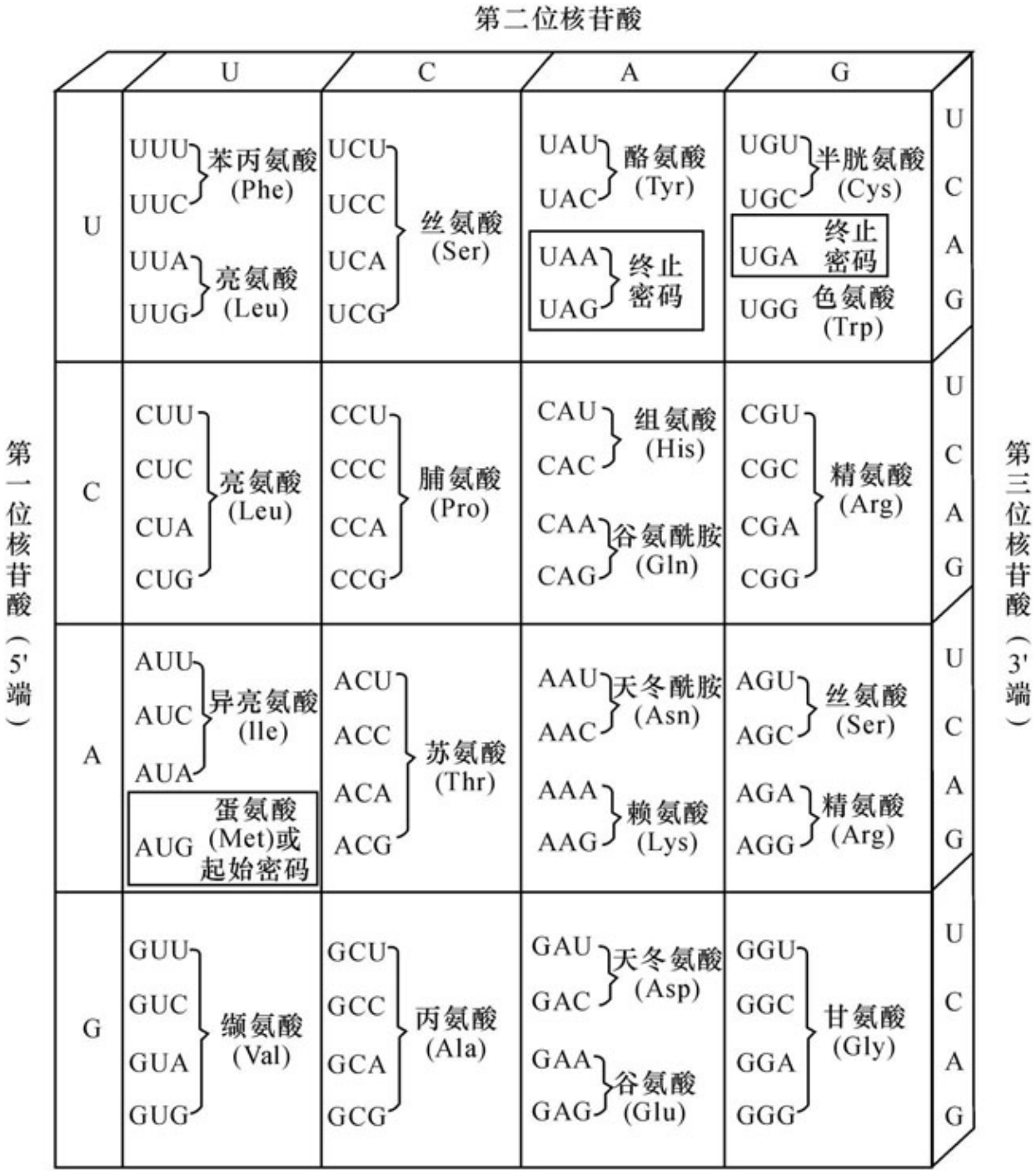
图2-1-6　转录过程示意

3．遗传密码

DNA的核苷酸序列是遗传信息的贮存形式，通过转录的方式合成信使RNA。通常把与mRNA序列互补的那条DNA链称为编码链或有意义链，另一条不被转录只能通过碱基互补合成新的DNA，称为反义链或无意义链。只有mRNA携带的遗传信息才被用于指导蛋白质的生物合成，即决定蛋白质中氨基酸排列顺序。1954年物理学家George Gamow研究组成蛋白质的20种氨基酸和mRNA4种核苷酸之间的关系，即四种不同的核苷酸如何为20种氨基酸编码？若1个核苷酸决定一个氨基酸在肽链中的位置，只能为4种氨基酸编码；若相邻的2个核苷酸决定一个氨基酸，那么为$4^2=16$，即只能编码16种氨基酸；如果3种核苷酸为一个氨基酸编码，可组合为：$4^3=64$种氨基酸，满足20种氨基酸的编码还有剩余，于是就把3个核苷酸组合在一起的方式称为三联体密码子。

对于遗传密码的破解，基于科学家们所揭示的每种氨基酸从核苷酸三联体密码子被翻译过来的一系列实验，全部氨基酸的三联体密码子见表2-1-1。

表2-1-1　遗传密码表



（3）遗传密码的性质

①密码的简并性：64种密码子决定20种氨基酸，必然同一个氨基酸有多个密码子。把由一种以上密码子编码同一种氨基酸的现象称为简并性。

②密码的普遍性与特殊性：遗传密码不论在体外还是在体内，对绝大多数病毒、原核生物、真菌、植物和动物都是适用的。科学家在

比较了大量的核酸和蛋白质序列后发现，密码具有普遍性。据现有生物资料，只有极个别的例外。在蛋白质生物合成过程中，tRNA的反密码子在核糖体蛋白体内是通过碱基的反向（互补）配对的mRNA的密码相互作用。1966年Crick根据立体化学原理提出了摆动假说，解释了反密码中的某些稀有碱基成分的配对，以及许多氨基酸有2个以上密码子的问题。据摆动学说，在密码子与反密码子配对中，前两对碱基严格遵守碱基配对原则，第三对碱基有一定的自由度，可以“摆动”，因而使某些tRNA可以识别1种以上的密码子，究竟能识别多少种密码子是由反密码子的第一个碱基的性质决定的。第一位碱基为A或C者，只能识别1种密码子；第一位碱基为G或U者可以识别两种密码子；第一位碱基为I者可识别三种密码子。对于某些个别密码子，反密码子的第一个碱基可识别4种密码子，表明3对碱基中的第三位是无关紧要的，这就是所谓的“三中配二”原则。

③密码无逗号及不重叠性：密码子与密码子之间没有逗号，即密码子与密码子之间没有任何不编码的核苷酸。翻译从起始密码子开始然后按连续的码组沿mRNA多核苷酸链由5′至3′方向进行，直到终止密码子处，翻译自然停止。在多核苷酸链上任何两个相邻的密码子不共用任何核苷酸。

④密码的使用规律：原核生物中大部分以AUG为起始密码子，少数使用GUG，真核生物全部使用AUG为起始密码子，终止密码子UAA、UAG、UGA全部被使用，有时连续用两个终止密码子，以保证肽链合成的终止。

（二）翻译

细胞中蛋白质的合成是一个严格按照mRNA上密码子的信息指导氨基酸单体合成为多肽链的过程，这一过程称为mRNA的翻译。mRNA的翻译需要有mRNA、tRNA、核糖体、多种氨基酸和多种酶等的共同参与。

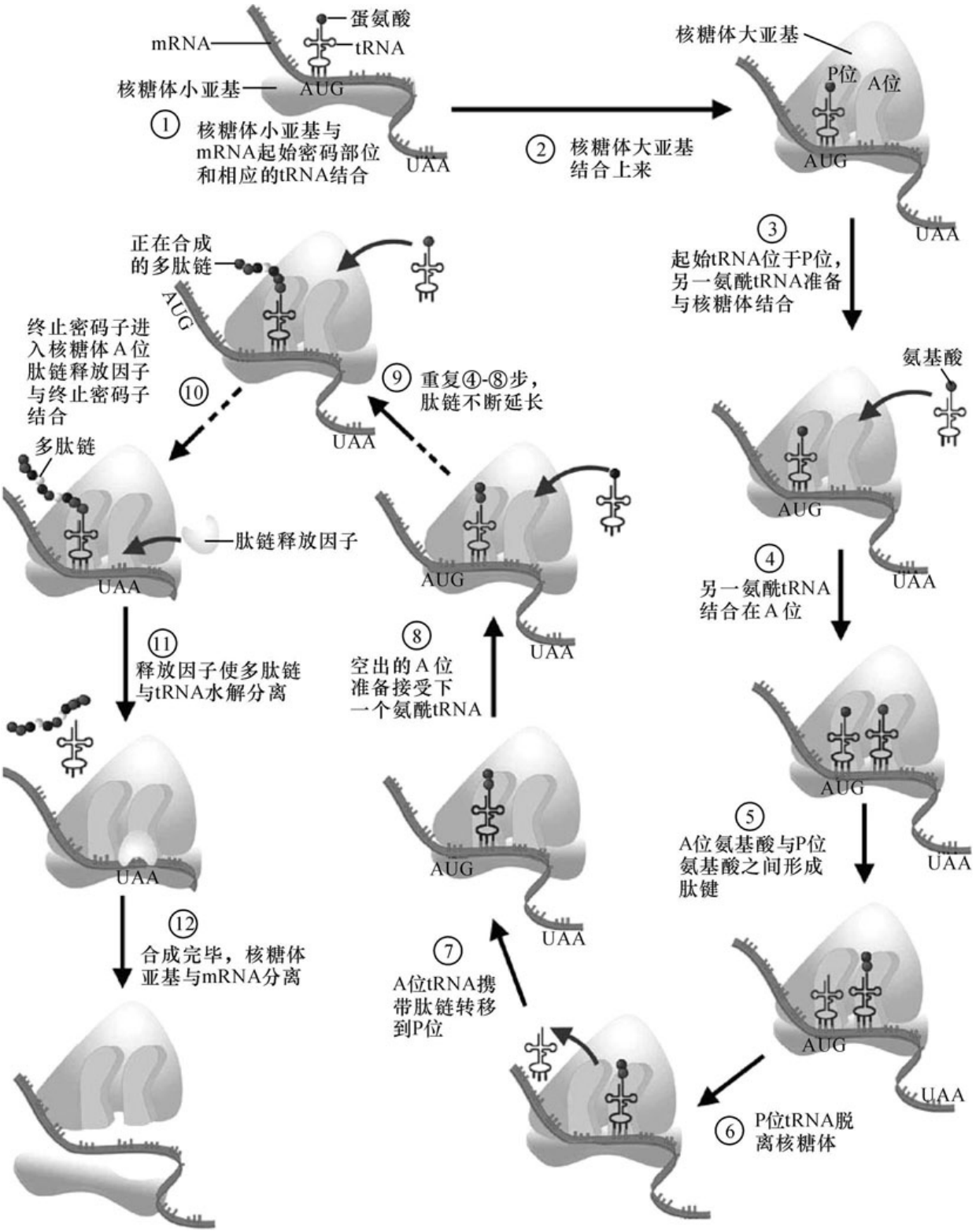


图2-1-7　翻译过程示意图

翻译过程（即多肽链的合成）包括起始、多肽链延长和翻译终止3个基本阶段。如图2-1-7所示，翻译开始时，核糖体小亚基先与mRNA的起始密码（如AUG）部位和一个带有相应反密码子（UAC）的特定tRNA相结合，这个tRNA另一端携带着甲酰甲硫氨酸（Met，又名蛋氨酸）。接着核糖体大亚基与核糖体小亚基结合，形成完整的核糖体。起始程序完成后，起始tRNA处于核糖体的P位，空着的A位准备接受下一个氨酰tRNA。接下来，按照mRNA上密码子顺序确定的下一个氨基酸由相应的氨酰tRNA携带进入到A位。在几种酶即延长因子的作用下，氨酰RNA上的反密码子与mRNA上相应的密码子按碱基互补的原则以氢键相联。接着A位氨酰tRNA上氨基酸的氨基与P位起始tRNA上甲酰甲硫氨酸的羧基（以后则是P位tRNA肽链的羧基）之间形成肽键，起始RNA上的甲酰甲硫氨酸（以后则是P位tRNA的肽链）与原来的tRNA脱离并转移到A位tRNA携带的氨基酸上，P位的tRNA同时脱离核糖体。这时在A位上携带新形成的二肽（以后是多肽链）的tRNA转移到已空出的P位上，A位又可以接受下一个氨酰tRNA，重复进行新一轮氨基酸逐个合成到肽链上的过程。随着翻译的进行及多肽链的延长，当mRNA上的终止密码子进入到核糖体的A位时，一种肽链释放因子（蛋白酶）便与A位的终止密码子结合，多肽链与P位的tRNA水解分离，合成完毕的多肽链从核糖体中被释放出来，再折叠组装成有功能的蛋白质。

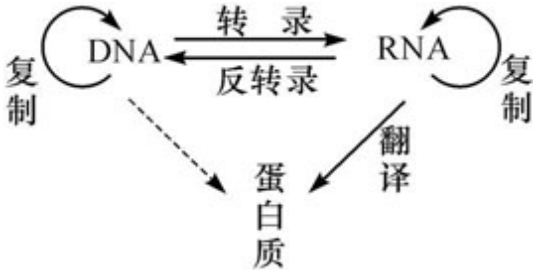
（三）中心法则

DNA、RNA和蛋白质三者的关系可概括为下列几点：①DNA分子上的核苷酸的排列有一定顺序，这个顺序就是遗传信息。②DNA双链打开，以每条单链为模板，按照碱基互补的原则合成新的互补链，这就是DNA的复制。③以DNA双链中的一条链为模板，互补地合成mRNA，这是DNA上遗传信息的转录。以3个核苷酸决定一个氨基酸的方式，根据mRNA的核苷酸顺序在细胞质中合成多肽链，是遗传信息的翻译。上述就是生物学的中心法则。这一法则表示信息流是DNA→RNA→蛋白质。



但是，一些病毒的遗传物质是RNA，如烟草花叶病毒、流感病毒、小儿麻痹症病毒以及大多数单链RNA噬菌体，还有在2003年初肆虐我国乃至全球造成非典型性肺炎（SARS）传染病的病毒（一种单链RNA冠状病毒）等。它们在感染宿主细胞后，其RNA在宿主细胞中复

制，这种复制是以导入的RNA为模板的，由RNA复制RNA；以及通过反转录酶以RNA作为模板而合成DNA（cDNA）；此外，还发现了在实验室的条件下可以使DNA直接翻译成蛋白质（虚线所示）。因此，修改后的中心法则说明了遗传信息流的途径如下：



五、基因表达的调控

从DNA到蛋白质的过程叫基因表达，对这个过程的调节即为基因表达调控。基因调控是现代分子生物学研究的中心课题之一。因为要了解动植物生长发育规律、形态结构特征及生物学功能，就必须搞清楚基因表达调控的时间和空间概念。掌握了基因调控机制，就等于掌握了一把揭示生物学奥秘的钥匙。基因表达调控主要表现在以下几个方面：①转录水平上的调控；②mRNA加工、成熟水平上的调控；③翻译水平上的调控。

基因表达调控的指挥系统有很多种，不同生物使用不同的信号来指挥基因调控。原核生物和真核生物之间存在着相当大差异。原核生物中，营养状况、环境因素对基因表达起着十分重要的作用；而真核生物尤其是高等真核生物中，激素水平、发育阶段等是基因表达调控的主要手段，营养和环境因素的影响则为次要因素。

（一）原核生物的基因表达调控

原核生物的基因表达调控虽然比真核生物简单，然而也存在着复杂的调控系统，如在转录调控中就存在着许多问题：如何在复杂的基因组内确定正确的转录起始点？如何将DNA的核苷酸按着遗传密码的程序转录到新生的RNA链中？如何保证合成一条完整的RNA链？如何确定转录的终止？

上述问题决定于DNA的结构、RNA聚合酶的功能、蛋白因子及其他小分子配基的互相作用，在转录调控中，现已搞清楚了细菌的几个操纵子模型，现以乳糖操纵子和色氨酸操纵子为例予以说明。

1．乳糖操纵子

法国巴斯德研究所著名的科学家雅各布（Jacob）和莫诺（Monod）在实验的基础上于1961年建立了乳糖操纵子学说，现在已

成为原核生物基因调控的主要学说之一。

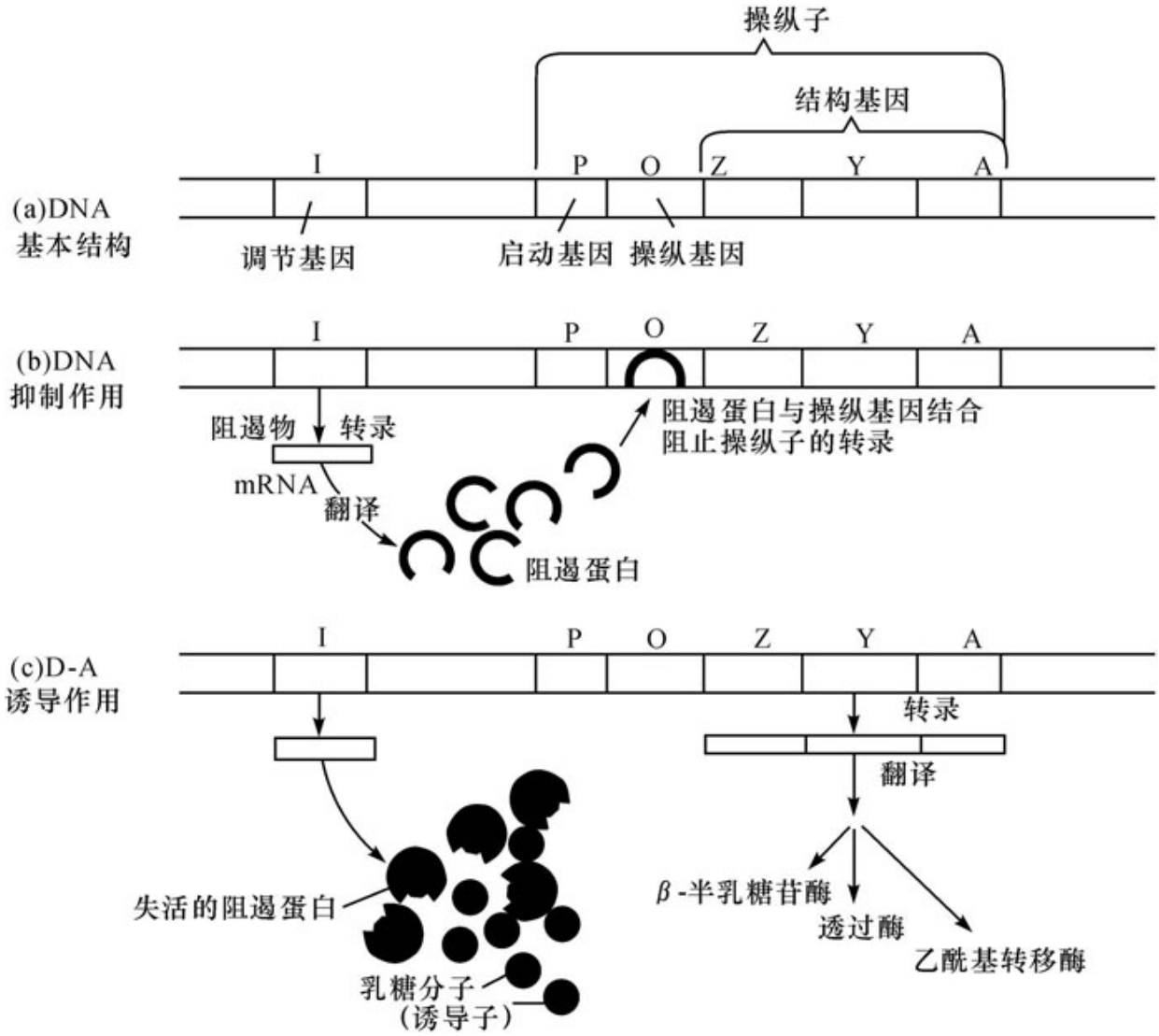


图2-1-8　乳糖操纵子

大肠杆菌乳糖操纵子包括4类基因：①结构基因，能通过转录、翻译使细胞产生一定的酶系统和结构蛋白，这是与生物性状的发育和表型直接相关的基因。乳糖操纵子包含3个结构基因：lacZ、lacY、lacA。LacZ合成β-半乳糖苷酶，lacY合成透过酶，lacA合成乙酰基转移酶。②操纵基因O，控制结构基因的转录速度，位于结构基因的附近，本身不能转录成mRNA。③启动基因P，位于操纵基因的附近，它的作用是发出信号，mRNA合成开始，该基因也不能转录成mRNA。④调节基因I：可调节操纵基因的活动，调节基因能转录出mRNA，并合

成一种蛋白，称阻遏蛋白。操纵基因、启动基因和结构基因共同组成一个单位——操纵子（图2-1-8）。

调节乳糖催化酶产生的操纵子就称为乳糖操纵子，其调控机制简述如下。

抑制作用：调节基因转录出mRNA，合成阻遏蛋白，因缺少乳糖，阻遏蛋白因其构象能够识别操纵基因并结合到操纵基因上，因此RNA聚合酶就不能与启动子结合，结构基因也被抑制，结果结构基因不能转录出mRNA，不能翻译酶蛋白。

诱导作用：乳糖的存在情况下，乳糖代谢产生别乳糖，别乳糖能和调节基因产生的阻遏蛋白结合，使阻遏蛋白改变构象，不能再和操纵基因结合，失去阻遏作用，结果RNA聚合酶便与启动子结合，并使结构基因活化，转录出mRNA，翻译出酶蛋白。

负反馈：细胞质中有了β-半乳糖苷酶后，便催化分解乳糖为半乳糖和葡萄糖。乳糖被分解后，又造成了阻遏蛋白与操纵基因结合，使结构基因关闭。

2．色氨酸操纵子

色氨酸操纵子负责调控色氨酸的生物合成，它的激活与否完全根据培养基中有无色氨酸而定。当培养基中有足够的色氨酸时，该操纵子自动关闭；缺乏色氨酸时，操纵子被打开。色氨酸在这里不是起诱导作用而是阻遏，因而被称作辅阻遏分子，意指能帮助阻遏蛋白发生作用。色氨酸操纵子恰和乳糖操纵子相反（图2-1-9）。

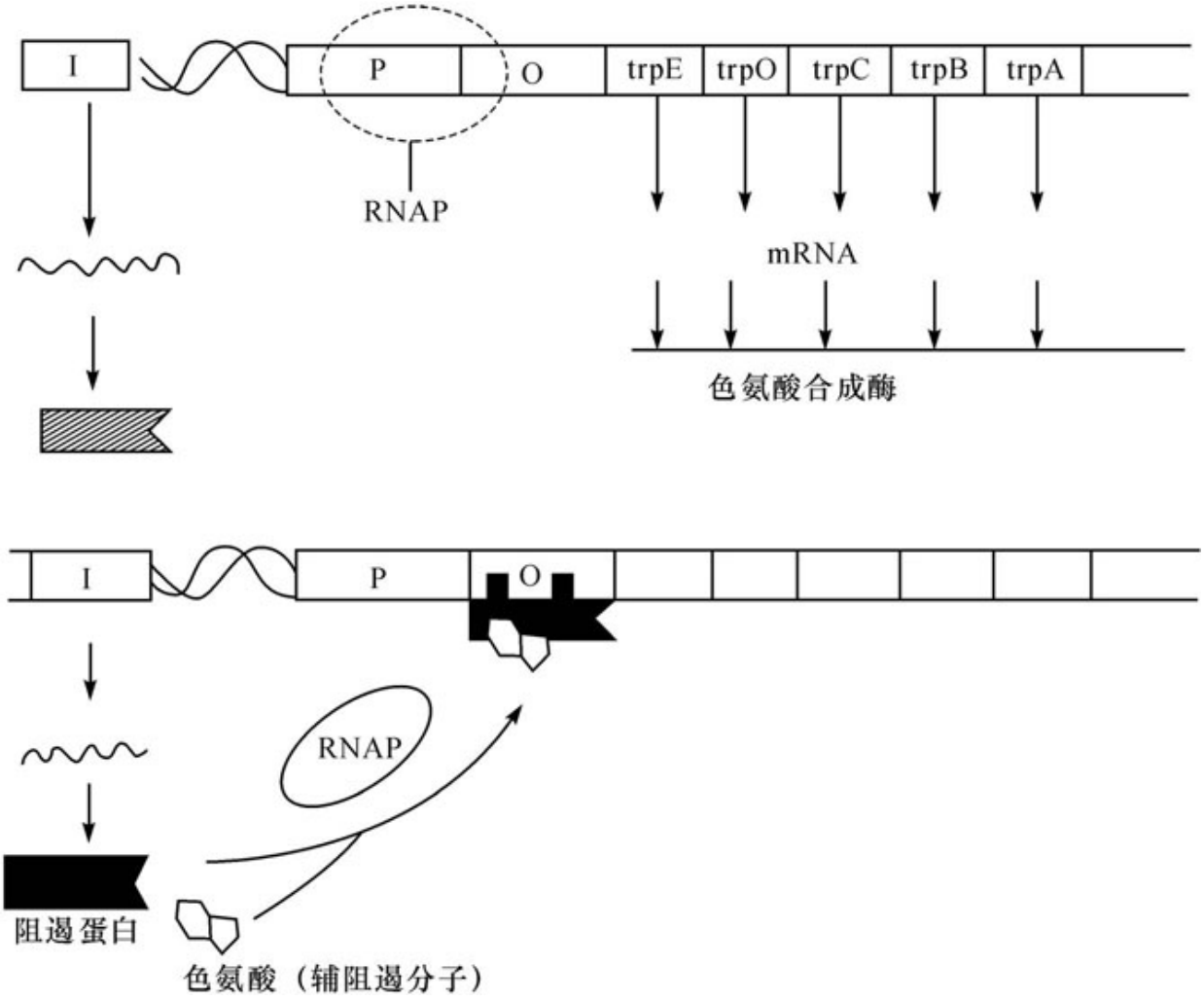


图2-1-9　色氨酸操纵子

（二）真核生物基因表达调控

真核生物基因表达调控与原核生物有很大的差异。原核生物同一群体的每个细胞都和外界环境直接接触，它们主要通过转录调控，以开启或关闭某些基因的表达来适应环境条件（主要是营养水平的变化），故环境因子往往是调控的诱导物。而大多数真核生物，基因表达调控最明显的特征是能在特定时间和特定的细胞中激活特定的基因，从而实现“预定”的，有序的，不可逆的分化和发育过程，并使生物的组织和器官在一定的环境条件范围内保持正常的生理功能。真核生物基因表达调控据其性质可分为两大类：第一类是瞬时调控或叫可逆调控，相当于原核生物对环境条件变化所作出的反应。瞬时调控包括某种代谢底物浓度或激素水平升降时及细胞周期在不同阶段中酶活性和浓度的调节。第二类是发育调节或称不可逆调控，这是真核生物基因表达调控的精髓，因为它决定了真核生物细胞分化、生长和发

育的全过程。根据基因调控在同一时间中发生的先后次序，又可将其分为转录水平调控，转录后的水平调控，翻译水平调控及蛋白质加工水平的调控。

1．转录水平的调控

Britten和Davidson于1969年提出的真核生物单拷贝基因转录调控的模型——Britten-Davidson模型。该模型认为在整合基因的5′端连接着一段具有高度专一性的DNA序列，称为传感基因。在传感基因上有该基因编码的传感蛋白。外来信号分子和传感蛋白结合相互作用形成复合物。该复合物作用于和它相邻的综合基因组，亦称受体基因，而转录产生mRNA，后者翻译成激活蛋白。这些激活蛋白能识别位于结构基因（SG）前面的受体序列并作用于受体序列，从而使结构基因转录翻译。

2．转录后水平的调控

真核生物基因转录在细胞核内进行，而翻译则在细胞质中进行。在转录过程中真核基因有插入序列，结构基因被分割成不同的片段，因此转录后的基因调控是真核生物基因表达调控的一个重要方面，首要的是RNA的加工、成熟。各种基因转录产物RNA，无论rRNA、tRNA还是mRNA，必须经过转录后的加工才能成为有活性的分子。

3．翻译水平上的调控

蛋白质合成翻译阶段的基因调控有三个方面：①蛋白质合成起始速率的调控；②mRNA的识别；③激素等外界因素的影响。蛋白质合成起始反应中要涉及核糖体、mRNA、蛋白质合成起始因子可溶性蛋白及tRNA，这些结构和谐统一才能完成蛋白质的生物合成。mRNA则起着重要的调控功能。

【例题解析】

例1　具有操纵子结构的生物是（　）

A．病毒

B．噬菌体

C．细菌

D．真核生物

解析　操纵子是原核生物在分子水平基调表达调控的单位，指由启动基因、操纵基因和一群功能相关的结构基因组成的复合单位。由操纵基因控制，一群功能相关的结构基因转录在一个mRNA分子中，翻译出几种蛋白质。噬菌体可以多个基因转录在一个，mRNA分子上，翻译出几种蛋白质。但这几个基因的转录并不是由操纵基因控制

的，而是这几个基因共用一个启动基因，在启动基因与结构基因之间没有操纵基因。

答案　C

例2　真核生物基因常含有内含子，但在成熟的mRNA上没有内含子。这是因为（　）

A．转录过程不合成同内含子相应的RNA

B．内含子被特殊的蛋白质切除

C．RNA剪切

D．RNA重组

解析　真核生物细胞核中，DNA链上具有不能编码蛋白质的片段即内含子和编码蛋白质的片段即外显子。转录后新合成的mRNA是未成熟的mRNA，又称为前体mRNA，这些RNA需要经过一定的加工过程。最简单的加工是在刚转录的RNA特定部位进行剪接，除去内含子，还要在转录后的RNA的5′端加一个甲基化的“帽子”，在3′端加上一个多聚腺苷酸的尾巴，最后形成有功能的成熟mRNA。

答案　C

例3　参与DNA复制的几种酶的作用次序是（　）

A．DNA解链酶→引发酶→DNA聚合酶→DNA连接酶→切除引物的酶

B．DNA解链酶→引发酶→DNA聚合酶→切除引物的酶→DNA连接酶

C．引发酶→DNA解链酶→DNA聚合酶→DNA连接酶→切除引物的酶

D．DNA解链酶→引发酶→切除引物的酶→DNA连接酶→DNA聚合酶

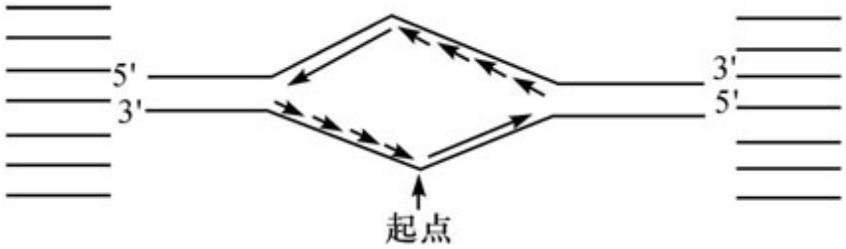
E．DNA聚合酶→引发酶→DNA解链酶→DNA连接酶→切除引物的酶

解析　DNA复制首先需要解链，这需要解链酶的作用，其次是合成引物，这是在引发酶催化下进行的，引物合成后，在DNA聚合酶作用下，从RNA引物3′端开始合成新的DNA链，使游离于核中的脱氧核苷酸准确地和DNA两条模板链上所暴露出来的碱基结合，再其次是切除冈崎片段上的引物，然后填补空缺，最后连接酶将相连的冈崎片段连接起来。

答案　B

例4　右图代表一个学生关于发生在动物细胞中的DNA合成的观点。箭头表示新合成的DNA。对此图的正确评价是（　）

A．正确
B．不正确，因为动物细胞中DNA的合成是单方向的
C．不正确，因为DNA合成是沿3′→5′方向进行的
D．不正确，因为在两条链上DNA的合成都是沿错误方向进行的



解析　基因组中能独立进行复制的单位称复制子，每个复制子都含有一个控制复制起始的起点。上图是一个复制单位进行双向、对称复制的图解。大多数生物染色体DNA的复制都是双向对称的。B不对：动物细胞中DNA合成也是双向的。C不对：DNA合成是在DNA聚合酶催化下沿5′→3′方向进行，至今尚未发现催化沿3′→5′方向进行合成的聚合酶。D不对：图中两条链上DNA的合成方向均沿5′→3′方向是正确的。

答案　A

例5　下面给出的基因模型中示出多肽肌肉酶的染色体“单拷贝”基因内部和周围的DNA组织情况。标明了转录的起始部位（ini）和终止部位（ter），翻译的起始密码子（sta）和终止密码子（sto），以及基因中内含子的界限（↓）。距离以千碱基（kb）表示，但未按比例画出。

	ini	sta	↓	↓	sto	ter
0	1.2	1.7	2.0	5.2	5.8	7.5

（1）这种肌肉酶多肽是由多少个氨基酸组成的？假定此酶不发生任何翻译后的加工。

（2）在核糖体上被使用的肌肉酶mRNA是由多少个核苷酸组成的？假定在mRNA起作用之前在其3′端连有一个100个核苷酸的多聚A尾。

解析　从起始部位（ini）开始到终止部位（ter）结束，转录成的mRNA前体长度为（7.5—1.2）kb＝6.3kb，经过加工切去了内含子（5.2—2.0）kb＝3.2kb，并加上多聚A尾0.1kb，则最终mRNA的长度为（6.3－3.2＋0.1）kb＝3.2kb，即3200个核苷酸。该mRNA的编码

区长度为（5.8－1.7－3.2）kb＝0.9kb，即900个核苷酸，共编码900/3＝300个氨基酸。

答案　（1）300个氨基酸　（2）3200个核苷酸

【针对训练】

1．组成mRNA分子的4种单核苷酸能组成多少种密码子（　　）

A．16

B．32

C．46

D．64

2．下列有关tRNA的叙述中，哪一项是错误的（　　）

A．tRNA二级结构是三叶草形

B．tRNA分子中含有稀有碱基

C．tRNA的二级结构中有二氢尿嘧啶环

D．反密码子环上由CCA3个碱基组成反密码子

3．从某种病毒中提取出核酸，经测定，其碱基的组成中A与T含量相等，C与G的含量相等。以下有关这种病毒种类的结论哪个正确（　　）

A．RNA

B．单链DNA

C．双链DNA

D．环状DNA

4．关于RNA一级结构的叙述哪项是对的（　　）

A．几千至几千万个核糖核苷酸组成单核苷酸链

B．单核苷酸之间是通过磷酸酯键相连

C．RNA分子中含有稀有碱基

D．mRNA的一级结构决定了DNA的核苷酸顺序

5．两种DNA分子（①和②）有相同的碱基对（1000bp），但它的碱基组成不同：①含有44%的G＋C；②含有66%的G＋C。在DNA的①和②中各有多少T（　　）

A．340　560

B．240　480

C．560　340

D．480　240

6．有关DNA的描写哪项是错误的（　　）

A．mRNA分子中含有遗传密码

B．tRNA是相对分子质量最小的一种RNA
C．RNA可分成mRNA、tRNA、rRNA
D．胞浆中只有mRNA
E．rRNA存在于核糖体中
7．控制合成核糖体RNA的模板DNA存在于细胞中的（　　）
A．核仁上
B．染色体上
C．线粒体内
D．叶绿体内
8．关于DNA半保留复制描述错误的是（　　）
A．以亲代DNA为模板，根据碱基互补规律，以四种核苷三磷酸为原料，合成子代DNA
B．碱基互补规律是A配T，G配C
C．首先在引物酶作用下，以核糖核苷三磷酸为原料，合成小分子的RNA引物
D．Mg^{2+}、解旋蛋白、解链蛋白等是复制必需的辅助因子
E．新合成的子代DNA分子与亲代DNA分子的碱基顺序完全相同
9．在DNA半保留复制中，辨认起始点主要依赖于（　　）
A．解旋蛋白
B．解链蛋白
C．引物酶
D．DNA合成酶
E．连接酶
10．热变性的DNA分子，在适当条件下可以复性，条件之一是（　）
A．浓缩
B．加入无机盐
C．骤然冷却
D．缓慢冷却
11．关于RNA的生物合成描述正确的是（　　）
A．DNA分子中两条链都可以作为模板合成RNA
B．以四种核糖核苷三磷酸为原料在RNA聚合酶的作用下合成RNA
C．RNA聚合酶又称RNA指导的RNA合成酶
D．RNA链延伸的方向是从3′→5′
E．RNA聚合酶存在于胞液中

12．以RNA为模板，即按照RNA中核苷酸顺序合成DNA（称逆转录），此过程中需要的酶是（　）

A．DNA指导的DNA聚合酶

B．RNA指导的RNA聚合酶

C．RNA指导的DNA聚合酶

D．DNA指导的RNA聚合酶

13．在DNA复制时与核苷酸链5′—T—G—A—C—3′补的链是（　　）

A．5′—A—C—T—G—3′

B．5′—G—T—C—A—3′

C．5′—C—T—G—A—3′

D．5′—T—G—A—C—3′

E．5′—G—A—C—T—3′

14．下列能参与DNA合成的原料是（　　）

A．dGTP

B．ATP

C．TTP

D．dUTP

15．有关mRNA描述错误的是（　　）

A．mRNA是指导蛋白质合成的直接模板

B．mRNA分子每相邻的3个碱基为1个密码子

C．4种核苷酸（4^3）可形成64个密码子分别代表64种氨基酸

D．AUG除作为蛋氨酸的密码外，还兼作启动密码

E．翻译过程是核蛋白体沿mRNA的5′端向3′滑动，肽链不断延伸的过程

16．稀有核苷酸碱基主要是在下列哪类核酸中发现（　　）

A．rRNA

B．mRNA

C．tRNA

D．核仁DNA

17．mRNA链的密码是ACG时，tRNA相应的反密码是（　　）

A．UCG

B．AGC

C．CGU

D．ACG

E．UGC

18．用下列哪种情况的肺炎球菌感染健康小鼠会使之生病和死亡（　　）

A．加热杀死的

B．活的，但缺乏多糖荚膜

C．加热杀死的肺炎球菌和缺乏细胞荚膜的肺炎球菌的混合物

D．既缺乏多糖又加热杀死的

19．某一蛋白质一级结构上正常的谷氨酸变成了缬氨酸，则此蛋白质结构改变关键原因是（　）

A．DNA分子上相应结构基因核苷酸顺序的错误

B．mRNA密码的错误

C．tRNA携带氨基酸错误

D．rRNA转肽的错误

E．核蛋白体大小亚基结构异常导致的错误

20．逆转录酶是什么聚合酶（　　）

A．以DNA为模板的RNA

B．以RNA为模板的DNA

C．以RNA为模板的RNA

D．以DNA为模板的DNA

21．关于蛋白质生物合成描述错误的是（　　）

A．参与合成的所有氨基酸必须先进行活化

B．由转氨酶催化各种氨基酸以肽键相连

C．Mg^{2+}、多种蛋白质因子是合成蛋白质不可缺少的辅助因子

D．肽链延伸的方向是从N端到C端

E．合成时由ATP和GTP供给能量

22．限制性内切酶可以专一地识别（　　）

A．双链DNA的特定碱基对

B．双链DNA的特定碱基序列

C．特定的三联体密码子

D．以上都不对

23．真核生物在蛋白质生物合成过程中，每形成1个肽键至少要消耗（　　）

A．1个高能磷酸键

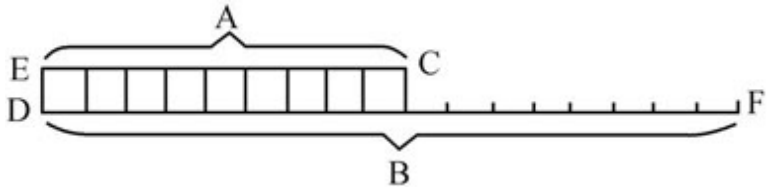
B．2个高能磷酸键

C．3个高能磷酸键

D．4个高能磷酸键

E．5个高能磷酸键

24～26题见下图（表明为DNA聚合酶作用的底物）



24．图中A代表（　　）
A．引物
B．模板
C．引物的3′末端
D．引物的5′末端
25．图中D代表（　　）
A．引物的3′末端
B．模板的3′末端
C．引物的5′末端
D．模板的5′末端
26．图中E代表（　　）
A．引物的3′末端
B．模板的3′末端
C．引物的5′末端
D．模板的5′末端
27．mRNA的模板链为：5′CTT　TGA　TAA　GGA　TAG　CCC　TTC　3′被转录后，mRNA的碱基序列是（　　）
A．5′　GAA　ACU　AUU　CCU　AUC　GGG　AAG　3′
B．5′　GAA　GGG　CUA　UCC　UUA　UCA　AAG　3′
C．5′　CTT　CCC　GAT　AGG　AAT　AGT　TTC　3′
D．5′　GAA　ACT　ATT　CCT　ATC　GGG　AAG　3′
28．mRNA中代表肽链合成终止密码子的是（　　）
A．UAA　UGA　UAG
B．UGA　UAG　UCA
C．UAC　UCA　UAG
D．UAG　AUG　AGU
E．AUG　AGU　UAA
29．果蝇幼虫唾液腺细胞中，多线染色体的膨泡显示的是（　　）
A．重复序列的DNA复制

B．RNA转录
C．合成分泌性蛋白质
D．大量合成卵黄蛋白
30．一个mRNA分子的部分核苷酸顺序如下：5′…GAG　CUG　AUU　UAG　AGU…3′，其密码编号是121，122，123，124，125经翻译后合成的多肽链含（　　）
A．121个氨基酸残基
B．122个氨基酸残基
C．123个氨基酸残基
D．124个氨基酸残基
E．125个氨基酸残基
31．正常出现肽链终止，是因为（　　）
A．一个与链终止三联体相应的tRNA不能带氨基酸
B．不具有与链终止三联体相应的反密码子tRNA
C．mRNA在链终止三联体处停止合成
D．由于tRNA上出现终止密码
32．组蛋白抑制蛋白质生物合成的机制是（　　）
A．和tRNA结合，影响氨基酸的活化
B．抑制转肽酶的活性
C．抑制蛋白质合成的起始复合体的形成
D．与DNA结合，抑制DNA基因的开放
E．与mRNA结合，抑制氨基酰-tRNA上反密码子的识别作用
33．人类的白化病是一种缺乏合成黑色素的酶所致的先天性代谢病，编码这种酶的基因是（　　）
A．微效基因
B．假基因
C．调节基因
D．结构基因
34．造成苯丙酮尿症是由于缺少什么基因控制造成的（　）
A．一种激素
B．一种酶
C．肝细胞
D．智力低下
35．引起镰形细胞贫血症的Hbβ链突变的分子机制是（　）
A．移码突变
B．碱基缺失

C．碱基置换
D．碱基插入
36．果蝇全部基因组含有1.65×10^8bp（碱基对），如果DNA是一长线状分子，每秒复制30bp，只有一个双向复制起点，且起点在中点，全部基因组要复制多少天（　）
A．24天
B．32天
C．28天
D．42天
37．果蝇全部基因组含有1.65×10^8bp（碱基对），如果DNA是一长线状分子，每秒复制30bp，共有2000个双向复制起点，全部基因组要复制多少时间（　）
A．23min
B．32min
C．56min
D．44min
38．对基因结构和功能的叙述中，不正确的是（　）
A．结构基因是决定某种多肽链结构的一段DNA，有许多外显子和内含子
B．调节基因可以调节不同染色体上的结构基因
C．操纵基因是不能转录的DNA片段，只能操纵同一条染色体上的结构基因
D．调节基因是没有转译产物的基因
39．将乳糖加到以葡萄糖为碳源的大肠杆菌培养基之中，则大肠杆菌细胞内参与乳糖代谢的酶（　）
A．将被合成，因为乳糖是乳糖操纵子的诱导物
B．将被合成，但没有活性
C．将不被合成，因为在葡萄糖存在时，有阻遏物的阻遏作用
D．将部分地被合成，接着在翻译水平上被中断
40．真核细胞参与基因表达调节的调控区比原核细胞复杂是因为（　）
A．真核细胞的细胞核具有双层膜
B．原核细胞的基因总是以操纵子的形式存在
C．原核细胞调节基因表达主要是在翻译水平
D．真核细胞需要控制细胞特异性的基因表达

41．DNA分子双螺旋结构模型提出之后，人们又去探究DNA是如何传递遗传信息的。当时推测可能有如图甲所示的三种方式。1958年，Meslson和Stahl用密度梯度离心的方法，追踪由^{15}N标记的DNA亲本链的去向，实验过程是：在氮源为^{14}N的培养基上生长的大肠杆菌，其DNA分子均为^{14}N-DNA（对照），在氮源为^{15}N-DNA的培养基上生长的大肠杆菌，其DNA均为^{15}N-DNA（亲代），将亲代大肠杆菌转移到含，^{14}N的培养基上，再连续繁殖两代（子代Ⅰ和子代Ⅱ）后，离心得到如图乙所示的结果。请依据上述材料回答下列问题。

（1）预期实验结果和相应结论：

预期a：如果与对照相比，子代Ⅰ能分辨出1轻1重两条带，则说明DNA传递遗传信息的方式是_____。

预期b：如果子代Ⅰ只有1条中等密度带，则可以排除DNA传递遗传信息的方式是_____。

预期c：如果子代Ⅰ只有1条中等密度带，再继续做子代Ⅱ的DNA密度鉴定，①若子代Ⅱ可以分出50%中等密度带。则可以排除DNA传递遗传信息的方式是_____的可能。②若子代Ⅱ不能分出中、轻两条密度带，则可以排除DNA传递遗传信息的方式是_____的可能。

（2）他们观测的实验数据如下：

梯度离心DNA浮力密度（g/mL）表

世代	实验	对照
亲代	1.724	1.710
子Ⅰ代	1.717	1.710
子Ⅱ代	(1/2)1.717，(1/2)1.710	1.710
子Ⅲ代	(1/4)1.717，(3/4)1.710	1.710

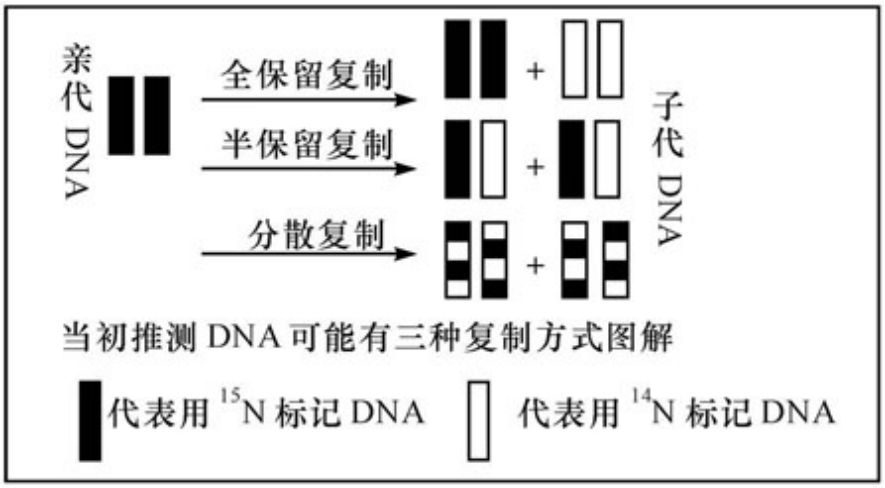


图 甲

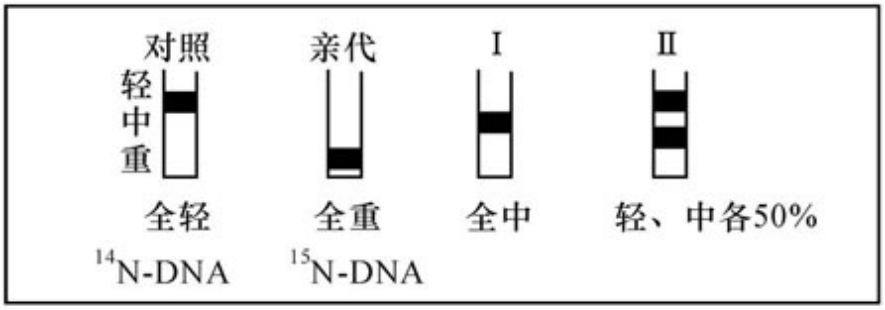


图 乙

第14题图

分析实验数量结果可知：结果与预期中的_____相吻合。

【参考答案】

1．D　2．D　3．C　4．C　5．C　6．D　7．B　8．A　9．C　10．D　11．B　12．C　13．B　14．A　15．C　16．C　17．C　18．C　19．A　20．B　21．B　22．B　23．D　24．A　25．B　26．C　27．B　28．A　29．B　30．C　31．B　32．D　33．D　34．B　35．C　36．B　37．A　38．D　39．C　40．D　41．（1）a．全保留复制　B．全保留复制　C．①分散复制　②半保留复制　（2）半保留复制的推测

第2讲　遗传的基本定律

（杭州二中　金永生）

【知识梳理】

一、孟德尔分析中的关键词

1．性状：生物体所表现的形态特征和生理特征。

2．单位性状：指被区分的每一个具体性状。

3．相对性状：一种生物同一种性状的不同表现类型。例如：兔的长毛和短毛；人的卷发和直发等。

4．基因：基因是位于染色体上具有特定核苷酸顺序的DNA片段，是储存遗产信息的功能单位。

5．基因座：基因在染色体上所处的位置。

6．等位基因：在同源染色体上占据相同座位的两个不同形式的基因，是由突变所造成的许多可能状态之一。

7．显性基因：在杂合状态中，能够表现其表型效应的基因。

8．隐性基因：在杂合状态中，不表现其表型效应的基因。

9．基因型：个体或细胞的特定基因的组成。

10．表现型：生物体某特定基因所表现的性状，包括形态特征和生理特征。

11．纯合体：基因座上有两个相同的等位基因的个体，称为纯合体，或称同质基因或基因的同质结合。

12．杂合体：基因座上有两个不同的等位基因的个体。这种基因又称异质基因，或基因的异质结合。

13．真实遗传：子代性状永远与亲代性状相同的遗传方式，或亲代所具有的特征，该特征在以后各代保持不变的现象。

14．回交：杂交产生的子代个体再与亲本个体进行交配的方式。

15．杂交：遗传因子组成不同的个体之间的相交方式。

16．自交：遗传因子组成相同的个体之间的相交方式。

17．测交：F_1（待测个体）与隐性纯合子杂交的方式。

18．正交和反交：两者是相对而言的，

如甲（♀）×乙（♂）为正交，则甲（♂）×乙（♀）为反交；

如甲（♂）×乙（♀）为正交，则甲（♀）×乙（♂）为反交。

二、孟德尔遗传定律的归纳

1．两大遗传定律的比较（表2-2-1）

表2-2-1　基因的分离定律与自由组合定律

比较项目			基因的分离定律	基因的自由组合定律
相对性状			1对	2对或多对
等位基因对数			1对	2对或多对
等位基因与染色体的关系			位于一对同源染色体上	分别位于不同对的同源染色体上
细胞学基础			减数第一次分裂后期,同源染色体分离	减数第一次分裂后期,同源染色体分离,非同源染色体自由组合
实　质			等位基因随同源染色体的分开而分离	同源染色体上等位基因分离的同时,非同源染色体上的非等位基因自由组合
F_1	基因对数		1	2或n
	配子	类型	2	2^2或2^n
		比例	1∶1	$(1∶1)^2$或$(1∶1)^n$
		组合数	4	4^2或4^n
F_2	基因型种数		3	3^2或3^n
	表现型	种数	2	2^2或2^n
		比例	3∶1	$(3∶1)^2$或$(3∶1)^n$
F_1测交子代	基因型种数		2	2^2或2^n
	表现型	种数	2	2^2或2^n
		比例	1∶1	$(1∶1)^2$或$(1∶1)^n$
联　系			两大遗传定律在生物的性状遗传中同时存在,共同起作用。基因的分离定律是基因自由组合定律的基础	

2．两大遗传定律的适用条件

（1）行有性生殖的生物的性状遗传。两大遗传定律的实质是等位基因随同源染色体的分离而分离，非等位基因随非同源染色体的自由组合而组合，而同源染色体的分离与自由组合是进行有性生殖的生物进行减数分裂时特有的行为。

（2）分离定律只适用于一对相对性状的遗传。两对或两对以上相对性状间的遗传问题，需要自由组合定律来解决。

（3）杂交的两个亲本必须是纯合子。所研究的每一对相对性状是受一对等位基因控制的，而且是完全显性。控制不同对相对性状的等位基因位于不同对的同源染色体上，且彼此之间独立遗传。

（4）与性别无关，不论正交、反交，其比例都一样。

（5）要假设全部配子发育良好以及没有选择受精和异花传粉的情况。所有的杂种后代都应处于比较一致的环境中，而且存活力相同。

供试验的群体要大，个体数量要足够多。

三、孟德尔遗传定律的拓展

（一）等位基因间的相互作用

生物性状的表现，不只是受基因的控制，也受外界环境条件和生物体内生理条件的影响。任何生物都不能脱离外界环境而生存。所以说，任何性状的表现都是基因型和内外环境条件相互作用的结果。基因是通过控制生化过程而控制其性状表达的。等位基因之间的显隐性关系不是彼此之间直接抑制或促进的关系，而是分别控制各自决定的生化代谢过程而控制不同性状的表现。有一种太阳红玉米，红色对正常绿色为显性，但是红色只有在直射阳光下才能表现出来，若遮盖起来，就表现不出红色来，仍为绿色。说明这个显性基因在阳光直射的条件下是显性，在没有阳光的条件下是隐性。这说明显隐性的关系是相对的，有条件的。

孟德尔杂交实验的豌豆7对相对性状中，显性现象都是完全的，杂合体（例如Tt）与显性纯合体（例如TT）在性状上几乎完全不能区别。但后来发现有些相对性状中，显性现象是不完全的，或者显隐关系可以随所依据的标准而改变的。但这并不有悖于孟德尔定律，而是进一步发展和扩充。

1．不完全显性

德国学者柯伦斯，在紫茉莉的杂交实验中发现，杂种表现型不一定都倾向于某一亲本的性状，也可以是双亲性状的中间性状，如图2-2-1所示。两杂交亲本的花色分别为红色和白色，F_1的花色为粉红色，F_1自交，F_2的花色出现了红色，粉红色和白色，其比例为1∶2∶1。这种现象称为不完全显性。



图2-2-1　紫茉莉花色的遗传

2．等显性

双亲性状同时在后代个体上出现，这是由于控制某性状的一对等位基因各自产生互有差异的酶并分别发生作用的结果。例如人的AB血

型，血型是由红细胞表面抗原决定的，决定AB血型的I^A与I^B基因各自控制产生N-乙酰D-半乳糖胺转移酶和D-半乳糖转移酶，前者能把N-乙酰D-半乳糖胺转移到血细胞表面的蛋白质多肽链上，构成含N-乙酰D-半乳糖胺的寡多糖侧链，结果就形成A抗原，后者能把D-半乳糖转移到血细胞表面的蛋白质多肽链上，构成含D-半乳糖的寡多糖侧链，结果形成B抗原。这样。I^A与I^B基因则同时产生两种酶，而形成两种不同的抗原，则表现为AB血型。

MN血型也是等显性的实例，MN血型是红细胞系统的一种，这种血型可分为M型、N型和MN型。MN型是L^M、L^N这一对等位基因共同作用的结果。

3．镶嵌显性

双亲的性状在后代的同一个体不同的部位表现出来，这种双亲的性状就不一定有显隐性之分。例如，我国学者谈家桢先生对异色瓢虫色斑遗传的研究，他用黑缘型鞘翅（S^{Au} S^{Au}）瓢虫（鞘翅前缘呈黑色）与均色型鞘翅（S^E S^E）瓢虫（鞘翅后缘呈黑色）杂交，子一代杂种（S^{AU} S^E）既不表现黑缘型也不表现均色型，而出现一种新的色斑，即上下缘均呈黑色，在植物中，玉米花青素的遗传也表现出这种现象。

4．条件显性

条件显性是指等位基因之间的显性关系因环境因素的影响而改变。例如，人类秃顶是由于秃顶基因B的作用，在男性BB，Bb皆表现为显性，出现秃顶性状，而在女性Bb则表现为隐性，只有BB时才表现出秃顶性状，因而秃顶在女性中少见。这表明不同性别的生理环境影响了基因的显隐性表现。纯质紫茎曼陀罗与纯质绿茎曼陀罗杂交，如果F_1夏季生长在室外，表现为紫茎性状，紫茎对绿茎是完全显性，F_1冬季生长在温室中，茎的颜色为浅紫色，紫茎表现为不完全显性；小麦的分枝与不分枝性状显隐性关系也是随着条件而变化的，水肥条件好的情况下，分枝为显性，水肥条件差时，分枝这一性状又表现为隐性。

5．致死基因

孟德尔的论文被重新发现后不久，约在1907年，法国学者库恩奥就发现小鼠中黄鼠不能真实遗传，不论黄鼠与黄鼠相交，还是黄鼠与黑鼠相交，子代都出现分离：

黄鼠×黑鼠→黄鼠2378，黑鼠2398

黄鼠×黄鼠→黄鼠2396，黑鼠1235

从上面第一个交配看来，黄鼠很像是杂种，因为与黑鼠的交配结果，下代分离为1：1。如果黄鼠是杂合体，则黄鼠与黄鼠交配，子代的分离比应该是3：1，可是从上面第二个交配的结果看来，倒是与2：1很适合。那么这是怎么一回事呢？以后研究发现，在黄鼠×黄鼠的子代中，每窝小鼠数比黄鼠×黑鼠少一些，大约少1/4左右，这表明有一部分合子——纯合体黄鼠在胚胎期死亡了。如图2-2-2分析。

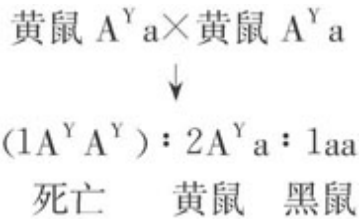


图2-2-2　黄鼠纯合致死基因

那就是说，黄鼠基因A^Y影响两个性状：毛皮颜色和生存能力。A^Y在体色上有一显性效应，它对黑鼠基因a是显性，杂合体A^Ya的表型是黄鼠。但黄鼠基因A^Y在致死作用方面存在隐性效应，因为黄鼠基因要有两份时。即纯合体A^YA^Y时，才引起合子的死亡。

6．复等位基因的遗传

上面所讲的总是一对等位基因，如豌豆的红花基因与白花基因；小鼠的黄色基因与黑色基因。其实一个基因可以有很多等位形式，如a_1，a_2，…，a_n，但就每一个二倍体细胞来讲，最多只能有其中的两个，而且分离的原则也是一样的。像这样，一个基因存在很多等位形式，称为复等位现象。在一个复等位基因的系列中，可能有的基因型数目取决于复等位基因的数目。计算公式为：基因型数目＝n（n＋1）/2（n代表复等位基因数目）。其中纯合体数＝n，杂合体数＝n（n—1）/2，这称为复等位基因的多态现象。

（1）ABO血型

人类ABO血型系统是复等位基因系列的经典例子。抗原A和抗原B的等位基因I^A和I^B是等显性，I^A和I^B对无抗原的等位基因i都呈完全显性。这三个等位基因间的显性关系为：$I^A=I^B>i$。

为鉴定ABO血型系统的四种血型，需要两种抗血清（抗体A和抗体B）。ABO血型与基因型关系见表2-2-2。

表2-2-2　ABO血型与基因型关系

基因型	同抗体反应		表现型（血型）
	抗体 A	抗体 B	
I^AI^A　I^Ai	＋	－	A
I^BI^B　I^Bi	－	＋	B
I^AI^B	＋	＋	AB
ii	－	－	O

（2）Rh血型与母子间不相容

Rh血型最初认为是由一对等位基因R和r决定。RR和Rr为Rh^+，rr为Rh^-。现在知道Rh血型由18个以上复等位基因决定的。

Rh^-个体在正常情况下不含Rh^+细胞的抗体，但在①Rh^-个体反复接受Rh^+个体血液，就可能产生抗体。②Rh^-母亲怀Rh^+的胎儿，在分娩时，Rh^+胎儿的红细胞有可能通过胎盘进入母体血液，使Rh^-的母亲产生抗体，当怀第二胎时，胎儿为Rh^+，可造成胎儿死亡或生一个患溶血症的新生儿。

（3）自交不亲合

同类相抗，自交不育，保证了异花传粉受精。烟草是自交不育的，已知至少有15个自交不亲合基因，它们是S_1，S_2，S_3，…，S_{15}，构成一个复等位基因系列，相互无显隐关系。烟草的部分不亲合基因的作用如表2-2-3：

表2-2-3　烟草的不亲合基因的作用

♀ \ ♂	S_1、S_3	S_1、S_2	S_2、S_3
S_1S_3	——	S_1S_3、S_2S_3	S_1S_2、S_1S_3
S_1S_2	S_1S_2、S_2S_3	——	S_1S_2、S_1S_3
S_2S_3	S_1S_2、S_2S_3	S_1S_3、S_2S_3	——

（二）非等位基因间的相互作用

当几个处于不同染色体上非等位的基因影响同一性状时，产生基因间的相互作用，导致孟德尔比例被修饰。生物的多数性状都不是单个基因决定的，几乎都是基因相互作用的结果。因此，基因间的相互作用应该被视为孟德尔第二定律的扩展，而不是有悖于它。

1．互作基因

不同对的两个基因相互作用，出现了新性状，如鸡冠形状的遗传。鸡冠的形状除常见的单冠外，还有豌豆冠、玫瑰冠、胡桃冠等。设控制玫瑰冠的基因是R，控制豌豆冠的基因是P，而且都是显性的，则玫瑰冠的鸡没有显性豌豆冠基因，所以基因型是RRpp；而豌豆冠的鸡的基因则是：rrPP（图2-2-3）。

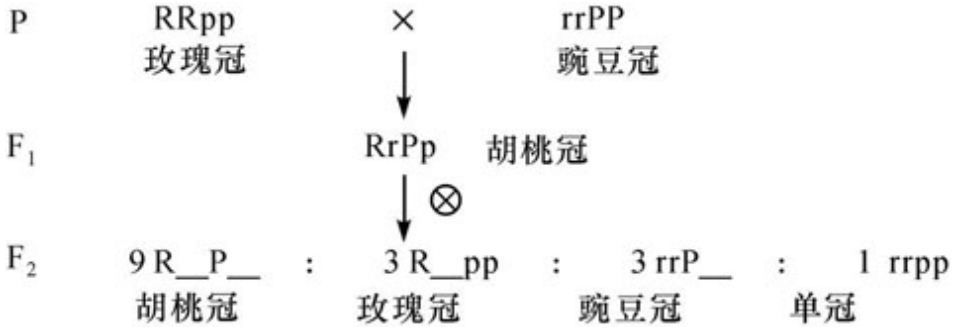


图2-2-3　鸡冠形状的遗传

由图2-2-3可知，显性的R、P基因相互作用出现胡桃冠，隐性的r、p基因相互作用形成单冠。F_2中4种表型的比例为9∶3∶3∶1，但显然不同于孟德尔所假设的两对基因决定两对相对性状的情况。

2．互补基因

若干非等位显性基因只有同时存在时才出现某一性状，其中任何一对基因呈隐性状态时，都会出现突变型性状。这些基因称为互补基因，孟德尔比例被修饰为9∶7。

AaBb⊗→F_2：9（A_B_）：7（3A_bb＋3aa B_＋1aabb）

AaBb×aabb→Ft：1（AaBb）：3（Aabb＋aaBb＋aabb）

例：香豌豆中两个白花品种的植株杂交，F_1表现为红花。F_1自交，F_2出现红花和白花，成9∶7的表型比（图2-2-4）。

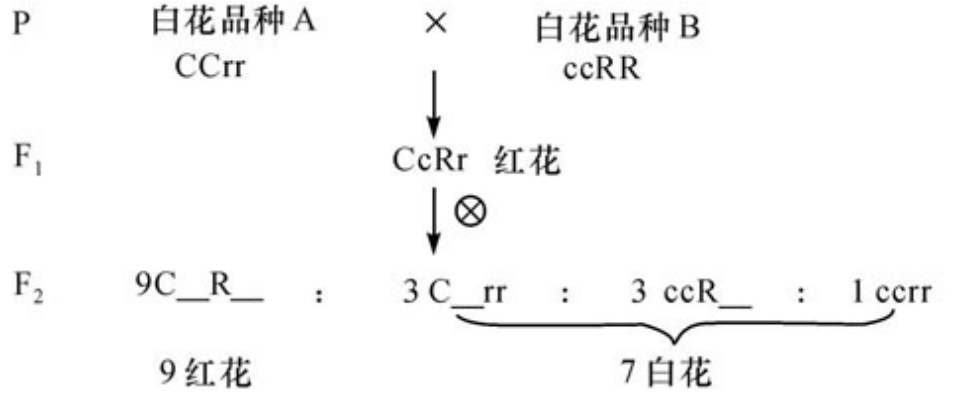


图2-2-4　香豌豆花色的遗传

由图2-2-4可知，只有显性基因C与显性基因R同时存在时，才表现为红花。

3．抑制基因

一种显性基因本身并不直接控制性状的发育，但可抑制其他显性基因的表现，只有在抑制基因不存在时，被抑制的基因才得到表现。孟德尔比例被修饰为13∶3（I是抑制基因）。

IiAa⊗→F_2：13（9I_A_＋3I_aa＋1iiaa）∶3（iiA_）

IiAa×iiaa→F_t：3（IiAa＋Iiaa＋iiaa）∶1（iiAa）

例：家蚕有结黄茧的，也有结白茧的，将结黄茧的家蚕与结白茧的中国品种交配，F_1全是结黄茧的，这说明中国品种的白茧是隐性的。但将结黄茧的家蚕与结白茧的欧洲品种交配，F_1全是结白茧的，这说明欧洲品种的白茧是显性的。再将结白茧的F_1相互杂交。F_2结黄茧与结白茧的比例为13∶3（图2-2-5）。

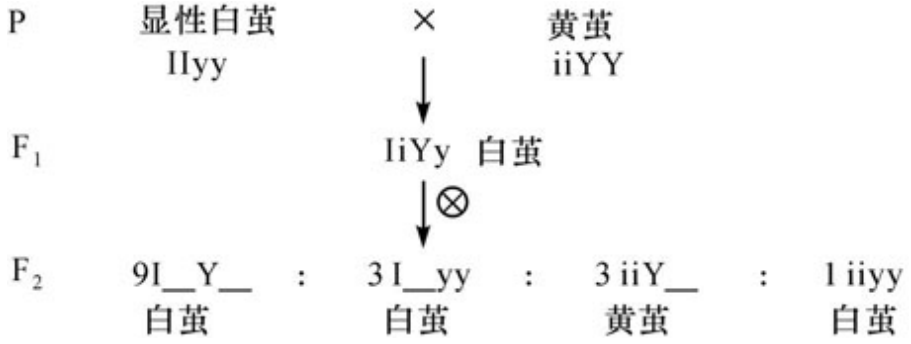


图2-2-5　家蚕茧色的遗传

由图2-2-5可知，黄茧基因是Y，白茧基因是y，另外还有一个非等位的抑制基因I，有它存在时，可抑制Y基因的作用，使Y不能显出作用来。

4．上位效应

一对基因影响了另一对非等位显性的效应，这种非等位基因间的相互作用方式称为上位性。上位性与显性相似，因为这两者都是一个基因掩盖了另一个基因的表达。区别就在于显性是一对等位基因中一个基因掩盖另一个基因的作用，而上位效应是非等位基因之间的掩盖作用，掩盖者称为上位基因，也称异位显性。被掩盖者称为下位基因。

（1）显性上位：影响同一性状的2对（或多对）等位基因在一起时，1对等位基因中的显性基因制约了其他对基因（下位基因）的作

用，只有当显性上位基因不存在时，下位基因才得以表现。孟德尔比例被修饰为12∶3∶1（A是上位基因，B、b是下位基因）。

AaBb⊗→F_2：12（9A_B_＋3A_bb）∶3（aaB_）∶1（aabb）

AaBb×aabb→F_t：2（AaBb＋Aabb）∶1（aaBb）∶1（aabb）

例：燕麦中黑颖品系与黄颖品系杂交，F_1全是黑颖，F_2的分离比是12黑颖∶3黄颖∶1白颖（图2-2-6）。

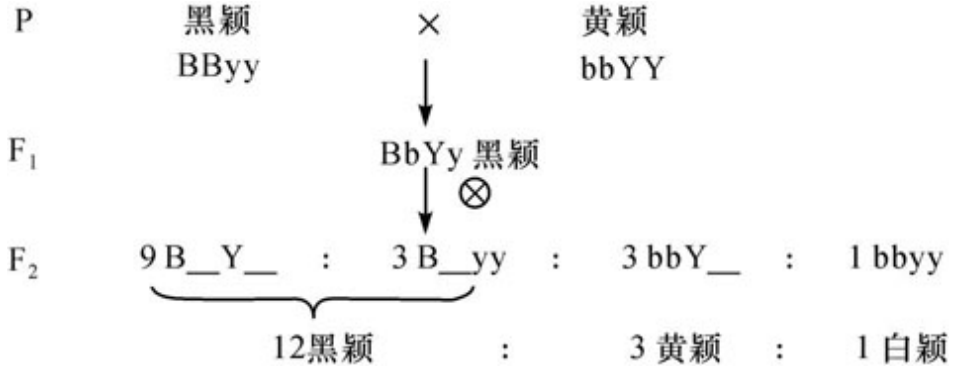


图2-2-6　燕麦外颖颜色的遗传

由图2-2-6可知，控制燕麦外颖颜色的两对基因中，显性基因B是上位基因，只要有一个B基因存在植株就表现黑颖，即B基因能掩盖另一对非等位基因Y、y的作用。在没有B基因存在的条件下，即基因型为bb的植株中，Y、y的作用（分别控制黄颖、白颖）才得以表现。

（2）隐性上位

一对基因中的隐性基因制约了其他对基因（下位基因）的作用，即某对隐性基因纯合时，使其他基因不能表达。孟德尔比率被修饰为9∶3∶4（a是上位基因，B、b是下位基因）。

AaBb⊗→F_2：9（A_B_）∶3（A_bb）∶4（3aaB_＋1aabb）

AaBb×aabb→F_t：1（AaBb）∶1（Aabb）∶2（1aaBb＋1aabb）

例：家兔中有灰色和白色，将这两种毛色类型的纯种家兔进行杂交，结果如下：

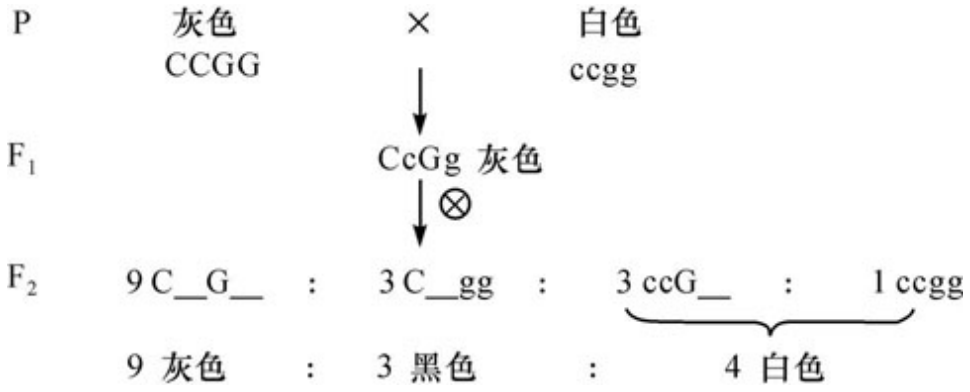


图2-2-7　家兔毛色的遗传

由图2-2-7可知，在C基因存在时，基因型GG、Gg表现为灰色，gg表现为黑色；在C基因不存在时，即在cc的个体中，不论GG、Gg还是gg，都表现为白色。也就是说，一对隐性基因cc掩盖了基因G、g的作用，具有上位效应。

5．重叠基因

不同对基因对表现型产生相同的影响，只要其中一个显性基因存在，性状即可表达。孟德尔比例被修饰为15∶1（以A_1、a1和A_2、a2来表示两对基因的非等位关系）。

$A_1a1A_2a2\otimes$→F2：15（$9A_1_A_2_+3A_1_a2a2+3a1a1A_2_$）∶1（a1a1a2a2）

$A_1a1A_2a2\times a1a1a2a2$→Ft：3（$A_1a1A_2a2+A_1a1a2a2+a1a1A_2a2$）∶1（a1a1a2a2）

例：常见的荠菜植株结三角形蒴果（$A_1A_1A_2A_2$），极少数植株结卵形蒴果（a1a1a2a2），将这两种植株杂交，F_1全是三角形蒴果（A_1a1A_2a2），F_1自交，F_2代出现15/16三角形蒴果和1/16卵形蒴果（图2-2-8）。

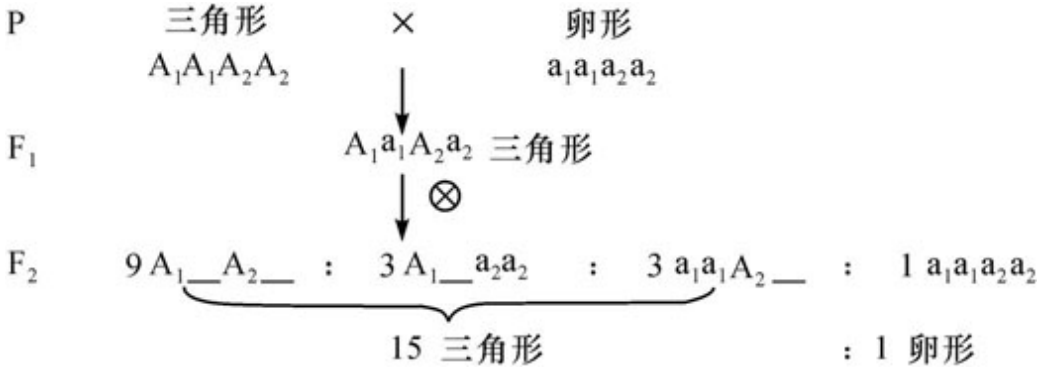


图2-2-8　荠菜蒴果形状的遗传

在图2-2-8所示过程中，只要有显性基因A_1或A_2存在，就足以使三角形果实这一性状得到完全表现，否则为卵形。

6．累加作用

当两种显性基因同时存在时，产生一种新性状，单独存在时分别表现出两种相似的性状。孟德尔比例被修饰为9∶6∶1。

AaBb⊗→F_2：9（A_B_）：6（3A_bb＋3aaB_）：1（aabb）

AaBb×aabb→Ft：1（AaBb）：2（Aabb＋aaBb）：1（aabb）

例：圆球形南瓜（AAbb）和圆球形南瓜（aaBB）杂交，F_1是扁盘形南瓜（AaBb），F_2代出现三种果形的南瓜：9/16扁盘形（A_B_），6/16圆球形（A_bb＋aaB_），1/16长形（aabb）。

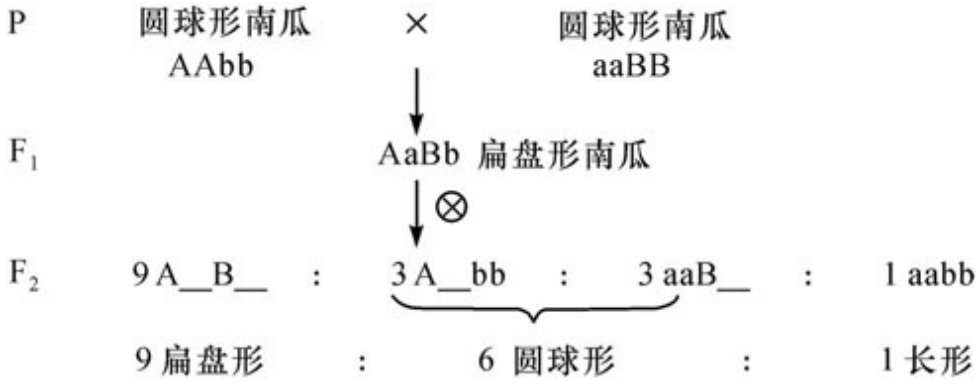


图2-2-9　南瓜形状的遗传

若是微效基因累加，则更复杂。

$$A_1a_1A_2a_2 \otimes \longrightarrow F_2:1(4A,A_1A_1A_2A_2):4(3A,2A_1A_1A_2a_2+2A_1a_1A_2A_2):6(2A,1A_1A_1a_2a_2+1a_1a_1A_2A_2+4A_1a_1A_2a_2):4(1A,2A_1a_1a_2a_2+2a_1a_1A_2a_2):1(0A,a_1a_1a_2a_2)$$

A_1a1A_2a2×a1a1a2a2→Ft：1（2A，A_1a1A_2a2）：2（1A，A_1a1a2a2＋a1a1A_2a2）：1（OA，a1a1a2a2）

综上所述，当两对非等位基因决定同一性状时，由于基因间的各种相互作用，修饰了孟德尔比例。从遗传学的角度来理解应该视为对孟德尔规律的扩展，而不是相反。归纳基因相互作用所出现的被修饰的表型比例如表2-2-4：

表2-2-4　各种基因相互作用所出现的被修饰的表型比例

非等位基因相互作用类型	F_2 表型比例(考虑两对基因互作)	相当于自由组合比例
互作基因	9∶3∶3∶1	
显性上位	12∶3∶1	(9+3)∶3∶1
隐性上位	9∶3∶4	9∶3∶(3+1)
互补作用	9∶7	9∶(3+3+1)
重叠作用	15∶1	(9+3+3)∶1
累加作用	9∶6∶1	9∶(3+3)∶1
抑制作用	13∶3	(9+3+1)∶3

四、多因一效与一因多效

1．多因一效：许多基因影响同一单位性状的现象称为多因一效。在生物界，多因一效现象很普遍。如玉米糊粉层的颜色涉及7对等位基因，玉米叶绿素的形成至少涉及50对等位基因，果蝇眼睛的颜色受40多对基因的控制。

2．一因多效：一个基因也可以影响许多性状的发育，称为一因多效。如豌豆中控制花色的基因也控制种皮的颜色和叶腋有无黑斑。红花豌豆，种皮有色，叶腋有大黑斑。又如家鸡中有一个卷羽（翻毛）基因，是不完全显性基因，杂合时，羽毛卷曲，易脱落，体温容易散失，因此卷毛鸡的体温比正常鸡低。体温散失快又促进代谢加速来补偿消耗，这样一来又使心跳加速，心脏扩大，血量增加，继而使与血液有重大关系的脾脏扩大。同时，代谢作用加强，食量又必然增加，又使消化器官、消化腺和排泄器官发生相应变化，代谢作用又影响肾上腺、甲状腺等内分泌腺体，使生殖能力降低。由一个卷毛基因引起了一系列的连锁反应，这是一因多效的典型实例。

从生物个体发育的整体观念出发，一因多效和多因一效都是很容易理解的。基因通过酶控制生理生化过程，进而影响性状的表现。一个基因影响一个生化环节，各个生化环节又是相互联系的，一个基因的改变可能影响一系列的生化过程，产生一因多效；另一个方面，一个生化环节又可能受许多基因的影响，产生多因一效现象。

五、连锁互换定律

连锁遗传现象是1906年美国学者贝特森和潘耐特在香豌豆两对相对性状的杂交试验中首先发现的。他们观察到同一亲本所具有的两个性状在杂交后代中常有相伴遗传的倾向，这就是性状的连锁遗传现象。1911年美国遗传学家摩尔根根据在果蝇中发现的类似现象提出连

锁和交换的理论，从而确立了遗传学第三定律——基因的连锁互换定律。

1．不完全连锁和完全连锁

（1）果蝇的性状连锁遗传：摩尔根用灰身长翅纯系果蝇与黑身残翅纯系果蝇杂交，F_1都表现灰身长翅。让F_1的雌蝇与黑身残翅雄蝇交配，测交后代（F_t）的表现型类型及其数目是：21灰长（42%），4灰残（8%），4黑长（8%），21黑残（42%）。

在上述测交子代群体中，亲本型（灰长和黑残）占84%，明显多于占16%的重组型（灰残和黑长）。显然F_1雌蝇产生的四种类型的配子数目是不等的，即亲型配子远多于重组型配子。

（2）因的连锁和交换：摩尔根等人用基因的连锁和交换理论解释性状连锁遗传现象，其基本要点如下：

①控制不同性状的非等位基因，位于同一对同源染色体上的不同基因座位上。同一条染色体上彼此连锁的基因群，称为一个连锁群。

②连锁基因常常连锁在一起不相分离，随配子共同传递到下一代。这种位于同一染色体上的基因相伴遗传的现象称为基因连锁。

③在减数分裂中，可能发生同源染色体的非姊妹染色单体之间对应片段的交换，一旦交换发生在连锁基因之间，使位于交换片段上的等位基因互换，从而导致非等位基因间的基因重组。由于同源染色体之间发生交换，而使原来在同一染色体的基因不再伴同遗传的现象称为基因交换。连锁的基因之间能够发生交换，称为不完全连锁。例如，F_1灰身长翅雌蝇的基因型为BV/bv，在形成配子时，如果在B-V之间发生交换，那么它将产生BV、bv、Bv、bV四种配子。

④如果连锁基因之间发生一次交换（单交换），该交换只涉及同源染色体的两条非姊妹染色单体，那么，F_1每个发生交换的性母细胞将只会产生一半重组型配子，另一半是亲本型配子。但是交换是较少发生的事件，进行减数分裂的全部性母细胞，不可能都发生完全相同的交换重组过程。因此F_1产生的配子总数中，大部分（上例中为84%）是两种亲型配子，少部分（上例中为16%）为两种重组型配子。也就是说，连锁状态的两对基因杂种产生的重组型配子总是少于亲型配子，即少于配子总数的二分之一。

基因的连锁与互换理论和前述果蝇杂交实验结果是一致的（如图2-2-10所示）。

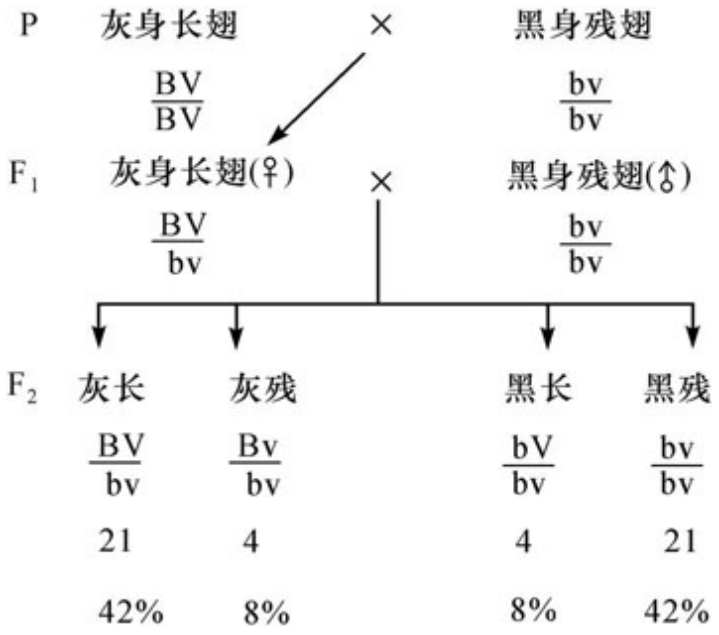


图2-2-10　果蝇体色和翅的遗传

（3）完全连锁

如果用上述果蝇杂交的F_1灰身长翅雄蝇与黑身残翅雌蝇进行测交，其后代只有灰长和黑残两种类型果蝇，而且各占一半。

F_1中只有灰身长翅和黑身残翅两种亲组合，说明F_1雄蝇只形成了两种亲型配子，而没有产生重组型配子。也就是说F_1雄蝇在减数分裂时同源染色体之间没有发生基因交换，使连锁的基因不出现重组。这种连锁基因之间不发生交换，从而不出现基因重组的基因连锁称为完全连锁。细胞中数以万计的基因存在于为数不多的染色体上，基因连锁是必然的。同时连锁对于生命的延续也属必要，这样能够保证在细胞分裂过程中每一个子细胞都能准确地获得每一个基因。然而，完全连锁的现象是非常罕见的，迄今为止，只发现雄果蝇和雌家蚕表现完全连锁。不完全连锁基因之间发生交换已被广泛的事实证明。一般认为减数分裂时见到的同源染色体交叉现象，可以作为基因交换的细胞学证据。

2．交换值与遗传距离

交换值，通常也称为重组率，是指重组型配子占总配子数的百分率，用以表示连锁基因之间发生交换的频率大小。计算交换值的公式是：

交换值（RF）＝重组型配子/总配子数（亲型配子数＋重组型配子数）×100%

测定重组型配子数最常用的方法是使F_1与隐性纯合体测交，根据测交后代（F_t）中重新组合类型的数目直接确定重组型配子的数目。对于水稻、豌豆等自花授粉作物，由于杂交比较困难，可以利用F_1的自交后代（F_2）计算重组型配子的数目，测定其交换值。

交换值的大小变动在0～50%之间。当非等位基因是不完全连锁时，交换值总是大于0而小于50%。如果测定交换值为0，说明有关基因是完全连锁的。交换值为50%时，两个被测定的非等位基因表现自由组合。

大量的遗传学研究表明，连锁基因间的交换值是相对稳定的。交换值越小，即基因间发生交换的频率越低，表示连锁强度越大；交换值越大，则基因的连锁强度越小。一般认为基因间的连锁强度是由基因在同一染色体上的相对距离（或称遗传距离）决定的，所以通常用交换值的大小来表示连锁基因间的距离，以1%交换值作为一个距离单位（图距单位），或称厘摩（cM）。

3．基因定位与连锁图

基因定位就是确定基因在染色体上的位置，其主要内容是确定基因之间的距离和顺序。只要准确地估算出连锁基因的交换值，就能确定基因之间的遗传距离。根据紧密连锁的多个基因之间的距离，可以决定它们之间的相对顺序。将生物已知基因的相对位置标记在染色体上，绘制成图，称为连锁图或遗传学图。两点测验和三点测验是经典遗传学中基因定位的主要方法。

（1）两点测验

两点测验又称两点测交，是基因定位最基本的一种方法。两点测验首先进行杂交获得双基因杂种（F_1），然后对F_1进行测交，以判断这两对基因是否连锁。如果是连锁的，根据其交换值确定它们在同一染色体上的遗传距离。前面提到的果蝇测交试验就是一次两点测验。根据测交结果，b和v之间的交换值：

RF（b—v）＝（4＋4）/（21＋21＋4＋4）×100%＝16%

因此b—v之间的遗传距离为16cM。

如果对紧密连锁的三个基因a、b、c分别进行三次两点测验，每两个基因之间的距离分别是：a—b为5cM，b—c为10cM，a—c为15cM，那么，连锁基因a、b、c在同一染色体上的连锁（图2-2-11）。



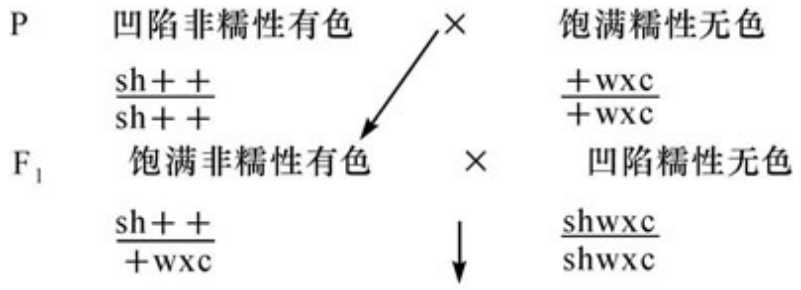
图2-2-11

（2）三点测验

根据连锁的三个非等位基因的交换行为确定它们在同一染色体上相对位置的杂交试验称为三点测验，又称三点测交。它是基因定位最常用的方法。三点测验的主要过程是：通过杂交获得三对基因杂种（F_1），再使F_1与三隐性基因纯合体测交，通过对测交后代（F_t）表现型及其数目的分析，分别计算三个连锁基因之间的交换值，从而确定这三个基因在同一染色体上的顺序和距离。通过一次三点测验可以同时确定三个连锁基因的位置，即相当于进行三次两点测验，而且能在试验中检测到所发生的双交换。此外，三点测验中得到的三个交换值是在相同的遗传背景和环境条件下取得的，因此使估算的交换值更加准确。现在以玉米籽粒的饱满（Sh）与凹陷（sh），非糯性（Wx）与糯性（wx），有色（C）与无色（c）三对性状的杂交为例，说明三点测验的具体步骤。为了方便起见，以“＋”代表各显性基因，其对应的隐性基因仍分别以sh，wx和c表示。

三点测验的主要步骤：

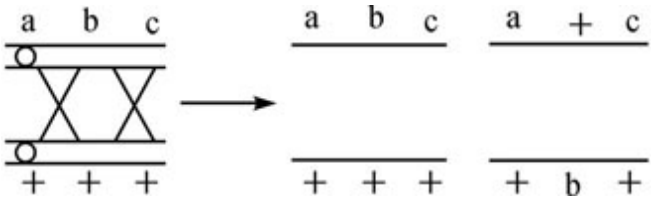
①通过杂交和测交获得F_1的测交后代（F_t），其过程如下所示：



测交后代（F_t）表现型	据 F_t 表型推知 F_1 配子类型	籽粒数	交换类型	交换发生的区域		
				sh-wx	wx-c	sh-c
①饱满糯性无色	＋wx c	2708	亲型			
②凹陷非糯性有色	sh＋＋	2538				
③饱满非糯性无色	＋＋c	626	单交换 1	✓	✓	
④凹陷糯性有色	sh wx＋	601				
⑤凹陷非糯性无色	sh＋c	113	单交换 2		✓	✓
⑥饱满糯性有色	＋wx＋	116				
⑦饱满非糯性有色	＋＋＋	4	双交换	✓		✓
⑧凹陷糯性有色	sh wx c	2				
总数		6708				

②根据F_1确定连锁基因的顺序

从上述测交后代（F_t）的资料可以看出，在群体中亲型个体①和②数目最多（2708＋2538），无疑是两种亲型配子（sh＋＋和＋wxc）受精产生的。⑦和⑧两种个体数目最少（4＋2），是双交换型配子受精的结果。所谓双交换型配子，是在三个连锁基因所在区域内同时发生二次交换所产生的配子。如下图所示：



＋b＋和a＋c就是双交换型配子。根据两个杂交亲本的表现型推测，F_1中三个连锁基因的顺序有三种可能：一是wx在sh和c之间，即：$\frac{sh++}{+wx\ c}$；二是sh在wx和c之间，即：$\frac{+sh+}{wx+c}$；三是c在sh和wx之间，即：$\frac{++sh}{wx\ c+}$。这三者之中，只有第二种情况才能产生＋＋＋和sh wx c。两种双交换型配子，其他两种情况都不可能产生。据此可以确定三个连锁基因在染色体上的次序是sh位于wx和c之间。

③计算交换值，确定基因距离

首先分别计算wx—sh和sh—c的交换值，确定它们之间的遗传距离。

在杂交亲本产生的亲型配子中，sh与wx之间的连锁状态是sh＋和＋wx，即相斥相，但是F_1产生的③、④、⑦、⑧四种配子中这两个基因是＋＋和sh wx，即相引相，可见它们是在sh—wx之间发生交换形成的重组型配子。因此，sh—wx之间的交换值是：

$$RF(sh-wx)=(③+④+⑦+⑧)/总配子数\times100\%$$
$$=(626+601+4+2)/6708\times100\%=18.4\%$$

同理，sh—c之间发生交换的重组型配子是⑤、⑥、⑦、⑧，那么sh—c的交换值是：

$$RF(sh-wx)=(⑤+⑥+⑦+⑧)/总配子数\times100\%$$
$$=(113+116+4+2)/6708\times100\%=3.5\%$$

根据基因在染色体上呈直线排列的原理，

RF（wx—c）＝18.4％＋3.5%＝21.9%

基因之间的距离分别是：wx—sh为18.4cM，sh—c为3.5cM，wx—c为21.9cM。这三个基因的连锁图表示如图2-2-12所示。

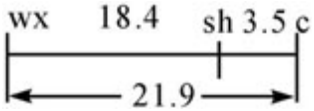
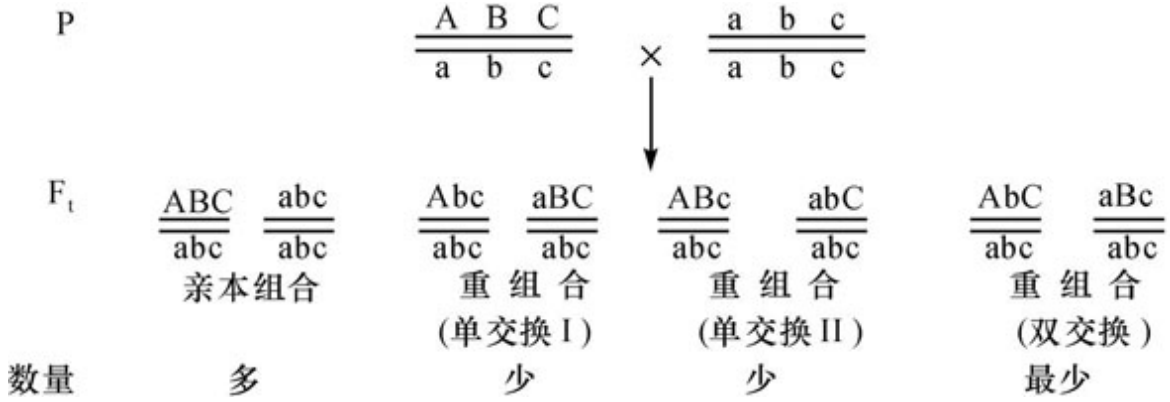


图2-2-12

三点测验的过程可总结如下：



$$\text{A—B 交换值} = \frac{\text{单交换Ⅰ} + \text{双交换}}{F_1\ \text{总数}} \times 100\%$$

$$\text{B—C 交换值} = \frac{\text{单交换Ⅱ} + \text{双交换}}{F_1\ \text{总数}} \times 100\%$$

$$\text{A—C 交换值} = \frac{\text{单交换Ⅰ} + \text{单交换Ⅱ} + 2\times\text{双交换}}{F_1\ \text{总数}} \times 100\% = (\text{A—B})\text{交换值} + (\text{B—C})\text{交换值}$$

$$\text{A—C 重组率} = \frac{\text{单交换Ⅰ} + \text{单交换Ⅱ}}{F_1\ \text{总数}} \times 100\%$$

需要注意的是：基因重组是交换的结果。因此，两点测验时，重组率等同于交换值。而三点测验时，对上述A、C两个基因而言，发生双交换的结果产生了非重组型的配子，导致A—C重组率低于A—C交换值，或者说小于A—B和B—C重组率之和。因此，重组率与交换值是有一定区别的。另外，两点测验是不能测出双交换的。双交换的理论值（两个单交换的交换值的乘积）往往低于实际双交换值，这是由于两个单交换相互干扰的结果，一般来说两个单交换距离愈近干扰愈大，距离愈远干扰愈小。

六、性别决定与伴性遗传

（一）性别决定

性别形成的原因有多种，主要是性染色体决定性别，此外还有单基因决定型，环境决定型和单倍体决定型。

1．性染色体决定型

性别由性染色体决定。在二倍体生物的体细胞中，染色体是成对存在的，绝大部分同源染色体的形态结构是同型的，称为常染色体。其中也有一对形态结构和功能不同的染色体，这对与性别有明显直接关系的染色体叫性染色体。一个常染色体组用A表示。

（1）XY型（最常见的性别决定方式）

即雄性含有两个异型性染色体，雌性含有两个同型性染色体的生物。这类生物的雄性个体产生含有X染色体或Y染色体的雄配子，称为异配性别。雌性个体只产生一种含X染色体的雌配子，称为同配性别。含X染色体的雄配子与雌配子结合，产生的后代个体是雌性（XX）；含有Y染色体的雄配子和雌配子结合，后代则是雄性（XY）。显然，后代个体的性别是由父方决定的。由于雄性个体产生含X染色体或Y染色体的两种配子数目相等，所以生物种群的两性比例为1：1。XY型在生物界普遍存在，如果蝇、哺乳类、双翅目昆虫、某些鱼类、某些两栖类以及某些雌雄异株的植物都属于XY型。

（2）ZW型：与XY型相反，雌性含有两个异型性染色体，雄性含有两个同型性染色体。ZW型的雌性个体为异配性别，雄性个体为同配性别，后代个体的性别是由母方决定的。鸟类、鳞翅目昆虫、爬行类、某些两栖类等属于ZW型。

（3）XO型：直翅目昆虫，如蝗虫、蝉螂、蟋蟀都属于这种类型。雌性有两条X染色体，其性染色体组成为XX。雄性个体只有一条X染色体，没有Y染色体，其性染色体组成为XO，故称XO型。例如蝗虫雌性个体共有24条染色体：22条常染色体和XX；雄性则为22＋X，只有23条染色体。

2．单基因决定型

性别由单基因来决定。如玉米，正常玉米雌雄同株异花，个别的有雌株和雄株。研究发现：决定雌、雄各有一对等位基因。Ba控制雌花序，只有BaBa，Baba时，在雌穗位置才能形成正常的雌花序。当baba时，则没有雌花序。Ts控制雄花序，TsTs和Tsts时，才形成正常雄花序，tsts时，则雄花序变成了雌花序（在雄穗上结玉米粒）。

Ba与Ts为非等位基因（非同源染色体），属于自由组合。基因型有9种，显性完全时，表现型有4种。

3．环境决定型

生物的性别完全由环境决定。海生动物后螠，雌虫6cm左右，雄性构造简单，为雌体的1/500，生活在雌体的子宫中。受精卵孵化成幼虫时，无雌雄之分。如果落在海底就发育成雌虫，如果由于机会，或某种吸力，幼虫落在雌虫口吻上，它就发育成为一个雄虫。幼虫已经落在雌虫的口吻上，把它取下让它在离开雌虫的情况下继续发育，它就发育成为中间类型，且偏雌雄的程度与它在吻上发育的时间长短有关。

4．单倍体决定型

性别由染色体的倍性决定。蜜蜂、蚂蚁和黄蜂等膜翅目昆虫等为此类型，自然状态下，以蜂王为单位组成一个家族，一个蜂箱为一个单位。蜂王一个蜂巢有一个。一次交配得到足够一生需要的精子。职蜂负责除交配生殖外的所有职能：采蜜，养育，巡警，降温，清洁，通讯等。雄蜂只负责交配。蜂王的卵经过储精囊时，精子与之结合，则形成2n的雌体。将成为职蜂的幼虫，只喂两三天的蜂王浆，且质差量少。将成为蜂王的幼虫被喂5天质好而量多的蜂王浆。另外，在蜂王产下的每一窝卵中，有少数是不受精的，这些卵发育成雄蜂。它们的染色体数为n＝16。

（二）伴性遗传

伴性遗传是指性染色体上的基因所控制的性状总是伴随性别而遗传的现象，又称为性连锁遗传。与常染色体基因一样，性染色体上的基因行为也同样遵循遗传学基本规律。

1．果蝇的伴性遗传

伴性遗传是摩尔根等首先发现的。摩尔根和他的学生（1910年）以果蝇为材料进行遗传试验时，在纯种红眼果蝇的群体中发现个别白眼个体。他们为了查明白眼与红眼的遗传关系，便以雌性红眼果蝇与雄性白眼果蝇杂交，结果F_1无论雌性或雄性全是红眼；再让F_1的雌果蝇和雄果蝇进行近亲繁殖，F_2既有红眼，又有白眼，比例是3：1。这说明红眼对白眼是显性，而且它们的差别只是一对基因的差异。很显然，白眼是红眼基因突变的结果。特别引人注意的是：在F_2群体中，所有白眼果蝇都是雄性而无雌性，这就是说白眼这个性状的遗传，是与雄性相联系的。根据观察到的特异遗传现象，结合果蝇的性别决定于X和Y异型染色体的事实，于是上述杂交结果的合理解释，就只能是果蝇的白眼基因（w）在X性染色体上，而Y染色体上不含有它的等位基因。从图2-2-13所示染色体及其载荷的红眼和白眼基因的分离和重组，足以验证这一解释的合理。

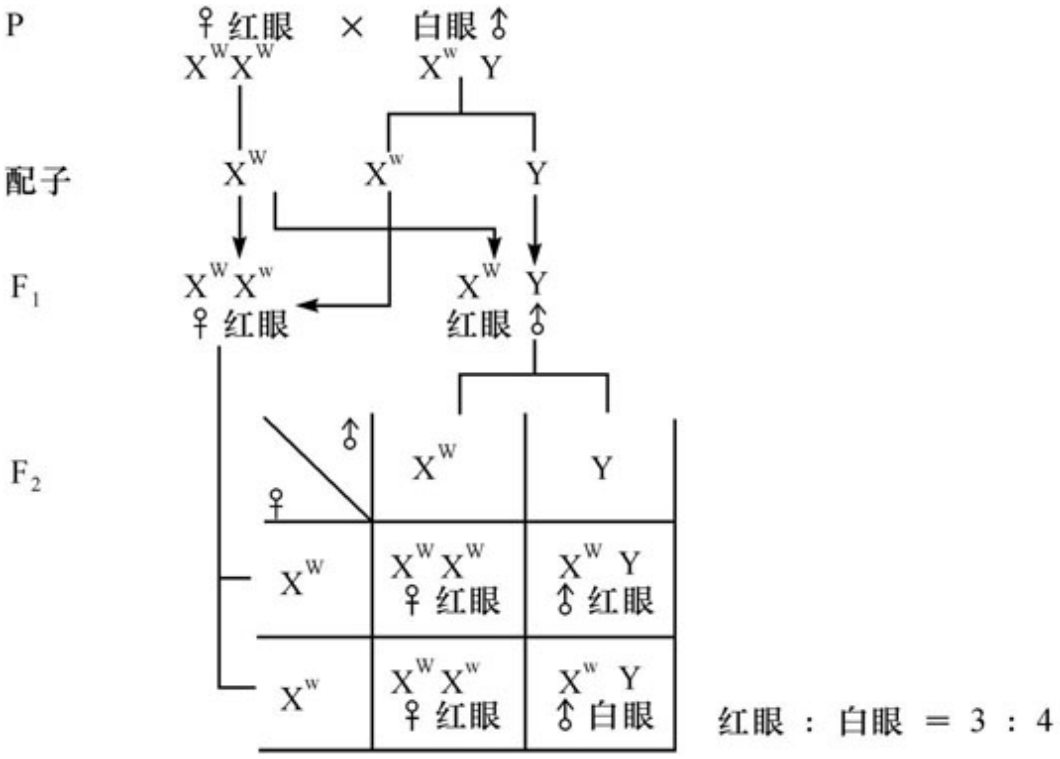


图2-2-13　果蝇眼色的遗传

摩尔根等通过对果蝇眼色遗传的研究，不仅揭示了性连锁遗传的机理，更重要的是把孟德尔遗传规律直接与细胞学结合起来，创立了细胞遗传学。

2．人类伴性遗传

（1）X连锁隐性遗传

人类中有一种叫血友病的遗传疾病，患者血浆中缺少抗血友病球蛋白（AHG），这是一种凝血因子，缺少它，在受伤流血时，血液不易凝结而引起死亡。在一个家族里患血友病的几乎都是男性，而且是隔代遗传。如果用血友病基因在性染色体上的伴性遗传来解释，问题就清楚了。血友病基因X^h是隐性基因。女性是血友病基因的携带者，细胞中含有杂合基因x^HX^h，但表型正常。在与正常男性（X^HY）结婚时，子女中有1/4是生病的男孩（X^hY），1/4为血友病基因携带者的女孩。如果是有病的男性（X^hY）与正常的女性结婚，其子女中，1/2是正常的男孩，1/2为血友病基因携带者的女孩。所以，血友病一般是由男人通过他的女儿传给他外孙。可见血友病遗传与上述果蝇眼色遗传是一致的。（图2-2-14是英国皇族中血友病遗传谱系。维多利亚女王的祖先没有血友病患者，她所携带的基因可能是突变产生的。）

X连锁隐性遗传病的家系普通的常有以下特点：①男性患者多于女性患者。在遗传平衡的群体中，若男性患病率为x，则女性患病率为x^2。②患者的双亲常常是无病的，在世代之间表现“隔代遗传”或称非连续遗传现象。③“交叉遗传”，即男性患者的致病基因，一般是外公通过女儿传递给外孙的。④女儿患病，则父亲一定有病；母方患病，儿子一定患病。女儿患病，而双亲表型正常是常染色体隐性遗传的典型特征。

（2）X连锁显性遗传病：X染色体上显性基因决定的遗传病，如抗维生素D性佝偻病。X连锁显性遗传病的家系特点是：①女性患者多于男性患者，因为女性有两条X染色体，获得致病基因的机会比男性多；②患者双亲中必有一方患病，故世代之间表现连续遗传；③父方患病，女儿一定患病；母方正常，儿子一定正常。

（3）Y连锁遗传或限雄遗传：位于Y染色体上的基因决定的性状或遗传病，如人类外耳多毛症。由于X染色体上常常没有Y连锁基因的等位基因，有关性状在世代之间只通过男性个体传递，故又称为限雄遗传。

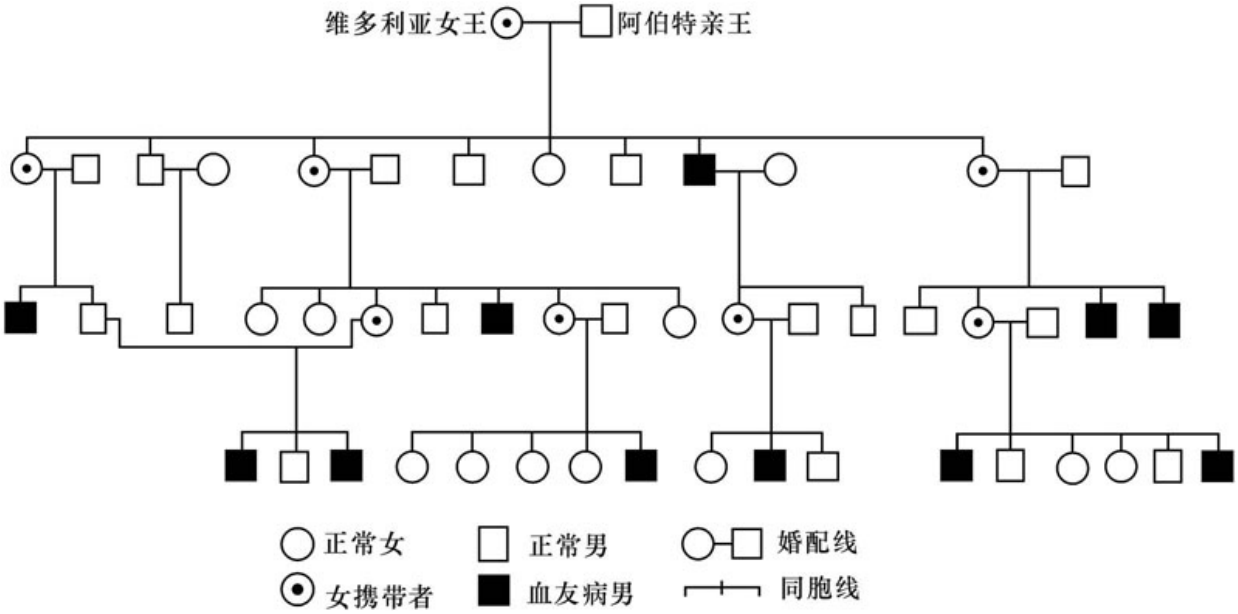


图2-2-14　英国皇族中的血友病

3．鸡的伴性遗传

芦花鸡的毛色遗传也是性连锁，这个品种的羽毛呈黑白相间的芦花条纹状。芦花基因（B）对非芦花基因（b）为显性，Bb这对基因位于Z染色体上。以雌芦花鸡（Z^BW）与非芦花的雄鸡（Z^bZ^b）杂交，F_1公

鸡的羽毛全是芦花，而母鸡全是非芦花。让这两种鸡近亲繁殖，F_2公鸡和母鸡中各有半数是芦花，半数是非芦花。如果进行反交，情况就大不相同。以非芦花雌鸡（Z^bW）作母本与芦花雄鸡（Z^BZ^B）杂交，F_1公鸡和母鸡的羽毛全是芦花。再让这两种芦花鸡近亲繁殖，F_2的公鸡全是芦花，母鸡同正交的一样，半数是芦花，半数是非芦花。

（4）植物的伴性遗传

植物中有雌雄同花，雌雄异花，其中又有雌雄同株和雌雄异株之分，即使是雌雄异株的植物也并不都有异形性染色体，如杨柳等。有异形性染色体分化是少数植物，如女娄菜为雄性异配，草莓、金老梅为雌性异配。白剪秋萝也是雄性异配性别的，叶片有宽叶和窄叶两种，将宽叶雌株和窄叶雄株杂交，F_1无论雌雄全部为宽叶。F_1代互交后得到的F_2代雌性全部是宽叶，雄株半数为宽叶半数为窄叶，这个结果和果蝇眼色的遗传也完全相同。不难推论，控制叶形的基因在X染色体上，而且Y染色体上没有相应的等位基因。

七、母性影响与细胞质遗传

（一）母性影响

母性影响指由于母体中核基因的某些产物积累在卵细胞的细胞质中，使子代表现型不由自身的基因型决定，而受母本基因型的影响。

1．短暂的母性影响

短暂的母性影响指母亲基因型仅影响子代个体的幼龄期的表现。如欧洲麦粉蛾的幼虫的皮色遗传，正常的野生型体内能合成犬尿素，进一步可形成色素，使幼虫皮肤为有色，成虫复眼为褐色；突变型不能把前体物合成犬尿素，不能形成色素，使幼虫皮肤无色，成虫复眼为红色。这种差异是一对等位基因（核基因）控制的。野生型为A，突变型为a（图2-2-15）。

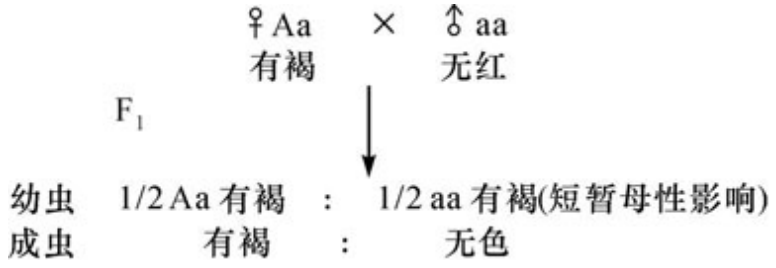


图2-2-15　欧洲麦粉蛾的幼虫的皮色遗传

按理说，aa个体应为无色，但在这里却为有色。这是因为犬尿素受核基因控制，分布在卵细胞质内。后代可利用来自卵细胞质的犬尿素合成色素，使幼虫体色为有色，但这种犬尿素不能合成，到成体后就已用完，因此后代成虫复眼为红色。这种影响受母亲核基因控制，只影响到幼龄期。

2．持久的母性影响

持久的母性影响指子代个体的表型终生受母亲基因型的控制。如椎实螺外壳螺旋方向的遗传。椎实螺外壳旋转方向有左、右两种方向（图2-2-16）。



图2-2-16　椎实螺外壳螺旋方向的遗传

上述实验结果说明，F_1、F_2代的旋向不受本身基因型的影响，而受亲本基因型影响。F_3代才出现显隐比例3：1。这种受母本基因型影响的现象是终生不变的。

（二）细胞质遗传

细胞质遗传主要指细胞质基因（叶绿体基因、线粒体基因）所控制的性状遗传。在真核细胞中，存在于线粒体、叶绿体细胞器中的基因组能为它们自身的rRNA和tRNA编码。这些翻译用的装置可将细胞器内合成的mRNA翻译成自己专有的多肽。

主要特点：杂交子代通常只表现母方的性状，而且也不出现一定比例的分离。如紫茉莉绿白色斑植株（质体色素）的遗传（表2-2-5）。

表2-2-5　紫茉莉绿白色斑植株的子代性状

母本枝条的类型	父本枝条的类型	子代的类型
白 绿 绿白斑	白	白 绿 绿、白或绿白斑
白 绿 绿白斑	绿	白 绿 绿、白或绿白斑
白 绿 绿白斑	绿白斑	白 绿 绿、白或绿白斑

表2-2-5中正反交后代的性状表现不同于经典遗传学规律，杂交子代茎叶的颜色完全依母本花所在的枝条而定，与花粉来自哪一枝条无关。在这些正反交中，子代的某些性状仅与母本有相同表现，是由于控制这些性状的基因在于核外的细胞质中，而杂交后所形成的合子其细胞质几乎全部来自于雌配子，雄配子的贡献往往只是提供一个核，所提供的细胞质却微不足道。

（三）植物雄性不育及利用

植物的雄蕊发育不正常，不能产生正常的花粉；雌蕊正常，可以接受外来花粉而结实。只可作为母本接受花粉，不可作为父本提供花粉。在140种以上植物中发现了雄性不育，可用于制备杂交种。根据其遗传机制可分为核不育类型和质—核不育类型。

1．核不育型

由核基因造成的雄性不育。如太谷核不育，是由单基因控制的核不育。

2．质核互作不育型

由细胞质和核基因互作所控制的不育类型。RF：可育的核基因，rf：不育的核基因，N：可育的细胞质基因，S：不育的细胞质基因。在杂交制种时利用二区三系法可进行杂交种的生产。

雄性不育系的基因型为S（rfrf），雄性不育恢复系的基因型为N（RfRf）和S（RfRf）。

雄性不育保持系的基因型为N（rfrf）。制种过程如图2-2-17。

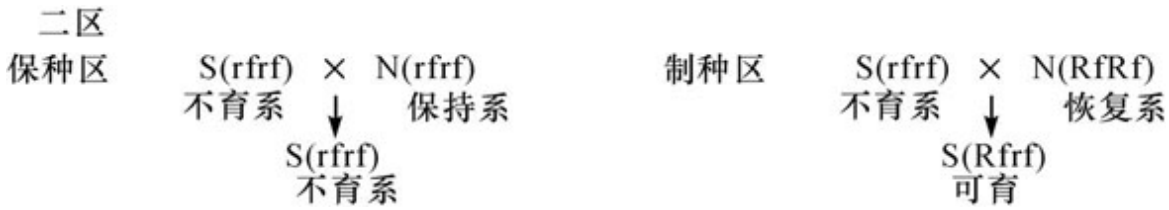


图2-2-17　二区三系法杂交育种法

【例题解析】

例1　在水稻中，A对a、B对b为完全显性，Ab/aB基因型的植株自交，其后代中数目最少的类型占子代总数的0.16%，则A—a和B—b两个基因座之间的距离为多少个图距单位（　　）

A．0.16

B．0.32

C．8

D．4

解析　Ab/aB植物在不完全连锁的情况下，产生数量两两相等的四种配子：Ab＝aB，AB＝ab。其中Ab，aB由连锁产生，数量多，AB和ab是由交换产生的重组配子，数量少。其自交后代中，数目最少的类型的基因型应为ab/ab双隐性个体。由于该类型占子代总数的0.16%，所以，ab的配子在四种配子中的比例应为4%。由此可知，重组率为8%。由于是单交换，所以交换率＝重组率。交换值的大小，可表示连锁基因在染色体上相对距离的远近，距离越近，交换越不易发生，交换值就越小，距离越远，交换的可能性就越大，交换值也越大。因此，可用交换值的大小，对染色体上的基因进行定位。交换率去掉百分号就是连锁基因在染色体上的相对距离，又称为图距。一个图距指1%的交换率。

答案　C

例2　将黑毛豚鼠与白毛豚鼠杂交，所有F_1个体都是黑毛。用F_1中的雌性个体与纯隐性个体交配，回交产生的个体的表现型比例如下：3白：1黑。亲本和F_1个体可能的基因型：

①AA，aa，Aa；②AAbb，aaBB，AaBb；③AABB，AAbb，AABb；④AABB，aabb，AaBb。

请从下列可能答案中选择一个正确答案（　　）

A．①

B．②

C．③

D．④

E．都不对

分析　黑毛×白毛，后代全是黑毛，黑色是显性。F_1回交后得3白：1黑，因此显然不是一对因子，否则应为1白：1黑。设为两对因子时，杂种只有产生4种配子时才有可能得到4种组合，也才有可能形成3：1的格局。而杂种如若能形成4种配子，只有AaBb，这4种配子应为AB、aB、Ab和ab。设想只有当A和B在一起时形成黑色，单独的A或B都只能是白色，这时回交的结果应为AaBb、aaBb、AaBb，和aabb，其结果为3白：1黑。这种设想是有依据的，即非等位基因之间的互补作用。因此亲本为AABB和aabb，F_1个体为AaBb。

答案　D

例3　如果F_2的分离比分别为9：7，9：6：1和15：1，那么F_1与纯隐性个体间进行测交，得到的分离比将分别为（　　）

A．1：3，1：2：1和3：1

B．3：1，4：1和1：3

C．1：2：1，4：1和3：1

D．3：1，3：1和1：4

分析　（1）非等位基因之间有如下几种作用：①显性上位：F_2代比例为12：3：1；②隐性上位：F_2代比例为9：3：4；③显性互补：F_2代比例为9：7；④重叠作用：F_2代比例为15：1；⑤累加作用：F_2代比例为9：6：1；⑥抑制作用：F_2代比例为13：3。

根据题干中所给条件（比例），可以判断它们分别为显性互补、累加作用和重叠作用。进一步分析可知：第一，如果是显性互补，其F_1的基因型是CcRr，双隐性的基因型为ccrr，它们之间测交后代基因型为CcRr、Ccrr、ccRr、ccrr，测交后代中同时具有R、C才表现为显性，其余均为隐性，因此后代的分离比为1：3。第二，如果是累加作用，其F_1的基因型是CcRr，双隐性的基因型为ccrr，它们之间测交后代基因型为CcRr、Ccrr、ccRr、ccrr，由于累加作用的结果，C和R相互作用时是一种表现型，c和r相互作用时则是另一种表现型，因此其后代分离比为1：2：1。第三，如果是重叠作用，其F_1的基因型是CcRr，双隐性的基因型为ccrr，它们之间测交后代基因型为CcRr、Ccrr、ccRr、ccrr，由于重叠作用，也就是说，由两对等位基因决定同一性状的表达而且具有叠加效应，因此后代基因型只要有C或R就表现为同一种性状。其后代比例应该为15：1。

答案　A

例4　家猫常染色体上有一基因“White"，表型为白色，是显性上位的基因；基因“Orange”是性连锁基因，O是斑纹色，o为红色，而杂合体为玳瑁色。一个白色雌猫与一个斑纹雄猫交配，出生的小猫是：1只红色雄猫、1只玳瑁雌猫、1只斑纹雌猫、1只白色雄猫、1只白色雌猫。则小猫母亲的基因型是（　　）

A．WWOo

B．WwOO

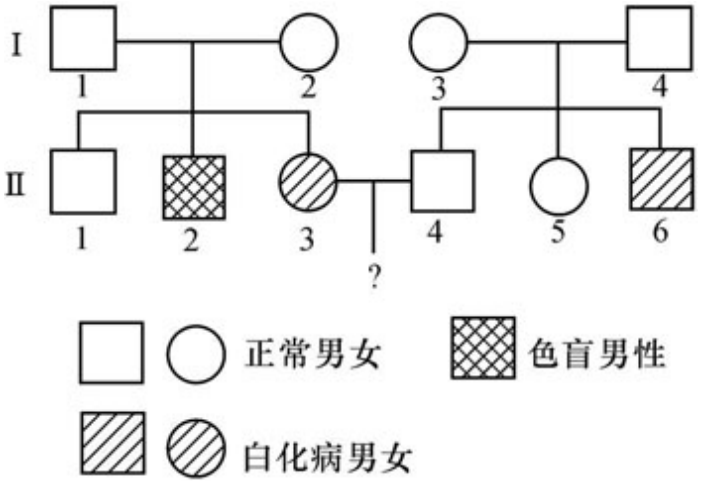
C．WwOo

D．Wwoo

分析　常染色体上的“White”基因，对X染色体上的“Orange”基因具有显性上位的作用。也就是说，只要有W存在，无论X染色体上是什么，其表型均为白毛。换言之，如果猫显示出有色，不论是斑纹（OO，OY）还是玳瑁（Oo），或是红色（oo,oY），都已经表明“White”基因的状态是ww。因此，父本的表现型既然是斑纹，其基因型一定是wwOY。母本肯定至少有一个W，因为它表现为白色。母本的常染色体上若为WW，其后代应为Ww，即所出生的后代应当全为白色，这与事实不符，后代中白、红、斑、玳都出现了，因此母本应当是Ww。同理，母本在“Orange”位点上也一定是Oo，否则后代中不会出现红雄、斑纹雌和玳瑁雌。因此，小猫母亲的基因型应为WwOo。

答案　C

例5　下图为某家族的遗传系谱图。已知白化病基因（a）在常染色体上，色盲基因（b）在X染色体上，请分析回答：



（1）I_1的基因型是_____，I_2的基因型是_____。

（2）Ⅰ$_2$能产生_____种卵细胞，含ab的卵细胞的比例是_____。

（3）从理论上分析，Ⅰ$_1$与Ⅰ$_2$婚配再生女孩，可能有_____种基因型和_____种表现型。

（4）若Ⅱ$_3$与Ⅱ$_4$婚配，他们生一个白化病孩子的几率是_____。

（5）若Ⅱ$_3$与Ⅱ$_4$婚配，生了一个同时患两种病的男孩，他们的第二个小孩是正常男孩的几率是_____。

解析　（1）由Ⅱ$_2$和Ⅱ$_3$表现型可推知其双亲的基因型为父Ⅰ$_1$：AaX^{B}Y、母Ⅰ$_2$：AaX^{B}X^b。

（2）因Ⅰ$_2$基因型为AaX^{B}X^b，故能产生4种卵细胞，其中含ab的卵细胞占1/4。

（3）因Ⅰ$_1$和Ⅰ$_2$基因型分别为AaX^{B}Y和AaX^{B}Y^b，故他再生女孩基因型为3×2＝6种，表现型为2×1＝2种。

（4）只考虑肤色Ⅱ$_3$基因型为aa，而Ⅱ$_4$为1/3AA，2/3Aa，因此他们生一个白化病孩子的几率为2/3×1/2＝1/3。

（5）由于Ⅱ$_3$与Ⅱ$_4$生了一同时患两种病的男孩（aaX^{b}Y），可推知Ⅱ$_3$与Ⅱ$_4$基因型分别为aaX^{B}X^b、AaX^{B}Y，因此生一正常男孩的几率为1/2×1/4＝1/8。

答案　（1）AaX^{B}Y　AaX^{B}X^b　（2）4　1∶4　（3）6　2　（4）1/3　（5）1/8

【针对训练】

1．牵牛花的红花基因（R）对白花基因（r）显性，阔叶基因（B）对窄叶基因（b）显性，它们不位于同一对染色体上。将红花窄叶纯系植株与白花阔叶纯系植株杂交，F_1植株再与“某植株”杂交，它们的后代中，红花阔叶、红花窄叶、白花阔叶、白花窄叶的植株数分别为354、112、341、108，“某植株”的基因型应为（　　）

A．RrBb

B．rrBb

C．Rrbb

D．RRbb

2．对于Aa杂合体，孟德尔分离比实现的条件是（　　）

A．A配子和a配子的比率为2∶1

B．A配子和a配子数量虽然不一样多，但它们结合的机会相等

C．A配子呈显性，与其他配子结合机会大于a配子

D．两种配子一样多，结合机会相等

3．将基因型Aabb的玉米花粉，授粉到基因型为aaBb的雌蕊柱头上，可以得到什么样的胚乳基因型（　　）

A．AaaBBb、Aaabbb、，aaaBBb、aaabbb

B．AaaBb、Aaabb、aaBBb、aabbb

C．AaBBb、Aaabb、aaaBB、aaabb

D．AAaBbb、AAabbb、aaaBbbb、aaabbb

4．基因型分别为ddEeFF和DdEeff的2种豌豆杂交，在3对等位基因各自独立遗传的条件下，其子代表现型不同于2个亲本的个体数占全部子代的（　　）

A．1/4

B．3/8

C．5/8

D．3/4

5．决定猫的毛色基因位于X染色体上，基因型bb、BB和Bb的猫分别为黄、黑和虎斑色，现有虎斑色雌猫与黄色雄猫交配，生下三只虎斑色小猫和一只黄色小猫，它们的性别是（　　）

A．全为雌猫或三雌一雄

B．全为雄猫或三雄一雌

C．全为雌猫或全为雄猫

D．雌雄各半

6．将高茎豌豆（Dd）自交的后代全部种植，并再让其自花授粉，获得杂种第二代，在第二代中矮豌豆的比例是（　　）

A．1/4

B．3/4

C．3/8

D．3/5

7．将某杂合体（Aa）设为亲代，让其连续自交n代，从理论上推算，第n代中纯合体出现的几率应为（　　）

A．$1/2^{n}$

B．$1-1/2^{n}$

C．$(2^{n}+1)/2^{n+1}$

D．$(2^{n}-1)/2^{n+1}$

8．下面是对不同性状自由组合现象的理论解释，阐明其遗传实质的是（　　）

A．不同性状受不同对等位基因控制

B．非等位基因位于非同源染色体上

C．非等位基因间分离或重组互不干扰

D．基因重组是生物变异的原因之一

9．让独立遗传的黄色非甜玉米YYSS与白色甜玉米yyss杂交，在F_2中得到白色甜玉米80株，那么F_2中表现型不同于双亲的杂合植株约为（　　）

A．160

B．240

C．320

D．480

10．家兔的黑色（B）对褐色（b）呈显性，短毛（D）对长毛（d）呈显性，这两对基因位于不同对染色体上。兔甲与一只黑色短毛（BbDd）兔杂交共产仔26只，其中黑短9只，黑长3只，褐短10只，褐长4只。按理论推算，兔甲的表现型应为（　　）

A．黑色短毛

B．黑色长毛

C．褐色短毛

D．褐色长毛

11．基因型为AaBbCcDd的个体自交（4对基因独立遗传，其中B与b为不完全显性），其后代中有（　　）

A．27种基因型，16种表现型

B．81种基因型，16种表现型

C．16种基因型，81种表现型

D．81种基因型，24种表现型

12．下述哪项不是孟德尔在遗传学上获得成功的因素（　　）

A．选用纯系试验材料

B．应用数理统计方法处理试验数据

C．重视基因对蛋白质的决定作用

D．遗传因子都刚好不在一条染色体上

13．基因型为HH的绵羊有角，基因型为hh的绵羊无角，基因型为Hh的绵羊，母羊无角，公羊有角。现有一头有角羊生了一头无角小羊，这头小羊的性别和基因型分别为（　　）

A．雄性，hh
B．雌性，Hh
C．雄性，Hh
D．雌性，hh

14．在玉米中，高茎与矮茎是一对相对性状，常态叶与皱叶是一对相对性状，现以纯型合子高茎和常态叶植株为父本，跟纯型合子的矮茎和皱叶植株杂交，子一代都是高茎和常态叶，F_1与母本回交得到的后代是：

高茎皱叶	高茎常态叶	矮茎皱叶	矮茎常态叶
19	83	81	17

请问这两对等位基因的交换值是（　　）

A．19%
B．18%
C．17%
D．36%

15．100个精母细胞在减数分裂中，有50个细胞的染色体发生了一次交换，在所形成的配子中，交换型的百分率占（　　）

A．5%
B．15%
C．25%
D．35%

16．A/a与B/b是独立分配的，当AaBb自交，子代中表型的AB：ab的比例是9：7，你对此作何解释（　　）

A．基因互补
B．显性上位
C．隐性上位
D．抑制基因

17．当一个基因型为MmNnOo的果蝇（三对基因不连锁）与另一个基因型相同的果蝇交配，子代中基因型为MMnnOo和表型为M_nnO_的个体分别占多少（　　）

A．1/4，4/16
B．1/16，6/64
C．1/32，9/64
D．1/64，9/16

18．在以下两种不同条件下：Ⅰ．基因完全连锁，Ⅱ．基因独立遗传。问在AABB×aabb杂交后的F_2中可以各产生多少种基因型（　　）

选择项	Ⅰ	Ⅱ
A	3	4
B	3	9
C	4	9
D	4	16
E	9	16

19．在一个随机杂交的群体中，多基因遗传的变异范围广泛，大多数个体接近于中间类型，极端变异的个体很少。这些变异的产生是（　　）

A．多基因遗传基础和环境因素共同作用的结果

B．遗传基础的作用大小决定的

C．环境因素的作用大小决定的

D．多对基因的分离和自由组合的作用结果

20．A-a和B-b两对基因分别位于1、2号染色体上，另3对完全连锁的基因EFG/efg位于第3号染色体上，现让上述5对基因全是杂合的植物个体自交，间子代中显性纯合体的比例应是（　　）

A．1/16

B．1/32

C．1/64

D．1/128

21．人类的ABO血型遗传属于（　　）

A．共显性遗传

B．完全显性遗传

C．镶嵌显性遗传

D．不完全显性遗传

22．灰兔和白兔杂交，子一代全是灰色，子一代相互交配，子二代中灰免、黑兔和白兔的比例为9∶3∶4，这种现象属（　　）

A．性状的多基因决定

B．不完全显性

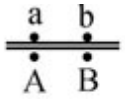
C．基因的多效性
D．上位效应
23．下表列出果蝇中n种基因的交换率（已经查明）。这些基因的顺序是（　　）

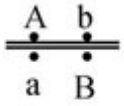
基因	基因	交换率(%)
b	c	1.4
b	a	3.9
d	c	4.0
d	a	1.5

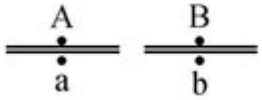
A．b—c—a—d
B．b—c—d—a
C．c—b—a—d
D．c—b—d—a
24．一个群体中一条常染色体上的某一基因座，有5种不同的复等位基因，那么在这个群体的二倍体中将有几个不同的基因型（　　）
A．5
B．10
C．15
D．25
25．果蝇中，A-a基因与B-b基因分别位于第3、第4号同源染色体上，另有3对（EFG/efg）位于第2号染色体上，现有5对基因完全杂合的雄果蝇，它产生精子的种类有（　　）
A．4种
B．8种
C．16种
D．32种
26．基因型为$\frac{B\quad D}{b\quad d}$的精原细胞120个，其中若有30个在形成精子过程中发生了b、d交换，在正常发育下能产生亲本基因型和重组基因型的精子数目依次是（　　）
A．480，480、60、60
B．210、210、30、30
C．90、90、30、30

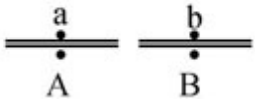
D．240、240、60、60

27．杂合体AaBb，经过减数分裂产生4种配子，有AB、Ab、Ab、ab，其中AB和ab两种配子各占42%，这个杂合体的两种等位基因与染色体的关系是（　　）

A. 

B. 

C. 

D. 

28．子女的线粒体的特性总是表现出与母亲的一致，这说明该性状遗传属（　　）

A．伴性遗传

B．完全显性遗传

C．不完全显性遗传

D．细胞质遗传

29．某生物个体经减数分裂产生4种类型的配子，即Ab：aB：AB：ab＝4：4：1：1，这个生物如自交，其后代中出现显性纯合体的几率是（　　）

A．1/8

B．1/20

C．1/80

D．1/100

30．两只动物交配，其基因型为AaBb，基因A和b位于同一染色体上。双亲的配子中都有20%是重组的。预期双显性个体的百分率是（　　）

A．40%

B．48%

C．51%

D．66%

31．Down氏综合征在出生婴儿中占1/700，其中40%由超过40岁的妇女所生，该年龄组妇女所生的婴儿，占全部婴儿的４%，那么该年龄组的一个妇女生一个该症患儿的概率应是（　　）

A．1/60

B．1/70

C．1/80

D．1/90

32．在完全显性遗传的杂交试验中，AabbCcDdEe与AaBbCcddee杂交，子代会出现表型为A_bb C_DdEe个体的概率是（　　）

A．3/128

B．6/128

C．9/128

D．12/128

33．雄蛙和雌蛙的性染色体组成分别为XY和XX，假定一只正常的XX蝌蚪在外界环境的影响下，变成了一只能生育的雄蛙，用此雄蛙和正常雌蛙交配（抱对），其子代中的雌蛙（♀）和雄蛙（♂）的比例是（　　）

A．♀∶♂＝1∶1

B．♀∶♂＝2∶1

C．♀∶♂＝3∶1

D．♀∶♂＝1∶0

34．以下是果蝇产生眼色素B和D的反应：



野生果蝇有两种色素B和D，眼睛为红褐色。缺乏色素B表现为鲜红色，缺乏色素D为褐色眼，两种色素都缺乏表现为无色（白色）眼。将一只白眼纯合型的果蝇同一只野生型果蝇交配，其F_1可具有什么酶（　　）

A．只有X

B．只有Y

C．有X和Y

D．无

35．哪一句关于性染色体的句子是正确的（　　）①它们总是异染色质　②它们可能以常染色质或异染色质的形式存在　③它们存在于人类和所有动物之中　④它们存在于酵母之中　⑤它们存在于一些苔藓之中　⑥它们存在于一些有花植物之中　⑦它们的纯合体总是产生雌性

A．①②③

B．①③⑤

C．①④⑥

D．②⑤⑥

E．②⑤⑦

36．分别为A和B型血的一对夫妇，有一个O型血的女儿，那么这对夫妇的其他三个孩子中至少有一个O型血的几率是（　　）

A．37/64

B．4/16

C．9/64

D．27/512

37．人的秃头病不仅与常染色体的基因型有关，而且与性别有关，这是属于（　　）

A．限性遗传

B．从性遗传

C．伴性遗传

D．常染色体遗传

38．A型血、色觉正常的女人曾结过两次婚，第一个丈夫的血型B型，且色盲，第二个丈夫血型为A型；色觉正常，此妇人生了4个小孩，这4个小孩中第二个丈夫的孩子是（　　）

A．男孩、O型血、色盲

B．女性、A型血、色盲

C．女性、O型血、色盲

D．女性、B型血、色觉正常

39．假设在减数分裂时发生交换，其结果是染色体重组，即组成基因有新组合的染色体，一次交换会产生多少重组的染色体（　　）

A．1

B．2

C．3

D．4

40．果蝇的合子有8个染色体，其中4个来自母本（卵子），4个来自父本（精子）。当合子变为成虫时，成虫又产生配子（卵子或精子，视性别而定）时，在每一配子中有多少染色体是来自父本的，多少个是来自母本的（　　）

A．4个来自父本，4个来自母本

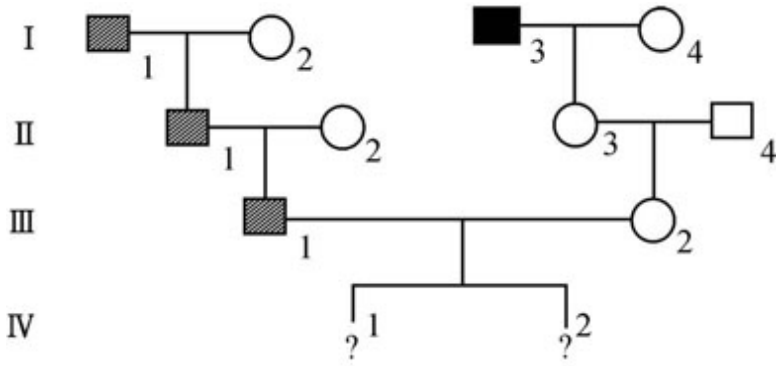
B．卵子中4个来自母本，精子中4个来自父本

C．1个来自一个亲本，3个来自另一亲本

D．2个来自父本，2个来自母本

E．0、1、2、3或4个来自母本，4、3、2、1或0来自父本（共有5种可能）

41．下图是涉及两种遗传病的家系谱图，其中■表示性连锁隐性男性患者（SLR），▩表示常染色体显性男性患者（AD），如果IV-1是男孩，IV-2是女孩。试问：



（1）IV-1患有AD和SLR两种病症的几率为_____。
（2）IV-2具有AD和SLR两种病症的几率为_____。
（3）IV-1表现为AD病但没有SLR病症的几率为_____。
（4）IV-2表现为AD病但没有SLR病症的几率为_____。

42．在番茄中，基因O、P和S是在第二染色体上。对这三个基因是杂合的F_1用三隐性个体进行测交，得到下列结果：

测交子代类型	数目
+++	73
++S	348
+P+	2
+PS	96
O++	110
O+S	2
OP+	306
OPS	63

（1）这三个基因在第2号染色体上的顺序如何？
（2）两个纯合亲本的基因型是什么？
（3）这些基因间的重组值是多少？
（4）并发系数是多少？

【参考答案】

1．B　2．D　3．A　4．C　5．A　6．C　7．B　8．C　9．C　10．C　11．D　12．C　13．B　14．B　15．C　16．A　17．C　18．B　19．A　20．C　21．A　22．D　23．A　24．C　25．B　26．B　27．A　28．D　29．D　30．C　31．B　32．C　33．D　34．C　35．D　36．A　37．B　38．A　39．B　40．E　41．（1）1/8　（2）0　（3）3/8　（4）1/2　42．（1）POS　（2）PO＋/PO＋、＋＋S/＋＋S　（3）RF（P—O）＝（96＋110＋2＋2）/1000＝21%　RF（O—S）＝（73＋63＋2＋2）/1000＝14%　（4）13.6%。

第3讲　生物的变异、人类遗传病

（金华一中　庄金友）

【知识梳理】

一、基因重组

基因重组是指控制不同性状的基因重新组合，主要是在减数分裂过程中，由于基因自由组合或偶尔互换，导致有性生殖后代中基因重新组合。基因重组的结果不产生新基因，但能出现新的基因型，它是有性生殖过程中最普遍的可遗传变异。通常无性生殖不会发生基因重组。

二、基因突变

基因突变是指基因分子结构发生变化导致遗传信息的改变，由一个基因变为它的等位基因，最终引起生物性状的改变。基因突变是染色体上一个座位内的遗传物质的变化，又称点突变。

（一）突变发生的时期

基因突变可在个体发育的任何时期发生，可以发生在体细胞或生殖细胞的细胞分裂间期（DNA复制期）。发生在体细胞中的突变只能引起当代生物性状的改变，在发育过程中，体细胞突变发生得越早，突变体区就会越大，对表现型的影响就越大。否则，突变发生在一个不再分裂的细胞中，它对表现型的影响可能被忽略。但是引起癌症的突变是一个特例，突变发生在原癌基因中，引起细胞发生不可控制的

分裂从而导致肿瘤的发生。体细胞突变是不能遗传给后代的，但是可以通过无性生殖途径传递，如在植物中切割包含突变体细胞的枝条来栽培，长成的植株可能产生来自突变体区的生殖组织，这就意味着突变的体细胞可以产生具有花朵的枝条而传递。发生在生殖细胞中的突变，如果发生突变的性细胞参与受精过程，那么突变基因就会传给下一代。最典型的例子就是性连锁遗传的血友病突变基因，在欧洲王室通过维多利亚女王在其整个家系中遗传。

（二）突变体的表现型特性

突变后出现的表现型改变是多种多样的。根据突变对表现型的最明显效应，可以分为：

1．形态突变　突变主要影响生物的形态结构，导致形状、大小、色泽等的改变，又称为可见突变。如水稻的高茎突变为矮茎，矮茎比高茎短是可见的。

2．生化突变　突变主要影响生物的代谢过程，导致一个特定的生化功能的改变或丧失。例如大肠杆菌的生长本来不需要在培养基中另添赖氨酸，而在突变后，一定要在培养基中添加赖氨酸才能生长，这就发生了生化突变。

3．致死突变　突变主要影响生活力，导致个体死亡。显性致死在杂合体和纯合体都有致死，而隐性致死则要在纯合体时才有致死效应。如人的镰刀形细胞贫血症的基因就是隐性致死突变；植物中的白化基因也是隐性致死的；女娄菜的细叶基因b是配子致死。

4．条件致死突变　在某些条件下是能成活的，而在另一些条件下是致死的。例如噬菌体T_4的温度敏感突变型在25℃时能在大肠杆菌宿主中正常生长，形成噬菌斑，但在42℃时就不能这样。

（三）基因突变的类型

基因突变可以自发产生，也可以诱导产生。

1．自发突变：在自然条件下发生的基因突变。自发突变频率一般很低。

2．诱发突变：人为地用各种物理的、化学的因素处理引起的基因突变。诱发突变的发生频率比自发突变频率高得多。

（四）基因突变的特点

1．随机性和普遍性

基因突变在生物界是普遍发生的。突变可以发生在各种不同生物以及任何个体上，也可以发生在生物个体发育的任何时期，任何细胞以及所有基因中。

2．稀有性

在自然条件下，突变频率往往是很低的。据估计，高等生物中的自发突变频率一般为1×10^{-5}～1×10^{-10}，细菌的自发突变频率一般为1×10^{-4}～1×10^{-10}。

3．可逆性

突变是可逆的，正常的野生型基因可以突变成突变型基因，称为正向突变（正突变）。相反，突变型基因也可以通过突变成为原来的野生型基因，这种突变称为回复突变（反突变）。通常情况下，回复突变率总是显著低于正向突变率。

4．多方向性和复等位基因

同一个基因可以向不同的方向发生突变，即它可以突变为一个以上的基因。例如B基因可以突变为等位基因b_1，b_2，b_3，…。一个基因座上可以有两个以上的基因状态存在，称为复等位基因，如人类决定ABO血型的基因I^A、I^B和i就是3个复等位基因。复等位基因的存在，说明了突变的多方向性，但这一特性是相对的，每一基因在突变方向上是有一定限制的，如家兔毛色的基因有C、c^{ch}、c^h、c4种复等位形式，但C基因突变一般只在毛皮的色素变化范围之内，因而突变的多方向性是相对的。

5．多害少利性

突变一般是有害的，大多数基因突变会破坏生物在长期进化过程中与环境形成的协调和平衡关系，因而表现出不同程度的有害性，只有为数不多的突变对生物体的生长发育有利。不过，突变的有害性和有利性是相对的，在一定条件下有害的突变可以转化为无害或有利的突变。

（五）引起基因突变的因素

1．物理因素（如射线辐射、温度等）

紫外线能引起各种形式的转换和颠换，其中C→T的转换最为常见。电离辐射（如X射线、γ射线等）也都能诱发突变。

2．化学因素（如碱基类似物、亚硝酸、吖啶类染料等）

碱基类似物如5-溴尿嘧啶，能引起DNA分子中A—T→C—G或C—G→A—T的转换。而吖啶橙则能引起单个碱基对的插入或缺失，造成移码突变。

（六）基因突变的方式

根据基因结构改变的方式不同，基因突变可以分为碱基替换突变、碱基缺失或插入引起的移码突变以及密码子缺失或插入突变。

1．碱基替换突变

在DNA合成过程中，如果形成了一个不配对的碱基对（比如A—C），则引起碱基替换，从而引起DNA复制过程中的错误，即在复制形成的子代DNA分子中，一对碱基被另一对碱基取代而引起基因突变。

（1）转换：一个嘌呤被另一个嘌呤替换，或一个嘧啶被另一个嘧啶替换。

（2）颠换：一个嘌呤被另一个嘧啶替换，或一个嘧啶被另一个嘌呤替换。

基因中的碱基替换使碱基顺序发生改变，常常导致基因产物蛋白质多肽的异常，从而表现出性状变异——出现突变性状或遗传性疾病。人类的血红蛋白病就是由于基因突变致使蛋白质分子合成异常引起的遗传病。血红蛋白由珠蛋白和血红素构成。成年人最重要的血红蛋白A（HbA），每个分子包括两个α链和两个β链，即HbA（α_2，β_2），α链含141个氨基酸，β链含146个氨基酸。α链和β链分别由α基因和β基因控制。无论α基因还是β基因突变为致病基因，均可引起血红蛋白结构异常。下面以镰刀形细胞贫血症和异常血红蛋白C（HbC）贫血症为例说明碱基替换突变的机制（图2-3-1）。

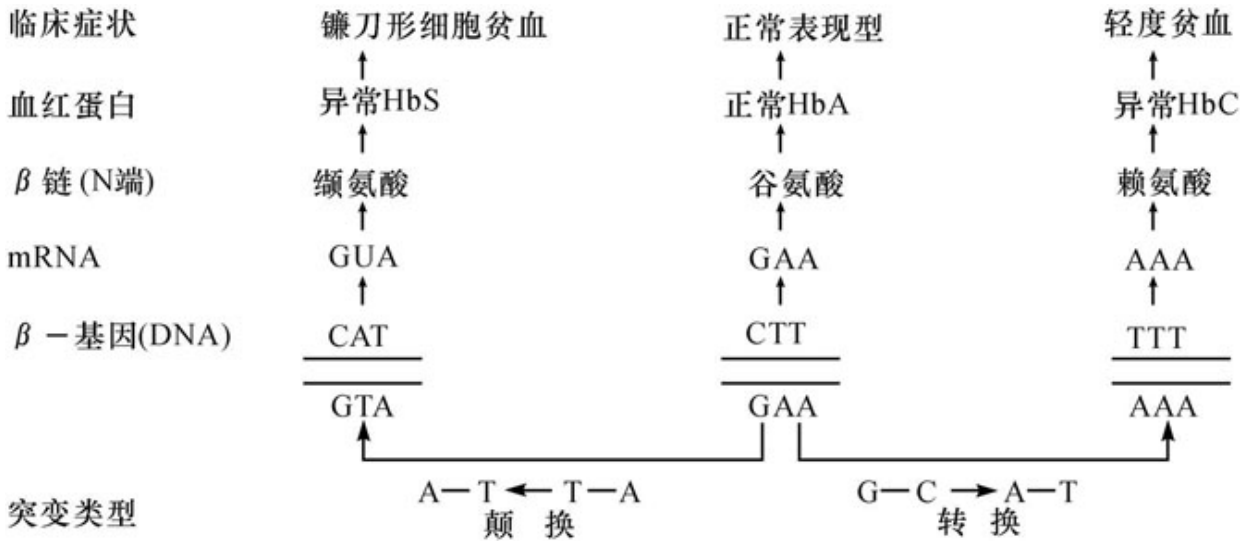


图2-3-1　镰刀形细胞贫血症和HbC贫血症产生的机制

由于遗传密码具有简并性，所以有些碱基替换也不一定会造成氨基酸序列的变化，根据碱基替换对氨基酸序列的影响不同，基因突变又可分为同义突变、错义突变、无义突变和终止密码子突变。

同义突变：基因内的一个密码子改变成另一个决定同一氨基酸的密码子，例如谷氨酸由GAA和GAG编码，它们之间的变化不会导致蛋白质氨基酸序列的改变，不会出现突变性状。

错义突变：一个氨基酸的密码子改变成决定另一个氨基酸的密码子，例如HbS和HbC的β链基因的突变。

无义突变：碱基的替换导致决定某氨基酸的密码子改变成终止密码子，使mRNA的翻译提前终止，形成不完整的肽链，其产物一般是无活性的。例如β链异常的Hb Mckees-Rock，其β链的第145位密码子UAU（酪氨酸）变为UAA（终止密码子），使β链C端丢失2个氨基酸。

终止密码子突变：指终止密码子改变成决定某个氨基酸的密码子，结果导致该基因决定的多肽链加长。例如α链异常的Hb Constant Spring，含有172个氨基酸，这是因为它的第142位的终止密码子UAA变成CAA（谷氨酰胺）的缘故。

2．移码突变

基因的核苷酸顺序由于增加或缺失不是3的倍数的核苷酸，而引起密码子阅读框的改变，这种突变称为移码突变。例如基因内部某个位点插入或缺失1个、2个或4个碱基，那么从插入或缺失碱基的位点开始，后面所有的密码子都将发生改动，结果翻译出来的蛋白质的氨基酸序列也完全不同于原来的样子。移码突变除了改变氨基酸排列顺序以外，通常还会改变终止密码子的位置，使肽链增长或缩短。例如，异常血红蛋白Hb Wayne的α链中，由于第138位密码子UCC（丝氨酸）缺失一个C，因而引起此后的氨基酸种类和数量均发生改变，直到147位才出现一个终止密码子UAG，产生的α链含有146个氨基酸。移码突变又可分为添加突变和缺失突变。

3．密码子的缺失或插入突变

决定一个氨基酸的3个核苷酸同时缺失或增加引起的突变，产生的多肽链的氨基酸数目会减少或增加，但是遗传密码的阅读框不会发生改变。例如，异常血红蛋白Hb Freiburg的β链缺少一个缬氨酸，其他氨基酸顺序没有改变，显然这是密码子缺失突变的结果。

（七）基因突变的意义

通过基因突变可以产生一系列各不相同的等位基因甚至某些非等位基因，为种群基因库不断地提供新的成员，使生物体产生新的性状，形成广泛的生物多样性。同时，基因突变为自然选择提供了丰富的原始材料。生物进化是突变、选择和隔离等诸多因素综合作用的结果，因此，基因突变是生物进化不可缺少的重要条件。

另外，物理因素和化学因素可以诱发突变，使突变频率大大提高，通过人工选择再加上育种上的一些措施，可以培育出生产上需要的各种优良品种。在微生物选种中，现在已广泛应用诱变因素来培育优良菌种，在植物方面，应用诱变育种也已培育出许多优良品种。

三、染色体畸变

染色体畸变是指生物细胞的染色体结构和数目发生改变，从而引起生物的变异。染色体畸变包括染色体结构变异和染色体数目变异两种类型。

（一）染色体结构变异

在人工诱变或自然条件下，染色体在某些部位可以发生断裂，断裂端由于不存在染色体端粒结构的保护，因而保持着重接愈合的趋势。绝大多数的断裂通过修复在原处愈合，也有少数断裂的重接出现差错，或者断裂端保持游离状态，结果产生染色体结构变异。根据断裂发生的时间，染色体结构畸变可分为两大类型，即染色体型和染色单体型。如断裂发生于G_1期，这时染色体尚未复制，可导致染色体畸变，通过S期的复制，可以影响同一染色体的两条染色单体。如果断裂发生在G_2期，这时染色体已经复制，由两条染色单体构成，断裂通常只影响两条单体中的一条，即导致染色单体畸变。染色体结构变异的主要类型是缺失、重复、倒位和易位。

1．缺失

染色体丢失了一个片段，使得位于这个片段上的基因也随之丢失。例如，人类第5染色体短臂缺失（$5P^-$）会引起一种严重的遗传病——猫叫综合征。

根据染色体断裂点的数量和位置可分末端缺失和中间缺失两类。

（1）末端缺失：在染色体长臂或短臂接近末端的一个节段发生一次断裂，造成该染色体缺失远侧节段的现象。

（2）中间缺失：在染色体的着丝粒一侧的短臂或长臂内发生两处断裂，产生3个节段，中间片段脱离后，近侧段（离着丝粒近）和远侧段（离着丝粒远）的断面彼此连接，形成一条有中央缺失的衍生染色体。

由于所丢失的染色体片段的大小不同，缺失所造成的遗传学效应也各不相同，一般缺失纯合体比缺失杂合体的生活力更低。

2．重复

一个染色体上某一片段出现两份或两份以上的现象，使位于这些片段上的基因多了一份或几份。如果蝇X染色体上一个区段的重复，产生了突变性状棒眼。

（1）串联重复：重复片段紧接在固有片段之后，两者的基因顺序一致。

（2）倒位串联重复：重复片段与固有片段衔接在一起，但重复片段中的基因排列顺序相反。重复的遗传学效应比缺失缓和，但若重复片段较大，也会影响个体的生活力，甚至死亡。

3．倒位

在同一染色体上某一个片段作180°的颠倒，造成染色体上基因顺序的重排。

（1）臂间倒位：颠倒的片段包括着丝粒在内的倒位。

（2）臂内倒位：颠倒的片段不包括着丝粒的倒位。

倒位区段内的基因表现出很强的连锁性，交换值显著减少。

4．易位

一个染色体臂的一段移接到另一非同源染色体的臂上的结构变异。

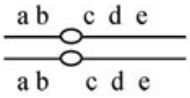
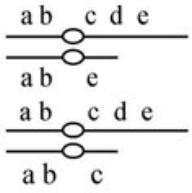
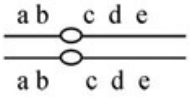
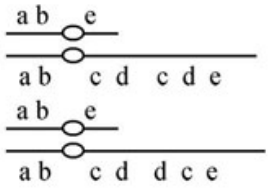
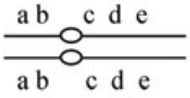
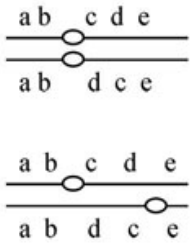
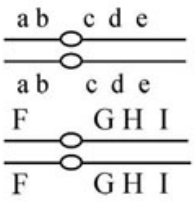
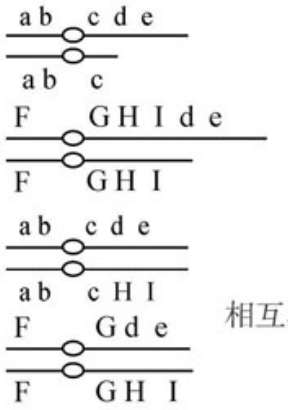
（1）相互易位：这是最常见的，即非同源染色体间相互交换染色体片段，造成染色体基因的重排。在各号染色体间都可发生，新生儿的发生频率约（1～2）/1000。相互易位仅有位置的改变，没有可见的染色体片段的增减时称为平衡易位。它通常没有明显的遗传效应。然而平衡易位的携带者与正常人婚后生育的子女中，却有可能得到一条衍生异常染色体，导致某一易位节段的增多（部分三体性）或减少（部分单体性），并产生相应的效应。

（2）罗氏易位：罗氏易位为相互易位的一种特殊形式。两条近端着丝粒染色体在着丝粒处或其附近断裂后形成两条衍生染色体。一条由两者的长臂构成，几乎具有全部遗传物质；而另一条由两者的短臂构成。由于缺乏着丝粒或因几乎全由异染色质组成，故常丢失。它的存在与否不引起表型异常。

原来同一染色体上的连锁基因经易位表现独立遗传；反之，原来独立遗传的基因经易位也可能出现连锁遗传的现象。

染色体结构四种变异的区别如表2-3-1所示：

表2-3-1　染色体结构变异情况

变异类型	正常染色体	染色体结构的变异
1.缺失		 中间缺失 末端缺失
2.重复		 中间重复 倒位中间重复
3.倒位		 臂内倒位 臂间倒位
4.易位		 单向易位 相互易位

（二）染色体数目变异

真核生物的染色体数目变异有两种类型。生物体细胞的染色体数目以染色体组为单位的倍数性变化称为整倍性变异，由此产生的个体是整倍体。细胞中个别染色体的数目增减称为非整倍性变异，由此产生的个体为非整倍体。

1．整倍性变异

（1）染色体组（常以X表示）：指二倍体生物的生殖细胞中的一组形状、大小各不相同的染色体，又称为基因组。一个染色体组所包含的各个染色体互为非同源染色体。不同类型生物的染色体组包含的染色体数目、形态以及染色体上的基因序列是各不相同的。一个染色

体组含有的染色体数目称为染色体基数，例如人的染色体基数为23，普通果蝇的为4，水稻的为12。要注意的是，并不是所有生物生殖细胞中的一组染色体就是一个染色体组，例如六倍体普通小麦的生殖细胞中就有3个染色体组，而不是1个染色体组。

（2）二倍体：由合子发育而来，体细胞中含有两个完整染色体组的个体称为二倍体（2n）。自然界多数生物是二倍体。

（3）多倍体：由合子发育而来，体细胞中含有多于两个染色体组的生物统称为多倍体。常见的多倍体有三倍体、四倍体、六倍体等，分别用3n、4n、6n表示。也有以n表示配子，2n表示体细胞，X表示一个染色体组。例如，二倍体水稻的染色体数为24（2n＝2X＝24），三倍体无籽西瓜染色体数为33（2n＝3X＝33），六倍体普通小麦染色体数为42（2n＝6X＝42）。根据体细胞中染色体组的来源不同，多倍体又可分为同源多倍体、异源多倍体和同源异源多倍体。

同源多倍体即体细胞中染色体组来源于同一物种的多倍体，如同源四倍体AAAA。同源多倍体与二倍体比较，植株粗壮，器官增大，生理代谢活动旺盛，代谢产物增加，适应不利环境的能力增强，而生长和发育一般延缓，结实率降低。香蕉是天然的同源三倍体，此外，三倍体无籽西瓜、三倍体甜菜都是同源多倍体。

同源四倍体的基因分离比较复杂。对一对基因来讲，二倍体只有一种杂合体，即Aa，四倍体却有三种杂合体，即AAAa（三显体），AAaa（二显体），Aaaa（单显体）。假定四条同源染色体在第一次减数分裂后期时，两两分离，染色体组合随机，则对一个座位来讲，各种杂合体所产生的配子比例以及自交时子代的表现型如表2-3-2：

表2-3-2　同源四倍体的各种杂合体的配子比例和自交后代的表现型比例

基因型	配子比例	自交后代的表现型比例
AAAa	AA∶Aa＝1∶1	全部是A_ _ _
AAaa	AA∶Aa∶aa＝1∶4∶1	A_ _ _∶aaaa＝35∶1
Aaaa	Aa∶aa＝1∶1	A_ _ _∶aaaa＝3∶1

异源多倍体即体细胞中染色体组来源于不同物种的多倍体，如普通小麦为异源六倍体DDFFGG（图2-3-2）。

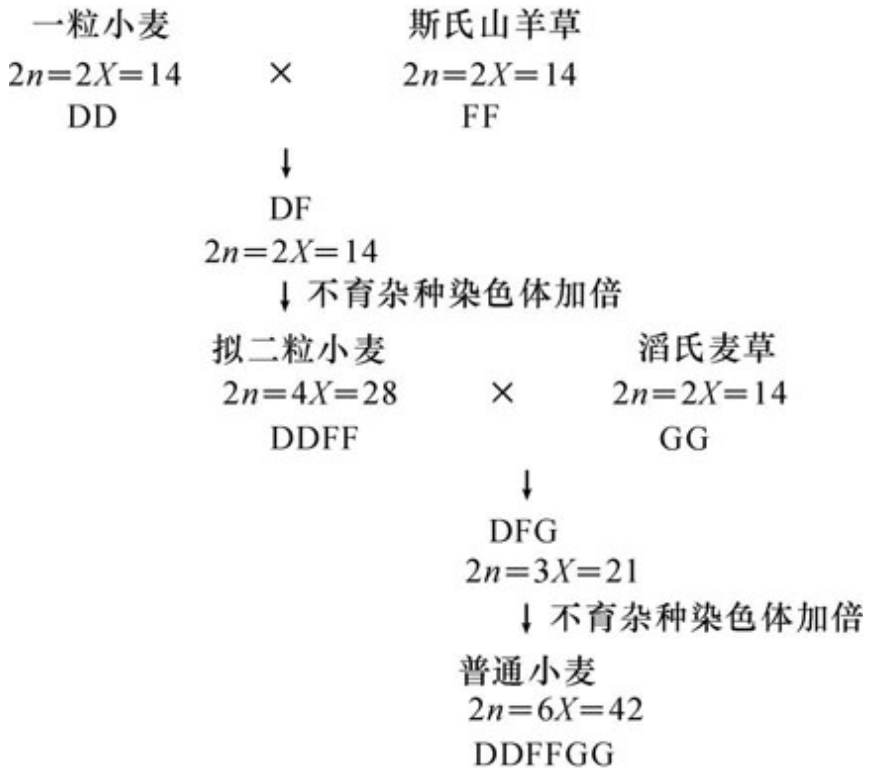


图2-3-2　异源六倍体普通小麦可能的起源途径

同源异源多倍体即体细胞中染色体组既有同源又有异源的，如同源异源多倍体AAAABB。

（4）单倍体：凡是体细胞中含有本物种配子中染色体数目的个体统称为单倍体。无论二倍体或多倍体生物，通过单性生殖产生的个体只含有本物种配子中的染色体数目，例如水稻、小麦的花粉植株，蜜蜂中的雄蜂等，这些都是单倍体。与二倍体比较，人工诱导的单倍体（例如花粉植株），生长势弱、株形细小，而且表现高度不育。单倍体的高度不育性是因为减数分裂时染色体无规则地分配到配子中去，形成正常可育配子的概率仅为$(1/2)^n$（n为染色体组的染色体基数）。但是自然状态存在的单倍体（例如雄蜂等），由于长期的自然选择作用，其生活力及繁殖能力均表现正常。

2．非整倍性变异

非整倍性变异就是整倍体中缺少或额外增加1条或几条染色体的变异类型。一般是由于减数分裂时1对同源染色体不分离或提前分离而形成n－1或n＋1的配子，由这些配子和正常配子n结合，或由它们相互结合便产生各种非整倍体。染色体数目的非整倍性变异中，常见的类型有：

（1）单体（2n－1）：二倍体细胞中某对同源染色体缺少1条染色体；

（2）缺体（2n＋2）：二倍体细胞中缺少了1对同源染色体；

（3）三体（2n＋1）：二倍体细胞中某对同源染色体增加了1条染色体；

（4）双三体（2n＋1＋1）：二倍体细胞中增加了两条非同源染色体；

（5）四体（2n＋2）：二倍体细胞中某对同源染色体变成了4条同源染色体。

利用单体、缺体、三体等染色体数目变异个体，能够进行基因定位研究，也可以实施染色体工程，有目的地更换特定的染色体，使生物获得新的有利性状，选育新的品种。

表2-3-3　基因重组、基因突变和染色体变异的比较

	基因突变	基因重组	染色体变异
概念	基因分子结构的改变，包括DNA碱基对的增添、缺失或改变(即DNA中脱氧核苷酸种类、数量、排列顺序的改变)	控制不同性状的基因重新组合	因染色体数目和结构的变化而导致生物性状的变异
原因	DNA复制过程中，可能由于各种外界环境因素(如射线、药物等)或生物内部因素的影响而发生差错，导致基因分子结构的改变	减数分裂过程中，由于非同源染色体上的基因自由组合等原因，导致有性生殖的后代中重新组合双亲的基因	细胞分裂过程中，由于受到一定自然或人为因素的影响而使染色体结构或数目发生变化(如环境条件剧变或用秋水仙素处理而形成多倍体植株等)
结果	改变遗传信息，产生新基因，出现新性状	不产生新基因，但能出现新的基因型	不产生新基因，一般能引起基因数量的增减甚至缺失从而改变生物的性状
意义	生物可遗传变异的主要来源，为自然选择提供了材料	有性生殖过程中最普遍的可遗传变异	对生物的可育性和某些新物种的形成有重要作用
特点	突变通常发生在细胞分裂间期，DNA复制时，其频率较低且一般是有害的。正常情况下，只有发生在生殖细胞中的突变才可能会遗传到下一代	通常只有在有性生殖过程中才可能会发生基因重组	在无性生殖和有性生殖过程中均可能会发生染色体变异
类型	自然突变、人工诱变	自由组合等	染色体结构、数目变异
应用	诱变育种	杂交育种	单倍体育种、多倍体育种

四、遗传变异和育种

培育动植物优良品种，必须依靠遗传学的理论指导。常见的育种方法有：

（一）诱变育种

人工诱变能够大大提高生物的基因突变频率，扩大突变范围，增加变异类型，人们通过人工诱变选育动植物和微生物的优良新品种或品系，这就是诱变育种。诱变育种中选择出的变异个体容易稳定，可以缩短育种年限。通过诱变处理，能够产生双亲都不具备的新的突变性状，培育出超越双亲的新品种。此外，诱变育种特别适宜改进生物体单一的某个性状，例如，1921年弗莱明发现青霉素，当时青霉素产量为每毫升培养液可以获得10国际单位青霉素。经过人们用X射线、紫外线以及芥子气等诱变处理，不断选择，产量逐渐上升，1943年青霉素产量提高到20国际单位/毫升培养液，1979年已达到50000～60000国际单位/毫升培养液，诱变育种使青霉素产量提高5000倍以上。

（二）杂交育种

有性杂交育种是最基本的育种方法，又称常规育种。它所依据的理论基础就是基因重组，通过基因重组可以产生同时具有不同亲本优良特性的新个体，通过人们的选择作用培育成具有优良性状的新品种。例如，有一个小麦品种能抵抗霜害，但容易感染锈病，另一个小麦品种能抵抗锈病，但不能经受霜冻，让这两个品种杂交，就可以在子二代中找到既能抵抗锈病，又能抵抗霜害的类型。当然在子二代中也会出现既容易感染锈病，又不能耐受霜害的类型和其他类型。育种工作者可以通过选择的方法选留所需要的植株，淘汰不符合要求的植株。

（三）单倍体育种

人工诱导的单倍体生活力弱、株形细小，而且表现高度不育，在生产上本身没有直接利用价值，但是经过加倍以后产生的二倍体，其基因型是高度纯合的，在遗传上表现稳定，自交的后代不会出现性状分离，单倍体育种就是利用单倍体的这种特性。单倍体育种中，首先将花药离体培养获得单倍体植株，再用秋水仙素等处理，使之加倍得到二倍体纯系，然后进行选择，培育新品种。与一般的杂交育种方法比较，利用单倍体途径至少可以缩短3～4代的自交时间。

（四）多倍体育种

多倍体育种就是通过人工诱导多倍体的方法选育新品种。要得到多倍体，可用高温、低温、离心、超声波等物理方法处理，不过更有效的是应用化学药剂，其中以秋水仙素应用最为广泛。三倍体无籽西

瓜、三倍体甜菜、八倍体小黑麦等都是采用多倍体育种的方法选育成功的（图2-3-3）。



图2-3-3　异源八倍体小黑麦的培育过程

表2-3-4　常见育种方法比较

	原理	方法	目的	注意点
诱变育种	基因突变	射线处理（一般用紫外线照射）	获取有利新基因，大幅度改良生物的性状	由于突变频率低，需要处理大量的实验材料，育种对象通常是个体小、繁殖快的微生物
杂交育种	基因重组	杂交	将亲本优良基因重组在一起，改良品种的性状	具有优良性状的杂种后代可通过单倍体育种的方法纯化
单倍体育种	染色体变异	花药离体培养（单倍体育种常与杂交育种一起进行）	缩短育种年限，更快获得纯合体	单倍体本身高度不育，用秋水仙素处理可获得纯合体
多倍体育种	染色体变异	秋水仙素处理幼苗（抑制纺锤体形成，导致染色体加倍）	获得多倍体植株（特点是植株高大，营养丰富，结实率降低）	育种对象通常是植物

五、人类遗传病与优生

因遗传因素引起的疾病称为遗传病。

（一）遗传病的特征

1．先天性

大多数遗传病是先天性疾病，即在胎儿出生前，由于染色体结构或数目异常，或基因的点突变，在婴儿出生时就显示症状，如先天愚型、血友病、白化病等。但先天疾病不一定都是遗传病，如胎儿在母体子宫内感染天花造成的脸部瘢痕，母亲妊娠期最初3个月内感染风疹病毒导致的胎儿先天性心脏病等。这些疾病虽是先天性的，但却是由于环境因素所引起，将来也不会把这种疾病传给后代。也有不少遗传

病在出生时毫无症状，要到一定年龄才发病。如肌营养不良症在儿童期发病，亨廷顿氏舞蹈病发病于25～45岁，痛风病则发生在30～50岁。可见，先天性疾病中除由于环境因素引起的之外，有的实际上是遗传病。

2．家族性

遗传病还常表现为家族性疾病，在亲代和子代中都有患者，或是正常父母所生子女中出现一个或一个以上的同类疾病患者，这是由于从共同祖先继承了相同的致病因素所致，如家族性多发性结肠息肉。遗传病也可能呈散发性，如一些隐性遗传病因为只有在纯合状态下才发病，而致病基因的频率一般都很低，形成纯合状态的机会很少，所以往往是散发患病。同样，有些疾病虽然表现为家族性，却不一定是遗传病，如维生素A缺乏引起的夜盲症常有家族性，这是因为饮食条件相似，以致家族中多个成员患病。

（二）遗传病的种类

一般遗传病可分为3类，即染色体病、单基因病和多基因遗传病

1．染色体的结构或数目异常而导致的遗传性疾病。

猫叫综合征：人类第5染色体短臂缺失（$5P^-$），属染色体结构变化引起的遗传病。

唐氏综合征（先天愚型）：21号染色体三体综合征；Klinefeter综合征（小睾丸症）：XXY；Turner综合征（先天性卵巢发育不全症）：XO；Patua综合征：13号染色体三体（一般出生后3个月内死亡）；Edwards综合征：18号染色体三体（平均寿命6个月）。以上这些均属染色体数目变化引起的遗传病。

2．单基因病

主要与一对致病基因有关，它们按简单的孟德尔方式遗传。突变基因可在常染色体上或性染色体上，可呈显性或隐性。根据致病基因所在染色体和显、隐性关系，又有4种遗传方式。

（1）常染色体隐性遗传病：白化病，缺少酪氨酸氧化酶，不能合成黑色素。黑尿症，缺少分解尿黑酸的酶。苯丙酮尿症，缺少分解苯丙氨酸的酶。先天性聋哑、镰刀形贫血症、半乳糖血症等。

（2）X染色体隐性遗传病：红绿色盲、血友病等。

（3）常染色体显性遗传病：如亨廷顿症（导致脑退化的慢性病）。

（4）X染色体显性遗传病：如抗维生素D佝偻病。

3．多基因遗传病

人类有一些疾病如哮喘、原发性高血压、糖尿病以及某些先天畸形（唇裂、腭裂）是由许多对基因共同控制的，称为多基因遗传病。在多基因遗传病中，致病的若干对基因各有一份微小累加效应，这种微效基因越多，性状表现的强度就越大。这些微效基因对环境的影响敏感，可使疾病表现出一定幅度的变异。多基因遗传病，不表现典型的孟德尔遗传方式，患者同胞中的发病率不是1/2或1/4，大约只有1%～10%。多基因遗传病实际上是由遗传因素和环境因素共同作用而呈现的性状变异。

（三）线粒体基因病

线粒体基因组中发生基因突变所导致的一类疾病，其传递和表达完全不同于核基因突变引起的疾病，是一组独特的遗传病，称为线粒体基因病。如Leber遗传性视神经病，这种病是由于线粒体呼吸链复合物遗传性异常而引起的，随线粒体传递，呈母性遗传。

（四）优生

优生是指人类如何改善自身的身体素质并能健康地遗传，得到优良的后代。优生关系到人口素质的提高，具有重要的生物学意义和社会学意义。

优生学是由英国学者S. F. Galton创建的，此后优生学作为一门科学发展起来，现代优生学是在Galton的基础上结合新技术的发展而成的一门综合性和应用性的科学，是运用人类遗传学知识来降低遗传病的发病率和提高人类遗传素质的科学。根据所采取的优生措施不同。优生学分为正优生学和负优生学。前者的着眼点是研究如何维持或增加人群中的有利基因的频率以及有利的等位基因组合，来改进人类的遗传素质，所以又称为进取性优生学。这方面的措施有人工授精、试管婴儿培育等。后者则是应用现代医学技术来预防有严重遗传病或先天性疾病的个体出生，以降低不利基因的频率和等位基因组合，因此又称为预防性优生学。目前，国内外所实行的禁止近亲结婚、婚前检查、适龄生育、遗传咨询、产前诊断、选择性流产等都属于这一范畴。

【例题解析】

例1　在某一精母细胞中，有一对染色体中一个单体的基因顺序为1234·5678，另一个为1265·4378（中间的“·”表示着丝粒）。如果在减数分裂时在3和4之间发生了一次交换，在它所形成的四个配子中，这个染色体的构成分别是（　　）

A．1234·5678　1256·3421　8734·5678　1265·4321

B．1234·5678　1256·4378　8734·5612　1256·4321
C．1234·5678　1265·4321　8734·5678　1265·4378
D．1234·5678　1265·4321　1234·5678　8765·4387

解析　生物进行减数分裂时，发生联会的同源染色体，在联会结束时有交叉互换的现象。同源染色体之间的交叉互换过程要注意两点；（1）交叉互换是发生在同源染色体的非姐妹染色体之间，而且每一个交叉点，只涉及两条染色体中的各一条染色单体。（2）交叉互换应该理解为染色体的断裂后再连接，因此，如果只发生一次交叉互换，那么从交叉点以后的所有基因都发生互换。1234·5678和1265·4378在3和4之间发生了一次交换，所产生的四个配子中，其中两个仍为1234·5678和1265·4378，另两个只是123和378交换，即为1265·4321和8734·5678。

答案　C

例2　某男子患有一种罕见的皮肤病。他与一位正常女子结婚后，生育了6个儿子和4个女儿。所有儿子都患该病，所有女儿都正常。随后发现，该男子所有孙子都患病，所有孙女、外孙、外孙女都正常，该病的遗传方式最可能为（　　）

A．X连锁隐性遗传
B．常染色体显性遗传
C．Y连锁遗传
D．无法判断

解析　该题考查了人类遗传病有关知识，根据题中所给的信息分析判断是属于哪种遗传病类型。由题可知，该男子患这种病，它的儿子和孙子均患该病，而其他人均正常，所以应该属于Y连锁遗传的遗传病。

答案　C

例3　香蕉无籽，是因为（　　）

A．香蕉是三倍体植物
B．香蕉种子很小
C．香蕉种子不在我们所食部分
D．香蕉种植中施加了植物激素

解析　该题考查了染色体数目变异的内容，其中还涉及减数分裂过程中同源染色体联会后的分离等有关的知识。由于香蕉是三倍体植物，是奇数，因而在减数分裂过程中同源染色体联会时，有两条同源的可以配对，另一条不能配对，即发生了同源染色体联会紊乱，配对的可正常分离，平均分配到两个子细胞中去，而不能配对的这一条就

随机地到任一配子中，导致非整倍性变异的不正常配子的产生，这样的配子受精不能形成正常受精卵，也就不能发育成正常的种子，所以结的是无籽果实。

答案　A

例4　一个基因是一个顺反子，它可以分成很多的_____和_____。若基因中，a与b反式有互补作用，表示ab是属于_____，a与b反式无互补作用，表示a和b是属于_____。

解析　因为基因可以发生突变也可以由于交换而产生重组，所以在基因内部有由于改变可以产生变异的最小单位，即突变子，不能由重组分开的基本单位叫重组子。即基因由很多的突变子和重组子组成。显然，如果a与b反式有互补作用，就可知道a、b发生突变是非等位的，即位于不同的顺反子内，反之则位于同一顺反子中。

答案　突变子　重组子　不同顺反子　同一顺反子

例5　在野生大肠杆菌中多肽P是由169个氨基酸组成的，由N—末端算起第161到165位上的氨基酸序列是…—161（色）—162（组）—163（甲硫）—164（谷）—165（酪）—…。有一株大肠杆菌，其多肽P的结构基因发生了突变，结果多肽P（突变后的P）仅含有165个氨基酸。前160个氨基酸的序列与野生型的相同，其他序列如下：…—161（色）—162（苏）—163（酪）—164（甘）—165（缬）—…。在下列问题中假定突变种的mRNA与野生型的mRNA仅有一个核苷酸之差。试回答：

（1）写出野生型和突变型的mRNA中161至165的氨基酸密码子（对于每一种氨基酸，只有一个密码是正确的，色氨酸的密码子为UGG）。

（2）大肠杆菌其多肽P的结构基因发生了突变，该突变属于下列哪种类型（　　）

A．置换（替换）突变

B．插入突变

C．缺失突变

D．重复突变

（3）在突变的mRNA中，密码165之后紧接着什么字母？

解析　基因突变可以分为以下两种类型：①碱基替换突变，即DNA分子中一个嘌呤被另一个嘌呤所替代，或一个嘧啶被另一个嘧啶所替代。②移码突变，即在DNA分子中插入或缺失一个或几个碱基对时，通过转录将使mRNA上的原有密码系列的位置发生改变。因此替换突变只改变单个密码，而移码突变可改变一系列密码。本题由于只

有1个核苷酸之差导致多肽P中从162到165四个氨基酸发生改变，即改变了四个氨基酸的密码，故不可能发生替换突变，而只可能发生了移码突变，而且移动应该发生在CAU或CAC，若发生缺失突变，无论缺少哪一个碱基都不能解释本题所述的结果，那么只可能发生插入突变，在野生型161号和162号密码子之间1个腺嘌呤核苷酸（A），则野生型162到165密码子序列CAU（组）AUG（甲硫）GAG（谷）UAU或UAC（酪）将移码ACA（苏）UAU（酪）GGA（甘）GUA（缬）。野生型中165号酪氨酸（UAU）移码突变成缬氨酸（GUA）后，在突变型mRNA上除编码165号缬氨酸后，剩一个U碱基（尿苷酸），因此在突变型中紧接165号密码子之后的字母应是U，它刚好是166号密码子的第一个核苷酸，这样就使得166号可能成为一个终止密码子（UAA、UAG或UGA）。

答案　（1）野生型密码子为161（UGG）162（CAU）163（AUG）164（GAG）165（UAU）；突变型密码子为161（UGG）162（ACA）163（UAU）164（GGA）165（GUA）　（2）B　（3）在突变的mRNA中，紧接着密码子165的是U字母

【针对训练】

1．番茄高茎对矮茎为显性，圆形果实对梨形果实为显性（两对基因独立遗传）。现有两纯合亲本杂交后得到的F_1，再自交得F_2，则F_2中重组型类型有（　　）

A．1/4

B．3/8

C．5/8

D．3/8或5/8

2．一个遗传密码的突变导致了本来编码氨基酸的密码子变成终止子，这种突变属（　　）

A．无义突变

B．错义突变

C．中性突变

D．移码突变

3．密码子UCG突变成UAG。这种突变属（　　）

A．点突变

B．无义突变

C．沉默突变

D．A和B都正确

E．以上都正确

4．基因中添加或删除一至两个碱基导致的突变属（　　）

A．中性突变

B．移码突变

C．颠换突变

D．转换突变

E．无义突变

5．以下突变中属于错义突变的有（　　）

A．AAA（Lys）变成AAG（Lys）

B．UUU（Phe）变成UAA（终止子）

C．AAA（Lys）变成AGA（Arg）

D．UGA（终止子）变成UAG（终止子）

E．AUG（Met）变成UGA（终止子）

6．秋天，在桃树上如发现个别芽变，欲将变异芽的性状保留影下来，则应（　　）

A．等开花时进行自花授粉

B．等开花时接受同株花粉

C．等开花时接受并株花粉

D．取下变异芽嫁接到砧木上

7．下列生物的性状中都是通过基因突变而形成的一组是（　　）

A．无籽番茄和无籽西瓜

B．人类白化病和矮秆水稻

C．无籽西瓜和人镰刀形贫血症

D．无籽番茄和果蝇残翅

8．用基因型为DdTt的植株所产生的花粉粒，经分别离体培养成幼苗，再用秋水仙素处理，使其成为二倍体，这些幼苗长成后的自交后代（　　）

A．全部为纯合体

B．全部为杂合体

C．1/16为纯合体

D．4/16为纯合体

9．用花药离体培养出马铃薯单倍体植株，当它进行减数分裂时，观察到染色体两两配对，形成12对，据此现象可推知产生花药的马铃薯是（　　）

A．二倍体

B．三倍体

C．四倍体
D．六倍体
10．下列有关基因突变的说法，不正确的是（　　）
A．自然条件突变率是很低的
B．人工诱变都是有利的
C．基因突变能产生新的基因
D．基因突变在自然界广泛存在
11．生物的亲代和子代、子代与子代之间在性状表现上总是存在一定的差异，其中不能遗传的差异是（　　）
A．由基因重组引起的差异
B．单由环境条件引起的差异
C．由基因突变引起的差异
D．由染色体变异引起的差异
12．既要提高农作物的变异频率，又要使后代变异性状较快稳定，可采用（　　）
A．杂交育种法
B．诱变育种法
C．单倍体育种法
D．多倍体育种法
13．在动物的育种中，用一定剂量的X射线处理精巢，可望获得大量变异个体。这是因为（　　）
A．合子都是纯合基因
B．诱发雄配子发生了高频率的基因突变
C．诱导发生了大量的染色体变异
D．提高了基因的互换率
14．普通仓鼠和花背仓鼠的体细胞均有22条染色体，金背仓鼠是它们进行种间杂交的受精卵经染色体加倍后形成。该金背仓鼠属于（　　）
A．单倍体
B．二倍体
C．同源四倍体
D．异源四倍体
15．某物种3个种族染色体区段排列是①ahbdcfeg，②ahbdgcfe，③ahbdgefc，已知其祖先中DNA随机切酶片段中心出现概率很高。问这3个种族有无直接演化关系，怎样演化（　　）
A．无

B．有，两次倒位
C．有，一次倒位一次易位
D．有，一次倒位一次缺失
16．玉米的糯质胚乳基因WX和黑绿茵基因v通常是连锁的。然而，有位学者发现一个品种中有自由组合的。问你能用哪一种染色体变异解释（　　）
A．缺失
B．重复
C．倒位
D．易位
17．在下列人类配子中，哪两种配子的结合会产生一个唐氏先天愚型的男性个体（　　）
①（23＋X）　②（22＋XX）　③21＋Y　④（22＋Y）
A．①和②
B．①和③
C．①和④
D．②和③
E．②和④
18．以下哪些因素可以导致染色体畸变（　　）
A．化学物质
B．辐射
C．正常细胞的生物化学反应
D．以上所有
19．结果导致DNA数量增加的染色体畸变是哪一种（　　）
A．重复
B．倒位
C．缺失
D．A和C均是
E．以上所有
20．一条染色体上的一个区域与同一条染色体上的另一区域发生交换，这种畸变属于什么类型（　　）
A．倒位
B．重复
C．缺失
D．转换
21．以下哪一类型的染色体畸变不能回到野生型的状态（　　）

A．重复
B．缺失
C．易位
D．A和C均是
E．以上所有
22．在某些昆虫的幼虫中，多线染色体产生的原因是（　　）
A．一条染色体发生断裂，与同一条染色体的另一部位重新连接
B．在染色体复制之前，细胞分裂发生了几次
C．染色体发生了复制，但没有发生相对应的核分裂
D．在进行非等位交换时，一条染色体的一小部分发生了复制
23．一条正常染色体的基因顺序如下：GENET*ICS（*代表着丝粒，字母代表一个基因），如果这条染色体发生了缺失，那么这条染色体的基因顺序可能变成（　　）
A．GENET*CS
B．GENENENET*ICS
C．GENPRQET*ICS
D．GENET*SCI
E．GENET*ENICS
24．以下这些突变中，哪一种最可能是致死性突变（　　）
A．点突变
B．重复
C．易位
D．缺失
25．在果蝇中，雄果蝇的Bar基因是伴性遗传的，那么携带有Bar基因雄果蝇眼睛的表型是（　　）
A．典型正常表现型
B．野生型的眼睛表型
C．小的，狭缝似的眼睛
D．不长眼睛
26．很多科学家认为，多基因家族（比如，珠蛋白基因）的进化是由于以下哪一种遗传重组的结果（　　）
A．重复
B．缺失
C．倒位
D．易位

27．在人类中，很多的癌症的发生与以下哪些遗传变异现象有关（　　）

A．缺失

B．重复

C．倒位

D．易位

E．以上所有

28．人类的一种癌症，其产生的原因是由于第9条染色体和第22条染色体间的相互易位，这种癌症是（　　）

A．何杰金病

B．慢性骨髓性白血病

C．B细胞淋巴瘤

D．急性淋巴细胞白血病

29．四倍体细胞具有（　　）

A．4条染色体

B．4个核

C．每条染色体具有4个拷贝

D．4对染色体

30．人类的一个三体细胞包含的染色体数目是（　　）

A．45条

B．46条

C．47条

D．48条

31．在某些条件下，X染色体的某些部位趋向于断裂。具有这种症状的综合征是（　　）

A．普来德—威利综合征

B．脆性X染色体病

C．特纳综合征

D．猫叫综合征

32．脆性X染色体病增加的核苷酸重复序列是（　　）

A．GGG

B．GCG

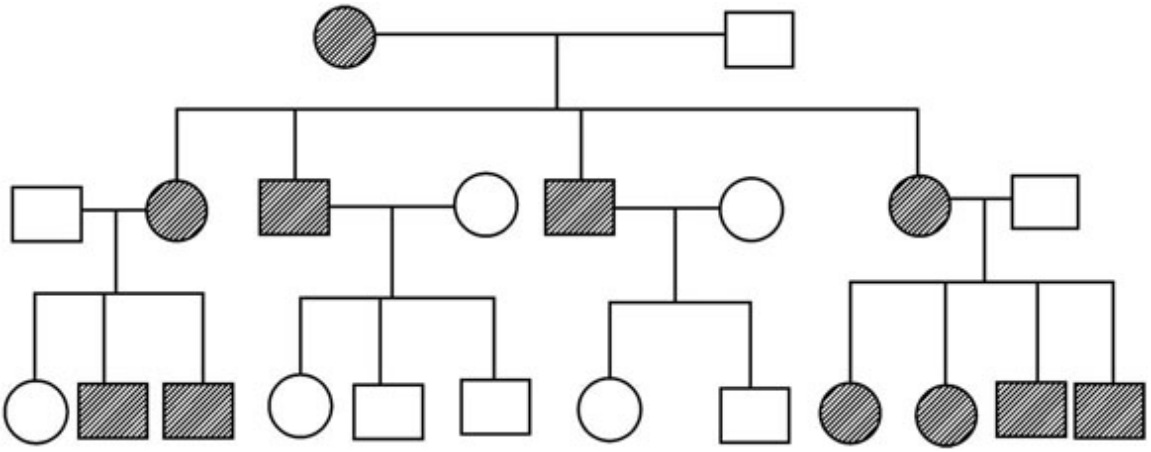
C．CCG

D．CGG

E．CCC

33．基因扩增的结果是（　　）

A．基因表达的速率增加
B．基因调节的失控
C．合成了更多的基因产物
D．基因表达的失控
34．以下哪些性状是由程序性易位所决定的（　　）
A．人类的秃顶
B．母的交配方式
C．果蝇的眼色
D．以上所有
E．以上均不是
35．三倍体细胞所表达的染色体数目是（　　）
A．n
B．2n
C．2n－1
D．2n＋1
E．3n
36．下图所示的家谱表示的是一种很少见的遗传性肌肉萎缩症。这种病很可能起因于下面给出的哪一种基因位点的突变（　　）



A．隐性、常染色体上
B．显性、常染色体上
C．隐性、X染色体上
D．在Y染色体上
E．在线粒体基因组中
37．下列各项杂交过程中，错误的是（　　）
A．二倍体×二倍体→二倍体
B．二倍体×四倍体→三倍体

C．二倍体×六倍体→四倍体

D．三倍体×三倍体→三倍体

38．八倍体小黑麦是普通小麦与黑麦杂交培育出的新种。普通小麦和黑麦杂交得到的种子是不育的。但偶然发现极个别的种子是可育的。估计出现这种现象的可能原因是（　　）

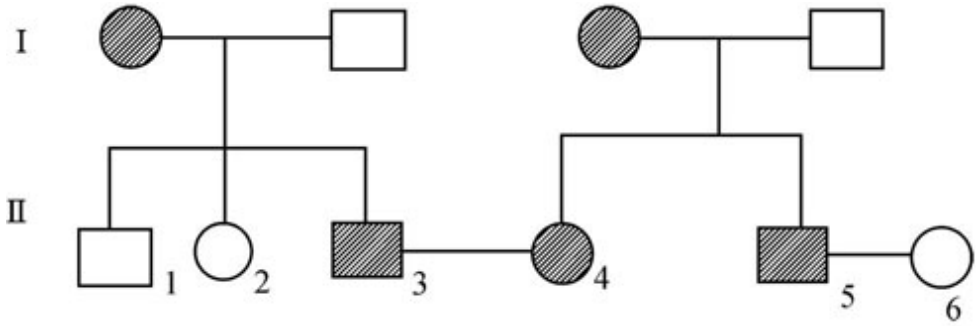
A．基因突变

B．基因重组

C．染色体加倍

D．环境变化

39．多指是常染色体显性基因引起的疾病，因为突变基因是罕见的，故假设下列系谱中患病个体均为杂合体。根据下面系谱回答下列问题：

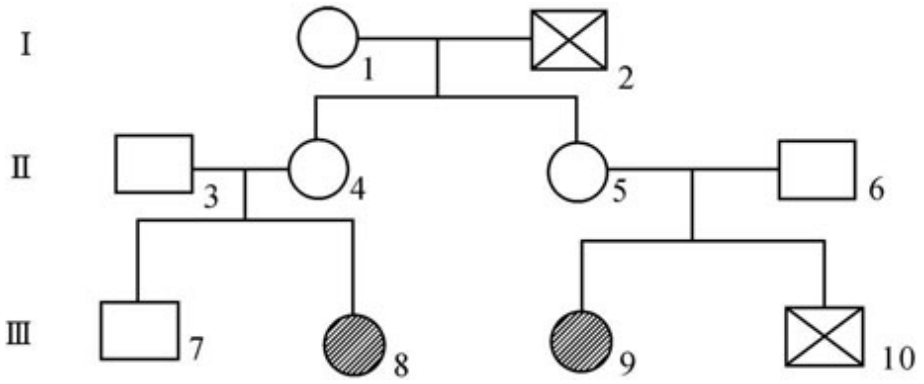


（1）如果II_3和II_4结婚，生了四个孩子，其中三个正常，一个多指的概率是_____。

（2）如果II_3和II_4的第一个孩子正常，第二个孩子患病的概率为_____。

（3）如果II_5和II_6结婚，生一个患病孩子的概率为_____。

40．为了说明近亲结婚的危害性，某医生向学员分析讲解了下列有白化病和色盲两种遗传病的家族系谱图。设白化病的致病基因为a，色盲致病基因为b，请回答下列问题：



注：●女性白化　　⊠男性色盲

（1）写出下列个体可能的基因型：

$Ⅲ_8$_____，$Ⅲ_{10}$_____。

（2）若$Ⅲ_8$与$Ⅲ_{10}$结婚，生育子女中只患白化病或色盲一种遗传病的概率是_____；同时患两种遗传病的概率是_____。

（3）$Ⅲ_9$和$Ⅲ_7$结婚，子女中可能患的遗传病是_____；发病的概率为_____。

41．将甲、乙、丙、丁4种二倍体植物进行杂交，产生的杂交后代在减数分裂时同源染色体可以配对，非同源染色体不能配对，配对情况如下表。请写出每种植物的染色体组成（依次用A，B，C，…等字母表示）：

	乙	丁
甲	甲与乙各 1 条配对 乙有 1 条不能配对	甲与丁各 1 条配对 丁有 2 条不能配对
乙	乙与乙各 2 条配对	乙与丁各 2 条配对 丁有 1 条不能配对
丙	乙与丙不能配对	丙与丁各 1 条配对 丁有 2 条不能配对

（1）甲_____。（2）乙_____。

（3）丙_____。（4）丁_____。

【参考答案】

1．D　2．A　3．D　4．B　5．C　6．D　7．B　8．A　9．C　10．B　11．B　12．B　13．B　14．D　15．B　16．D　17．C

18．D　19．A　20．A　21．B　22．C　23．A　24．D　25．C
26．A　27．E　28．B　29．C　30．C　31．B　32．D　33．C
34．D　35．E　36．E　37．D　38．C　39（1）3/64　（2）3/4
（3）1/2　40．（1）aaX^BX^B或aaX^BX^b　AAX^bY或AaX^bY　（2）
5/12，1/12　（3）白化、色盲或两病兼发　5/12　41．（1）AA
（2）AABB　（3）CC　（4）AABBCC

第4讲　生物的进化

（金华一中　庄金友）

【知识梳理】

一、生物进化的理论

（一）生物进化学说

在一个相当长的时间里，很多人认为丰富多彩的生物界是在某个时刻一次被创造出来的，而且一旦形成就永远不变了，这就是神创论，又称特创论。随着科学的发展，人们逐渐对神创论不断质疑，代表性的有以下两种学说。

1．拉马克的“用进废退”学说

拉马克，法国博物学家，最早提出完整进化理论的学者，1809年出版《动物哲学》。他认为环境变化是物种进化的根本原因。基本论点包括：①用进废退，即经常使用的器官会逐步发达起来，不经常使用的器官将慢慢退化。②获得性状遗传，即由环境变化所导致的性状改变（获得性状）是可以遗传给后代的。③生物具有按等级向上发展的趋向，即定向变异。生物向上发展的方式有两种，一是直线式上升，如重要的器官就是这样越来越复杂；二是分枝式发展，主要见于那些不重要的器官，呈现多样性。但拉马克提供的证据都不能令人信服。

2．达尔文的自然选择学说

达尔文，英国博物学家，1859年出版《物种起源》。他的自然选择学说被恩格斯称为“19世纪自然科学三大发现之一”。他认为生物进化的根本原因是自然选择。自然选择学说的主要内容包括：①过度繁殖：生物生存的条件；②生存斗争：选择的方式；③遗传变异：选择的基础（进化的内因）；④适者生存：选择的结果。

自然选择学说认为变异是不定向的，但选择是定向的，自然选择是一个淘汰不利变异、积累有利变异的缓慢而持续的渐变过程。它能解释生物的适应性和多样性，但不能圆满解释遗传和变异的原因，这是历史的局限性。

（二）现代生物进化理论

达尔文进化论局限于“个体”水平，而现代生物进化理论提出了进化的单位是“种群”，生物进化的实质是种群基因频率的改变，突变和基因重组为生物进化提供原材料，隔离导致新物种的形成。

1．种群

种群也叫群体，是指生活在一定地区的同种生物的一群个体，种群是生物繁殖的基本单位，通过繁殖将各自的基因传递给后代。

2．基因库

一个种群全部个体所带有的全部基因的总和称为这个种群的基因库。每个种群都有它自己的基因库。种群基因库组成的变化，实质上就是这一种群的进化。所以，影响种群基因库改变的因素也就是引起种群进化的因素。

3．基因频率

基因频率指某一等位基因在所有等位基因总数中所出现的百分率。例如，在人类的MN血型系统中，基因型L^ML^M的个体表现为M血型；基因型L^ML^N的个体表现为MN血型；基因型L^NL^N的个体表现为N血型。某次对1788人进行MN血型系统调查，发现有397人是M型，861人是MN型，530人是N型，则：

L^M基因的频率p＝（2×397＋861）/（2×1788）＝0.4628

L^N基因的频率q＝（2×530＋861）/（2×1788）＝0.5372

一个种群或一个物种基因频率的变化称为微进化，一个种群以上水平的进化称为大进化。

4．哈迪—温伯格定律（遗传平衡定律）

一个有性生殖的自然种群中，如果符合下述5个条件：①种群大；②种群内个体间随机交配；③没有突变；④没有新基因加入；⑤没有自然选择。那么这个群体中各等位基因的频率和基因型频率就可在一代代的遗传中稳定不变，保持平衡。

（1）当等位基因只有两个（A、a），设p代表A基因的频率，q代表a基因的频率，则$（p＋q）^2＝p^2＋2pq＋q^2＝1$，其中p^2是AA基因型频率，2pq是Aa（杂合体）基因型频率，q^2是aa基因型频率。

（2）当存在复等位基因（等位基因2个以上）时，公式要作相应的调整。如ABO血型的遗传，有I^A、I^B、i3个复等位基因，则公式就应

改为（p＋q＋r）^{2}＝p^2＋q^2＋r^2＋2pq＋2pr＋2qr＝1，其中p为I^A基因频率，q为I^B基因频率，r为i基因频率。A型血＝p^2＋2pr，B型血＝q^2＋2qr，AB型血＝2pq，O型血＝r^2。

哈迪—温伯格定律的发现说明在一定条件下群体可以保持遗传平衡，但事实上，这些条件基本上是不存在的。因为所谓极大的群体是不存在的，群体内个体之间的随机交配也不现实，突变不断产生，外来基因由于流动与迁移不断加入，自然选择也时时发生。因此，这一定律恰恰证明遗传平衡是相对的，而群体的基因频率一直在改变，进化是不可避免的。

5．影响基因频率的因素

（1）种群的大小

哈迪—温伯格定律在种群数量小时，基因频率就可以发生一定的波动。只有在数量很大的种群中统计时，基因频率才能稳定。

①遗传漂变：由于群体较小和偶然事件造成的基因频率的随机增减甚至丢失的现象称为遗传漂变。例如在一个群体中某一基因的频率为2%，则在一个50万个个体的群体中，有这一基因的个体有10000个；假如一群体只有50个个体，那么只有1个个体有这种基因，但这一基因型的个体可能由于偶然机会死亡或没有交配而在后代中消失。遗传漂变就是这样产生的，它是群体数量大小引起基因频率改变的一个方式。群体愈大，遗传漂变就愈小。

②建立者效应：这是遗传漂变的另一种形式，它说明小种群可以造成特殊的基因频率。例如一个种群中的几个或几十个个体（建立者）迁移到另一地区而定居下来，它们多数为AA，那么这一新的小种群中A的频率就可以大为增加，它们与原来的种群隔离开，而自行繁殖后代，这小种群可以造成与原来种群不同的基因频率，再加上它们被新地区的不同因素所选择而向着不同方向发展，因而有可能出现新性状，形成新品种或新种。

③瓶颈效应：许多生物特别是动物，在不同生活季节中，数量有很大的差异：春季繁殖，夏季数量增加到最多，到了入冬季，由于寒冷、缺少食物等种种原因而大量死亡。第二年春季，又由残存的少量个体繁殖增多。因此形成一个如瓶颈样的模式，这一瓶颈部分即为冬季数量减少的时期。假如残存的少数个体中，含有某一基因的个体多，下一世代繁殖后，这一基因的频率也相应增多。假如残存的少数个体中，含有某一基因的个体少，下一世代中该基因的频率也相应减少，这与建立者效应是相似的情况（图2-4-1）。

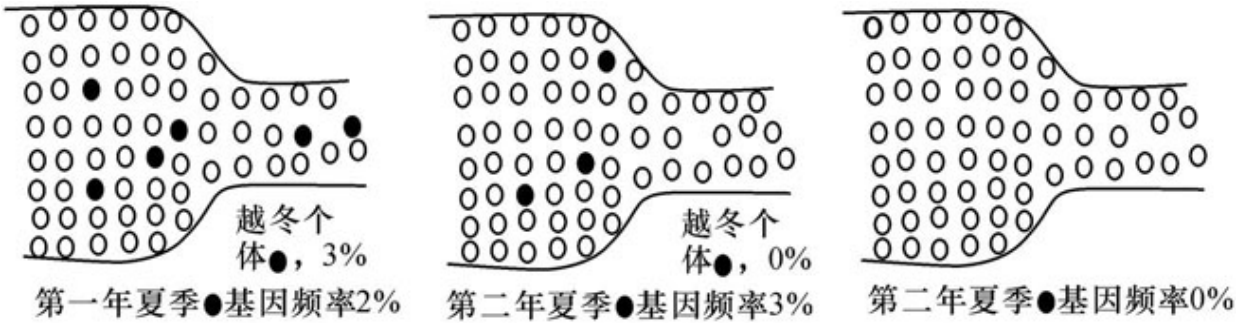


图2-4-1　瓶颈效应

（2）不随机交配：这是引起哈迪—温伯格平衡改变的最主要因素，例如雌性个体总要选择一定的雄性个体交配等。

（3）突变和新基因加入。

（4）自然选择：通过选择淘汰不利基因，积累有利基因，导致种群基因频率改变。

自然选择是一个很复杂的过程，一般有以下3种最基本的类型（图2-4-2）。

①稳定性选择：把趋于极端的变异淘汰掉，只保留中间类型的个体，使生物类型具有相对稳定性。这类选择多见于环境相对稳定的群体中。选择的结果将使性状的变异范围不断缩小，群体的基因型组成更趋于纯合。如人类新生儿的体重为平均体重者，其死亡率最低，过轻或过重者死亡率较高。

②单向性选择：把趋于某一极端的变异保留下来，淘汰掉另一极端的变异，使生物类型朝某一变异方向发展。这种选择的结果也会使变异的范围不断缩小，群体基因型组成趋向于纯合。单向性选择多见于环境条件逐渐发生变化的群体中，人工选择大多属于这种类型，即定向选择。

③分裂性选择：把一个群体中的极端变异个体按不同方向保留不来，而中间常态型则大为减少的选择。这种类型也是在环境发生变化的群体里进行的。原先较为一致的生态环境分隔为若干次级的环境，或群体向几种不同地区扩展，都会出现分裂性选择。如美国卡兹基尔山有轻巧型和粗壮型两类狼。

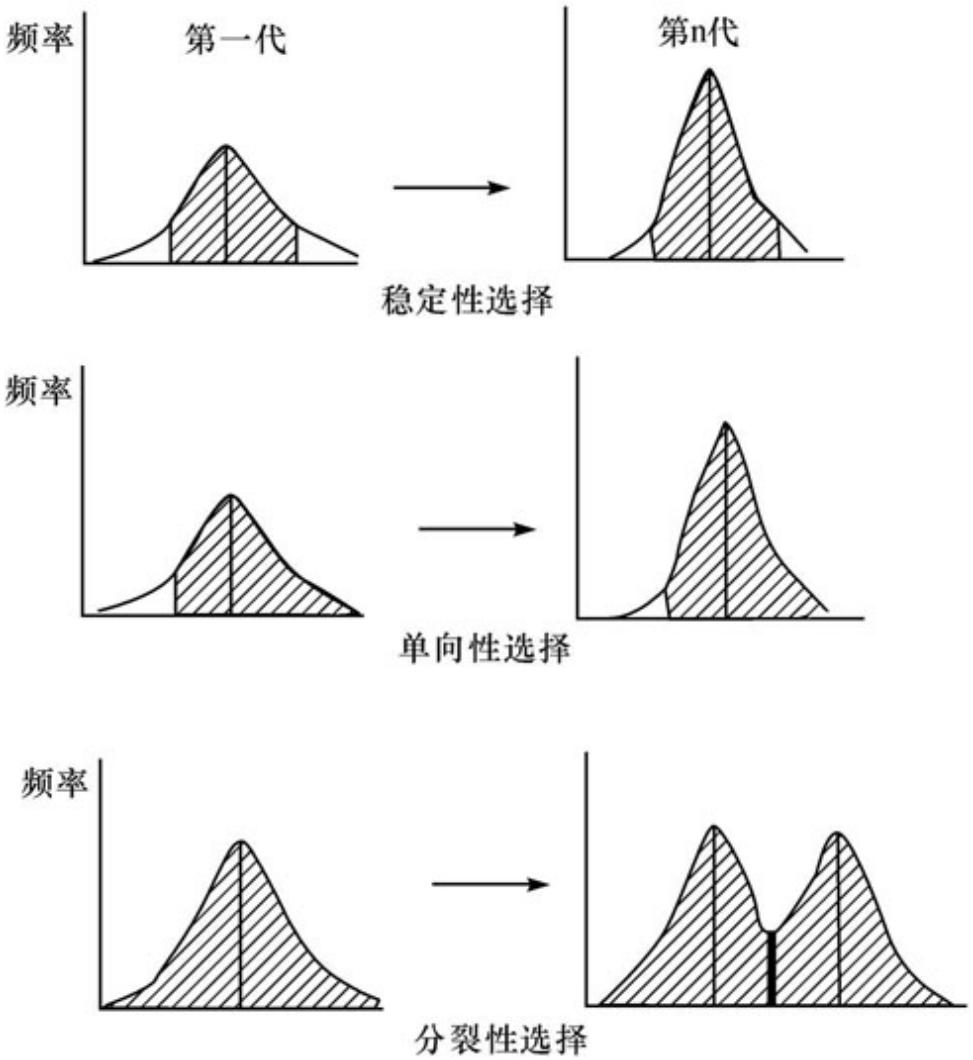


图2-4-2　选择类型示意图

对于多基因性状而言，完全没有突变，只要有选择，也能出现新品种或新性状。

适合度（W）：某一基因型与其他基因型相比时，能存活并留下子代的相对能力。适合度最高的基因型W＝1，其他基因型W＜1。

选择系数（S）：在选择作用下降低的适合度（S＝1－W）。致死基因纯合体W＝0，S＝1。

选择对隐性纯合体（aa）不利时，通过一代自然选择，隐性基因a的频率（q）的变化是：$\Delta q=-Sq^2(1-q)/(1-Sq^2)$，当q很小时，$\Delta q=-Sq^2(1-Sq^2)$。从公式看出，q越小，基因频率改变也小，q越大，改变也大。原因是当q很小时隐性基因大多存在于杂合体中，自然选择对它们不起作用。

选择对显性基因不利时，通过一代自然选择，显性基因A的频率（p）的变化是：Δp＝-Sp（1－p）^{2}/［1－Sp（2－p）］，当显性基因A是致死基因时，S＝1，则Δp＝-p，即一代之内A基因频率等于0，全部淘汰；当S很小时，Δp＝-Sp（1－p）^{2}，A基因频率降低速率大大放慢。

选择压：指在两个相对性状之间，一个性状被选择而生存下来的优势，或者说，在两个基因之间一个比另一个更能生存下来的优势。选择压增加，环境急剧变化，生存斗争十分激烈。结果往往产生特化的、能适应更狭窄环境条件的种群（进化速度也有所加快）；选择压降低，环境较稳定，生存斗争不激烈，总的说来进化速度也较缓慢（如海洋生物比陆地生物进化得慢）。但有时也会出现进化速度加快的现象，如达尔文在加拉帕戈斯群岛中观察到的14种地雀和澳洲有袋类的迅速发展等适应辐射现象。

选择压的加强和减弱往往是交替的。种群繁荣后数量增加，因而种内斗争强了，天敌、捕食者也增加了，结果选择压加强，造成性状特化。等到物种迁移到新地区时，选择压又减弱了，因而变异型增多，物种又趋向繁荣。

一般认为，适合度和选择压是影响生物进化速度的重要因素。如高等生物适合度高，进化速度也较快。

（三）物种和物种的形成

1．物种

物种是指形态上类似的，彼此能够交配的，要求类似环境条件，具有一定地理分布范围的生物个体的总和，是生物分类的基本单位。遗传变异和环境变化是物种形成的两个基本条件。

（1）鉴定物种的标准：①形态学标准，主要根据生物形态特征的差异为标准；②遗传学标准，主要以有无生殖隔离为标准（同一物种的不同种群之间存在地理隔离，不同物种的种群之间存在着生殖隔离）；③生态学标准，主要以生态要求是否一致为标准；④生物地球学标准，主要以物种的分布范围为标准。

上述4个标准中最主要的是有无生殖隔离。

（2）分类：目前分类学家一般采用形态学标准进行分类，共为四类：

孑遗种：某些物种过去曾广泛分布，后来变狭窄了（如苏铁、水杉、银杏等）。

广布种：分布广泛的物种。

特有种：分布区很狭窄的物种。

活化石：某种生物虽已经历了相当长时间，但其体制结构不变或仅有非常轻微的变化，从进化形式看可称为停滞进化（如总鳍鱼类的现代生存种——腔棘鱼、大熊猫、水杉、银杏等）。

2．隔离

隔离是指在自然界中生物不能自由交配或交配后不能产生可育性后代的现象。隔离通常可以分为地理隔离和生殖隔离两种。

（1）地理隔离：两个群体占据着不连续的分布区，由于空间上的隔离阻止着两个群体间个体交配（或基因交流）。如同一种陆生螺类，生活在几个山谷中，它们原则上是杂交能育的，因相互间高山阻隔，不能自由交配。地理隔离可以逐渐演变成生殖隔离。

（2）生殖隔离：生物群体间由于在基因型上所造成的差异而阻碍了基因交流。如马和驴杂交，通常不能产生可育的杂种（有时种间杂交在实验室或试验田里可以成功，而且各代杂种的生活力和生育力都正常。但这并不能说明它们属同一个种，只要野外存在生殖隔离，就说明它们是不同种）。

（3）隔离的机制：①合子前隔离。其中包括：

a．生态隔离：两种生物完全可以交配繁殖，但由于生活在不同地区，不可能杂交。

b．栖息地隔离：同一地区生活，但占领不同的栖息地而不能杂交。

c．季节性隔离：生殖季节不同而隔离。

d．行为隔离：求偶或交配行为不同而隔离。

e．形态隔离（机械隔离）：主要是生殖器官形态不同而隔离。

f．配子隔离：可以交配或授粉，但不能受精。

②合子后隔离。其中又可分为

a．发育隔离：可以杂交，可以受精，但胚胎发育不正常，出生前就死亡。

b．杂种不活：杂种可以形成，但在繁殖后代之前死亡。

c．杂种不育：杂种可以成活，但是不育。

d．杂种的淘汰或选择性消除：杂种可以存活，也能繁殖，但在自然选择中易被淘汰而消失。

3．物种形成方式

（1）渐变式物种形成：①异地物种形成。先有地理隔离后有生殖隔离的新种形成方式。其过程是一个种群由于地理隔离而分成几个小种群，随后它们发生各自不同的突变和重组。经过自然选择，每一种群中基因频率定向发生变化，于是形成了不同的“地理族”，即亚

种，当亚种间产生了生殖隔离时就形成了不同的物种（新种）。②同地物种形成。有时没有地理隔离也能产生新物种。其过程是同一环境中生活的种群，产生能适应新的生态位的突变类型，则突变个体和野生种各自发展，通过自然选择最终两种类型间出现了生殖隔离而形成新物种。

（2）爆发式物种形成：通过染色体加倍形成多倍体而产生新物种（主要见于植物界）。有时通过染色体结构变化或直接杂交也能迅速产生新种。

（3）动植物新种形成方式的区别：动物结构复杂，具有种类繁多的行为模式。因此，行为隔离在动物物种形成过程中起重要作用。在植物中，营养繁殖很普遍，单性不经交配可长期繁衍后代。杂交所产生的后代即使不育，也可通过营养繁殖而将其遗传型传播到群体中去。另外，植物很容易形成多倍体，如一个同源四倍体植物与另一个同源四倍体植物杂交，就可能形成异源四倍体新种。

（四）进化的方向

1．形态生理上的进化方向

（1）复化式进化（上升进化）：由简单到复杂，由低等到高等的进化。如脊椎动物心脏的进化：2室心脏（鱼类）→3室心脏（两栖类）→不完全分隔的4室心脏（爬行类）→完全分隔的4室心脏（鸟类和哺乳类）。

（2）分化式进化：由一个物种分化为近似但不同的物种的进化，表现出生物对各种不同生活环境的适应，从而出现多方向的分化，但在形态结构、生理功能等方面并没有普遍提高，进化水平属于同一等级。所以，分化式进化是一种从少到多的进化，而复化式进化是一种从低等到高等的进化。①趋异（分歧进化）。由一个共同的祖先适应于不同的环境，向着两个或两个以上方向发展进化。②趋同进化。亲缘关系很远的生物，生活在相同环境条件下，通过自然选择，产生了功能相同或相似的形态结构。例如鲸鱼似鱼但不是鱼，蝙蝠似鸟但不是鸟，这都是趋同进化的结果。③适应辐射。趋异进化的结果使一个物种向着辐射状的多种不同方向发展，适应于各种不同的环境条件，分化成多个在形态、生理和行为上各不相同的种。例如达尔文在加拉帕戈斯群岛上发现的14种地雀就是适应辐射的产物。又如寒武纪多细胞动物刚出现时，各生态位都是空的，任何一种类型都能找到一个合适的生存空间，因此发生了辐射进化，出现了物种爆发式突增。④平行进化。两个来自共同祖先的类群，由于生活在不同条件下而产生分歧，后来又由于生活在相似的环境条件下而产生相似的适应性状。例

如，鸥和鸭是近亲种，它们在飞行的环境中发展成类似的某些特征。⑤重复进化。由一个原始祖先分化出在形态学上相似个体的进化。⑥协同进化（共进化）。关系密切的生物，一方成为另一方的选择力量，因而在进化上发展成了互相适应的特征。例如共生、共栖都是生物通过协同进化而达到的互相适应。

（3）特化式进化（特化）：从一般到特殊的进化，产生特化的、能适应更狭窄环境条件的类群。例如仙人掌的叶特化成针状。特化的生物只能适应于某种特定的环境，当环境突然改变时，容易导致物种绝灭。

（4）简化式进化（退化）：由结构复杂的生物向结构简单的生物进化。形态生理上的退化表现为：生物的大多数器官退化、个别器官比较发达，它是生物对寄生和固着生活方式的一种适应。它与特化的区别在于形态结构、生理功能的全面退化。例如寄生于体内的蛔虫、绦虫、钩虫等，感觉、运动等器官全面退化而生殖器官十分发达，这是对寄生生活的一种适应。

2．营养方式的进化方向

绿色植物的结构与功能向着有利于光合自养的方向进化；微生物获得营养的基本特点是吸收，吸收养料的关键在于接触面积，相当多微生物的结构与功能是朝着有利于扩大吸收面这一方向发展的；摄食是动物获取营养的方式，动物找寻、争夺食物的关键在于活动，所以在进化过程中，大多数动物都朝着有利于活动这一进化方向发展。

3．进化的不可逆

生物进化从总的来说是不可逆的。已经演变的物种不可能回复祖型，已经灭绝的种类不可能再出现。如龟、鲸、海豹等动物又回到水中生活时，呼吸器官不再恢复成鳃的结构，而只能是肺了。

（五）行为的进化

这里所讲的行为主要指动物的行为。动物行为是动物体感受外来信息的有规律的适应性活动。动物行为从功能上可分为索食行为、求偶行为、争斗行为、社群行为、通讯行为、节律行为等等。

1．先天的行为和后天习得行为

先天性定型行为有趋性、反射、本能。后天习得性行为有学习、推理等。植物的行为比动物简单，主要表现为向性反应，如生长运动，即向性。它的行为往往是缓慢和不可逆的。最低等动物的行为都是先天的、定型的。从扁形动物开始出现学习行为，但它和别的较高等的无脊椎动物仍以天赋的、固定的行为为主，即表现为趋性、反射、本能。在脊椎动物中，学习行为的比例逐渐增多；哺乳动物有较

多的由本能和学习相结合的行为；到了高等灵长类，判断和推理的能力不断增强。只有人类才真正从动物中提升出来。人类的行为很高级也很复杂，当然这并不等于说人类中没有低级的、简单的行为，只是说人类行为中最主要的是学习、利用经验、通过推理的活动。

2．通讯系统的进化

（1）通讯方式的类型：动物的通讯有各种不同的方式，其中主要的方式有视觉通讯、听觉通讯、嗅觉通讯和触觉通讯（表2-4-1）。

表2-4-1　主要通讯方式之间的比较

通讯方式	将信号传递给接收者的能力				信息的有效性		发号者的代价	
	传播范围	传递速度	能否越过障碍物	能否夜间使用	消失时间	给发号者定位的能力	传播耗费	被第三者利用的风险程度
视觉	中	快	否	否	快	易	低到中	高
听觉	大	快	能	能	快	尚易	高	中
嗅觉	大	慢	能	能	慢	难	低	低
触觉	小	快	否	否	快	易	低	低

许多动物的通讯方式不是单一的，如狗在与主人接触过程中有触觉行为，但更多的是发出许多不同的声音，其中有吠、叫、嚎和哀鸣，它的主人能理解这些叫声的含义。当人类在说话时，大多数信息通过听觉方式传递，但脸部表情、手势、身体的活动往往可以把要说的意思表达得更全面、更正确。可见，通讯信号的完善和综合程度也是随着生物的进化而提高的。

（2）通讯系统与自然选择：信号起源的过程大致可以认为最初仅仅是某个一般性动作，这种动作起着信号的作用，由于该信号对个体（包括发信号者和接收者）有利，在自然的选择下得到巩固和扩大，最后演变成比较完善的通讯信号。如动物撒尿仅仅是生理上的需求，本来与通讯信号无关，可是尿中含有气味的物质，易被其他动物察觉，如果发现者从中领悟到一些同种个体正在这一地区，从而离开了这个地方。这样，由于实际上作为通讯信号的尿的作用，避开了可能引起的种内为食物和空间的争夺，因而无论对接收者还是发号者都是有利的。因此可以这样假设，很多哺乳动物以尿液为信息的通讯方式的形成，也许起源于偶然的撒尿行为。

通讯信号一旦建立，紧接着就有一个价值问题，即收益和消耗的比率。衡量通讯信号价值的因素大体有以下几点：信号接收的有效程度，编码在信号中的信息数量，发号者发出和传播该信号所需消耗的能量，信号被其他动物（非法的接收者）拦截的情况以及由此对发号

者和接收者可能造成的危害。通讯价值与生态环境密切相关，例如，鸟类主要用听觉信号传递信息，不同频率的声音所能传播的距离就要取决于环境的声学性质。在某片森林中，低频率和高频率的声音都会较快地被吸收，而频率在1500～2500Hz范围内的声音却保持得很好。进一步调查发现，这片森林中一些有代表性的鸟类所发出的声音大部分也在1500～2500Hz这个范围内，可见这些声音具有较高的通讯价值，栖息地的性质影响着鸟类声音频率的进化。

3．争斗行为的进化

争斗是动物之间发生冲突时的反应，包括进攻和逃避两个方面。动物之间为某些有价值的目标而争斗时，我们常常理解为它们会将对手彻底除掉（杀死、吃掉），虽然这种现象在自然界常有发现，但这并不是动物争斗行为的普遍形式。

（1）有节制的争斗形式：许多动物的争斗往往不采用最激烈的形式，而习惯以某些保守的形式，如恐吓、威胁等，以避免彼此遭到严重伤害。

（2）最优争斗方法：这类方法大体是指大多数成员经常采用的、能获得最佳后果的争斗模式。

（3）争斗中的“有产者”原则：在争斗中，占有者（包括对食物、空间的占有；雄性对雌性的占有等）往往占优势。

4．利他行为的进化

所谓利他行为是指对其他动物有利而对个体本身不利，甚至有害的行为。如很多群居的动物在遇警时，总有一些守卫者发出警报，或大叫，或狂奔，或扑翅起飞等，使动物群早做御敌准备或逃跑，但守卫者自己却暴露了目标，易为捕食者捕获。挪威的旅鼠有自杀的行为，它们会成群结队地步入海中淹死，从而使种群密度减少，以适应环境中有限的食物。这种不利于生物个体本身的行为怎么会被自然所选择并进化至今呢？根据群体遗传学的观点，一个基因（它所决定的性状）如能增加个体的适应性，能使带有它的后代存活率增加，这个基因在种群中出现的频率就会增加。从表面上看，利他行为似乎有损于个体生存和后代存活。但实际情况并非如此，利他行为的结果往往反而能使与它有关的基因在群体中频率增加并被保存下去。

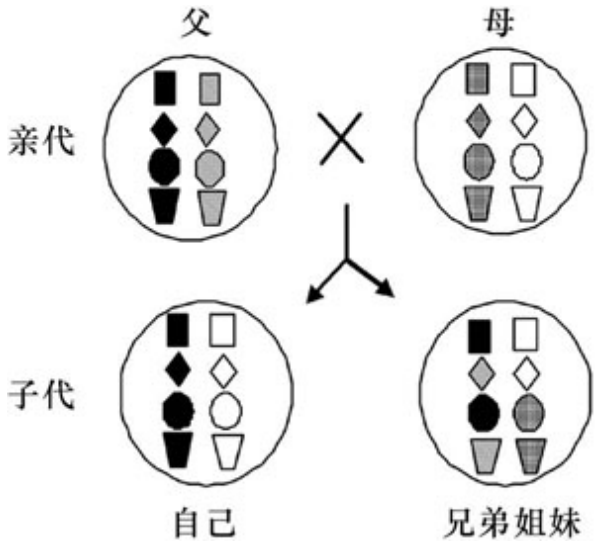


图2-4-3　亲代与子代的遗传关系

图中亲代为一对父母，各有2套基因，每套基因又各由4个基因组成；子代为个体自身及其兄弟姐妹。每一个体中都有4对等位基因，以4种不同的图形表示。个体自身及其兄弟姐妹各有2套基因，其中1套来自父亲，1套来自母亲，所以，一个基因既存在于个体自身又存在于其兄弟姐妹中的概率为1/2

从图2-4-3可知，该个体的任何一个基因出现在其兄弟姐妹身上的平均概率为1/2，因此，该个体牺牲自己而能挽救两个以上的兄弟姐妹时，该个体的基因经由其兄弟姐妹得以保存的机会比该个体保存自己而牺牲兄弟姐妹情况下的机会要大一些，所以在这种情况下，牺牲个体自身是有利的，也就是说，表现利他行为的基因出现频率将增加，因而牺牲个体的利他行为符合自然选择的要求。

（六）进化论的发展

1．杜布赞斯基的综合进化论（又叫“现代达尔文主义”）

（1）主要代表：杜布赞斯基。在1937年发表《遗传学和物种起源》，提出“综合理论”；1970年发表《进化过程的遗传学》，提出“新综合理论”。

（2）基本内容：①进化体现在种群遗传组成的改变上，不是个体在进化，而是种群在进化，种群是进化的基本单位。②种群的基因频率只能保持暂时相对稳定，迟早要发生变化，进化的实质就在于基因频率的改变。只要影响基因频率或基因型频率的变化都有进化价值。③突变、选择、隔离是物种形成及生物进化过程的3个基本环节：突变为进化提供原材料；选择使有利变异被积累，不利变异被淘汰，结果使基因频率发生定向改变；通过隔离巩固和扩大这些变异，从而形成

新种。没有隔离就没有种群分化，也就没有新种形成，因此，隔离是物种形成过程中最重要的一个环节。

（3）评价：①综合进化论的基本观点仍是自然选择。通过选择淘汰不利基因，积累有利基因，最终使不同环境下的生物出现生殖隔离而形成新物种。②达尔文学说和综合进化论较成功地解释了物种以下种群的进化（小进化），而在解释物种以上单元的起源（大进化）时，却遇到了一些困难（例如，关于跳跃式进化的解释）。

2．中性学说

中性学说是在分子遗传学诞生以后由日本学者木村资生在1968年提出的。该学说的要点包括：

（1）从分子水平来说，突变大部分是“中性”的，它不影响核酸和蛋白质的功能，对生物个体的生存既无害处，也无好处。这类突变有：①同义突变。突变后形成的新密码与原来的密码是同义的。②非功能性突变。DNA分子中有些不转录的序列（内含子、重复顺序等）发生的突变。③不改变功能的突变。结构基因的一些突变，虽然改变了由它所编码的蛋白质分子的氨基酸组成，但不改变蛋白质原来的功能。

（2）“中性突变”通过随机的“遗传漂变”在群体里固定下来，但分子水平上的进化，自然选择不起作用。不受自然选择影响的中性突变，通过随机的遗传漂变在群体中得到固定和逐渐积累，可以实现种群的分化，出现新的物种。遗传漂变是分子进化的基本动力。

（3）分子进化的速率由中性突变的速率所决定，也就是由蛋白质或核酸等大分子中的氨基酸或核苷酸在一定时间内替换率所决定。它对于所有的生物，几乎都是恒定的。每一种大分子在不同生物中进化速率是一样的，分子进化是随机的而不是选择的结果。

分子进化速率：

$$K_{aa}=\frac{d_{aa}}{N_{aa}}\div 2T$$

其中，d_{aa}为两种同源蛋白质中氨基酸的差异数，N_{aa}为同源蛋白质中氨基酸的残基数，T为两种生物的分歧进化时间。

从鲤鱼的血红蛋白到马的血红蛋白的进化速率是：

K_{aa}＝（66/141）÷（2×4×10^{8}）＝0.6×10^{-9}/（aa·a）（aa：氨基酸，a：年）

二、生物的进化的证据

（一）古生物学上的证据

古生物学的研究对象主要是化石。化石是经过自然界的作用，保存于地层中的古生物遗体、遗物和它们的生活遗迹。化石按保存特点一般可分为遗体化石、模铸化石、遗物化石、遗迹化石、微体化石及超微体化石等。

化石为生物进化提供了直接的证据。研究发现，在越早形成的地层中，成为化石的生物结构越简单、越低等；在越晚形成的地层中，成为化石的生物结构越复杂、越高等。此外，还发现了一些中间过渡类型化石，如始祖鸟化石（爬行类→鸟类）、种子蕨化石（蕨类植物→种子植物）。这些都为生物进化提供了最可靠的证据。

地质年代是指地壳上不同年代的岩石在形成过程中的时间和顺序。依据古生物学方法，可以将地质年代划分为冥古宙、太古宙、元古宙和显生宙。从6亿年以前到现在都属显生宙，显生宙又分3个代，即古生代、中生代和新生代。每代分若干纪，每纪分若干世。

化石地质年代的测定，现在主要运用放射性元素的方法。放射性元素以自己恒定的速度进行衰变，不受外界温度和压力的影响。在一定时间内，放射性元素蜕变的分量和生成的元素具有一定的比例。例如^{238}U的半衰期为45亿年，即1g^{238}U经过45亿年生成0.5g^{238}U和0.5g^{206}Pb，也就是说，0.5g^{238}U蜕变成0.5g^{206}Pb需要45亿年。根据^{238}U和^{206}Pb的含量，就可计算出岩石和化石的年龄。不同的地层采用不同的放射性元素进行测定，如^{14}C的半衰期为5730年，主要用来确定距今60000年到1000年范围内的化石年龄。

根据对各地层化石的研究，已得出地质年代与生物历史对照表（表2-4-2）。

表2-4-2　地质年代和生物历史对照表

宙	代	纪	世	距今 (单位:百万年)	气候及生物
显生宙	新生代	第四纪	现代	0～0.01	冰期已过,气温上升,被子植物繁茂,草本植物发达,人类发展
			更新世	0.01～2	4个冰期,北半球冰川,气温下降,直立人、早期智人,很多大型兽类灭绝
		第三纪	上新世	2～5	喜马拉雅山、安第斯山、阿尔卑斯山形成,大陆各洲成形,气候冷
			中新世	5～25	被子植物取代裸子植物,繁茂,杨、柳、桦等成林
			渐新世	25～38	恐龙灭绝,鸟类及哺乳类大发展,适应辐射
			始新世	38～55	类人猿出现,南方古猿
			古新世	55～65	
	中生代	白垩纪	65～144		造山运动,火山活动多,大陆分开,后期冷。裸子植物衰退,被子植物发达,恐龙灭绝,多种有袋类灭绝,胎盘哺乳类及鸟类兴起,灵长类出现
		侏罗纪	144～213		温暖,湿。有内海,大陆漂浮。裸子植物为主,被子植物出现。爬行类繁茂,恐龙、鱼龙、翼手龙等,始祖鸟,单孔类多,原始有袋类出现
		三叠纪	213～248		气候温和干燥,晚期温热。裸子植物成林(苏铁、银杏、松柏等),炭化成煤。无尾两栖类出现,爬行类恐龙占优势,原始哺乳类出现
	古生代	二叠纪	248～286		造山运动频繁,干热,蕨类衰退,裸子植物繁茂。三叶虫及多种无脊椎动物灭绝,爬行类辐射适应
		石炭纪	286～360		造山运动,气候温湿,蕨类繁茂,裸子植物兴起。陆生软体动物,昆虫辐射适应,两栖类繁茂,爬行类兴起
		泥盆纪	360～408		陆地扩大,干旱炎热,蕨类繁盛,鱼类繁盛,昆虫、两栖类兴起,三叶虫少
		志留纪	408～438		造山运动,陆地增多,裸蕨、陆生维管植物、珊瑚多,三叶虫衰退,无翅昆虫、甲胄鱼
		奥陶纪	438～505		浅海广布,气候温暖,蕨类、笔石珊瑚、三叶虫、腕足类,苔藓虫,头足类等,甲胄鱼
		寒武纪	505～590		浅海扩大,气候温和,多化石,蕨类、三叶虫繁盛,海绵、珊瑚,腕足类,软体动物,棘皮动物
元古宙			590		叠层石,温暖浅海,蓝藻、真核藻类,后生动物起源,低等无脊椎动物
太古宙			3800		大气圈和水圈,细胞形成,有微生物化石,叠层石。光合自养厌氧微生物
冥古宙			4600		初级大气圈,化学进化

（二）胚胎学的证据

胚胎学主要是从胚胎发育的角度来研究不同脊椎动物胚胎发育的相似性。

俄国胚胎学家贝尔比较了不同脊椎动物的胚胎发育，得出了几个重要的结论：①在胚胎发育中，每一较大类群的共同性状先出现，特殊性状后出现。②从最共同的性状中发展出比较不共同的性状，最后才出现最专门的性状。③不同纲动物的胚胎发育起初经过相似的阶段，以后才愈来愈分歧。④在胚胎发育中，高等动物的胚胎发育阶段经历着低等动物的胚胎发育阶段。

德国的博物学家海克尔则主要研究人的胚胎发育过程，他发现生物在个体发育中，重现其祖先的主要发育阶段，或者说，个体发育史是系统发育史的简单而迅速的重演。这就是著名的“生物重演律”。这些胚胎学的研究，为高等动物是由低等动物进化而来的理论提供了坚实的佐证。

（三）比较解剖学的证据

比较解剖学是用比较的方法研究各种不同的生物的器官位置、结构及其起源的科学。

1．同源器官与同功器官：同源器官是指起源相同，结构和部位相似，而形态和功能不同的器官，例如鸟类的翼与马的前肢。同源器官的存在，说明凡是具有同源器官的生物，都是由共同的原始祖先进化而来的（广义地说，一切生物都是同源的，而一般所说的同源是指一种密切的进化上的亲缘关系，体现为结构的类似性）。

同功器官是指外形相似，功能相同，内部构造和起源不同的器官。例如鸟类的翼与昆虫的翅，葡萄的茎卷须和豌豆的叶卷须。同功器官的存在虽不说明进化的同源性，但说明具有同功器官的生物适应相同的环境，某些器官由于具有同一功能，因而在发展中趋同一致，形成了相似的形态。

2．痕迹器官或退化器官：痕迹器官是指在生物体上已经没有作用，但仍然保留着的器官。例如人的阑尾、鲸的退化后肢等。在植物中也有痕迹器官，例如荸荠茎节上着生的鳞片是退化的叶、小麦的花被退化为内稃和浆片等。由痕迹器官的存在可以追溯某些生物之间的亲缘关系。如人的阑尾提示人来自有盲肠的动物，鲸的退化后肢说明它是由陆生脊椎动物进化来的。

（四）生物地理学上的证据

地球上生物的地理分布，特别是结合了古代生物的地理分布后，也能说明生物的进化过程。例如，澳洲及新西兰为什么极少有真兽类，而哺乳动物都是有袋类（袋鼠、袋狼等）及单孔类（鸭嘴兽、针鼹等）？唯一合理解释是澳洲地区在真兽类发生以前就脱离了大陆，因而极少有真兽类。由于地理的隔离，后来北方大陆出现的真兽类也

无法进入该地区。再如，与南美邻近的太平洋中加拉帕戈斯群岛上有14种地雀，它们与南美大陆的地雀已经不同，但又有一定的相似性。这说明海岛上的地雀起源于邻近的大陆，只是在历史发展过程中，各岛上的地雀在不同的生态小环境中形成了不同的适应，才分别演变成为不同的地雀种。

（五）生理学上的证据

比较生理学的血清鉴别，也为生物进化提供了重要证据。如果把A动物的血清注射到B动物的血液内，B动物血清内将会产生一种抗体，叫抗血清。抗血清将会与A动物血清（抗原）发生沉淀反应。抗血清也能与A动物有亲缘关系的其他动物的血清发生沉淀反应，但沉淀程度不同。根据沉淀程度的不同，就可判断A动物与这些动物的亲缘关系的远近。例如，将人的血清作为抗原注入家兔体内，使其产生抗血清，然后将其他被试动物的血清分别与兔血清混合，以检验人与这些动物的亲缘关系的远近，结果如表2-4-3所示。实验结果表明被检动物中，人与黑猩猩亲缘关系最近，与猪亲缘关系最远。

表2-4-3　家兔抗人血清的沉淀反应（%）

血清来源	沉淀反应发生率	血清来源	沉淀反应发生率
人	100%	蜘蛛猴	58%
黑猩猩	97%	狐猴	37%
大猩猩	92%	刺猬	17%
猩猩	79%	猪	8%
狒狒	75%		

（六）分子生物学上的证据

根据不同生物大分子结构和含量的差异程度来判断不同生物体之间的亲缘关系。

1．比较各类生物的同一种蛋白质（如细胞色素c或血红蛋白）的氨基酸顺序，可以看出生物进化过程中亲缘关系的远近。一般来说，结构与组成愈相似，亲缘关系愈近；否则，亲缘关系愈远。如表列出的是将各种生物的细胞色素c的氨基酸组成顺序与人作比较，据此可以判断出人与这些生物亲缘关系的远近（表2-4-4）。

表2-4-4　人与各种生物的细胞色素c的氨基酸的差异数目

动物名称	差异数(个)	动物名称	差异数(个)
黑猩猩	0	响尾蛇	14
猴	1	龟	15
兔	9	金枪鱼	21
袋鼠	10	狗鱼	23
鲸	10	蝇	23
牛、猪、羊	10	天蚕蛾	31
狗	11	小麦	35
马	12	链孢霉	43
鸡、火鸡	13	酵母菌	44

2．比较不同生物的DNA含量：一般来说，生物越复杂、越高等，就需要越多的基因去传递复杂的遗传信息，所以DNA含量就越高。

从分子水平对生物进化进行研究，与其他方法相比，具有如下几个优点：①根据大分子结构上的差异程度，所推出的进化信息是定量的。②对形态结构上非常简单的微生物进化，只能用这种方法才会得出有效的结果。③可以对亲缘关系相距甚远的生物进行比较，如动物与植物，真核生物与原核生物等。

（七）遗传学上的证据

1．染色体的同源性：观察杂种F_1异源染色体的联会配对情况，若能联会或部分联会，则这两组染色体具有同源性或部分同源性，否则不同源。例如，将普通小麦与拟二粒小麦杂交，杂种后代观察到14个二价体（联会），表明两者有14条染色体具有同源性，或者说，普通小麦可能起源于拟二粒小麦。

2．DNA分子的同源性：从DNA分子的核苷酸顺序的变化也可以判断生物亲缘关系的远近。目前主要采用DNA分子杂交技术确定两个DNA分子的核苷酸差异程度。我们知道，DNA分子经加热可解开成单链，再将解开的单链冷却，则又会恢复为双链。若将两种生物的DNA分子加热解开为单链，然后再把两个种的DNA单链混合并冷却，如果它们的DNA之间有共同的碱基顺序，就有可能形成杂合的双链。不同动物的DNA分子杂交所形成的杂合DNA数量不同，数量越多，亲缘关系越近；反之，亲缘关系越远。例如把人与几种相近生物的DNA分子的非重复顺序进行杂交比较，得出这些生物之间的核苷酸差异程度（表2-4-5）。

表2-4-5　人与几种生物的核苷酸差异

比较对象	差异程度(%)	比较对象	差异程度(%)
人——黑猩猩	2.5	人——猕猴	9.3
人——长臂猿	5.1	人——卷尾猴	15.8
人——绿猴	9.0	人——非洲狐猴	42

实验结果表明人与黑猩猩的亲缘关系最近。

三、生命的起源

（一）生命的本质

生命区别于非生命的本质特征是什么？目前提出了几种观点。有人认为，生命就是由核酸和蛋白质组成的，具有自我更新与自我复制能力的多分子体系。该观点认为，生命的物质基础是核酸和蛋白质，其中核酸是生物体遗传的基础，它对生物的生长、遗传、变异等起着决定的作用，而蛋白质是生物生命活动的物质基础，具有催化作用的酶、免疫功能的抗体、起运输作用的血液蛋白、有运动功能的肌肉蛋白、生物膜蛋白、某些激素和毒素都是蛋白质。生命运动的本质特征是自我更新与自我复制。生物体内化学组成的自我更新，即新陈代谢，它包括同化作用和异化作用两个过程。生物体从食物中摄取养料转变成自身的组成物质并贮存能量的过程叫同化作用；反之，生物体将自身的组成物质分解，释放能量并排出代谢废物的过程叫异化作用。自我复制包括分子水平上DNA与RNA的复制，细胞水平上的细胞分裂及个体水平上的个体增殖。

也有人认为生命是一种耗散结构。从个体发育来说，生命由一个比较简单的受精卵发育成一个成熟的比较复杂的个体；从系统发育来说，生物由比较简单、低级的类型逐渐发展成比较复杂、高级的类型，是一个自发的有序程度递增的过程，即熵减的过程。生命物质之所以能保持这种有序状态，是由于生命是一个开放的系统。它与环境之间不断有物质与能量的交换，即生命体不断从环境中取得以食物形式存在的低熵状态。所以生命实际上是一种耗散结构。

（二）生命起源的基本条件

所谓生命起源，是指地球上非生命物质演变成原始生命的过程，即生物进化中化学进化阶段。关于“生命的起源”，曾经有过许多假说，如“神创论”、“天外胚种说”、“自然发生说”及“化学起源说”等。由于“化学起源论”后来得到许多科学实验的证实，因此普遍为大家所接受。

根据目前对地球化学、地球物理学、古生物学、分子生物学和宇宙考察等方面的研究认为，原始生命形成初期，原始地球至少要满足3个方面的条件，才能保证原始生命的形成。

1．原始大气

原始大气是形成原始生命的物质原料。原始大气的形成与火山排气有关，地球内部由于物质分解产生大量的气体，这些气体通过频繁的火山活动而被驱散到地球表面，形成原始大气的一部分。一般认为，原始大气是还原性的。据多数学者推测，原始大气的成分主要包括CO_2、N_2、NH_3、CO、CH_4、H_2O（水蒸气）、H_2S、HCN及少量的H_2等，当时的氧是以氧化物的形式存在的，大气中没有O_2。

2．能源

一般认为，在原始地球上可利用的能量主要有以下几种：①热能，由火山爆发及气体逸散所释放的巨大的热能。②太阳能，包括大量的紫外线、可见光、电子、质子和X射线等。③放电，从定性的角度看，放电可以认为是电流、高温和紫外线的混合能源，所以不少人（米勒等）认为放电是化学演化中重要的，甚至是更直接的能源。

此外，宇宙射线、放射线、陨石冲击的能量等均可促进化学进化。

3．原始海洋

当原始地球表面温度降低到100°C以下以后，地球上的水蒸气从气态转化为液态，并在一定条件下（如寒流袭击、雷电等）形成雨水，在山谷低地经过长期积累才出现原始海洋。液态水的出现是生命化学演化中的重要转折点，现在已经清楚，具有高度反应活性的分子虽然在气相中生成，但它们却在水溶液中发生化学反应，因此，一旦雨水把大气中某些生成物降于原始海洋后，原始海洋就成了生命化学演化中心。

（三）生命起源的化学过程（图2-4-4）

据现代科学推算，地球大约是在46亿年前形成的，从澳大利亚等地发现的最早的古生物化石被证明距今约35亿年，因而推测生命起源即化学进化的过程应该在35亿年前的十几亿年间。这一过程大约经历了如下几个主要阶段：

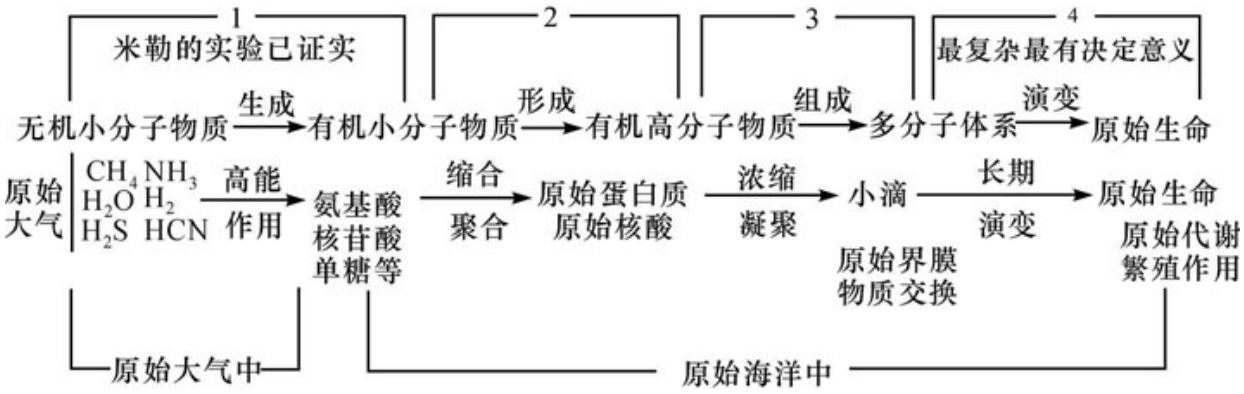


图2-4-4　生命起源的化学进化过程

1．从无机小分子物质生成有机小分子物质

所谓有机小分子是指合成蛋白质、核酸和脂类的组成成分。这一化学过程已被美国学者米勒及其后继者用大量的模拟实验材料所证实。1953年，美国学者米勒设计了一个著名的原始大气的模拟实验（图2-4-5）。他把H_2O（水蒸气）、CH_4、NH_3及H_2等4种气体放在一个密闭的玻璃容器内，通过连续的火花放电，从收集液里得到了20种有机物质，其中有11种氨基酸。

此后，不少学者重复或仿效米勒的实验，采用各种不同的气体混合物及不同的能源，结果都能产生氨基酸。现在，天然蛋白质中所含的20种氨基酸几乎全部可以人工合成。

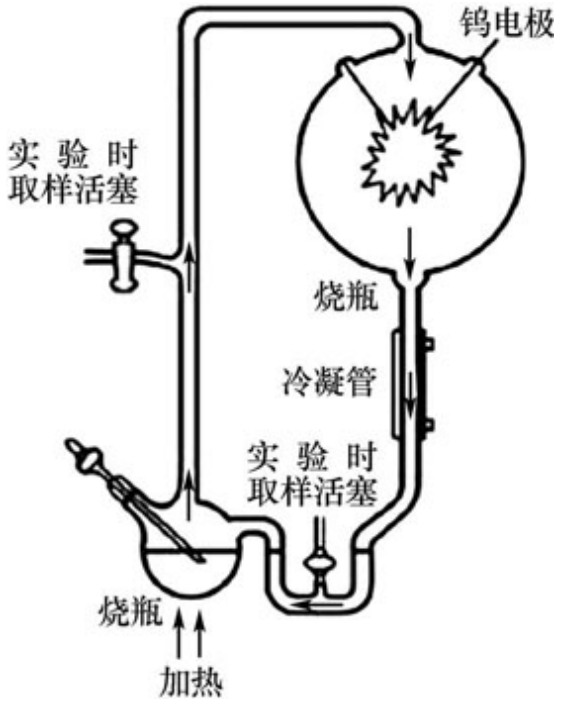


图2-4-5　米勒实验装置

除了氨基酸以外，其他的小分子有机物，如嘌呤、嘧啶等有机碱，核糖、脱氧核糖和脂肪酸等，也可以在模拟实验中形成。例如有人将H_2O（水蒸气）、CH_4、NH_3及H_2的混合物，通过电子束射击，合成了腺嘌呤；有人用氰酸盐和丙炔腈合成了胞嘧啶；有人则用紫外线或γ射线，照射稀释的甲醛溶液，合成了核糖及脱氧核糖等等。

2．从有机小分子物质形成生物大分子物质

生物大分子主要是指蛋白质和核酸。对它们起源的研究有两派：

（1）陆相起源派：认为由有机小分子物质形成生物大分子物质的反应在火山附近局部地区的高温条件下发生的，生成的大分子物质再经雨水冲刷到海洋中。福克斯实验室证实，无水的几种氨基酸在高于100℃的温度下可缩合成类蛋白样的多聚物。后来原田和福克斯将天门冬氨酸加热到160～200℃（加热时间为1～6h），得到了相对分子质量达5000～20000的高分子共聚物。

（2）海相起源派：认为生物大分子的形成发生在原始海洋中，氨基酸和核苷酸可附着在黏土等活性表面上，在有适当的缩合剂（如当时可能有羟胺类化合物）时，可发生聚合反应。卡恰尔斯基利用蒙脱土（天然黏土）作催化剂，使氨基酸发生聚合，不仅形成短肽，而且形成多达20～40个氨基酸单位的多肽。

关于生物大分子的起源问题，尽管有多方面的研究，但并未得出圆满结果。例如，氨基酸和核苷酸在原始地球条件下是怎样积累浓缩的？最先形成的是蛋白质还是核酸？都是悬而未决的问题。

3．从生物大分子物质组成多分子体系

生物大分子出现以后，必须充分地凝集在一起，形成体系，使彼此间能有效地相互作用，然后原始生命才能产生。关于多分子体系的形成，目前提出了两个模型。

（1）“团聚体模型”（图2-4-6）：由奥巴林提出。他认为，原始海洋中有机大分子浓缩成为团聚体是非生命物质向生命物质过渡的一种重要形式。他用明胶、阿拉伯胶等各种蛋白质以及核酸、多糖等多种生物大分子形成各种团聚体。他们的实验表明，当团聚体形成后，它与外界环境存在一个明显的界限，并且能表现出吸收、合成、分解、生长及“出芽生殖”等类似生命的现象。但奥巴林等研究的团聚体是由天然胶体物质和组蛋白等现有生物大分子混合而成，它与原始生命物质相比毕竟不一样，而且结构也很不稳定。

（2）“微球体模型”（图2-4-7）：由福克斯提出。他认为，类蛋白体形成的微球体就是最初的多分子体系。将各种氨基酸混在一起，加热到140～180℃，数小时后就生成一些具蛋白特性的物质，福克斯称之为类蛋白。

把酸性类蛋白放到稀薄的盐溶液中冷却，或将类蛋白水溶液的温度降低到0℃左右，便发现溶液中形成无数个球状小体，福克斯称之为“类蛋白微球体”。在显微镜下观察微球体，发现它具有双层界膜，很似细菌。虽然没有生命却表现出类似细菌的某些特性，如有膜、能收缩、有群聚倾向、可染色、能分裂和出芽。但微球体在组成上没有核酸成分，蛋白质与核酸如何组合仍不清楚，在形成条件上它需要高温和干燥，在早期的地球上并没有普遍意义。

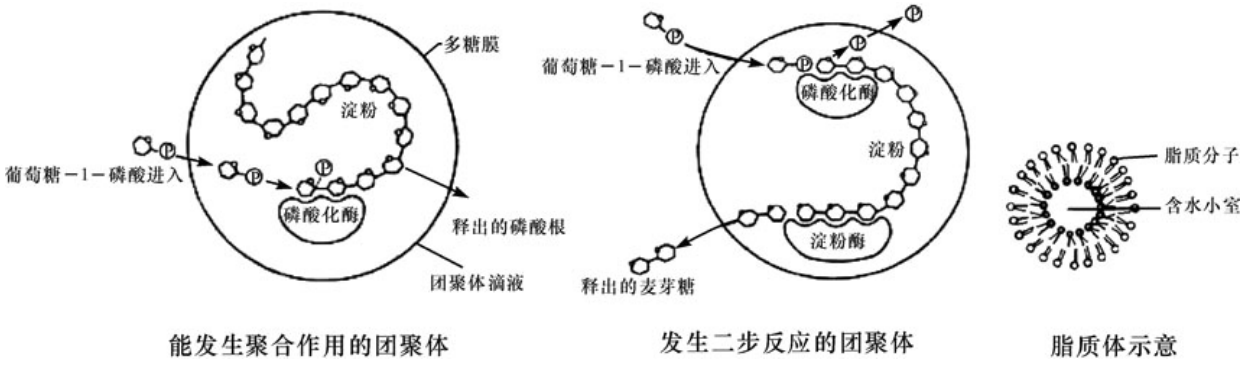


图2-4-6　团聚体模型

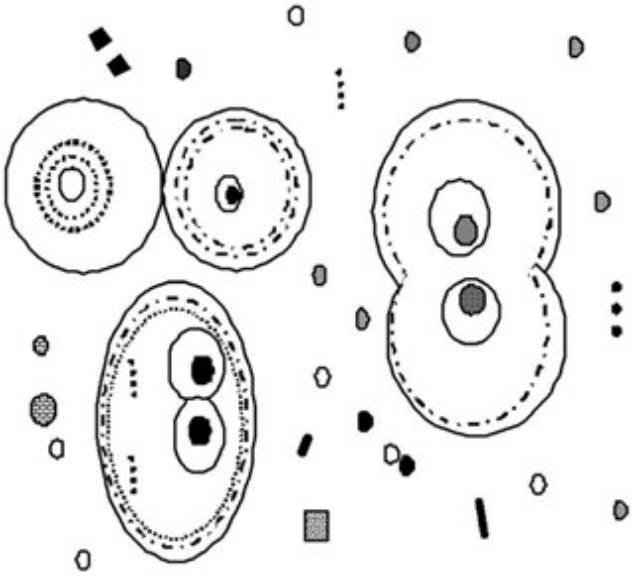


图2-4-7　微球体模型

从生物大分子物质组合成多分子体系，不管是以哪种模式组成，形成“界膜”是非常重要的，因为界膜可以将多分子体系或生命体与海水隔开，成为一个独立的系统，而且通过界膜可进行膜内外的物质的交换，信息的传递，能量的转换以及刺激的传导等重要生命活动。

4．从多分子体系演变成原始生命

关于原始生命的最初形态有几种观点。例如福克斯、奥巴林等认为，最初的生命是“只建立在蛋白质基础上的生命类型”；也有人认为生命是“建立在核酸基础上但没有蛋白质密码的生命类型”；还有人认为生命是“建立在核酸和蛋白质基础上的生命类型”。

1985年，美国著名物理学家戴森提出“生命的两次起源论”，为许多学者所接受。戴森认为，生命是分两次起源的。原始地球上第一步是产生蛋白质；第二步才是产生核酸及其复制机制。各种模拟实验显示，核酸和核苷酸的合成需要蛋白质催化。也就是说，核酸是由原始细胞中的蛋白质催化产生的。最初只是一种寄生物，以后才逐渐从寄生物转化为共生物，并产生遗传功能，成为细胞的有机组成部分。那么在核酸中是先有RNA还是先有DNA呢？也有人根据大量的科学事实作了分析。现在认为，应该先有RNA，后有DNA。因为RNA分子小，结构不如DNA分子复杂且稳定，而且现存的RNA病毒往往比DNA病毒更原始，因而DNA更高级，更复杂，在原始生命中应该先出现RNA，后出现DNA。20世纪80年代初，当切赫和阿尔特曼分别发现某些RNA具有自我剪切的酶活性以后，说明RNA可以集携带遗传信息与催化活性于一身，更使人相信RNA的出现一定比DNA早，甚至有一段“RNA世界”时期。1995年发现，某些DNA也具有酶活性，因而也有人认为DNA的起源先于RNA，并出现了“DNA世界”的说法。

上述关于生命最初形式的意见，都是属于推测性的，看法上很不一致，需要进一步的研究才会得到比较正确的结论。

（四）细胞起源

最初的生命是非细胞形态的生命。从非细胞形态的生命发展到细胞形态的生命，是生命发展过程中的一个重要阶段。细胞起源及其发展过程，大体上可以划分为3个主要阶段：

1．原始生命到原始细胞的阶段

这一阶段的主要标志是原始细胞膜的形成。原始生命体有一个原始界膜，它能自成体系地生活于海水中。但这种界膜极其简单，它的物质交换机制主要是靠渗透作用，因此原始界膜的选择性和稳定性较差，这是原始生命生存和发展的主要障碍。因此，由原始界膜向细胞

膜的过渡，是原始生命发展的首要环节。原始细胞膜的形成标志着原始细胞的诞生。

2．原始细胞到前原核细胞的阶段

这阶段的主要标志是细胞质的分化，原始染色质形成。原始细胞内没有任何组织上的分化，细胞质内所含的核酸、蛋白质和一些简单的酶系都相互混杂在一起。在这一阶段，细胞质内不同的酶系逐渐集中于一定的区域内，细胞的代谢系统趋于有序化。原始的染色质也逐渐形成，并进一步形成细胞的控制中心——核区。这时期所形成的细胞的特点非常类似于原核细胞的前身，因此称为“前原核细胞”。前细菌和前蓝藻是其中的两个代表。

3．前原核细胞到真核细胞的阶段

这阶段的主要标志是原始细胞器的形成。真核细胞的起源有多种学说，现阶段比较有代表性的是马古利斯提出的内共生学说。这一学说认为，大约在十几亿年前，一些大型的、具有吞噬能力的细胞，先后吞并了几种原核细胞（细菌和蓝藻）。由于后者没有被吞噬细胞分解消化，反而从寄生过渡到共生，并成为宿主细胞的细胞器。如好氧细菌成为线粒体，蓝藻成为叶绿体。

内共生学说有很多生物学上的证据。首先，从形态结构上看，线粒体、叶绿体在很多方面类似于细菌和蓝藻。例如，前者的个体大小与后者类似；前者的核糖体比真核细胞中的小而与原核细胞中的相似。线粒体嵴上的基粒也类似于某些需氧细菌质膜上的颗粒，它们都参与了需氧代谢反应。而叶绿体的类囊体与蓝藻都含有捕光色素。线粒体、叶绿体和原核细胞中的DNA都呈环状，并不与蛋白质结合，而是分别附着在线粒体、叶绿体内膜的内侧和原核细胞质膜的内侧，而真核细胞的DNA呈线状，并与蛋白质相结合。其次，从生理功能上说，线粒体和叶绿体都具有半自主性。它们像细菌那样以简单的分裂方式生长和增殖，但分裂的速度与它们所在的细胞并不同步。同时，线粒体、叶绿体和原核生物在功能上有许多相似之处，其中最显著的是它们的核糖体对某些抗菌素有相似的反应。某些能抑制原核生物蛋白质合成的抗菌素（如氯霉素）能抑制线粒体、叶绿体中核糖体的蛋白质合成，而对真核生物细胞质核糖体中的蛋白质合成却无抑制作用。相反，某些对真核生物细胞质核糖体蛋白质合成有抑制作用的抗菌素（如放线菌酮），却对线粒体、叶绿体和原核生物中核糖体的蛋白质合成无抑制作用。尤其值得提出的是，真核生物细胞的tRNA与线粒体、叶绿体和原核生物相比，有着明显的区别。

真核细胞的出现，是生物进化史上的一个重大事件，它的意义十分深远。首先，真核细胞的出现为有性生殖的自然形成奠定了基础。真核细胞进行有丝分裂，而有性生殖的重要特征——减数分裂实质上是有丝分裂的一种特殊形式。有性生殖的出现，提高了物种的变异性，大大推进了进化的速度。其次，真核细胞的出现推动了动、植物的分化，促进了由动物、植物和菌类组成的3级生态系统的形成。

四、生物界分类和系统树

（一）生物分界

1．二界系统（林奈于1735年提出）

将生物界分为植物界、动物界。

2．三界系统（海克尔于1886年提出）

将生物界分为原生生物界、植物界、动物界。

3．四界系统（科普兰于1938年提出）

将生物界分为植物界、动物界、原生生物界、菌界。

4．五界系统（惠特克于1959年提出）

将生物界分为原核生物总界（包括原核生物界）、真核生物总界（包括原生生物界、真菌界、植物界、动物界）。

5．六界系统（陈世骧提出）

将生物界分为无细胞总界（包括病毒界）、原核生物总界（包括细菌界、蓝藻界）、真核生物总界（包括真菌界、植物界、动物界）。

（1）病毒界

①由核酸（DNA或RNA）和蛋白质构成核衣壳的病毒，如细菌病毒（噬菌体），真核生物病毒（HIV病毒、脊髓灰质、炎病毒、SARH病毒、烟草花叶病毒）。

②只由核酸构成的病毒，如马铃薯纺锤体块茎病毒。

③只由蛋白质分子组成的朊病毒，如羊瘙痒病的病毒。

（2）原核生物界

包括细菌、放线菌、支原体、蓝藻、原绿藻、衣原体和立克次氏体。

（3）原生生物界

包括原生物动物门、甲藻门、金藻门、裸藻门、黏菌门等。

分类学家通常把甲藻门、金藻门、裸藻门归入植物界，黏菌门归入真菌界，原生动物门归入动物界，对具有植物和动物两方面特征的生物，如衣藻、眼虫等，同时收入植物界和动物界中。

（4）真菌界

主要分以下几纲：子囊菌纲、接合菌纲、担子菌纲、半知菌纲。

（5）植物界

主要有以下几个门：蓝藻门、裸藻门、绿藻门、轮藻门、金藻门、甲藻门、褐藻门、红藻门、地衣门、苔藓植物门、蕨类植物门、裸子植物门、被子植物门。

（6）动物界

①原生物动物亚界包括：肉足鞭毛门、盘蜷门、顶复体门、微孢子虫门、胶虫门、纤毛门。

②后生物动物亚界包括：有海绵动物门、腔肠动物门、扁形动物门、纽虫门、圆虫门、轮虫门、软体动物门、环节动物门、蠕虫门、节肢动物门、帚虫门、外肛动物门、腕足动物门、棘皮动物门、脊索动物门。

（二）系统树（图2-4-7）

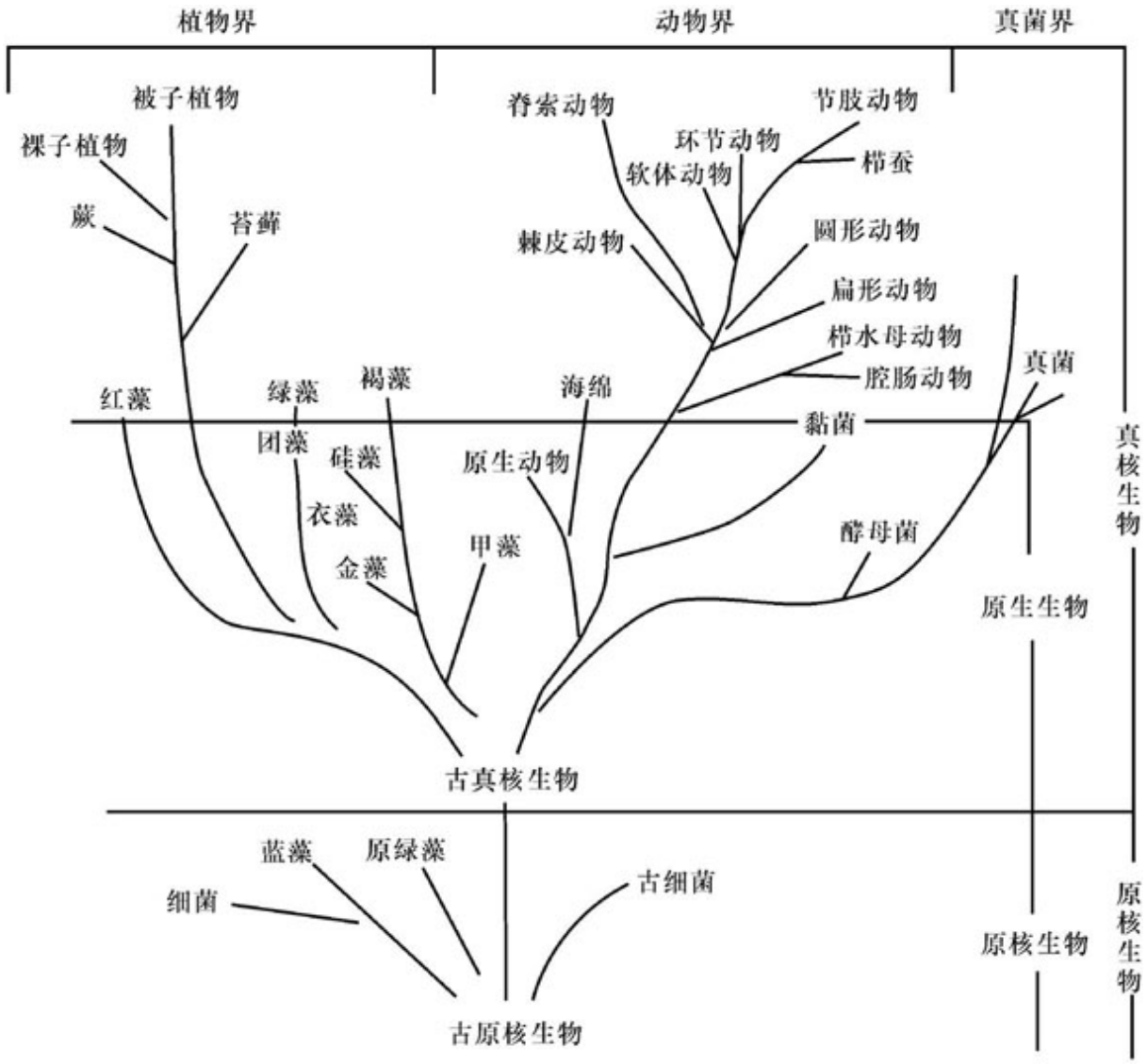


图2-4-7　系统树

五、人类的起源与发展

最早提出“人猿同祖”思想的人是布丰，1863年赫胥黎在《人类在自然界的位置》一书中明确提出了“人猿同祖论”。

（一）人类起源于动物的证据

1．比较解剖学的证据

人体各器官结构和功能，与哺乳动物的同类器官相比都是相似的。人体还存在许多痕迹器官，如盲肠、耳肌、毛发、尾等。某些人还出现全身被毛（“毛人”），具有多乳头及长尾巴等返祖现象。

2．胚胎学证据

人同所有高等动物一样，都是从受精卵的卵裂开始，经过囊胚、原肠胚，然后形成三胚层，而且从三个胚层所形成的器官，人和陆生脊椎动物都是一样的。此外，人的胚胎发育早期与各种脊椎动物的胚胎早期也很相似，从鳃裂、尾等特征的出现，提示人的祖先与水生生活有关。

3．生理学证据

人的各种生理活动如呼吸、血液循环、代谢、生殖等都与高等哺乳动物极为相近，如人类女性的月经周期与类人猿很相近。血清沉淀反应也表明，抗人血清与类人猿尤其是黑猩猩的血清沉淀反应达97%，说明人与黑猩猩亲缘关系非常近。

4．分子生物学的证据

人与其他脊椎动物尤其是类人猿的许多重要蛋白质，如肌红蛋白、血红蛋白、免疫球蛋白、核糖核酸酶、溶菌酶及胰岛素、若干脱氢酶等，其氨基酸组成都有广泛的同源顺序。DNA分子杂交及最近几年的染色体原位杂交技术也表明，人与类人猿的DNA分子和染色体具有较多的同源序列。

5．心理学上的证据

观察发现，人与类人猿具有相似的喜怒哀乐表情。

6．病理学证据

类人猿能感染人类的多种传染病，如伤寒、霍乱、梅毒等。

以上种种证据表明，人起源于动物，与类人猿亲缘关系最近。在分类学上，人属于脊索动物门、脊椎动物亚门、哺乳纲、灵长目、类人猿亚目、人科。

（二）人类进化历程

1．从猿到人的过渡阶段（南方古猿）：从猿到人的发展过程尚无定论，比较普遍和肯定的看法是森林古猿→西瓦古猿→南方古猿→人。西瓦古猿（又叫拉玛古猿）大约生活在距今1500～800万年以前，其化石最早发现于印度和巴基斯坦，以后在我国云南和非洲肯尼亚都有发现。这是一种从猿到人的过渡类型，它们具有人和猿的双重特征，头骨和面部像猿，但牙齿的数目和分化的程度与人相似，大齿较小齿弓近似抛物线型。嘴巴从面部突出的程度也较小，显然与森林古猿不同，而接近于人类。根据伴生动植物化石及其他资料推测，它们生活在湿热的森林地带，经常采用直立的姿势，常用臂和手攀援及摘取果实，用腿和脚支撑身体。前后肢有了某种程度的分工，在平地行走时也开始逐渐摆脱用手协助的习惯，学会用两脚直立行走，完成了

从猿到人转变的具有决定意义的一步。大约在800万年前，西瓦古猿几乎灭绝。

在距今500万年以前，出现了南方古猿。最早是1924年在南非金泊利附近的汤恩发现的一个似人似猿的幼儿骨化石，命名为“汤恩幼儿”。1972—1977年在坦桑尼亚和埃塞俄比亚发现了距今300～360万年前的人类化石，定名为南方古猿阿法种，简称阿法南猿。阿法南猿是现在被普遍承认的最古老的人类化石。南方古猿已确立了两足直立行走的习惯，躯干、肢体已是人型。已经能够使用天然工具和制造简单的工具。但脑量较小，仅相当于现代人平均脑量的1/3～1/2，头骨更接近于代表着“亦猿亦人”的过渡类型。

一般认为，从制造工具开始，便说明人类在地球上出现了，从此便开始了人类的发展史。

2．早期猿人（能人）：1961年在坦桑尼亚奥杜韦找到的能人化石，是这一阶段的代表，生活于距今160～300万年前。早期猿人（能人）是原始人类发展的第一阶段，已具有人的基本特点，但却带有许多的原始性。他们不仅能直立行走，而且能制造简单的砾石工具。但他们的吻部突出，无下颏，头盖骨低平，额后倾，外貌像猿。一般认为能人是介于南猿和直立人之间的中间类型，是否为真正人类尚无定论。

3．晚期猿人（直立人）：第一个直立人化石是荷兰人杜布瓦于1890—1891年在印尼发现的爪哇直立人。直立人已是真正的人类了，他们的身体形态已有明显进步，身材增高，脑量增大，面部和牙齿相对缩小，行为活动更为复杂，其直立行走姿势与现代人基本相同。已能制造较进步的旧石器，并已开始用火，并可能有一定的语言能力。但这种猿人眉嵴粗壮，嘴部突出，仍带有一些原始特征。例如北京猿人、蓝田猿人、元谋猿人、德国海德堡猿人等。距今约30～180万年前。

4．早期智人（古人）：出现最早的智人是尼安德特人（尼人），是1856年在德国发现的。尼人的脑量与现代人差不多，眉嵴没有北京猿人那样突出，失去了大部分猿的特征，发展成现代人的样子。他们会制造石器，靠渔猎生活，不仅会使用天然火，而且已能人工取火。我国发现的早期智人有陕西大荔人、广东马坝人、湖北长阳人、山西丁村人等。生活于距今10～30万年前。

5．晚期智人（新人）：晚期智人生活于距今3～4万年前，他们的体质形态完全与现代人相似，而且他们已有雕刻与绘画的艺术，并出现了装饰品。最早发现的新人化石是法国克罗马农人。我国境内发现

的晚期智人中最著名的是周口店的“山顶洞人”（一般认为是原始黄种人）和广西的柳江人。山顶洞人生活在距今1.8万年前，具有黄种人的特征；他们不仅会加工精细的石器和骨器，还会制造骨针缝制衣服，并能把兽牙、石珠和鱼骨制成饰品。他们已能利用地形或设立陷阱捕捉大兽，还会用大兽皮修建简单的房屋，会摩擦生火，也有埋葬死者的习俗，原始宗教已经产生，这个时期已进入母系氏族社会。

（三）人类起源与进化的动力

人类的起源与进化同样是由变异、选择、隔离三个环节完成的，但在人类的起源与进化过程中，劳动起着特别重要的作用。一方面，劳动是一种创造因素；另一方面，劳动是一种选择因素。

【例题解析】

例1　囊性纤维变性是一种常染色体遗传病。在欧洲的人群中，每2500个人就有一人患此病。如一对健康的夫妇有一个患有此病的孩子，此后，该妇女又与一健康男子再婚。问：再婚的双亲生一孩子患该病的几率是多少？

解析　依题意，该病应属于常染色体隐性遗传。设囊性纤维变性由隐性基因a控制，其基因频率为q，正常的显性基因为A，其基因频率为p，群体呈遗传平衡，则患者（aa）频率q^2＝1/2500，q＝1/50，则p＝1－q＝1－1/50＝49/50。群体中杂合体（Aa）的几率为2pq＝2×（49/50）×（1/50）＝98/2500。一对健康夫妇生有一个患病的孩子，则该夫妇必为杂合体。该杂合体妇女再与一个健康男子婚配时，只有当该健康男子亦为杂合体时，他们才可能生出患病的孩子。由于该孩子的父亲是杂合体的几率为98/2500，故该孩子为患病的几率为98/2500×1/4＝0.98%。

答案　再婚的双亲生出患病孩子的几率为0.98%。

例2　下表所列举的A、B、C、D鸟中，哪种鸟将得到更多的进化优势（　　）

鸟		A	B	C	D
数目	产卵	9	2	9	7
	孵出	8	2	9	5
	繁殖后代	2	2	3	1

解析　鸟类的产卵率和孵出率高，但存活率低，繁殖后代数较少，说明该物种的个体对环境的适应能力较低，它只能依赖其高繁殖

能力（多产卵量）来维持种族延续。相反，如果鸟类的产卵量较低，而孵出率和后代的存活率（繁殖后代数）较高，说明该物种的个体对环境的适应能力强，具有最大的进化优势。

答案　B

例3　按照达尔文进化论学说，下列叙述中正确的是（　　）

A．生活在地穴水中的盲螈，因长期不用眼睛而失去视觉

B．食蚁兽的长舌是因长期舔食树缝中的蚂蚁反复伸长所致

C．鹿和狼在长期的生存斗争中相互进行选择，结果发展了自己的特征

D．春小麦连年冬种可以变成冬小麦，这是环境影响的结果

解析　A、B、D都不是达尔文进化学论的观点，它们是拉马克的进化观点，认为环境变化是生物进化的主要因素。并提出“用进废退”学说，还认为后天获得的性状也可遗传。C正确，达尔文进化学说认为：生物的遗传和变异是生物进化的内在因素，生存斗争是生物进化的动力。定向的自然选择决定生物进化的方向。狼和鹿在捕食和被捕食的关系上进行着相互选择，跑得慢的狼和鹿都会因不易获得食物和易被天敌捕获而被淘汰。跑得相对快、敏捷的鹿和有耐力、狡猾的狼在长期的生存斗争中，由于生物遗传的因素而逐渐得到积累和加强，从而使其各自得到了发展。

答案　C

例4　关于人种正确的说法是（　　）

A．人种是按体质好坏划分的人群

B．全世界的人属于单一的一个种

C．人具有自然属性及社会属性

D．不同地区的人种具有生殖隔离，即使通婚也不能产生后代

E．人具有动物性和天性等双重属性

解析　人种也称为种族，它是指体质形态上具有某些共同遗传特征（如肤色、发色、发形、眼色血型等）的人群，各个人种之间能广泛地进行基因交流，彼此可以通婚并生育正常的后代。所以，全世界各人种在生物学上同属于一个物种，并具有共同的祖先。当然在不同的人种中某些基因的频率是有所不同的，世界上现代智人可以分为黄色人种、白色人种、黑色人种和棕色人种四大人种。人既属于一定的社会（一定的文化系统），又属于自然界（生物界）。因此，人具有双重属性，即社会属性和自然属性，因而也就有两种不同的人的概念，即社会人的概念和自然人的概念。所谓社会人的概念是指人的本

质是社会关系的总和，而从生物学观点上看，人类是一个生物种，与其他生物种没有本质区别。

答案　B、C

例5　下面是四个不同群体中的基因型频率，哪些是平衡群体（　　）

A．0.36A_1A_1:0.48A_1A_2:0.16A_2A_2

B．0.25A_1A_1:0.50A_1A_2:0.25A_2A_2

C．0.04A_1A_1:0.32A_1A_2:0.64A_2A_2

D．0.09A_1A_1:0.49A_1A_2:0.42A_2A_2

答案　A、B、C

解析　当群体中基因频率与基因型频率分别以p、q和P、H、Q表示时，所谓平衡群体是指在群体中基因频率与基因型频率具有如下关系：$P=p^2$，$H=2pq$，$Q=q^2$。如果不知群体是否为平衡群体，那么在已知基因型频率时，基因频率可以利用以下公式进行计算：$p=P+H/2$，$q=Q+H/2$。所以群体A：$p=P+H/2=0.36+0.48/2=0.6$，$q=Q+H/2=0.16+0.48/2=0.4$。此时，可以看出，基因频率与基因型频率满足如下关系：$P=p^2$，$H=2pq$，$Q=q^2$。因此，该群体为平衡群体。同理，群体B、C亦符合以上关系，为平衡群体。群体D：$p=P+H/2=0.09+0.49/2=0.335$，$q=Q+H/2=0.42+0.49/2=0.665$。当群体中基因频率分别为0.335，0.665时，那么群体中基因型频率应该为：$A_1A_1=0.112225$，$A_1A_2=0.44555$，$A_2A_2=0.442225$。此数据与题目D中所给数据不符，所以该群体非平衡群体。当然在确认时应该利用具体数据进行适合度检验。

【针对训练】

1．生命起源的“化学进化论”已被广大学者所承认，这一假说与生命的“自然发生论”有一点是相同的，它是（　　）

A．生命都是从非生命物质中突然产生的

B．生命都是从非生命物质产生的

C．生命都是在目前条件下从非生命物质产生的

D．生命的发生是在与宇宙进化相联系的条件下产生的

2．陆地生物比海洋生物进化快，因为（　　）

A．生命开始来自海洋

B．海洋中生存更困难

C．陆地生存条件稳定

D．海洋中的生存条件更稳定

3．下面哪些（种）有关生命起源的说法是正确的（　　）（多选题）

A．最早出现的具自我复制能力的大分子可能是RNA

B．最早的生命形式是病毒

C．最早的生命出现在30亿年前

D．古细菌起源早于真细菌

4．在生命起源的化学进化过程中，原始海洋的作用在于（　　）

A．为合成有机小分子物质提供原料

B．为合成有机小分子物质提供能能量

C．为合成有机高分子物质提供酶

D．为原始生命的产生提供场所

5．原始生命诞生的重要标志是（　　）

A．原始蛋白质分子和核酸分子的形成

B．原始界膜的形成

C．有原始的新陈代谢作用和能够繁殖

D．核酸和蛋白质等物质的相互作用

6．公鹿往往用鹿角作为争夺配偶的武器。按照达尔文的观点，现代的公鹿鹿角发达的原因是（　　）

A．代代经常使用的结果

B．变异朝有利于生殖的方向发展的结果

C．繁衍后代的需要

D．自然选择的结果

7．人的胚胎在发育初期出现鳃裂，由此可以说明（　　）

A．人胚胎早期用鳃呼吸

B．人的肺由鳃发育而来

C．人与鱼类的亲缘关系最接近

D．人的原始祖先生活在水中

8．下列每组中的两个器官，属于同源器官的是（　　）

A．蝙蝠的翼手和人的上肢

B．蝌蚪的鳃和蛙的肺

C．鲸的鳍足和鱼的胸鳍

D．鸟的翼和昆虫的翅

9．下列各项中的哪一项不属于达尔文进化论的一部分（　　）

A．同一物种的成员在许多特性上有变异

B．其表现型不适于其环境的后代会死亡

C．生物体会产生比其环境所维持的个体数多的后代
D．种内的变异是由环境的作用所引起的
10．下列各现象中不属于自然选择作用的例子是（　　）
A．纯种长毛垂耳狗的形成
B．因工业污染而使某种蛾子发生黑化
C．某些细菌对抗生素的抗性
D．头发里的虱子经DDT处理后仍有突变种存活下来
11．隔离在物种形成中的主要作用（　　）
A．使种群间的个体互不相识
B．使种群间的雌雄个体失去交配机会
C．使不同种群各适应于不同的地理环境
D．使种群之间停止基因交流，各向着不同的方向演变
12．已知人眼的褐色（A）对蓝色（a）是显性。在一个有30000人的人群中，蓝眼的人3600人，褐眼的有26400人，其中纯合体有12000人。那么，在这一个人群中A和a的基因频率分别为（　　）
A．0.64和0.36
B．0.36和0.64
C．0.50和0.50
D．0.82和0.18
13．在某一个人群中，已调查得知，隐性性状者为16%，问该性状不同类型的基因型频率是多少？（按AA、Aa、aa顺序排列答案）（　　）
A．0.36　0.48　0.16
B．0.48　0.36　0.16
C．0.16　0.48　0.36
D．0.16　0.36　0.48
14．在生物进化过程中，鸟类出现在（　　）
A．前寒武纪
B．古生代
C．中生代
D．新生代
E．都不对
15．进化上同人的亲缘关系最近的是（　　）
A．长臂猿
B．黑猩猩
C．大猩猩

D．猩猩

16．下列哪一组人进化关系是正确的（　　）

A．阿法南猿→粗壮南猿→直立人→智人→人

B．阿法南猿→粗壮南猿→智人→直立人→人

C．粗壮南猿→阿法南猿→直立人→智人→人

D．阿法南猿→直立人→粗壮南猿→智人→人

17．生物进化是指（　　）

A．生物越来越适应环境

B．生物的遗传物质越来越不一样

C．生物的个体数越来越多

D．生物对环境的破坏越来越大

18．日本科学家提出了“中性进化论”，其根据主要来源于（　　）

A．化石证据

B．形态学证据

C．生物大分子证据

D．行为学证据

E．生理学证据

19．物种的遗传变异的程度与物种的“寿命”是相关的，其原因是（　　）

A．遗传变异大的物种适应的潜力大

B．遗传变异大的物种进化的速率快

C．遗传变异大的物种抗病的能力强

D．遗传变异大的物种繁殖的能力强

20．下面哪项不是叶绿体内共生起源学说的证据（　　）

A．叶绿体靠裂殖方式分裂

B．叶绿体DNA大小在100～200kb之间

C．有的叶绿体含有藻胆体

D．有的原核光合生物含有叶绿素b

21．用^{14}C测定年代的原理是（　　）

A．$^{14}C/^{12}C$在一个标本中是恒定的，这个比值反映了当时大气中的比值

B．$^{14}C/^{12}C$在一个标本中随时间增加

C．$^{14}C/^{12}C$在一个标本中随时间恒定减少

D．^{14}C可以恒定的速率衰变成^{12}C

22．下面哪些（种）条件可以导致新物种的产生（　　）（多选题）

A．多倍体化

B．地理隔离

C．种内杂交

D．种间杂交

23．植物进化的规律（　　）（多选题）

A．孢子体世代占优势

B．维管组织分化增加

C．繁殖不依赖水

D．草本向乔木发展

24．三叶虫繁盛和衰落的时代分别是（　　）

A．元古代和古生代

B．古生代和古生代

C．古生代和中生代

D．中生代和中生代

25．根据现代综合进化论，判断下列表述中哪种正确（　　）

A．生物进化在方向上是随机的

B．从进化的方向上看，生物进化是不定向但适应局部环境的

C．从进化速度上讲，生物进化既可体现跳跃式，也可体现恒定式的演化模式

D．自然选择下群体基因频率的改变，意味着新物种的形成

26．工业黑化现象是指在工业化过程中，蛾类（如桦尺蠖）的灰色类型逐渐被黑色类型所取代的现象。这一过程的结果是（　　）

A．遗传漂变

B．稳定选择

C．定向选择

D．分裂选择

27．有一种人类中罕见的常染色体显性致病基因导致的疾病，在某海岛的人群中有很高的发病率。人类遗传学家在探讨该先天性疾病的高发病率成因时可能涉及到如下的哪种因素（　　）（多选题）

A．该基因的突变率很高

B．该海岛可能曾经发生过导致人类灾难的事件

C．最初开发该海岛的少数移民

D．该基因不受自然选择的作用

28．达尔文创立的以自然选择为核心的进化论给神创论以致命的打击，使进化论摆脱了神学的羁绊。达尔文进化思想的产生与下述哪些影响有关（　　）（多选题）

A．马尔萨斯的《人口论》

B．赖尔的地质学进化原理

C．孟德尔的遗传学原理

D．环球旅行中观察到的动、植物化石

29．人工选择和自然选择的共同选择基础是（　　）

A．生物的生存斗争

B．人和自然界的选择力量

C．生物的遗传和变异是普遍存在的

D．生物均具有很强的繁殖能力

30．从总的趋势上看（　　）

A．愈是高等的生物，DNA含量愈高，DNA含量总是跟生物的复杂程度成正比

B．进化中要导致复杂生物体的产生，基因组中含有足够数量的不同基因是必需的

C．正是进化中形成的基因组中大量的DNA才导致复杂生物体的产生

D．进化中生物的DNA含量逐渐增加，基因组中含有足够数量的基因是导致复杂生物体的产生所必需的

31．对于突变与进化的关系，以下哪种说法中最正确（　　）

A．有利的突变太少，不足以作为生物进化的原始材料

B．无论经过几次突变，突变前后基因间的等位关系是不会改变的

C．基因可通过突变改变核苷酸序列，但不会改变在染色体上的位置

D．突变的有利与否，随所处的环境而异

32．有关真核细胞的出现，哪一种说法不对（　　）

A．真核细胞的起源奠定了有性生殖产生的基础

B．真核细胞的起源推动了动植物的分化

C．真核细胞的起源造成了生物体结构的简单化、功能的趋同化

D．真核细胞的起源促进了动物、植物、菌类三极生态系统的形成

33．古生代中期（　　）

A．在动物中，以鱼类为最盛

B．在动物中，以爬行类为最盛

C．在植物中，以裸子植物为最盛

D．在植物中，蕨类植物尚未出现

34．一般认为，植物和动物的共同祖先是（　　）

A．细菌

B．原始绿色鞭毛生物

C．原始单核变形虫

D．蓝藻

35．关于自然选择与进化速度的关系（　　）

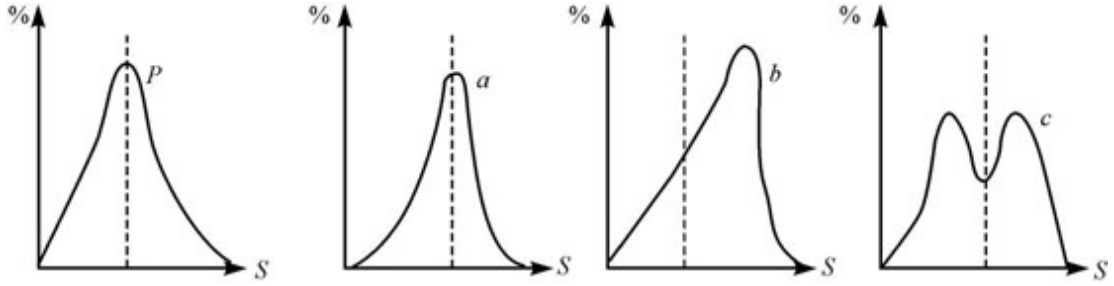
A．选择压力增大常促进上升进化的产生

B．从大的范围来讲，整个海洋生物比陆地生物进化得快

C．选择压力增加，进化速度必定放慢

D．选择压力小，后代存活数便少

36．在1.5亿年前的沉积物中发现了已灭绝的剑尾动物。每个个体背甲的长/宽比都进行了测量。这一长/宽比值用S表示。在下图，P曲线表示1.5亿年时该动物S值的分布。在1亿年的沉积物中，在三个不同地点发现了三个不同剑尾动物的群体。图中a、b、c分别表示三种动物群体中S值的分布情况。



请回答下列两个问题：

（1）在a、b、c三个群体中，哪一群体最可能出现了新种？

（2）在发现该动物的三个地区，哪一地区的环境最可能保持不变？

选择项	新种形成	环境不变
A	b	a
B	c	c
C	c	a
D	b	b

37．下列是8种生物的细胞色素c与人的细胞色素c的组成比较。请分析表中数后回答：

生物名称	黑猩猩	猴	马	鸡	金枪鱼	小麦	链孢霉	酵母菌
与人类的细胞色素有差异的氨基酸数	0	1	10	13	21	35	43	44

（1）从表中的数据可看出：人与_____亲缘关系最远，因为两者的_____。

（2）这项比较是从_____方面为生物的_____提供了证据。

38．已知放射性同位素^{14}C的半衰期是5730年，现测得某生物化石中的^{14}C只剩下正常量的1/32，说明该生物死后至今经历了_____个半衰期，大约距今_____年。

【参考答案】

1．B　2．D　3．AC　4．D　5．B　6．D　7．D　8．A　9．D　10．A　11．D　12．A　13．A　14．C　15．B　16．A　17．B　18．C　19．A　20．B　21．C　22．ABD　23．ABC　24．B　25．B　26．C　27．BC　28．ABD　29．C　30．B　31．D　32．C　33．A　34．B　35．A　36．C　37．（1）酵母菌　细胞色素c结构中氨基酸差异最大　生化　进化理论　38．5　28650

第三章　稳态与环境

第1讲　植物的代谢

（杭州学军中学　胡晓华）

【知识梳理】

一、水分代谢

植物对水分的吸收、运输、利用和散失的过程，称为植物的水分代谢。

（一）植物细胞对水分的吸收

植物细胞吸水主要有3种方式：扩散、集流和渗透作用。

1．扩散

扩散是由于分子的随机热运动所造成的物质从浓度高的区域向浓度低的区域移动。扩散适合于水分短距离的（如细胞间）迁徙（例如水分子可以通过膜脂双分子层进入细胞内），不适合于长距离（如树干导管）的迁徙。

2．集流

集流是指液体中成群的原子或分子在压力梯度下的共同移动，例如水在水管中的流动，河水在河中的流动等。植物体中也有水分集流。

植物体的水分集流是通过膜上的水孔蛋白形成的水通道实施的（图3-1-1）。水孔蛋白的单体是中间狭窄的四聚体，呈“滴漏”模型，每个亚单位的内部形成狭窄的水通道。水孔蛋白是一类具有选择性、高效转运水分的跨膜通道蛋白，它只允许水分通过，不允许离子和代谢物通过。水孔蛋白的活性是被磷酸化和水孔蛋白合成速度调节的。试验证明，依赖Ca^{2+}的蛋白激酶可使特殊丝氨酸残基磷酸化，水孔蛋白的水通道加宽，水集流通过量剧增。如果把该残基的磷酸基团除去，则水通道变窄，水集流通过量减少。

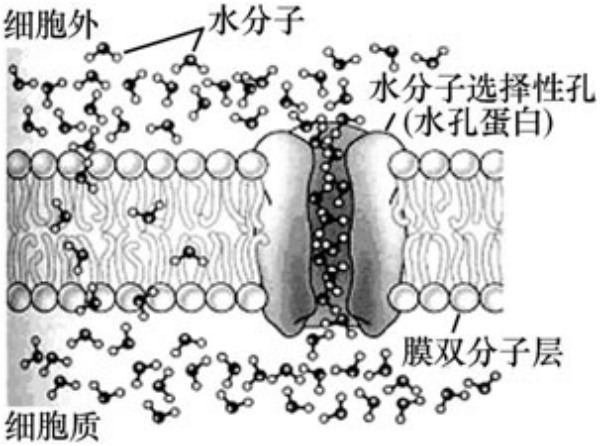


图3-1-1　水分跨过细胞膜的途径

3．渗透作用

渗透作用是水流通过膜的方向和速度不只是决定于水的浓度梯度或压力梯度，而是决定于这两种驱动力的和，即依水势梯度而移动。渗透是指溶剂分子通过半透膜而移动的现象。水分移动需要能量作功，先了解自由能和水势的概念。

（1）自由能和水势

根据热力学原理，系统中物质的总能量可分为束缚能和自由能两部分。束缚能是不能用于作功的能量，而自由能是在温度恒定的条件下可用于做功的能。1mol物质的自由能就是该物质的化学势，可衡量物质反应或作功所用的能量。同样道理，衡量水分反应或作功能量的高低，可用水势表示。

纯水的自由能最大，水势也最高，溶液中的溶质颗粒降低了水的自由能，所以溶液中水的自由能要比纯水低，纯水的水势定为零，溶液的水势就成负值。溶液越浓，水势越低。如海水为-2.69MPa。

图3-1-2装置为一个渗透系统（紧缚在漏斗上的是半透膜）。在一个渗透系统中，水的移动方向决定于半透膜两边溶液的水势高低。水分从水势高的系统通过半透膜向水势低的系统移动的现象，称为渗透作用。

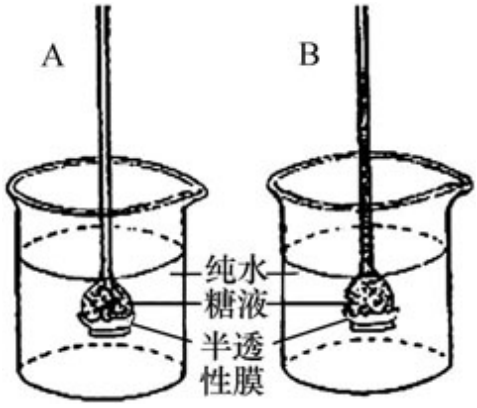


图3-1-2　渗透现象

质壁分离和质壁分离复原现象可证明一个具有液泡的植物细胞是一个渗透系统。

（2）细胞的水势

细胞吸水情况决定于细胞水势。典型细胞水势是由3个势组成的：$\psi_w=\psi_s+\psi_p+\psi_m$。$\psi_w$为细胞的水势，$\psi_s$为渗透势，$\psi_p$为压力势，$\psi_m$为衬质势。

渗透势亦称溶质势。渗透势是由于溶质颗粒的存在，降低了水的自由能，因而其水势低于纯水的水势。溶质势主要受细胞液浓度的影响，凡是影响细胞液浓度的内外条件，都可引起溶质势的改变。例如干旱时，细胞液浓度高，溶质势较低。

压力势是指细胞的原生质体吸水膨胀，对细胞壁产生一种作用力相互作用的结果，与引起富有弹性的细胞壁产生一种限制原生质体膨胀的反作用力。压力势是由于细胞壁压力的存在而增加水势的值。压力势往往是正值。在特殊情况下，压力势也可为负值或等于零。例如初始质壁分离时，细胞的压力势为零；剧烈蒸腾时，细胞壁出现负压，细胞的压力势呈负值。

衬质势是指细胞中的亲水物质如蛋白质体、淀粉粒和膜系统等对自由水的束缚而引起水势的降低值，呈负值。

由于具有液泡的细胞含水量很高，衬质势趋于零，可忽略不计。因此细胞水势公式可用下式表示：$\psi_w=\psi_s+\psi_p$

图3-1-3说明了细胞水势、渗透势和压力势三者在不同的细胞体积中的变化。在细胞初始质壁分离时（相对体积＝1.0），压力势力零，细胞的水势等于渗透势，两者都呈最小值（约-2.0MPa）。当细胞吸水，体积增大时，细胞液稀释，渗透势增大，压力势增大，水势也增大。当细胞吸水达到饱和时（相对体积＝1.5），渗透势与压力势的绝

对值相等（约1.5MPa），但符号相反，水势便为零，不吸水。蒸腾剧烈时，细胞虽然失水，体积缩小，但并不产生质壁分离，压力势就变为负值，水势低于渗透势。

（3）细胞间的水分移动

相邻两细胞的水分移动方向，决定于两细胞间的水势差异，水势高的细胞中的水分向水势低的细胞流动。在同一植株中，地上器官的细胞水势比根部低。虽然同是叶子，但它的水势随着距离地面高度的增加而降低，在同一叶子距离主脉越远越低；在根部则内部低于外部。

（二）植物根系对水分的吸收

1．根系吸水的途径

植物根部吸水主要通过根毛、皮层、内皮层，再经中柱薄壁细胞进入导管。水分在根内的径向运转有质外体和共质体两条途径（图3-1-4）。质外体途径是指水分通过由细胞壁、细胞间隙、胞间层以及导管的空腔组成的质外体部分的移动过程，移动速度快。共质体途径是指水分依次从一个细胞的细胞质经过胞间连丝进入另一个细胞的细胞质的移动过程，移动速度较慢。值得注意的是，内皮层细胞壁上的凯氏带，它环绕在内皮层径向壁和横向壁上，木栓化和木质化，因而细胞质牢牢地附在凯氏带上，所以水分只能通过内皮层的原生质体。这样，内皮层就起了障碍物的作用。总之，水分在根中可从一个细胞到相邻细胞，并通过内皮层到达中柱，再通过薄壁细胞而进入导管。

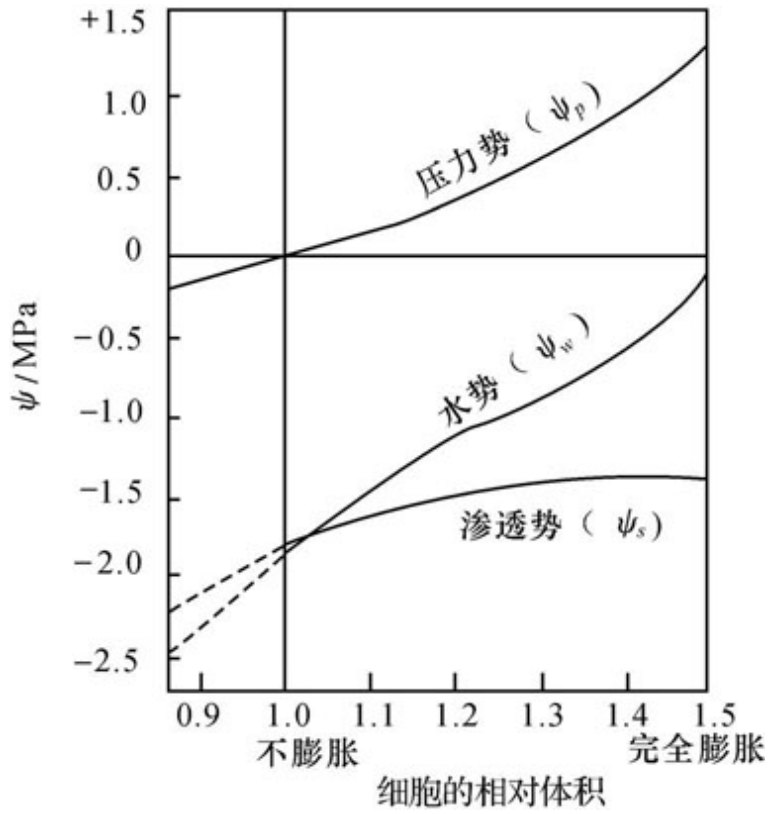


图3-1-3　植物细胞的相对体积变化与水势、渗透势和压力势之间的关系的图解

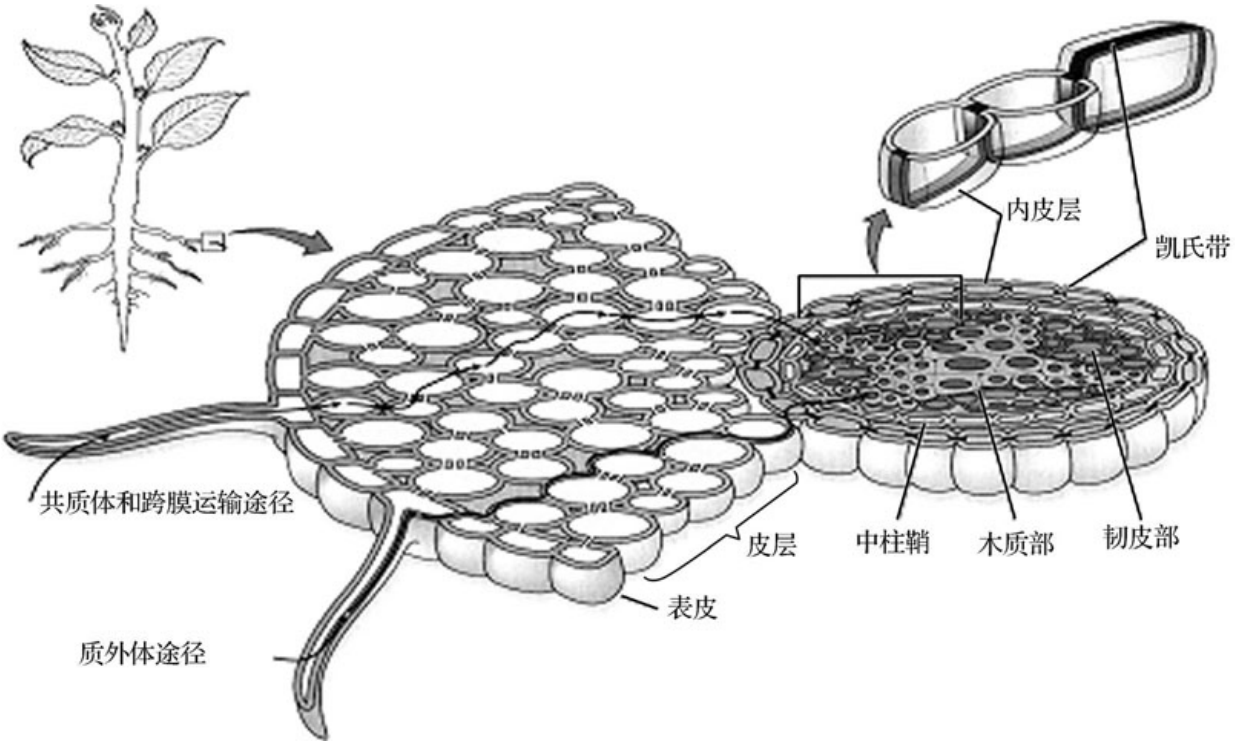


图3-1-4　根部吸水的途径

2．根系吸水的动力

根系吸水有两种动力：根压和蒸腾拉力，后者较为重要。

（1）根压：因根部细胞生理活动的需要，皮层细胞中的离子会不断地通过内皮层细胞进入中柱，中柱内细胞的水势降低，便向皮层吸收水分。这种由于水势梯度引起水分进入中柱后产生的压力称为根压。根压把根部的水分压到地上部，土壤中的水分便不断补充到根部，这就形成根系吸水过程，这是由于根部形成力量引起的主动吸水。大多数植物的根压为0.05～0.5MPa，有些木本植物可达0.6～0.7MPa。

伤流和吐水可证实根压的存在。从植物茎的基部把茎切断，由于根压作用，切口不久即流出液滴。受伤或折断的植物组织溢出液体的现象，称为伤流。流出的汁液是伤流液。从未受伤叶片尖端或边缘向外溢出液滴的现象，称为吐水。在自然条件下，当植物吸水大于蒸腾时（如早晨、傍晚），往往可以看到吐水现象。

（2）蒸腾拉力：叶片蒸腾时，气孔下腔附近的叶肉细胞因蒸腾失水而水势下降，所以从旁边细胞取得水分。同理，旁边细胞又从另一个细胞取得水分，如此下去，便从导管要水，最后根部就从环境中吸收水分，这种吸水的能力完全是由蒸腾拉力所引起的，是由枝叶形成的力量传到根部而引起的被动吸水。

根压和蒸腾拉力在根系吸水过程中所占的比重，因植株蒸腾速率而异。通常蒸腾强的植物的吸水主要是由蒸腾拉力引起的。只有春季叶片未展开时，蒸腾速率很低的植株，根压才成为主要吸水动力。

3．影响根系吸水的土壤条件

土壤中可用水分、土壤通气状况、土壤温度和土壤溶液浓度等都会影响植物水分的吸收。

植物只能利用土壤中可用水分，土壤可用水分多少与土粒粗细以及土壤胶体数量有密切关系，粗砂、细砂、砂壤、壤土和黏土的可用水分数量依次递减。

土壤通气不良之所以使根系吸水量减少，是因为土壤缺氧和二氧化碳浓度过高，短期内可使细胞呼吸减弱，继而阻碍吸水；时间较长，就形成无氧呼吸，产生和累积较多酒精，根系中毒受伤，吸水更少。

低温能降低根系的吸水速率，原因是：水分本身的黏性增大，扩散速率降低；细胞质黏性增大，水分不易通过细胞质；呼吸作用减

弱，影响吸水；根系生长缓慢，有碍吸水表面的增加。土壤温度过高对根系吸水也不利。高温加速根的老化过程，使根的木质化部位几乎达到尖端，吸收面积减少，吸收速率也下降。同时，温度过高使酶钝化，也影响到根系主动吸水。

土壤溶液所含盐分的高低，直接影响其水势的大小。根系要从土壤中吸水，根部细胞的水势必须低于土壤溶液的水势。

（三）植物的蒸腾作用

1．蒸腾作用的方式

植物蒸腾作用绝大部分靠叶片进行，叶片的蒸腾作用方式有两种，一是通过角质层的蒸腾，称为角质蒸腾；二是通过气孔的蒸腾，称为气孔蒸腾。角质层蒸腾和气孔蒸腾在叶片蒸腾中所占的比重，与植物的生态条件和叶片年龄有关，实质上也就是和角质层厚薄有关。例如，阴生和湿生植物的角质蒸腾往往超过气孔蒸腾。幼嫩叶子的角质蒸腾可达总蒸腾量的1/3～1/2。一般植物成熟叶片的角质蒸腾，仅占总蒸腾量的3%～5%。因此，气孔蒸腾是中生和旱生植物蒸腾作用的主要方式。

2．气孔蒸腾

（1）气孔扩散的小孔定律

实验表明：经过气孔的蒸腾速率要比同面积的自由水面快几十倍，甚至100倍。气体通过多孔表面扩散的速率，不与小孔的面积成正比，而与小孔的周长成正比，即为小孔扩散定律。这是因为在任何蒸发面上，气体分子除经过表面向外扩散外，还沿边缘向外扩散。在边缘处，扩散分子相互碰撞的机会少，因此扩散速率就比在中间部分的要快些。

（2）气孔运动的机理

气孔运动是由保卫细胞水势的变化而引起的。20世纪70年代以前，人们认为保卫细胞间水势的变化是由细胞中淀粉与葡萄糖的相互转变引起的，即“淀粉—糖转化学说”：白天，光合作用引起CO_2浓度降低，pH值增高到7.0左右，此时的pH值利于淀粉磷酸化酶活性增高，淀粉最终转化为葡萄糖，保卫细胞的渗透势下降，从临近的表皮细胞吸水，导致细胞膨胀，气孔张开；夜间相反。

20世纪60年代末，人们发现保卫细胞内K^+的积累量与气孔开度呈正相关。70年代以后，又发现叶片表皮细胞的苹果酸水平与气孔的开度呈密切的正相关，即苹果酸代谢学说（图3-1-5）。

（3）影响气孔运动的因素：光、二氧化碳、温度、水分、植物激素等都会影响气孔的运动。

3．蒸腾作用的指标

蒸腾作用的强弱，可以反映出植物体内水分代谢的状况或植物对水分利用的效率。蒸腾作用常用的指标有：（1）蒸腾速率。指植物在单位时间内、单位叶面积上通过蒸腾作用散失的水量。常用单位：$g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$、$mg\cdot dm^{-2}\cdot h^{-1}$。（2）蒸腾效率。指植物每蒸腾1kg水时所形成的干物质的克数。常用单位：$g\cdot kg^{-1}$。（3）蒸腾系数，又称需水量。指植物每制造1g干物质所消耗水分的克数，它是蒸腾效率的倒数。蒸腾系数越小，则表示该植物利用水分的效率越高。

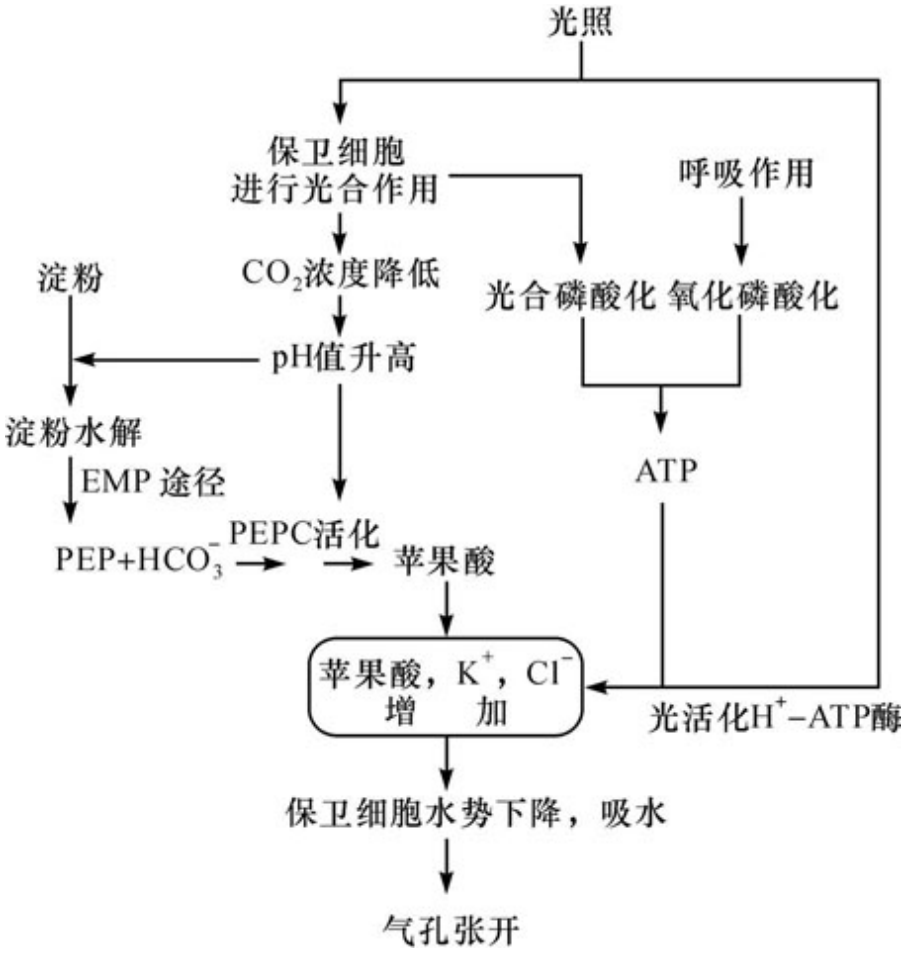


图3-1-5　气孔运动机理

（四）合理灌溉

合理灌溉是农作物正常生长发育并获得高产的重要保证。不同作物对水分的需要量不同，同一作物不同生育期对水分的需要量也不同。植物在生命周期中，对水分缺乏最敏感、最易受害的时期称为水分临界期。一般而言，植物的水分临界期多处于花粉母细胞四分体形成期，这个时期一旦缺水，就会使性器官发育不正常。小麦一生中有

两个水分临界期，第一个水分临界期是孕穗期，第二个水分临界期是从开始灌浆到乳熟末期。

二、矿质代谢

（一）植物必需的元素

确定是否是植物必需的元素有三条标准：（1）如无该元素植物生长发育不正常，不能完成其生活史；（2）植物缺乏该元素时呈现出特有的病症，加入该元素后逐渐转向正常，且其功能不能由其他元素代替；（3）对植物营养的功能是直接的而非由于改善了土壤或培养基条件所致。植物必需的元素至少有17种，可分为大量元素（碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、钙、镁）及微量元素（铁、硼、锰、锌、铜、钼、氯、镍）。

（二）植物必需的矿质元素的生理作用及其缺乏病症

1．氮：植物吸收的氮素主要是铵态氮和硝态氮，也可吸收利用有机态氮，如尿素等。氮是氨基酸、酰胺、蛋白质、核酸、核苷酸、辅酶等的组成元素，叶绿素、某些植物激素、维生素等也含有氮。氮在植物生命活动中占有首要的地位，又称为生命元素。

当氮肥充分时，植物叶大而鲜绿，分枝多，营养体壮健，花多，产量高。但氮肥过多时，叶色深绿，营养体徒长，易受病虫侵害，易倒伏，成熟期延迟。缺氮时，植株矮小，叶小色淡或发红，分枝少，花少，籽实不饱满，产量低。

2．磷：通常以HPO_4^{2-}或$H_2PO_4^-$形式被植物吸收。磷在ATP的反应、糖类代谢、蛋白质代谢和脂肪代谢中起着重要的作用。缺磷时，叶小，分枝减少，叶色暗绿，有时呈红色或紫色，开花期和成熟期都延迟，产量降低，抗性减弱。

3．硫：SO_4^{2-}进入植物体后，大部分被还原成硫，进一步同化为半胱氨酸、胱氨酸和蛋氨酸等。缺硫时，由于缺乏含硫氨基酸而影响蛋白质的形成。植株较矮小，细胞分裂受阻，叶小而呈黄色，易脱落。

4．钙：植物体内的钙呈离子状态Ca^{2+}。钙是构成细胞壁的一种元素，可以维持膜结构的稳定性，在代谢调节中起“第二信使”的作用。缺钙时生长受抑制，严重时幼嫩器官溃烂坏死，番茄蒂腐病、大白菜干心病等都是缺钙引起的。

5．镁：Mg^{2+}在光合和呼吸过程中可以活化各种磷酸变位酶和磷酸激酶。还可以活化DNA和RNA的合成过程。镁是叶绿素的组成成分之一。缺乏镁，叶绿素即不能合成，叶脉仍绿而叶脉之间变黄，有时呈红紫色。若缺镁严重，则形成褐斑坏死。

6．钾：在植物中几乎都呈离子状态。钾是40多种酶的辅助因子，是细胞膨胀和维持细胞内电中性的主要阳离子。钾充分时，茎秆坚韧，抗倒伏。钾能促进糖分转化和运输，促进块茎、块根膨大。钾不足时，植株茎秆柔弱易倒伏，抗旱性和抗寒性均差；叶色变黄，逐渐坏死。缺绿开始在较老的叶，后来发展到植株基部，也有叶缘枯焦，叶子弯卷或皱缩起来。

7．铁：铁是光合作用、生物固氮和呼吸作用中的细胞色素和非血红素铁蛋白的组成成分。缺铁时会出现叶片叶脉间缺绿，缺铁过甚或过久时，叶脉也缺绿，全叶白化，华北果树的“黄叶病”就是植株缺铁所致。

8．硼：参与细胞伸长、核酸代谢等。缺硼时，花药和花丝萎缩，花粉发育不良。油菜“花而不实”就是植株缺硼之故。缺硼时，植株中酚类化合物含量过高，嫩芽和顶芽坏死，丧失顶端优势，分枝多。

9．氯：Cl^-在光合作用水裂解过程中起着活化剂的作用，促进氧的释放。根和叶的细胞分裂需要氯。缺氯时植株叶小，叶尖干枯、黄化，最终坏死；根生长慢，根尖粗。

10．锰：Mn^{2+}是细胞中许多酶（如脱氢酶、脱羧酶、激酶、氧化酶和过氧化物酶）的活化剂，尤其是影响糖酵解和三羧酸循环。锰使光合作用中水裂解为氧。缺锰时，叶脉间缺绿，伴随小坏死点的产生。缺绿会在嫩叶或老叶出现，以植物种类和生长速率而定。

11．锌：锌是生长素前身色氨酸合成所必需的，缺锌时因不能合成色氨酸而影响生长素的合成，植物生长受阻。果树小叶病就是缺锌的典型症状，北方果园中较常见。锌是叶绿素生物合成的必需元素。阔叶作物缺锌时脉间缺绿，常有坏死斑点，叶小，节间短。

12．铜：是某些氧化酶（如抗坏血酸氧化酶、酪氨酸酶等）的成分，又存在于叶绿体的质体蓝素中。缺铜时，叶黑绿，其中有坏死点，先从嫩叶叶尖起，后沿叶缘扩展到叶基部，叶也会卷皱或畸形。缺铜过甚时，叶脱落。

13．镍：镍是脲酶、氢化酶的成分之一，在生物固氮中对产生氢气起作用。缺镍时，叶尖积累较多的脲，出现坏死现象。

14．钼：钼离子（Mo^{4+}～Mo^{6+}）是硝酸还原酶的金属成分，起电子传递作用。钼又是固氮酶中钼铁蛋白的成分，在固氮过程中起作用。缺钼时，老叶叶脉间缺绿，坏死。

（三）植物细胞对矿质元素的吸收

植物细胞吸收矿质元素的方式共有4种类型：通道运输，载体运输，泵运输和胞饮作用。

1．通道运输

细胞质膜上有内在蛋白构成的通道，横跨膜的两侧。通道大小和孔内电荷密度等使得通道对离子运输有选择性，即一种通道只允许某一种离子通过。当细胞外的某一离子浓度比细胞内的该离子浓度高时，质膜上的离子通道被激活，通道闸门打开，离子将顺着跨质膜的电化学势梯度进入细胞内。质膜上的通道运输是一种简单扩散的方式，也是一种被动运输。

2．载体运输

质膜上的载体蛋白属于内在蛋白，它有选择地与质膜一侧的分子或离子结合，形成载体—物质复合物。通过载体蛋白构象的变化，透过质膜，把分子或离子释放到质膜的另一侧。载体运输既可以顺着电化学势梯度跨膜运输（被动运输），也可以逆着电化学势梯度进行（主动运输）。

3．泵运输

泵运输理论认为，质膜上存在着ATP酶，它催化ATP水解释放能量，驱动离子的转运。植物细胞质膜上的离子泵主要有质子泵和钙泵。

质子泵亦称为H^+—泵ATP酶或H^+—ATP酶。ATP驱动质膜上的H^+—ATP酶将细胞内侧的H^+向细胞外侧泵出，细胞外侧的H^+浓度增加，结果使质膜两侧产生了质子浓度梯度和膜电位梯度，两者合称为电化学势梯度。细胞外侧的阳离子就利用这种跨膜的电化学势梯度经过膜上的通道蛋白进入细胞内；同时，由于质膜外侧的H^+要顺着浓度梯度扩散到质膜内侧，所以质膜外侧的阴离子就与H^+一道经过膜上的载体蛋白同向运输到细胞内。

钙泵亦称为Ca^{2+}—ATP酶，它催化质膜内侧的ATP水解，释放出能量，驱动细胞内的钙离子泵出细胞，由于其活性依赖于ATP与Mg^{2+}的结合，所以又称为（Ca^{2+}，Mg^{2+}）—ATP酶。

4．胞饮作用

细胞从外界直接摄取物质进入细胞的过程，称为胞饮作用。其过程为：当物质吸附在质膜时，质膜内陷，液体和物质便进入，然后质膜内折，包围着液体和物质，形成小囊泡，并向细胞内部移动。胞饮作用是非选择性吸收。

（四）植物吸收矿质元素的特点

1．根系吸收矿质元素与吸收水分的关系

矿质元素要溶于水中，才能被根系吸收，并随水流进入根部的质外体。而矿质元素的吸收，降低了细胞的渗透势，促进了植物的吸

水。但两者又相互独立：两者的吸收不成比例；水分吸收主要是以蒸腾作用引起的被动吸水为主，而矿质吸收以主动吸收为主。

2．根系对离子吸收具有选择性

植物从土壤中吸收离子时具有选择性，这种选择性不仅表现在对不同离子的吸收量不同，还表现在对同一种盐的阴离子和阳离子吸收的差异上。例如，供给（NH_4）$_2SO_4$时，根对NH_4^+吸收多于SO_4^{2-}，植物根在吸收NH_4^+时，要以吸附在根细胞表面的H^+与NH_4^+进行交换，使溶液的H^+浓度增大，溶液酸化，这类盐称为生理酸性盐。$NaNO_3$和Ca（NO_3）$_2$等属于生理碱性盐，因为根吸收NO^{3-}比Na^+或Ca^{2+}更多些，植物根在吸收NO^{3-}时，要以吸附在根细胞表面的HCO_3^-与NO_3^-交换。这样，就有许多HCO_3^-残留在溶液中，使溶液氢离子浓度变小。此外，还有一类化合物的阴离子和阳离子几乎以同等速率被根吸收，溶液酸碱度不发生变化，这类盐就称为生理中性盐，如NH_4NO_3。生理酸性盐不宜施用在酸性土壤中，生理碱性盐不宜施用在碱性土壤中，如果长期施用，就会影响植物正常生长和发育。

3．单盐的毒害作用和离子间的拮抗作用

如果将植物培养在只含一种金属离子的溶液中，即使这种离子是植物生长发育所必需的，如K^+，而且浓度很低，植物也不能正常生活，不久即受害而死。这种由于溶液中只含有一种金属离子而对植物起毒害作用的现象称为单盐毒害。如果在引起单盐毒害作用的溶液中加入另一种矿质离子，其对植物的毒害作用即能减弱或消失，这种现象称为离子对抗（又称离子拮抗）。如在KCl溶液中加入少量的Ca^{2+}，则K^+对植物就不产生毒害作用，即Ca^{2+}能对抗K^+。植物只有在含有适当比例的多种盐的溶液中，才能很好地生长，因为这时各种离子的毒害作用已基本上被消除。也就是说，这种溶液既能保证植株有良好的充足的矿质营养，又对植物无毒害效应，这种溶液就称为平衡溶液。相对来说，土壤溶液就是平衡溶液。

值得注意的是：并不是任何一种其他离子的存在都能对抗由于某一种离子而引起的毒害作用。如K^+、Na^+之间就不存在对抗作用，因为两者对原生质的影响是一致的。而Ca^{2+}与它们的作用正相反，故Ca^{2+}与K^+、Na^+可以产生拮抗。同样Ba^{2+}不能对抗Ca^{2+}和Mg^{2+}。

（五）矿质元素在植物体内的运输和利用

根部吸收的无机氮化物，大部分在根内转变为有机氮化物，氮的运输形式是氨基酸（主要是天冬氨酸）和酰胺（主要是天冬酰胺和谷氨酰胺）等有机物，还有少量以硝态氮肥等形式向上运输。磷酸主要以正磷酸形式运输，但也有在根部转变为有机磷化物（如磷酰胆碱、甘油磷酰胆碱），然后才向上运输。硫的运输形式主要是SO_4^{2-}，少数是以蛋氨酸及谷胱甘肽之类的形式运输的。金属离子则以离子状态运输。

矿质元素被根系吸收进入木质部导管后，随蒸腾流沿木质部向上运输，这是矿质元素在植物体内纵向长距离运输的主要途径。在矿质元素沿木质部上运的同时，也存在有部分矿质元素横向运输至韧皮部的现象。叶片吸收的矿物质可以通过韧皮部或木质部向地上部分运输，也可以通过韧皮部向地下运输。

矿质元素运到生长部位后，大部分与体内的同化物合成复杂的有机物质，如氨基酸、蛋白质、核酸、磷脂、叶绿素等；有的作为酶的活化剂，如Mg、Mn、Zn等；有的作为渗透物质，调节植物水分的吸收。必需元素被重复利用的情况不同，N、P、K、Mg易重复利用，它们的缺乏病症，首先从下部老叶开始。Ca、Fe、Mn不能重复利用，它们的病症首先出现于幼嫩的茎尖和幼叶。

三．光合作用

（一）光合色素

在光合作用的反应中吸收光能的色素称为光合色素，主要有三种类型：叶绿素、类胡萝卜素和藻胆素。高等植物中含有前两类，藻胆素仅存在于藻类中。

1．光合色素的结构和性质

（1）叶绿素

叶绿素包括a、b、c、d四种。高等植物中含有a、b两种，叶绿素c、d存在于藻类中，而光合细菌中则含有细菌叶绿素。叶绿素是双羧酸的酯，叶绿素分子含有一个卟啉环的“头部”和一个叶绿醇的“尾巴”（图3-1-6）。卟啉环的中央络合着一个镁原子，镁偏向带正电荷，而与其相连的氮原子则带负电荷，因而“头部”有极性，是亲水的。叶绿素a的分子式为$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$，呈蓝绿色；叶绿素b的分子式为$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$，呈黄绿色。叶绿素不溶于水，仅溶于酒精、丙酮、乙醚、乙烷等有机溶剂中。

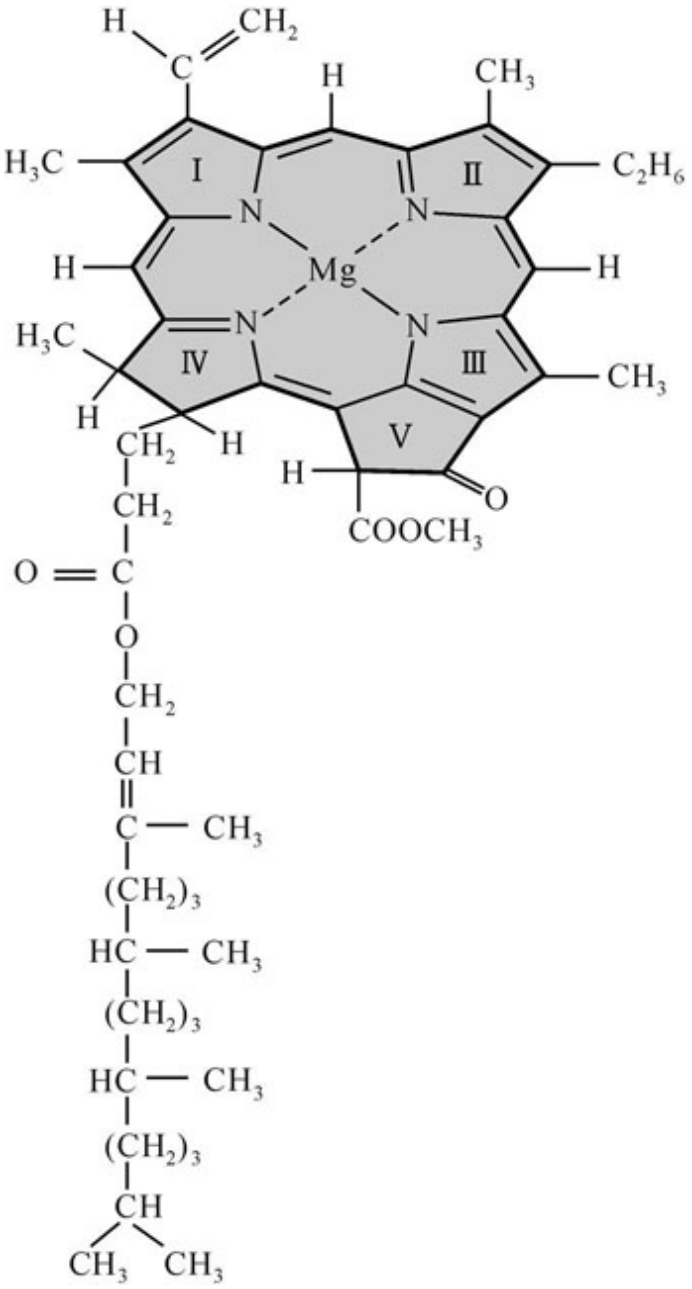


图3-1-6　叶绿素a

（2）胡萝卜素：类胡萝卜素包括胡萝卜素和叶黄素。

胡萝卜素是不饱和的碳氢化合物，叶黄素是由胡萝卜素衍生的醇类，通常叶片中叶黄素与胡萝卜素的含量之比约为2:1。类胡萝卜素也不溶于水，只能溶于有机溶剂。

类胡萝卜素除了有吸收传递光能的作用外，还可在强光下逸散能量，具有使叶绿素免遭伤害的光保护作用。

一般来说，叶片中叶绿素与类胡萝卜素的比值约为3:1，所以正常的叶子总呈现绿色。秋天或在不良的环境中，叶片中的叶绿素较易降解，数量减少，而类胡萝卜素比较稳定，所以叶片呈现黄色。

（3）藻胆素：仅存在于红藻和蓝藻中，又可分为藻红素和藻蓝素。它们与可溶性蛋白质结合分别称为藻红蛋白和藻蓝蛋白。藻红蛋白主要存在红藻中，显红色。藻蓝蛋白主要存在蓝藻中，显蓝色。藻胆素也有收集光能的功能。

2．光合色素的吸收光谱

用分光光度计能精确测定光合色素的吸收光谱（图3-1-7）。叶绿素最强的吸收区有两处：红光部分和蓝紫光部分。叶绿素a和叶绿素b的吸收光谱很相似，但也稍有不同：叶绿素a在红光区的吸收峰比叶绿素b的高，而蓝光区的吸收峰则比叶绿素b的低，即叶绿素b吸收短波长蓝紫光的能力比叶绿素a强。

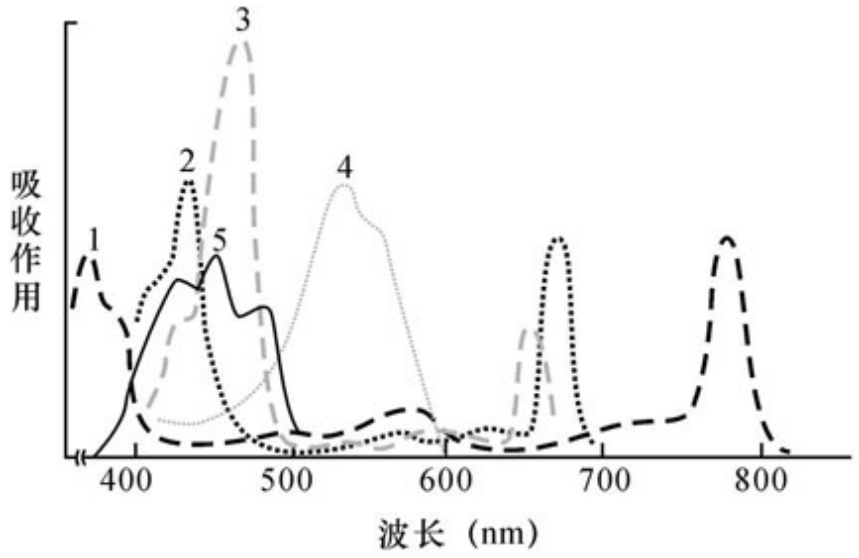


图3-1-7　主要光合色素的吸收光谱

曲线1：细菌叶绿素a；曲线2：叶素素a；曲线3：叶绿素b；曲线4：藻胆红素；曲线5：β—类胡萝卜素

类胡萝卜素的吸收带在400～500nm的蓝紫光区，藻蓝蛋白的吸收光谱最大值是在橙红光部分，而藻红蛋白则是在绿光部分。

3．荧光现象和磷光现象

叶绿素溶液在透射光下呈绿色，而在反射光下呈红色，这种现象称为叶绿素荧光现象。叶绿素为什么会发荧光呢？当叶绿素分子吸收光量子后，就由最稳定的、能量的最低状态——基态上升到不稳定的高能状态——激发态（图3-1-8）。叶绿素分子有红光和蓝光两个最强吸

收区。如果叶绿素分子被蓝光激发，电子跃迁到能量较高的第二单线态；如果被红光激发，电子跃迁到能量较低的第一单线态。由于激发态不稳定，迅速向较低能级状态转变，能量有的以热的形式释放，有的以光的形式消耗。从第一单线态回到基态所发射的光就称为荧光。处在第一、三线态的叶绿素分子回到基态时所发出的光为磷光。荧光的寿命很短，只有10^{-8}～10^{-10}s。由于叶绿素分子吸收的光能有一部分消耗于分子内部的振动上，发射出的荧光的波长总是比被吸收的波长要长一些，所以叶绿素溶液在入射光下呈绿色，在反射光下呈红色。在叶片或叶绿体中发射荧光很弱，肉眼难以观测出来，耗能很少，一般不超过吸收能量的5%，因为大部分能量用于光合作用。色素溶液则不同，由于溶液中缺少能量受体或电子受体，在照光时色素会发射很强的荧光。

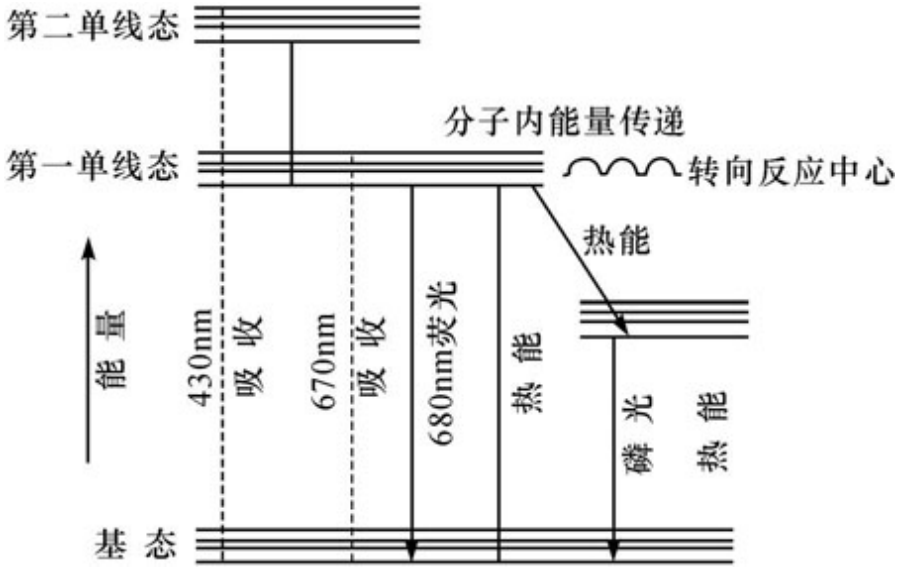


图3-8　色素分子对光能的吸收及能量的转换示意图

4．叶绿素的生物合成及其与环境条件的关系

叶绿素生物合成：以谷氨酸和α—酮戊二酸为原料，经一系列酶的催化，首先形成无色的原叶绿素，然后在光下被还原成叶绿素。

影响叶绿素形成的条件，除受植物遗传因素影响外，环境因素中光照、温度、水分、矿质元素、氧气等都会影响其形成。

光是影响叶绿素形成的主要条件。黑暗中生长的幼苗或埋在土中的茎叶呈黄白色。这种因缺乏某些条件而影响叶绿素形成，使叶子发黄的现象，称为黄化现象。但也有例外，如藻类、苔藓、蕨类和松柏科植物在黑暗中可以合成叶绿素；柑橘种子的子叶及莲子的胚芽在无光照的条件下也能形成叶绿素。

叶绿素的生物合成是一系列酶促反应，受温度影响。秋天叶子变黄和早春寒潮过后秧苗变白，都与低温抑制叶绿素形成有关。氮和镁是叶绿素的组成成分，铁、锰、铜、锌等则在叶绿素的生物合成过程中有催化功能或其他间接作用。因此，缺少这些元素时都会引起缺绿症。缺氧影响叶绿素的合成，缺水不但影响叶绿素生物合成，而且还促使原有叶绿素加速分解，所以干旱时叶片呈黄褐色。

（二）光合作用的过程

光合作用过程中首先是吸收光能并把光能转变为电能，进一步形成活跃的化学能，最后转变为稳定的化学能，贮藏于碳水化合物中。整个光合作用可大致分为三个步骤：①原初反应；②电子传递（含水的光解、放氧）和光合磷酸化；③碳同化过程。第一、二两个步骤基本属于光反应，第三个步骤属于暗反应（表3-1-1）。

表3-1-1　光合作用中各种能量转变情况

能量转变	光能 →	电能 →	活跃化学能 →	稳定化学能
贮存能量	量子	电子	ATP，NADPH	碳水化合物等
转变过程	原初反应	电子传递与光合磷酸化		碳同化
时间跨度(s)	10^{-15}～10^{-9}	10^{-10}～10^{-4}	1～10	10～100
反应部位	基粒类囊体膜	基粒类囊体膜		叶绿体基质
光、暗反应	光反应	光反应		暗反应

原初反应是指光合色素分子对光能的吸收、传递与转换过程。它是光合作用的第一步，速度非常快，且与温度无关，可在-196℃（液氮温度）或-271℃（液氦温度）下进行。反应中心色素受光激发而发生电荷分离，将光能变为电能，产生的电子经过一系列电子传递体的传递，引起水的裂解放氧和$NADP^+$还原，并通过光合磷酸化形成ATP，把电能转化为活跃的化学能，即为光反应中的电子传递与光合磷酸化。利用光反应中形成的同化力（ATP和NADPH），将CO_2转化为碳水化合物的过程为碳同化。二氧化碳同化是在叶绿体的基质中进行的，有许多种酶参与反应。高等植物的碳同化途径有三条，即C_3途径、C_4途径和CAM（景天酸代谢）途径。

根据高等植物光合作用碳同化途径的不同，可将植物划分成为C_3植物、C_4植物和CAM植物。C_3植物、C_4植物和CAM植物的光合作用与生理生态特性有较大的差异，见表3-1-2。

（四）光呼吸

植物的绿色细胞在光下吸收O_2，放出CO_2的过程称为光呼吸。一般生活细胞的呼吸在光照和黑暗中都可以进行，称为暗呼吸。

光呼吸是一个氧化过程，被氧化的底物是乙醇酸。乙醇酸的产生则以RuBP为底物，催化这一反应的酶是RuBP羧化酶。RuBP酶具有催化羧化反应和加氧反应两种功能，CO_2与O_2浓度之比将影响其速率。当CO_2分压高而O_2分压低时，RuBP与CO_2经此酶催化生成2分子的PGA；反之，则RuBP与O_2在此酶催化下生成1分子PGA和1分子磷酸乙醇酸（C_2化合物），后者在磷酸乙醇酸磷酸（酯）酶的作用下变成乙醇酸。

光呼吸的全过程需要由叶绿体、过氧化体和线粒体三种细胞器协同完成，O_2的吸收发生于叶绿体和过氧化体内，C_2的释放发生在线粒体内。由于乙醇酸是C_2化合物，因此光呼吸途径又称C_2循环。一般C_3植物的光呼吸较高，而C_4植物的光呼吸甚低。

表3-1-2　C_3植物、C_4植物和CAM植物的结构、生理特征比较

特　征	C_3 植物	C_4 植物	CAM 植物
植物类型	温带植物	热带亚热带植物	干旱地区植物
叶结构	无花环结构	有花环结构	无花环结构
CO_2 固定酶	RuBP 羧化酶	PEP 羧化酶 RuBP 羧化酶	PEP 羧化酶 RuBP 羧化酶
CO_2 固定途径	只有 C_3 途径	C_4 途径和 C_3 途径	CAM 途径和 C_3 途径
最初 CO_2 受体	RuBP	PEP	光下：RuBP；暗中：PEP
CO_2 固定最初产物	PGA	OAA	光下：PGA；黑暗中：OAA
最大净光合速率（μmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）	15～35	40～80	1～4
光呼吸	3.0～3.7	≈0	≈0
蒸腾系数	高	中	低

光呼吸与暗呼吸在呼吸底物、代谢途径以及对O_2和CO_2浓度的反应等方面均不相同（表3-1-3）。另外，光呼吸速率比暗呼吸速率高3～5倍。

表3-1-3　光呼吸与暗呼吸的区别

	光呼吸	暗呼吸
底　物	在光下由 Rubisco 加氧反应形成的乙醇酸，底物是新形成的	可以是碳水化合物，脂肪或蛋白质，但最常见的底物是葡萄糖。底物可以是新形成的，也可以是贮存物
代谢途径	乙醇酸代谢途径，或称 C_2 途径	糖酵解，三羧酸循环，磷酸戊糖途径
发生部位	只发生在光合细胞里，在叶绿体、过氧化体和线粒体三种细胞器协同作用下进行	在所有活细胞的细胞质和线粒体中进行
对 O_2 和 CO_2 浓度的反应	在 O_2 浓度 1%～100% 范围内，光呼吸随氧浓度提高而增强，高浓度的 CO_2 抑制光呼吸	一般而言，O_2 和 CO_2 浓度对暗呼吸无明显影响。
反应部位、条件	光下绿色细胞	光、暗处，生活细胞

（五）同化物的运输与分配

碳水化合物、氨基酸、蛋白质、脂肪酸和有机酸都是光合作用的直接产物。不同植物的光合直接产物的种类和数量是有差别的。大多数高等植物的光合产物是淀粉，而洋葱、大蒜等植物的光合产物是葡萄糖和果糖，不形成淀粉。小麦、蚕豆等主要是蔗糖。强光和高浓度CO_2有利于蔗糖和淀粉的形成，而弱光则有利于谷氨酸、天冬氨酸和蛋白质的形成。

高等植物的有机物运输不仅包括器官之间的运输，还包括细胞内和细胞间的运输，可分为短距离运输和长距离运输。短距离运输主要是指胞内与胞间运输，距离只有几个微米，主要靠扩散和原生质的吸收与分泌来完成；长距离运输指器官之间的运输，用环割的方法已经证明，有机物质的长距离运输通过韧皮部的筛管。蔗糖是有机物质运输的主要形式。利用蚜虫吻刺法和同位素示踪法测知，蔗糖占筛管汁液干重的73%以上，少数植物除蔗糖以外，韧皮部汁液还含有棉子糖、水苏糖等，它们都是蔗糖的衍生物。另外，筛管汁液中还含有微量的氨基酸、酰胺、植物激素、有机酸、多种矿质元素等。

有机物进入韧皮部以后，可以向上运往正在生长的顶端、幼叶或果实，也可以向下运往根部或地下贮存器官，并且可以同时进行双向运输或横向运输。有机物的运输速度一般约为$100cm \cdot h^{-1}$。

同化物的分配主要有以下几个特点：（1）优先供应生长中心。所谓生长中心是指生长快、代谢旺盛的部位或器官。作物的不同生育期各有明显的生长中心，如水稻、小麦分蘖期的蘖节、根和新叶，抽穗期的穗子，都是当时的生长中心。（2）就近供应，同侧运输。叶片制造的光合产物首先分配给距离近的生长中心，且向同侧分配较多。

（3）功能叶之间无同化物供应关系。一旦叶片长成，合成大量的光合产物，就向外运输，此后不再接受外来同化物。

（六）影响光合作用的因素

1．外部因素对光合作用的影响

（1）光照

植物在暗中叶片无光合作用，只有呼吸作用释放CO_2（图3-1-9）。随着光强的增高，光合速率相应提高，当达到某一光强时，叶片的光合速率与呼吸速率相等，净光合速率为零，这时的光强称为光补偿点。在一定范围内，光合速率随着光强的增加而呈直线增加；但超过一定光强后，光合速率增加转慢；当达到某一光强时，光合速率就不再随光强增加而增加，这种现象称为光饱和现象。光合速率开始达到最大值时的光强称为光饱和点。

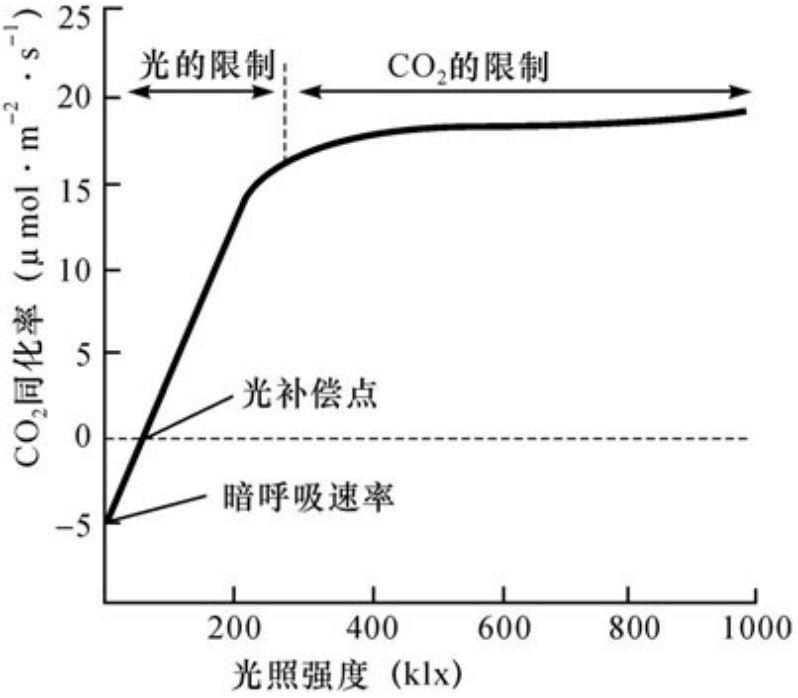


图3-1-9　光强—光合曲线图解

一般来说，光补偿点高的植物其光饱和点往往也高。例如，草本植物的光补偿点与光饱和点通常高于木本植物；阳生植物的光补偿点和光饱和点高于阴生植物；C_4植物的光饱和点高于C_3植物。如图3-1-10所示。

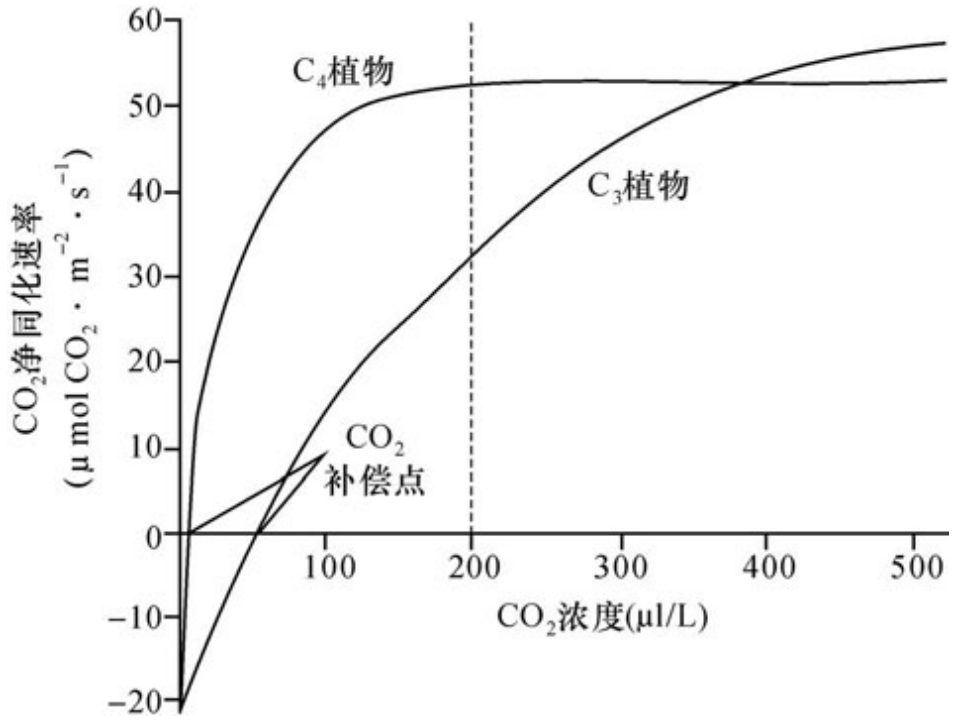


图3-1-10　C_3植物与C_4植物的CO_2光合曲线比较

在太阳辐射中，对光合作用有效的是可见光。在可见光区域，不同波长的光对光合速率的影响不同。光合作用的作用光谱与叶绿体色素的吸收光谱是大致吻合的。水层也可改变光强和光质。水层对红光和橙光的吸收显著多于蓝光和绿光，深水层的光线中短波光相对增多。所以含有叶绿素、吸收红光较多的绿藻分布于海水的表层，而含有藻红蛋白、吸收蓝绿光较多的红藻则分布在海水的深层，这是藻类对光照条件适应的一种表现。

（2）二氧化碳

由CO_2光合曲线（图3-1-11）可以看出，在光下CO_2浓度为零时，叶片只有呼吸放出CO_2。随着CO_2浓度增高光合速率增加，当光合速率与呼吸速率相等时，外界环境中的CO_2浓度即为CO_2补偿点；当CO_2浓度继续提高，光合速率随CO_2浓度的增加变慢；当CO_2浓度达到某一范围时，光合速率达到最大值，此时的CO_2浓度被称为CO_2饱和点。如CO_2浓度继续升高，光合作用不但不会增加，反而要下降，甚至引起植物CO_2中毒而影响植物正常的生长发育。C_4植物的CO_2补偿点和CO_2饱和点均低于C_3植物。

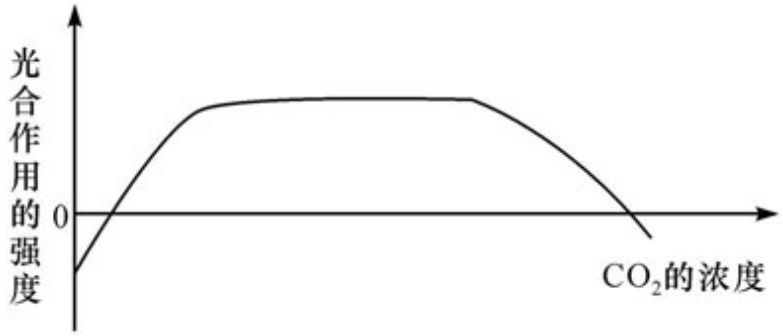


图3-1-11　叶片光合速率对CO_2浓度响应示意图

（3）温度

光合作用也和其他酶促反应一样，都有其最低、最高和最适温度。一般C_3植物在10～35℃下可正常进行光合作用，其中以25～30℃最适宜。C_4植物光合作用的最适温度比较高，一般在40℃左右，如玉米为35～37℃，高粱为40～45℃。高温对光合作用影响是多方面的，既可使酶钝化，也可使叶绿体和细胞结构遭受破坏。昼夜温差对光合净同化率有很大的影响。白天温度较高，日光充足，有利于光合作用进行；夜间温度较低，可降低呼吸消耗。因此，在一定温度范围内，昼夜温差大，有利于光合产物积累。

（4）水分

水分亏缺可使光合速率明显下降。干旱对光合作用的影响是多方面的，如气孔开度减小甚至关闭，影响CO_2进入叶内。缺水时叶内淀粉水解作用加强，光合产物输出缓慢，糖类累积，降低光合速率。严重缺水时，叶片萎蔫，光合膜系统受到伤害，光合作用几乎停止。但是，用于光合作用的水只占蒸腾失水的1%，因此，缺水影响光合作用主要是间接原因。

（5）矿质营养

矿质营养直接或间接影响光合作用。N、P、S、Mg是叶绿体结构中组成叶绿素、蛋白质和片层膜的成分；Cu、Fe是电子传递体的重要成分；磷酸基团在光、暗反应中均具有重要作用，它是构成同化力ATP和NADPH以及光合碳还原循环中许多中间产物的成分；Mn和Cl是光合放氧的必需因子；K和Ca对气孔开闭和同化物运输具有调节作用。

应当指出，影响光合作用的外界因素之间又是相互影响的。例如在弱光下，光合作用降低比呼吸更显著，因此要求有较高的CO_2浓度，才能使光合作用与呼吸作用的CO_2交换量相等，也就是说在弱光下植物CO_2的补偿点增高了。在强光下则恰恰相反，CO_2补偿点降低了。此

外，温度对植物呼吸作用的影响远比对光合作用为大，自然也影响CO_2补偿点。

（6）光合作用的日变化

温暖、晴朗、水分供应充足时，光合速率日变化呈单峰曲线。日出后光合速率逐渐提高，中午前后达到高峰，以后降低，日落后净光合速率出现负值。气温过高，光照强烈，光合速率日变化呈双峰曲线（图3-1-12）。中午前后光合速率下降，呈现光合“午睡”现象。引起光合“午睡”的原因：大气干旱和土壤干旱（引起气孔开度下降）；CO_2浓度降低，光呼吸增强。

2．内部因素对光合作用的影响

叶片的光合速率与叶龄密切相关。幼叶净光合速率低，需要功能叶片输入同化物；叶片全展后，光合速率达最大值；叶片衰老后，光合速率下降。同化物输出与累积对光合速率也有影响。同化产物输出快，促进叶片的光合速率；反之，同化产物的累积则抑制光合速率。

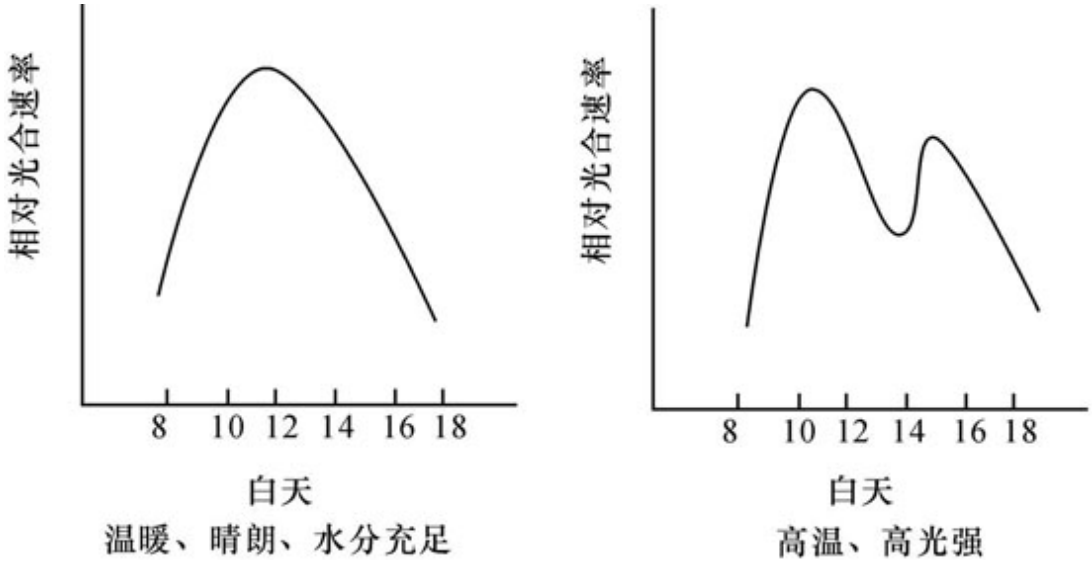


图3-1-12　光合作用的日变化

四、呼吸作用

在高等植物中存在着多条呼吸代谢的生化途径，这是植物在长期进化过程中，对多变环境条件适应的体现。在缺氧条件下进行酒精发酵和乳酸发酵，在有氧条件下进行三羧酸循环和戊糖磷酸途径，还有脂肪酸氧化分解的乙醛酸循环以及乙醇酸氧化等途径（图3-1-13）。

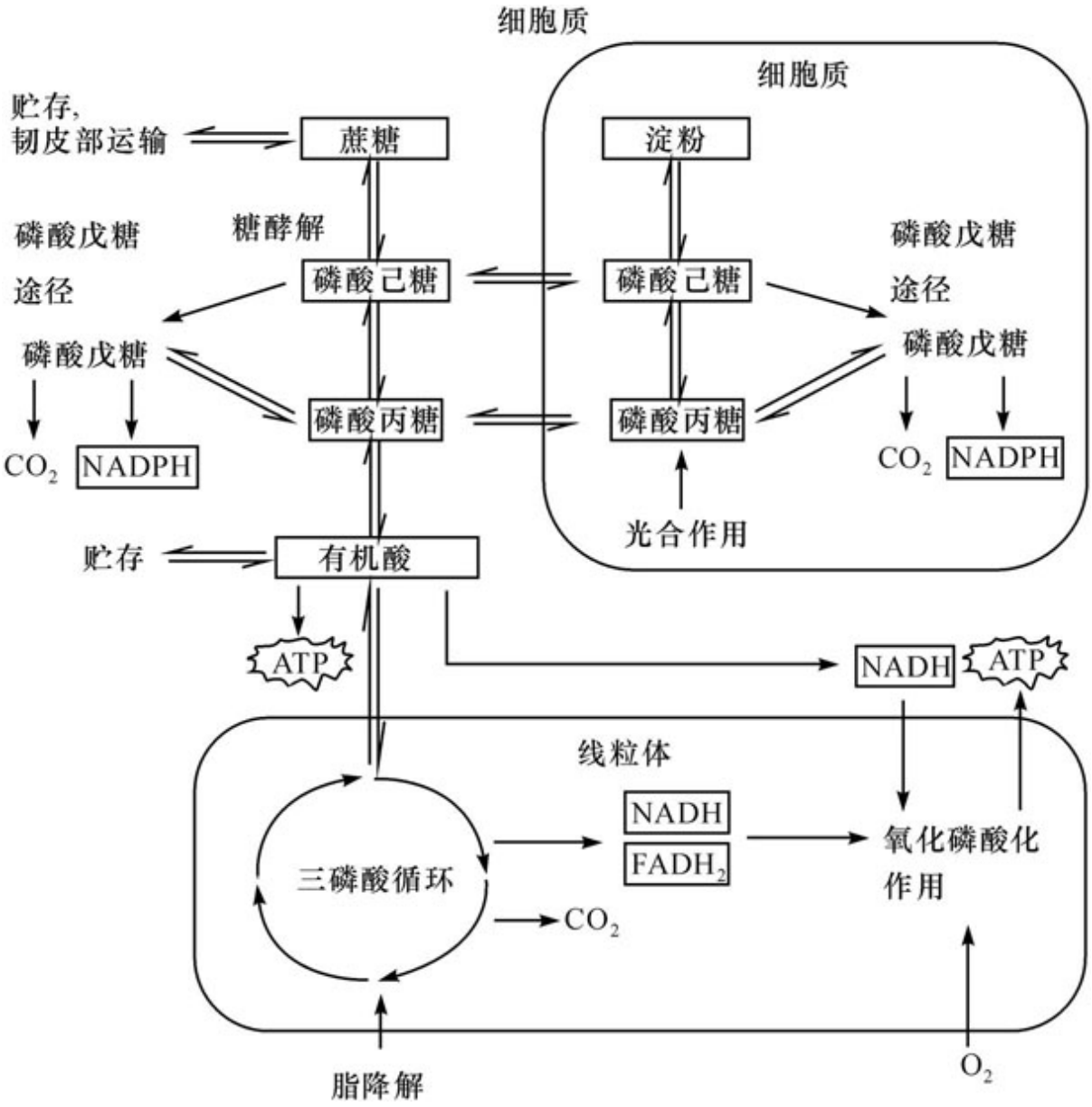


图3-1-13　植物体内主要呼吸代谢途径相互关系示意图

（一）呼吸作用生理指标

判断呼吸作用强度和性质的指标主要有呼吸速率和呼吸商。

1．呼吸速率

呼吸速率是最常用的代表呼吸强弱的生理指标，它可以用单位时间单位重量（干重、鲜重）的植物组织或单位细胞、毫克氮所放出的CO_2的量（Q_{CO_2}）或吸收的O_2的量（Q_{O_2}）来表示。常用单位有：μmol·g^{-1}·h^{-1}，μL·g^{-1}·h^{-1}等。

2．呼吸商

植物组织在一定时间内，放出二氧化碳的量与吸收氧气的量的比值叫做呼吸商（RQ），又称呼吸系数。

通常，碳水化合物是主要的呼吸底物，脂肪、蛋白质以及有机酸等也可作为呼吸底物。底物种类不同，呼吸商也不同。如以葡萄糖作为呼吸底物，且完全氧化时，呼吸商是1。以富含氢的物质如脂肪、蛋白质或其他高度还原的化合物（H/O比大）为呼吸底物，则在氧化过程中脱下的氢相对较多，形成H_2O时消耗的O_2多，呼吸商就小，如以棕榈酸作为呼吸底物，并彻底氧化时，其呼吸商小于1。相反，以含氧比碳水化合物多的有机酸作为呼吸底物时，呼吸商则大于1，如柠檬酸的呼吸商为1.33。可见呼吸商的大小和呼吸底物的性质关系密切，故可根据呼吸商的大小大致推测呼吸作用的底物及其性质的改变。

当然，氧气供应状况对呼吸商影响也很大，在无氧条件下发生酒精发酵，只有CO_2释放，无O_2的吸收，则$RQ\rightarrow\infty$。植物体内发生合成作用，呼吸底物不能完全被氧化，其结果使RQ增大，如有羧化作用发生，则RQ减小。

（二）内部因素对呼吸速率的影响

不同的植物种类、代谢类型、生育特性、生理状况，呼吸速率各有所不同。一般而言，生长快的植物呼吸速率高，生长慢的植物呼吸速率低。例如细菌和真菌繁殖较快，其呼吸速率高于高等植物。在高等植物中小麦、蚕豆比仙人掌高得多，通常喜温植物（玉米、柑橘等）高于耐寒植物（小麦、苹果等），草本植物高于木本植物。

同一植物的不同器官或组织，呼吸速率也有明显的差异。例如，生殖器官的呼吸较营养器官强；同一花内又以雌蕊最高，雄蕊次之，花萼最低；生长旺盛的、幼嫩的器官的呼吸较生长缓慢的、年老器官的呼吸为强；茎顶端的呼吸比基部强；种子内胚的呼吸比胚乳强。

一年生植物开始萌发时，呼吸迅速增强，随着植株生长变慢，呼吸逐渐平稳，并有所下降，开花时又有所提高。多年生植物的呼吸速率表现出季节周期性变化。温带植物的呼吸速率以春季发芽和开花时最高，冬天降到最低点。

（三）外界条件对呼吸速率的影响

1．温度

温度对呼吸作用的影响主要在于温度对呼吸酶活性的影响。在一定范围内，呼吸速率随温度的增高而增高，达到最高值后，继续增高温度，呼吸速率反而下降。呼吸作用有温度三基点，即最低、最适、最高点。所谓最适温度是保持稳态的最高呼吸速率的温度，一般温带植物呼吸速率的最适温度为25～30℃。呼吸作用的最适温度比光合作

用的最适温度高，因此，当温度过高和光线不足时，呼吸作用强，光合作用弱，就会影响植物生长。最低温度则因植物种类不同而有很大差异，一般植物在接近0°C时，呼吸作用进行得很微弱。呼吸作用的最高温度一般在35～45°C之间，最高温度在短时间内可使呼吸速率较最适温度的高，但时间稍长后，呼吸速率就会急剧下降，这是因为高温加速了酶的钝化或失活。

2．氧气

氧是进行有氧呼吸的必要条件，当氧浓度下降到20%以下时，植物呼吸速率便开始下降；氧浓度低于10%时，无氧呼吸出现并逐步增强，有氧呼吸迅速下降。在缺氧条件下提高O_2浓度时，无氧呼吸会随之减弱，直至消失。一般把无氧呼吸停止进行的最低氧含量（10%左右）称为无氧呼吸的消失点（图3-1-14）。

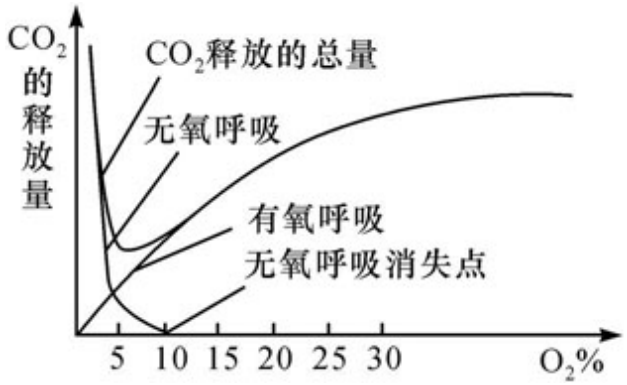


图3-1-14　氧分压和温度对呼吸速率的影响

在氧浓度较低的情况下，呼吸速率（有氧呼吸）随氧浓度的增大而增强，但氧浓度增至一定程度时，对呼吸作用就没有促进作用了，这一氧浓度称为氧饱和点。氧饱和点与温度密切相关，例如洋葱根尖的呼吸作用，在15°C和20°C下，氧饱和点为20%，在30°C和35°C下，氧饱和点则为40%左右。

过高的氧浓度（70%～100%）对植物有毒，这可能与活性氧代谢形成自由基有关。相反，过低的氧浓度会由于无氧呼吸增强，过多消耗体内养料，甚至产生酒精中毒，原生质蛋白变性而导致植物受伤死亡。

3．二氧化碳

二氧化碳是呼吸作用的最终产物，实验证明，二氧化碳浓度高于5%时，有明显抑制呼吸作用的效应，这可在果蔬、种子贮藏中加以利用。土壤中由于植物根系的呼吸作用特别是土壤微生物的呼吸作用会

产生大量的二氧化碳，如土壤板结，深层通气不良，如不及时进行中耕松土，就会使植物根系呼吸作用受阻。

4．水分

植物组织的含水量与呼吸作用有密切的关系。在一定范围内，呼吸速率随组织含水量的增加而升高。干燥种子的呼吸作用很微弱，当种子吸水后，呼吸速率迅速增加。因此，种子含水量是制约种子呼吸作用强弱的重要因素。对于整体植物来说，接近萎蔫时，呼吸速率有所增加，如萎蔫时间较长，细胞含水量则成为呼吸作用的限制因素。影响呼吸作用的外界因素除了温度、氧气、二氧化碳、水分之外，呼吸底物的含量（如可溶性糖）、机械损伤、一些矿质元素（如磷、铁、铜等）对呼吸也有显著影响。此外病原菌感染可使寄主的线粒体增多，多酚氧化酶活性提高，抗氰呼吸和PPP途径增强。

【例题解析】

例1　下列哪些说法不正确（　　）（多选题）

A．一个细胞的溶质势与所处外界溶液的溶质势相等，则细胞体积不变

B．若细胞的$\psi_W=\psi_S$，将其放入纯水中，则体积不变

C．萎蔫的青菜放进清水中会发生渗透作用

D．在同一枝条上，上部叶片的水势要比下部叶片的水势低

解析　除了处于初始质壁分离状态的细胞（$\psi_p=0$）之外，当细胞的溶质势与所处外界溶液的溶质势相等时，由于细胞ψ_p的存在，细胞水势会高于外液水势而发生失水，体积就会变小，所以A选项不正确。当细胞的$\psi_W=\psi_S$时，该细胞$\psi_p=0$，将其放入纯水（$\psi_W=0$），ψ_S为一负值，即其ψ_W低于0，故细胞吸水，体积会变大，所以B也不正确。萎蔫的青菜放进清水中当然会发生渗透作用。植物体内组织和器官之间水分从水势高的一端流向水势低的一端，叶子的水势随着距离地面高度的增加而降低，在同一叶子距离主脉越远水势越低。

答案　AB

例2　钾在气孔开闭中起着重要作用，其作用是（　　）

A．改变保卫细胞的原生质膜对水的透性

B．改变保卫细胞的渗透势

C．调节植物激素脱落酸的合成，脱落酸是保卫细胞中糖转变为淀粉所必需的

D．调节保卫细胞中淀粉和有机酸的产生和分解

解析　影响气孔开闭的内部因素有很多，如脱落酸的增减，糖与淀粉间的相互转变等。K^+积累学说认为：在光照下，保卫细胞光合磷酸化产生的ATP活化了质膜上的H^+-ATP酶，分解ATP，并将H^+分泌到细胞壁，同时将外面的K^+通过膜上的内流钾通道吸收到细胞中来，Cl^-也伴随着K^+进入，Cl^-与苹果酸负离子平衡K^+的电性。保卫细胞中积累较多的K^+、Cl^-和苹果酸，水势降低而吸水，气孔就张开，反之，则气孔关闭。所以钾离子的作用主要是影响保卫细胞的渗透势。

答案　B

例3　光合作用中CO_2固定和同化一定需要（　　）（多选题）

A．Rubisco

B．NADPH

C．ATP

D．放出氧气

解析　光合作用中CO_2的固定是CO_2与核酮糖二磷酸在Rubisco，即核酮糖1，5—二磷酸羧化酶的催化下，产生2分子3—磷酸甘油酸。3—磷酸甘油酸再与ATP在酶的催化下生成1，3—二磷酸甘油酸，1，3—二磷酸甘油酸在NADPH存在下，在酶的催化下产生3—磷酸甘油酸醛。所以光合作用中CO_2固定和同化一定需要Rubisco、NADPH、ATP。氧气的释放是在光合作用光反应中，水光解产生的。

答案　ABC

例4　以下哪个关于C_4植物的描述是正确的（　　）

A．均为单子叶植物

B．叶片只进行C_4光合作用途径

C．光呼吸中放出的CO_2能被高效利用

D．氧气对其CO_2固定影响较小

解析　C_4植物有单子叶，也有双子叶。双子叶中有C_4植物的目为唇形目、玄参目、蓼目、石竹目、蔷薇亚纲等。C_4植物叶肉细胞进行光合C_4循环途径，维管束鞘细胞进行光合C_3循环途径。C_4植物光呼吸低，虽然植物经光呼吸释放的CO_2可再利用，但没有高效利用的生理机制。由于C_4植物维管束鞘细胞的CO_2是由C_4途径的四碳化合物脱羧提供的，避免了氧气对C_3途径中核酮糖二磷酸羧化酶合氧途径的作用，所以说氧气对CO_2固定影响较小。

答案　D

例5　下述有关叶片营养的讨论，哪一项是不正确的（　　）

A．喷施的营养液并不只是通过气孔而进入叶内

B．幼嫩叶吸收营养元素比成长叶反而迅速而且量大

C．只有在作物生长后期才能进行根外施肥

D．根外施肥不一定都在傍晚或下午4点以后

解析　除根系之外，植物地上部分也能吸收矿质元素，叫根外营养。由于植物地上部分叶片是吸收矿质元素的主要器官，因此又叫叶片营养。根外营养具有可以克服某些矿质元素易于被土壤固定而植物难以利用的弊病。叶片一般只能吸收溶解在溶液的营养物。溶液不仅通过气孔进入叶片，也可通过叶面的角质层进入叶片内部，这是由于角质层有裂缝，呈微细的孔道，可让溶液通过。到达表皮细胞的质膜，再被转运到细胞内。嫩叶吸收营养物比老叶迅速，而且量大。由于叶片只吸收液体，固体物质不能透入叶片，所以溶液在叶面上的时间越长，吸收矿物质的数量越多，为减少蒸发，根外施肥的时间以傍晚或下午4点后较为理想，阴天则例外，应选在凉爽、无风、大气湿度高的时间进行。根外施肥用量省、肥效快，在植物迅速生长期或作物生育后期根系生理活动衰退时，都可采用根外施肥，这也是补充微量元素的一种好方法。

答案　C

例6　下列元素中哪一种是合成叶绿素所必需但又不是叶绿素的组分（　　）

A．碳

B．镁

C．氮

D．铁

E．氧

解析　碳、镁、氮、氧均为组成叶绿素的元素，只有铁不是叶绿素所含有的元素，但为其合成所必需。铁的作用可能是参与了叶绿素合成的某种酶系统。

答案　D

【针对训练】

（一）单选题

1．风和日丽的情况下，植物叶片在早晨、中午和傍晚的水势变化趋势为（　　）

A．低—高—低

B．高—低—高
C．低—低—高
D．高—高—低
2．植物水分亏缺时（　　）
A．叶片含水量降低，水势降低，气孔阻力增高
B．叶片含水量降低，水势升高
C．叶片含水量降低，水势升高，气孔阻力增高
D．气孔阻力不变
3．有一个充分水饱和的细胞，将其放入比其细胞液浓度低10倍的溶液，则细胞体积（　　）
A．变大
B．变小
C．不变
D．可能变大，也可能不变
4．生长在岩石上的一片干地衣和生长在地里的一株萎蔫的棉花，一场阵雨后，两者的吸水方式是为（　　）
A．都是吸胀作用
B．分别是吸胀作用和渗透作用
C．都是渗透作用
D．分别是渗透作用和吸胀作用
5．下列有关植物细胞质壁分离的论述中，哪一项是不正确的（　　）
A．初始质壁分离时，细胞的压力势等于零
B．在质壁分离现象中，与细胞壁分离的“质”并不是原生质
C．蚕豆根的分生细胞放在20%的蔗糖溶液中，能够发生质壁分离
D．将洋葱表皮细胞放入一定浓度的硝酸钾溶液中，其细胞发生质壁分离后又发生质壁分离复原，其原因是钾离子和硝酸根离子都进入了细胞
6．大树中水分向上运输时，下列哪一项因素最重要（　　）
A．韧皮部中的毛细管作用
B．木质部的主动运输
C．叶的蒸腾作用
D．吐水
7．下列哪些现象说明有根压的存在（　　）
A．饱和效应
B．吐水

C．竞争性抑制
D．落叶
8．根压的大小（　　）
A．当大气湿度高而蒸腾作用弱时减小
B．取决于木质部导管与土壤的水势差
C．与土壤水分经扩散作用进入木质部导管有关
D．通常为2MPa左右
9．早春，当落叶树开始新一年的生长时，木质部中水分上升的主要动力是（　　）
A．大气与木质部的水势差
B．蒸腾拉力
C．根压
D．土壤与根木质部的水势差
10．叶片中上升液流中水分子的运输途径是（　　）
A．气孔→叶肉细胞→木质部
B．木质部→叶肉细胞→气孔
C．韧皮部→木质部→叶肉细胞
D．韧皮部→叶肉细胞→气孔
11．在保卫细胞内，下列哪一组因素的变化是符合常态变化并能促使气孔开放（　　）
A．CO_2含量上升，pH值升高，K^+含量下降和水势下降
B．CO_2含量下降，pH值下降，K^+含量上升和水势下降
C．CO_2含量上升，pH值下降，K^+含量下降和水势提高
D．CO_2含量下降，pH值升高，K^+含量上升和水势下降
12．植物刚发生永久萎蔫时，下列哪种方法有可能克服永久萎蔫（　　）
A．灌水
B．增加光照
C．施肥
D．提高大气湿度
13．蒸腾作用的快慢，主要决定于（　　）
A．叶面积的大小
B．叶内外蒸汽压差的大小
C．蒸腾系数的大小
D．气孔的大小

14．植物中水分的长距离运输是通过（　　）

A．筛管和伴胞

B．导管和管胞

C．转移细胞

D．胞间连丝

15．某植物在蒸腾耗水2kg，形成干物质5g，其需水量是（　　）

A．2.5

B．0.4

C．400

D．0.0025

16．蒸腾系数反映植物在光合作用吸收CO_2的同时，水分的散失速率。下列4种作物中，蒸腾系数最大的是（　　）

A．大豆

B．玉米

C．甘蔗

D．高粱

17．下列哪一种是研究无机营养元素必需性的精确而又便捷的方法（　　）

A．土培

B．水培

C．蛭石培

D．砂培

18．缺硫时会产生缺绿症，表现为（　　）

A．叶脉缺绿不坏死

B．叶脉间缺绿以至坏死

C．叶肉缺绿

D．叶脉保持绿色

19．油菜心叶卷曲，下部叶片出现紫红色斑块，渐变为黄褐色而枯萎。生长点死亡，花蕾易脱落，主花序萎缩，开花期延长，花而不实，是缺少（　　）

A．钙

B．硼

C．钾

D．锌

20．生物固氮中的固氮酶是由下列哪两个亚基组成的（　　）

A．Mo-Fe蛋白，Fe蛋白
B．Fe-S蛋白，Fd
C．M-Fe蛋白，Cytc
D．Cytc，Fd
21．下列哪项能促进糖类运输，增加籽粒或其他贮藏器官的淀粉含量（　　）
A．N肥
B．P肥
C．K肥
D．B肥
22．植物吸水与吸收矿质元素之间的关系是（　　）
A．有关，但不完全依赖
B．矿质元素吸收少则吸水多
C．两者无关
D．矿质元素吸收多则吸水多
23．在根系吸收无机离子的过程中，以下哪个因素起着决定性的作用（　　）
A．根尖表皮细胞内外无机离子的浓度差
B．根尖表皮细胞内外的化学电势差
C．根系的呼吸速率
D．植物的蒸腾速率
24．耕地施用有机肥后，土壤要进行适当的疏松，才有利于提高土壤中可被植物吸收的N素的含量。原因是（　　）
A．加强植物根的有氧呼吸
B．加强有机肥的化学分解
C．加强微生物的硝化作用
D．增加有机氮的溶解量
25．以下哪种盐与磷矿粉一同使用有利于磷肥的吸收（　　）
A．$(NH_4)_2SO_4$
B．$CaCl_2$
C．$NaNO_3$
D．NH_4NO_3
26．为不使土壤板结，可施用的氮肥有（　　）
A．尿素NH_4NO_3
B．$(NH_4)_2SO_4$

C．$NaNO_3$

D．NH_4Cl

27．植物溶液培养中的离子拮抗是指（　　）

A．化学性质相似的离子在进入根细胞时存在竞争

B．电化学性质相似的离子在与质膜上载体的结合存在竞争

C．在单一盐溶液中加入另外一种离子可消除单盐毒害的现象

D．根系吸收营养元素的速率不再随元素浓度增加而增加的现象

28．植物根部吸收的无机离子主要是通过何种途径向植物地上部分运输的（　　）

A．韧皮部

B．共质体

C．木质部

D．质外体

29．某一温室植物由于生长条件不当导致生长出现“头重脚轻”的现象——地上部分生长过旺，以下哪些处理方式可缓解这种现象（　　）

A．适当减少水分的供给

B．适当多施N肥，少施磷钾肥

C．提高所处环境的光照强度

D．适当提高所处环境的温度

30．蓝藻与光合作用有关的色素有（　　）

A．叶绿素a，叶绿素c，藻胆素

B．叶绿素a，叶绿素d，藻胆素

C．叶绿素b，叶绿素c，藻胆素

D．叶绿素a，类胡萝卜素，藻胆素

31．所有进行光合放氧的生物都具有哪种色素（　　）

A．叶绿素a，叶绿素b

B．叶绿素a，叶绿素c

C．叶绿素a，类胡萝卜素

D．叶绿素a，藻胆素

32．以下哪些参与光合磷酸化（　　）

A．P680，P700，P450

B．P680，P700，去镁叶绿素

C．P680，P700，叶绿素b

D．细胞色素c，细胞色素b，NADH

33．以下有关光合色素性质的论述中，哪一项是正确的（　　）

A．完整叶绿体提取液的荧光比叶绿体色素提取液的荧光强

B．只有少数叶绿素b具有光能转换的功能

C．溶解度法分离叶绿素和类胡萝卜素的机理是类胡萝卜素发生皂化反应后转移至上层

D．醋酸—醋酸铜溶液使植物叶片保绿的原因是它可促使叶绿素转变为稳定的亮绿色的去镁叶绿素

34．以下对于阴生植物和阳生植物的讨论，哪一项是不正确的（　　）

A．阴生植物叶片的输导组织比阳生植物稀疏，所以当光照强度很大时，它的光合速率便不再增加

B．阴生植物的叶绿体中基粒较大，基粒片层多，所以阴生植物在较低的光强度下能充分地吸收光能

C．阴生植物的叶绿素b和叶绿素a的比值小，所以阴生植物能强烈地利用蓝光，适应于遮荫处生长

D．阴生植物的叶绿素含量较高，所以阴生植物在较低的光强度下能充分地吸收光能

35．将叶绿素提取液放到直射光下，则可观察到（　　）

A．反射光为绿色，透射光是红色

B．反射光是红色，透射光是绿色

C．反射光和透射光都是红色

D．反射光和透射光都是绿色

36．在森林覆盖下不同于裸露地面和光。在森林覆盖下有怎样的关系比（　　）

A．蓝光与绿光比值高

B．红光与远红光的比值高

C．红光与绿光的比值高

D．远红光与红光的比值高

37．C_4植物的光合作用速率高于C_3植物，C_4植物特有的C_4途径对光合作用的意义是（　　）

A．增加了有机物的合成途径，共有2个产生有机物的途径

B．只有1个有机物合成途径，就是C_4途径，其效率比C_3途径高得多

C．快速的C_3化合物和C_5化合物合成途径，为C_3途径提供原料

D．高效率的CO_2固定途径

38．光合产物是以何种形式从叶绿体转移到细胞质中去的（　　）

A．核酮糖

B．葡萄糖

C．蔗糖

D．磷酸丙糖

39．光合作用过程中在叶绿体类囊体腔中完成的反应步骤有（　　）

A．三碳化合物的形成

B．水的光解和氧的释放

C．NADP的还原

D．ATP的生成

40．下列反应均为光合作用过程的一部分：

①将H从NADPH_2传递给一种有机物质；②使CO_2与一种有机物质结合；③将H从H_2O传递给NADP

这些反应中哪些是属于光合作用的暗反应的（　　）

A．只有①

B．只有②

C．只有③

D．①和②

41．在较强光照强度下，降低CO_2浓度，下列作物中的哪两种光合速率下降得更快（　　）

①棉花　②玉米　③高粱　④小麦

A．①和③

B．①和④

C．②和③

D．②和④

42．图3-1-15为一测定叶片光合作用强度装置的示意图，其中叶室为透明玻璃材料制成。装置运行后，仪器气路管道中的气体流速满足正常测定的需求。在适宜光合反应的中午测定某一叶片的光合作用时，叶室内的CO_2，变化值为P，测定呼吸作用时的CO_2变化值为Q，则该叶片实际光合作用吸收CO_2的值（W）应表示为（　　）

A．W＝P＋Q

B．W＝Q－P

C．W＝P

D．W＝P－Q

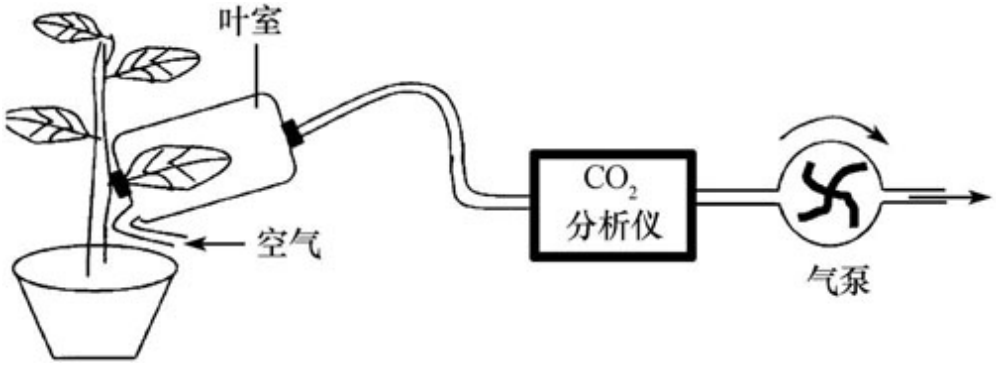


图3-1-15

43．卡尔文用同位素标记法追踪碳素在光合作用过程中的运行：在供给小球藻$^{14}CO_2$后的60s内，相隔不同时间取样，杀死细胞并以层析法分析细胞代谢产物。发现7s后的代谢产物中有多达12种产物含有放射性，而5s内的代谢产物大多集中在一种物质上，该物质是（　　）

A．1，5—二磷酸核酮糖

B．3—磷酸甘油酸

C．NADP

D．葡萄糖

44．在植物不同的发育阶段中，个体上不同部位的生长情况不同。在一定的时期，那些代谢旺盛、生长势较强的部位被称为该时期的生长中心。当水稻在养料供应不足时（　　）

A．养分将平均分配而影响新形成中心的生长

B．新形成的生长中心将夺取前一生长中心的养料，抑制后者的生长

C．养分则继续供应原有中心的生长而抑制新形成中心的生长

D．养分则暂时在根部累积，待足够供应时运至中心供其生长

45．在筛管中，下面哪种成分的含量最高（　　）

A．氨基酸

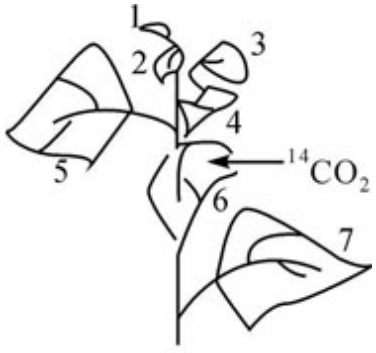
B．磷酸

C．有机酸

D．糖类

46．在光照条件下用$^{14}CO_2$饲喂植株上一片成熟的叶4h，生长数天后放射性分布及其强度以“+”的数目表示，如右图所示。以下的分析中不正确的是（　　）

A．幼叶伸展时需要的营养物最多
B．幼叶越接近成熟，同化物输入越少
C．成熟叶同化物往生长部位运输
D．成熟叶同化物运输遵循就近原则



1++；2+++；3+；4+；5-；7-

47．维持植物正常生长所需的最低日光强度（　　）
A．等于光补偿点
B．大于光补偿点
C．小于光补偿点
D．与日光强度无关

48．在其他条件适宜而温度偏低的情况下，如果提高温度，光合作用的CO_2补偿点、光补偿点和光饱和点（　　）
A．均上升
B．均下降
C．不变化
D．变化无规律

49．植物呼吸速率最高的器官是（　　）
A．叶片
B．根
C．茎
D．花

50．根瘤菌进行呼吸过程的主要场所是（　　）
A．细胞质基质
B．核区
C．线粒体
D．细胞膜

51．在植物体内，糖与油脂可以发生互相转变，油脂转化为糖时，呼吸商（　　）

A．变小

B．变大

C．不变

52．洪涝灾害发生时，农作物根系往往因下列哪种原因而受损、发黑甚至坏死，进而导致整株植物的死亡（　　）

A．病原菌感染

B．饥饿

C．过度吸水

D．无氧呼吸及发酵

53．水淹导致植物死亡的原因是（　　）

A．土壤水势过高

B．植物的根缺氧

C．呼吸产生的CO_2的毒害作用

D．土壤中的物质溶于水中达到毒害作用的浓度

54．影响贮藏种子呼吸作用的最明显因素是（　　）

A．温度

B．水分

C．O_2

D．CO_2

55．与油料种子相比，淀粉种子萌发时消耗的氧气（　　）

A．更多些

B．较少

C．差异不大

D．差异无规律

56．西藏高原的白菜与萝卜比生长在我国其他地区的要大的原因（　　）

A．夜温差大

B．阳光辐射强烈

C．白天温度高

D．降水多

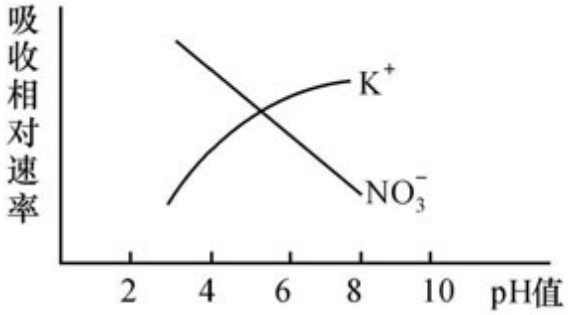
（二）多选题

57．生命离不开水的环境，是因为（　　）

A．水分子高的内聚作用

B．水分子的极性特点
C．其固体比重小于液体比重的特点
D．水分子的高比热值
58．已知洋葱表皮细胞中ψ_w＝-10巴，置于哪些溶液中不会出现质壁分离现象（　　）
A．-10巴NaCl溶液
B．-9巴甘油溶液
C．-8巴葡萄糖溶液
D．-15巴蔗糖溶液
59．下列关于植物蒸散作用的叙述，何者正确（　　）
A．蒸散作用有助于植物散热
B．蒸散作用有助于植物根部吸收水分
C．蒸散作用可调节植物木质部的运输效率
D．多数植物叶片气孔分布在下表皮，可防止水分过度蒸发
E．多数植物的气孔在夜晚关闭，则蒸发作用停止
60．生长旺盛的植物，其叶片有时会出现“吐水”现象。这种现象说明（　　）
A．植株渗透压高
B．叶片细胞膨压高
C．叶片气孔大量关闭
D．根吸水能力很强
61．土壤温度过高对根系吸水不利，因为高温会（　　）
A．加强根的老化
B．使酶钝化
C．使生长素减少
D．原生质黏度增加
62．小麦的水分临界期是（　　）
A．分蘖期
B．孕穗期
C．灌浆期
D．乳熟期
63．下列哪些元素缺乏时，缺素症状首先表现在老叶（　　）
A．Mn
B．K
C．P
D．Ca

64．下列哪些元素经常作为酶的组分起作用（　　）
A．P
B．K
C．Mg
D．Mn
65．土壤pH值对K^+和NO_3^-的吸收速率产生的影响如右图所示。据图分析，以下正确的是（　　）
A．土壤酸性时，蛋白质带正电荷，所以阴离子较易被吸收
B．土壤碱性时，导致所有阳离子形成难溶化合物，所以吸收受阻
C．偏酸的环境中，某些离子溶解性增加而有利于吸收
D．偏酸土壤容易缺乏某些溶解度变大的必需矿质元素



66．光在光合作用中的重要主要表现为（　　）
A．光是光合作用的能量来源
B．光能调控气孔的开放
C．光是叶绿素形成的必要条件
D．光影响着Rubisco的活性
67．下列哪种反应与光有直接关系（　　）
A．原初反应
B．Hill反应
C．电子传递与光合磷酸化
D．Emerson效应
68．下面关于卡尔文循环哪些说法是正确的（　　）
A．是在暗中进行的
B．产生磷酸甘油醛
C．需要ATP
D．释放CO_2
69．C_4植物同C_3植物相比（　　）

A．C_4植物能在弱光下生长更好

B．C_4植物能在低CO_2浓度下生长更好

C．C_4植物利用高光合速率补偿高光呼吸带来的损失

D．C_4植物光合速率受高温抑制相对较小

70．C_4植物怎样比C_3植物更有效率（　　）

A．在最适条件下C_4光合作用可用更少的光量子来固定1g分子CO_2

B．C_4光合作用比C_3光合作用可在更低的CO_2浓度下进行

C．C_4光合作用植物在用水上更经济

D．C_4光合作用植物需要更少种类的矿质元素

71．哪些特征使得景天科植物适应在炎热荒漠环境生长（　　）

A．维管束的排列方式特异

B．具有C_4代谢途径

C．白天气体交换少

D．储存酸性物质可以抗虫

72．下面叙述哪些是正确的（　　）

A．Rubisco是双功能酶，在CO_2/O_2比值相对较高时，主要发生羧化反应

B．光合作用中电子传递发生在类囊体膜上

C．玉米的PEPC固定CO_2在叶肉细胞的细胞质中

D．如果光照不足，而温度偏高，这时叶片的CO_2补偿点降低

73．下列对叶绿素分子功能的叙述，正确的是（　　）

A．吸收光能

B．传递光能

C．储藏光能

D．转化光能

74．关于环割的作用，正确的说法是（　　）

A．此处理主要阻断了叶片形成的光合同化物在韧皮部的向下运输

B．此处导致环割上端韧皮部组织中光合同化物积累引起膨大

C．如果环割不宽，切口能重新愈合

D．如果环割太宽，环割上端的韧皮部组织因得不到光合同化物而死亡

75．根据光合作用的原理，下列提高农作物产量的措施中，哪些与该原理有关（　　）

A．适时播种、套种
B．施用有机肥料
C．合理密植、间作
D．适时松土
76．植物进行乙醇酸循环的主要细胞器是（　　）
A．叶绿体
B．线粒体
C．内质网
D．过氧化物体
77．水稻对于土壤通气不良具有较强的忍耐力，这个特性与以下哪些特点有关（　　）
A．水稻无氧呼吸不会产生酒精，不易烂根
B．水稻幼苗在缺氧情况下，细胞色素氧化酶仍保持一定的活性
C．水稻根部具有较强的乙醇酸氧化能力，该途径放出的氧可供根系呼吸用
D．水稻根部具有较发达的细胞间隙和气道，并与茎叶的气道相通
78．水果贮藏保鲜时，降低呼吸的环境条件是（　　）
A．低O_2
B．高CO_2
C．零上低温
D．零下低温
E．无O_2
F．无CO_2
79．热带雨林中的森林大火产生烟雾对邻近地区的植物有何影响（　　）
A．降低光合速率
B．增加呼吸速率
C．降低植物生长
D．增加蒸腾速率

【参考答案】

（一）单选题

1．B　2．A　3．B　4．B　5．C　6．C　7．B　8．B　9．C　10．B　11．D　12．A　13．B　14．B　15．C　16．A　17．B　18．A　19．B　20．A　21．C　22．A　23．C　24．C　25．A

26．A　27．C　28．C　29．A　30．D　31．C　32．B　33．A
34．C　35．B　36．D　37．D　38．D　39．B　40．D　41．B
42．A　43．B　44．B　45．D　46．A　47．B　48．A　49．D
50．D　51．A　52．D　53．B　54．B　55．B　56．A

（二）多选题

57．ABCD　58．ABC　59．ABCD　60．ABD　61．AB　62．BC　63．BC　64．BCD　65．ACD　66．ABCD　67．ABD　68．BC　69．BD　70．BC　71．BC　72．ABC　73．ABD　74．ABC　75．AC　76．ABD　77．BCD　78．ABC　79．AC

第2讲　植物的生长物质及生长生理

（杭州学军中学　胡晓华）

【知识梳理】

一、植物的生长物质

（一）生长素

生长素是最早被发现的植物激素，植物体内各种器官中都有生长素的分布，较集中在生长旺盛的部位，衰老的组织或器官中生长素的含量很少。寄生和共生的微生物也可产生生长素，并影响寄主的生长。如豆科植物根瘤的形成就与根瘤菌产生的生长素有关，其他一些植物肿瘤的形成也与能产生生长素的病原菌的入侵有关。

1．生长素的运输：生长素在植物体内的运输具有极性，即生长素只能从植物的形态学上端向下端运输，而不能向相反的方向运输（图3-2-1）。人工合成的生长素类的化学物质，在植物体内也表现出极性运输，且活性越强，极性运输也越强。其他植物激素则无此特点。生长素的极性运输是可以逆浓度梯度的需能的主动过程，因此，缺氧会严重地阻碍生长素的运输。

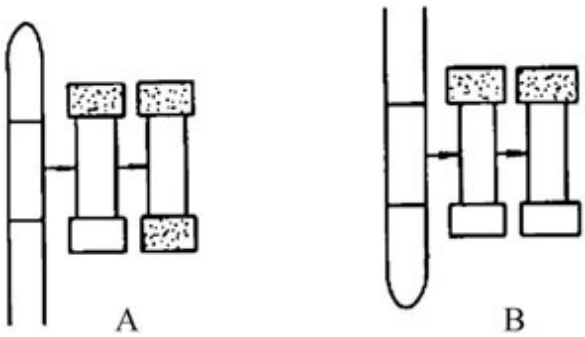


图3-2-1　IAA的极性运输

A．胚芽鞘形态学上端向上；B．胚芽鞘形态学下端向上

在植物体中也存在被动的、无极性的生长素运输现象，成熟叶子合成的IAA可能就是通过韧皮部进行非极性的被动运输。

2．生长素的生物合成：通常认为生长素是由色氨酸转变来的。锌是色氨酸合成酶的组分，缺锌时，导致由吲哚和丝氨酸结合而形成色氨酸的过程受阻，使色氨酸含量下降，从而影响IAA的合成。

3．生长素的生理效应

（1）促进生长：主要是促进了细胞的伸长。生长素对生长的作用有三个特点：①双重作用 生长素在较低浓度下可促进生长，当浓度高到一定值后则抑制生长，这是由于高浓度的生长素诱导了乙烯的产生。②不同器官对生长素的敏感性不同。根对生长素的最适浓度大约为$10^{-10}mol\cdot L^{-1}$，茎的最适浓度为$2\times10^{-5}mol\cdot L^{-1}$，而芽则处于根与茎之间，最适浓度约为$10^{-8}mol\cdot L^{-1}$。不同年龄的细胞对生长素的反应也不同，幼嫩细胞对生长素反应灵敏，而老的细胞敏感性则下降。高度木质化和其他分化程度很高的细胞对生长素都不敏感，黄化茎组织比绿色茎组织对生长素更为敏感。③对离体器官和整株植物效应有别。生长素对离体器官的生长具有明显的促进作用，而对整株植物往往效果不太明显。

（2）促进插条不定根的形成：这主要是刺激了插条基部切口处细胞的分裂与分化，诱导了根原基的形成。

（3）对养分的调运作用：生长素具有很强的吸引与调运养分的效应，因此用IAA处理，可促使子房及其周围组织膨大而获得无籽果实。

（4）生长素的其他效应：促进菠萝开花、引起顶端优势、诱导雌花分化（但效果不如乙烯）、促进形成层细胞向木质部细胞分化、促进光合产物的运输、叶片的扩大和气孔的开放等。此外，生长素还可抑制花朵脱落、叶片老化和块根形成等。

4．生长素的作用机理

酸生长理论：生长素活化原生质膜上的质子泵（H^+-ATP酶），质子泵消耗能量将细胞内的H^+泵到细胞壁中，导致细胞壁基质溶液的pH下降。在酸性条件下，细胞壁松弛，细胞的压力势下降，导致细胞的水势下降，细胞吸水，体积增大而发生不可逆增长。

基因活化学说：当IAA与质膜上的激素受体蛋白结合后，激活细胞内的第二信使，并将信息转导至细胞核内，使处于抑制状态的基因解阻遏，基因开始转录和翻译，合成新的mRNA和蛋白质，为细胞质和细胞壁的合成提供原料，并由此产生一系列的生理生化反应（图3-2-2）。

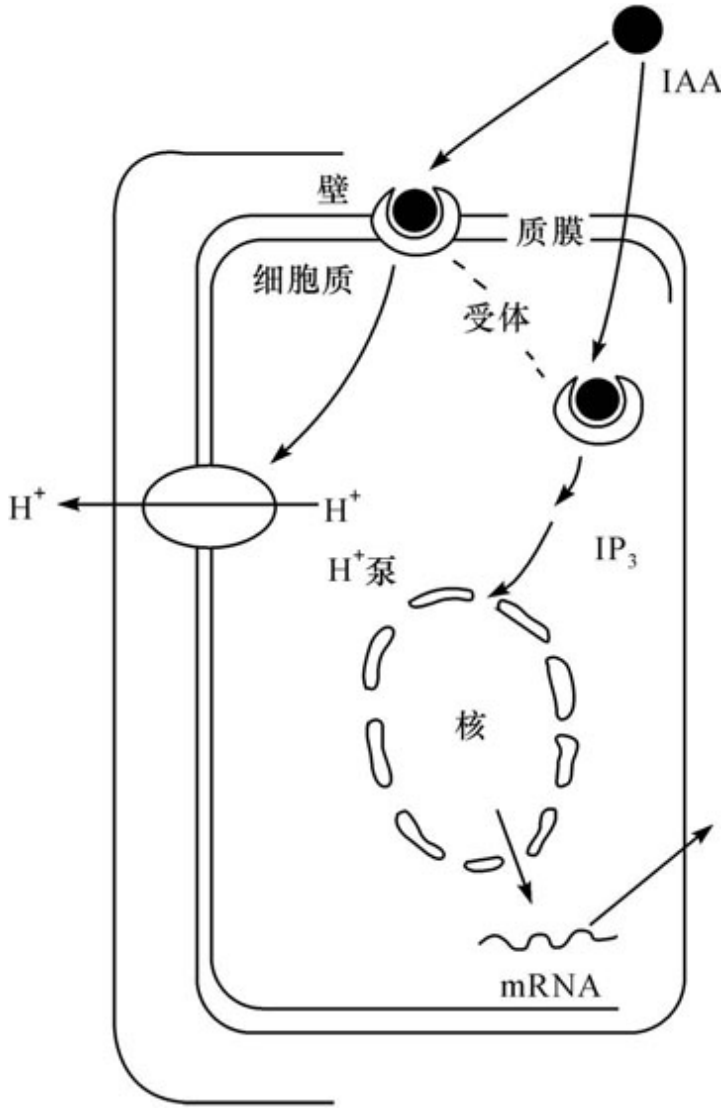


图3-2-2　生长素促进生长的作用方式示意图

（二）赤霉素

赤霉素（GA）是一种双萜。赤霉素的种类很多，广泛分布于植物界，从被子植物、裸子植物、蕨类植物、褐藻、绿藻、真菌和细菌中都发现有赤霉素的存在。

1．赤霉素的运输

GA在植物体内的运输没有极性，可以双向运输。根尖合成的GA通过木质部向上运输，而叶原基产生的GA则是通过韧皮部向下运输。

2．赤霉素的生理效应

（1）促进茎的伸长生长：主要是促进细胞的伸长。GA促进生长具有以下特点：①促进节间的伸长。GA主要作用于已有的节间伸长，而不是促进节数的增加。②不存在超最适浓度的抑制作用。即使GA浓度很高，仍可表现出最大的促进效应，这与生长素促进植物生长具有最适浓度的情况显著不同。

（2）诱导开花：对未经春化的二年生植物施用GA，则不经低温过程也能诱导开花，且效果很明显。此外，GA也能代替长日照诱导某些长日植物开花，但GA对短日植物的花芽分化无促进作用。对于花芽已经分化的植物，GA对其花的开放具有显著的促进效应。

（3）打破休眠：用2～3μg·g^{-1}的GA处理休眠状态的马铃薯能使其很快发芽。对于需光和需低温才能萌发的种子，如莴苣、烟草、李和苹果等的种子，GA可代替光照和低温打破休眠，这是因为GA可诱导α-淀粉酶、蛋白酶和其他水解酶的合成，催化种子内贮藏物质的降解，以供胚的生长发育所需。

（4）促进雄花分化：对于雌雄异花同株的植物，用GA处理后，雄花的比例增加；对于雌雄异株植物的雌株，如用GA处理，也会开出雄花。GA在这方面的效应与生长素和乙烯相反。

（5）其他生理效应：GA可促进某些植物坐果和单性结实、延缓叶片衰老等。GA也可促进细胞的分裂和分化。但GA对不定根的形成却起抑制作用，这与生长素又有所不同。

（三）细胞分裂素

细胞分裂素（CTK，CK）为腺嘌呤的衍生物，是以促进细胞分裂为主的一类植物激素。在高等植物中细胞分裂素主要存在于可进行细胞分裂的部位，如茎尖、根尖、未成熟的种子、萌发的种子和生长着的果实等。从高等植物中发现的细胞分裂素，大多数是玉米素或玉米素核苷。

细胞分裂素的生理效应：

1．促进细胞分裂。CTK能明显地促进细胞分裂，而对细胞伸长作用不大。

2．促进芽的分化。促进芽的分化是细胞分裂素最重要的生理效应之一。细胞分裂素和生长素的相互作用控制着愈伤组织根、芽的形成。当培养基中［CTK］/［IAA］的比值高时，愈伤组织形成芽；当［CTK］/［IAA］的比值低时，愈伤组织形成根；如两者的浓度相等，则愈伤组织保持生长而不分化；所以，通过调整两者的比值，可诱导愈伤组织形成完整的植株。

3．促进细胞扩大。细胞分裂素可促进一些双子叶植物如菜豆、萝卜的子叶或叶圆片扩大，这种扩大主要是因为促进了细胞的横向增粗。

4．促进侧芽发育，消除顶端优势。CTK能解除由生长素所引起的顶端优势，促进侧芽生长发育。

5．延缓叶片衰老。由于细胞分裂素能够延缓叶绿素和蛋白质的降解速度，稳定多聚核糖体，抑制DNA酶、RNA酶及蛋白酶的活性，保持膜的完整性，还能促进物质的积累，所以细胞分裂素能延缓衰老。由于CTK有保绿及延缓衰老等作用，故可用来处理水果和鲜花等以保鲜、保绿，防止落果。

6．打破种子休眠。需光种子，如莴苣和烟草等在黑暗中不能萌发，用细胞分裂素则可代替光照打破这类种子的休眠，促进其萌发。

（四）脱落酸

脱落酸（ABA）是能引起芽休眠、叶子脱落和抑制生长等生理作用的植物激素。存在于全部维管植物中，包括被子植物、裸子植物和蕨类植物，在某些苔藓和藻类中也发现存在。高等植物各器官和组织中都有脱落酸，其中以将要脱落或进入休眠的器官和组织中较多，在逆境条件下ABA含量会迅速增多。

脱落酸是以异戊二烯为基本单位的倍半萜羧酸。具有以下一些生理效应：

1．促进休眠。在秋天的短日条件下，叶中甲瓦龙酸合成GA的量减少，而合成的ABA量不断增加，使芽进入休眠状态以便越冬。种子休眠与种子中存在脱落酸有关，如桃、蔷薇的休眠种子的外种皮中存在脱落酸，所以只有通过处理，脱落酸水平降低后，种子才能正常发芽。

2．促进气孔关闭。ABA促使气孔关闭的原因是它使保卫细胞中的K^+外渗，造成保卫细胞的水势高于周围细胞的水势而使保卫细胞失水引起的。ABA还能促进根系的吸水与溢泌速率，增加其向地上部的供水量，因此ABA是植物体内调节蒸腾的激素。

3．抑制生长：ABA能抑制整株植物或离体器官的生长，也能抑制种子的萌发。ABA的抑制效应比植物体内的另一类天然抑制剂——酚要

高千倍。酚类物质是通过毒害发挥其抑制效应的，是不可逆的，而ABA的抑制效应则是可逆的，一旦去除ABA，枝条的生长或种子的萌发又会立即开始。

4．促进脱落。ABA促进器官脱落主要是促进了离层的形成。将ABA溶液涂抹于去除叶片的棉花外植体叶柄切口上，几天后叶柄就开始脱落。

5．增加抗逆性。一般来说，干旱、寒冷、高温、盐渍和水涝等逆境都能使植物体内ABA迅速增加，同时抗逆性增强。因此，ABA被称为应激激素或胁迫激素。

（五）乙烯

种子植物、蕨类、苔藓、真菌和细菌都可产生乙烯（ET，ETH）。在植物正常生长发育的某些时期，如种子萌发、果实后熟、叶的脱落和花的衰老等阶段都会诱导乙烯的产生。对于具有呼吸跃变的果实，后熟过程一开始，乙烯就大量产生。IAA也可促进乙烯的产生。

乙烯的生物合成前体为甲硫氨酸，其直接前体为1-氨基环丙烷-1-羧酸（ACC）。

乙烯的生理效应：

1．改变生长习性。乙烯对植物生长的典型效应是：抑制茎的伸长生长、促进茎或根的横向增粗及茎的横向生长，这就是乙烯所特有的“三重反应”（图3-2-3）。

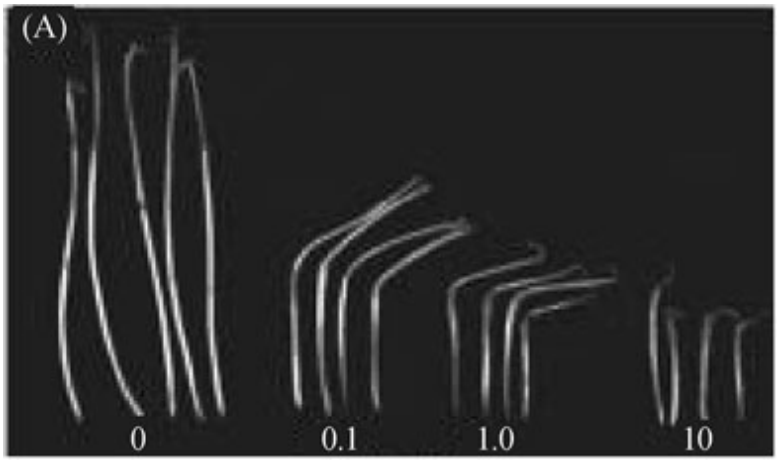


图3-2-3　乙烯的“三重反应”

2．促进成熟。催熟是乙烯最主要和最显著的效应，因此也称乙烯为催熟激素。

3．促进脱落。乙烯是控制叶片脱落的主要激素。

4．促进开花和雌花分化。乙烯可促进菠萝和其他一些植物开花，还可改变花的性别，促进黄瓜雌花分化，并使雌、雄异花同株的雌花着生节位下降。乙烯在这方面的效应与IAA相似，而与GA相反，现在知道IAA增加雌花分化就是由于IAA诱导产生乙烯的结果。

5．乙烯的其他效应：乙烯还可诱导插枝不定根的形成，促进根的生长和分化，打破种子和芽的休眠，诱导次生物质（如橡胶树的乳胶）的分泌等。

在植物生长发育进程中，任何一种生理过程往往不是某一种激素的单独作用，而是多种激素相互作用的结果。有的激素可加强另一种激素的效应，称为激素的增效作用。如生长素和赤霉素对于促进植物节间的伸长生长，表现为相互增效作用。脱落酸促进脱落的效果可因乙烯而得到增强。激素间也存在拮抗作用，即一种物质的作用被另一种物质所阻抑的现象。如赤霉素诱导α-淀粉酶的合成和对种子萌发的促进作用，因脱落酸的存在而受到拮抗。生长素推迟器官脱落的效应会被同时施用的脱落酸所抵消；而脱落酸强烈抑制生长和加速衰老的进程又可能会被细胞分裂素所解除。实验证明，植物激素间的比例对植物生理效应有明显的影响。如赤霉素与生长素的比例控制形成层的分化，当GA/IAA比值高时，有利于韧皮部分化，反之则有利于木质部分化。在组织培养中生长素与细胞分裂素不同的比值影响根芽的分化，烟草茎髓部愈伤组织的培养实验证明，当细胞分裂素与生长素的比例高时，愈伤组织就分化出芽；比例低时，有利于分化出根；当两者比例处于中间水平时，愈伤组织只生长而不分化，这种效应已被广泛应用于组织培养中。

植物体内除了上述五大类激素外，还有很多微量的有机化合物对植物生长发育表现出特殊的调节作用。如油菜素甾体类能促进细胞伸长和分裂、促进光合作用、提高抗逆性；茉莉酸类则抑制生长和萌发、促进衰老、抑制花芽分化、提高抗性；水杨酸具有生热效应、诱导开花、增强抗性等作用。

二、植物的生长生理

在植物生长过程中，无论是细胞、器官还是整个植株的生长速率都表现出慢—快—慢的规律。即开始时生长缓慢，以后逐渐加快，达到最高点后又减缓直至停止。生长的这三个阶段总合起来叫做生长大周期。如果以时间为横坐标，生长量为纵坐标，则植物的生长呈“S”形曲线（图3-2-4）。植株一生的生长表现为“S”形生长曲线，主要与光合面积的大小及生命活动的强弱有关。生长初期，幼苗光合面积

小，根系不发达，生长速率慢；中期，随着植物光合面积的迅速扩大和庞大根系的建立，生长速率明显加快；到了后期，植株渐趋衰老，光合速率减慢，根系生长缓慢，生长渐慢以至停止。

严格地说，生命周期是从受精卵分裂形成胚开始的，但人们习惯上还是以种子萌发作为个体发育的起点，因此一般将植物从种子萌发到形成新种子的整个过程称为植物的发育周期。

（一）种子的萌发

萌发是具有生活力的种子吸水后，胚生长突破种皮并形成幼苗的过程。通常以胚根突破种皮作为萌发的标志。

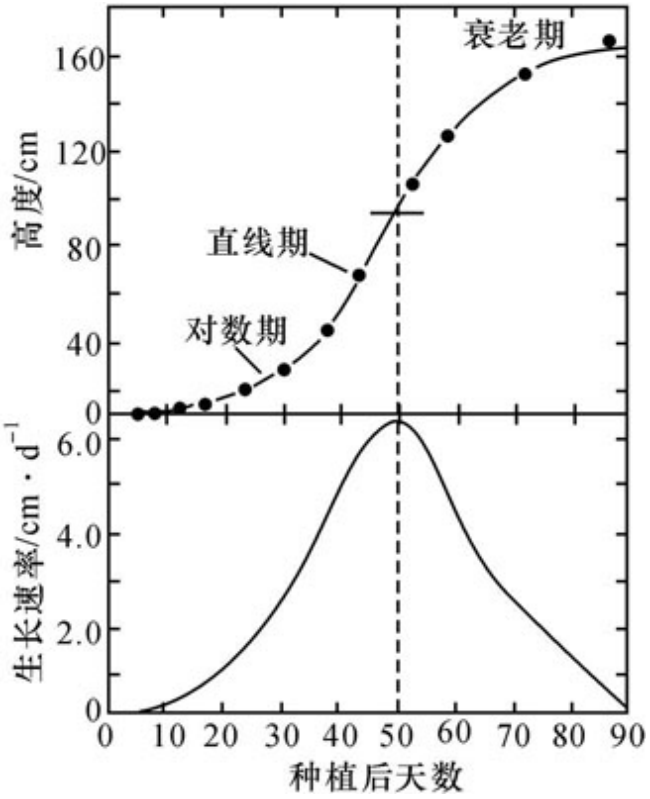


图3-2-4　玉米生长曲线

1．种子萌发的特点

种子萌发必须有足够的水分、适当的温度和充足的氧气。有些种子的萌发还受光的影响。

种子萌发时的吸水可分三个阶段，即由吸胀作用引起的快速吸水、吸水停滞阶段（此时细胞内各种代谢开始旺盛进行）和胚根长出后的重新迅速吸水。种子萌发初期进行无氧呼吸，随后是有氧呼吸，呼吸速率越来越快。种子萌发时贮藏的有机物发生强烈的转变，淀

粉、脂肪和蛋白质在酶的作用下，被水解为简单的有机物，并运送到幼胚中作营养物质。

2．影响种子萌发的外界条件

（1）水分

干种子要能够正常萌发，首先要吸收足够的水分。水分进入种子体内，有两方面的重要性：一是促使原生质从凝胶态转变为溶胶态，从而使代谢加强；二是使种皮软化，并使之透气性增强，因而利于呼吸增强及胚根突破种皮。但土壤水分过多，会使土温下降、氧气缺乏，对种子萌发也不利，甚至引起烂种。

（2）氧气

干种子要能够正常萌发，还要保证正常的有氧呼吸。种子萌发所需氧气的含量通常应在10%以上。含脂肪较多的种子在萌发时需氧更多，如花生、大豆和棉花等种子。因此，这类种子宜浅播。水稻对缺氧的忍受能力较强，其种子在淹水的情况下能靠无氧呼吸来萌发。即便如此，它的正常萌发还是需要氧气的。缺氧时，稻谷萌发只长芽鞘，不长根，幼苗生长也十分细弱。

（3）温度

种子的萌发是由一系列酶催化的生化反应引起的，因而受温度的影响，并有温度三基点，种子萌发的最适温度是在最短的时间范围内萌发率最高的温度。一般冬作物种子萌发的温度三基点较低，而夏作物较高。变温比恒温更有利于种子萌发，且有利于提高种子的抗逆性。

（4）光照

少数种子的萌发需要光照，此类种子被称为需光种子，如莴苣、烟草、拟南芥等的种子属于需光种子。另有少数种子萌发需要黑暗，为需暗种子，如西瓜属、黑种草属等植物的种子。绝大多数植物的种子萌发对光照没有要求，有光无光均可萌发。

光线对种子萌发的影响与光的波长有关。当对莴苣种子用红光（R，600～660nm）和远红光（FR，700～750nm）交替照射，且每次照射后取出一部分种子放在暗处发芽，发现其萌发情况决定于最后一次照射的光谱成分。如最后照射的是红光，则促进种子萌发，最后照射的是远红光，则抑制种子萌发（表3-2-1）。这一现象与光敏色素有关。

表3-2-1　红光（R）和远红光（FR）对莴苣种子萌发的控制

照光处理	种子萌发率(%)
R	70
R+FR	6
R+FR+R	74
R+FR+R+FR	6
R+FR+R+FR+R	76
R+FR+R+FR+R+FR	7
R+FR+R+FR+R+FR+R	81
R+FR+R+FR+R+FR+R+FR	7

R：照红光1min；FR：照远红光4min，26℃。

（二）植物生长的相关性

植物体是多细胞的有机体，构成植物体的各部分，存在着相互依赖和相互制约的相关性。

1．地下部和地上部的相关性

根部的活动和生长有赖于地上部分所提供的光合产物、生长素、维生素等，而地上部分的生长和活动则需要根系提供水分、矿质、氮素以及根中合成的植物激素、氨基酸等。一般地说，根系生长良好，其地上部分的枝叶也较茂盛；同样，地上部分生长良好，也会促进根系的生长。

地下部与地上部的相关性可用根冠比（R/T），即地下部分的重量与地上部分的重量的比值来表示。土壤缺水，根冠比（R/T）增加；土壤水分过多，根冠比下降。“旱长根、水长苗”就是这个道理。土壤缺氮，根冠比增加；土壤氮充足时，根冠比下降；增施磷、钾肥，根冠比增加。相对低温下，根冠比增加；高光照下，根冠比增加。人工剪枝，促进地上部生长。

2．主茎和侧枝以及主根与侧根的相关性

顶端优势现象普遍存在于植物界，除顶芽外，生长中的幼叶、节间、花序等都能抑制其下面侧芽的生长，根尖能抑制侧根的发生和生长，冠果也能抑制边果的生长。

各种植物顶端优势表现不尽相同，草本植物向日葵、麻类、玉米、高粱、甘蔗等，顶端优势非常明显，分枝少而小；木本植物杉树、桧柏等的顶端优势明显，树冠呈宝塔型；水稻、小麦等植物的顶端优势很弱或没有顶端优势，可产生大量分蘖。

除生长素外，其他植物激素与顶端优势也有关系。细胞分裂素处理可解除顶端对侧芽的抑制作用；赤霉素处理则加强生长素引起的顶端优势。根的顶端优势与根尖合成细胞分裂素并向上运输，抑制侧根的生长有关。

3．营养生长与生殖生长的相关性

生殖器官的生长所需的养料，大部分是由营养器官提供的，因此，营养器官生长的好坏直接关系到生殖器官的生长发育。同时，生殖器官在生长过程中也会产生一些激素类物质，反过来影响到营养器官的生长。相互制约：营养生长过旺，会消耗较多的养分，影响生殖器官的生长发育；生殖器官的生长也会抑制营养器官的生长，同时加速营养器官的衰老。

（三）植物的运动

植物的运动是指植物的器官在一定的空间范围内发生有限度的位置移动。根据植物运动的方向是否与引起运动的外界刺激的方向相关，可将植物的运动分为向性运动与感性运动；根据植物运动是否直接由植物生长引起，可将植物的运动分为生长性运动和膨胀性运动。还有一类植物的运动与内在节奏有关，即生理钟运动。

1．向性运动

（1）向光性运动。可分为正向光性运动、负向光性运动、横向光性运动。引起向光性运动的有效光为波长较短的光（蓝紫光）。向光性运动与光的强度有关。向光性运动中的光受体可能是核黄素。

（2）向重力性运动。根据植物运动方向与重力方向的关系可将其分为正向重力性运动、负向重力性运动、横向重力性运动。植物向重力性运动可能的机制：植物器官中的淀粉体可能起“平衡石”的作用，当器官位置改变时，淀粉体将沿重力方向“沉降”至与重力垂直的细胞一侧，进而作为一种刺激引起植物器官或组织不均匀生长。而不均匀生长是由器官或组织内生长素分布不均匀所引起且与生长素的浓度有关。

（3）向化性运动。植物器官受环境中化学物质吸引而产生的运动。

（4）向水性运动。植物器官特别是根趋向潮湿方向生长的运动。

2．感性运动

没有一定方向性的外界刺激（如光暗变化、触摸、震动）所引起的植物的运动为感性运动。根据外界刺激的种类，可包括感夜性运动、感热性运动、感震性运动等。

植物感受外界震动而产生的运动称为感震性运动，为膨胀性运动，因此是可逆运动。如含羞草小叶和复叶的运动。含羞草感震性运动的机理：含羞草小叶和复叶叶柄基部具有叶褥。叶褥为一特殊的细胞群。小叶叶褥上半部细胞胞间隙较大，胞壁较薄，而下部细胞排列紧密，胞壁较厚。复叶叶褥上下部细胞状况与小叶叶褥的正好相反。当小叶和复叶受到震动刺激后，间隙较大、壁较薄的细胞透性增大，水分外流到胞间隙，细胞膨压下降，该处组织疲软，而胞壁较厚的细胞仍保持紧张状态，从而导致小叶合拢，复叶下垂。含羞草感震运动的反应速度很快，刺激后0.1s就开始，若干秒即可完成。刺激信号的传递速度可达40～50cm/s。

3．近似昼夜节奏——生理钟

植物的某些生理活动以某种节奏自由进行而不受环境条件的干扰，该节奏近似昼夜周期（22～28h），被称为近似昼夜节奏或生理钟或生物钟。植物的某种运动若具有该节奏特点，即为生理钟运动。菜豆叶片的运动即属于生理钟运动。其他一些生理现象如气孔开闭、蒸腾速率变化、膜透性的变化、细胞周期等也具有生理钟特点。

【例题解析】

例1　在大麦种子萌发前，将胚去除，种子中的淀粉则不能被水解。对其施用下列哪种物质可最有效地使种子重新获得水解淀粉的能力（　　）

A．淀粉酶

B．赤霉素

C．碳水化合物

D．DNA酶

解析　赤霉素对种子萌发有重要作用。小麦种子吸胀吸水后，胚细胞首先形成赤霉素，赤霉素扩散至糊粉层，诱导α-淀粉酶、蛋白酶、RNA酶、蔗糖转化酶、过氧化物酶等水解酶产生（对DNA酶一般不起诱导作用），使胚乳中贮藏物降解。淀粉酶对死细胞中的淀粉有水解作用，但对于活的糊粉细胞很难渗透进入。

答案　B

例2　脱落酸具有下列哪些作用（　　）（多选题）

A．气孔关闭

B．种子休眠

C．果实成熟

D．抑制顶端优势

解析　脱落酸可促进种子休眠和芽的休眠；使气孔关闭减少蒸腾作用；可抑制细胞分裂；抑制淀粉酶的合成，抑制蛋白质和核酸的合成；促进离层的形成，从而促进叶柄和果实脱落，但不促进果实成熟（乙烯促进成熟）；不抑制顶端优势。

答案　AB

例3　以下哪种说法不正确（　　）

A．光照可以使种子得到足够的热量，因而有利于种子的萌发

B．植物生长发育离不开光合作用，所以种子萌发的必要条件是需要光照

C．种子萌发一般不需要光照

D．某些种子萌发需要光照

解析　种子的萌发必须有足够的水分、适宜的温度和充足的氧气，光照可以提高温度，一定的温度促进种子萌发，所以A正确。有些种子的萌发还受到光的影响，如黄榕、烟草和莴苣的种子，在无光条件下不能萌发，这类种子叫需光种子；某些百合科植物和洋葱、番茄、曼陀罗的种子萌发时会受光照抑制，这类种子为嫌光种子；绝大多数植物的种子萌发对光照没有要求，有光无光均可萌发，称为中光种子。光对植物种子萌发的作用不是通过光合作用提供能量，而是由种子内光敏色素感受光的信息，影响种子萌发。

答案　B

例4　哪一种因素不可能使种子失去活力（　　）

A．酶物质的破坏

B．贮藏物质的消耗

C．种子的含水量维持在10%左右

D．胚细胞的衰退死亡

解析　种子失去活力的主要原因一般是因为种子内酶物质的破坏，贮藏养料的消失和胚细胞的衰退死亡。种子寿命的长短除与遗传特性和发育是否健壮有关外，还受环境因素的影响。低温、低湿以及降低空气中的含氧量为理想的贮存条件，在这样的条件下种子的呼吸作用最弱，营养消耗最少，可能度过最长时间的休眠期，但完全干燥也会使种子的生命活动完全停止。种子贮藏时的含水量有一个安全系数，高于或低于这个安全系数都不利于种子的贮藏，如油菜种子为10%。

答案　C

例5　在种子萌发过程中，贮藏物质发生强烈的水解作用，所以萌发种子中活性最高的酶应该是（　　）

A．脂肪酶、淀粉酶和转氨酶
B．核酸酶、异构化酶和转氨酶
C．卡尔文循环中的酶

解析　种子萌发过程中，被水解的种子中的贮藏物质有淀粉、脂肪，有时还可能有蛋白质。核酸并不是贮藏物质，异构化酶与水解作用无关。转氨酶则在氨基酸的相互转变中起着重要作用。至于卡尔文循环中的酶，则仅存在于能进行光合作用的细胞中。

答案　A

【针对训练】

（一）单选题

1．将4株长势相同，具有顶芽的健壮植株分别进行如下处理，其中哪一处理办法最有利于侧芽发育成枝条（　　）
A．去顶芽后，在断口上放一块琼脂小块
B．去顶芽后，在断口上放一块富含生长素的琼脂小块
C．不去顶芽，在侧芽涂以含低浓度生长素的琼脂
D．不去顶芽，在侧芽上涂以琼脂

2．植物不同器官对生长素浓度敏感程度不同，一般来说可能是（　　）
A．根＜芽＜茎
B．根＜芽＞茎
C．根＞芽＞茎
D．根＞芽＜茎

3．在胚芽鞘的向光运动中，光感受部位是胚芽鞘的（　　）
A．顶端
B．延长区
C．基部
D．胚芽鞘内的芽

4．下面哪些作物在生产上需要利用和保持顶端优势（　　）
A．麻类和向日葵
B．棉花和瓜类
C．茶树和果树
D．烟草和绿篱

5．下列哪一项是通过减少生长素产生量而发生的（　　）
A．修剪树篱，降低其高度，可以使其更枝繁叶茂
B．在枝条适当部位环割，去掉树皮，伤口处容易生根

C．将未成熟果实密封一段时间，果实成熟时间缩短
D．移栽树苗之前，将部分叶片摘除或切除1/2，树苗更容易成活
6．蔬菜种植中常用移植方法获得生长良好、株型巨大的植株，例如大白菜。这种方法所涉及的生物学原理主要是（　　）
A．促进了顶芽的生长素分泌
B．促进了侧根的生长
C．减少顶芽生长素对侧芽的抑制作用
D．增加主根营养物质的储存空间
7．IAA生物合成的直接前体物质是（　　）
A．色胺
B．吲哚丙酮酸
C．吲哚乙醛
D．吲哚丁酸
8．在IAA相同条件下，低浓度蔗糖可以诱导（　　）
A．韧皮部分化
B．木质部分化
C．韧皮部和木质部分化
D．不能诱导韧皮部和木质部分化
9．在农业生产实践中，欲打破种子休眠，促进性别分化，促使植物抽苔开花，应选用（　　）
A．KT
B．2,4-D
C．GA_3
D．ABA
10．以下对乙烯的论断哪个是错误的（　　）
A．是一种气体植物激素
B．所有的植物细胞都可以生产这种气体
C．不能进行细胞间的传递
D．不同果实之间可以传递
E．浓度越高，果实成熟越快
11．把成熟的苹果与未成熟的香蕉密封在一起可促使香蕉成熟，是由于苹果放出了（　　）
A．乙烯
B．赤霉素
C．脱落酸
D．细胞分裂素

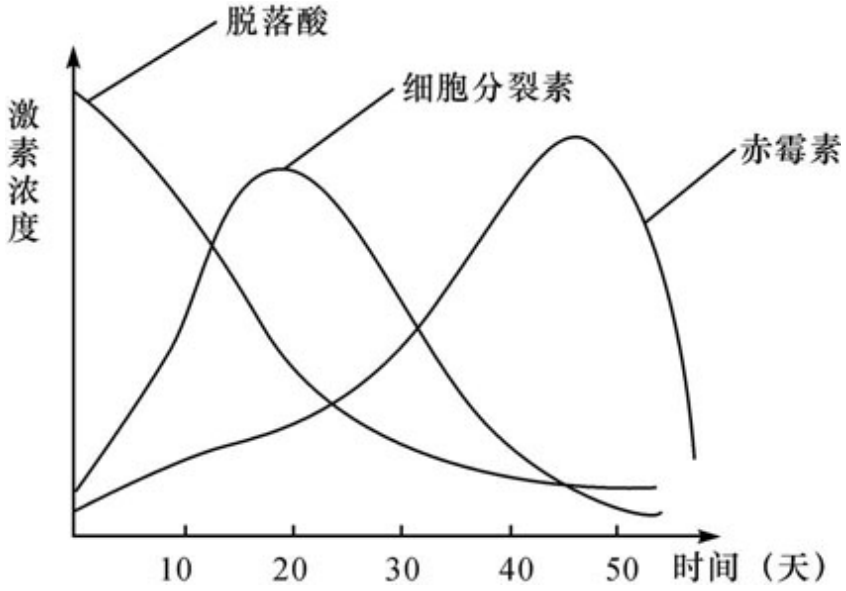
12．某种植物种子经低温处理1～2个月后能够提早萌发。在低温处理过程中，种子内的激素含量变化如下图所示。据图进行的以下推断中，错误的是（　　）

A．抑制种子萌发的是脱落酸

B．喷洒细胞分裂素溶液，有利于种子保藏

C．脱落酸与赤霉素是拮抗关系

D．赤霉素与细胞分裂素是协同关系



13．果树有时出现小叶症，其原因是（　　）

A．由于营养不足而影响叶片生长

B．由于温度太低而影响叶片生长

C．由于缺锌而影响生长素合成，进而影响叶片生长

D．由于缺锌而影响细胞分裂素合成，进而影响叶片生长

14．GA对不定根形成的作用是（　　）

A．抑制作用

B．促进作用

C．既抑制又促进

D．无任何作用

15．下列植物的干种子，吸水力最强的是（　　）

A．花生

B．大豆

C．小麦

D．玉米

16．在豌豆种子萌发初期，一般CO_2的释放量比O_2的吸收量大几倍，说明种子此时的呼吸状况是（　　）

A．只进行有氧呼吸

B．只进行无氧呼吸

C．主要进行有氧呼吸

D．主要进行无氧呼吸

17．高等植株S形的生长曲线中，其纵坐标可以用哪些参数来表示（　　）

A．时间、重量、体积

B．蛋白质含量、细胞个数、叶面积

C．蛋白质含量、叶面积、干重

D．高度、鲜重、细胞个数

18．将一根柳条枝分成四段，A和B分别表示枝条的形态学上端和下端，悬挂在潮湿的环境中。若干天后只有下列哪种枝条不是在形态学的上端长出芽来（　　）

A．A端朝上，B端朝下

B．B端朝上，A端朝下

C．将柳条枝切段水平放置

D．在B端上涂上IAA羊毛脂

19．水稻种子在氧气供应不足的条件下的萌发特点是（　　）

A．胚芽长，胚根短

B．胚芽短，胚根长

C．胚芽长，胚根长

D．胚芽短，胚根短

20．种子萌发形成幼苗的最初阶段不会出现的现象是（　　）

A．细胞数量增加

B．胚的呼吸强度增加

C．幼苗鲜重大于种子鲜重

D．幼苗干重大于种子干重

21．促进莴苣种子萌发的光是（　　）

A．蓝紫色

B．红光

C．远红光

D．绿光

22．花生、棉花等含油较多种子，萌发时较其他种子需要更多的（　　）

A．水分
B．矿质元素
C．氧气
D．激素
23．500g黄豆制成2500g黄豆芽，在这个过程中有机物总量的变化是（　　）
A．不增多
B．减少
C．不增也不减
D．以上都不对
24．《农书》总结出水稻田由于早期过度施肥造成“苗茂而果不坚”的恶果，主要反映了如下哪个生理规律（　　）
A．营养生长过旺，会导致生殖生长失调
B．过度施肥造成了植物吸水困难
C．顶端优势过强，影响了侧枝生长，导致结实率下降
D．地上部分和地下部分生长相矛盾，导致结实率下降
25．协调最适温是指什么样的温度（　　）
A．生长最快又健壮
B．生长最快，但不太健壮
C．生长次快，但很健壮
D．生长很慢，但很健壮
26．果树枝叶繁茂，但开花结实很少，这是由于下列哪种不协调的结果（　　）
A．营养生长与生殖生长
B．地上部和地下部生长
C．主茎和侧芽生长
D．花和叶生长
27．禾谷类种子萌发过程中贮藏物质常转化为什么物质运往胚根胚芽（　　）
A．蔗糖和氨基酸
B．有机酸和氨基酸
C．氨基酸和葡萄糖
D．葡萄糖和有机酸
28．增施N肥，植株的根冠比（　　）
A．增大
B．减少

C．基本不变
D．无一定变化规律
29．含羞草遇外界刺激，小叶合拢，这种现象是（　　）
A．向性运动
B．感性运动
C．生长运动
D．偏上生长
（二）多选题
30．气孔关闭与保卫细胞中下列哪些物质的变化有直接关系（　　）
A．ABA
B．苹果酸
C．钾离子
D．GA
31．哪两种激素在气孔开放方面是相互拮抗的（　　）
A．赤霉素
B．脱落酸
C．生长素
D．乙烯
32．烟草是两年生植物，其营养生长到一定阶段就抽苔开花。在烟草栽培中，有一项操作技术是：抽苔开花之前，去除其顶部，再以掺有某种植物生长调节剂的棉花敷于切口上。此项技术能够明显提高烟草的产量和质量。以下分析中正确的是（　　）
A．该植物生长调节剂就是吲哚乙酸
B．去顶的目的是促进侧芽发育
C．去顶的目的是阻止抽苔开花
D．敷以掺有生长调节剂的棉花其目的是抑制侧芽发育
33．关于赤霉素的生理作用，以下描述中哪些项是正确的（　　）
A．促进插条生根
B．可部分代替低温和长日照的作用而诱导某些植物开花
C．诱导α-淀粉酶形成
D．促进果实成熟．
34．在维持或消除植物的顶端优势方面，下面哪两种激素起关键性作用（　　）
A．IAA

B．ABA
C．CTK
D．GA
35．下面哪种激素能促进植物体内有机物的运输（　　）
A．生长素
B．赤霉素
C．细胞分裂素
D．脱落酸
36．下列哪种激素能促进插条生根（　　）
A．2,4-D
B．NAA
C．激动素
D．赤霉素
37．下列哪种激素能促进不定根的产生（　　）
A．2,4-D
B．赤霉素
C．激动素
D．乙烯
38．下列哪种激素与器官的脱落有关（　　）
A．生长素
B．赤霉素
C．ABA
D．乙烯
39．下列哪些激素在种子的萌发和器官的休眠中起拮抗作用（　　）
A．生长素
B．赤霉素
C．ABA
D．乙烯
40．下列叙述中正确的是（　　）
A．赤霉素具有促进生长、诱导单性结实和促进形成层活动等生理效应，这是因为赤霉素可使内源IAA的水平增高。
B．脱落酸对核酸生物合成有抑制作用
C．生长素促进RNA合成
D．赤霉素在植物体内的运输有极性
41．下列有关种子萌发的叙述中，何者正确（　　）

A．大豆与水稻种子萌发所需养分供给的部位不同
B．种子萌发的必要条件是水，温度与氧气
C．植物激素中GA、ABA均会影响种子的萌发
D．光对种子的萌发均有促进的效果
E．植物种子必须经过休眠才能萌发

【参考答案】

（一）单选题

1．A　2．C　3．A　4．A　5．A　6．B　7．C　8．B　9．C　10．C　11．A　12．B　13．C　14．A　15．B　16．D　17．D　18．D　19．A　20．D　21．B　22．C　23．B　24．A　25．C　26．A　27．A　28．B　29．B

（二）多选题

30．ABC　31．BC　32．CD　33．BC　34．AC　35．ABC　36．AB　37．AD　38．ACD　39．BC　40．ABC　41．ABC

第3讲　植物的生殖生理和抗逆生理

（杭州学军中学　胡晓华）

【知识梳理】

一、植物的生殖生理

由营养生长转入生殖生长是植物生命周期中的一大转折。处在幼年期的植物，即使满足其成花所需要的外界条件也不能诱导成花。已经完成幼年期的植物，也只有在适宜的温度和光照条件下才能诱导成花。因此，幼年期、低温和光周期就成为控制植物开花的三个重要因素。

（一）春化作用

一些作物在秋季播种，度过寒冷的冬季后，在第二年春末夏初开花结实。如将秋播作物春播，则不能开花或延迟开花。这种低温诱导促使植物开花的作用称春化作用。一般一年生冬性植物和大多数二年生植物以及一些多年生草本植物的开花都需要经过春化作用。

1．植物通过春化的条件

（1）低温。低温是春化作用的主要条件。对大多数植物来说，有效温度是0～10℃之间，适宜温度1～7℃。在植物春化过程结束之前，

如将植物放到较高的生长温度下，低温的效果会被减弱或消除，这种现象称去春化作用或解除春化。一般解除春化的温度为25～40℃。通常植物经过低温春化的时间愈长，则解除春化愈困难。当春化过程结束后，春化效应则很稳定，不会被高温所解除。大多数去春化的植物返回到低温下，又可重新进行春化，称再春化作用。

（2）水分、氧气和营养。试验表明，将已萌动的小麦种子失水干燥，当其含水量低于40%时，用低温处理种子也不能使其通过春化。同样，在缺氧条件下，即使满足了低温和水分的要求，仍不能完成春化。不仅高温可以解除春化，缺氧也有解除春化的效果。此外，通过春化时还需要足够的营养物质，将小麦种子的胚培养在富含蔗糖的培养基中，在低温下可以通过春化，但若培养基中缺乏蔗糖，则不能通过春化。

2．感受春化刺激的时期和部位

低温的一般植物在种子萌发后到植物营养体生长的苗期都可感受低温而通过春化。如冬小麦、冬黑麦等一年生冬性植物除了在营养体生长时期外，在种子吸胀萌动时就能进行春化，但胡萝卜、甘蓝和芹菜等植物只有在幼苗长到一定大小时才能感受低温而通过春化。

春化作用感受低温的部位是分生组织和某些能进行细胞分裂的部位。芹菜等幼苗感受低温的部位是茎尖生长点，所以栽培于温室中的芹菜，只要对茎尖生长点进行低温处理，就能通过春化；如果把芹菜栽培在低温条件下，而茎尖却给予25℃左右的温度，植株则不能通过春化。

3．春化的生理生化基础

春化作用促进了成花基因的顺序表达，合成新的mRNA和特异蛋白质，从而导致花芽分化。许多实验表明赤霉素可能与春化作用有关。

（二）光周期现象

自然界一昼夜间的光暗交替称为光周期。植物在长期适应和进化过程中表现出生长发育的周期性变化，植物对昼夜长度发生反应的现象称为光周期现象。许多植物的开花与光周期有关，即这些植物必须经过一定时间的适宜光周期后才能开花，否则就一直处于营养生长状态。光周期的发现，使人们认识到光不但为植物光合作用提供能量，而且还作为环境信号调节着植物的发育过程，尤其是对成花诱导起着重要的作用。

1．植物的光周期反应类型

（1）长日植物（LDP）：指在24h昼夜周期中，日照长度长于一定时数，才能成花的植物，如小麦、大麦、黑麦、油菜、菠菜、萝卜、白菜、山茶、桂花、天仙子等。

（2）短日植物（SDP）：指在24h昼夜周期中，日照长度短于一定时数才能成花的植物，如水稻、玉米、大豆、高粱、苍耳、大麻、草莓、烟草、菊花等。

（3）日中性植物（DNP）：这类植物的成花对日照长度不敏感，只要其他条件满足，在任何长度的日照下均能开花，如月季、黄瓜、番茄、辣椒、菜豆、向日葵、蒲公英等。

（4）中日照植物：只有在某一定中等长度的日照条件下才能开花，而在较长或较短日照下均保持营养生长状态的植物，如甘蔗的成花要求每天有11.5～12.5h日照。

长日植物与短日植物之间的区别，不在于它们对日长要求的绝对值，而在于它们对日长的要求有一个最低或最高极限，即临界日长。长日植物一般在比临界日长更长的条件下，才能开花，日照愈长开花愈早。短日植物必须在短于临界日长时才能开花，若长于临界日长则不能开花；日照缩短，开花提早，但不能短于光合作用对光的需要。长日植物的临界日长不一定长于短日植物，短日植物的临界日长也不一定短于长日植物。如一种短日植物大豆的临界日长为14h，若日照长度不超过此临界值就能开花。一种长日植物冬小麦的临界日长为12h，当日照长度超过此临界值时才开花。将此两种植物都放在13h的日照长度条件下，它们都开花。

我国地处北半球，在纬度低的南方，植物多为短日植物。在中纬度地带的北方，长日植物、短日植物都有；长日植物在春末夏初开花，短日植物在秋季开花。在高纬度地带的东北，一般为长日照植物。

2．光周期诱导

植物在达到一定的生理年龄时，经过足够天数的适宜光周期处理，以后即使处于不适宜的光周期下，仍能保持这种刺激的效果而开花，叫做光周期诱导。

（1）光周期刺激的感受和传递

将短日植物菊花全株置于长日照条件下，则不开花而保持营养生长；置于短日照条件下，可开花；叶片处于短日照条件下而茎顶端给予长日照，可开花；叶片处于长日照条件下而茎顶端给予短日照，不能开花（图3-3-1）。这个实验充分说明：植物感受光周期的部位是叶片，只有叶片处于适宜的光周期条件下，才能诱导开花。

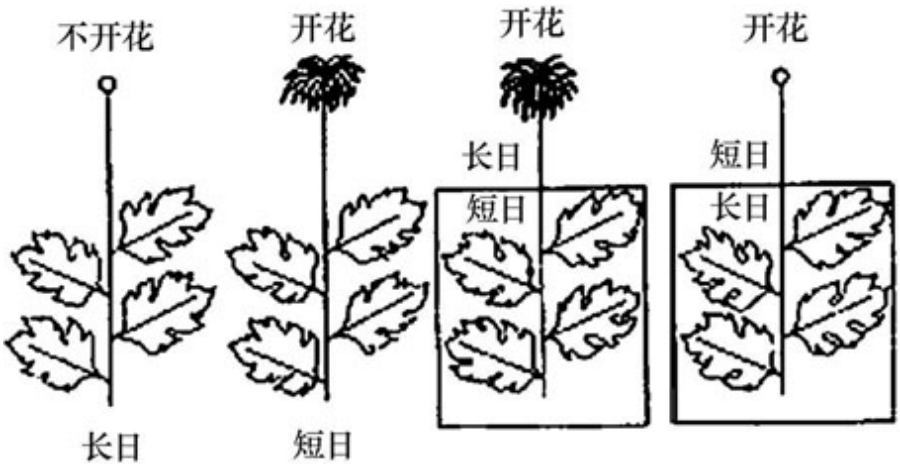


图3-3-1　叶片和营养芽的光周期处理对菊花开花的影响

由于感受光周期的部位是叶片，而形成花的部位在茎顶端分生组织，因此，必然有信息自感受了光周期的叶片传导至茎顶端。如果将5株苍耳嫁接串连在一起，只要其中一株的一片叶接受了适宜的短日光周期诱导，即使其他植株都在长日照条件下，最后所有植株也都能开花（图3-3-2）。这证明确实有刺激开花的物质通过嫁接在植株间传递并发挥作用。开花刺激物质传导的途径是韧皮部。



图3-3-2　苍耳嫁接实验

（2）光周期诱导中光期与暗期的作用

自然条件下，一天24h中光暗是交替的，那么，在光周期诱导中起决定作用的是光期还是暗期呢？试验表明，如果用短时间的黑暗打断光期，并不影响光周期成花诱导，但如果用闪光处理中断暗期，则使短日植物不能开花，继续营养生长；相反，则诱导长日植物开花。若

在光期中插入一短暂的暗期，对长日植物和短日植物的开花反应都没有什么影响（图3-3-3）。所以，在植物的光周期诱导成花中，暗期有更重要的作用，决定植物光周期诱导的不是临界日长，而是临界夜长，即短日植物能开花的最短暗期长度或长日植物能开花的最长暗期长度。短日植物在长于临界夜长时才能开花，长日植物在短于临界夜长时才能开花。

虽然对植物的成花诱导来说，暗期起决定性的作用，但光期也是必不可少的。因为花的发育需要光合作用提供足够的营养物质，所以光期的长度会影响植物成花的数量。

3．光敏色素与花诱导

用不同波长的光来进行暗期间断试验，结果表明，无论是抑制短日植物开花或诱导长日植物开花都是红光最有效。但红光促进开花的效应又可被远红光逆转，决定植物是否开花的是最后一次照射的光，若是红光，短日植物就不开花；若是远红光，就开花。这是由于光敏色素参与了成花反应。

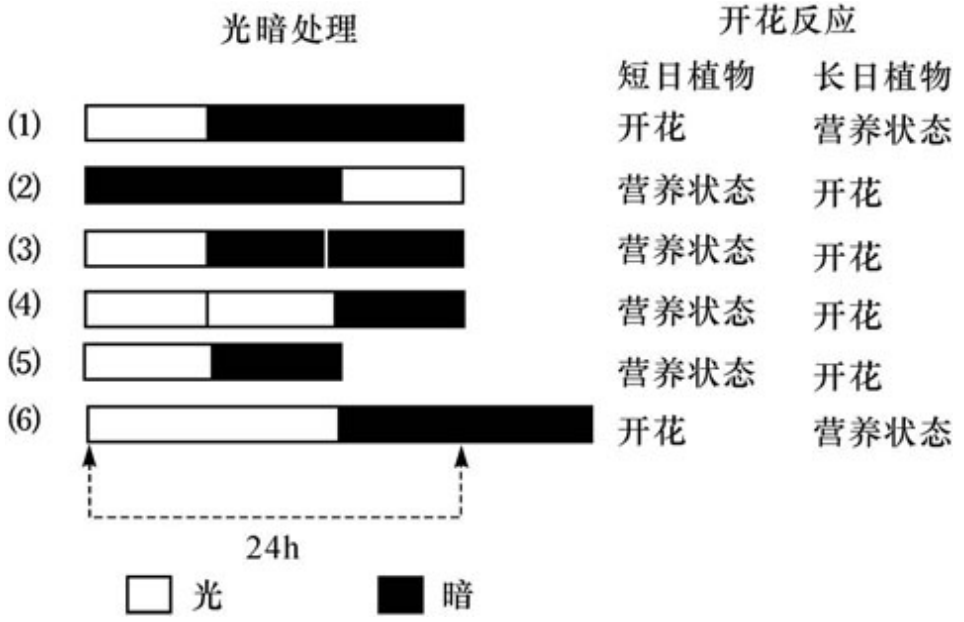


图3-3-3　暗期间断对开花的影响

光的信号是由光敏色素接受的，光敏色素是一种色素蛋白质。植物体内存在两种不同类型的光敏色素：红光吸收型（Pr）和远红光吸收型（Pfr）。白天，Pr型吸收红光转变为Pfr型，夜晚Pfr型转变为Pr型。光敏色素对成花的作用与Pr和Pfr的可逆转化有关，成花作用不是决定于Pr和Pfr的绝对量，而是受Pfr/Pr比值的影响。短日植物要求低的Pfr/Pr比值，经过较长的暗期后，Pfr逐渐逆转为Pr，当Pfr/Pr比值随

暗期延长而降到一定的阈值水平时，就可促发成花刺激物质形成而促进开花。对于长日植物成花刺激物质的形成，则要求相对高的Pfr/Pr比值，因此长日植物需要短的暗期，甚至在连续光照下也能开花。如果暗期被红光间断，Pfr/Pr比值升高，则抑制短日植物成花，促进长日植物成花。

4．春化作用和光周期理论在农业生产上的应用

在育种工作中利用春化处理，花诱导加速，提早开花、成熟，可以在一年中培育3～4代冬性作物，加速育种过程；为了避免春季倒春寒对春小麦的低温伤害，可以对种子进行人工春化处理后，适当晚播，缩短生育期。

生产上常从外地引进优良品种，以获得优质高产。将短日植物从北方引种到南方，会提前开花，如果所引品种是为了收获果实或种子，则应选择晚熟品种；而从南方引种到北方，则应选择早熟品种。如将长日植物从北方引种到南方，会延迟开花，宜选择早熟品种；而从南方引种到北方时，应选择晚熟品种。

在花卉栽培中，已经广泛地利用人工控制光周期的办法来提前或推迟花卉植物开花。例如，菊花是短日植物，在自然条件下秋季开花，但若给予遮光缩短光照处理，则可提前至夏季开花。而对于杜鹃、茶花等长日的花卉植物，进行人工延长光照处理，则可提早开花。

（三）受精生理

成熟花粉从花粉囊中散出，借助外力（地心引力、风、动物传播等）落到柱头上的过程，称为授粉。花粉传到同一花的雌蕊柱头上称自花授粉，传到另一花的雌蕊柱头上称异花授粉。

花粉落到柱头上能否萌发，花粉管能否生长并通过花柱组织进入胚囊受精，取决于花粉与雌蕊的亲和性和识别反应。花粉的识别物质是壁蛋白，雌蕊的识别物质是柱头表面的亲水蛋白质膜和花柱介质中的蛋白质。如相互不亲和，柱头乳突细胞产生胼胝质阻碍花粉管穿过，或产生酶类（如RNase和蛋白酶），能将花粉管内RNA和蛋白质降解，导致花粉死亡。当亲和花粉落到柱头上时，花粉就释放出外壁蛋白并扩散入柱头表面，与柱头表面蛋白质膜相互作用，认可后花粉管伸长并穿过柱头，沿花柱引导组织生长并进入胚囊受精，其中的一个精细胞与卵细胞融合形成合子，另一个精细胞与中央细胞的两个极核融合，形成初生胚乳核。助细胞释放Ca^{2+}可能对细胞融合起重要的作用。

花粉萌发和花粉管生长表现出集体效应，即在一定面积内，花粉数量越多，萌发和生长越好。人工辅助授粉增加了柱头上的花粉密度，有利于花粉萌发的集体效应的发挥，提高受精率。

授粉受精后会发生以下生理生化变化：①呼吸速率增加；②IAA含量增加；③生长抑制物下降；④整株植物的水分、矿质吸收及有机物转化和运输加快。

花粉的活力、柱头的活力和环境条件都会影响植物的受精。植物花粉的寿命因植物而异，在自然状态下，水稻花粉寿命只有5～10min，小麦15～30min。一般刚从花药中散发出来的成熟花粉活力最强，随时间延长花粉活力下降。高温、高湿、高氧条件下花粉易丧失活力。柱头活力关系到花粉落到柱头上之后能否萌发，花粉管能否生长，所以柱头生活力直接关系到受精的成败。柱头生活力持续时间的长短因植物种类而异，以开花当天活力最强，以后逐渐下降。受精过程伴随着雌雄细胞的识别和融合，发生着许多代谢反应。这些反应还受着温度、湿度等外界环境条件的影响。

（四）种子形成过程中的生理生化变化

1．贮存物质的变化

种子的形成过程，主要是植物其他部分的有机物质向种子转移，并在种子中转化为贮存物质的过程，因此，在种子形成过程中，干物质含量不断增加。

淀粉类种子在成熟过程中，可溶性糖浓度逐渐降低，而淀粉含量不断升高。在油料种子发育过程中，首先积累可溶性糖和淀粉，其含量随着种子发育而迅速下降，同时种子重量和脂肪含量开始增加，因此，脂肪是由碳水化合物转化而来的（图3-3-4）。种子发育时先形成饱和脂肪酸，然后再转变为不饱和脂肪酸，而先期形成的游离脂肪酸在种子成熟过程中逐渐形成复杂的油脂。许多豆科植物种子含有大量蛋白质，因此称为蛋白类种子，这类种子在成熟过程中，叶片或其他器官的氮素以氨基酸或酰胺的形式运至荚果，转化为蛋白质，暂时贮存起来，随着种子的成熟，荚果中暂时贮存蛋白质分解，转化为酰胺，运入种子，再转化为蛋白质。

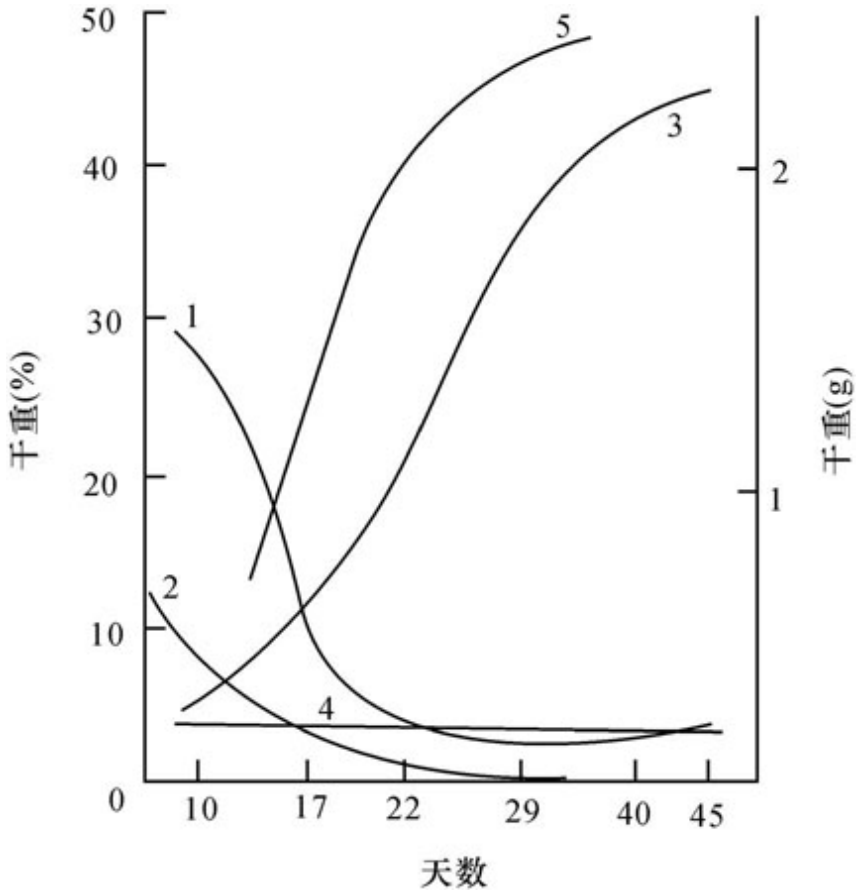


图3-3-4　油菜种子成熟过程中干物质积累

1．可溶性糖；2．淀粉；3．千粒重；4．含氮物质；5．粗脂肪

2．含水量变化

在种子成熟过程中，水分含量逐渐降低，与干物质含量变化趋势相反。

3．呼吸速率变化

呼吸速率与有机物质积累速率具有平行关系，在干物质积累快时，呼吸速率高，随着干物质积累速率减慢，呼吸速率逐渐降低。

4．内源激素的变化

在种子形成过程中，各种激素含量发生剧烈变化，例如小麦，在受精前细胞分裂素含量很低，受精时剧烈升高，受精末期达到最大，然后下降。赤霉素在受精后胚胎开始生长时，含量迅速升高，在受精后第三周达到高峰，然后下降。生长素在胚珠中含量很低，在受精时略有增加，后又减少，在胚胎膨大时再度增加，当籽粒鲜重达到最大值时达到高峰，然后下降。在种子完全成熟时，检测不到生长素活

性。脱落酸在种子成熟过程中，含量逐渐升高，种子成熟时达最大值。

（五）果实成熟过程中的生理生化变化

1．物质变化

在果实成熟过程中，淀粉酶活性逐渐增强，将淀粉水解，形成可溶性糖，果实变甜。原果胶酶和果胶酶活性增强，将原果胶分解为可溶性果胶、果胶酸和半乳糖醛酸，使果肉细胞相互分离，果实变软。有机酸含量降低，酸味消失。一些果实在成熟过程中，果皮颜色由绿色逐渐转化黄色或橙色，一方面由于叶绿素分解失去绿色，类胡萝卜素的颜色显现出来，另一方面是由于合成了花色素。在果实成熟过程中，产生一些具有香味的物质，如脂肪族的酯类物质。

2．呼吸速率的变化

当果实成熟到一定程度时，呼吸速率首先降低，然后突然增高最后又下降。果实在成熟前发生的呼吸突然升高的现象，称为呼吸骤变（图3-3-5）。呼吸骤变是果实从形成阶段转入成熟阶段的标志，当果实发生呼吸骤变后，果实就无法再贮藏下去了。因此，对于呼吸骤变型果实，贮藏时要设法延迟呼吸骤变的到来。

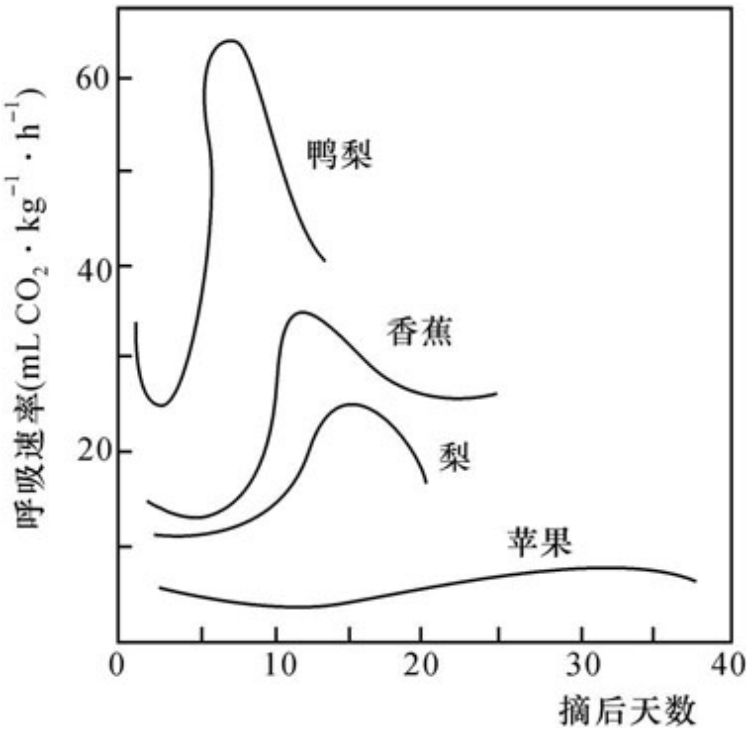


图3-3-5　果实成熟过程中的呼吸骤变

呼吸骤变的产生与果实内部乙烯的产生有关，在呼吸骤变之前或同时，果实有一个乙烯产生高峰，外源乙烯处理可诱导果实产生呼吸骤变。呼吸骤变型果实都是肉质型果实，如苹果、香蕉、梨、桃、杏、白兰瓜、番茄、哈密瓜等。

非骤变型果实：在果实成熟前呼吸不发生骤变，而是缓慢降低。这种果实的成熟受乙烯的影响较小。非骤变型果实有葡萄、草莓、松子、柠檬、凤梨等。

（六）种子的休眠

多数种子形成后，即使在条件适宜的情况下暂时也不能萌发，这种现象称为休眠。种子的休眠主要有以下几种原因：

1．种子的后熟作用。一些植物在开花结实后，种子虽然脱离母体，但种子中的胚并没有发育完全，或胚在生理上尚未全部成熟。这类种子在脱离母体后，还要经过一段时期的发育才能成熟，如银杏和人参的种子，这种现象叫种子的后熟作用。

2．种皮阻碍了种子对水分和空气的吸收。这类植物的种子脱离母体时，虽然胚已发育成熟，但是由于种皮过厚，不易透水，对氧气的渗透也极微弱，而限制了种子的萌发，如豆科、锦葵科植物的某些属种，以及苍耳的种子。

3．由于某些抑制性物质的存在，阻碍了种子的萌发。抑制种子萌发的物质有有机酸、生物碱和某些植物激素。这类物质有的产生在种子内部——胚上，有的产生在种皮上，有的存在于果实的果肉或果汁中。只有这些抑制物质消除后，种子才能正常萌发，如番茄、柑或瓜类的种子，只有脱离果实后才能萌发。

（七）植物的衰老

1．衰老时的生理生化变化

（1）光合色素丧失：叶绿素逐渐丧失是叶片衰老最明显的特点。

（2）核酸的变化：叶片衰老时，RNA总量下降，尤其是rRNA的减少最为明显。叶衰老时DNA也下降，但下降速度较RNA为小，与此同时，DNA酶、RNA酶活性却有所增加。

（3）蛋白质的变化：蛋白质水解是植物衰老的第一步，在蛋白质水解的同时，伴随着游离氨基酸的积累，可溶性氮会暂时增加（图3-3-6）。在衰老过程中蛋白质含量的下降是由于蛋白质代谢失去平衡，分解速度超过合成速度所致。在衰老过程中也有某些蛋白质的合成，主要是水解酶如核糖核酸酶、蛋白酶、酯酶、纤维素酶的含量或活性增加。

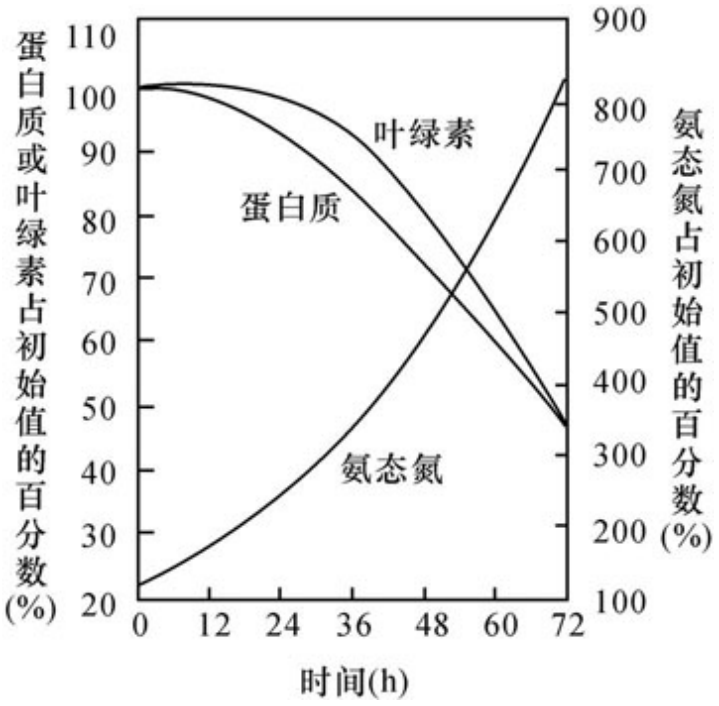


图3-3-6　离体叶片衰老过程中叶绿素、蛋白质和氨态氮的变化

（4）呼吸作用：叶片在衰老时呼吸速率下降，但下降速率比光合速率慢。衰老时，氧化磷酸化逐步解耦联，产生的ATP数量减少，细胞中合成反应所需的能量不足，这更促使衰老加剧。

（5）植物激素：植株在衰老时，促进生长的植物激素如细胞分裂素、生长素、赤霉素等含量减少，而诱导衰老和成熟的激素如脱落酸、乙烯等含量增加。

2．环境因素对衰老的影响

（1）光：适度的光照能延缓小麦、燕麦、菜豆、烟草等多种作物连体叶片或离体叶片的衰老。不同光质对衰老作用不同，红光能延缓衰老，远红光可消除红光的作用；短日照促进衰老，长日照延缓衰老。

（2）水分：干旱促使叶片衰老，水涝会导致缺O_2而引起根系坏死，最后使地上部衰老。

（3）矿质营养：营养亏缺会促进衰老，其中N、P、K、Ca、Mg的缺乏对衰老影响很大。

（4）气体：若O_2浓度过高，则会加速自由基形成，引发衰老。低浓度CO_2促进衰老，而高浓度CO_2（5%～10%）延缓衰老。

（5）不良环境条件：高温、低温、大气污染、病虫害等都不同程度地促进植物或器官的衰老。

（八）植物的器官的脱落

器官脱落之前，必须在叶柄或果柄的基部形成离层（图3-3-7），离层在叶面积达到最大之前已形成，器官脱落时，离层细胞或细胞壁溶解。生长素梯度学说认为叶片的脱落与离层两端的生长素相对含量有关，当远轴/近轴端的比值较高时，抑制脱落，当比值低时，促进脱落。用IAA处理四季豆叶片，在近轴端促进脱落，远轴端抑制脱落。此外，幼叶和幼果含有较多的生长素，不脱落，老叶老果生长素含量低，易脱落。远轴生长素含量高有利于营养物质向叶片运输。

二、植物的抗逆生理

逆境是指对植物生存与发育不利的各种环境因素的总称，如冰冻、低温、高温、干旱、盐渍、土壤过湿和病害等。植物对逆境的抵抗和忍耐能力叫植物的抗逆性，简称抗性。

（一）抗逆生理概论

1．植物在逆境下的生理生化变化

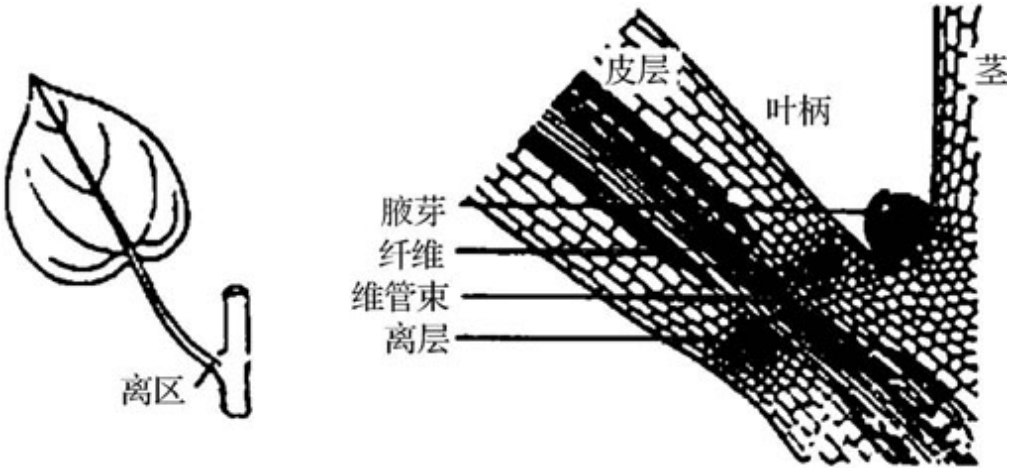


图3-3-7　双子叶植物叶柄基部离区结构示意图

逆境往往使细胞膜变性，细胞的区域化被打破，原生质的性质改变，叶绿体、线粒体等细胞器结构遭到破坏。各种逆境发生时，植物组织的含水量降低，光合作用呈下降趋势。逆境下植物的呼吸作用变化有三种类型：呼吸强度降低，呼吸强度先升高后降低和呼吸作用明显增强。冰冻、高温、盐渍和淹水胁迫时，植物的呼吸作用都逐渐降低；零上低温和干旱胁迫时，植物的呼吸作用先升高后降低；植物发生病害时，植物呼吸作用极显著地增强，且这种呼吸作用的增强与菌丝体本身呼吸无关。低温、高温、干旱、淹水胁迫等促进淀粉降解为葡萄糖等可溶性糖，促使蛋白质降解，可溶性氮增加。

2．抗性的方式

抗性是植物在对环境的逐步适应过程中形成的，植物可用多种方式来适应逆境：（1）避逆性。植物通过对生育周期的调整来避开逆境的干扰，在相对适宜的环境中完成其生活史，如夏季生长的短命植物。（2）御逆性。植物处于逆境时，植物体营造了适宜生活的内环境，免除了外部不利条件对其的危害。这类植物通常具有根系发达，吸水、吸肥能力强，物质运输阻力小，角质层较厚，还原性物质含量高，有机物质的合成快等特点，如仙人掌。（3）耐逆性。指植物处于不利环境时，通过代谢反应来阻止、降低或修复由逆境造成的损伤，使其仍保持正常的生理活动。例如植物遇到干旱或低温时，细胞内的渗透物质会增加，以提高细胞抗性。

3．渗透调节与抗逆性

多种逆境都会对植物产生水分胁迫。水分胁迫时植物体内积累各种有机和无机物质，以提高细胞液浓度，降低其渗透势，这样植物就可保持其体内水分，适应水分胁迫环境。这种由于提高细胞液浓度，降低渗透势而表现出的调节作用称为渗透调节。

渗透调节物质可分为两大类：外界进入细胞的无机离子和细胞内合成的有机物质，如脯氨酸、甜菜碱、可溶性糖等。脯氨酸是最重要和有效的有机渗透调节物质，几乎所有的逆境，都会造成植物体内脯氨酸的累积，尤其干旱胁迫时脯氨酸累积最多。

4．植物激素在抗逆性中的作用

逆境能够促使植物体内激素的含量和活性发生变化，并通过这些变化来影响生理过程。（1）脱落酸是一种胁迫激素，它在植物激素调节植物对逆境的适应中显得最为重要。ABA主要通过关闭气孔，保持组织内的水分平衡，增强根的透性，提高水的通导性等来增加植物的抗性。（2）乙烯与其他激素。植物在逆境下，体内逆境乙烯成几倍或几十倍的增加，当胁迫解除时恢复正常水平。当叶片缺水时，内源赤霉素活性迅速下降，抗冷性强的植物体内赤霉素的含量一般低于抗冷性弱的植物。

5．逆境蛋白

高温、低温、干旱、病原菌、化学物质、缺氧、紫外线等能诱导形成新的蛋白质（或酶），这些蛋白质统称为逆境蛋白，如热休克蛋白、低温诱导蛋白、病原相关蛋白、盐逆境蛋白等。逆境蛋白是在特定的环境条件下产生的，通常使植物增强对相应逆境的适应性。

（二）植物的抗逆性

植物对寒冷、干旱、水涝和盐碱等逆境具有一定限度的忍受能力，在对不良环境的适应过程中形成抗寒性、抗旱性、抗热性、抗涝性和抗盐性等抗性。

1．抗寒性

低温对植物的危害，按低温程度和受害情况，可分为冷害（零上低温）和冻害（零下低温）。

（1）冷害

冷害会引起膜透性增加，原生质流动减慢或停止。植株吸水能力和蒸腾速率都明显下降，根系吸水能力下降幅度更显著，水分代谢失调。光合速率减弱。呼吸速率大起大落，植物在刚受到冷害时，呼吸速率会比正常时还高，但时间较长以后，呼吸速率便大大降低。有机物分解占优势，多种生物大分子都减少，积累许多对细胞有毒害的中间产物。

提高植物抗冷性的措施：①低温锻炼。很多植物如预先给予适当的低温锻炼，而后即可抗御更低的温度。②化学诱导。细胞分裂素、脱落酸和一些植物生长调节剂及其他化学试剂可提高植物的抗冷性。③合理施肥。调节氮磷钾肥的比例，增加磷、钾肥比重能明显提高植物的抗冷性。

（2）冻害

冻害主要是冰晶的伤害。植物组织结冰可分为胞外结冰与胞内结冰。胞外结冰又叫胞间结冰，会引起植物原生质过度脱水，使蛋白质变性或原生质发生不可逆的凝胶化。冰晶会对细胞产生机械损伤。若遇温度骤然回升，冰晶迅速融化，细胞壁易于恢复原状，而原生质尚来不及吸水膨胀，有可能被撕裂损伤。胞内结冰对细胞的危害更为直接，因为冰晶形成以及融化时对质膜与细胞器以及整个细胞质产生破坏作用。胞内结冰常给植物带来致命的损伤。

在冬季来临之前，随着气温的逐渐降低，植株体内发生一系列适应低温的形态和生理生化变化，其抗寒力才能得到提高，称为抗寒锻炼。经过抗寒锻炼，植物在生理生化方面产生以下变化：①植株含水量下降。特别是自由水与束缚水的相对比值减小，有利于植物抗寒性的加强。②呼吸减弱。消耗的糖分少，有利于糖分积累，从而有利于对不良环境的抵抗。③激素变化。形成较多的脱落酸，并将其运到生长点（芽），抑制茎的伸长，而生长素与赤霉素的含量则减少。④生长停止，进入休眠。⑤保护物质增多。可溶性糖含量增加，细胞液的浓度增高，使冰点降低。脂类化合物集中在细胞质表层，细胞内还大量积累蛋白质、核酸等，使原生质贮藏许多物质，可提高其抗寒性。

2．抗旱性

陆生植物最常遭受的环境胁迫是缺水。旱害是指土壤水分缺乏或大气相对湿度过低对植物的危害。植物抵抗旱害的能力称为抗旱性。

干旱对植株最直观的影响是引起叶片、幼茎的萎蔫。萎蔫可分为暂时萎蔫和永久萎蔫，两者的根本差别在于前者只是叶肉细胞临时水分失调，而后者原生质发生了脱水。原生质脱水可改变膜的结构及透性，抑制合成代谢而加强了分解代谢，即干旱使合成酶活性降低或失活而使水解酶活性加强，同时导致机械性损伤，造成细胞死亡。

提高作物抗旱性的途径：①将植物处于一种致死量以下的干旱条件中经受抗旱锻炼，可提高其对干旱的适应能力。②合理施肥可使植物抗旱性提高。磷、钾肥能促进根系生长，提高保水力，氮素过多则对作物抗旱不利。凡是枝叶徒长的作物，蒸腾失水较多，易受旱害。③使用生长延缓剂与抗蒸腾剂。如脱落酸可使气孔关闭，减少蒸腾失水。矮壮素能增加细胞的保水能力。合理使用抗蒸腾剂也可降低蒸腾失水。

3．抗盐性

植物对盐分过多的适应能力称为抗盐性。由于高浓度的盐分降低了土壤水势，使植物不能吸水，甚至体内水分外渗，因而盐害通常表现为生理干旱。盐害主要是造成渗透胁迫，同时也伴随营养胁迫和有毒物质胁迫。不同植物对盐胁迫的适应方式不同：或排除盐分，或拒吸盐分，或把盐分隔离在液泡中等。植物在盐分过多时，生成脯氨酸、甜菜碱等以降低细胞水势，增加耐盐性。植物耐盐能力常随生育时期的不同而异，且对盐分的抵抗力有一个适应锻炼过程。种子在一定浓度的盐溶液中吸水膨胀，然后再播种萌发，可提高作物生育期的抗盐能力。另外，改良土壤，培育耐盐品种，洗盐灌溉等都是从农业生产的角度上抵抗盐害的重要措施。

4．抗涝性

淹水胁迫造成植物缺氧。植物适应淹水胁迫主要是通过形成通气组织以获得更多的氧气。缺氧刺激乙烯形成，乙烯促进纤维素酶活性，把皮层细胞壁溶解，形成通气组织。

【例题解析】

例1　植物的光周期习性往往与其原产地有关，因此在由北往南和由南往北引种短日植物新品种时，一般注意（　　）

A．分别选用早熟和晚熟品种

B．分别选用晚熟和早熟品种

C．均选用早熟品种

D．均选用晚熟品种

解析　植物成花的光周期理论在生产实践中的应用主要是指导引种。我国地处北半球，夏天越往南越是日短夜长，而越往北，越是日长夜短。在不同纬度地区之间引种时，要考虑品种的光周期特性是否适合引进地区的日照条件，否则会造成开花提前或推迟，而造成减产或颗粒无收的后果。

对于短日植物，从北方往南引种，生育期大大缩短，植株很小就开花（即提前开花），应引晚熟品种；而从南往北引，北方短日来得晚，生育期会延长，开花延迟，由于开花太晚，天气变冷，会造成结实不多，产量不高，应引早熟品种。对于长日植物，从北向南引种时，开花延迟，生育期变长，宜选早熟品种；而从南向北引种，应选晚熟品种。

答案　B

例2　某大豆品种的临界日长为15h，以下哪种方法经光周期性诱导后可使其开花（　　）

A．14h光照＋10h黑暗

B．13h光照＋11h黑暗并在暗期开始后3h处用红光中断15min

C．16h光照＋8h黑暗

D．8h光照＋16h黑暗并在暗期中间用白光中断15min

解析　大豆是短日植物，短日植物应该称为长夜植物，它的开花决定于暗期的长短，而不是决定于光期的长度，即只要暗期超过临界夜长，不管光期有多长，它就开花。某大豆品种的临界日长为15h，只要暗期超过9h，就能开花，所以C选项处理不能使大豆开花。假如在足以引起短日植物开花的暗期，在接近暗期中间的时候，被闪光所间断，短日植物就不能开花。间断暗期最有效的光是红光。所以，B、C选项处理也不能使大豆开花。

答案　A

例3　下面列出的哪个不是植物的感光受体（　　）

A．隐花色素

B．细胞色素c

C．光敏色素A

D．光敏色素B

解析　植物感受光的受体有3种：（1）光敏色素（有两种形式），感受红光和远红光区域的光；（2）隐花色素，感受蓝光和近紫外光区域的光。（3）UV-B受体，感受紫外光B区域的光。

细胞色素是含有铁卟啉基团的一类蛋白质。在氧化还原过程中起电子传递作用，电子传递链中至少有五种类型的细胞色素：a、a_3、b、c和c_1，它们不是感光的物质，也不是光受体。

答案　B

例4　光不足与叶片变黄的关系是（　　）

A．光不足对叶片变黄无影响

B．光不足延缓叶片变黄，特别是在高温下

C．光不足延缓叶片变黄，特别是在低温下

D．光不足加速叶片变黄，特别是在高温下

解析　叶片变黄的原因是叶绿素分解的速率大于其合成的速率，光是叶绿素合成的必要条件。在高温下叶绿素分解较快，所以在温度较高而光又不足时，叶片变黄会加快。

答案　D

例5　盐碱地土壤对非盐碱植物的危害主要是因为它导致植物（　　）

A．生理干旱

B．同化速度加快

C．呼吸作用增强

D．水分消耗过快

解析　海滨地区因土壤蒸发或者咸水灌溉，海水倒灌等因素，可使土壤表层的盐分升高到1%以上。盐的种类决定土壤的性质，若土壤中盐类以Na_2CO_3和$NaHCO_3$为主时，此土壤称为碱土；若以NaCl和Na_2SO_4等为主时，则称其为盐土。因盐土和碱土常混合在一起，盐土中常有一定量的碱土，故习惯上把这种土壤称为盐碱土。非盐碱植物在受到盐胁迫时会发生危害，主要表现在：①渗透胁迫。由于高浓度的盐分降低了土壤水势，使植物不能吸水，甚至体内水分外渗，因而盐害通常表现为生理干旱。②离子失调与单盐毒害。盐碱土中Na^+、Cl^-、Mg^{2+}、SO_4^{2-}等含量过高，会引起K^+、HPO_4^{2-}或NO^{3-}等离子的缺乏。Na^+浓度过高时，植物对K^+的吸收减少，同时也易发生磷和Ca^{2+}的缺乏症。植物对离子的不平衡吸收，不仅使植物发生营养失调，抑制了生长，而且还会产生单盐毒害作用。③膜透性改变。④生理代谢紊乱。

答案　A

【针对训练】

（一）单选题

1．春化作用感受低温的部位是（　　）

A．叶片

B叶鞘

C．茎尖生长点

D．根系

2．下列哪种植物开花不需经历低温春化作用（　　）

A．油菜

B．胡萝卜

C．天仙子

D．棉花

3．光周期刺激的感受部位是（　　）

A．叶片

B．顶芽

C．叶子和顶芽

D叶鞘

4．一般认为，光范型作用的光受体是（　　）

A．叶绿素

B．花色素

C．光敏素

D．类胡萝卜素

5．一植物只有在日长短于14h的情况下开花，该植物是（　　）

A．长日植物

B．短日植物

C．日中性植物

D．中日性植物

6．暗期中如给予光间断处理，则促进开花的是（　　）

A．LDP

B．SDP

C．DNP

D．LDP或DNP

7．下图所列为Ⅰ和Ⅱ两株植物的开花时间与日长关系的曲线，由此曲线可以判断（　　）

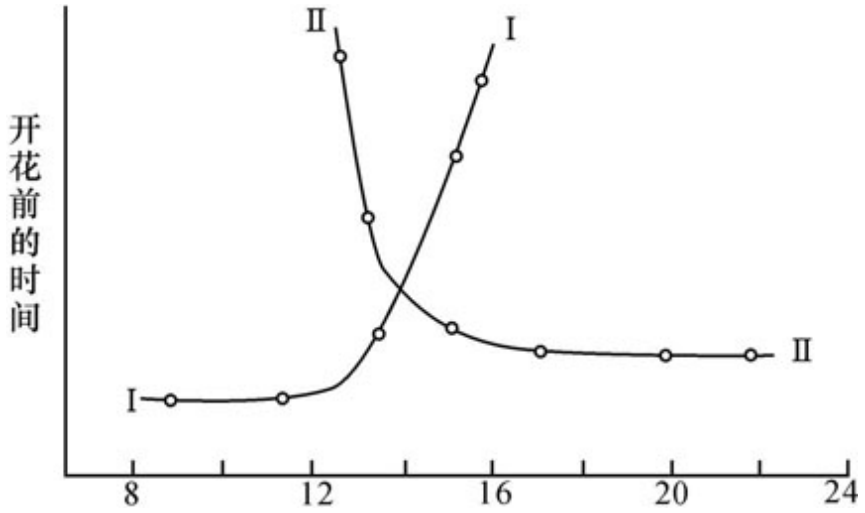
A．Ⅰ是短日植物，Ⅱ是长日植物

B．Ⅰ是长日植物，Ⅱ是短日植物

C．Ⅰ是短日植物，Ⅱ是日中性植物

D．Ⅰ是长日植物，Ⅱ是日中性植物

E．Ⅰ是日中性植物，Ⅱ是短日植物



8．用环割处理证明，光周期诱导产生的开花刺激物质向茎生长点运输的主要途径是（　　）

A．木质部

B．细胞间隙

C．韧皮部

D．薄壁细胞

9．经过适当光周期诱导过的短日植物，继续处于短日光周期下，雌雄花的比例是（　　）

A．雌雄花比例加大

B．雌雄花比例减少

C．雌雄花比例变化不大

10．若在光期中插入一短暂的暗期，对长日植物和短日植物的开花反应（　　）

A．对长日植物有影响，对短日植物没有影响

B．都有影响

C．对长日植物没有影响，对短日植物有影响

D．都没有什么影响

11．长日植物天仙子和短日植物烟草嫁接，在长日照或短日照条件下两者（　　）

A．都能开花

B．长日植物能开花

C．短日植物能开花
D．都不能开花
12．利用暗期间断抑制短日植物开花，选择下列哪种光最有效（　　）
A．红光
B．蓝紫光
C．远红光
D．绿光
13．除了光周期、温度和营养3个因素外，控制植物开花反应的另一个重要因素是（　　）
A．光合磷酸化的反应速率
B．有机物在体内的运输速率
C．植物的年龄
D．土壤溶液的酸碱度
14．菊花通常都在秋天开放，若打算使菊花提前开放，应采取哪种措施（　　）
A．增加灌溉
B．喷施IAA
C．提高栽培小区的温度
D．通过覆盖，缩短日照
15．将郁金香、风信子等植物的球茎放于冰箱冷藏一段时间后，再取出种植于温室土壤中，很快就会生长开花，与这种现象有关的是（　　）
A．光周期
B．光敏素
C．春化作用
D．光合作用
16．南麻北种通常可使麻秆生长较高，_____纤维产量和质量，种子_____（　　）
A．提高　能及时成熟
B．降低　能及时成熟
C．提高　不能及时成熟
D．降低　不能及时成熟
17．花粉壁中的识别蛋白是（　　）
A．糖蛋白
B．色素蛋白

C．脂蛋白
D．核蛋白
18．根据贮藏物质分类，90%以上的植物的种子是（　　）
A．油质的
B．蛋白质的
C．淀粉的
D．糖质的
19．在油料种子发育过程中，最先积累的贮藏物质是（　　）
A．油脂
B．脂肪酸
C．蛋白质
D．淀粉
20．如果某种植物器官呼吸时的氧气吸收量大于二氧化碳释放量，该器官最可能是（　　）
A．花生种子B．花生幼苗
C．水稻根
D．水稻叶
21．下列果实中，能发生呼吸骤变的有（　　）
A．梨
B．橙子
C．荔枝
D．菠萝
22．在果实呼吸骤变正要开始之前，果实内含量明显升高的植物激素是（　　）
A．IAA
B．GA
C．ETH
D．ABA
23．瓜类种子不可能在果实内萌发，是因为种子（　　）
A．受抑制物质影响
B．缺乏氧气
C．具后熟作用
D．胚尚未成熟
24．松树种子打破休眠常用哪种处理（　　）
A．加水
B．加温

C．低温
D．加湿
25．下列方法中，哪种组合能打破桃李等植物种子休眠（　　）
A．机械摩擦和温水浸种处理
B．机械摩擦和加H_2O_2处理
C．低温层积和加GA处理
D．曝晒加GA处理
26．在衰老的植物组织或器官中，蛋白质含量明显下降，其原因是（　　）
A．蛋白质周转速率降低
B．氨基酸的生物合成受阻
C．蛋白水解酶活性增加
D．土壤中氮素含量下降
27．下列哪组代谢变化能较正确地代表叶片衰老时所发生的生理变化（　　）
A．叶绿素含量减少，光合速率下降，蛋白质含量减少，可溶性碳水化合物含量增加
B．叶绿素含量减少，光合速率下降，蛋白质含量减少，可溶性碳水化合物含量减少
C．叶绿素含量减少，光合速率下降，蛋白质含量增加，可溶性碳水化合物含量增加
D．叶绿素含量减少，光合速率略增，蛋白质含量增加，可溶性碳水化合物略增
28．在衰老的植物或器官中，RNA含量显著下降，其原因是（　　）
A．DNA聚合酶活性下降
B．RNA聚合酶活性下降
C．核糖核酸酶活性升高
D．脱氧核糖核酸酶活性升高
29．落叶植物叶离层的产生是由于（　　）
A．气候逐渐变冷
B．日照逐渐变短
C．土壤中缺少水分
D．空气变干燥
30．与植物器官脱落关系最为密切的酶是（　　）
A．蛋白酶和肽酶

B．纤维素酶和果胶酶
C．淀粉酶和转化酶
D．IAA氧化酶和ATP酶
31．低温来临时，越冬作物体内的可溶性糖含量（　　）
A．增加
B．减少
C．保持不变
D．随条件变化
32．自然环境中有不少盐碱土，大部分在地势低洼、地下水位高的地区，以及滨海地区。过高的盐分对植物生长形成盐害，其中主要的阴离子是Cl^-，CO_3^{2-}和SO_4^{2-}，而最主要的阳离子则是（　　）
A．Na^+
B．Ca^{2+}
C．Mg^{2+}
D．K^+
33．在植物受旱情况下，细胞中的哪种物质含量显著提高（　　）
A．天冬氨酸
B．精氨酸
C．脯氨酸
D．谷氨酸
34．下列哪种激素是一种胁迫激素，它在植物激素调节植物对逆境的适应中显得最为重要（　　）
A．细胞分裂素
B．乙烯
C．茉莉酸甲脂
D．脱落酸
35．膜脂中什么在总脂肪酸中的相对比值，可作为衡量植物抗冷性的生理指标（　　）
A．脂肪酸链长
B．脂肪酸
C．不饱和脂肪酸
D．不饱和脂肪酸双键
36．胞内结冰直接引起植物受害的原因是（　　）
A．使原生质过度脱水
B．冰晶体对细胞的机械损伤

C．解冻过快对细胞的损伤
D．对质膜与细胞器以及整个细胞质产生破坏作用
37．高温的直接伤害是（　　）
A．蛋白质合成下降
B．高温下呼吸作用大于光合作用，植物发生饥饿
C．蛋白质变性
D．高温使氧气的溶解度减小，无氧呼吸所产生有毒物质
（二）多选题
38．小麦和菠菜是长日照植物，烟草和大豆是短日照植物，在长暗期中若给予适宜的光间断处理，可被促进开花的植物有（　　）
A．小麦
B．菠菜
C．烟草
D．大豆
39．某短日照植物于夜间施以下列短暂处理，箭头代表处理顺序，那么会抑制开花的处理顺序有（　　）
A．红光→远红光
B．红光→远红光→红光
C．白光→远红光
D．红光→远红光→白光
E．红光→远红光→白光→红光→白光
40．某长日照植物的临界夜长为9h，下列在24h周期的何种处理可防止开花（　　）
A．16h光照/8h黑暗
B．14h光照/10h黑暗
C．15.5h光照/8.5h黑暗
D．4h光照/8h黑暗/4h光照/8h黑暗
E．9h光照/2h黑暗/3h光照/10h黑暗
41．有些植物如桃树、杏树在春天开花时，叶子尚未生长出来，开花时期植株需要的能量供应不可能来自（　　）
A．春天植株从土壤中吸收的无机盐
B．春天植株从土壤中吸收的有机物
C．花瓣利用太阳能进行的光合作用
D．上一年贮存在植物体内的营养物质
42．下面是几种对小麦播种的处理，哪些处理在播种后植株能正常开花结实（　　）

A．冬前播种
B．春天播种
C．籽粒发芽后低温（0～5℃）处理后春天播种
D．籽粒低温（0～5℃）处理后春天播种
43．下列现象中，受光敏色素调节的反应是（　　）
A．种子萌发
B．花诱导
C．树木休眠
D．节间缩短
44．下面叙述中哪些是正确的（　　）
A．夏季的适度干旱可提高果树的C/N比，有利于花芽分化
B．小麦经过春化作用后，在任何日照下都能开花
C．在温带地区，秋季能开花的植物一般是短日植物
D．高等植物一般在个体发育后期才完成性别表达，其性别分化容易受环境因素或化学物质的影响
45．下列有关植物体产生离层构造的叙述中，何者正确（　　）
A．可形成于植物之叶片、花瓣、或果柄的基部
B．离层的构造不包括维管束组织
C．与植物体内细胞分裂素与脱落酸的形成相关
D．与植物体内生长素与乙烯的形成相关
E．与植物体内细胞分裂素与乙烯的形成相关
46．植物受到干旱胁迫时，会发生（　　）
A．呼吸解耦联
B．光合下降
C．叶片上出现坏死斑点
D．细胞脱水
47．以下哪些是植物抗病的途径（　　）
A．产生屏障结构或组织局部坏死
B．产生病原相关蛋白
C．产生病菌抑制物
D．提高膜的透性
48．冷害对植物的主要影响有（　　）
A．膜通透性加大
B．水分平衡失调
C．光合速率下降
D．活性氧产生增多

49．下列哪些环境胁迫会造成生理干旱（　　）

A．盐渍

B．低温

C．水涝

D．重金属

50．下列哪些叙述是植物遭受虫害时，可能有的反应或补救措施（　　）

A．受伤叶片组织周围的细胞产生木栓质，形成死的木栓细胞堵住伤口，防止微生物入侵

B．受伤叶片可释出挥发性物质，警告周围植物个体

C．若植物分枝顶端的生长点遭破坏，则植物会因无法防御而死亡

D．受伤的组织若靠近分生组织区，则分生区的细胞可协助受伤细胞进行修补，再恢复功能

【参考答案】

（一）单选题

1．C　2．D　3．A　4．C　5．B　6．A　7．A　8．C　9．A　10．D　11．A　12．A　13．C　14．D　15．C　16．C　17．A　18．A　19．D　20．A　21．A　22．C　23．A　24．C　25．C　26．C　27．A　28．C　29．B　30．B　31．A　32．A　33．C　34．D　35．C　36．D　37．C

（二）多选题

38．AB　39．BDE　40．BE　41．ABC　42．AC　43．ABC　44．ACD　45．AD　46．ABD　47．ABC　48．ABCD　49．ABCD　50．AB

第4讲　动物的消化、呼吸、循环、排泄系统

（省教育厅教研室　周初霞　　诸暨中学　赵文浪）

【知识梳理】

一、消化系统

动物、真菌和大多数细菌都是异养生物，必须从外界摄取有机物如多糖、脂肪和蛋白质等，这些有机物都是大分子，不能通过生物

膜，所以要通过消化系统把它们分解成小分子物质才能通过生物膜被细胞所利用。

（一）食物的营养成分

组成食物的营养成分分为糖类、脂类、蛋白质、维生素、无机盐和水六大类。其中蛋白质、水、脂类等是构成机体的重要原料；糖类、脂类、蛋白质等有机物是机体生命活动的能源物质；维生素和无机盐对生命活动起调节作用。

（二）动物对食物的消化和吸收

1．动物消化方式和消化系统的进化

单细胞原生动物的消化方式是细胞内消化；二胚层腔肠动物开始出现细胞外消化，但食物在胃水管内消化很不完全，仍以细胞内消化为主；扁形动物（涡虫）以细胞外消化为主，出现了最原始的消化系统，但很不完善，有口无肛门；蚯蚓、昆虫和其他高等动物都是细胞外消化，有完善的消化系统，即有口有肛门。

2．高等动物和人体消化系统的组成

高等动物和人体的消化系统分为消化道和消化腺两部分。

消化道一般分为口腔、咽、食道、胃、小肠（十二指肠、空肠和回肠）、大肠（盲肠、结肠和直肠）和肛门。消化腺分为两类：管外腺（包括三对唾液腺、胰腺、肝脏）和管内腺（包括胃腺、肠腺等）。其中，肝脏是体内最大的消化腺，具有分泌胆汁、参与物质代谢、参与血细胞生成和破坏、解毒、产生体热等作用。

3．消化液的成分功能

（1）唾液：唾液是唾液腺分泌的无色近中性（pH为6.6～7.1）的液体。正常成人每日分泌量1～1.5L。唾液含有99%的水，还有唾液淀粉酶、黏蛋白、溶菌酶及少量的Na^+、K^+、Cl^-等。唾液的作用：①湿润和溶解食物，使之容易吞咽及引起味觉；②唾液淀粉酶可将淀粉分解为麦芽糖；③清洁保护口腔。溶菌酶有一定的杀菌作用。

（2）胃液：胃液是胃腺和胃黏膜上皮细胞分泌的无色、强酸性（pH为0.9～1.5）的液体。正常成人每日分泌量约1.5～2.5L。胃液有大量水分、盐酸、胃蛋白酶、黏液、内因子和Na^+、K^+、Cl^-等。

①盐酸：盐酸由胃底腺的壁细胞分泌，通常称为胃酸。盐酸的作用：激活胃蛋白酶原，提供适宜胃蛋白酶活动的酸性环境；使食物中的蛋白质变性，容易被水解；有杀菌作用；进入小肠后，可促进胰液、胆汁、小肠液的分泌，并有利于小肠对铁、钙的吸收。

②胃黏膜：有防止H^+从胃腔侵入黏膜内，又能防止Na^+从黏膜内透出的作用，称为胃黏膜屏障。胃黏膜屏障的存在，使胃黏膜与胃腔之

间维持着悬殊的H^+浓度差。这样既能保持胃腔内盐酸有一定浓度，又能防止盐酸侵蚀胃黏膜，具有胃的自身保护作用。

③胃蛋白酶：由胃底腺主细胞分泌出来的是无活性的胃蛋白酶原，它在盐酸的激活下成为胃蛋白酶。已被激活的胃蛋白酶也可激活胃蛋白酶原。胃蛋白酶在强酸环境中能使蛋白质水解为眎、胨和少量多肽、氨基酸。

④黏液：是由胃腺黏液细胞和胃黏膜上皮细胞共同分泌的，其主要成分是黏液蛋白。黏液蛋白具有较高的黏滞性和形成凝胶的特性，分泌后覆盖在胃黏膜表面，形成一凝胶保护层，具有润滑食物和防止粗糙食物对胃黏膜的机械性损伤，还可降低H^+在黏液层中的扩散速度。

⑤内因子：内因子由胃底腺的壁细胞分泌，它能够与维生素B_{12}结合成复合物，使之不受破坏，并促进其吸收。因此，缺乏内因子时，会导致巨幼红细胞性贫血。

（3）胰液：胰液是胰腺分泌的无色、碱性（pH为7.8～8.4）的液体，正常成人每日分泌1～2L。胰液中含水、碳酸氢盐和多种消化酶及Cl^-、Na^+、K^+等。

①碳酸氢盐：有中和进入十二指肠的胃酸，保护肠黏膜免受胃酸侵蚀的作用，还能形成适宜于小肠内多种消化酶活动的pH环境。

②胰淀粉酶：催化效率高，可将淀粉分解成麦芽糖和葡萄糖。

③胰脂肪酶：催化脂肪分解成甘油和脂肪酸。

④胰蛋白酶和糜蛋白酶：这两种酶刚分泌出来为无活性的酶原。胰蛋白酶原受酸、肠激酶及胰蛋白酶激活；糜蛋白酶原受蛋白酶的激活。胰蛋白酶和糜蛋白酶均可以催化蛋白质分解成眎、胨。两种酶共同作用，可以将蛋白质分解成多肽和氨基酸。

胰液含的消化酶种类多且较全面，是消化力最强的消化液。若胰液分泌过少或缺乏，将出现消化不良，食物中的脂肪和蛋白质不能被完全消化和吸收。

（4）胆汁：胆汁是肝细胞分泌的，不含消化酶的消化液。肝细胞分泌的胆汁往往贮存在胆囊中，进食后，胆囊收缩将胆汁排入十二指肠。

胆汁的成分：浓稠有苦味、有颜色的液体，颜色决定于胆色素的种类和浓度。肝胆汁为金黄或橘黄色，呈弱碱性（pH约为7.4）。胆囊胆汁因部分水分和碳酸氢盐被胆囊吸收而被浓缩，颜色较深，pH约为6.8。胆汁主要含胆色素、胆盐、胆固醇、卵磷脂及多种无机盐。

胆汁的作用：与消化、吸收有关的成分主要是胆盐。胆盐是各种结合胆酸形成的钠盐的总称。胆盐的作用：一定量的胆盐能提高胰脂肪酶的活性，加速其对脂肪的分解作用；使脂肪乳化成极小的微粒，增加脂肪与脂肪酶的接触面，利于消化；胆汁中的卵磷脂、胆固醇也有相同的作用；胆盐可以与脂肪酸结合形成水溶性复合物，促进脂肪酸的吸收，同时也促进脂溶性维生素的吸收。

肝脏、胆道患病者，胆汁分泌减少或排放受阻，会出现脂肪的消化和吸收不良，以及脂溶性维生素吸收障碍。

（5）小肠液：小肠液是弱碱性（pH约7.6）液体，成人每日分泌约1～3L。小肠液中除肠激酶外，还有淀粉酶、肠肽酶、二糖酶（包括麦芽糖酶、蔗糖酶和乳糖酶），它们分别将淀粉水解为麦芽糖，多肽水解为氨基酸，二糖水解为单糖。有人认为除肠激酶是小肠分泌的之外，其他消化酶均是由小肠上皮细胞脱落破裂进入小肠液。此外，大量的小肠液能使消化产物稀释，有利于小肠黏膜的吸收。

（6）大肠液及细菌的作用

大肠黏膜的柱状上皮细胞和林状细胞分泌大肠液。大肠液富含黏液和碳酸氢盐，呈碱性（pH为8.3～8.4），具有润滑粪便、保护黏膜的作用。

大肠内的细菌还能利用肠道内某些简单物质合成B族维生素与维生素K，可被人体吸收。因此，长期使用肠道抗菌药时，要注意补充上述维生素。

4．消化液分泌的调节

（1）胃液分泌的调节（图3-4-1）：一般根据感受食物刺激的部位分成三个时期，即头期、胃期、肠期，这三个时期几乎是同时开始，互相重叠的。头期胃液分泌：头期胃液分泌的传入冲动均来自头部感受器（眼、耳、鼻、口腔、咽、食管）。头期胃液分泌是和食物有关的形象、气味、声音等刺激了视、嗅、听、等感受器而引起的；当咀嚼和吞咽食物时，食物刺激了口腔和咽喉等处的化学和机械感受器。反射中枢包括延髓、下丘脑、边缘叶和大脑皮层等。迷走神经是这些反射共同的传出神经。胃期胃液分泌：食物入胃后，对胃产生的机械性和化学性刺激，继续引起胃液的分泌，其主要途径为：①扩张刺激胃底、胃体部的感受器，通过迷走—迷走神经的长反射和壁内神经丛的短反射，直接或间接通过胃泌素引起胃腺分泌；②扩张刺激胃幽门部，通过壁内神经丛，作用于G细胞引起胃泌素的释放；③食物的化学成分直接作用于G细胞，引起胃泌素的释放。肠期胃液分泌：食物离开胃进入小肠后，还有继续刺激胃液分泌的作用。

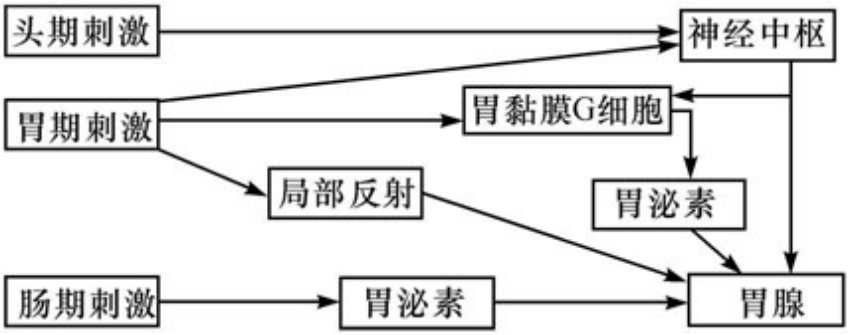


图3-4-1　胃液分泌调节示意图

（2）胰液分泌的调节（图3-4-2）

在消化间期，胰液分泌很少，进食可引起胰液大量分泌。进食时胰液的分泌受神经和体液调节。也可分为头期、胃期和肠期。

①神经调节：食物的形象、气味，食物对口腔、食管、胃和小肠的刺激，都可通过神经反射（包括条件反射和非条件反射）引起胰液分泌。反射的传出神经主要是迷走神经。迷走神经兴奋引起的胰液分泌的特点是：水分和碳酸氢盐含量很少，而酶的含量很丰富。

②体液调节：主要是胰泌素和胆囊收缩素。胰泌素由小肠黏膜内的S细胞分泌，盐酸是引起胰泌素释放的最强的刺激因素。胰泌素主要作用于胰腺小导管的上皮细胞，使其分泌水分和碳酸氢盐，因而使胰液量大为增加，而酶的含量不高。胆囊收缩素由小肠黏膜中Ⅰ细胞释放，引起其释放的因素由强到弱为：蛋白质分解产物、脂肪酸、盐酸、脂肪，糖类没有作用。胆囊收缩素的作用是促进胰腺细胞分泌消化酶和胆囊平滑肌收缩。

5．食物的消化

消化是指食物通过消化管的运动和其在消化液的作用下被分解为可吸收成分的过程。消化的过程分为机械性消化和化学性消化。化学性消化是在消化液中各种消化酶的作用下把蛋白质、脂类和糖类等高分子物质分解成结构简单、能被吸收的小分子物质的过程。小肠是消化的主要场所，因为小肠是消化管中最长的部分，食物停留时间长；小肠黏膜有褶、绒毛和微绒毛使小肠内壁的消化面积大大增加；肠腔中含有的消化液、消化酶种类数量最多，使食物进行彻底的化学性消化。有些动物的胃、肠有盲管（如鱼的幽门盲囊），其作用也是增加吸收面积；低等鱼类和鲨鱼的肠壁内面有螺旋状的瓣膜（图3-4-3），不但使食物停留时间长，而且接触面积也大。由于食性的不同，与此相适应各种动物的消化器官也有不同，如草食动物与消化吸收纤维素相适应，牛、羊等反刍动物拥有独特的胃（图3-4-4），分瘤胃、网

胃、瓣胃和皱胃四室，其中皱胃才是真正的胃，能分泌胃液水解食物；瘤胃最大；瘤胃和网胃中有多种共生的细菌和原生动物等帮助消化纤维素。“沙漠之舟”骆驼只有瘤胃、网胃和皱胃，瓣胃特化成了二三十个水囊。马、兔等动物的大盲肠中有多种共生的细菌和原生动物等，帮助消化纤维素。盲肠最早在爬行类中出现，人类的盲肠已退化。

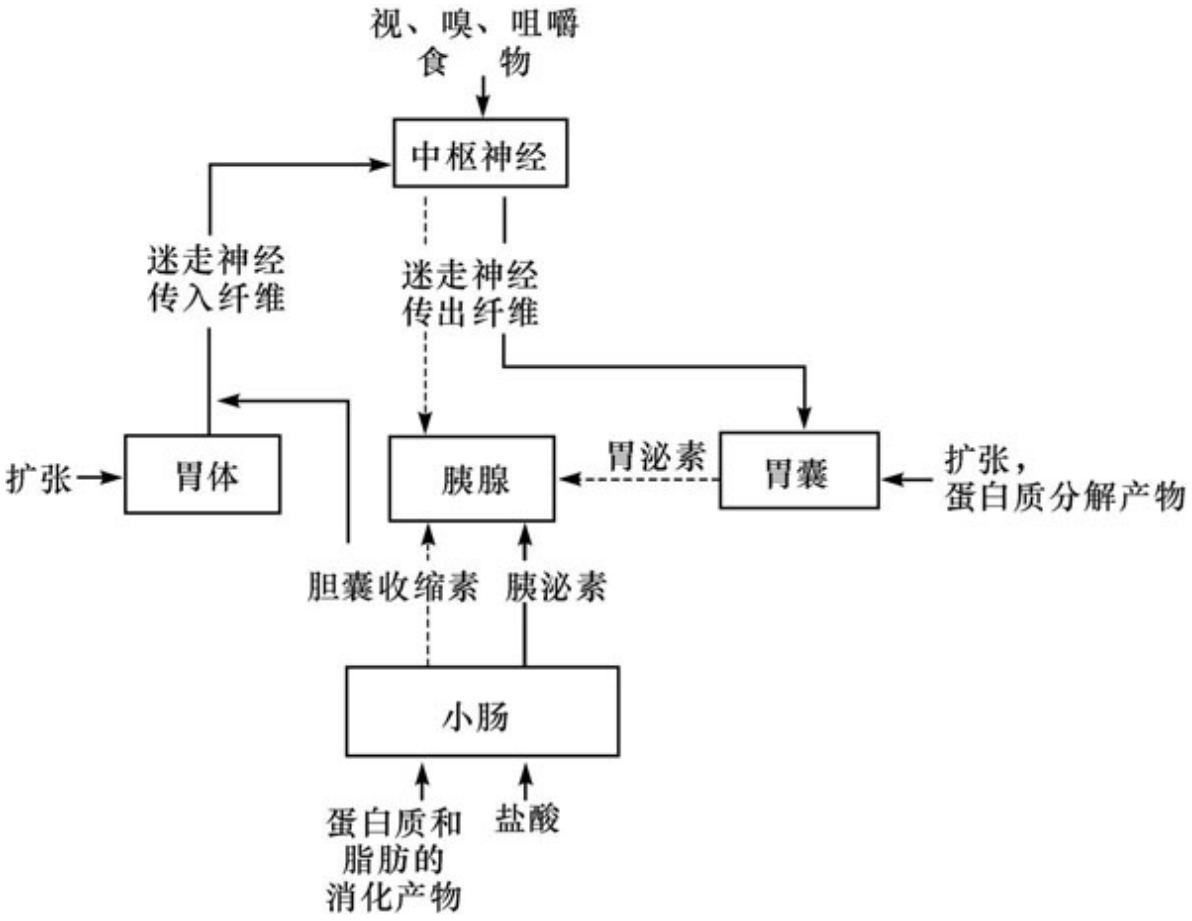


图3-4-2　胰液分泌的神经体液调节

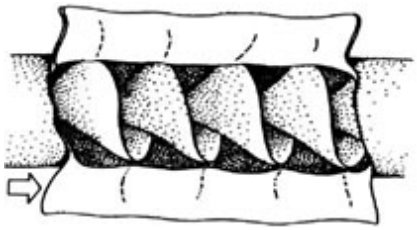


图3-4-3　鲨肠内壁上的螺旋瓣

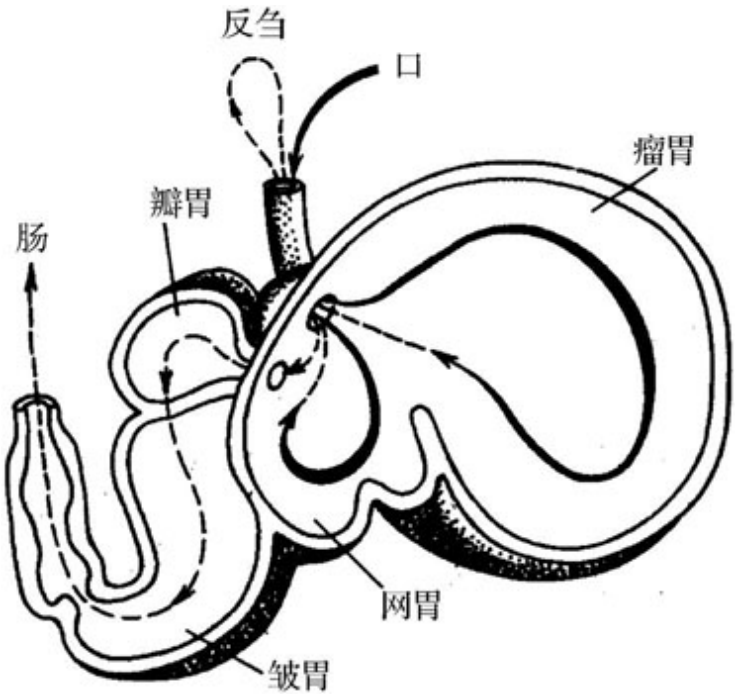


图3-4-4　反刍动物的胃

6．营养物质的吸收

各种营养物质的消化产物以及水、无机盐和维生素等，通过消化管壁黏膜上皮细胞进入血液和淋巴的过程叫做吸收。由于小肠黏膜表面积大，小肠壁薄，只由一层上皮细胞构成，绒毛内又含有丰富的毛细血管和毛细淋巴管，所以小肠是营养物质吸收的主要部位。胃只能吸收少量酒精和水分，大肠能吸收水、无机盐和部分维生素。小肠上皮细胞吸收营养物质时，水、甘油、胆固醇等是通过渗透、扩散等作用来吸收的，葡萄糖、氨基酸、无机盐离子等是通过主动运输来吸收的。甘油和脂肪酸被吸收到小肠上皮细胞后重新合成脂肪，再外包卵磷脂和蛋白质形成的膜，形成乳糜微粒。脂肪的主要转运途径是淋巴，经淋巴转入血液，其余营养物质的转运途径是通过血液循环。

二、呼吸系统

动物的异化作用主要通过呼吸作用来完成。有氧呼吸使得异化作用的效率更高。学习动物的呼吸系统，应把握动物体的组织细胞是如何获得氧气和排出代谢废物二氧化碳的。

呼吸是机体与外界环境之间进行气体交换的过程，主要是机体从外界吸入氧气和从机体内呼出二氧化碳的过程。细胞进行气体交换的共同特点是在湿润的膜表面进行扩散。单细胞生物通过体表与外界进

行气体交换。伴随动物的进化，出现了复杂的呼吸器官，并形成一套完整的呼吸系统。

（一）无脊椎动物的呼吸系统

涡虫和蚯蚓用皮肤呼吸，皮肤有分泌黏液保持湿润的能力。较高等的无脊椎动物已具有呼吸器官（最早出现专职的呼吸器官的动物是软体动物），往往由表皮的一部分转变而成。如沙蚕的肉足、河蚌的鳃（肉足和鳃都是由表皮外突而成，其中有很丰富的血液供应）、蜘蛛的书肺（腹部体表内陷而成的小囊，内有并列的小叶成书页状）、鲎的书鳃（与书肺是同源器官）、海参的呼吸树、蜻蜓的稚虫的“直肠鳃”、昆虫的气管等。节肢动物不依靠血液而依靠气管将空气直接送到组织，这是对陆生环境的高度适应。

（二）脊椎动物的呼吸系统

脊椎动物的呼吸器官都是由消化管的前端发展而成的，除鱼类外，都是用肺呼吸，少数无脊椎动物（蜗牛、淡水的椎实螺）也是用“肺”进行气体交换，但它们的肺其实是外套腔，与脊椎动物的肺不是同源器官，而是同功器官。

1．鱼类：大多用鳃（图3-4-5）呼吸。鳃的特征：（1）表面积很大；（2）有丰富的血液流过；（3）逆流交换气体（图3-4-6）。少数鱼类（肺鱼、总鳍鱼）也用肺呼吸，但其肺只是消化管向腹面伸出的一个气囊。

2．两栖动物：幼体营鳃呼吸，变态后，内鳃消失，用肺呼吸。其肺是一对中空半透明、富有弹性的薄壁囊状结构，肺内被网状隔膜分隔成小室，称为肺泡。两栖动物的肺结构还比较简单，需要辅助呼吸器官——皮肤来协助。两栖动物的呼吸运动称口咽式呼吸（主要是“正压”通气），依靠口腔底部的升降来完成，并由口腔黏膜进行气体交换。

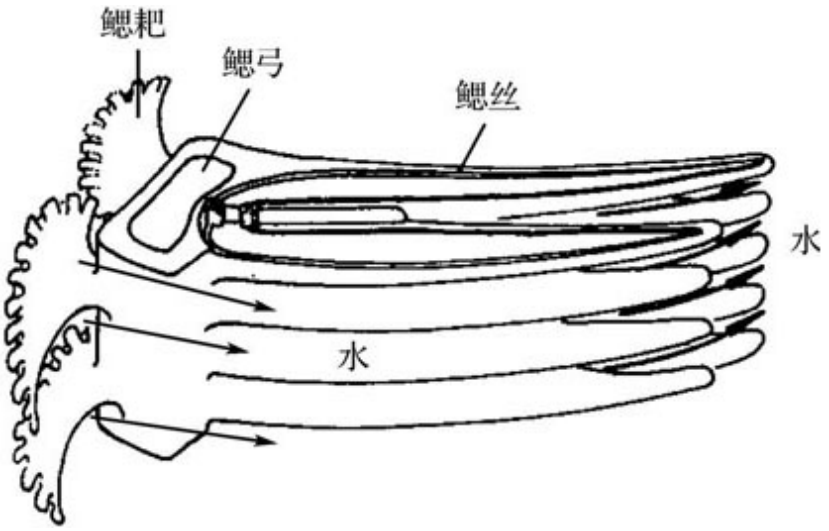


图3-4-5　鱼鳃的结构

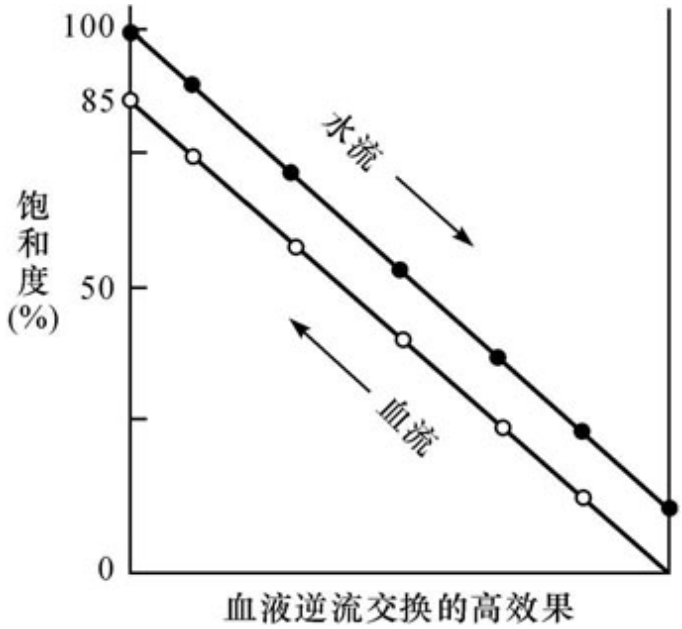


图3-4-6　血液逆流交换

3．爬行动物：其肺形同两栖类，也是囊状的，但内部具有更复杂的间隔，使之分隔成无数蜂窝状小室，并分布着极其丰富的肺动脉和肺静脉的微血管，因而比两栖动物能更有效地扩大与空气接触及交换气体的表面积。

4．鸟类：呼吸系统高度特化，具有非常发达的气囊系统与肺气管相通连。气囊的存在，使鸟类产生独特的呼吸方式——双重呼吸。鸟肺的相对体积较小，是一种海绵状的结构，主要由大量的细支气管组成，其中分支最细的称为三级支气管，在三级支气管周围有放射状排

列的微气管，其外分布有众多的毛细血管，气体交换即在此处进行，它是鸟肺的功能单位。

鸟类吸气时，新鲜空气沿中支气管大部直接进入后气囊，同时，一部分气体经次级支气管和三级支气管，在肺内微气管处进行气体交换。吸气时前后气囊同时扩张，呼气时同时压缩。当鸟类呼气时，肺内含二氧化碳多的气体经由前气囊再排出。此时后胸气囊中所贮存的气体经由“返回支”进行气体交换，再经前气囊、气管而排出。一股吸入的空气要经过两次呼吸运动才排出体外，但作为鸟类的连续呼吸过程，每一次吸气及呼气，肺内总是有连续不断的富含氧气的气体通过，这与其他脊椎动物不同。与同样大小的哺乳动物比较，鸟类的肺容积小，但由于有气囊和较大的气管，鸟类整个呼吸系统的容积却比哺乳动物大三倍。

5．哺乳动物：哺乳类的呼吸系统十分发达，空气经外鼻孔、鼻腔咽、喉、气管而入肺。

（1）人体呼吸系统的结构特点

鼻腔→咽→喉→气管→支气管→细支气管→呼吸细支气→肺泡管→肺泡

呼吸道（气体通道）　　肺（气体交换的场所）

①鼻腔：最早是嗅觉器官；其内的毛细血管有温暖冷空气的作用。

②肺泡与气体交换相适应的特点：①肺泡壁薄，由一层上皮细胞构成；②数目多，气体交换面积大；③外缠丰富的毛细血管和弹性纤维（呼气时回缩）。

③呼吸膜（图3-4-7）及表面活性物质：肺泡与毛细血管之间的气体交换是通过呼吸膜来实现的，呼吸膜由毛细血管的内皮层、基膜层、间隙、肺泡上皮层、液体层和表面活性物质层所构成。表面活性物质是由肺泡的 II 型细胞分泌的，主要成分是二棕榈酰卵磷脂，能降低肺泡表面张力，维持细胞的容积，避免肺水肿。

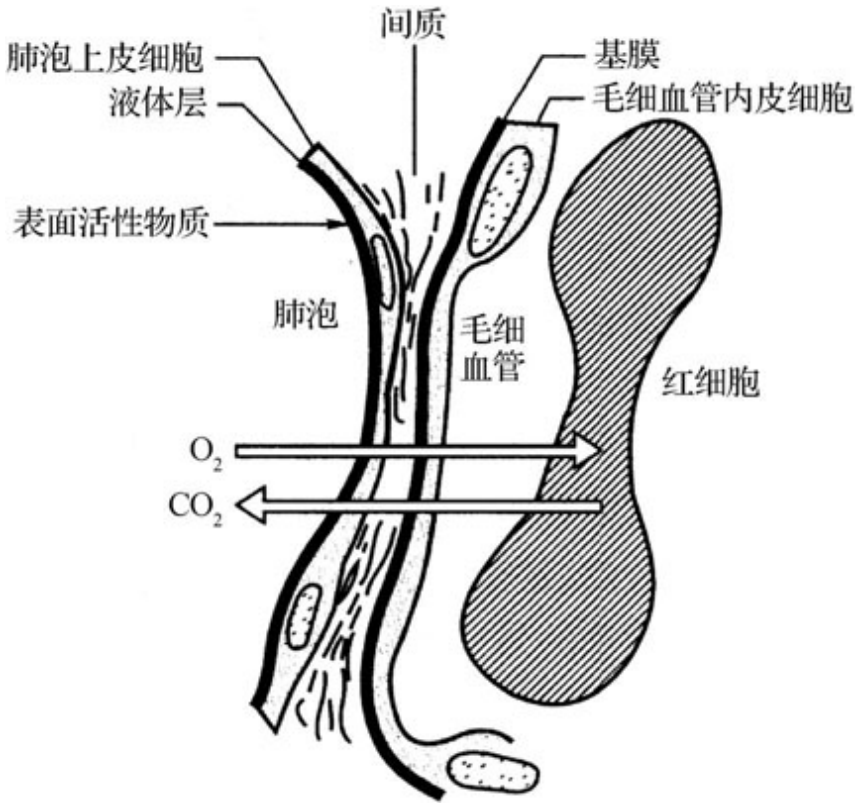
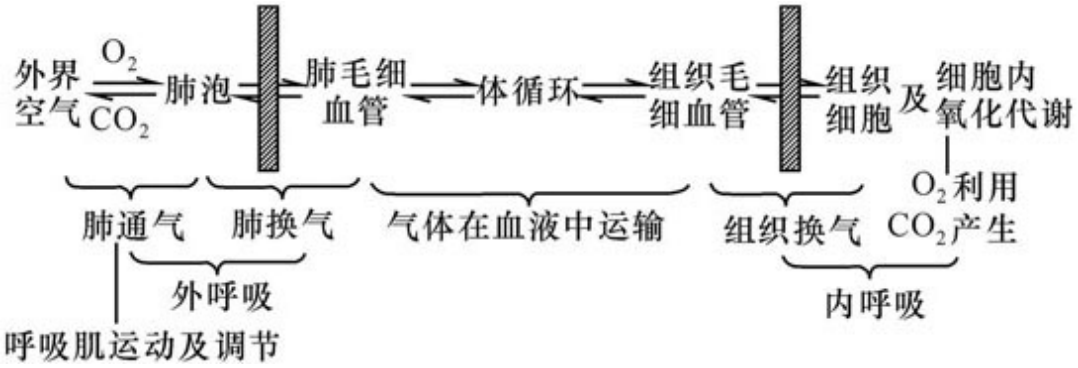


图3-4-7　呼吸膜示意图

（2）呼吸的全过程：包括外呼吸、气体在血液中的运输、内呼吸这三个相互联系的环节。



①呼吸运动——胸廓在呼吸肌的参与下节律性地扩大和缩小，是肺通气的原动力。平静呼吸过程中，吸气时，膈肌和肋间外肌收缩→胸廓的上下、左右、前后径增大→胸腔和肺容积增大→肺内压下降→肺泡与大气压间产生压力差→气体入肺；呼气时，膈肌和肋间外肌弛缓→肺弹性回缩→胸腔和容积减小→肺内压升高→气体出肺。平静呼吸时，吸气是主动的而呼气是被动的。深呼吸过程中，用力吸气时，不仅膈肌和肋间外肌的收缩加强，且斜纹肌、胸锁乳突肌等呼吸辅助肌

也参加收缩，使胸廓的扩大程度大大增加；用力呼气（主动呼气）时，除膈肌和肋间外肌松弛外，呼气肌（腹壁肌和肋间内肌）也参与收缩，使胸廓容积进一步缩小，以增大呼气量。

在呼吸运动中肋骨、胸骨和膈的运动是协同的。主要由肋骨和胸骨运动产生的呼吸运动称胸式呼吸；主要由膈肌舒缩引起的呼吸运动则称腹式呼吸。人的呼吸类型是混合型呼吸（70%肺容变化是腹式呼吸）。

②肺内压和胸内负压：a．肺内压指肺泡内的压力。肺与外界空气借呼吸道而相通，故肺内压应与外界大气压相等。但在呼吸运动的周期中，气体之所以能进出肺泡，是因肺泡与外界空气间存在可变的压力差。在吸气之初，肺容积随肺扩张而加大，肺内压低于大气压，使外界气体进入肺内，到吸气末，肺泡内压力又恢复到与大气压相等；呼气之初，肺内压随肺容积减小而升高，超过大气压而使肺内气体排出体外，在呼气末，又回降到与大气压相等。b．胸内压为胸膜腔内的压力，因其低于大气压称为胸内负压，是肺的回缩力所造成的。胸内压＝肺内压－肺的回缩力。肺的回缩力是由肺泡壁弹性纤维回缩力与肺泡表面张力所造成的回缩力共同构成的，以后者为主。胸内负压的生理意义在于：一方面可以使肺保持稳定的扩张状态而不致萎陷；另一方面可作用于胸腔内的心脏促进大静脉中的血液的回流和淋巴液的回流。

③肺容量——肺容纳的气体量，可分以下几个组成部分（图3-4-8）：

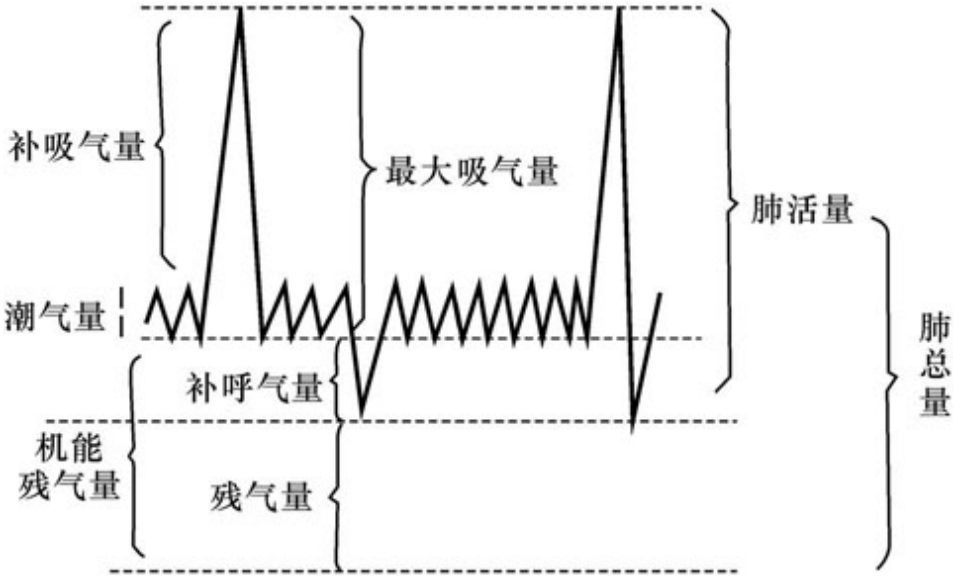


图3-4-8　肺总量的各部分

潮气量：平静呼吸时，每次吸入和呼出的气体量。

补吸气量：在平静呼吸之后再尽力深吸气，所能吸入的气体量。

补呼气量：在平静呼吸之后再尽力深呼气，所能呼出的气体量。

肺活量：最大深吸气后，再尽力深呼气，所能呼出的气体量。肺活量＝潮气量＋补吸气量＋补呼气量

④肺通气量

每分通气量：每分钟吸入和呼出的气体量。每分通气量＝潮气量×呼吸频率（次/min）。

肺泡通气量：肺泡通气量＝（潮气量－无效腔气量）×呼吸频率。进入肺泡的气体不能与血液进行气体交换的无效腔称肺泡无效腔，解剖无效腔与肺泡无效腔合称生理无效腔。由于无效腔的存在，每次吸入的空气并不全部进入肺泡，所以低频深呼吸效果更好。

⑤气体在血液中的运输：O_2与血红蛋白结合，以氧合血红蛋白的形式运输；CO_2主要（75%）以HCO_3^-形式运输，少量（20%）以氨甲酰血红蛋白形式运输。

（3）呼吸的调节：呼吸运动与心脏活动相似，都能有节奏地、日夜不停地活动。呼吸运动受神经系统和体液的共同协调。

①神经调节：延髓存在控制节律性呼吸的基本中枢，脑桥存在呼吸调整中枢和长吸中枢，大脑皮层存在随意呼吸控制中枢。

②体液调节

二氧化碳对呼吸的影响：CO_2是促进呼吸的生理性刺激因素，是调节呼吸运动的最重要的体液因素。CO_2主要通过中枢化学感受器对呼吸运动起调节作用。临床上给病人输氧时，往往采用含5%的CO_2混合气体，以达到刺激呼吸中枢的目的，但CO_2浓度过高会对中枢神经系统产生毒性作用。

缺氧对呼吸的影响：缺氧对呼吸的影响是通过外周化学感受器（主动脉体和颈动脉体）而实现。缺氧对呼吸中枢的直接作用是抑制，但在外周化学感受器存在的情况下，能随缺氧程度的增加发放更多的冲动，推动并维持呼吸中枢的兴奋活动，因此，缺氧时外周化学感受器引起的呼吸反射，是机体一种重要的保护机制。

氢离子对呼吸的影响：H^+是外周化学感受器的有效刺激物。用酸性溶液灌流颈动脉体，可反射性引起呼吸加强，通气量增大；相反，碱性溶液灌流则抑制呼吸。

在以上三个因素中，保持其中两个不变，只改变其中一个因素，则缺氧对呼吸的影响最小，CO_2作用最大；在多种因素变化的条件下，在同一时间里对呼吸的影响是复杂的。

三、循环系统

血液循环的主要功能是完成体内物质运输，使新陈代谢能不断进行。体内各内分泌腺分泌的激素，通过血液运输，实现机体的体液调节；机体内环境的相对稳定和血液防卫功能的实现，也都有赖于血液的不断循环流动。

（一）动物循环系统的进化过程

1．无脊椎动物的血液循环系统：特点是呼吸色素在血浆中，不在红细胞中。

（1）纽虫的循环系统是最早的循环系统，闭管式，无心脏，血管能收缩，但方向不确定。

（2）蚯蚓等环节动物的循环系统是真正的“循环系统”，闭管式，血液按一定方向流动。

（3）软体动物和节肢动物的循环系统是“开放式”的。

2．脊椎动物的血液循环系统：都是由心脏、血管和血液构成，特点是血红蛋白在红细胞中，血浆无色。鱼类的心脏由静脉窦、心房、心室和动脉锥构成，单循环；两栖类心脏比鱼类进化，心房由纵隔分开，不完全的双循环；爬行类的心室也出现纵隔，但不完全（除鳄类只有一个潘氏孔），静脉窦已大大退化；鸟类和哺乳类心房和心室已完全隔开，静脉窦已退化成窦房结，完全双循环。

（二）人的血液循环系统

由血管（动脉、静脉和毛细血管）、血液（血细胞和血浆）和心脏组成。

1．血型与输血原则

（1）人类的血型：人类红细胞膜上存在不同的特异糖蛋白抗原，称为凝集原，而血浆中存在着能与红细胞膜上相应凝集原发生反应的抗体，称为凝集素。如果将含有不同凝集原的血混合，将会发生红细胞聚集成簇，同时伴有溶血发生，这种现象称为红细胞凝集。

目前已知人类红细胞膜上至少存在30种不同的抗原，这些抗原中对人类最重要的是ABO血型和Rh血型系统。

①ABO血型：ABO血型系统由红细胞膜上的凝集原A和凝集原B决定，这两种凝集原可组合为4种血型。

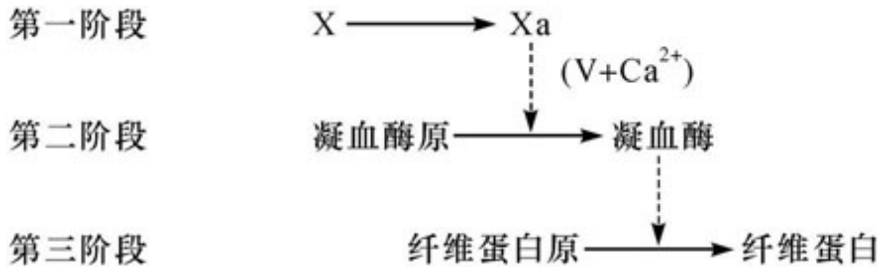
血型	红细胞抗原(凝集原)	血浆中抗体(凝集素)
A	A	抗 B
B	B	抗 A
AB	AB	无抗 A 或抗 B
O	无 A 和 B	抗 A 和抗 B

②Rh血型：大部分人的红细胞膜上存在具有与恒河猴红细胞膜上相同抗原，称为Rh因子。根据红细胞膜上Rh因子建立的血型系统称为Rh血型系统。目前发现至少存在8种不同类型的Rh因子，D因子的抗原性最强，因此通常将红细胞膜上含有D抗原的，称为Rh阳性；反之为Rh阴性。Rh血型系统与ABO血型系统不同，Rh阴性个体血浆中不存在天然的抗Rh因子的抗体。如果Rh阴性个体接受了Rh阳性个体的血液，输血后不久，在Rh阴性的血中就能发现抗Rh的抗体。对于Rh阴性受血者而言，第一次输入Rh阳性供血者的血时，一般不出现凝集反应，这是因为Rh阴性受血者的免疫系统需要一段时间才能产生抗Rh的抗体；如果第二次或多次输入Rh阳性血液，将会发生抗原—抗体反应，使输入的Rh红细胞凝集。

当Rh阴性的母亲怀有Rh阳性的胎儿时，如果Rh阳性胎儿的少量红细胞通过胎盘进入到母亲血液中，将产生抗Rh的抗体，这种抗体又通过胎盘进入到胎儿血中后，可使胎儿红细胞凝集并发生溶血，严重时可造成胎儿死亡。一般只有在分娩时才可能有大量的红细胞进入母体，而母体血浆中抗体浓度的增加是非常缓慢的，往往要经历几个月的时间，因此第一次妊娠常常不会造成严重后果。但Rh阴性母亲如果第二次怀有Rh阳性的胎儿，母体中的高浓度Rh抗体将会进入胎儿血液中，破坏胎儿的红细胞，造成胎儿死亡或新生儿溶血性贫血症。

（2）输血的意义及输血原则：首先应输同型血，其次要做交叉配血试验。把供血者的红细胞与受血者的血清进行配合试验，称为交叉配血主侧；把受血者的红细胞与供血者的血清配合试验，称为交叉配血次侧。如果交叉配血两侧都没有凝集反应，即为配血相合，可以进行输血；如果主侧有凝集反应，即为配血不合，不能输血；如果主侧不起凝集反应，而次侧有凝集反应，只能在应急情况下输血，且不宜太快太多。

2．血液的凝固：血液中的纤维蛋白原形成纤维蛋白，出现血凝块的过程。凝血过程如下：



血液只在组织破损或血管内皮损伤的局部凝固，在血管中一般是不凝固的，因为血浆中有抗凝剂如抗凝血酶III和肝素。

3．血浆渗透压

（1）血浆渗透压形成及数值：血浆渗透压由血浆晶体渗透压和血浆胶体渗透压两部分组成。由于血浆中小分子晶体物质的颗粒非常多，因此血浆渗透压主要是晶体渗透压。血浆胶体渗透压很小，仅为3.33kPa（25mmHg）左右。通常血浆蛋白中白蛋白的含量较多、相对分子质量较小，因此在维持血浆胶体渗透压中，白蛋白尤为重要。

（2）血浆渗透压的生理意义：血浆渗透压具有吸取水分透过生物半透膜的力量。由于细胞膜和毛细血管壁不同，因而晶体渗透压与胶体渗透压表现出不同的生理作用（图3-4-9）。

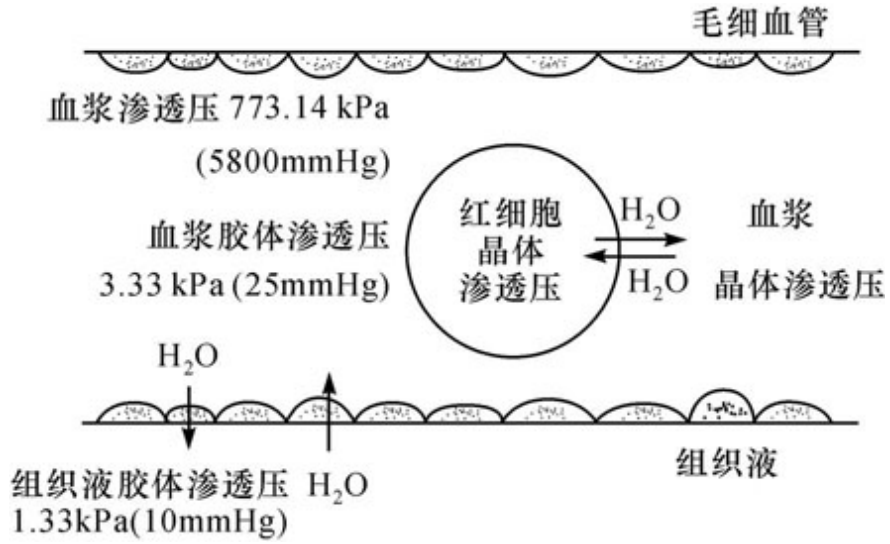


图3-4-9　血浆渗透压示意图

①晶体渗透压的作用：细胞膜允许水分子通过，不允许蛋白质通过，对一些无机离子如Na^+、Ca^{2+}等大多严格控制，不易通过。这就造成细胞膜两侧溶液的渗透压梯度，从而导致渗透现象的产生。由于晶体比胶体溶质颗粒多，形成的渗透压高，因此血浆晶体渗透压对维持细胞内、外水分的正常交换和分布，保持红细胞的正常形态有重要作

用。例如，当血浆晶体渗透压降低时，进入细胞内的水分增多，致使红细胞膨胀，直至膜破裂。红细胞破裂使血红蛋白逸出，这种现象称为溶血。反之，当血浆晶体渗透压高时，红细胞中水分渗出，从而发生皱缩。

②胶体渗透压的作用：毛细血管壁只允许水分子和晶体物质通过，不允许蛋白质通过，因而毛细血管内、外水分的交流取决于胶体渗透压。血浆中胶体渗透压比组织液中胶体渗透压大，故血浆胶体渗透压对调节毛细血管内外水分的正常分布，促使组织液中水分渗入毛细血管以维持血容量，具有重要作用。当血浆蛋白减少，血浆胶体渗透压降低时，组织液增多，引起水肿。

4．心肌细胞的生物电现象（以浦肯野氏细胞的动作电位为例，如图3-4-10所示）

（1）静息跨膜电位：-90mV是K^+外流所达到的平衡电位。阈电位-70mV

（2）动作电位

①除（去）极化0期：是由于Na^+快速内流而形成。

②复极化1期：是由K^+外流而形成。

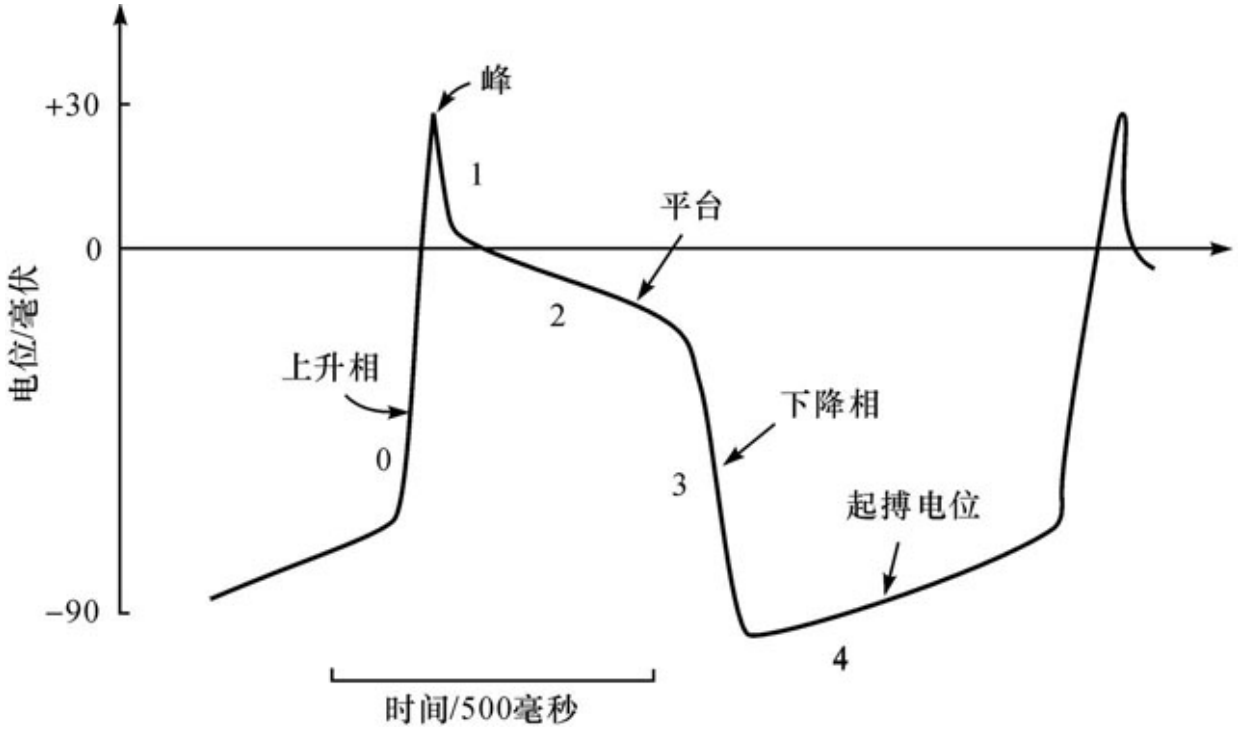


图3-4-10　浦肯野氏细胞的动作电位

③复极化2期（平台期）：由Ca^{2+}缓慢内向流动同时少量K^{+}外向流动而引起。

④复极化3期：K^{+}再生性外流促进膜内电位向负性转化。

⑤静息期4期：膜电位基本上稳定于静息电位水平，依靠Na^{+}－K^{+}泵转运Na^{+}、K^{+}和Na^{+}－Ca^{2+}交换作用维持正常的离子分布。

5．心肌的生理特性：包括自动节律性、传导性、兴奋性和收缩性。前三者为电生理特性，后者为机械特性。

（1）自动节律性：心脏在离体和脱离神经支配下，仍能自动地产生节律性兴奋和收缩的特性，称为自动节律性（简称自律性）。心脏的自律性源于心肌自律细胞4期自动去极化。由于心脏特殊传导系统各部分的自律细胞4期去极化速度快慢不一，因而各部分的自律性高低不同。窦房结的自律性最高，约为100次/min；房室交界次之，约为50次/min；心室内传导组织最低，约为20～40次/min。正常心脏的节律活动受自律性最高的窦房结控制，因而窦房结是心脏兴奋的正常起搏点。其他特殊传导组织，其自律性一般不能表现出来，称为潜在起搏点。当窦房结的自律性异常低下，或潜在起搏点的自律性过高时，潜在起搏点的自律性就可表现出来，成为异位起搏点。以窦房结为起搏点的心脏活动，称为窦性节律；由异位起搏点引起的心脏活动，称为异位节律。

（2）传导性：心脏起搏点产生的兴奋，能够扩布到整个心脏。兴奋由窦房结传导整个心房需要60～90ms，传导速度为1m/s；蒲肯野氏纤维为4m/s，心室肌1m/s。在房室交界处兴奋传导的速度最慢为0.05～0.1m/s，历时约120ms，通常称为房室延搁。房室延搁有利于心房与心室交替收缩。而心室肌、心房肌、蒲肯野氏纤维传导速度快，有利于心房或心室的同步收缩。传导系统任何部位发生功能障碍，都会引起传导阻滞，导致心律失常。

（3）心肌的兴奋性：心肌在兴奋后，产生了一系列变化，其有效不应期时间较长，这与神经细胞和骨骼肌细胞具有很大的差别。

①有效不应期：从去极化开始到3期复极化为-55mV左右的时间内，如果再给予第二次刺激，心肌细胞将不会产生兴奋和收缩。膜电位由-55mV继续复极化到-60mV时如果给予足够强的刺激，心肌细胞可以发生局部去极化，但不产生能引起心肌收缩的可扩布性动作电位。因此将心肌细胞从0期去极化到3期复极化达-60mV的这段时间，称为有效不应期，其离子机制是此期钠通道完全失活，或刚刚开始复活。

②相对不应期：有效不应期结束，膜电位从-60mV复极化到-80mV的这段时间，若给心肌细胞一个高于阈强度的刺激，可引起扩布性兴奋。其离子机制是此期钠通道已经逐渐复活，刺激可引起部分钠通道开放，故AP（动作电位）升幅小，传导缓慢。

③超常期：心肌细胞继续从-80mV复极化到-90mV（静息电位）这段时期内，膜处于低极化状态，较静息电位更接近阈电位水平，此时小于阈刺激的刺激也能引起兴奋，心肌细胞兴奋性高于正常。

（4）心肌的收缩性：心肌与骨骼肌都属于横纹肌，其兴奋与收缩的耦联都通过Ca^{2+}，但心肌的收缩特性主要有如下特点：

①依赖细胞外Ca^{2+}：心肌细胞的终池内储存的Ca^{2+}较少，释放后不足以启动肌丝的滑行，必须依赖细胞外Ca^{2+}的内流，心肌细胞在动作电位平台期流入的Ca^{2+}是介导兴奋收缩耦联的重要部分。因此，当细胞外液中Ca^{2+}浓度明显下降后，会影响心肌的收缩力甚至使心肌只产生兴奋而不能收缩的“兴奋—收缩脱耦联”现象。

②心肌细胞具有功能合胞体特性：心肌细胞在结构上通过闰盘相连，类似于紧密连接。生物电流可以直接通过闰盘从一个细胞传至另一个细胞，整个心脏就像一个细胞一样，在功能上保持着良好的同步性。因此，心肌的收缩具有“全或无”特性。在功能上可以把心脏看成一个细胞，称为功能合胞体。

③心肌细胞不出现强直收缩，这主要因为心肌细胞的有效不应期长，肌肉的收缩过程在有效不应期内即完成。

6．心电图和心声（图3-4-11）

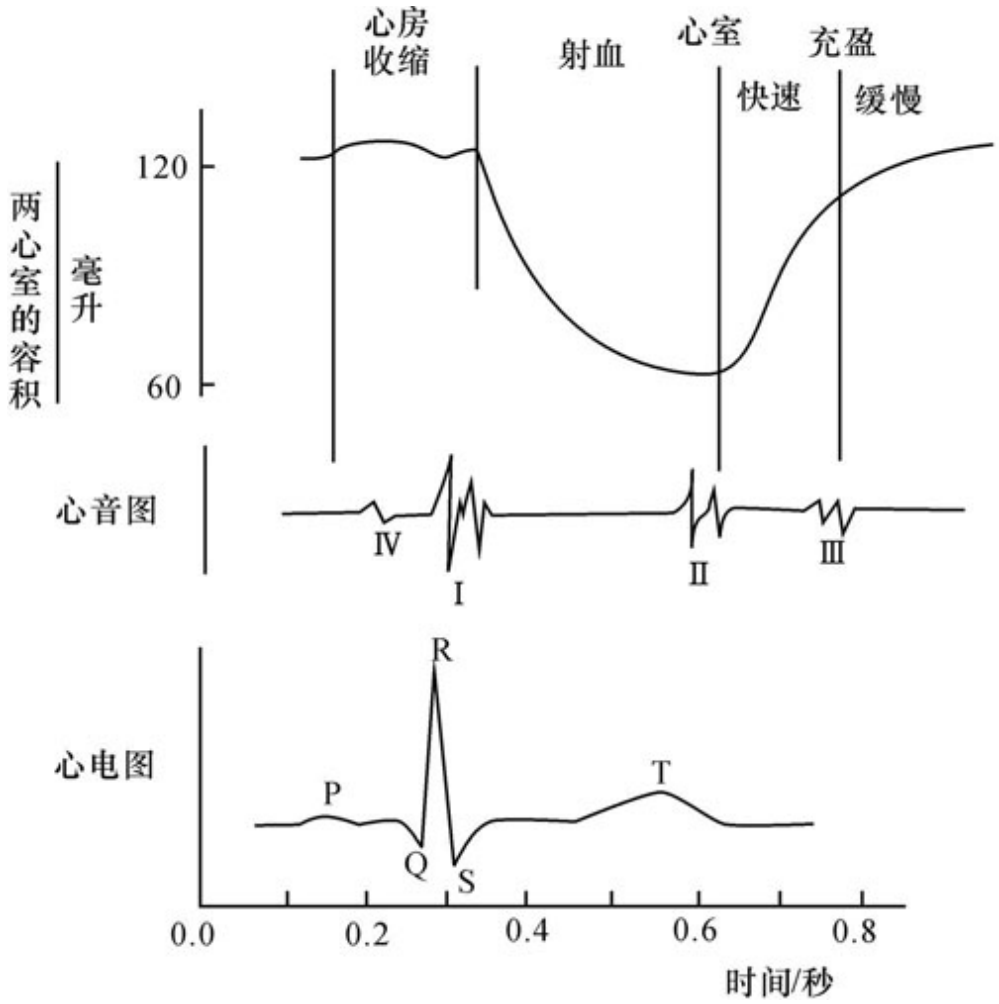


图3-4-11　心音和心脏力学事件的关系

（1）心电图各波的意义：心电图基本都包括一个P波、一个QRS波群和一个T波。

①P波：代表了左、右心房的兴奋过程，即心房去极化过程的电位变化。正常P波历时0.08～0.11s。

②QRS波群：代表左、右心室去极化过程的电位变化。QRS波群历时0.06～0.10s。

③T波：代表了心室复极化过程的电位变化。T波幅度约为0.1～0.8mV，一般不低于R波的1/10，历时0.05～0.25s。T波异常表示心肌缺血或损伤，如心肌急性缺血，常引起T波倒置。

④P-R间期（或P-Q间期）：即从P波起点到QRS波群开始的时间间隔，代表从心房开始兴奋到心室开始兴奋所需的时间。正常成人约为0.12～0.20s。P-R间期延长表示房室传导阻滞。

⑤S-T间期：即从QRS波终止到T波开始之间的线段。正常时，它与基线平齐，因为这时心室肌全都处于动作电位平台期的去极化状态，各个部位之间无电位差。若S-T间段偏离基线超过一定范围，表示心肌出现损伤、缺血等病变。

（2）心声：在心动周期中，一般可以听到两个心声。第一心音音调低而持续期长，主要是由于心室收缩初期房室瓣突然关闭以及心室壁和大血管的振动所产生的。第二心音音调高而短促，主要是由于心舒初期主动脉瓣和肺动脉瓣的突然关闭所引起的。在儿童和青年人身上还可听到第三心音，音调很低而且很短促，发生在心室舒张期快速充盈的末期，可能是由左心室壁和二尖瓣的振动所引起的。

7．心动周期与心率

（1）心动周期：心脏的一次收缩和舒张，构成一个机械活动的周期，称为心动周期。若心率为每分钟75次，则心动周期为0.8s。

（2）心率：心脏每分钟跳的次数称为心率。

（3）心脏泵血过程（图3-4-12）：心脏泵血过程，左心和右心的活动基本一致。现以左心为例来讨论心脏泵血过程和泵血过程中的各种变化。

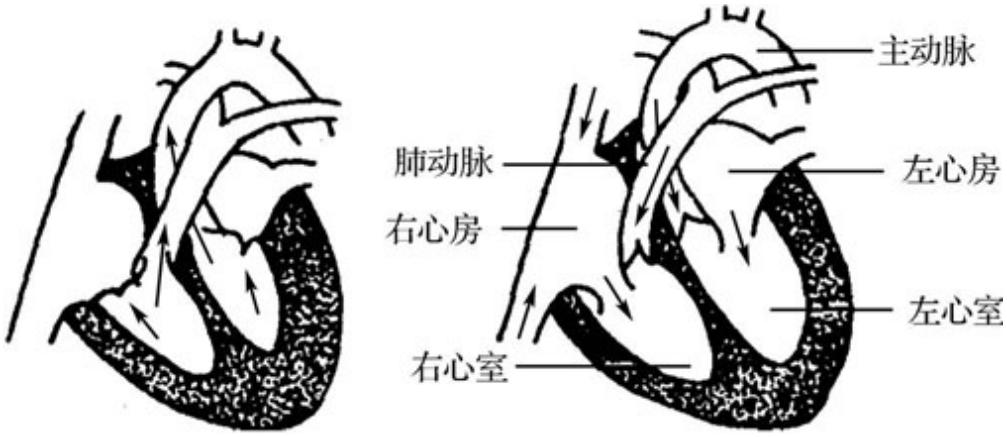


图3-4-12　心脏的射血与充盈

①室缩期：根据心室内压力和容积等变化，室缩期可分为等容收缩期和射血期。

等容收缩期：心室收缩前，室内压低于主动脉压和心房内压，此时半月瓣关闭而房室瓣开放，血液不断流入心室。心室收缩开始后，室内压迅速升高，在室内压超过房内压时，心室内血液推动房室瓣使其关闭，防止血液倒流入心房。但在心室内压力未超过主动脉压之前，半月瓣仍处于关闭状态。在此段时间内，由于房室瓣与半月瓣均处于关闭状态，心室容积不变，故称为等容收缩期。等容收缩期历时

约0.06s，该期的长短与心肌收缩力的强弱及动脉血压的高低有关，在心肌收缩力减弱或动脉血压升高时，等容收缩期延长。

射血期：随着心室肌的继续收缩，心室内压继续上升，一旦心室内压超过主动脉压，心室的血液将半月瓣冲开，迅速射入动脉，心室容积随之相应缩小。此期称为射血期，历时约0.24s。血液射入动脉起初，速度快，血量多，约占射血量的80%～85%；随后心室肌收减弱，室内压开始下降，射血速度减慢，射血量减少。

②室舒期：室舒期按心室内压和容积的变化可分为等容舒张期和充盈期。

等容舒张期：心室舒张开始，室内压下降，在心室内压低于主动脉压时，动脉内血液逆流推动半月瓣关闭，防止血液返流入心室。当在心室内压还高于心房内压之前，房室瓣仍处于关闭状态，无血液进出心室，此时心室舒张但其容积不变，称为等容舒张期，历时约0.08s。

充盈期：随着心室继续舒张，室内压继续下降，直至心室内压低于房内压时，心房内的血液冲开房室瓣而流入心室，心室容积随之增大。血液不断由静脉和心房进入心室的这段时间，称为充盈期，历时约0.42s。起初血流速度较快、血流量较多，以后随着心室内血液增多，流入的速度减慢。在下一个心动周期的心房收缩时，血液又较快进入心室。从心室的充盈量来看，通过心房收缩进入心室的血液量仅占30%，其余大部分血液都是由于心室舒张，室内压低于房内压将血液抽吸入心室的。

总的说来，心脏泵血能按一定方向流动是取决于心瓣膜的开闭，而心瓣膜开闭又取决于心瓣膜两侧压力大小；心内压大小取决于心肌的舒缩，特别是心室肌的舒缩活动。现将心动周期中心脏内各种变化归纳如表3-4-1。

表3-4-1　心动周期中心腔内压力、容积、瓣膜、血流等变化

心动周期分期		压力比较	瓣膜开闭		血流方向	心室容积
			房室瓣	半月瓣		
房　缩　期（上一心动周期中室舒期最后0.1s）		房内压>室内压<动脉压	开放	关闭	心房→心室	增大
室缩期0.3s（房舒期）	等容收缩期0.06s	房内压<室内压<动脉压	关闭	关闭	血存于心室	不变
	射血期0.24s	房内压<室内压>动脉压	关闭	开放	心室→动脉	减小
室舒期0.5s（最后0.1s为下一心动周期房缩期）	等容舒张期0.08s	房内压<室内压<动脉压	关闭	关闭	血存于心房	不变
	充盈期0.42s	房内压>室内压<动脉压	开放	关闭	心房→心室	增大

8．心输出量及其影响因素

心输出量：一侧心室一次收缩所射出的血量，称为每搏输出量。每分钟射出的血量称为每分输出量，即每搏输出量与心率的乘积。正常人左右心室的每分输出量几乎是相等的。心输出量的影响因素包括静脉回心血量、心肌收缩力和心率等。

9．心脏的内分泌功能：心脏除了泵血功能还有内分泌功能。心房钠尿肽（心房肽或心钠素）由心房肌细胞产生和分泌，参与水盐平衡、体液和血压调节。

10．心血管系统的调节：分为即神经调节，体液调节和自身调节三个方面。

（1）神经调节

①心血管中枢：延髓心血管中枢是最基本的心血管中枢。

②心脏的神经支配：心交感神经和心迷走神经。

③心血管反射

颈动脉窦，主动脉弓压力感受性反射（减压反射）：压力感受器位于颈动脉窦和主动脉弓血管外膜上，其传入神经分别加入舌咽神经和迷走神经。兔主动脉窦的传入神经单列一束称减压神经。当血压升高，压力感受器传入冲动增加，反射性引起心率减慢，心输出量减少，血管外周阻力降低，血压下降。

颈动脉体和主脉体化学感受性反射：动脉血中O_2分压降低、CO_2分压升高或H^+浓度增加（pH降低）引起颈动脉体和主动脉体的血流量显著减少或停止，都可刺激该化学感受器，反射性引起呼吸加深、加快，血压升高。

（2）体液调节：主要受肾素—血管紧张素系统、血管升压素（抗利尿素）、肾上腺素、去甲肾上腺素的调节。

四、排泄与水盐平衡调节

排泄是动物体将分解代谢的终产物排出体外的过程。体内的细胞在代谢过程中所产生的终产物通过内环境，再进入血浆，经血液循环运送到相关器官排出体外。动物体的排泄器官的功能是多方面的，可以概括为：①维持体内水含量；②维持钠、钾、氯、钙和氢等离子的适当浓度；③维持一定的渗透压；④清除代谢终产物，如尿素、尿酸等；⑤清除异物或其他代谢产物。各种动物的排泄器官的结构和功能随进化水平有较大的差异，但原则上产生排泄液只有两种过程：超滤和主动转运（包括主动分泌和主动重吸收）。

（一）无脊椎动物的渗透调节和排泄器官

1．伸缩泡：生活在低渗的淡水环境中的原生动物和海绵动物，细胞内渗透压高于胞外的渗透压，水不断渗入胞内，通过伸缩泡有节律地充胀和排放，起着排出体内过多水分的作用。伸缩泡的主要功能是调节水盐平衡，其次是排泄代谢终产物。

2．原肾管：扁形动物、纽形动物、轮虫、腹毛动物和原始的环节动物的渗透调节和排泄器官叫原肾管。原肾管的功能与伸缩泡相似，主要是排出体内过多的水分，维持水盐平衡，而代谢终产物主要由体表排出。

3．后肾管：大多数环节动物和软体动物的体腔和循环系统参与排泄活动，其排泄器官叫后肾管。后肾管的功能和原肾管有很大差异，后肾管不再深入到身体各组织部分去吸收代谢终产物，代谢终产物由血液和体腔液运送给后肾管，由后肾管加工成尿而排出。所以后肾管的功能和脊椎动物的肾很相似，但两者不是同源器官。

4．马氏管：昆虫的排泄系统包括马氏管和后肠。马氏管是细长的盲管，盲端浸浴在血腔的血液中，另一端开口于中肠和后肠之间。马氏管起渗透调节和排泄的作用。在后肠中，尿内大部分水和溶质被重吸收，而昆虫的蛋白质代谢终产物（被高度浓缩成尿酸）和多余的盐则被排出。昆虫回收水分的能力很强，这是对干旱环境的适应。

（二）脊椎动物主要的渗透调节和排泄器官——肾

各类脊椎动物的肾在系统发生上既有联系又有区别。鱼类、两栖类成体的肾相似，属于中肾；爬行类、鸟类和哺乳类的肾在胚胎发生过程中都经历了前肾、中肾和后肾三个阶段，成体有功能的肾为后肾。哺乳类的肾是脊椎动物中结构最复杂、效能最高的肾，下面以人的泌尿系统为例来讨论。

1．人的泌尿系统由肾脏、输尿管、膀胱（贮存尿液）和尿道组成。

2．肾结构特点：肾位于人腹腔的背面，左右各一个。每个肾由肾门、肾盂和肾实质构成，肾脏结构和功能的基本单位叫肾单位，肾单位与集合管共同完成泌尿功能。

（1）肾单位（每个肾大约有1百万个）（图3-4-13）

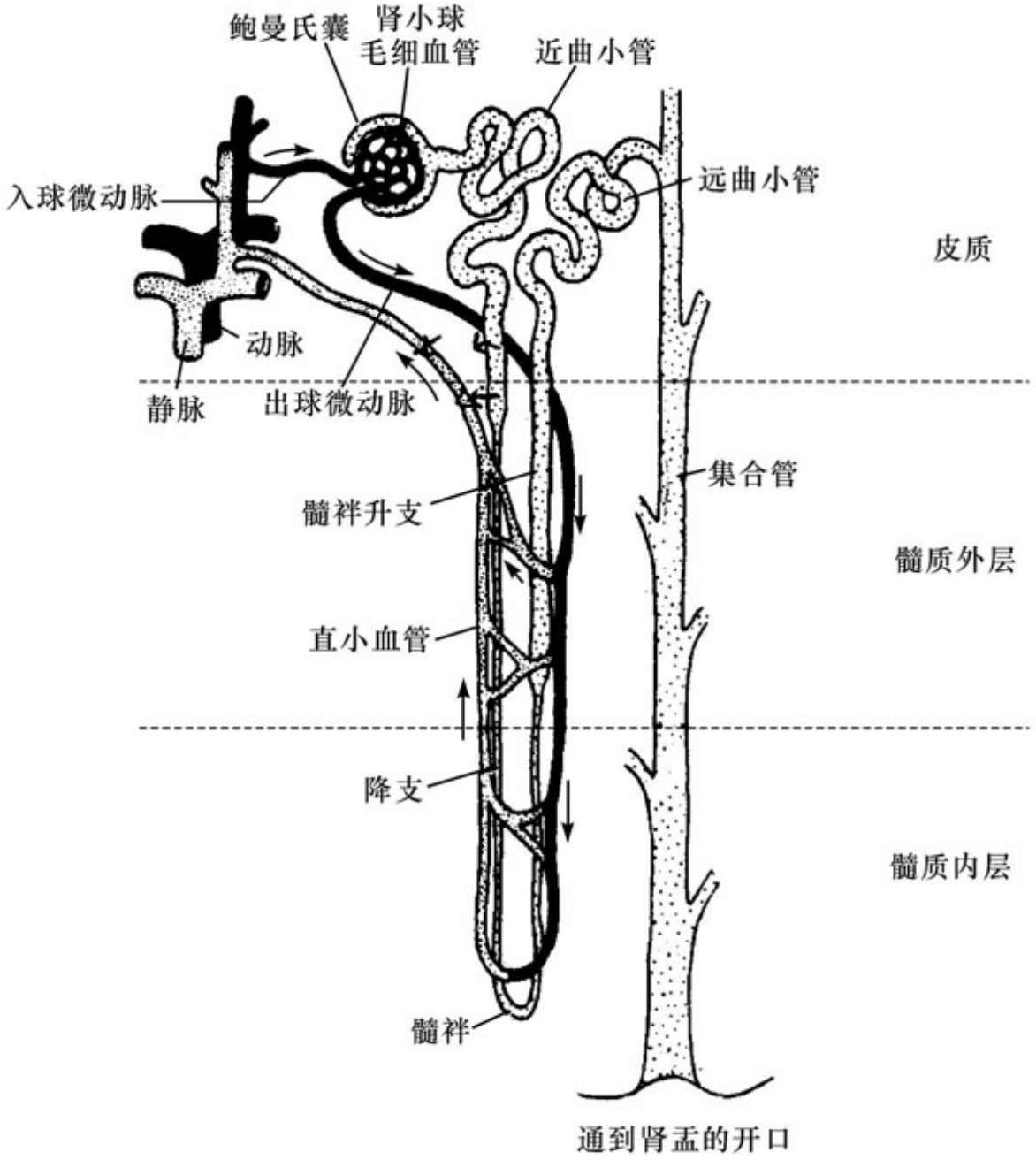
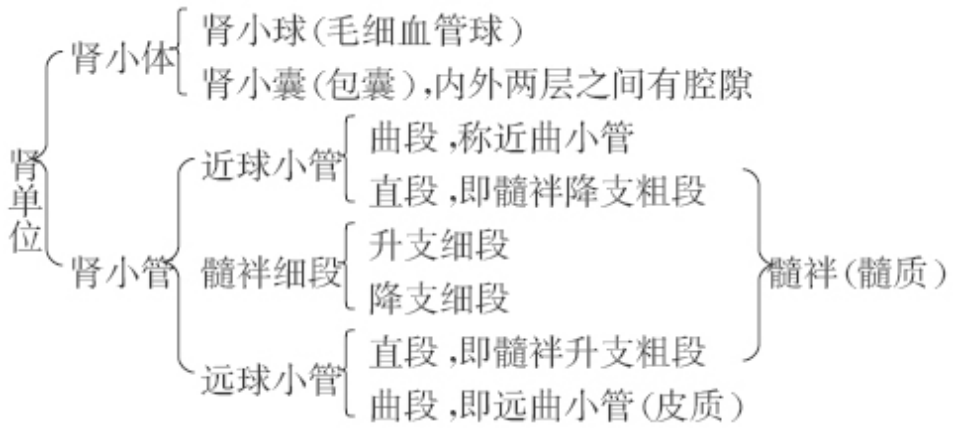


图3-4-13　肾结构示意图

肾单位各部分结构名称归纳如下：



（2）集合管虽不包括在肾单位内，但在功能上却与肾小管密切联系，在尿生成过程中，特别是在尿浓缩过程中起重要作用。

3．肾血液循环的特点

①肾血液量很大，占心输出量的20%～25%左右。这样大的血流量并非肾代谢所需，而是出于全身血液要求肾及时加工处理以维持内环境恒定的需要。

②肾动脉来的血液要流经两段小动脉（入球小动脉和出球小动脉）和两段毛细血管网（肾小球毛细血管网和肾小管周围毛细血管网）。

③肾动脉短而粗，血流量大，血压较高。入球小动脉口径比出球小动脉的粗，故肾小球毛细血管血压比一般毛细血管的高，这有利于血浆成分的滤出。血液从出球小动脉再流向肾小管周围的毛细血管网，一则由于克服阻力消耗了能量，二则由于血量减少，故肾小管周围毛细血管网是一个低压系统，这有利于肾小管的重吸收作用。

④肾血流在肾不同部位的分布差异很大。肾皮质血流量约占全肾血流量的94%，髓质血流量仅占6%左右，其中内髓血流量可能不到1%。血流分布的这个特点，对浓缩尿的形成具有意义。

4．尿的生成

正常成年人每昼夜排出的尿量为1000～2000mL，淡黄色。若一昼夜尿量长期保持在2500mL以上，临床上称为多尿（常见于糖尿病患者）；持续在400mL以下，称为少尿（常由高热性疾病引发）；持续在50mL以下，则称无尿。

尿的生成机制包括肾小球的超滤作用、肾小管和集合管的重吸收和分泌作用三个环节（如图3-4-14）。

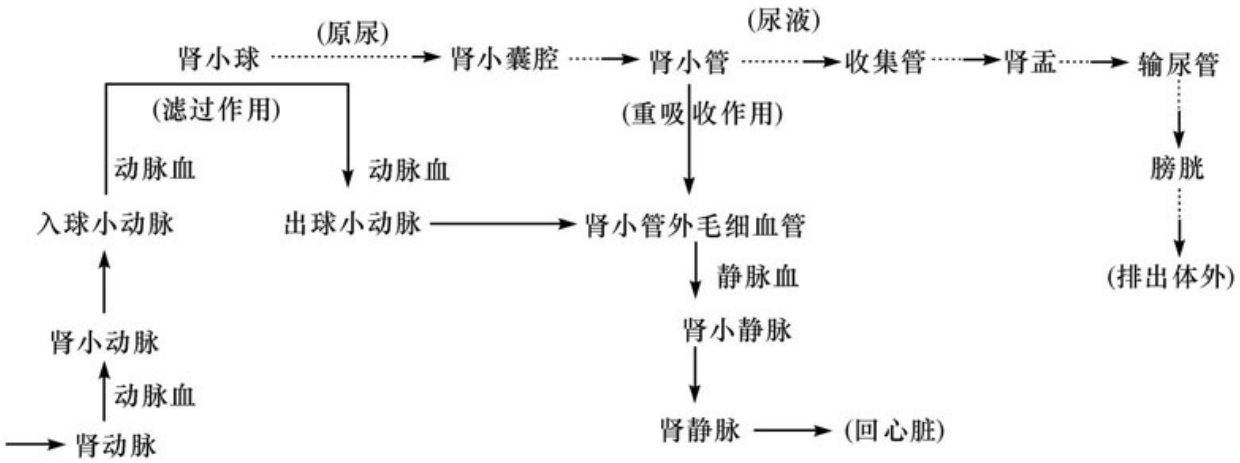


图3-4-14　肾血液循环与尿生成过程

（1）肾小球的超滤作用

①肾小球适于超滤的结构特点：首先，肾小球的毛细血管网的分支很多，过滤的表面很大；其次，出球小动脉的直径比入球小动脉的小，使肾小球毛细血管中产生较高的血压；另外，肾小球毛细血管壁与肾小囊（鲍曼氏囊）内壁所形成的膜很薄。

②滤液（原尿）的成分：在显微镜下，用微细管抽取肾小囊内的液体进行微量分析，所得结果如表3-4-2。

表3-4-2　正常成人血浆、滤液和尿成分比较表

成　　分	血浆(g/100mL)	滤液(g/100mL)	尿(g/100mL)	尿中浓缩倍数
水	90	98	96	1.1
蛋白质	8	0.03	0	—
葡萄糖	0.1	0.1	0	—
Na^+	0.33	0.33	0.35	1.1
K^+	0.02	0.02	0.15	7.5
Cl^+	0.37	0.37	0.6	1.6
$H_2PO_4^-$、HPO_4^{2-}	0.004	0.004	0.15	37.5
尿素	0.03	0.03	1.8	60.0
尿酸	0.004	0.004	0.05	12.5
肌酐	0.001	0.001	0.1	100.0
氨	0.0001	0.0001	0.04	400.0

从表中可以看出，肾小囊内液中除蛋白质含量极少之外，其他成分与血浆基本一致。这表明，肾小囊内液是血浆流经肾小球毛细血管时滤过来的。

③影响肾小球滤过的因素包括滤过膜的通透性、滤过面积和有效滤过压三个方面。

滤过膜的通透性：肾小球的滤过膜包括三层结构——内层为毛细血管内皮细胞层、中间层为基膜、外层为肾小囊脏层上皮细胞层（图3-4-15）。毛细血管内皮细胞有许多小孔，基膜含有微细纤维网，对滤过膜的通透性起决定作用。肾小囊脏层的上皮细胞的各足状突起之间有许多裂隙，称裂孔，是滤过作用的最后屏障。滤过膜上存在大小不同的孔道，其通透性一般以相对分子质量70000作为不能通过的界限。因此，它容许水和小分子溶质自由滤过，而大分子的血浆蛋白和血细胞则不能通过。滤过膜各层上含有带负电荷的唾液蛋白，形成滤过作用的电学屏障，带正电荷的物质容易通过，而带负电荷的物质则较难通过。在正常人机体内滤过膜的通透性相对较稳定，只有在病理情况下才会发生较大变化，如肾小球肾炎时，滤过膜通透性增大，使血浆蛋白和血细胞也可滤出而形成蛋白尿、血尿。

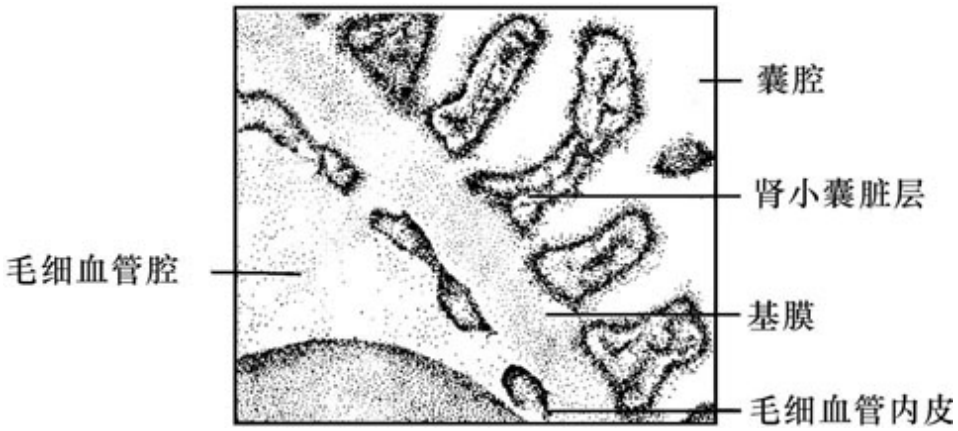


图3-4-15　肾小球滤过膜示意图

滤过面积：在正常生理情况下，人两侧肾脏的全部肾小球都开放并起滤过作用，因而滤过面积保持相对稳定。但在病理情况下如肾小球肾炎时，可引起肾小球毛细血管内皮增生并肿胀，使部分肾小球毛细血管腔狭窄或阻塞，减少了有效滤过面积和滤过量，出现少尿及水肿。

有效滤过压：是肾小球滤过作用的动力，有效滤过压＝肾小球毛细血管血压－（血浆胶体渗透压＋肾小囊内压）（图3-4-16）。在肾小球毛细血管入球小动脉端的有效滤过压较高，以后逐渐降低，到出球小动脉端，有效滤过压约为零。所以，超滤只发生在入球端的毛细血管处，而在出球端的一段毛细血管是没有超滤作用的。动脉血压变动于80～180mmHg范围内时，肾小球滤过率可保持不变，当动脉血

压降至40～50mmHg以下时，肾小球滤过率将降至为零，此时便无尿。肾小囊内压在正常情况下变化很小，但当尿路梗塞时可使囊内压升高，导致有效滤过压减小，使滤过率降低。血浆胶体渗透压在正常情况下比较稳定，若全身血浆蛋白的浓度明显降低，血浆胶体渗透压就会降低（如静脉快速注射生理盐水时），使有效滤过压增加，滤过率也增加，尿量增多。肾血流量增加时，肾小球毛细血管内血浆胶体渗透压上升速度减慢，有效滤过作用的毛细血管段加长，从而使肾小球滤过率增加。

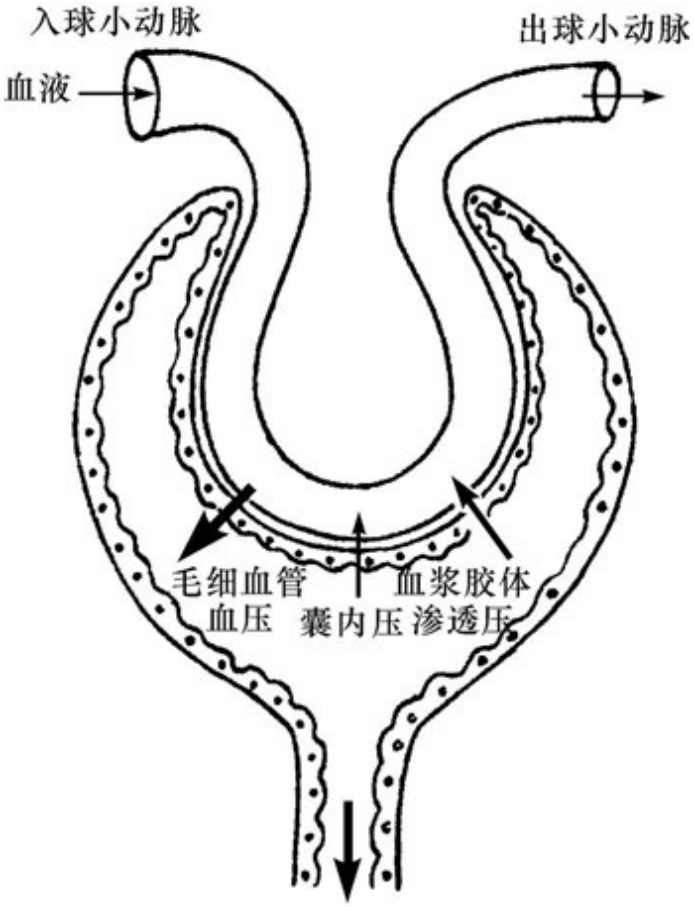


图3-4-16　有效滤过压示意图

（2）肾小管与集合管的重吸收作用

两侧肾滤过的液体量很大，正常成年男性每天约有180L左右，相当于全身总体液量的4倍，总血浆量的60倍。而每天排出的终尿量仅为1～2L，只有滤过液的1%左右。这表明滤液量的99%的水分被肾小管和集合管重吸收后又送回血液。从表3-4-2可见，肾小管的重吸收具有选择性，大致可分为三类：如葡萄糖，能全部被重吸收；水和溶质

（Na^+、Cl^-、Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^+），能大部分被重吸收；尿素、尿酸、SO_4^{2-}、PO_4^{3-}等，仅少部分被重吸收，而肌酐则完全不被重吸收。重吸收主要发生在近球小管。

①近球小管适于重吸收的结构特点：首先，肾小管毛细血管球是一个低压区，利于物质的重吸收；其次，小管上皮细胞黏膜侧有许多微绒毛，大大增加了膜的面积；再次，细胞内聚集着许多线粒体。

②重吸收的方式：分为被动重吸收和主动重吸收两种。被动重吸收的动力是一般的理化作用力，包括由浓度差引起的扩散和渗透压力，以及由电位差造成的静电引力；主动重吸收主要指依靠细胞膜上的“离子泵”或“载体”的转运和胞饮。

③几种物质的重吸收

Na^+的重吸收：近球小管（重吸收率约为滤过量的65%～70%），Na^+以主动转运方式被重吸收；远曲小管（约为10%），也是主动转运；其余的分别在髓袢升支细段（扩散）、粗段和集合管内（主动转运）被重吸收。

Cl^-的重吸收：绝大部分Cl^-在近球小管伴随Na^+的主动重吸收而被动重吸收；在髓袢升支粗段，Cl^-的重吸收与Na^+、K^+的转运有关，以Na^+：$2Cl^-$：K^+的比例协同转运。

HCO_3^-的重吸收：主要在近球小管以CO_2形式被重吸收。小管液里的$NaHCO_3$可解离成Na^+和HCO_3^-，Na^+经H^+-Na^+交换进入细胞内，HCO_3^-与分泌的H^+结合生成H_2CO^3，H_2CO_3再分解为CO_2和H_2O，CO_2扩散入细胞，在碳酸酐酶催化下又生成H_2CO_3，而后再解离为HCO_3^-和H^+，这时细胞内的HCO_3^-、Na^+一起被转运回血，H^+又被分泌到小管液中。如果滤过的HCO_3^-量超过了肾小管分泌的H^+，HCO_3^-就不能以CO_2形式被全部重吸收，余下的HCO_3^-便随尿排出。

K^+的重吸收：K^+的重吸收是主动过程，大部分在近球小管被重吸收，小部分在髓袢升支粗段、远曲小管和集合管被重吸收。

葡萄糖的重吸收：全部在近球小管（主要在近曲小管）主动重吸收。葡萄糖是与Na^+耦联在一起，共同使用一载体（图3-4-17）。肾小管对葡萄糖重吸收有一定限度，一般为160～180mg/100mL。

蛋白质和氨基酸的重吸收：滤液含有极少量的蛋白质和多肽在近球小管被完全重吸收，其方式是主动的胞饮作用。肾小管对蛋白质和氨基酸的重吸收机制与葡萄糖相似，也要有Na^+的存在，葡萄糖、氨基酸和Na^+共用同一载体。

尿素的重吸收：滤液中的尿素约有30%～40%被重吸收，其余的60%～70%则随尿排出。尿素的重吸收是被动的扩散作用，主要在近球小管，其次是远曲小管和集合管。

（3）肾小管与集合管的分泌作用：主要发生在远曲小管。

①H^+的分泌：近球小管、髓袢升支粗段和远曲小管的上皮细胞均以主动转运方式向小管液中通过H^+－Na^+交换分泌H^+。H^+的分泌与HCO_3^-的重吸收密切相关。

②K^+的分泌：远曲小管和集合管的上皮细胞通过K^+－Na^+交换分泌K^+，K^+－Na^+与H^+－Na^+交换有竞争现象。钾离子的分泌受肾上腺皮质分泌的激素（醛固酮）的调节。

③NH_3的分泌：肾小管和集合管的上皮细胞主要通过氨酰胺脱氨生成NH_3，NH_3分泌入管腔与小管液中的H^+结合生成NH_4^+。NH_4^+的分泌促进H^+的分泌，同时也促进了HCO_3^-的重吸收，这对维持体内的酸碱平衡起着重要作用。

5．尿的浓缩与稀释

（1）水的重吸收

肾小管各段和集合管对水的重吸收都是被动重吸收——渗透作用，但它们对水的通透性不同。通常滤液中被重吸收的水，65%～70%发生在近球小管，10%在髓袢，10%在远曲小管，10%～20%在集合管，集合管对水的重吸收量的变化最大（图3-4-18）。在近球小管，Na^+被主动重吸收后，小管腔液的渗透压降低，水通过渗透作用而被动重吸收。近球小管对水的通透性很高，比远曲小管高3～4倍。

（2）尿的浓缩和稀释的机制（图3-4-19）——逆流系统学说

逆流系统学说包括逆流倍增机制和逆流交换机制两部分。其要点是：

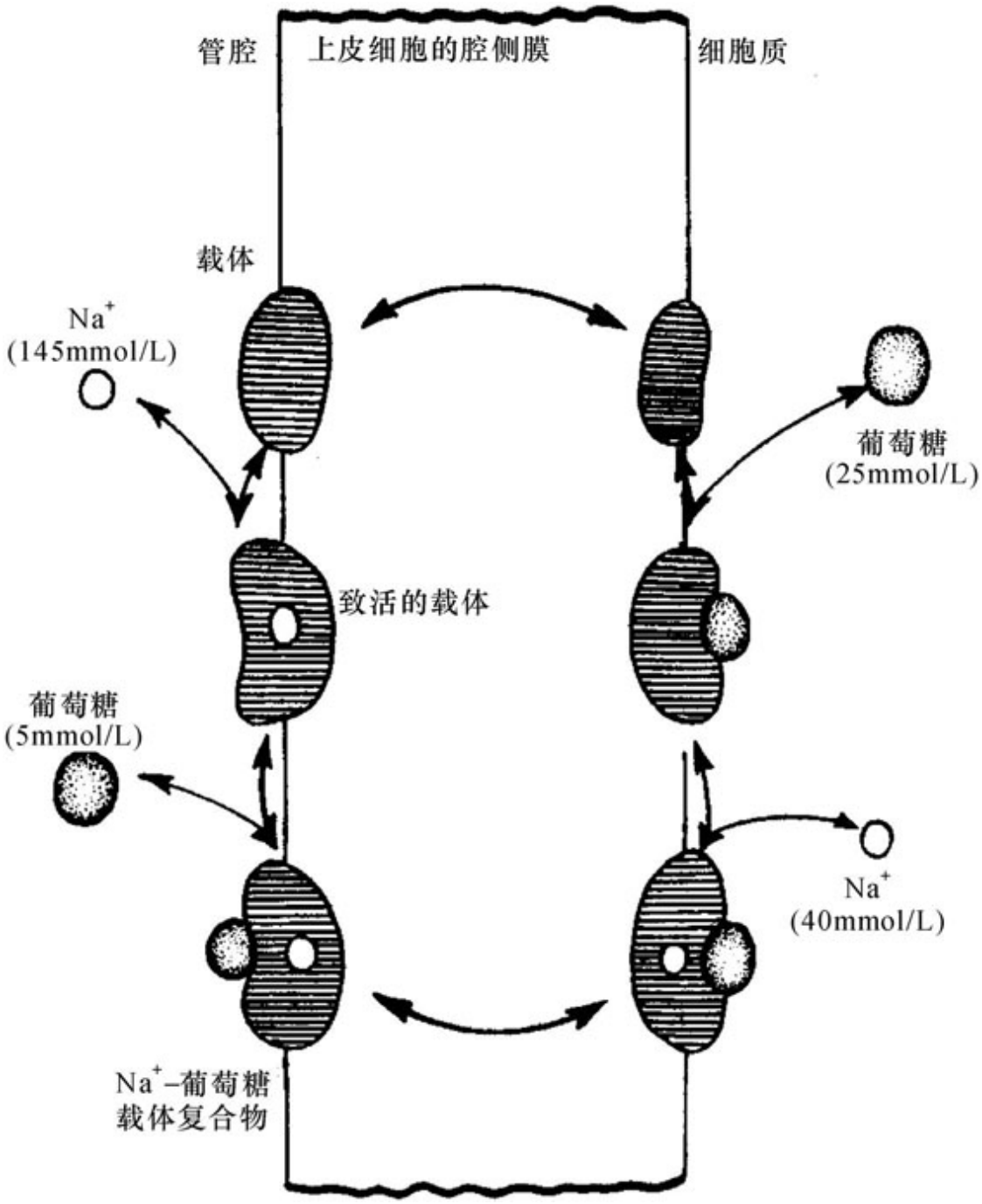


图3-4-17　钠与葡萄糖共同使用一载体

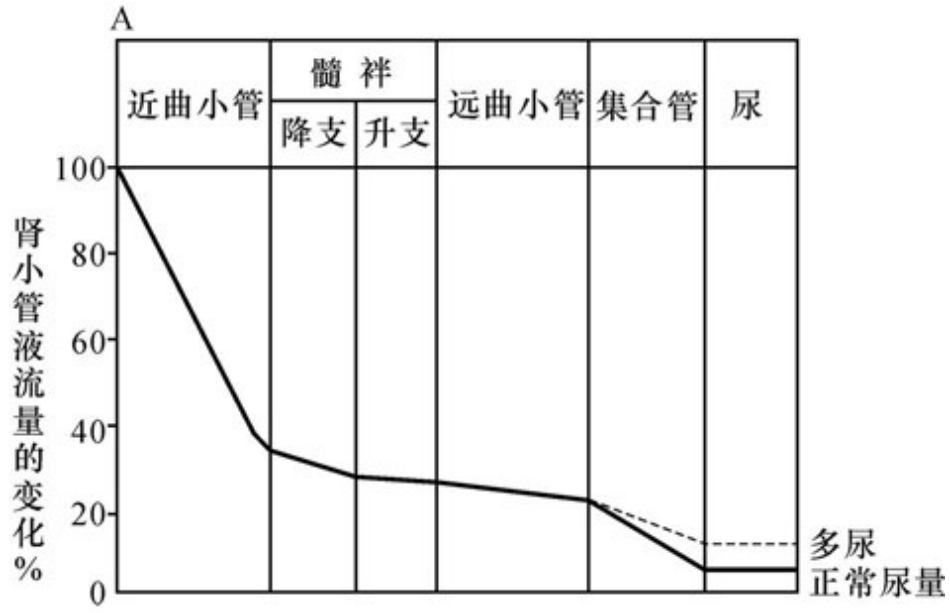


图3-4-18　肾小管滤液通过肾小球各段和集合管时的流量

①小管各段和集合管对水和各种溶质的通透性和重吸收能力是不同的（表3-4-3），因而滤液在流经“U”型髓袢过程中，由于逆流倍增作用，在肾髓质形成高渗状态。

②血液流经“U”型直小血管将水分及部分溶质运走时，由于逆流交换作用，使髓质的高渗状态不被破坏而得以保持。

③升支能重吸收溶质而对水相对不通透，故小管液流到远曲小管时一定是低渗的。

④集合管对水的通透性变化最大，受抗利尿激素的调节。抗利尿激素多时，集合管对水的通透性增大，尿得到浓缩；反之，抗利尿激素少时，集合管对水的通透性降低，水的重吸收较少，尿即被较低度浓缩或被稀释。

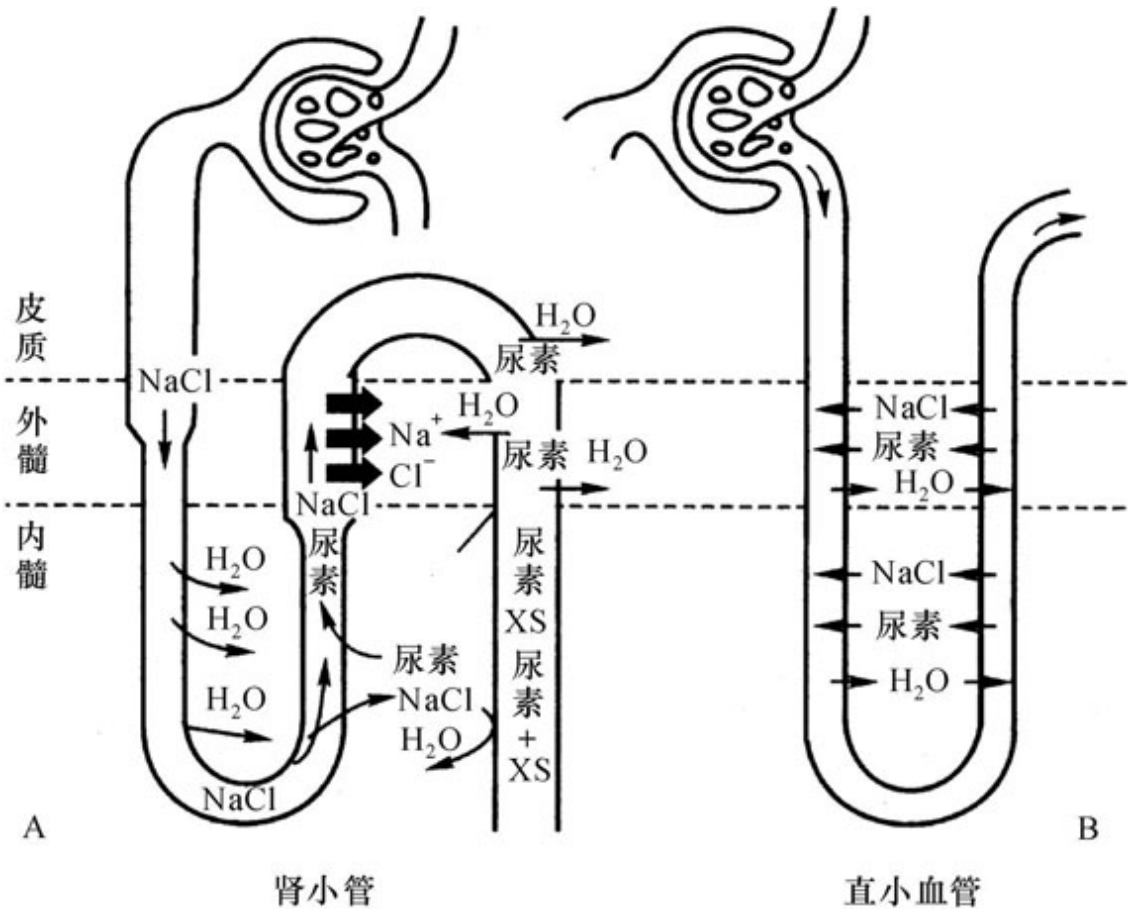


图3-4-19　尿浓缩机制示意图

粗箭头表示升支粗段主动重吸收Na^+和Cl^-，粗线表示髓袢升支粗段和远曲小管前段对水不通透。字体大小表示溶质浓度，XS表示未被重吸收的溶质

表3-4-3　肾小管不同部位的通透性

肾小管部分	水	Na^+	尿素
髓袢升支粗段	不易通透	Na^+主动重吸收，Cl^-继发性主动重吸收	不易通透
髓袢升支细段	不易通透	易通透	中等通透
髓袢降支细段	易通透	不易通透*	不易通透*
远曲小管	有ADH时水易通透	分泌K^+、K^+-Na^+交换	不易通透*
集合管	有ADH时水易通透	易通透	皮质和外髓部不易通透，内髓部易通透

*不同动物通透性不同；ADH为抗利尿激素

【例题解析】

例1　全胃切除后，病人最可能出现的障碍是（　　）

A．糖类消化和吸收

B．脂类消化和吸收

C．蛋白质消化和吸收

D．维生素B_{12}吸收

E．铁和钙吸收

解析　贫血的本质是血红蛋白缺乏，在人体正常代谢过程中，维生素和铁都需要从食物中提供，但是维生素B_6与血红蛋白代谢无关，而维生素B_{12}与铁都是血红蛋白合成所不可缺少的。其中维生素B_{12}的吸收需要一种被称为内因子的物质参与，否则就不能进行。内因子是一种黏多糖蛋白，由胃幽门部黏膜的壁细胞分泌至胃液中，并与维生素B_{12}有特殊的亲和力。当胃切除后，内因子缺乏，不能形成内因子——维生素B_{12}复合物，从而影响维生素B_{12}的吸收，产生巨细胞性贫血。

答案　D

例2　人体分泌的胰液中不含有下列哪种物质（　　）

A．HCl

B．胰蛋白酶原

C．糜蛋白酶原

D．淀粉酶和脂肪酶

E．肠致活酶

解析　此题考查了消化道中各种消化液的成分和功能。胰液是机体最重要的消化液，包括胰蛋白酶原、糜蛋白酶原、淀粉酶和脂肪酶、肠致活酶等，其中有些酶还可以来自其他器官，但是，HCl不是胰液中的成分，而是胃分泌液的成分，在十二指肠被HCO_3—R所中和，使来自胃的酸性食糜变成微碱性环境，以利于胰酶功能的发挥。

答案　A

例3　（1）设某人的肺通气量为7500mL/min，呼吸频率为20次/min，无效腔容量为125mL，每分输出量为5L，则该人的通气/血流比值应是多少（　　）

A．0.8

B．0.9

C．1.0

D．1.1

（2）若在正常情况下，某人的无效腔容量加倍时，则他的肺通气/血流比值与正常比较，将发生什么变化（　　）

A．减小，但不到一半

B．增大，但不到加倍

C．减半

D．不变

解析　（1）因为每分肺通气量＝潮气量×呼吸频率，则潮气量＝肺通气量/呼吸频率，又因为肺泡通气量＝（潮气量－无效腔气量）×呼吸频率，所以，通气/血流＝$\frac{\left[\frac{\text{肺通气量}}{\text{呼吸频率}}-\text{无效腔气量}\right]\times\text{呼吸频率}}{\text{心输出量}}$，则该人的通气/血流比值为：通气/血流＝$\frac{\left[\frac{7500\text{mL/min}}{20\text{次/min}}-125\text{mL/min}\right]\times 20\text{次/min}}{5000\text{mL/min}}=1.0$。

（2）在正常情况下，潮气量为500mL，呼吸频率为12次min，解剖无效腔为150mL，肺泡通气量为（500－150）×12＝4200（mL/min），心输出量为每分钟5L，通气/血流比值为0.84；当无效腔容量加倍至300mL时，则肺泡通气量为2400mL，通气/血流比值为2400/5000＝0.48，比值减小，但不到一半。

答案　（1）C　（2）A。

例4　血液在血管内不发生凝固的原因有（　　）（多选题）

A．血液一直保持流动

B．血管内壁光滑完整

C．血浆中有抗凝物质

D．血液中的溶氧抑制血小板功能

解析　心血管中循环的血液，在正常情况下不会发生凝固而保持流体状态。这主要是机体有一整套完整的抗凝血功能结构，以及神经体液等多种因素共同作用的结果。这些因素是：血管内膜光滑、完整，血小板不易破损，不能释放足够的血小板因子；血管内血液不断地流动，不断地将已活化的凝血因子稀释运走，使之达不到凝血的程度；血浆中含有一定量抑制凝血因子的物质，其中最重要的是肝素；人体内的抗凝功能不但有抑制、灭活和清除被激活的凝血因子作用，同时对已形成的纤维蛋白还有溶解作用，防止血管内由于纤维蛋白沉着而引起阻塞，从而保证血液在血管内呈流体状态。血液中的溶解氧和血小板的功能没有直接关系。

答案　ABC

例5　当血液通过下列哪一部位时，血压的降低最大（　　）

A．主动脉和大动脉

B．小动脉和微动脉

C．毛细血管

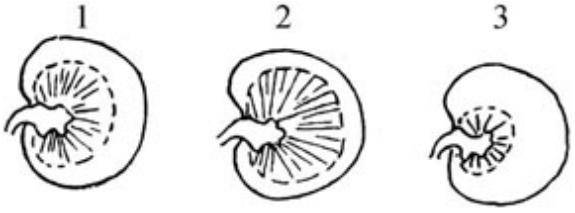
D．微静脉和小静脉

E．大静和腔静脉

解析　此题考查影响血压形成的因素，不同器官血管分布特点。机体血压的形成由两个方面的因素构成：一是心脏提供的动力，二是外周循环的阻力。在动力不变的情况下，阻力与血压成正比关系，而阻力的大小又与血管总截面积呈反比例关系，虽然小动脉的直径很小但其数量巨大，从总截面积来看小动脉和微动脉的总截面积要远远大于大动脉，所以造成的外周阻力要远小于大动脉，故血压的下降也最大；可以说毛细血管的总截面积比微动脉更大，应该处于更小的外周阻力中，但是，毛细血管管壁没有平滑肌细胞，不参与口径的调节，即不参与外周阻力乃至血压的调节，同样各级静脉也没有平滑肌细胞。

答案　B

例6　下图是3种不同动物狸鼠、棕鼠和袋鼠的肾切面图，其皮层和髓区的大小，依真实肾的皮层和髓区大小而画出。狸鼠生活在淡水中，从不缺水喝；棕鼠可以在几天内不喝水；袋鼠生活在沙漠中，可以很长时间不喝水。问：该图肾的排序属于哪一组生物（　　）



A．棕鼠、狸鼠、袋鼠

B．袋鼠、棕鼠、狸鼠

C．棕鼠、袋鼠、狸鼠

D．袋鼠、狸鼠、棕鼠

解析　肾脏是由许多肾单位组成的，每个肾单位包括肾小体和肾小管，它们在肾中的分布是：肾小体全部在肾外周的皮质，而肾小管则分布在皮质和髓质，由于肾小体中肾小球对血液的滤过作用，肾小囊中会出现大量原尿，当原尿通过肾小管，肾小管能将原尿中大部分水等成分重吸收回血液。由此可见，髓质越发达（肾小管越多），重

吸收就越多。由于水对生命的重要性，所以，越是长时间不喝水的动物，髓质越发达。从图中可见，2号肾髓质最发达，应属于袋鼠，1号属于棕鼠，3号属于狸鼠。

答案　C

例7　肾血流量在一定血压范围内能保持相对稳定，主要依靠（　　）

A．神经调节

B．体液调节

C．神经—体液调节

D．自身调节

解析　肾血流量的调节主要有两个方面：一是自身调节——肾在肾动脉压发生较大范围变动条件下，能通过肾内部的活动变化来保持肾血流处于相对稳定的状态；二是肾血流量的神经—体液调节，支配肾的主要为内脏神经（属交感神经）和迷走神经（属副交感神经），在体液调节因素中，肾上腺素和去甲肾上腺素是促进肾血管收缩的主要激素。在人体交感神经兴奋时，肾上腺素和去甲肾上腺素增加，从而加强交感神经兴奋的效应。一般地，在安静状态下，肾内的自身调节发挥主要作用，在活动比较剧烈或超出肾自身调节范围的应急状态下，以神经—体液调节为主。

答案　D

【针对训练】

1．pH值最低的消化液是（　　）

A．唾液

B．胃液

C．腹液

D．胆汁

E．小肠液

2．胃液中胃蛋白酶是由哪种细胞分泌的（　　）

A．壁细胞

B．贲门腺

C．主细胞

D．“G”细胞

E．黏液细胞

3．下列三种食物的胃排空速度，由慢到快的排列顺是（　　）

A．蛋白质、脂肪、糖

B．脂肪、蛋白质、糖
C．糖、蛋白质、脂肪
D．糖、脂肪、蛋白质
E．脂肪、糖、蛋白质
4．胰液中含有的无机物中，含量最高的是（　　）
A．Cl^-
B．HCO_3^-
C．Na^+
D．K^+
E．Ca^{2+}
5．胆汁中参与消化作用的主要成分是（　　）
A．胆色素
B．胆盐
C．胆固醇
D．卵磷脂
E．脂肪酶
6．胆囊胆汁呈（　　）
A．强酸性
B．弱酸性
C．中性
D．弱碱性
E．强碱性
7．胆汁中不含有（　　）
A．胆色素
B．胆盐
C．胆固醇
D．消化酶
E．卵磷脂
8．下列不属于胃肠道激素的是（　　）
A．胃泌素
B．促胰液素C．组织胺
D．胆囊收缩素
E．抑胃肽
9．支配胃肠道的交感神经节后纤维释放的神经递质主要是（　　）
A．乙酰胆碱

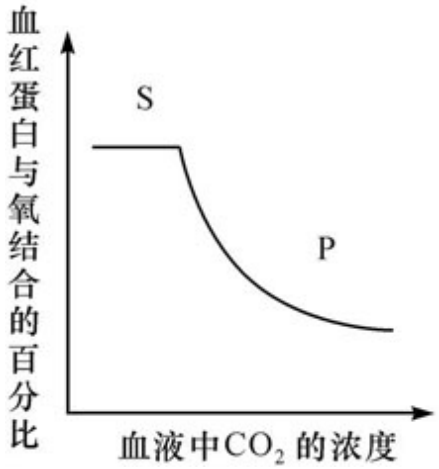
B．肾上腺素
C．去甲肾上腺素
D．多巴胺
E．5-羟色胺
10．下列哪一项不是唾液的生理作用（　　）
A．湿润和溶解食物
B．清洁和保护口腔
C．杀菌
D．部分消化蛋白质
E．部分消化淀粉
11．参与胃蛋白酶原活化的因素是（　　）
A．碳酸氢盐
B．盐酸
C．唾液
D．氨基酸
E．内因子
12．对于黏液—碳酸氢盐屏障的叙述中，不正确的是（　　）
A．液主要成分是糖蛋白
B．正常人胃黏膜表面有一层厚的黏液凝胶层
C．即胃黏膜屏障
D．在凝胶层内H^+与HCO_3^-发生中和
E．是保护胃黏膜的重要机制
13．关于胃泌素的叙述中正确的是（　　）
A．由胃底和胃体部黏膜中G细胞分泌
B．引起释放的主要因素是盐酸
C．主要分子是G-4
D．最小活性片断是C端的17个氨基酸
E．主要生理作用是刺激胃酸分泌
14．关于正常人胰液的叙述中，正确的是（　　）
A．每日分泌量约5000mL
B．pH为6.8～7.2
C．胰酶主要由小导管细胞分泌
D在一定范围内，HCO_3^-浓度与分泌速度呈正变关系
E电解质主要由腺泡细胞分泌
15．引起胰泌素释放作用最强的物质是（　　）
A．蛋白质分解产物

B．盐酸
C．脂酸钠
D．淀粉
E．葡萄糖
16．引起胆囊收缩素释放作用最强的物质是（　　）
A．盐酸
B．脂酸钠
C．蛋白质分解产物
D．葡萄糖
E．高渗溶液
17．酸性食糜进入小肠后引起胰液大量分泌的主要机制是（　　）
A．小肠黏膜分泌胃泌素
B．小肠黏膜分泌胰泌素
C．小肠黏膜释放胆囊收缩素
D．兴奋交感神经
E．兴奋迷走神经
18．胆盐促进下列哪种物质的消化（　　）
A．糖类
B．脂肪
C．蛋白质
D．多肽
E．胆固醇
19．下列哪一种是由小肠腺分泌的（　　）
A．肠淀粉酶
B．胰脂肪酶
C．肠激活酶
D．胆固醇脂酶
E．核糖核酸酶
20．大肠内细菌合成（　　）
A．维生素A
B．维生素C
C．维生素D
D．维生素E
E．维生素K
21．整个消化过程中最重要的阶段是（　　）

A．口腔内消化
B．胃内消化
C．小肠上段内消化
D．小肠下段内消化
E．大肠内消化
22．消化力最强的消化液是（　　）
A．唾液
B．胃液
C．胰液
D．胆汁
E．小肠液
23．吸收营养物质主要部位是位于（　　）
A．胃
B．胃和十二指肠
C．十二指肠和空肠
D．空肠和回肠
E．回肠和结肠
24．主要在回肠内吸收的物质是（　　）
A．蔗糖
B．甘油
C．氨基酸
D．维生素B_{12}
E．内因子
25．胆盐的吸收在（　　）
A．胃
B．十二指肠
C．空肠
D．回肠
E．总胆管
26．正常成年人小肠吸收的面积是（　　）
A．50m^2
B．100m^2
C．200m^2
D．300m^2
E．400～600m^2

27．脂肪消化产物与下列哪种物质混合形成混合微胶粒（　　）
A．维生素A
B．辅脂酶
C．胆固醇
D．胆盐
E．载脂蛋白
28．在肠上皮细胞内，甘油三酯与载脂蛋白形成（　　）
A．微胶粒
B．混合微胶粒
C．卵磷脂
D．乳脂
E．乳糜微粒
29．吸收后以淋巴管为主要转运途径的物质是（　　）
A．单糖
B．氨基酸
C．乳糜微粒
D．短链脂肪酸
E．无机盐
30．关于双重呼吸的叙述中不正确的是（　　）
A．双重呼吸提高了气体交换效率
B．每呼吸一次空气两次经过肺
C．肺和气囊是进行气体交换的场所
D．双重呼吸是鸟类特有的呼吸方式
31．吸气时，肺泡扩张，气体自外界进入肺内，这个过程扩张是（　　）
A．主动的
B．被动的
C．深呼吸时是主动的
D．先是被动的，后是主动的
32．当平静吸气刚刚停止的瞬间，肺内压和肺内气体（　　）
A．高于大气压，混合气体
B．等于大气压，混合气体
C．等于大气压，新鲜气体
D．低于大气压，新鲜气体
33．当一次深呼吸后，会出现呼吸短时暂停的现象，这是因为（　　）

A．CO_2少
B．O_2多
C．CO_2多
D．O_2少
34．下列哪种情况下呼吸最快（　　）
A．血液中氧浓度高
B．血液中氧浓度低
C．血液中二氧化碳浓度高
D．血液中二氧化碳浓度低
35．人的肺泡中O_2浓度与外界空气中O_2浓度相比（　　）
A．始终高些
B．始终低些
C．时高时低
D．一样高低
36．人体平静呼吸时，呼出的气体中含量最多的是（　　）
A．二氧化碳
B．氧气
C．氮气
D．水蒸气
37．如果一个人吸入少量的一氧化碳，他就可能中毒，因为（　　）
A．一氧化碳溶解肺的纤维细胞组织
B．一氧化碳与血红蛋白结合比氧容易得多
C．一氧化碳降低肺活量
D．一氧化碳过度地刺激心脏
38．鸟类呼吸时气体交换的真正部位是（　　）
A．背支气管
B．腹支气管
C．微气管
D．平行支气管（三级支气管）
39．右图是血液中血红蛋白与氧结合情况和血液中CO_2含量情况的曲线图，则该图所表示的是（　　）



S	P

A．左心室　　右心室
B．毛细血管　　肺静脉
C．肺动脉　　肺静脉
D．肺动脉　　主动脉

40．一定范围内pCO_2增高，使呼吸运动增强，主要是通过（　　）
A．刺激颈动脉体和主动脉体化学感受器
B．刺激中枢化学感受器
C．直接兴奋延髓呼吸中枢
D．直接兴奋脑桥呼吸调整中枢

41．某受试者，解剖无效腔150mL，平静呼吸时频率为12次/min，呼出量为500mL。最大吸气后用力呼气，呼出气量4000mL，则下列哪项是错误的（　　）
A．其潮气量为500mL
B．其肺活量为4000mL
C．其肺通气量为6000mL
D．其肺泡通气量为5000mL/min

42．人在剧烈运动时，呼吸加快，引起细胞的直接反应是（　　）
A．线粒体ATP合成酶（基粒）活化，合成更多的ATP
B．乳酸大量生成
C．蛋白质分解增加
D．线粒体呼吸链电子传递加速

43．在麻醉兔的实验中，下列操作哪一项可以使兔的呼吸停止（　　）

A．切断两侧的迷走神经

B．在上下丘脑之间横切脑干

C．暂时性阻塞气管造成窒息

D．切除大脑皮层

E．刺激迷走神经中枢端

44．呼吸衰竭时对机体最大威胁是（　　）

A．CO_2滞留

B．酸中毒

C．碱中毒

D．缺CO_2

E．以上都不对

45．下列有关人体呼吸作用的叙述中，正确的是（　　）

①心脏有一群神经细胞，能调节呼吸运动，组成呼吸中枢；②血液中二氧化碳含量增高会使呼吸加快；③血红蛋白可运送氧气和部分二氧化碳；④大部分二氧化碳无需酶的催化即可快速溶于血浆中、与水形成碳酸；⑤血红蛋白与氧气的结合量因登高而减少

A．①③⑤

B．②④⑤

C．①②④

D．②③⑤

46．尼古丁是一种毒性很强的物质，吸烟后，可引起吸烟者（　　）

A．心跳加快

B．呼吸减慢

C．手指、脚趾温度降低

D．A＋B

E．A＋C

47．下列哪项是移居在高原环境生活的人所产生的生理性适应（　　）

①增加造血功能，以维持其红细胞数目较多的水平；②组织细胞往往通过无氧呼吸来获得能量；③呼吸强度增强，通气量增强，肺活量提高；④提高心跳频率，加速血液循环以增加运输O_2的能力。

A．①②

B．①③
C．②③
D．③④
48．肺泡内的氧气进入肺泡周围毛细血管中，与血红蛋白结合生成氧合血红蛋白，此过程中要通过几层细胞膜（　　）
A．二层
B．三层
C．四层
D．五层
49．为了判断一个死亡的弃婴是产前死亡还是产后死亡，法医将死婴的肺剪一块投入水中，如果是产后死亡，则其表现为（　　）
A．沉入水底
B．先沉后浮
C．浮在水面
D．上下浮动
50．有关胸膜腔内压的叙述中，错误的是（　　）
A．通常较大气压低
B．胸膜腔内压＝肺内压－肺回缩力
C．吸气时负值减小，呼气时负值增大
D．胸膜腔负压有利于静脉血液回流
51．最基本的呼吸中枢的所在部位是（　　）
A．脑桥
B．大脑皮层
C．脊髓
D．延髓
52．在人体的器官中，对吸入空气中带入的粉尘具有清除作用的是（　　）（多选题）
A．鼻腔
B．喉
C．气管
D．支气管
E．肺
53．肺的回缩力来自（　　）（多选题）
A．胸内负压
B．肺泡表面张力
C．肺的弹力纤维

D．肺泡表面活性物质

54．关于肺泡表面活性物质的叙述中，正确的是（　　）（多选题）

A．由肺泡上皮的 II 型细胞分泌

B．有增加肺泡表面张力的作用

C．能维持大、小肺泡容量的相对稳定

D．阻止肺泡毛细血管中液体向肺泡内滤出

55．关于H^+对呼吸的影响，正确的是（　　）（多选题）

A．动脉血中H^+增加，呼吸加强

B．血中H^+主要刺激中枢化学感受器，使呼吸加强

C．血中H^+主要刺激外周化学感受器，使呼吸加强

D．脑脊液中的H^+是中枢化学感受器的最有效刺激

56．哺乳动物心动周期中，左心室容积最大的时期是（　　）

A．等容舒张期末

B．等容舒张期始

C．心室射血期

D．心房收缩期

57．轻度高血压引起心肌兴奋性升高的原因是（　　）

A．细胞膜对Na^+的通透性增大

B．细胞膜对Ca^{2+}的通透性增大

C．细胞膜对K^+的通透性增大

D．静息电位绝对值距阈电位的水平缩小

E．阈电位下降

58．细胞外液中的主要阳离子是（　　）

A．Fe^{2+}

B．K^+

C．Na^+

D．Ca^{2+}

E．Mg^{2+}

59．血浆渗透压的主要成分是（　　）

A．白蛋白

B．球蛋白

C．晶体物质

D．血红蛋白

E．纤维蛋白原

60．维持红细胞正常形态和调节细胞内外水平衡的因素（　　）
A．血浆胶体渗透压
B．组织液胶体渗透压
C．血浆晶体渗透压
D．组织液静水压
E．血浆白蛋白浓度
61．血液凝固过程是一种（　　）
A．免疫反应
B．物理反应
C．酶促反应
D．凝集反应
62．急性感染时，明显增多的白细胞是（　　）
A．淋巴细胞
B．单核细胞
C．嗜碱性粒细胞
D．嗜酸性粒细胞
E．嗜中性粒细胞
63．下列血型中，最难寻的献血员是（　　）
A．O型Rh阳性
B．B型Rh阳性
C．AB型Rh阳性
D．AB型Rh阴性
64．心肌工作细胞是指（　　）
A．心房肌、心室肌细胞
B．窦房结细胞
C．房室交界细胞
D．浦肯野氏细胞
65．自律细胞具有自律性的基础是（　　）
A．4期自动去极化
B．O期去极化
C．静息期有K^+外流
D．静息期Na^+-K^+泵活动加强
66．心脏中自律性最高的部位是（　　）
A．窦房结
B．房室交界
C．房室束

D．浦肯野氏纤维
67．传导速度最慢的组织是（　　）
A．心室肌
B．房室束
C．房室交界
D．浦肯野氏纤维
68．房室延搁一般发生在（　　）
A．兴奋由窦房结传至心房肌
B．由窦房结传至房室交界
C．在房室交界内的传导
D．由房室束传至左右束支
69．心脏正常起搏点是（　　）
A．窦房结
B．房室交界
C．房室束
D．浦肯野氏纤维
70．心脏射血期，心腔内压力变化是（　　）
A．房内压＞室内压＞动脉压
B．房内压＜室内压＜动脉压
C．房内压＞室内压＜动脉压
D．房内压＜室内压＞动脉压
71．心动周期中，从房室瓣开始关闭到半月瓣开放之前的时间称为（　　）
A．等容收缩性
B．等容舒张期
C．射血期
D．充盈期
72．影响血流阻力的主要因素是（　　）
A．毛细血管口径
B．小动脉和微动脉口径
C．血液黏滞性
D．动脉管壁的弹性
73．影响收缩压的主要因素是（　　）
A．搏出量
B．心率
C．外周阻力

D．大动脉弹性
74．下列哪种因素可导致舒张压明显升高（　　）
A．心肌收缩力增强
B．小动脉广泛收缩
C．心率减慢
D．循环血量增加
75．收缩压产生的时期是（　　）
A．等容收缩期
B．充盈期
C．快速射血期
D．减慢射血期
76．由于血液重力作用影响静脉回流的因素是（　　）
A．心肌收缩力
B．体位
C．骨骼肌挤压作用
D．呼吸运动
77．组织液生成和回流的动力是（　　）
A．毛细血管压
B．组织液静水压
C．有效滤过压
D．血浆胶体渗透压
78．细胞外液中的主要阳离子是（　　）
A．Fe^{2+}
B．K^{+}
C．Na^{+}
D．Ca^{2+}
E．Mg^{2+}
79．下列哪项称为排泄（　　）
A．部分无机盐和水分由汗腺排出
B．粪便由肛门排出
C．有毒物质经肝脏解毒后随胆汁排出
D．痰液的排出
80．人体粪便中对什么成分的排出属于排泄（　　）
A．大肠杆菌
B．食物残渣
C．胆色素

D．蛔虫卵

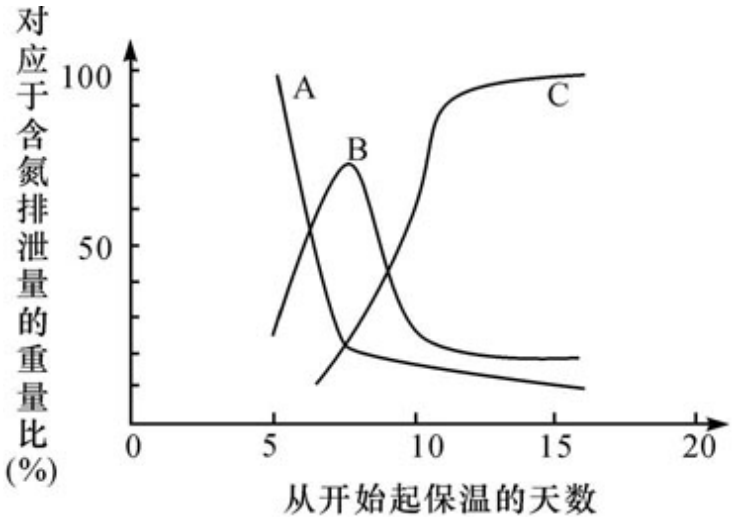
81．右图示意是鸡胚在不同发育时期含氮排泄物的变化曲线，据图回答，下列正确的是（　　）

A．A是尿酸，B是尿素，C是氨

B．A是尿素，B是尿酸，C是氨

C．A是氨，B是尿素，C是尿酸

D．A是尿酸，B是氨，C是尿素



82．肾脏血液供应的特点是（　　）（多选题）

A．血流量大

B．肾髓质的血量占90%以上

C．易受全身动脉血压影响

D．肾小球毛细血管血压较高

83．Na^+在肾小管中进行被动重吸收的部位是（　　）

A．髓袢升支细段

B．髓袢降支细段

C．近曲小管

D．远曲小管

84．下常情况下，每天由肾小管与集合管重新吸收的原尿约占肾小球总滤过液容量的（　　）

A．1%

B．50%

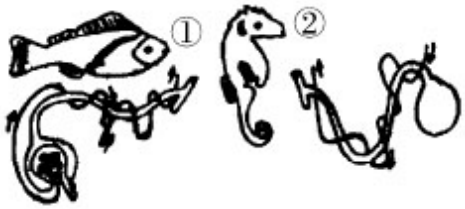
C．90%

D．99%

85．肾小管滤液中的水大部分在何处被重吸收（　　）

A．近曲小管
B．远曲小管
C．两者均有
D．两者均无
86．肾素—血管紧张素系统激活，可使（　　）
A．血容量减少
B．胆固醇减少
C．动脉血压减少
D．肾脏排钠量减少
E．肾脏排钾量减少
87．终尿中的K^+主要是由（　　）
A．肾小球滤过
B．近曲小管分泌的
C．髓袢粗段降支分泌的
D．远曲小管和集合管分泌的
E．髓袢粗段升支分泌的
88．酸中毒时，常伴有高血钾，主要是（　　）
A．细胞破裂，释放K^+增加
B．肾小管重吸收K^+增加
C．H^+-Na^+交换增强
D．H^+-K^+交换增强
89．抗利尿激素对肾脏最明显的作用是（　　）
A．增加近曲小管对水的通透性
B．增加髓袢升支对水的通透性
C．增加远曲小管和集合管对水的通透性
D．增加髓袢降支对水的通透性
E．使入球小动脉收缩
90．正常人一次性饮入清水后，会造成尿量的增加称为水利尿，下列哪些因素与水利尿的形成机制有关（　　）
A．抗利尿激素
B．肾素
C．肾髓质渗透压降低
D．肾小管重吸收增加
E．醛固酮
91．肾内髓部高渗梯度的形成，主要的溶质是（　　）
A．NaCl

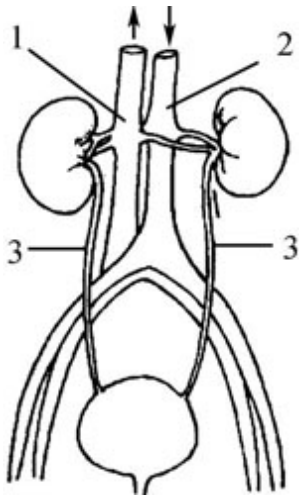
B．尿素
C．KCl
D．NaCl和尿素
E．KCl和尿素
92．肾脏在维持酸碱平衡中的作用是调节（　　）
A．血浆中$NaHCO_3$浓度
B．血浆中Na—Pr的浓度
C．血浆中K—Hb的浓度
D．血浆中K—KbO_2的浓度
E．血浆中Na_2HPO_4的浓度
93．若某人尿量为正常人的数倍，还经常口渴饮水，则病人很可能是肾脏中哪个部位功能发生障碍（　　）
A．肾小球
B．肾小管
C．收集管
D．肾盂
94．右图表示的是：①淡水鱼的肾单位；②海水鱼的肾单位。以下哪一说法是正确的（　　）
A．海洋鱼会比淡水鱼随尿液失去更多的水
B．海洋鱼缺少肾小球，这样可以除去更多的水分
C．海洋鱼肾小管对盐分的重吸收要大于淡水鱼缠绕的肾小管对盐的重吸收
D．肾小球帮助淡水鱼除去多余的水分



95．下列关于入球与出球小动脉的叙述中，正确的是（　　）
A．两者血流量相等
B．两者官腔大小相同
C．两者中的血都是动脉血
D．两者血浆中蛋白质浓度基本相同
96．糖的重吸收，常与哪种离子相伴随（　　）
A．K^+

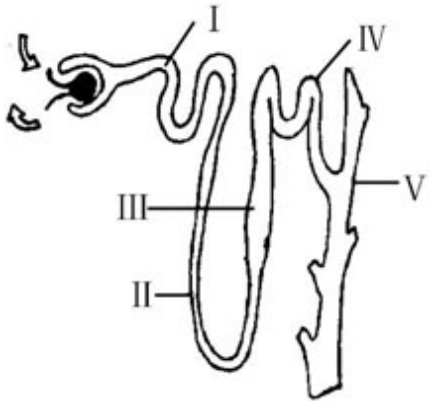
B．Na^{+}
C．Mg^{2+}
D．Ca^{2+}
E．Cl^{-}

97．右图示意人的肾脏，包括出入的小管。箭头表示流向。比较1、2、3三处尿素的浓度。从低到高的正确的浓度顺序是（　　）
A．1→2→3
B．2→1→3
C．3→1→2
D．3→2→1



98．有一种物质在健康人肾的鲍曼氏囊（肾球囊）中的浓度为0.1%，而在最终的尿中则浓度为0。这种物质是什么（　　）
A．磷酸钙
B．葡萄糖
C．氯化钠
D．尿酸

99．如图，肾脏的哪部分对水是不可渗透的（　　）
A．Ⅰ
B．Ⅱ
C．Ⅲ
D．Ⅳ
E．Ⅴ



100．蛋白质与嘌呤代谢的主要废物，在哺乳动物中是尿素，在鸟类中是尿酸。这两种产物在水中的溶解度是不同的。如果哺乳动物产生尿酸而鸟类产生尿素（身体结构不改变），为什么这样对两类动物都不利（　　）

A．两种情形中胚胎都存在排泄困难

B．两种情形中成年个体都存在排泄困难

C．哺乳动物器官不适宜于排泄尿酸

D．鸟类的器官不适宜于排泄尿素

E．如果产生尿素，鸟类会缺乏形成羽毛所需的重要原料

F．如果产生尿酸，哺乳动物会缺乏形成毛发所需的重要原料

101．各段肾小管比较，重吸收量最多的部位是（　　）

A．近曲小管

B．髓袢细段降支

C．髓袢细段升支

D．远曲小管

E．集合管

102．合成尿素的器官是（　　）

A．肾脏

B．肝脏

C．肌肉

D．胰脏

E．脾脏

103．下列器官具有排泄功能的是（　）

A．肝脏

B．唾液腺

C．胃腺

D．胰腺

104．对原尿和终尿的形成起作用的结构称为（　）
A．肾单位
B．肾小体
C．肾小球
D．肾小囊
105．肾单位完成过滤作用的组织结构包括（　）
A．肾小球毛细血管壁
B．肾小球毛细血管壁和肾小囊内壁
C．肾小囊内壁和外壁
D．肾小球毛细血管壁和肾小管壁

【参考答案】

1．B　2．C　3．B　4．B　5．B　6．B　7．D　8．C　9．C
10．D　11．B　12．C　13．E　14．D　15．B　16．C　17．B
18．B　19．C　20．E　21．C　22．C　23．C　24．D　25．D
26．C　27．D　28．E　29．C　30．C　31．B　32．B　33．B
34．C　35．B　36．C　37．B　38．C　39．A　40．B　41．D
42．D　43．C　44．E　45．B　46．A　47．B　48．D　49．B
50．C　51．D　52．A　53．BC　54．ACD　55．ACD　56．D
57．B　58．C　59．C　60．C　61．C　62．E　63．D　64．A
65．A　66．A　67．C　68．C　69．A　70．D　71．A　72．B
73．A　74．B　75．C　76．B　77．C　78．C　79．A　80．C
81．C　82．AD　83．A　84．D　85．A　86．D　87．D　88．C
89．C　90．C　91．D　92．A　93．B　94．D　95．C　96．B
97．A　98．B　99．C　100．E　101．A　102．B　103．A
104．A　105．B

第5讲　动物的神经调节和体液调节

（省教育厅教研室　周初霞　诸暨中学　赵文浪）

【知识梳理】

动物体各项生命活动的调节，由神经系统和内分泌系统来调节，其中对体温的调节，有利于提高机体的代谢水平。

一、生物电现象

生物电现象是指生物细胞膜在安静状态和活动时伴有的电变化现象，它与细胞兴奋的产生和传导有着密切的关系。神经和肌肉属于可兴奋组织，现以神经细胞为例来讨论细胞的生物电现象。

（一）兴奋的引起

1．刺激：指引起活组织或细胞发生反应的内外环境变化，其三要素是刺激强度、刺激持续时间和强度时间变化率。

2．强度—时间曲线（图3-5-1）：表示阈强度与刺激时间的关系。

（1）阈强度（阈值）：指当刺激时间不变时，刚能引起组织兴奋的最小刺激强度。低于或高于阈强度的刺激分别称阈下刺激或阈上刺激。

（2）基强度：刺激时间越长则阈强度越小，但刺激时间超过一定限度后，阈强度不再随着刺激时间的增长而进一步减少，这个最小的阈强度称为基强度。

（3）时值：两倍基强度的刺激引起组织兴奋的最短刺激时间。

3．冲动：电刺激神经能使神经纤维产生一种快速的、可传导的生物电的变化称冲动。

4．兴奋：活组织因刺激而产生冲动的反应，称兴奋。

5．兴奋性：可兴奋组织具有发生兴奋即产生冲动的能力，称兴奋性。哺乳动物只有神经和肌肉是可兴奋组织。时值、基强度、阈值可作为衡量组织兴奋性高低的指标。这些值越小，组织兴奋性越高。

（二）静息电位及产生原理

1．静息电位：细胞膜处于安静状态下，存在于膜内外两侧的电位差。如图3-5-2所示，将两个电极置于安静状态下神经纤维表面任何两点时，细胞膜表面不存在电位差。但如将两个电极中的一个微电极的尖端刺入膜内，则膜内电位比膜外电位低，此电位差即是静息电位。

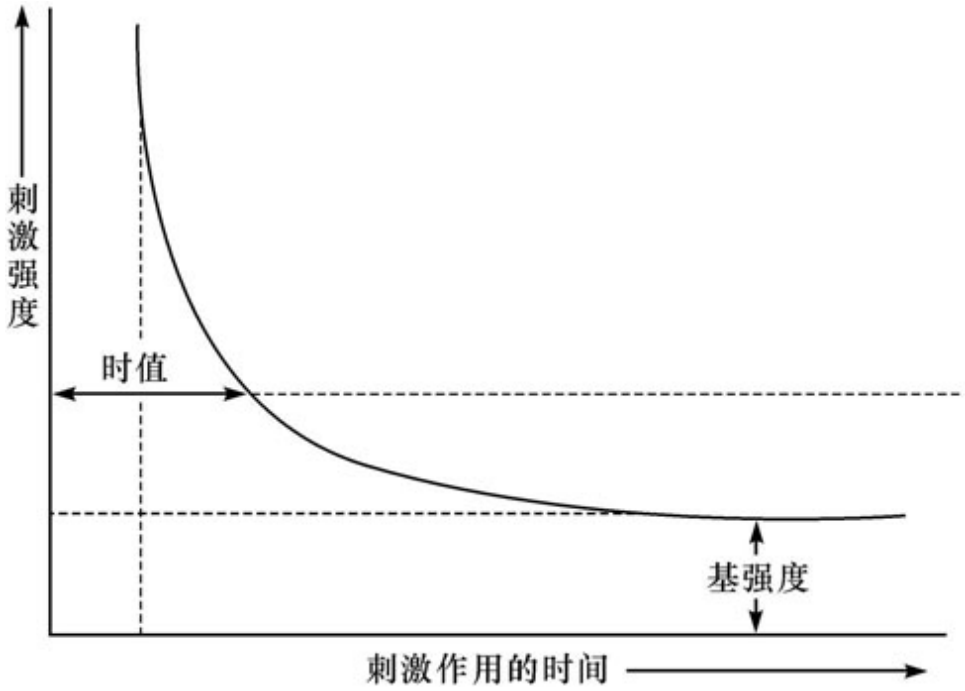


图3-5-1　强度—时间曲线

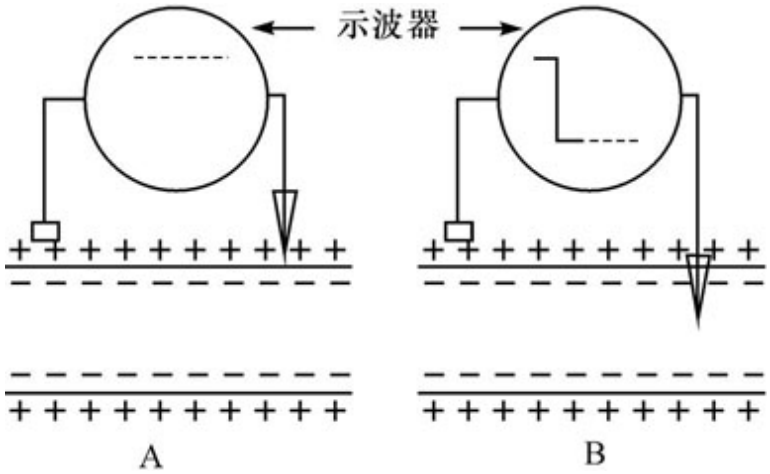


图3-5-2　静息电位测量示意图

（1）极化：安静时，细胞膜两侧内负外正的状态，称极化。

（2）超极化：以静息电位为准，若膜电位向负值增大的方向变化，称超极化。

（3）去极化：膜电位向负值减小的方向变化，称去极化。

（4）复极化：细胞发生去极化后向原先的极化方向恢复，称复极化。

2．静息电位产生的原理：“离子流学说”认为，生物电产生的前提是细胞膜内外的离子分布和浓度不同，以及在不同生理状态下，细

胞膜对各种离子的通透性有差异。据测定，在静息状态下细胞膜内外主要离子分布及膜对离子的通透性如表3-5-1。

表3-5-1　静息状态下细胞膜内外离子分布及通透性

主要离子	离子浓度(mol/L)		膜内与膜外离子比例	膜对离子通透性
	膜内	膜外		
Na^+	14	142	1∶10	通透性很小
K^+	155	5	31∶1	通透性大
Cl^-	8	110	1∶14	通透性次之
A^-（蛋白质）	60	15	4∶1	无通透性

在静息状态下，由于膜内外K^+存在浓度差和膜对K^+有较大的通透性，因而一部分K^+顺浓度差向膜外扩散，增加了膜外正电荷，随着K^+不断外流，膜外的正电荷逐渐增多，于是膜外电位上升，膜内因负电荷增多而电位下降，这样便使紧靠膜的两侧出现一个外正内负的电位差。这种电位差的存在，使K^+的继续外流受到膜外正电场的排斥和膜内负电场的吸引，以致限制了K^+的外流。当电梯度与化学梯度两种力量平衡时，K^+进出细胞膜的净通量为零，此时的膜电位为K^+的平衡电位，与静息电位大致相当。由于静息细胞膜对Na^+也具有一定的通透性，Na^+内流导致静息电位的绝对值稍小于由单独K^+外流造成的K^+平衡电位数值，所以静息电位基本上为K^+平衡电位。

（三）动作电位及其产生原理

1．动作电位：各种可兴奋细胞受到有效刺激时，在静息电位的基础上产生的快速、可逆、有扩布性的电位变化（如图3-5-3）。

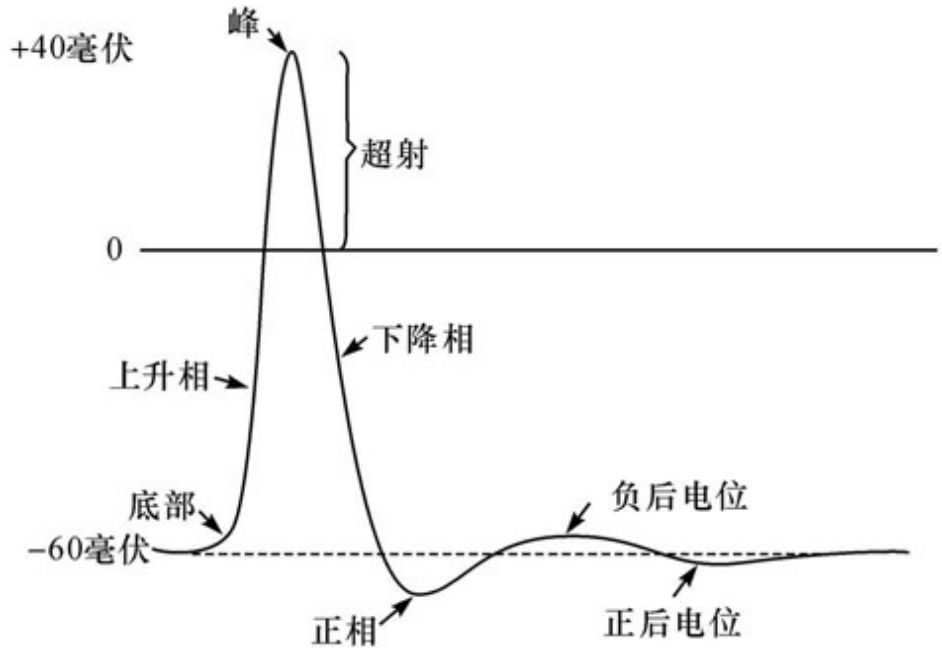


图3-5-3　动作电位示意图

从图中可知：

（1）上升相：表示膜去极化过程，此时膜内原有的负电位迅速消失，并进而变为正电，即由-70～-90mV变为+20～+40mV，出现膜两侧电位倒转（外负内正），整个膜电位变化的幅度可达90～130mV。极性倒转的部分（即膜电位由零到+40mV）称为超射。

（2）下降相：表示膜复极化过程，是膜内电位从上升相顶端下降到静息电位水平的过程。

（3）峰电位和后电位

①神经纤维的动作电位的主要部分由于幅度大、时程短（不到2ms），电位波形呈尖峰形，称峰电位。单个的峰电位遵循“全或无”原则，即刺激达不到阈强度，不能产生动作电位（无），一旦产生，峰电位的幅度就达到最大值（全）。峰电位在同一细胞其形状、幅度和持续时间都是恒定的，冲动一旦产生，即以一定的速度传导，且不因传导距离而发生改变。

②在峰电位完全恢复到静息电位水平之前，膜两侧还有微小的连续缓慢的电变化，称后电位，包括负后电位和正后电位。一个动作电位包括峰电位和后电位两部分，峰电位相当于细胞的绝对不应期；后电位的前段相当于相对不应期和超常期；后电位的后段相当于低常期。膜电位恢复到静息电位水平，兴奋性也就恢复正常。

2．动作电位产生原理

（1）动作电位的上升相的形成：细胞膜受到刺激后，膜对Na^+的通透性增加，膜外Na^+大量内流，膜内电位迅速升高，使原来的负电位消失并高出膜外电位，在膜的两侧形成一个内正外负的电位差。这种电位差的存在，使Na^+的继续内流受到膜内正电荷的排斥，当促使Na^+内流的浓度差与阻止Na^+内流的电位差相等时，Na^+的净内流停止。此时膜电位为Na^+的平衡电位。所以动作电位的上升相是Na^+内流所形成的电化学平衡电位，是膜由K^+平衡电位转为Na^+平衡电位的过程。

（2）动作电位的下降相的形成：在上升相到达Na^+平衡电位时，膜上Na^+通道已关闭，对Na^+的通透性迅速下降。与此同时，膜对K^+的通透性大增。于是，K^+顺浓度差和电位差外流，使膜内外电位又恢复到原来的内负外正的静息水平，形成动作电位的下降相。所以，动作电位的下降相是K^+外流所形成的，是膜由Na^+平衡电位转变为K^+平衡电位的过程。

细胞膜在复极化后，跨膜电位虽然恢复，但膜内Na^+有所增多，而K^+有所减少。这时便激活了细胞膜上的钠—钾泵（ATP是钠—钾泵的能源），通过钠钾离子的主动转运（每泵入2个K^+同时泵出3个Na^+），重新将它们调整到原来静息的水平，以维持细胞正常的兴奋性。

3．动作电位的传导：动作电位在同一细胞沿膜由近及远地扩布称传导，若涉及两个细胞则称传递。

（1）神经传导的一般特点

①生理完整性：传导首先要求神经纤维在结构和生理机能上都是完整的。

②不衰减性：传导时，峰电位幅度和传导速度不会因距离增大而减小。

③双向性：如果刺激神经纤维中段，产生的动作电位可从产生部位沿膜向两端传导。

④绝缘性：在神经干内所包含的许多纤维，由于髓的绝缘性，它们各自传导本身的冲动而不波及邻近的纤维。

⑤相对不疲劳性：与肌肉组织相比，神经具有相对不疲劳的特性。

（2）冲动传导的局部电流学说：在传导过程中，膜已兴奋区与未兴奋区之间出现电位差而导致电荷移动，形成局部电流。膜的每一部分都是在局部电流的作用下，重新发动一次兴奋。

无髓纤维局部电流沿轴突连续而均匀地向前推进，且神经纤维的直径越大，传导速度越快；有髓纤维（被施旺细胞所包裹，且不是连续的，每隔1～3mm即为朗飞氏结）局部电流可由一个朗飞氏结跳跃至邻近的下一个朗飞氏结，即跳跃传导，速度远比无髓纤维为快，且节省能量。

（3）突触传递的特点

①单向传递：由于突触前膜只能释放递质，突触后膜只能接受递质，所以，兴奋只能由神经传递到肌肉（或在神经与神经之间由轴突传向树突及细胞体），而不能相反。

②突触延搁：兴奋在突触处的传递，比在神经纤维上的传导要慢。因为兴奋由突触前神经末梢传至肌细胞（或突触后神经元），要经历递质的释放、扩散和对突触后膜作用的过程，所以需要较长的时间（约0.5ms），这段时间叫突触延搁。

③总和：通常兴奋性突触每兴奋一次，并不足以触发突触后肌纤维（或神经元）兴奋。但是，同时传来的一连串兴奋，或是许多突触前神经末梢同时传来一排兴奋，引起较多的递质释放，就可以使突触后神经元兴奋，这种现象叫总和。

④对内外环境的敏感性：缺氧、二氧化碳增加或酸碱度的改变等，都可以改变突触部位的传递活动。

⑤对某些药物敏感：突触后膜的受体对递质有高度的选择性，某些药物也可以特异性地作用于突触传递过程，阻断或加强突触的传递。如箭毒阻滞兴奋的传递，毒扁豆碱则增强兴奋的传递。

（4）突触的类型

根据突触接触的部位分（图 3-5-4）：
- 轴突—胞体突触（A）
- 轴突—树突突触（B）
- 轴突—轴突突触（C）

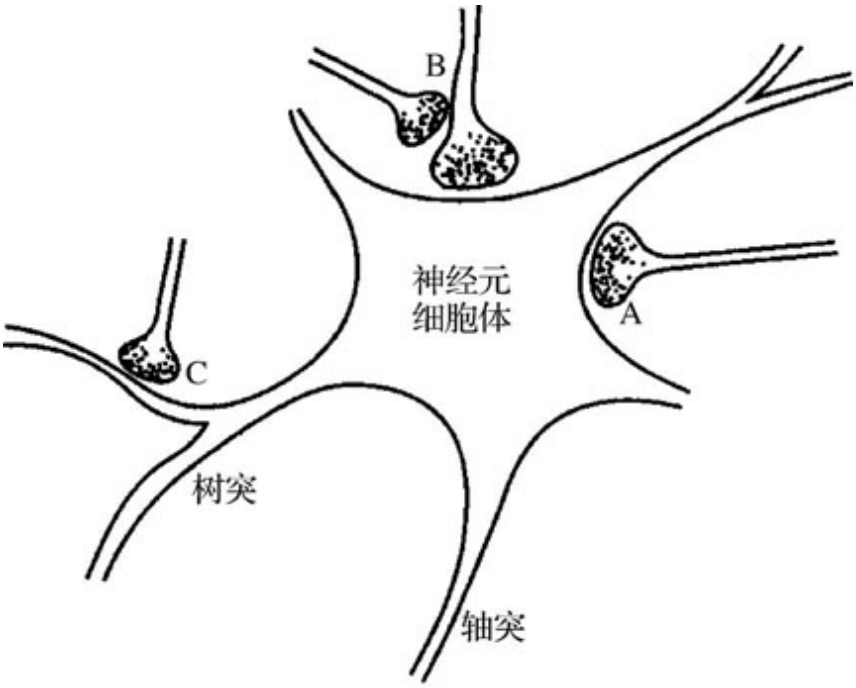


图3-5-4　突触的类型

根据突触对下一个神经元的影响分
- 兴奋性突触：使下一个神经元兴奋
- 抑制性突触：使下一个神经元抑制

（5）突触电位的产生和类型

①兴奋性突触后电位：神经冲动传到轴突末梢，使突触前膜兴奋并释放兴奋性化学递质，经突触间隙到达突触后膜受体，并与之相结合，使后膜某些离子通道开放，提高膜对Na^+、K^+、Cl^-，特别是Na^+的通透性，使膜电位降低，局部去极化，产生兴奋性突触后电位。

②抑制性突触后电位：同样是突触前神经元轴突末梢兴奋，但释放到突触间隙的是抑制性递质。此递质与后膜受体结合，使离子通道开放，提高膜对K^+、Cl^-、特别是Cl^-（不包括Na^+）的通透性，使突触后膜的膜电位增大，出现突触后膜超极化，称抑制性突触后电位。

（6）递质的种类：大体上可分为乙酰胆碱、单胺类（多巴胺、去甲肾上腺素和5-羟色胺等）和氨基酸类（谷氨酸、天门冬氨酸和γ-氨基丁酸等）。其中，乙酰胆碱、谷氨酸、天门冬氨酸等可能是兴奋性递质；γ-氨基丁酸、多巴胺等可能是抑制性递质。但作用的细胞不同，递质的作用也不一定相同。

递质发生兴奋后，就被酶破坏而失活，或被移走而迅速停止作用。因此，一次神经冲动只能引起一次递质释放，产生一次突触后电位变化。

二、神经系统的进化

单细胞动物和低等的多细胞动物（如海绵）无神经系统，由细胞本身对外界环境的变化作出反应。在动物的进化过程中，神经系统的结构和机能是逐渐演变、发展起来的（图3-5-5）。

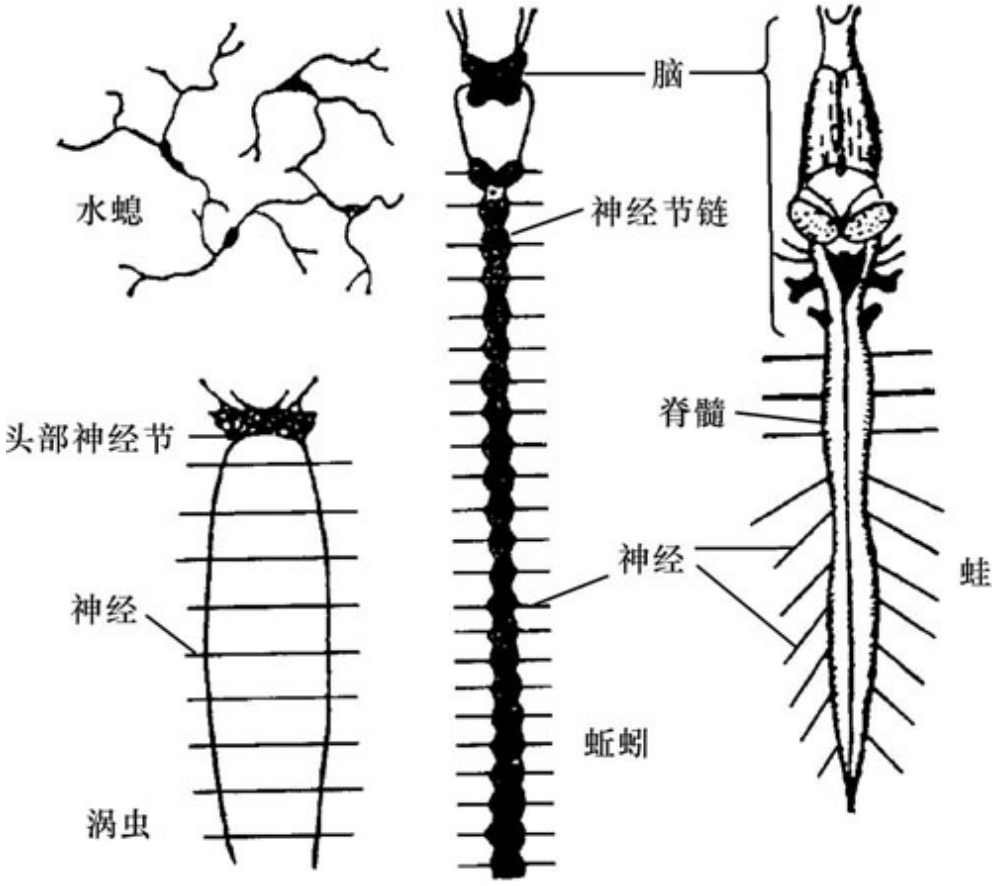


图3-5-5　神经系统的进化

（一）无脊椎动物的神经系统

1．神经网：腔肠动物的神经网是最早出现的神经系统，其神经细胞彼此交织成网，无中枢和周围之分，冲动传导无方向，常“牵一发而动全身”。

2．结节型神经组织（梯形神经）：扁形动物（如涡虫）的神经细胞，初步开始集中成神经节，特别是在身体前端有一对脑神经节和两条腹神经索。

3．链状神经系统：环节动物和节肢动物的链状神经系统。其特点是：神经细胞体集中成神经节，神经纤维聚集成束而成神经。如蚯蚓的神经节按体节分布，神经节之间有神经纤维相联系，形成一条贯穿全身的神经链。在头部有一对脑神经节与咽下神经节相连，下接神经

链。随着刺激的部位和强度的不同，动物既可发生局部反应，也可发生全身性的反应。

环节动物、软体动物和节肢动物神经系统都有巨大神经——由快速传导功能的神经纤维构成。无脊椎动物神经节的共同特征是神经细胞体在周围，神经纤维在中央。

（二）脊椎动物的神经系统——管状神经系统

脊椎动物的神经系统在形态上和无脊椎动物不同，没有腹神经索而有一个位于身体背面的脑的脊髓，叫管状神经系统（如图3-5-5中蛙的管状神经系统），包括由脑和脊髓组成的中枢神经系统及从脑和脊髓发出的脑神经和脊神经组成的周围神经系统。

1．脊椎动物中枢神经系统的发育

脊椎动物的中枢神经系统是由外胚层内陷形成的神经管发展而成的（图3-5-6）。在发育的早期，神经管的前端膨大形成原始脑泡：包括前脑、中脑和菱脑；神经管的其余部分发育成脊髓（表3-5-2）。

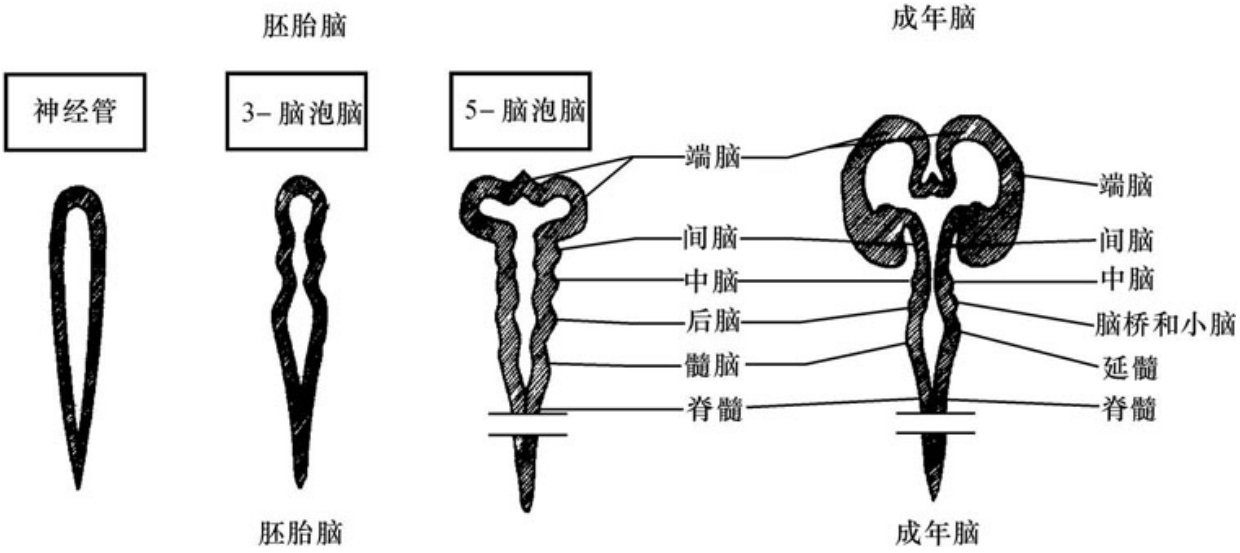


图3-5-6　发育中和成年的脑（背面观）

表3-5-2　神经系统各部分的发育分化

原始区分	再区分	主要衍生成分	腔室
前脑	端脑	嗅脑、基底节、大脑皮层	侧脑室
	间脑	丘脑、下丘脑、视神经、神经垂体、松果体	第三脑室
中脑	中脑	中脑	中脑水管
菱脑	后脑	小脑、脑桥	第四脑室
	髓脑	延髓	第四脑室
原始神经管	神经管	脊髓	中央管
	神经嵴	外周神经节	无

2．脊椎动物脑的进化过程（图3-5-7）：脑的变化以大脑、小脑最显著，小脑逐渐发展；大脑大为发达，成为进化的主流；中脑变化不大，相对体积减小，重要性降低（哺乳类中脑四叠体中有视觉和听觉反射中心）；低等脊椎动物中，丘脑是主要的感觉整合中心。

脊椎动物大脑的区别如表3-5-3所示。

表3-5-3　脊椎动物大脑的区别

大脑	鱼类	两栖类	爬行类	鸟类	哺乳类
表面	白质（古脑皮）	原皮质（灰质）	新皮质	无新皮质（纹状体发达）	新皮质发达（沟和回）
功能	只有嗅觉	嗅觉为主	多种	神经系统中枢	神经系统中枢

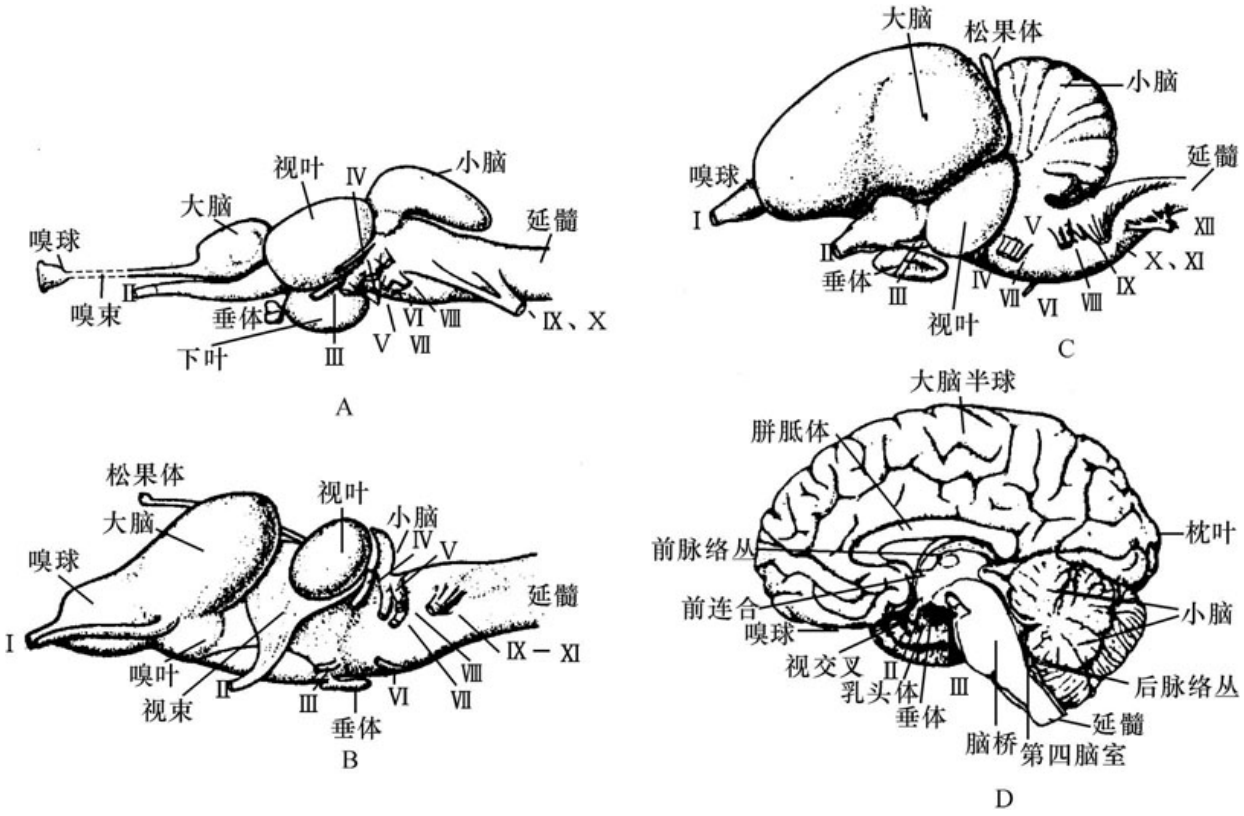


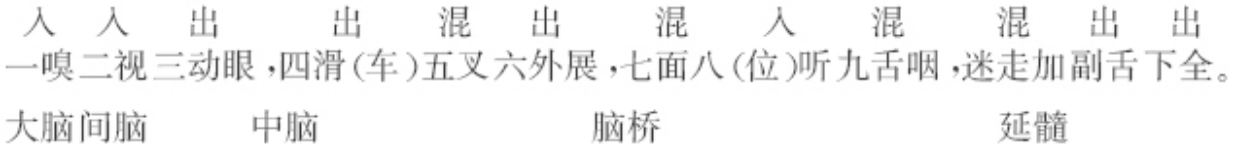
图3-5-7　脊椎动物的脑（A．鱼；B．蛙；C．鸟；D．人）

三、人体神经系统的结构和功能

（一）结构

- 中枢神经系统
  - 脑
    - 大脑（两个半球）：表面：灰质（大脑皮层），有沟和回；内部：白质，联系两半球（胼胝体）及小脑、脑干和脊髓
    - 小脑：表面：灰质（小脑皮层），有平行的浅沟和叶片；内部：白质及少数神经核（灰质块）
    - 脑干（间脑、中脑、脑桥和延髓）：灰质和白质排列不规则
  - 脊髓：内部：灰质（蝴蝶形），前角粗、后角细；前根出、后根进；周围：白质（由许多神经纤维组成）
- 外周神经系统
  - 脑神经 12 对
  - 脊神经 31 对（全是混合神经）

其中，脑神经（爬行类、鸟类和哺乳类有12对，鱼类和两栖类只有10对）：传入、传出、混合三类神经都有。名称、来源和口诀见下：



（二）功能

1．脊髓的功能：是低级神经中枢，有传导和反射功能。

（1）脊休克：脊髓是低级神经中枢，受高级神经中枢控制。若脊髓与高位中枢离断，离断水平以下的脊髓所支配的部分暂时失去一切反射活动，因为离断水平以下的脊髓突然失去高级中枢的调控作用。高级中枢对脊髓反射的调节作用包括易化作用和抑制作用两个方面。

（2）脊髓的躯体反射

①屈肌反射：动物一侧肢体的皮肤遭受伤害性刺激时，引起的同侧肢体的屈肌收缩、伸肌舒张，称屈肌反射。其意义在于避免刺激，进行自我保护。用钝器划足跖外缘，出现大趾背屈，其他四趾呈扇形外展，称为巴彬斯基征阳性。

②对侧伸肌反射：当引起屈肌反射的刺激达一定强度时，除引起同侧肢体屈曲外，还引起对侧肢体屈曲的现象。该反射有维持姿势和身体平衡的作用。

③牵张反射：骨骼肌受外力牵拉伸长时，受牵拉的同一肌肉发生反射性收缩叫牵张反射。其感受器是肌梭，处于肌肉本身内，所以叫做本体感受器。肌梭在肌肉中，与梭外肌纤维平行，形成“并联”关系，肌梭两端有梭内肌纤维，中间有传入神经末梢。牵张反射包括腱反射和肌紧张。腱反射为快速牵拉肌腱时发生的牵张反射，为单突触反射；肌紧张为缓慢持续牵拉肌腱时发生的牵张反射，是维持身体姿势的基本反射，也是随意运动的基础。如牵拉力量进一步增大，梭外肌肌张力增高，则兴奋腱器官。腱器官位于肌腱胶原纤维之间，与梭外肌纤维呈串联关系，是张力感受器，其传入冲动通过中间神经元抑制支配同一肌肉的运动神经元，使肌张力不至过分升高。

④脊髓对内脏活动的调节：脊髓是交感神经和部分副交感神经的发源地，是调节内脏活动的初级中枢．如脊髓可完成基本的血管张力反射、发汗反射、排尿反射、排便反射等，但这些反射功能是初级的，要受高级神经中枢的调节。

2．低位脑干对肌紧张的调节与去大脑僵直

（1）脑干网状结构对肌紧张的调节：在脑干部分，有一类形状不一、分化较差的神经元，它们和许多神经纤维交织在一起构成一种犹如网状的组织，称为网状结构。脑干网状结构的上行通路构成了前面述及的网状结构上行激活系统。同时，脑干对躯体运动调节的重要途

径便是通过网状结构的下行系统，即网状脊髓束控制和影响脊髓反射。网状结构对于脊髓反射活动具有抑制和易化两种作用。在正常情况下，脑干网状结构下行系统经常接受来自大脑皮层、小脑、纹状体和丘脑等高级部位的影响。

（2）去大脑僵直：如果在中脑上丘和下丘之间及红核的下方水平面上将麻醉动物脑干切断，则动物立刻出现全身肌紧张加强，四肢强直，脊柱反张后挺现象，称为去大脑僵直。去大脑僵直主要是一种伸肌紧张性亢进，是一种过强的牵张反射。引起过强牵张反射的原因主要是由于中脑水平切断脑干之后，来自红核以上部位的下行抑制性影响被阻断，网状抑制系统的活动降低，易化系统的作用因失去对抗而相对占有优势，导致伸肌反射的亢进。

3．延髓的功能

延髓又称“活命中枢”，有心血管中枢和呼吸中枢，是部分交感神经和副交经的发源地，也是吞咽、咳嗽、喷嚏、呕吐、唾液分泌等反射活动的整合中枢。

4．小脑的功能

小脑主要是维持躯体平衡，调节肌肉张力和协调随意运动，并且在技巧性运动的学习和建立过程中起重要作用。小脑损伤的病人，随意运动出现障碍：运动过度或不足、乏力、方向偏移和失去运动稳定性，特别是动作的开始、停止和方向改变更存在障碍，表现为共济失调性震颤及辨距不良等症状。

5．大脑皮层的机能定位（图3-5-8）：

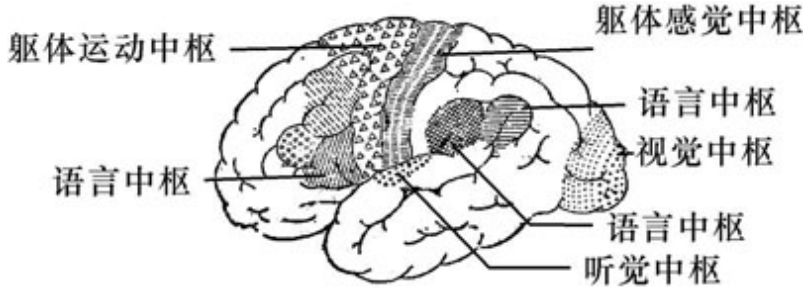


图3-5-8　大脑皮层的神经中枢

（1）五种中枢位置的形象方位记忆法：“运动感觉竖中央，语言中枢依两旁，运感之下是听觉，视觉中枢脑后方。”

（2）大脑皮层运动和感觉区的功能特征有：①左右交叉（一般头面部为双侧）；②倒置（头面部正置）；③机能占位（即运动最强烈或感觉最灵敏的部分所占区域最大）。

（3）语言中枢是人类特有的，大多数人的语言区在大脑的左半球。

6．脑的高级功能（即大脑皮层的生理活动）

（1）条件反射的形成及三种刺激的关系（图3-5-9）

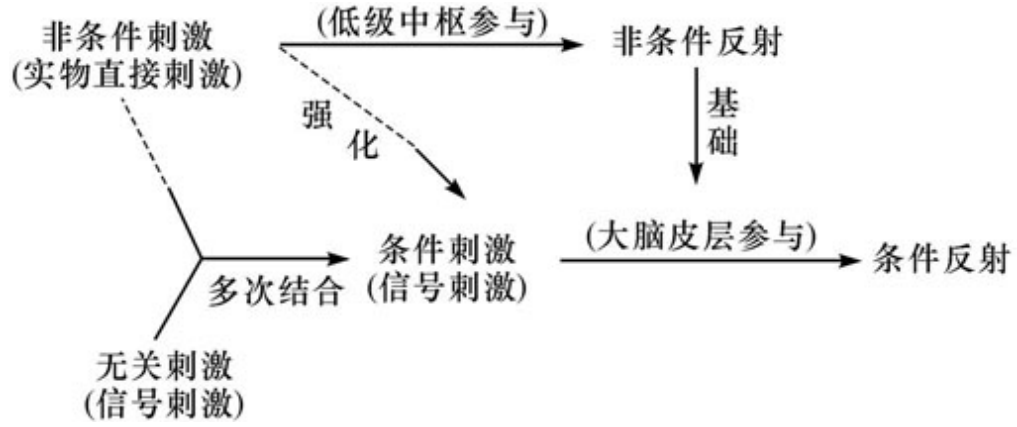


图3-5-9　条件反射的形成

①条件反射的消退：在条件反射建立之后如只反复应用条件刺激而不予强化，原先建立的条件反射就会逐渐减弱或消失。

②条件反射的泛化：在条件反射形成的初期，一些与条件刺激相似的刺激也具有条件刺激的效应。

③条件反射的分化：通过训练可使动物只对强化的刺激有反应（阳性反应），对不强化的刺激出现阴性反应。

（2）三种反射的比较如表3-5-4。

表3-5-4　三种反射的比较

	获得	刺激来源	反射弧建立	参与的神经中枢	级　别
非条件反射	先天性（本能）	（非信号）直接刺激	永久	低级中枢（大脑皮层以下）	低　级（1个中枢即可）
条件反射（第Ⅰ信号系统）	后天性	（具体信号）间接刺激	暂时	大脑皮层及低级中枢	高　级（至少2个中枢）
条件反射（第Ⅱ信号系统）	后天性（人独有）	（抽象信号）间接刺激	暂时	大脑皮层（含语言中枢）及低级中枢	高　级（至少3个中枢）

（3）脑电图（图3-5-10）：在头皮上或皮层表面描记到电的活动（前者为脑电图，后者为皮层电图），是脑内无数神经元突触后电位的综合。从图3-5-10可知，脑电波根据频率、波幅不同分四类：①α波：清醒安静闭目时出现，常呈梭形变化，睁眼时，α波消失，呈现快波，称α波阻断；②β波：为皮层处于活动状态的主要脑电特征；③θ

波：在困倦时记录到，是中枢神经处于抑制状态的脑电特征；④δ波：在睡眠或麻醉时出现。利用皮层诱发电位可研究皮层定位和感觉投射。

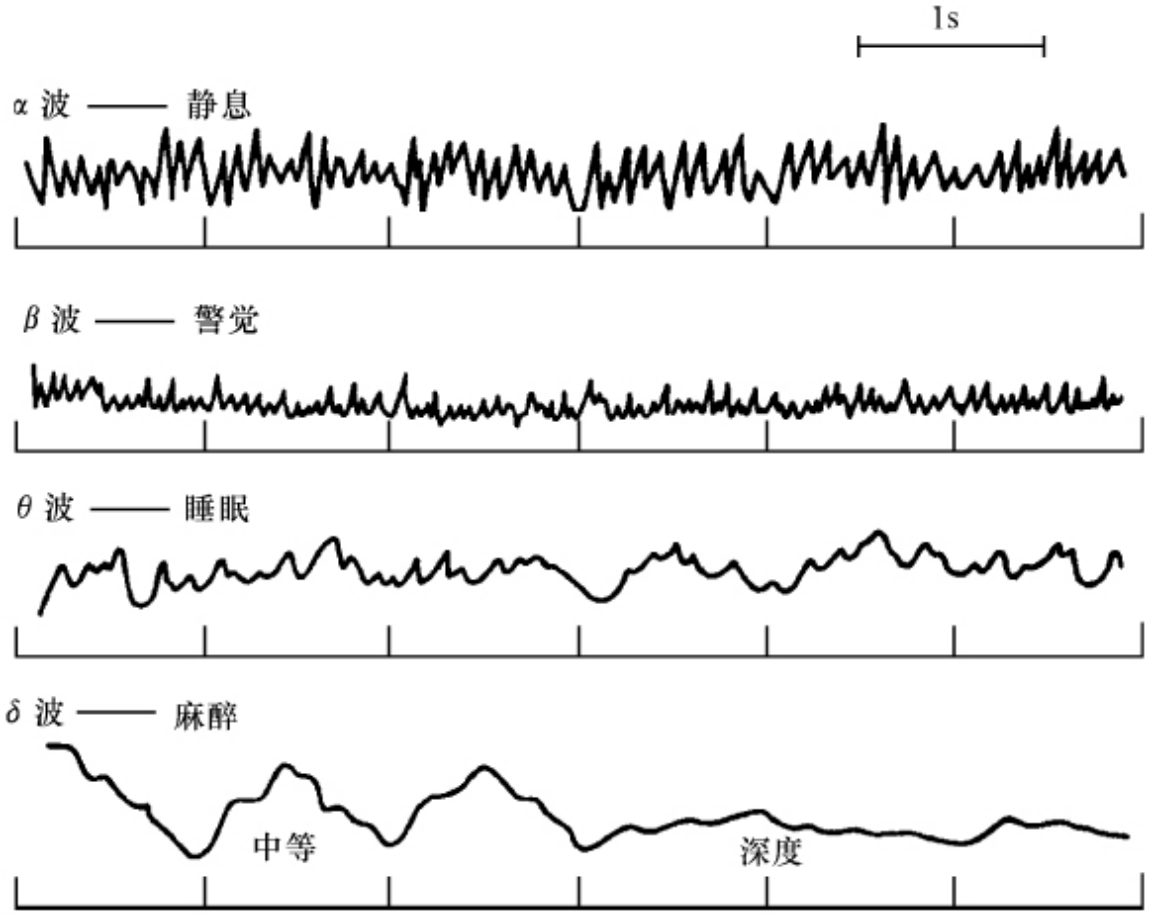


图3-5-10　人脑电图中的几种波形

（4）觉醒和睡眠

①觉醒状态：包括脑觉醒和行为觉醒。觉醒维持是脑干网状结构上行激活系统引起的。

②睡眠时相：包括慢波睡眠和快波睡眠（异相睡眠、快速眼球运动睡眠）。慢波睡眠主要表现为脑电图呈同步化慢波（δ波），感觉功能减退，运动反射和肌紧张减弱，血压下降，生长素分泌增多，有利于促进机体生长和体力恢复。异相睡眠脑电波呈去同步化快波（β波），各种感觉进一步减弱，肌肉几乎完全放松，眼球快速运动，部分机体抽动，多数有做梦活动，血压、心率增加，脑内蛋白质合成加快，有利于建立新的突触联系，促进记忆功能和恢复精力。两种形式

的睡眠可以相互转化，整个睡眠期间约转化4～5次，但入睡从慢波睡眠开始。

7．基底神经节及锥体外系对躯体运动的调节

（1）基底神经节：包括尾状核、壳核和苍白球等，其功能是调节随意运动的稳定、控制肌紧张和处理本体感觉传入信息。黑质多巴胺神经元损害表现震颤麻痹（静止性震颤），又叫帕金森病；新纹状体病变引起舞蹈病。

（2）锥体外系：指锥体系以外的调节躯体运动的传导路。锥体外系对肌肉运动的控制为双侧性，主要功能是调节肌紧张和肌群的协调运动。

8．植物性神经（自主神经）：内脏活动的调节主要是通过植物性神经系统。根据形态、功能的不同，植物性神经可分为交感神经和副交感神经。

（1）植物性神经系统（图3-5-11）

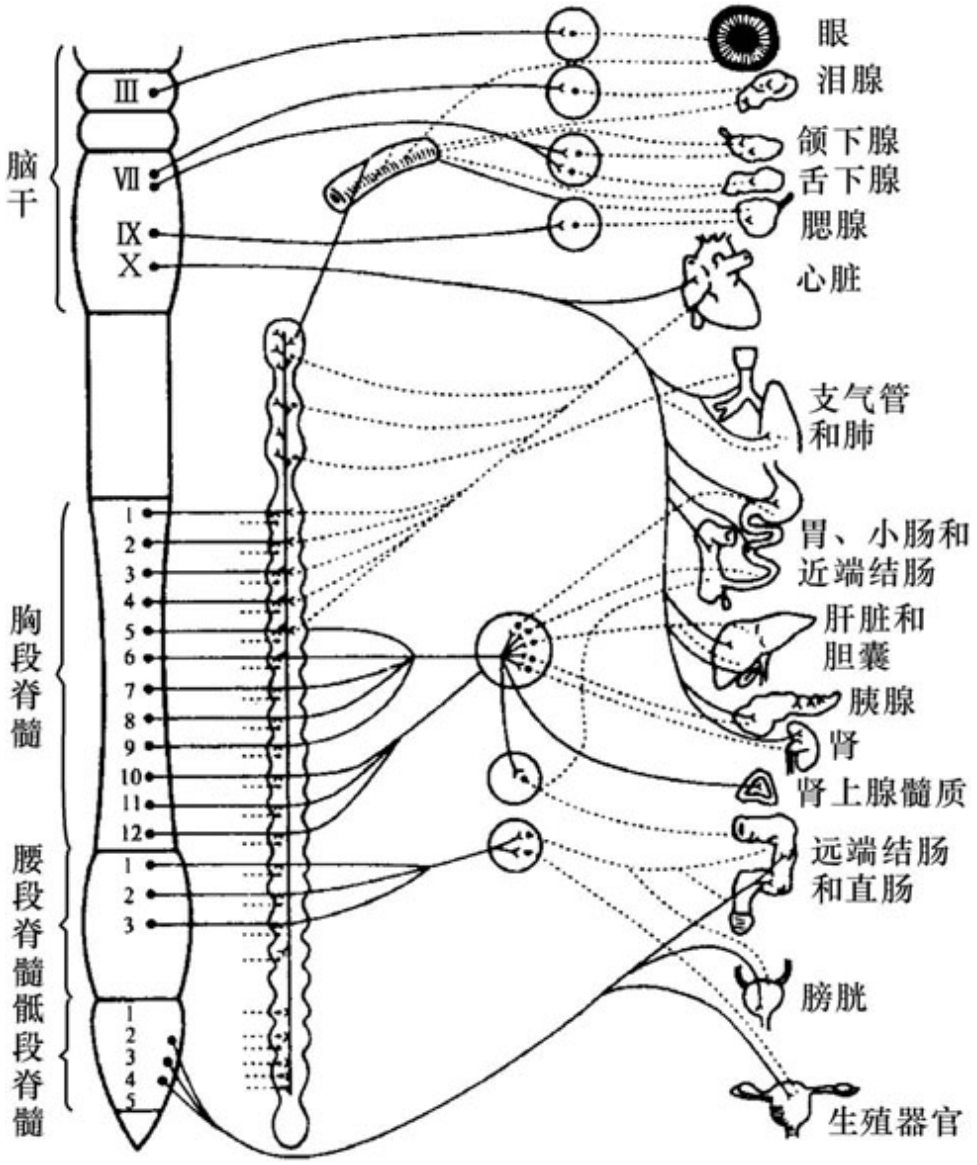


图3-5-11　植物性神经系统分布示意图

①结构特点：不随意；效应器为平滑肌、心肌和腺体；传出神经都含有两个神经元，在周围神经节换元，节前神经元位于脑或脊髓；节前纤维为较细有髓纤维，节后纤维为细的无髓纤维。

②交感神经和副交感神经的区别（表3-5-5）

表3-5-5　交感神经和副交感神经的区别

区　别	交感神经	副交感神经
节前神经元位置	胸、腰部脊髓灰质中	脑和骶部脊髓灰质中
节后神经元位置	脊髓左右侧交感神经链(节)中(每侧 18 个)	在所支配的器官附近
释放的递质	去甲肾上腺素	乙酰胆碱

③植物性神经的功能及特征（表3-4-6）

表3-4-6　人体器官中植物性神经的功能

器　官	交 感 神 经	副 交 感 神 经
循环器官	心跳加快、加强，血压升高； 皮肤及腹腔血管收缩	心跳减慢、减弱 (—)
呼吸器官	支气管平滑肌舒张(管腔变粗)	支气管平滑肌收缩(管腔变细，促黏液分泌)
消化器官	胃肠运动减弱；消化腺分泌(—)	胃肠运动加强；胃液、肠液分泌加强
泌尿器官	膀胱平滑肌舒张	膀胱平滑肌收缩
男生殖器	血管收缩	生殖器血管扩张
女生殖器	血管收缩；有孕子宫收缩	子宫收缩弛缓
内分泌腺	促进肾上腺分泌	促进胰岛素分泌
代　谢	促进糖元分解，血糖升高	血糖降低
眼瞳孔	散大(扩瞳肌收缩)	缩小(缩瞳肌、睫状肌收缩，促泪腺分泌)
皮　肤	肝腺分泌，竖毛肌收缩	(—)

从表3-5-6中可知：植物性神经主要在于调节心肌、平滑肌、腺体（消化腺、汗腺、部分内分泌腺）的活动。交感神经的作用在于促使机体能够适应环境的急剧变化，产生“打或跑”反应；副交感神经的作用在于促使机体休整恢复、促进消化、积蓄能量、加强排泄和生殖。其功能特征有双重支配；相互拮抗；紧张性作用。

（2）下丘脑的功能：是调节内脏活动较高级的中枢。同时，它把内脏活动与其他生理活动联系起来，成为躯体性、植物性和内分泌性功能的重要整合中心。下丘脑的功能有调节体温、摄食行为、水平衡、腺垂体的分泌、情绪与行为反应和调控机体昼夜节律等功能。

四、感觉器官

（一）视觉和光感受器

几乎所有生物都具有感光功能，但植物没有特定的感光器官，原生生物如衣藻、眼虫等有特定的光感受器——眼点；涡虫的光感受器已有“眼”的初步结构，但无晶状体，不能成像；昆虫有的皮肤有感光功能（如白蚁中的工蚁没有眼，它们利用皮肤的感光能力对光作出反应），昆虫的单眼只能感光但不能成像，大概与昆虫飞翔时的定向定位有关，昆虫的复眼既能感光又能成像，复眼对光的闪烁特别敏感，感知电磁光谱的幅度比人眼宽，且有分析偏振光的能力；一些环节动物、软体动物（头足类）的眼，与脊椎动物的眼相似，这是趋同进化的结果。下面主要讨论人眼的结构和功能。

1．人眼球的结构（图3-5-12）和功能（表3-5-7）

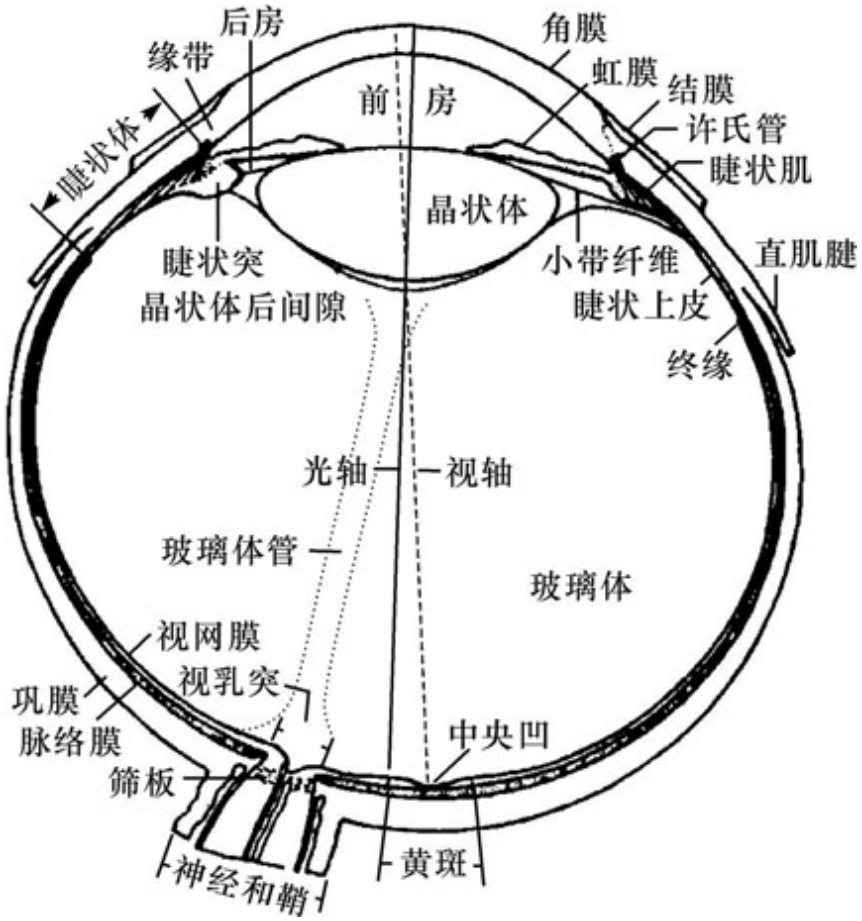


图3-5-12　人眼的水平切面

表3-5-7　人眼球的结构与功能

组成			结构特点		功能
眼球壁	外膜	角膜	无色透明，富含神经末梢		感觉；组成折光系统之一
		巩膜	白色坚韧		保护
	中膜	虹膜	多种色（眼珠色）；含平滑肌；中央有瞳孔		调节瞳孔大小
		睫状体	内有放射状排列的平滑肌		调节晶状体曲度
		脉络膜	血管丰富；色素细胞丰富		营养眼球；遮光形成暗室
	内膜（视网膜）		色素上皮细胞层（外层）	有色素、感光、神经细胞；有黄斑；有盲点	感受光刺激，产生兴奋
			感光细胞层（视杆、视锥细胞）		
			神经细胞层（双极、水平、无长突细胞）		
			神经节细胞层（内层）		
内容物	房水		透明液体，位于前房和后房（虹膜前后）		组成折光系统
	晶状体		透明固体，位于瞳孔后方，双凸，有弹性，依靠悬韧带附着在睫状体上		
	玻璃体		透明胶状物，位于晶状体后		

（1）盲点：视网膜视神经乳头无感光细胞形成盲点，位于中央凹鼻侧。

（2）黄斑与中央凹：从角膜中心到晶体中心连成一直线，往后延伸，即达视网膜中央的一个小窝，称中央凹，位于一个略呈黄色的小区——黄斑的中央。中央凹的感光细胞全为视锥细胞，而无视杆细胞，在强光下能形成清晰和详细的彩色图像。

（3）视网膜的感光细胞与光化学反应（图3-5-13）

①感光细胞：“二元学说”认为，视网膜上存在两种直接的感光细胞——视锥细胞和视杆细胞。从图3-5-13中可知：视锥和视杆这两种细胞位于视网膜深层，它们的顶端倒插在视网膜后面的色素细胞层中，而正是这顶端的部分才有感光的能力；视锥和视杆细胞与神经元网络形成复杂的突触，来自视锥和视杆细胞的信息在视网膜内进行加工、筛选，然后由视神经传入大脑，产生视觉。

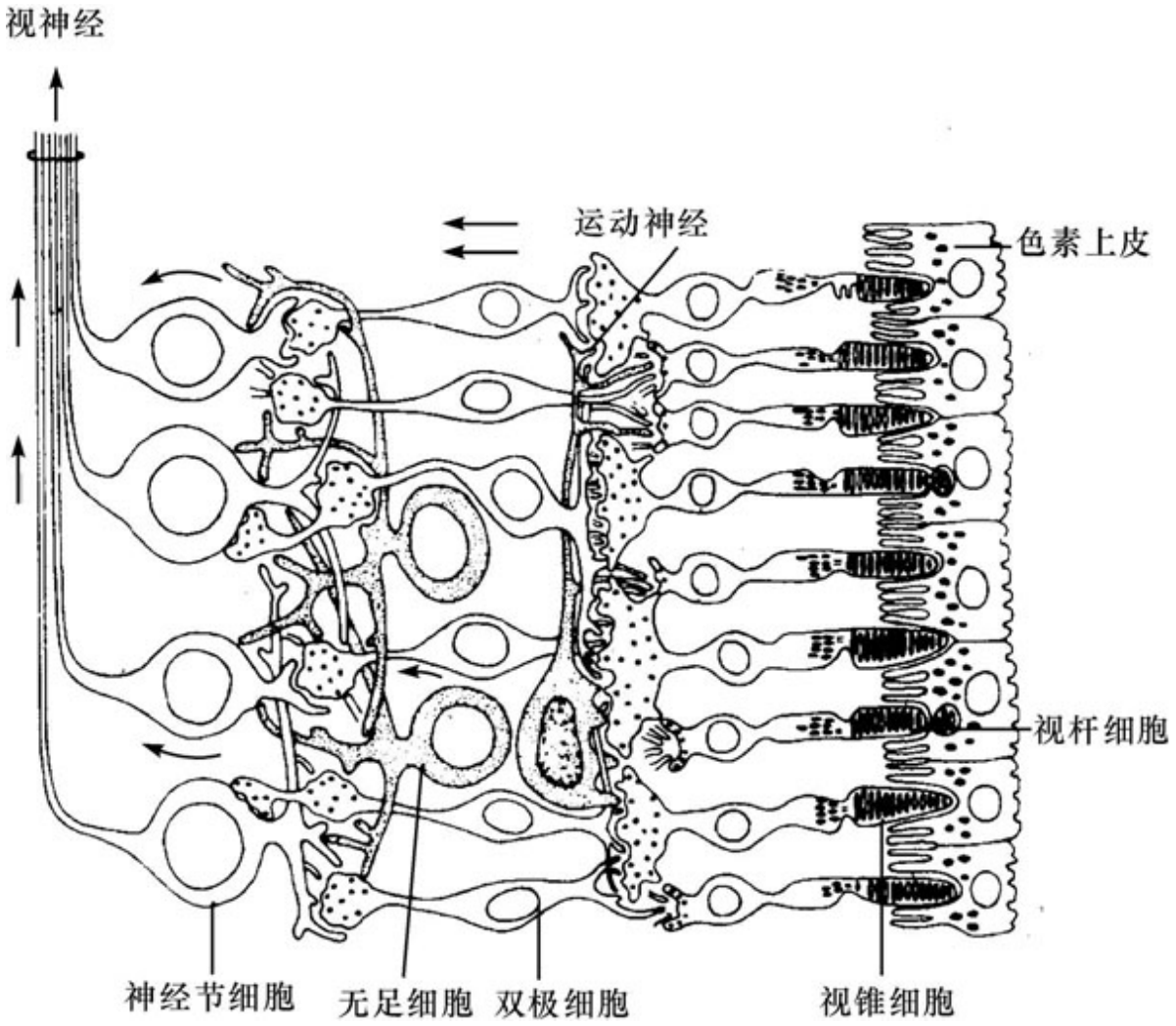


图3-5-13　视网膜图解

②光化学反应：视锥细胞可感受强光并具有色觉，能分辨颜色，主要在白天或较强光亮的环境中起作用，但光敏度较低，视敏度较高；而视杆细胞光敏度高，视敏度低，主要感受弱光刺激，在弱光下只能看到物体的粗略轮廓并且视物无色觉。视杆细胞中的视紫红质为感光色素，其光化学反应为：

$$\text{视紫红质} \underset{\text{暗}}{\overset{\text{光}}{\rightleftharpoons}} \text{视黄醛} + \text{视蛋白}$$

视黄醛由维生素A氧化而成，缺乏维生素A容易引起夜盲症。

（4）暗适应和明适应：暗适应过程分两个阶段，第一阶段视觉的初步恢复主要与视锥细胞中感光色素合成增加有关，第二阶段主要与

视杆细胞中视紫红质合成增加有关。明适应中强光下产生耀眼光感是由于视杆细胞中的紫红质在强光下迅速分解所致。

（5）眼的调节（图3-5-14）：正常眼在看6米以外物体时无需调节，眼处于静息状态下能形成清晰视觉的眼前物体的最远点称为远点。随着物体移近，经眼的调节作用在视网膜上成清晰的像，把眼作充分调节所能看清眼前物体的最近点称为近点。视近时主要是晶体变凸、瞳孔缩小和两眼视轴会合三个方面的调节，其调节机制如表3-5-8所示。

表3-5-8　视近调节的三重反应

	视近反应	机　制	神经支配
晶状体曲度	增　加	睫状肌收缩	副交感神经纤维(动眼神经)
瞳　孔	缩　小	瞳孔括约肌收缩	副交感神经纤维(动眼神经)
视　轴	会　合	眼内直肌收缩	躯体神经纤维

（6）眼的折光异常

①近视：眼球前后径过长造成近点变近。配凹透镜进行矫正。

②远视：眼球前后径过短造成。看远、看近都需调节，近点变远。配凸透镜进行矫正。

③散光：角膜不成正球面所致。配柱面镜（圆面镜）进行矫正。

④老花：晶状体随年龄增长而弹性减弱所致，近点增大。配凸透镜进行矫正。

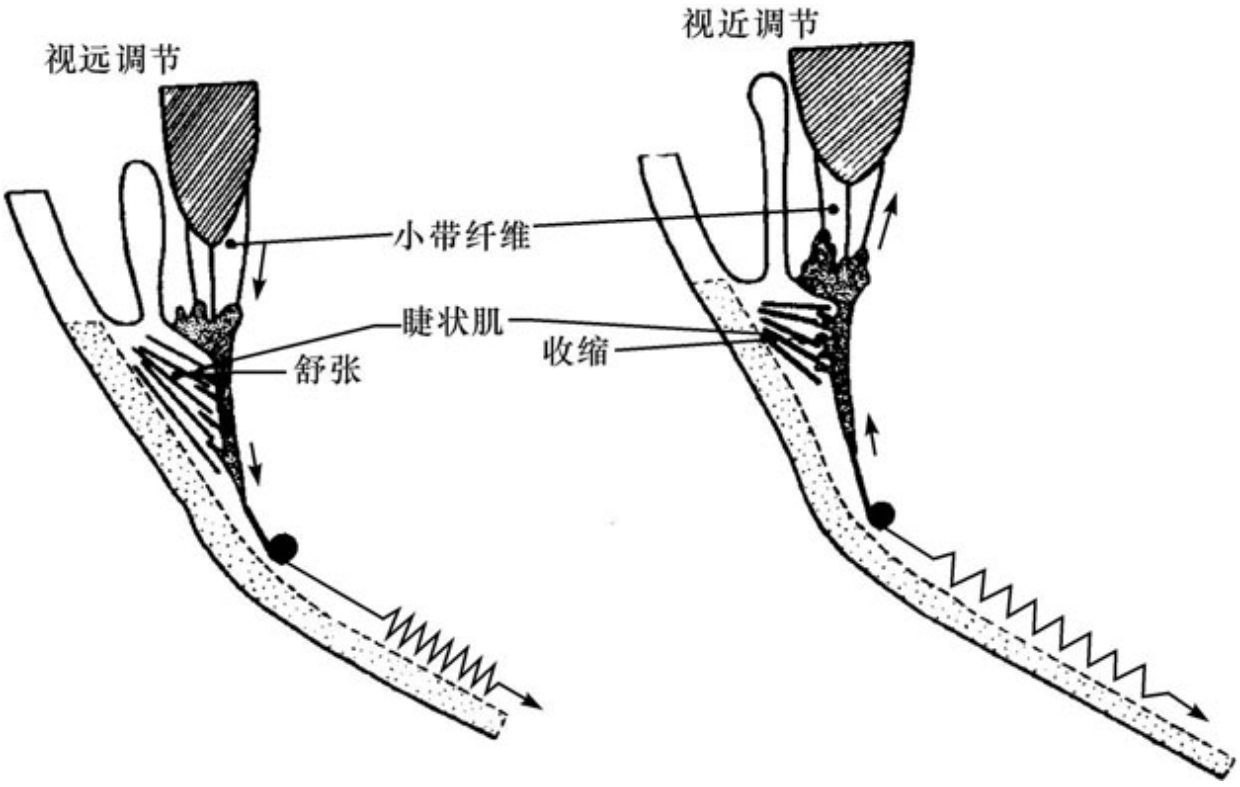


图3-5-14　眼的调节

（7）双眼视觉：人和高等哺乳动物的双眼视物时视野差不多大，部分重叠，称双眼视觉。通过眼外肌的调节，使物体同一部分来的光线成像在两侧视网膜的相称点上。它使视觉系统在感知物体的“厚度”时，有立体感。

（二）平衡和听觉

大多数无脊椎动物和脊椎动物的平衡与听觉密切相关，常常由同一感受器完成两方面的功能。平衡器官在低等动物——腔肠动物就已存在，而听觉是在进入陆地之后才有了大的发展。

1．平衡囊：水母、栉水母和甲壳动物有平衡囊。如栉水母的平衡囊位于身体反口面的中央，囊内有石灰质的平衡石，有调节身体运动和维持平衡的功能。

2．平衡棍：双翅目昆虫如蚊、蝇等后翅变异而成平衡棍。

3．侧线器官：鱼类和水生两栖类及两栖类幼体感受波浪和水流的器官。如鱼类的侧线位于身体两侧，各成一条从头到尾的长管，管壁内面有感觉细胞，其感觉毛伸入管中。侧线的作用是维持身体平衡，并帮助视觉器官向中枢“汇报”有无障碍物，包括有无食物等情况。

4．前庭器：是脊椎动物的平衡器官，包括内耳的三个半规管、椭圆囊和球囊，都是膜质管道，且构造曲折复杂，故有“膜迷路”之

称，内充满内淋巴。三个半规管互相垂直，末端膨大叫壶腹，内有壶腹嵴，嵴上的毛细胞能感受机械压力。半规管能感受头部的旋转变速运动；椭圆囊和球囊能感受头部的位置和直线运动时速度的变化。

5．听觉和耳：从进化上看，耳的原初功能是平衡器官，动物进入陆地后，内耳才逐渐发生了听觉功能。鱼类只有内耳（保持身体平衡而无听觉功能）；两栖类有了中耳；从爬行类开始有了外耳。下面着重介绍人耳的结构和功能（图3-5-15）。

（1）外耳：包括耳郭和外耳道（听道），主要有收集并传送声波的作用。

（2）中耳：鼓膜——接受声波，产生振动；听小骨（锤骨、砧骨和镫骨，是人体内最小的骨）——传递振动并扩音；鼓室（有咽鼓管通咽）——能保持鼓膜内外气压平衡。

（3）内耳：又称“迷路”，包括前庭器和耳蜗两部分。前庭器是平衡器官，耳蜗是听觉器。耳蜗内有膜质管道（蜗管）分成两部分：前庭阶和鼓阶。蜗管内充满内淋巴，蜗管中有柯蒂氏器（听觉器官），位于基膜之上，包括毛细胞和支持细胞。

（4）听觉障碍

①传导性聋：外耳道堵塞和中耳鼓膜受损或听骨的运动障碍造成。

②感音性聋：由柯蒂氏器和耳蜗神经损伤引起。

③中枢性耳聋：由听觉神经通路的各级中枢、大脑皮层以及通路上的病变所造成。

（5）回声定位：鸟类中的亚洲穴燕和南美油鸟，哺乳类中的蝙蝠和海豚等可以利用发出的高频声脉冲的回声来探测物体的方向、大小、距离和质地，叫回声定位。

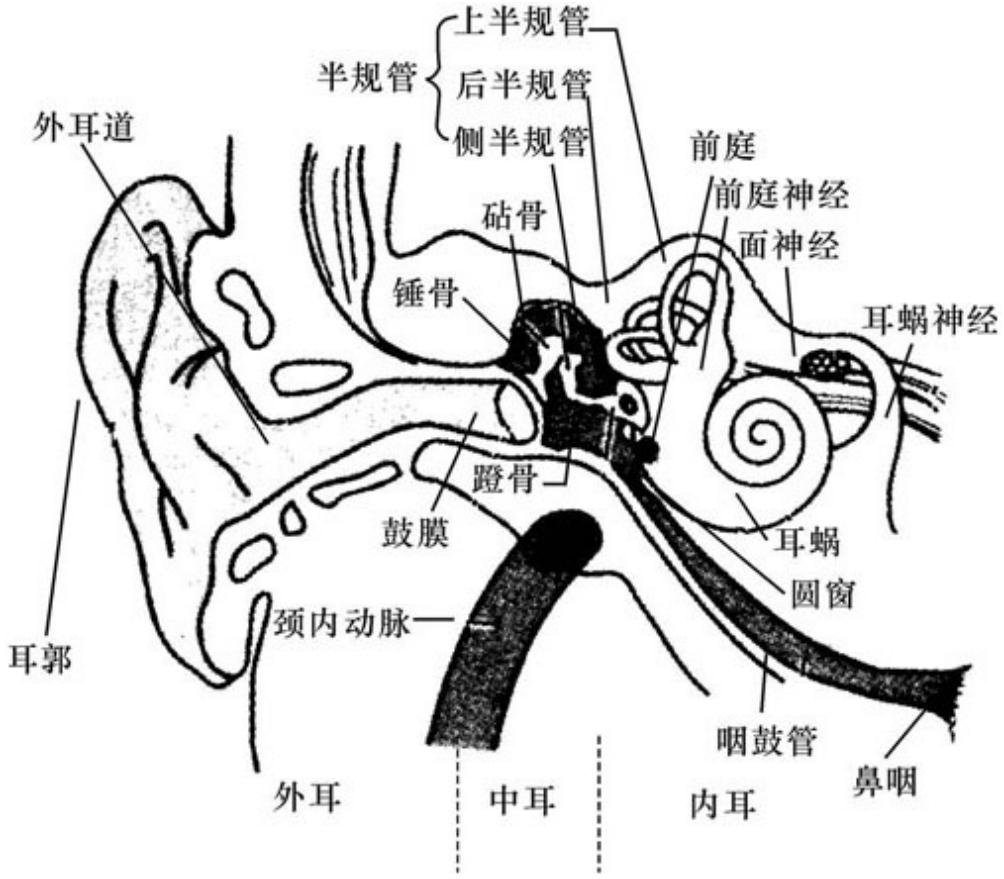


图3-5-15　人耳结构模式图

（三）化学感受性

化学感受性是指嗅感受器和味感受器对溶解于水中的化学物质的感受机能。动物的嗅、味感受器虽有多种形态，但基本结构一致（图3-5-16）。味感受器细胞感受溶解的离子或分子的刺激，而嗅感受器细胞的表面有一层黏液，挥发的气体分子必须先溶解于这层黏液再刺激嗅感受器细胞。化学感受器往往非常灵敏，如雄蚕蛾触角的化学感受器对雌蚕蛾释放的性外激素很敏感（激素分子与空气分子比为1：10^{17}仍能发生反应）。人的味感受器是味蕾（由味觉细胞和支持细胞组成），主要分布在舌的背面，特别是舌尖和舌的侧面。味觉的敏感性在舌面各部分有差异：舌尖对甜、咸最敏感，对苦、酸也敏感；舌的外侧对酸最敏感；舌根对苦最敏感。

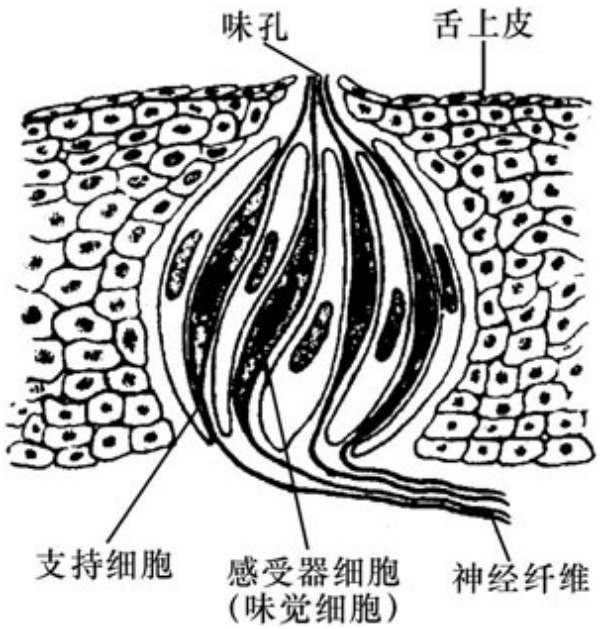


图3-5-16　脊椎动物的味蕾

五、体液调节

1．激素的分类（按化学性质分为两大类）

（1）含氮激素（通常都是氨基酸的衍生物或蛋白质、多肽）

①肽类和蛋白质激素：下丘脑调节肽、神经垂体激素、腺垂体激素、胰岛素、甲状旁腺激素、降钙素以及胃肠激素等。

②胺类激素：包括肾上腺素、去甲肾上腺素和甲状腺激素。

（2） 固醇（甾体）激素：肾上腺皮质和性腺分泌的激素，如皮质醇、醛固酮、雌激素、孕激素以及雄激素等。

2．激素作用的一般特性

（1）激素的信息传递作用：激素在细胞与细胞之间进行信息传递。不论是哪种激素，它只能对靶组织的生理生化过程起加强或减弱的作用，调节其功能活动。激素既不能添加成分，也不能提供能量，仅仅起着“信使”的作用，将生物信息传递给靶组织，发挥增强或减弱靶细胞原有生理生化过程的作用。

（2）激素作用的相对特异性：激素只选择性地作用于某些器官、组织和细胞。

（3）激素的高效能生物放大作用：激素在血液中浓度都很低，但其作用显著，激素与受体结合后，在细胞内发生一系列酶促放大作用，一个接一个，逐级放大效果，形成一个效能极高的生物放大系统。

（4）激素间的相互作用：当多种激素共同参与某一生理活动的调节时，激素与激素之间往往存在着协同作用或拮抗作用。例如，生长素、肾上腺素、糖皮质激素及胰高血糖素，虽然作用的环节不同，但均能提高血糖，在升糖效应上有协同作用；相反，胰岛素则能降低血糖，与上述激素的升糖效应有拮抗作用。

3．激素作用的机制

（1）含氮激素作用的机制——第二信使学说（图3-5-17）

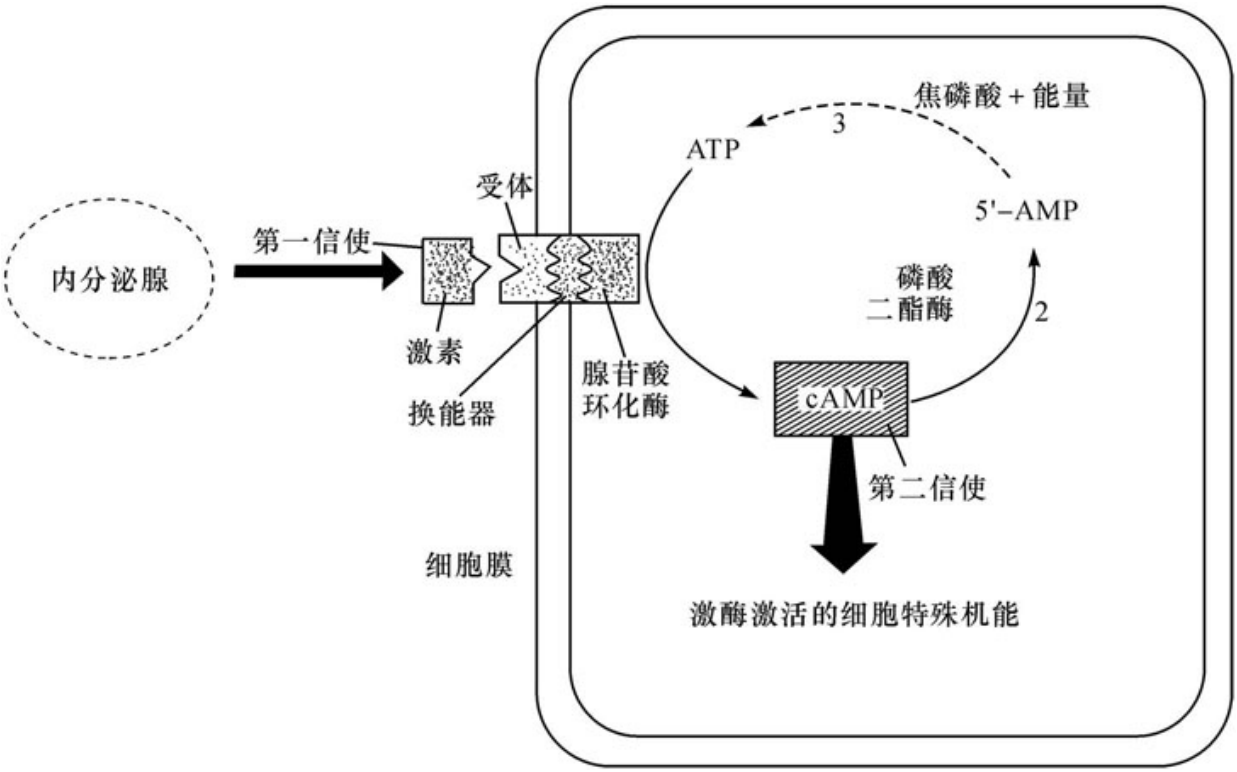


图3-5-17　含氮激素作用的机制—第二信使学说

激素作用过程主要包括：①激素是第一信使，首先与靶细胞膜上的特异受体结合。

②激素与受体结合后，激活膜上的腺苷酸环化酶系统。

③在Mg^{2+}存在的条件下，腺苷酸环化酶促使ATP转变为cAMP，cAMP是第二信使，信息由第一信使传递给第二信使。

④cAMP使无活性的蛋白激酶（PKA）激活，催化细胞内多种蛋白质发生磷酸化反应，包括一些酶蛋白发生磷酸化，从而引起靶细胞各种生理生化反应。

（2）类固醇激素作用机制——基因表达学说（图3-5-18）

激素与胞浆受体结合，形成激素—胞浆受体复合物。受体蛋白发生构型变化，从而使激素—胞浆受体复合物获得进入细胞核的能力，由胞浆转移至核内。与核内受体相结合，形成激素—核受体复合物，从而激发DNA的转录过程，生成新的mRNA，诱导蛋白质合成，引起相应的生物效应。

4．主要内分泌腺所分泌的激素、化学本质及生理作用（表3-5-9、3-5-10）

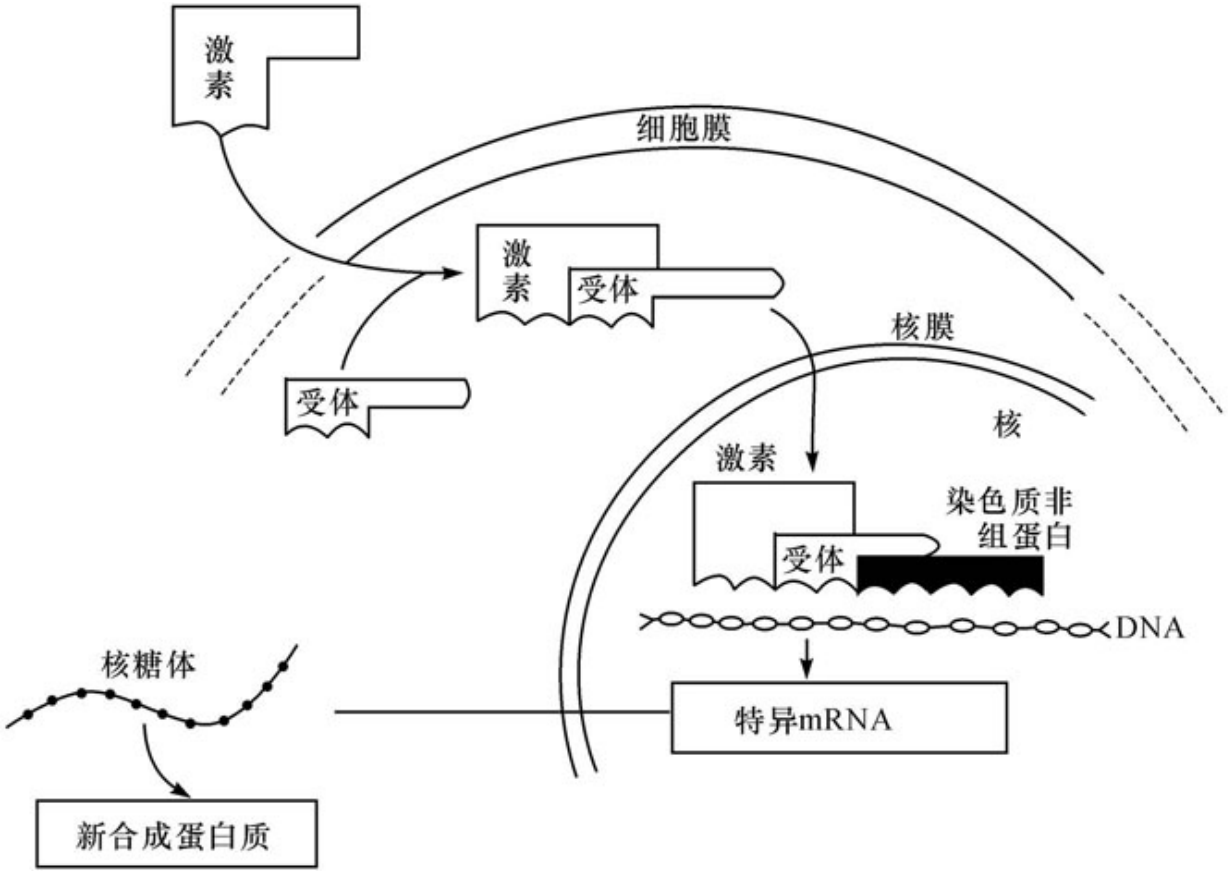


图3-5-18　类固醇激素作用机制——基因表达学说

表3-5-9　主要内分泌腺分泌的激素

激　素	结构	靶组织	主 要 作 用	调　　节
促肾上腺皮质激素释放激素（CRH）	41 肽	腺垂体	刺激 ACTH 释放	多种有害刺激增加分泌；ACTH 抑制分泌
促甲状腺素释放激素（TRH）	3 肽	腺垂体	刺激 TSH 释放和催乳素分泌	低体温引起分泌；甲状腺素抑制分泌
生长激素释放激素（GHRH）	多肽	腺垂体	刺激 GH 释放	低血糖刺激分泌
促性腺激素释放激素（GnRH）	10 肽	腺垂体	刺激 FSH 和 LH 的释放	雄性血液中睾酮水平降低刺激分泌；雌性激素水平降低和神经输入都刺激分泌；血中 FSH 或 LH 水平高都抑制分泌
生长激素释放抑制激素（GIH）	14 肽	腺垂体	抑制 GH 释放；抑 LH、FSH、PRL、ACTH、TSH 释放	运动引起分泌，激素在身体组织中很快失活

表3-5-10　各类激素的化学本质及生理作用

内分泌腺		激　素	化学本质	主要生理作用
垂体	腺垂体	促甲状腺激素	糖蛋白	促进甲状腺增生和分泌
		促肾上腺激素	39 肽	促进肾上腺皮质增生和糖皮质类固醇的分泌
		促性腺激素	糖蛋白	促进性腺生长、生殖细胞生成和分泌性激素
		生长素	蛋白质	促进蛋白质合成和骨的生长
		催乳素	蛋白质	促进成熟的乳腺分泌乳汁
	神经垂体	抗利尿素	9 肽	促进肾小管重吸收水、使小动脉收缩而升高血压
		催产素	9 肽	促进妊娠末期子宫收缩

内分泌腺		激　素	化学本质	主要生理作用
甲状腺		甲状腺激素	氨基衍生物	促进糖的吸收，糖元分解、升高血糖；加强组织对糖的利用；促脂肪氧化分解及生长发育
		三碘甲腺原氨酸	氨基衍生物	提高中枢神经系统的兴奋性
甲状旁腺		甲状旁腺素	蛋白质	促进骨钙溶解入血并抑制痛小管吸收磷而促进对 Ca^{2+} 的重吸收
胰岛	α细胞	胰高血糖素	39肽	升高血糖
	β细胞	胰岛素	蛋白质	降低血糖
肾上腺	肾上腺皮质	糖皮质激素	类固醇	升高血糖、抗过敏、抗炎症、抗毒物
		盐皮质激素	类固醇	促进肾小管吸收钠和排钾
		性激素	类固醇	分泌雄性激素和少量雌性激素，作用见性腺
	肾上腺髓质	肾上腺激素	儿茶酚胺	增加心输出量，使血糖升高，舒张呼吸道和消化道平滑肌
		去甲肾上腺素	儿茶酚胺	使小动脉收缩、血压升高
性腺	睾丸	雄激素	类固醇	促进精子和副性器官生长发育，激发并维持男性的副性征
	卵巢	雌激素	类固醇	促进卵巢、子宫、阴道、乳腺生长发育，激发并维持女性的副性征
		孕激素	类固醇	促进子宫内膜增生和乳腺泡发育

【例题解析】

例1　引起动作电位变化幅度最小的时相是（　）

A．绝对不应期

B．相对不应期

C．超常期

D．低常期

E．正常期

解析　动作电位的变化幅度主要与Na^+的内流有关。在相对不应期和超常期内，因为膜电位绝对值均比正常静息电位要低，Na^+通道开放能力均没有恢复正常；在超常期内，Na^+通道基本上复活到可被激活的正常备用状态；而在相对不应期内，Na^+通道虽已逐渐复活，但Na^+通道的开放能力却较超常期为低。因此，在相对不应期动作电位的幅度最小。

答案　B

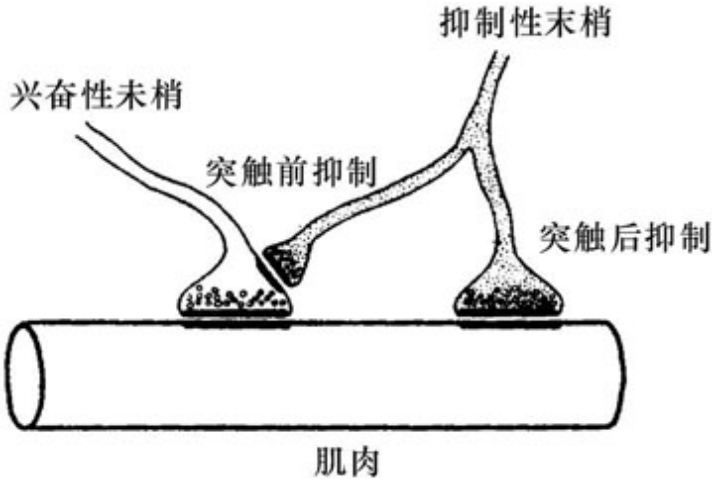
例2　突触前抑制的产生是由于（　）

A．突触前轴突末梢超极化

B．突触前轴突末梢去极化

C．突触前轴突末梢释放抑制性递质

D．突触后膜的兴奋性发生改变



解析　中枢内抑制过程可能发生在两个不同的部位：一种是抑制性突触后电位的结果，发生在突触后膜，叫突触后抑制；一种是发生在突触前末梢，叫突触前抑制（如图）。突触前抑制是由于一种抑制性末梢终止在兴奋性轴突的突触前末梢上，形成了轴突—轴突性突触，兴奋性冲动在到达突触前就受到了抑制末梢的影响，引起传入兴奋性末梢去极化，减少兴奋性末梢释放兴奋性递质的数量，使突触后膜所接受的兴奋性递质减少，只能产生一个较小的兴奋性突触后电位，甚至不产生突触后电位，而运动神经元本身并未出现超极化，神经元的静息电位和膜的通透性都没有发生变化

答案　B

例3　对脊休克后脊椎反射活动恢复的叙述中，错误的是（　　）

A．简单反射恢复后比正常时减弱

B．反射恢复的动物，血压可逐渐上升到一定水平

C．屈肌反射恢复后比正常时加强

D．发汗反射恢复比正常时加强

E．排尿、排粪反射可以恢复，但不能接受意识控制

解析　脊髓是低级神经中枢，正常动物体内受高级神经中枢的调节。脊休克以后脊髓反射时，有的反射较正常为弱，如伸肌反射，说明高级中枢对脊的伸肌反射中枢原来有较强的兴奋性影响即易化作用；另有一些反射比平常更强，并广泛扩散，如屈肌反射、发汗反射等，这又说明高位中枢对脊髓的这些反射有抑制性影响。

答案　A

例4　放置振动音叉柄于患者前额正中发际，双耳声音比较，以右耳为响；分别以振动音叉置于左、右外耳道口测试，右耳响度不如左

耳。应判断为（　　）

A．左耳传导性耳聋

B．右耳传导性耳聋

C．左耳神经性耳聋

D．右耳神经性耳聋

解析　放置振动音叉柄于耳聋患者前额正中发际，双耳都能听到声音，且右耳比左耳响，这说明双耳均存在有骨传导，且右耳的骨传导更为敏感。分别以振动音叉置于左、右外耳道口测试，双耳都能听到声音，且右耳响度不如左耳，这说明两耳均存在有气传导，且右耳的气传导减弱。既然患者的双耳均存在有骨传导和气传导，则患者的双耳均不可能为神经性耳聋（因为患神经性耳聋时，骨传导和气传导均不存在），因此患者只可能为传导性耳聋。患传导性耳聋时，若气传导受损，则骨传导往往会更敏感，这与右耳的测试结果相符，故患者右耳为传导性耳聋。

例5　下列哪一个组合是视网膜各层分布的正确的组合顺序？（注意：每一顺序的第一层均是紧靠着眼球中的胶冻状玻璃体的）（　　）

A．色素细胞—双极细胞—神经节细胞—光感受器

B．光感受器—色素细胞—神经节细胞—双极细胞

C．神经节细胞—双极细胞—光感受器—色素细胞

D．光感受器—双极细胞—神经节细胞—色素细胞

解析　视网膜的细微构造很复杂（如图3-5-13所示），有多层细胞。最外层即靠近脉络膜的为色素细胞层。紧贴色素细胞层的是对光刺激很敏感的感光细胞层，包括视杆细胞（对微弱光线敏感）和视锥细胞（能精确分析图像、在黄斑处密集），它们是光感受器。再往内还有多种神经细胞，依其形态和向内分布的次序分别叫做双极细胞、水平细胞、无长突细胞和神经节细胞。

答案　C

例6　下列有关交感神经的特性或功能的叙述中，正确的是（　　）（多选题）

A．受意识支配

B．抑制消化道蠕动

C．促进瞳孔扩张

D．源自脊髓的胸段

解析　交感神经是植物性神经的一部分，由中枢部、交感干、神经节、神经和神经丛组成。中枢部为交感神经的低级中枢，位于脊髓

胸段全长及腰髓1～3节段的灰质侧角。成对交感干位于脊柱两侧，呈连锁状，由交感干神经节和节间支连接而成，每侧有22～25个神经节称椎旁节，可分颈、胸、腰、骶和尾5部分，各部发出分支至一定的器官。调节心脏及其他内脏器官的活动。在腹腔内，脊柱前方还布有椎旁节，分别位于同名动脉根部附近。交感神经系统的活动比较广泛，刺激交感神经能引起腹腔内脏及皮肤末梢血管收缩、心搏加强和加速、新陈代谢亢进、消化道蠕动减缓、瞳孔散大、疲乏的肌肉工作能力增加等。交感神经的活动主要保证人体紧张状态时的生理需要。

答案　BC

例7　下列哪些激素与机体的血糖调节无关（　　）

A．胰岛素

B．胰高血糖素

C．肾上腺素

D．甲状旁腺素

解析　胰岛素可以降低血糖，而胰高血糖素和肾上腺素可以促进血糖升高，只有甲状旁腺素是调节血中钙离子浓度的激素，与血糖调节无关。

答案　D

【针对训练】

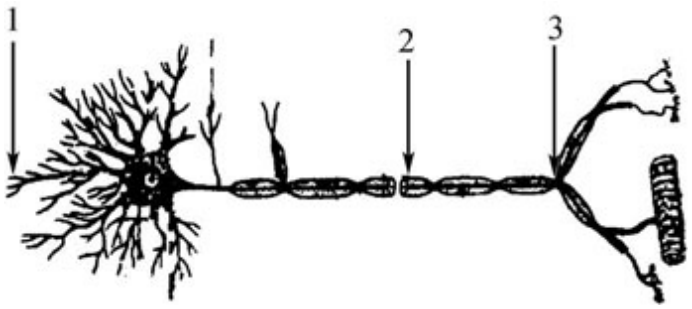
1．下图所示为与某种肌肉纤维连接的运动神经元。事实上神经元比图中所画的要长得多。分别在1，2，3三处刺激神经元，每一个刺激都产生一冲动。在哪一位置上刺激能使图中的所有肌肉纤维都收缩（　　）

A．只有位置1

B．只有位置2

C．只有位置1和2

D．1，2，3三个位置



2．猫头鹰能在晚上看清远处的物体，原因是它的眼：①瞳孔大；②视神经发达；③视杆细胞发达；④视锥细胞发达；⑤角膜透明度好。其正确的是（　　）

A．①③

B．①④

C．②③④

D．①②③④⑤

3．守门员注视着从远处向他飞来的足球，其眼球的变化是（　　）

A．睫状肌由舒张变为收缩

B．睫状肌由收缩变为舒张

C．悬韧带由松弛变为拉紧

D．悬韧带由拉紧变为松弛

E．瞳孔由扩大变为缩小

F．瞳孔由缩小变为扩大

4．控制人情绪的中枢在（　　）

A．中脑

B．丘脑

C．下丘脑

D．延脑

5．听骨链在气体传导中的作用是（　　）

A．使鼓膜振幅减小

B．使鼓膜振幅增大

C．使鼓膜振幅不改变

D．使卵圆膜增压

E．使卵圆窗膜减压

6．脑神经中，含有传出神经纤维的是（　　）

A．视神经

B．位听神经

C．面神经

D．嗅神经

7．下列哪项生理活动是由脑神经直接支配的（　　）

A．促进胃肠运动

B．皮肤血管收缩

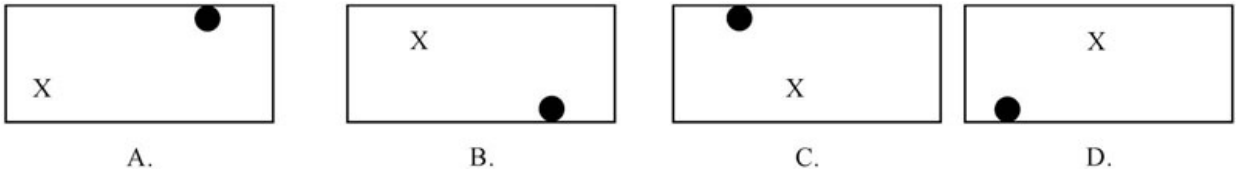
C．心跳加快

D．汗腺分泌

8．位听神经应属于（　　）
A．传入神经
B．传出神经
C．混合神经
D．交感神经
9．决定反射时间长短的主要因素是（　　）
A．刺激强度的高低
B．感受器的兴奋性
C．中枢突触数目的多少
D．效应器的兴奋性
10．某人的丘脑左侧由于肿瘤压迫而受损伤，则该人将发生（　　）
A．左侧肢体感觉障碍
B．右侧肢体感觉障碍
C．左侧肢体运动障碍
D．右侧肢体运动障碍
11．下列各项中，属于第二信号系统神经活动的条件反射是（　　）
A．人眼遇强光瞳孔缩小
B．脊蛙搔爬反射
C．马戏团的小狗做算术题
D．小孩看见注射器后大哭
E．汽车司机看见红光的神经活动
F．以上都不是
12．在皮肤中，既能感受物理性刺激，又能感受化学性刺激的感受器是（　　）
A．痛觉感受器
B．热觉感受器
C．冷觉感受器
D．触觉感受器
13．患感冒时，鼻黏膜充血促肿胀，堵塞鼻腔，这时吃东西觉得没味。这是因为（　　）
A．味蕾失去味觉功能
B．嗅细胞接触不到食物的气味刺激
C．嗅细胞失去嗅觉功能
D．大脑皮层味觉中枢失去感觉功能

14．无脊椎动物神经系统的进化趋势是（　　）
A．无神经→腹神经索→神经网→梯形神经
B．梯形神经→腹神经索→链状神经
C．无神经→神经网→梯形神经→链状神经
D．梯形神经→神经网→链状神经
15．下列能提高人的视觉敏感性的因素是（　　）
A．强光
B．凸透性
C．成像在中央凹
D．色素细胞突起增加
16．视紫红质的成分包括（　　）
A．视蛋白与11-顺型视黄醛
B．视蛋白与11-顺型维生素A
C．视蛋白与全反型视黄醛
D．视蛋白与全反型维生素A
E．11-顺型视蛋白与视杆色素
17．下列哪些因素能降低人的听觉敏感性（　　）
A．圆窗向外突出
B．基底膜向下振动
C．内淋巴电位变化
D．纤毛向内弯曲
E．骨张肌收缩
18．两栖类脑最高级的整合中枢所在部位是（　　）
A．间脑
B．中脑
C．小脑
D．大脑
19．有关脊椎动物脑进化的叙述，下面哪些正确的（　　）（多选题）
A．大多数鱼类的大脑表面为白质
B．两栖类神经系统的最高中枢为大脑
C．大脑中最早出现新脑皮的是鸟类
D．联系左右大脑半球的胼胝体是哺乳类特有的结构
20．人们坐车时闭着眼也能准确地判断汽车行驶速度的变化和是否上下颠簸，接受这种刺激的感受器位于（　　）（多选题）
A．鼓膜

B．半规管
C．前庭
D．听小骨
E．耳蜗
21．最先开始出现脑皮层的动物是（　　）
A．节肢动物
B．鱼类
C．两栖类
D．鸟类
22．肌梭为下列哪种反射弧的感受器（　　）
A．减压反射
B．腱器官反射
C．屈肌反射
D．肺牵张反射
E．膝跳反射
23．刺激哪一部位，可使胃肠蠕动增强（　　）
A．胸段脊髓的侧角
B．腰段脊髓的前角
C．第九对脑神经
D．第十对脑神经
24．有关近视及校正的正确阐述是（　　）
A．他的眼睛从晶状体到视网膜的长度大于平均值
B．近视比远视受到更严重的影响
C．应用一个合适的双凸透镜来矫正此缺陷
D．一个圆形物体看起来像是椭圆形的
25．一只正在进食的狗听到枪声后，停止进食；一只赛狗，听到发令枪声后，立即沿跑道奋力赛跑，枪声对这两只狗的刺激分别是（　　）
A．条件刺激、条件刺激
B．无关刺激、条件刺激
C．非条件刺激、条件刺激
D．无关刺激、非条件刺激
26．某人左眼视网膜受了轻伤，伤处在这一视网膜的顶端，靠此人的左耳方向。他用左眼看一张纸上的“X”和其上的一个斑点，斑点的像正好落在视网膜的伤处。从下图中选出斑点与X配合位置正确的那张纸（　　）



27．当人的运动成为无序地震颤，失去平衡，出现发音混乱和说话困难，损伤的部位在（　　）

A．脊髓

B．丘脑

C．下丘脑

D．延脑

E．小脑

28．下列关于神经细胞轴突的叙述中，错误的是（　　）

A．轴突是神经元的长突起

B．髓鞘促进神经冲动的传导

C．一些轴突可能长于2m

D．某些轴突没有髓鞘

E．神经冲动的传导速度并不依赖轴突直径的大小

29．右图是人脑的垂直切面示意图。将图上各字母所代表的部位与其功能一一对应：①调节血浆的溶质；②调整心脏速率；③得到从眼传入的感觉。正确的是（　　）

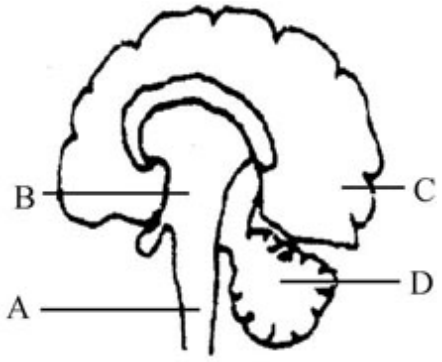
A．①B，②A，③C

B．①B，②C，③D

C．①A，②D，③C

D．①D，②B，③C

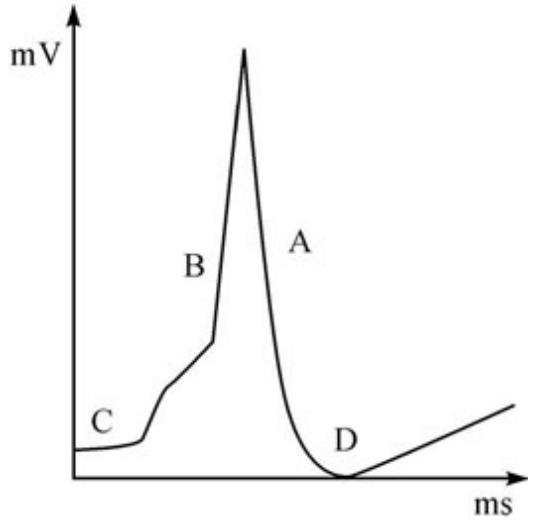
E．①A，②B，③D



30．生长激素可以促进骨的生长，但成年人生长激素分泌过多时，也不会得巨人症，只能导致肢端肥大症，其原因是（　　）

A．成年人体内生长素的作用不如幼年
B．成年人的同化作用和异化作用强度大致相等
C．成年人长骨的骨端与骨干间的软骨已经完全骨化
D．成年人的骨膜已处于静止状态
31．细胞在静息时膜对下述离子通透性最大的是（　　）
A．Na^+
B．Mg^{2+}
C．K^+
D．Ca^{2+}
32．神经纤维接受刺激而兴奋时，膜内电位从-70mV变为0mV的过程称为（　　）
A．极化
B．超极化
C．去极化
D．反极化
E．复极化
33．神经纤维动作电位下降相是指膜的（　　）
A．复极化过程
B．去极化过程
C．反极化过程
D．去极化和反极化过程
34．兴奋性递质与突触后膜受体结合，引起突触后膜（　　）
A．超极化
B．去极化
C．反极化
D．复极化
E．极化
35．关于抑制性突触后电位的叙述中，不正确的是（　　）
A．突触前神经末梢兴奋
B．释放抑制性递质
C．突触后膜超极化
D．抑制性递质与突触后膜受体结合
E．突触后膜对Na^+通透性增高
36．神经—肌肉接头处兴奋传递的递质是（　　）
A．去甲肾上腺素
B．多巴胺

C．乙酰胆碱
D．肾上腺素
37．神经冲动在生物体内的传递途径是（　　）
A．树突→突触→神经元细胞体→轴突
B．轴突→神经元细胞体→树突→突触
C．树突→神经元细胞体→轴突→突触
D．树突→突触→轴突→神经元细胞体
38．下列关于神经细胞的说法中，哪一种是错误的（　　）
A．神经元永远不会呈单个的、游离的细胞而存在于生物体内
B．在髓鞘神经元中神经冲动的传导速率比在裸露的神经元的要慢
C．树状突将冲动传递给细胞体
D．冲动的传递现象依赖于细胞膜上离子通透性的变化
39．右图是一种神经元动作电位的记录，指出图中A、B、C、D依次代表：①再极化②休止电位③去极化④超极化之后⑤反常相⑥水平期⑦抑制期（　　）
A．⑦④③①
B．①③②④
C．②③①⑤
D．⑤⑥③⑦



40．人的神经系统中，有些神经细胞既能传导兴奋，又能合成与分泌激素。这些细胞位于（　　）
A．大脑皮层
B．垂体
C．下丘脑

D．脊髓

41．在用脊蛙（去除脑保留脊髓的蛙）进行反射弧分析的实验中，破坏缩腿反射弧在左后肢的部分结构，观察双侧后肢对刺激的收缩反应，果如下表：

刺激部分	反　应			
	破坏前		破坏后	
左后肢	左后肢收缩	右后肢收缩	左后肢不收缩	右后肢不收缩
右后肢	左后肢收缩	右后肢收缩	左后肢不收缩	右后肢收缩

上述结果表明，反射弧的被破坏部分可能是（　　）

A．感受器

B．感受器和传人神经

C．传入神经和效应器

D．效应器

42．某种药物可以阻断蟾蜍屈肌反射活动。下图为该反射弧的模式图，其中A、B为神经纤维上的实验位点，C为突触间隙。下列实验结果中，能够证明这种药物“在神经系统中仅对神经细胞间的兴奋传递有阻断作用”的是（　　）

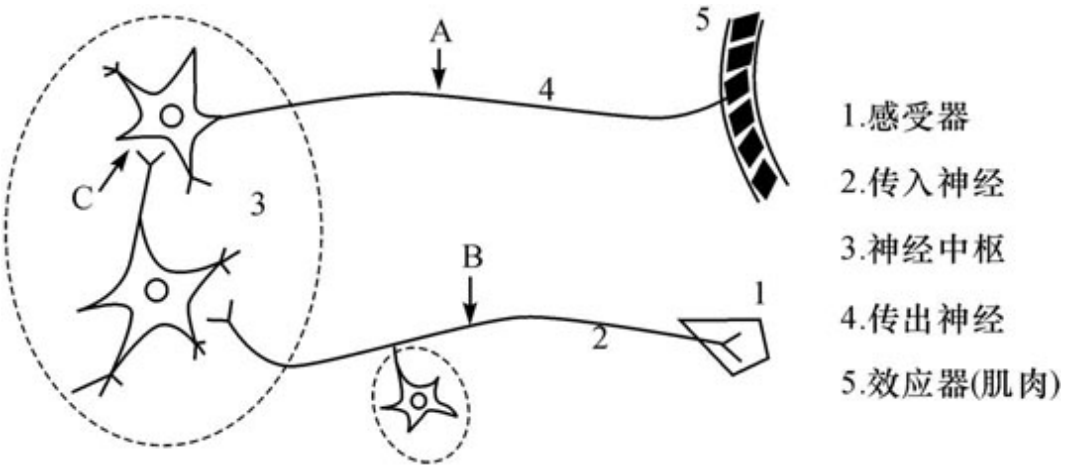
①将药物放在A，刺激B，肌肉收缩　②将药物放在B，刺激A，肌肉收缩　③将药物放在C，刺激B，肌肉不收缩　④将药物放在C，刺激A，肌肉收缩

A．①③

B．②③

C．①④

D．②④



43．下列有关神经纤维兴奋传导特征的描述中，正确的是（　　）

A．只能从胞体至末梢单向传导

B．神经纤维中各纤维之间互不干扰

C．只要结构完整就能正常传导兴奋

D．不受内环境因素变化的影响

E．连续刺激时，传导能力很快下降

44．关于神经纤维的传导速度的描述中，哪一项是正确的（　　）

A．神经纤维直径越大，传导速度越慢

B．细胞外K^+浓度升高可加快传导速度

C．有髓神经纤维髓鞘越厚，传导速度越慢

D．温度在一定范围内升高可加快传导速度

45．脊髓灰质炎患者发生肌体肌肉萎缩的主要原因是（　　）

A．病毒对患者肌肉的直接侵害

B．患肢肌肉血液供应明显减少

C．失去支配神经的影响性作用

D．失去高位中枢对脊髓的控制

46．实现神经系统功能的基本方式是（　　）

A．神经元兴奋

B．神经纤维传到冲动

C．突触传递

D反射

E．中枢整合

47．下列有关条件反射的描述中，正确的是（　　）

A．指生来就有的反射活动

B．数量很多，但不是无限
C．一旦形成，形式较为固定
D．在长期种系中发生
E．建立须经大脑皮层的参与
48．刺激动物中脑网状结构可使动物（　　）
A．出现类似睡眠现象，脑电呈同步化慢波
B．被唤醒，脑电呈去同步化快波
C．出现类似睡眠现象，脑电呈去同步化快波
D．被唤醒，脑电呈同步化慢波
E．保持原来睡眠或觉醒状态，脑电无明显变化
49．关于大脑皮层中央后回感觉投射规律的描述中，正确的是（　　）
A．躯体为交叉投射，而头面部为同侧性投射
B．投射区的大小与躯体各部分大小相同
C．躯体和面部内部均为倒置安排
D．肌肉牵张感觉在前，慢快感觉居中，关节等感觉在后
E．下肢在顶部，头面部居中，上肢在底部
50．脊髓损伤时，下列哪一种感觉最不容易被完全阻断（　　）
A．触压觉
B．本体感觉
C．温度觉
D．痛觉
E．内脏感觉
51．下列有关睡眠的表现中，哪一项为异相睡眠所特有（　　）
A．感觉功能减退
B．骨骼肌活动减弱
C．交感活动相对减弱
D．副交感活动相对加强
E．眼球快速运动等阵发性表现
52．慢波睡眠有利于（　　）
A．脑内蛋白质合成
B．建立新的突触联系
C．促进精力的恢复
D．促进身体和体力恢复
E．幼儿神经系统的成熟
53．下列有关肌紧张的描述中，正确的是（　　）

A．由快速牵张肌腱而引起
B．感受器是肌梭
C．人类以屈肌肌紧张为主要表现
D．为单突触反射
E．反射持久进行时易疲劳
54．维持躯体姿势最基本的反射是（　　）
A．腱反射
B．肌紧张
C．屈肌反射
D．对侧伸肌反射
E．节间反射
55．下列关于大脑皮层运动区的描述中，正确的是（　　）
A．大脑皮层运动区主要位于中央后回
B．躯体骨骼肌运动为交叉性支配
C．头面部肌肉均为双侧性支配
D．躯体和头面部均为倒置性安排
E．肢体远端代表区在前，而近端代表区在后
56．下列有关脊休克的描述中，正确的是（　　）
A．脊休克的现象由切断损伤刺激引起
B．脊休克现象只发生在切断水平以下的部分
C．所有脊休克症状均可恢复
D．动物进化程度越高，恢复越快
E．恢复后再次横断脊髓可重现脊休克现象
57．出现大脑僵直是由于（　　）
A．切断大部分脑干网状结构抑制区
B．切断大部分脑干网状结构易化区
C．切断了网状结构和皮层运动区及纹状体之间的联系
D．切断了网状结构和小脑之间的联系
E．切断了网状结构和前庭核之间的联系
58．下列关于小脑功能的描述中，正确的是（　　）
A．前庭小脑主要调节肌紧张
B．脊髓小脑主要与维持身体平衡有关
C．皮层小脑主要调节随意运动
D．脊髓小脑接受大量本体感觉冲动
E．皮层小脑接受外周感觉传入信息
59．副交感神经兴奋时，可引起（　　）

A．瞳孔散大
B．汗腺分泌
C．胰岛素分泌
D．糖元分解加强
E．骨骼肌血管舒张
60．抑制性突触后电位的形成，是由于突触后膜对下列中的哪些离子通透性增加所致（　　）
A．Na^+、K^+、Cl^-，尤其是K^+
B．Na^+、K^+、Cl^-，尤其是Na^+
C．K^+、Cl^-，尤其是Cl^-
D．K^+、Cl^-，尤其是K^+
E．Ca^{2+}、K^+、Cl^-，尤其是Ca^{2+}
61．有机磷农药中毒时，可使（　　）
A．乙酰胆碱释放增加
B．乙酰胆碱释放减少
C．胆碱酯酶活性增加
D．胆碱酯酶活性降低
E．骨骼肌终板处的乙酰胆碱受体功能障碍
62．视网膜上只有视锥细胞而无视杆细胞的区域是（　　）
A．视网膜的中央部分
B．视神经乳头处
C．中央凹
D．视网膜周缘部分
E．视盘
63．下列哪种激素是神经激素（　　）
A．抗利尿激素
B．肾上腺素
C．促甲状腺激素
D．催乳素
E．甲状腺激素
64．下列物质中属于胺类激素是（　　）
A．甲状腺激素
B．糖皮质激素
C．前列腺素
D．生长素
E．催产素

65．体内激素含量甚微但作用显著的原因是（　　）
A．激素的相对特异性
B．激素的高效能生物放大作用
C．激素间的协同作用
D．激素的允许作用
E激素的信息传递作用
66．下列哪种激素作用于靶细胞以cAMP为第二信使（　　）
A．皮质醇
B．甲状激素
C．睾酮
D．肾上腺素
E．胰岛素
67．下列有关交感神经的特性或功能的叙述，其中正确的是（　　）（多选题）
A．受意识支配
B．抑制消化道蠕动
C．促进瞳孔扩张
D．源自脊髓的胸段
68．在激素的膜受体与膜效应器酶之间起耦联作用的调节蛋白是（　　）
A．PKA
B．G-蛋白
C．PKC
D．PKG
E．PLC
69．下列哪一种激素的受体属于G-蛋白耦联受体（　　）
A．胰岛素受体
B．皮质醇受体
C．促甲状腺激素受体
D．雌激素受体
E．甲状腺激素受体
70．下列哪种状态下GH分泌明显增加（　　）
A．觉醒
B．轻微运动
C．进餐
D．慢波睡眠

E．异相睡眠

71．下列有关神经细胞离子通透性和膜电位变化的叙述，其中正确的是（　　）

A．Na^+通透性增大时会造成去极化现象

B．神经细胞膜对K^+的通透没有限制

C．神经细胞的静息膜电位为零

D．K^+流入细胞时有利于膜极化状态的恢复

72．可促进女性青春期乳腺发育的主要激素是（　　）

A．催乳素

B．生长素

C．甲状腺激素

D．雌激素

E．皮质醇

73．下列哪种激素合成后储存于细胞外，而且储存量最大（　　）

A．肾上腺素

B．甲状腺素

C．胰岛素

D．皮质醇

E．生长素

74．在胚胎期对脑发育最为重要的激素是（　　）

A．生长素

B．胰岛素

C．甲状腺激素

D．糖皮质激素

E．绒毛膜生长素

75．在胚胎期缺碘或甲状腺功能低下的儿童可出现（　　）

A．阿狄森病

B．侏儒症

C．肢端肥大症

D．呆小症

E．佝偻症

76．由肾上腺皮质束状带细胞分泌的激素主要是（　　）

A．醛固酮

B．脱氢表雄酮

C．雌二醇

D．皮质醇
E．脱氧皮质酮
77．对糖代谢最强的肾上腺皮质激素是（　　）
A．皮质醇
B．醛固酮
C．皮质酮
D．脱氧皮质酮
E．可的松
78．保钠排钾作用最强的肾上腺皮质激素是（　　）
A．皮质醇
B．醛固酮
C．皮质醇
D．脱氧皮质酮
E．可的松
79．交感神经兴奋时血糖浓度迅速升高，这是由于下列哪种激素的作用（　　）
A．胰高血糖素B．生长素
C．肾上腺素
D．糖皮质激素
E．甲状腺激素
80．能降低血糖浓度的激素是（　　）
A．皮质醇
B．肾上腺素
C．胰岛素
D．生长素
E．甲状腺激素
81．调节胰岛素分泌的最重要的因素是（　　）
A．血中氨基酸浓度
B．血糖浓度
C．血中脂肪酸浓度
D．乙酰胆碱E胰高血糖素
82．胰高血糖浓度能直接影响下列哪种激素的分泌（　　）
A．胰岛素
B．生长素
C．糖皮质激素
D．甲状腺激素

E．肾上腺素

83．神经冲动抵达末梢时，其与递质释放之间的耦联，有赖于下列离子中的（　　）

A．Cl^-

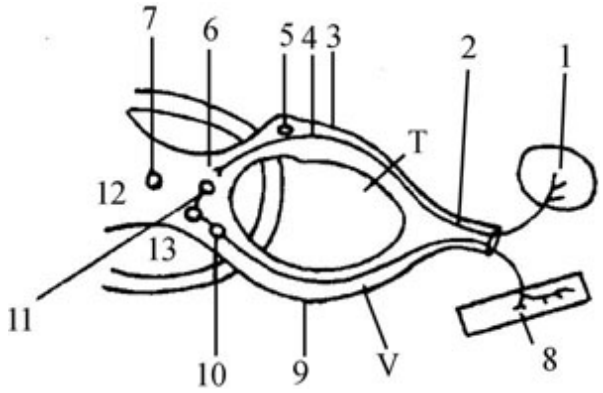
B．Ca^{2+}

C．K^+

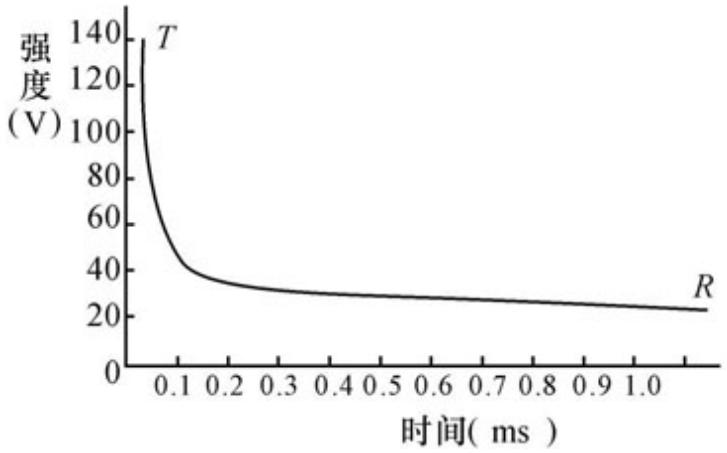
D．Na^+

84．标出在右图中出现的下列结构的编号。

A．	运动神经元	编号：
B．	脊髓白质	编号：
C．	脊神经节	编号：
D．	脊神经	编号：



85．下图是刺激引起兴奋反应实验所得的刺激强度和刺激时间关系曲线，从图可见每一个阈刺激都有一定的强度阈值和时间阈值，请据图回答：



（1）在一定范围内强度阈值和时间阈值的关系是_____。

（2）若刺激强度为40伏，则肌肉收缩的时间阈值是_____。

（3）曲线自R点再向右延伸实际上已经成为横坐标的平行线，这说明_____。

（4）曲线自T端引申，也将成为纵坐标的平行线，这说明_____。

86．取出未受操作影响的动物神经，浸泡在任氏液中，在右图中甲是与灵敏电流计连接的电极和神经在A、B两点接触的装置，刺激神经的一部分而使兴奋发生传递时，把电流计的指针和振动记录在图乙中。试回答与这个实验有关的问题：

（1）请比较神经细胞内溶液与任氏液钠离子和钾离子浓度_____。

（2）神经兴奋传导时，兴奋部位与未兴奋部位比较，与它连接外液的电位和相关的主要离子如何变化？

_____。

（3）兴奋终止，恢复到原来的状态，这时细胞膜必须怎样起作用？与这种作用关系最密切的能量物质是什么？

_____。

（4）在图乙中，为什么形成上下2个峰（a和b）_____。

（5）在生理学实验中，常先刺激某根神经，再切断，分别刺激向中端和离中端，这样设计实验的目的是_____。

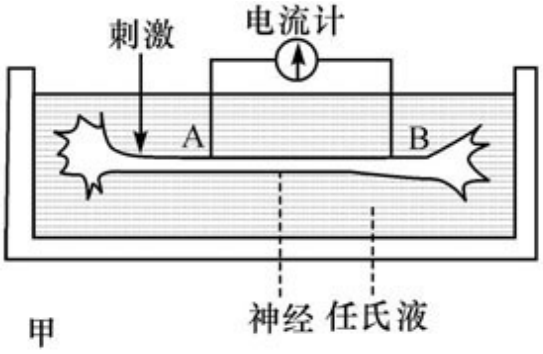
87．右图是人大脑皮层的神经中枢示意图，请根据图回答下列问题：

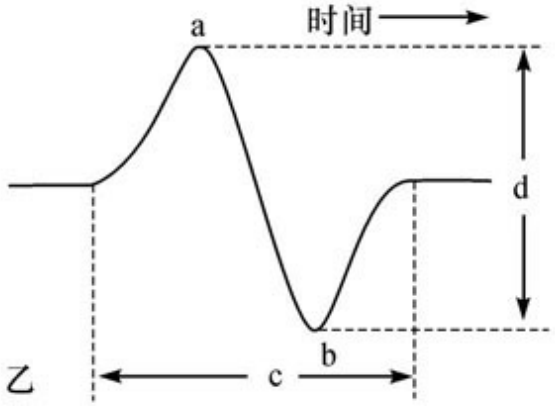
（1）此大脑半球是_____半球；

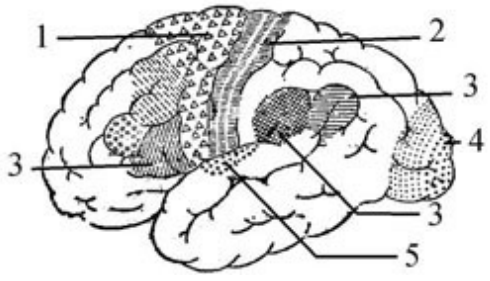
（2）图中［　］_____是人类大脑皮层所特有的功能区；

（3）图中［　］_____的损伤可导致手脚麻木；

（4）士兵要理解军号声的意义首先要通过［　］_____中枢；聋哑人要理解手语，首先要通过［　］_____中枢；盲人阅读首先要通过［　］_____中枢。上述三种活动最后必须通过［　］_____中枢。







88．在下列选项中，选出交感神经与副交感神经所具有的特征：

①不受意志控制；②传出神经含2个神经元；③节前神经元位于脑和脊髓骶部灰质中；④节后神经元连成神经链；⑤节前纤维较长；⑥

运动纤维释放的递质是乙酰胆碱

交感神经：_____；副交感神经：_____。

89．下面是在短时间内观察不同水平切除猫脑的各级部位，某些机能改变状况（＋表示能完成，—表示不能完成）。

（1）条件反射必须有_____参加。

（2）体温调节中枢在_____。

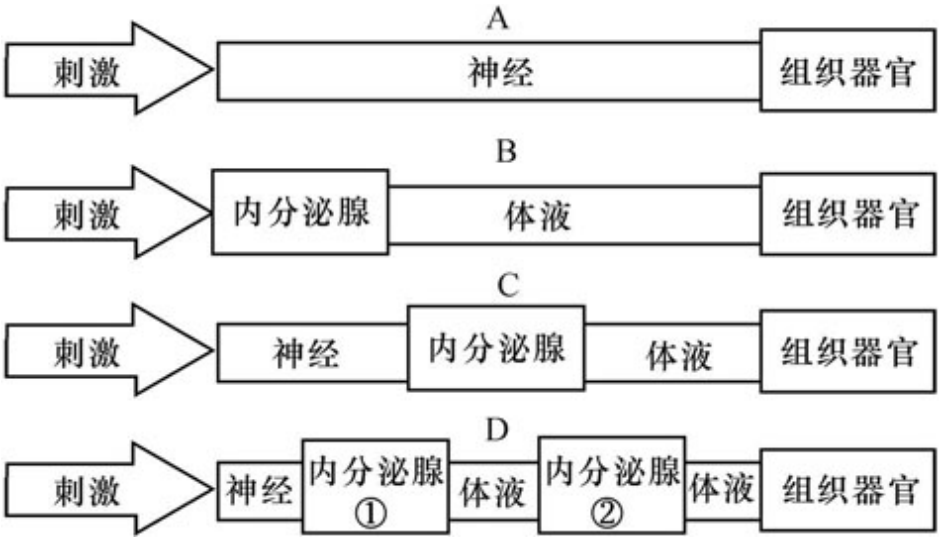
（3）翻正反射与_____有关。

（4）膝跳反射是_____的功能。

（5）中枢神经系统全部被破坏后心脏仍在跳动，说明_____。

	手术前	去大脑两半球	再去间脑	再去中脑	再去掉延髓	最后破坏脊髓
条件反射	＋	—	—	—	—	—
体温调节	＋	＋	—	—	—	—
行　走	＋	＋	—	—	—	—
翻　正	＋	＋	＋	—	—	—
站　立	＋	＋	＋	＋	—	—
心　跳	＋	＋	＋	＋	＋	＋
膝跳反射	＋	＋	＋	＋	＋	—

90．人体和高等动物生命活动的调节过程很复杂，下图中表示4种不同的生理调节过程，请根据图解鉴别下列生命活动的调节方式（在空格处填入相应的字母）。



（1）正常人口服或静脉注射大量葡萄糖，其降低血糖浓度的调节方式属于_____过程。

（2）刺激实验动物的摄食中枢，会引起实验动物的血糖浓度降低，这时血糖浓度的调节方式属于____过程。

（3）猫听到鼠夹闭合发出的响声，会迅速扑向放置鼠夹的地方。猫的这种行为属于_____过程。

（4）冬季的鸡舍中，每天用较强的光线照射14h以上，能促使母鸡提早产卵。这种调节方式属于____过程。

（5）人进食后血糖调节的过程是_____。

（6）给狗食物吃，分泌唾液的过程是_____。

【参考答案】

1．D　2．A　3．A　4．C　5．B　6．C　7．A　8．A　9．C　10．C　11．F　12．A　13．B　14．C　15．C　16．A　17．D　18．B　19．AD　20．BC　21．C　22．E　23．D　24．A　25．C　26．B　27．E　28．E　29．A　30．C　31．C　32．C　33．A　34．B　35．E　36．C　37．C　38．B　39．B　40．C　41．C　42．A　43．B　44．D　45．C　46．D　47．E　48．A　49．D　50．A　51．E　52．D　53．B　54．B　55．B　56．B　57．C　58．D　59．C　60．C　61．D　62．C　63．A　64．A　65．B　66．D　67．BC　68．B　69．C　70．D　71．A　72．D　73．A　74．C　75．D　76．D　77．A　78．B　79．C　80．C　81．B　82．A　83．B　84．A—10，B—13，C—5，D—2

85．（1）成反比关系　（2）0.1ms　（3）当刺激的时间超过一定限度（R）时，时间因素不再影响强度阈值（无论刺激时间如何长，均有一个最低的基本强度阈值）　（4）无论刺激如何大，均有一个最短的时间阈值（短于时间阈值T时，刺激一律无兴奋作用）

86．（1）细胞内K^+大于任氏液中K^+；细胞内Na^+小于任氏液中Na^+（2）兴奋部位外液电位下降，Na^+减少（3）细胞膜需由Na^+泵主动排出Na^+，吸入K^+，以回复静息电位，需ATP供能　（4）A、B两点先后极化，导致通过电流计的电流方向改变　（5）检验该神经中传入神经还是传出神经

87．（1）左　（2）［3］语言中枢　（3）［2］躯体感觉中枢　（4）［5］听觉；［4］视觉；［2］躯体感觉，［3］语言中枢

88．交感神经：①②④；副交感神经：①②③⑤⑥。

89．（1）大脑两半球　（2）间脑　（3）中脑　（4）脊髓　（5）心脏由心肌构成，心肌能自动有节律地收缩（6）大脑皮层上有调节人体生理比较重要的神经中枢，如躯体运动中枢、躯体感觉中枢、语言中枢、视觉中枢、听觉中枢等。

90．（1）B　（2）C　（3）A　（4）D　（5）C　（6）A

第6讲　免　　疫

（柯桥中学　叶建伟）

【知识梳理】

一、免疫的概念

20世纪中期以前免疫一直被理解为机体的抗感染能力，被描述为宿主对病原微生物的不同程度的抵抗能力。20世纪中期以后，免疫学的发展逐渐突破了抗感染研究的局限。事实上，机体不仅是对微生物．而且对各种抗原都能够进行识别和排斥，以维持正常的生命内环境，免疫是机体识别和排斥抗原性异物的一种生理功能。

现代免疫学认为，人体内存在一个负责免疫功能的完整的解剖系统——免疫系统。与神经和内分泌等其他系统一样，免疫系统有着自身的运行机制，并可与其他系统相互配合、相互制约，具有一种使机体在生命过程中维持自身稳定的生理性防御功能。

（一）免疫的特点

免疫有三大特点：①识别自身和外物。只消灭外物而不消灭自身。病原是外物，所以被消灭；外来移植器官是外物，所以常被自身（受体）排斥而种植不上。②记忆。机体被某种病原感染之后，会产生对该病原的记忆。当同一种病原再次入侵时，机体能在病原为患之前迅速消灭之。③特异性。如患天花后只对天花免疫，患麻疹后只对麻疹免疫，而不能对其他传染病免疫。

（二）免疫的功能

免疫具体表现为以下三大生理功能。

1．免疫防御：指机体排斥外源性抗原异物的能力，是动物藉以自净、不受外来物质干扰和保持物种纯洁的生理机制。防御功能一是抗感染，即传统的免疫概念；二是排斥异种或同种异体的细胞和器官，这是器官移植需要克服的主要障碍。防御能力低下时机体易出现免疫缺陷病，而过高时易出现过敏反应性组织损伤。

2．免疫自稳：指机体识别和清除自身衰老残损的组织、细胞的能力，是机体藉以维持正常内环境稳定的重要机制。自稳功能失调时易导致某些生理平衡的紊乱或者自身免疫病。

3．免疫监视：指机体杀伤和清除异常突变细胞的能力，机体藉以监视和抑制恶性肿瘤瘤在体内生长。一旦监视功能低下，机体易患恶性肿瘤。

（三）免疫功能的类型

机体免疫反应可根据其作用特点和获得方式不同分为非特异性免疫和特异性免疫。

1．非特异性免疫

非特异性免疫是物种在长期进化过程中逐渐形成的防御功能，经遗传而获得，并非针对特定抗原，亦称天然免疫。非特异性免疫的特点：①作用范围广。机体对入侵抗原物质的清除没有特异的选择性，即对所有入侵抗原都有免疫力。②反应快。抗原物质一旦接触机体，立即遭到机体的排斥和清除。③有相对的稳定性。既不受入侵抗原物质的影响，也不因入侵抗原物质的强弱或次数而有所增减。但是，当机体受到共同抗原的作用时，也可增强免疫的能力。④有遗传性。生物体出生后即具有非特异性免疫能力，并能遗传给后代，因此，非特异性免疫又称先天免疫。⑤是特异性免疫发生的基础。从种系发育来看，无脊椎动物的免疫都是非特异性的，脊椎动物除非特异性免疫外，还发展了特异性免疫，两者紧密结合。从个体发育来看，当抗原物质入侵机体以后，首先发挥作用的是非特异性免疫，而后产生特异性免疫。因此，非特异性免疫是一切免疫防护能力的基础。

非特异性免疫构筑了机体防御入侵抗原的第一、第二道防线。第一道防线是阻止抗原物质进入内环境。包括：皮肤黏膜的机械阻挡作用和附属物（如纤毛）的清除作用；皮肤黏膜分泌物（如胃黏膜分泌的胃酸等）的杀菌作用；体表和与外界相通的腔道中寄居的正常微生物丛对入侵微生物的拮抗作用等。第二道防线是内环境中对入侵抗原的非特异性清除。包括：淋巴细胞和单核吞噬细胞系统屏障；正常体液中的一些非特异性杀菌物质；血脑屏障和胎盘屏障等。

2．特异性免疫

如果某些病原体突破了第一道和第二道防线，进入人体并生长繁殖、引起感染，有的有症状，称作患病；有的没有症状，称作隐性感染。不论是哪一种情况，机体都经历了一次与病原体斗争的过程，这种专门针对某一种病原体（抗原）的识别和杀灭作用称为特异性免疫，也就是机体的第三道防线。譬如得过伤寒病的人对伤寒杆菌有持

久的免疫力，那是因为伤寒杆菌刺激机体产生免疫应答，增加了巨噬细胞的吞噬功能，同时在体内还产生抗伤寒杆菌的抗体和记忆细胞。人体的免疫系统又能把伤寒杆菌这个“敌人”的特征长期“记忆”下来，如果再有伤寒杆菌进入，就会很快被识别、被消灭。

特异性免疫又称获得性免疫，和非特异性免疫一样都是人类在漫长进化过程中获得的一种遗传特性，但是特异性免疫需要经历一个过程才能获得，只针对一种病原。获得免疫是经后天感染（病愈或无症状的感染）或人工预防接种（菌苗、疫苗、类毒素、免疫球蛋白等）而使机体获得抵抗感染能力。一般是在微生物等抗原物质刺激后才形成的（免疫球蛋白、免疫淋巴细胞），并能与该抗原起特异性反应。

特异性免疫的特点：①特异性强。它只对引发免疫力的相同抗原有作用，而对其他抗原无效。②后天获得。特异性免疫是个体自身只有在接触抗原后才能形成，因此不能遗传给下一代。③应答缓慢。机体在接触抗原后，有一个识别异物、作出反应、免疫应答的过程，需要一定的时间，因此应答缓慢。④免疫记忆。机体在获得某种特异性免疫后，如再次接触相同抗原时，它能产生记忆作用，并可增强免疫强度。⑤个体差异。不仅种间存在差异，就是种内个体之间或同一个体在不同情况下，也存在着明显的差异。

特异性免疫根据其获得的方式又分为4种：

（1）自然自动免疫。一个人得了某种传染病，痊愈后，便获得了对这种传染病的抵抗力。这种免疫力是后天获得的，是自然感染了某种病原微生物，痊愈后，人体自动产生的。

（2）人工自动免疫。用人工的方法使人感染毒性极微的某种病原微生物，比如接种卡介苗，人们便自动获得了对某种疾病，如肺结核的抵抗力。

（3）自然被动免疫。婴儿由母亲身体接受的免疫力。六个月内的婴儿，其免疫系统还没有发育起来，可是他很少生病。这是因为胎儿的血循环和母亲相通的，母体的免疫力通过血液注入胎儿。

（4）人工被动免疫。给病人注射免疫球蛋白等，病人即可获得相关的免疫力。

二、免疫系统的组成

免疫系统是脊椎动物和人类的防御系统，它与神经系统、内分泌系统、呼吸系统等一样，是机体的一个重要系统。免疫系统是在系统发生过程中长期适应外界环境而形成的，主要是指形成特异免疫应答的器官、组织、细胞和免疫活性介质（免疫效应分子）。

免疫系统包括：中枢免疫器官、外周免疫器官、免疫活性细胞（T、B淋巴细胞等）和免疫活性介质（抗体、补体和细胞因子等）。

（一）中枢免疫器官

中枢免疫器官包括胸腺、腔上囊和骨髓（类囊器官）（图3-6-1）。它们的功能和特点是：（1）发生、发育较早；（2）是造血干细胞增殖发育分化为T、B淋巴细胞的场所，淋巴细胞在此增殖不需要抗原的刺激；（3）向外周免疫器官输送T、B细胞，决定着外周免疫器官的发育。

1．胸腺

初生儿胸腺重约10～15g，以后逐渐长大，至青春期最重约30～40g，青春期以后，胸腺开始慢慢退化，步入老年，胸腺组织大部分被脂肪组织所取代，但仍残留一定的功能。

胸腺组织影响T淋巴细胞的分化。在胚胎早期的卵黄囊、血岛、胚胎肝脾和随后的骨髓中的前T细胞（T淋巴系干细胞）经血流进入胸腺，增殖产生的小型胸腺细胞，可在髓质继续发育成具有免疫应答能力的成熟T细胞。成熟T细胞随血液迁移至外周免疫器官定居。外周免疫器官在T细胞影响下，发育成熟。

胸腺的功能是通过胸腺上皮细胞产生多种胸腺肽类激素，培育出大量T细胞，进而分化出不同的亚群，担当特异性细胞免疫和免疫调节功能。胸腺发育不全或将胸腺早期切除，细胞免疫功能衰退甚至全部丧失。1961年Miller发现将新生小鼠胸腺切除后，不再出现对同种异体皮肤的排斥现象，且细胞免疫功能严重衰退。当植入胸腺细胞时，该小鼠的细胞免疫功能迅速恢复。

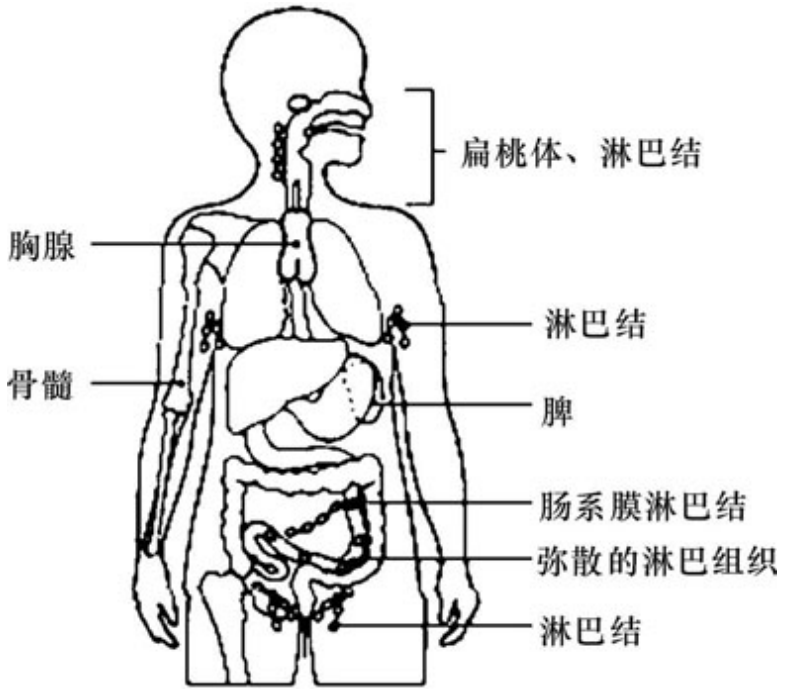


图3-6-1　人中枢和外周淋巴器官

2．腔上囊和哺乳动物的类囊器官

腔上囊（也称法氏囊）是鸟类在泄殖腔背侧的一个盲囊状结构。1956年，Click和Chang在实验中将新孵出的小鸡切除腔上囊，意外地发现该鸡在注射免疫抗原后，不产生抗体。随后了解到是因为不能生成B细胞，由此证明腔上囊是鸟类决定B细胞分化的中枢免疫器官。

鸟类在孵育的第12天起，腔上囊内出现B淋巴系干细胞。它们由卵黄囊血岛经胚胎肝或骨髓而至，由腔上囊分泌的激素刺激而发育为成熟的B细胞，故称为囊依赖性淋巴细胞，简称B细胞。

骨髓是造血器官，是红细胞、粒细胞、单核细胞、血小板等的发源地和分化成熟的场所。B淋巴系干细胞在哺乳类和人类是在骨髓内各种激素调节下，增殖、分化发育成长为B细胞的。腔上囊只存在于鸟类，作为B细胞分化发育的中枢淋巴器官的骨髓也就称为类囊器官。但严格地说，它并不属于淋巴器官。

（二）外周免疫器官

外周免疫器官包括淋巴结、脾、阑尾、扁桃体以及弥散的淋巴组织等（图3-6-1）。其功能和特点是：（1）淋巴细胞定居和增殖的场所；（2）具有高度特化的组织结构，抗原在此诱导形成免疫应答，是免疫应答发生地；（3）是淋巴液过滤的部位，侵入的病原微生物滤至淋巴窦内，促使吞噬细胞吞噬和提呈抗原；（4）淋巴细胞再循环的重要组成环节。

（三）免疫活性细胞

参与免疫应答的细胞统称免疫细胞，包括淋巴细胞、单核细胞、巨噬细胞、多核细胞、肥大细胞和辅助细胞等。其中能接受抗原刺激而活化、增殖、分化发生特异性免疫应答的淋巴细胞称为抗原特异性淋巴细胞．或称免疫活性细胞，即T淋巴细胞和B淋巴细胞。

1．T淋巴细胞

T淋巴细胞即胸腺依赖淋巴细胞，亦简称T细胞，是淋巴细胞中数量最多（约占血液中淋巴细胞总数的75%）、功能最复杂的一类细胞。在人体胚胎期和初生期，骨髓中的前T细胞迁移到胸腺内，在胸腺激素的诱导下分化成熟，成为具有免疫活性的T细胞。成熟的T细胞经血流分布至外周免疫器官的胸腺依赖区定居，并可经淋巴管、外周血和组织液等进行再循环，发挥细胞免疫及免疫调节等功能。

按免疫应答中的功能不同，可将T细胞分成若干亚群。①辅助性T细胞：具有协助体液免疫和细胞免疫的功能；②抑制性T细胞：具有抑制和解除细胞免疫及体液免疫的功能；③效应T细胞：具有释放淋巴因子的功能；④细胞毒T细胞：具有杀伤靶细胞的功能；⑤迟发性变态反应T细胞：有参与Ⅳ型变态反应的作用；⑥放大T细胞：可作用于辅助性T细胞和抑制性T细胞，有扩大免疫效果的作用；⑦处女或天然T细胞：可与抗原接触分化成效应T细胞和记忆T细胞；⑧记忆T细胞：有记忆特异性抗原刺激的作用。T细胞在体内存活的时间为数月至数年，其中记忆细胞存活的时间最长。

T细胞产生的免疫应答是细胞免疫，细胞免疫的效应形式主要有两种：①与靶细胞特异性结合，破坏靶细胞膜，直接杀伤靶细胞；②释放淋巴因子，最终使免疫效应扩大和增强。

2．B淋巴细胞

B淋巴细胞简称B细胞，来源于骨髓的B淋巴系干细胞。禽类B淋巴细胞是在腔上囊内发育生成的，故又称囊依赖淋巴细胞，哺乳类是在类囊结构的骨髓等组织中发育的，又称骨髓依赖淋巴细胞。与T细胞相比，B细胞的体积略大。B淋巴细胞受抗原刺激后，会增殖分化出大量浆细胞和记忆细胞。浆细胞可合成和分泌抗体并在血液中循环，发挥体液免疫的功能。在血液和淋巴结中B细胞的数量比T细胞少，约占血液中淋巴细胞总数的15%。B细胞在体内存活的时间较短，仅数天至数周，但其记忆细胞在体内可长期存在。

3．其他免疫细胞

有免疫功能的细胞除T、B细胞外，还有一些淋巴细胞：杀伤细胞（K细胞）和自然杀伤细胞（NK细胞）。K细胞只能杀伤那些被抗体覆

盖（结合）的靶细胞。K细胞上具有免疫球蛋白IgG的Fc片段受体，当表面覆盖有IgG（抗体）的靶细胞与K细胞接触时，IgG分子的Fc片段可与K细胞表面的Fc受体结合，激发K细胞的杀伤作用。由此可见，K细胞的杀伤作用是抗原依赖性的，但抗原是非特异的。NK细胞，也是杀伤细胞，但其杀伤作用不依赖于抗原和抗体的存在。NK细胞广泛分布在血液和外周淋巴器官，对杀伤肿瘤细胞有重要作用。

（四）免疫活性介质

1．抗体

抗体（Ig）又称免疫球蛋白，是B细胞受抗原刺激后，经增殖、分化而分泌的一类糖蛋白。它具有中和毒素和病毒、引起细菌凝集和蛋白质抗原沉淀等功能。

①抗体的存在形式

分泌型抗体存在血清和组织液中，即为Ab。膜型抗体存在于B细胞膜上，即为BCR，也是B细胞识别抗原的受体分子。

②抗体的结构（IgG为例，图3-6-2）

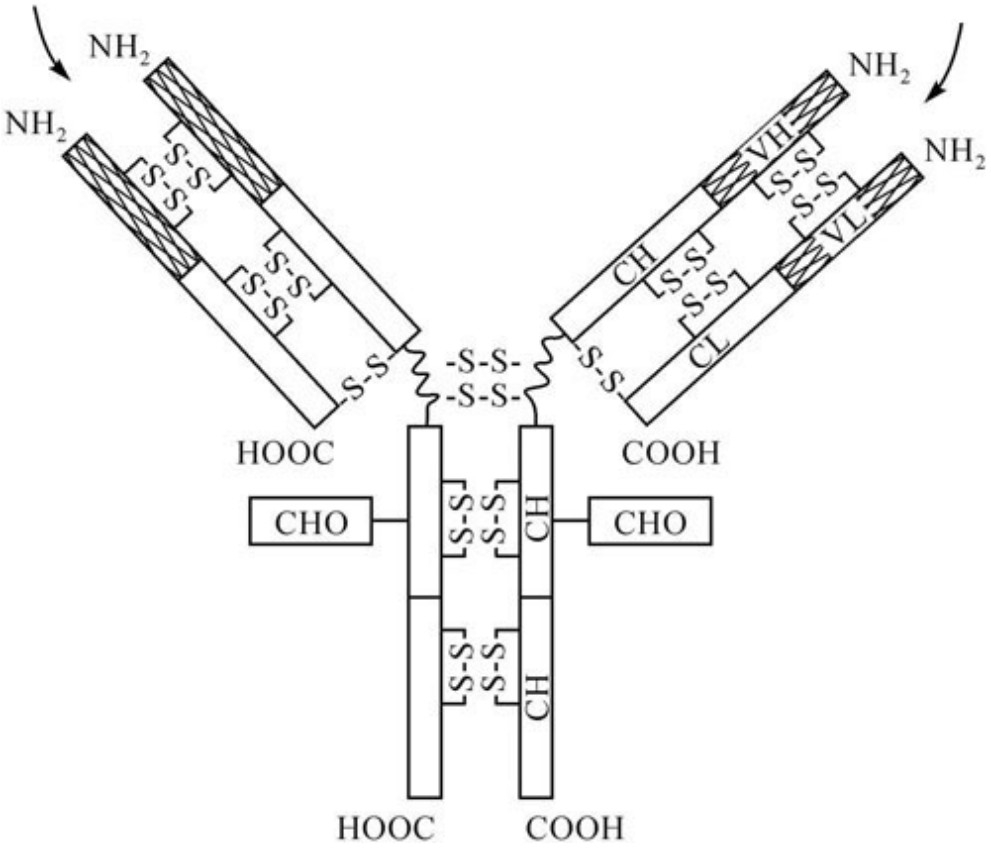


图3-6-2　IgG抗体分子图解

人类免疫球蛋白约占血浆蛋白质总量的20%。每一IgG抗体分子包含4条肽链，其中两条相同的短链为轻链（L链），两条相同的长链为重链（H链）。四链互以二硫键（—S—S—）相结合，形成一个“Y”形的四链分子。每一链又分为两段：一段为恒定区，位于Ig分子的C端，其氨基酸的组成或排列顺序不随Ig针对的抗原特异性的改变而改变。不同类型的Ig的恒定部分不同。另一段是可变区，位于Ig分子的N端，轻链和重链的可变区长度相等。其氨基酸序列随Ig针对的抗原特异性变化而变化，是抗体与抗原特异性结合的部位。重链和轻链的可变区位于“Y”形分子的两臂末端，它们互相结合而构成抗原结合部位。一个Ig分子有两个抗原结合部位，分别位于两臂的末端。“Y”的柄部则为结晶片段（Fc），该部位是K细胞的识别部位。

③抗体的类型

重链约含450～550氨基酸，分为5种：γ、μ、α、δ、ε。其组成相应的五类Ig即IgG、IgM 、IgA、IgD、IgE。每一类还可进一步分为多种亚类。如哺乳动物的IgG可分为4种亚类：IgG_1 、IgG_2、IgG_3、IgG_4。IgA和IgM分别有IgA_1、IgA_2和IgM_1、IgM_2两种亚类。轻链约含210个氨基酸，分为κ和λ两种，据此Ig分为κ和λ两型。

IgA（图3-6-3）是2个抗体的复合体，是一类具外分泌性的免疫球蛋白，不仅存在于血清中，而且存在于某些外分泌物（如唾液、泪液、乳汁、消化道和呼吸道黏膜的分泌物）中，是机体黏膜局部抗微生物感染的重要因素。初乳中的IgA可对婴幼儿发挥自然被动免疫作用。

IgM含5个亚单位，以一个共同的结合蛋白（JP）聚在一起的复合体（图3-6-3）。由于IgM具有10个抗原结合部位，因此对抗原的亲和力、结合补体和凝集细胞的能力都具有较高的效能，所以是一种高效能的抗体，是免疫力最强的抗体。IgM在种系发生中是最原始的免疫球蛋白，存在于所有脊椎动物中，也是个体发育中最先出现的抗体。IgM在胚胎晚期即能产生，脐带血IgM增高提示胎内感染（如风疹病毒、巨细胞病毒等）。在抗原初次刺激机体时，体内最先产生的抗体是IgM，所以当血清IgM升高说明近期被病原体感染。IgM还是天然血型抗体。IgM还参与过敏反应及某些自身免疫病。

IgG、IgD、IgE都是单一的抗体分子（图3-6-3）。IgG是人体最多的一类免疫球蛋白，是血清中主要的抗体成分，约占全部免疫球蛋白的70%。多数抗菌、抗病毒、抗毒素抗体均属IgG类。过敏反应和某些自身免疫病也与IgG有关。IgG在婴儿出生后3个月开始合成，3～5岁接

近成人水平。IgG具易扩散的特点，是唯一能穿过胎盘而进入胎儿体内，发挥自然被动免疫功能的抗体。所以，新生儿在前几周是依靠来自母体的IgG来抵御细菌、病毒等外物入侵的。IgD在血清中含量极低，其功能至今还不清楚。IgE是血清中含量最少的一种免疫球蛋白，属嗜细胞抗体，可与肥大细胞、嗜碱性粒细胞表面Fc受体结合，诱发过敏反应。



图3-6-3　免疫球蛋白分子

2．补体

补体是正常动物和人类血清中存在的一类由肝细胞、巨噬细胞产生的，具有酶活性的热敏感蛋白质，它经过激活以后可辅助和补充特异性抗体，介导免疫溶菌、溶血等多种生理效应。补体的激活物是抗原—抗体复合物，主要是IgG或IgM与抗原结合形成的免疫复合物。

3．细胞因子（CK）

T淋巴细胞执行的免疫效应和免疫调节功能是靠释放淋巴因子来介导的。淋巴因子是由淋巴细胞分泌的、能影响其他细胞功能的多肽。随着生物化学研究的发展，证实了单核细胞（单核因子）、内皮细胞以及成纤维细胞等多种细胞都可以释放各种对免疫功能有调节作用的多肽，因而把它们统称为细胞因子。按其生物学功能主要分为3类。①白细胞介素（IL）：由白细胞（主要是淋巴细胞和单核—巨噬细胞）产生的一组免疫活性因子，作用于淋巴细胞、巨噬细胞等白细胞，共同参与机体免疫反应、应激反应和炎症的调节。②干扰素（IFN）：由白细胞、纤维细胞、病毒感染细胞、活化的T细胞、NK细胞产生的一种广谱抗病毒免疫活性因子。干扰素并不直接杀伤或抑制病毒，主要是通过细胞表面受体作用使细胞产生抗病毒蛋白，从而抑制病毒的复

制；同时还可增强NK细胞、巨噬细胞和T淋巴细胞的活力，从而起到免疫调节作用，并增强抗病毒能力。③肿瘤坏死因子（TNF）：一种由单核—巨噬细胞、活化的T淋巴细胞分泌的，能杀伤某些肿瘤细胞或使体内肿瘤组织发生坏死的细胞因子。

三、抗原

抗原是指能够刺激机体产生（特异性）免疫应答，并能与免疫应答产物抗体和致敏淋巴细胞结合，发生免疫效应的物质。

（一）抗原的免疫原性和反应原性

抗原的基本能力是免疫原性和反应原性。免疫原性是指能够刺激机体形成特异抗体或致敏淋巴细胞的能力。反应原性是指能与由它刺激所产生的抗体或致敏淋巴细胞发生特异性反应。具备免疫原性和反应原性两种能力的物质称为完全抗原，如病原体、异种动物血清等。只具有反应原性而没有免疫原性的物质，称为半抗原，如青霉素、吗啡等。半抗原没有免疫原性，不会引起免疫反应。但在某些特殊情况下，如果半抗原和大分子蛋白质结合以后，就获得了免疫原性而变成完全抗原，也就可以刺激免疫系统产生抗体和效应细胞。青霉素进入人体内后，如果其降解产物和组织蛋白结合，就获得了免疫原性，并刺激免疫系统产生抗青霉素抗体。当青霉素再次进入人体内时，抗青霉素抗体立即与青霉素结合，产生病理性免疫反应，出现皮疹或过敏性休克，甚至危及生命。

（二）抗原的基本性质

抗原的基本性质具有异物性、大分子性和特异性。①异物性。是指进入机体组织内的抗原物质，必须与该机体组织细胞的成分不相同。抗原一般是指进入机体内的外来物质，如细菌、病毒、花粉等；抗原也可以是不同物种间的物质，如马的血清进入兔子的体内，马血清中的许多蛋白质就成为兔子的抗原物质；同种异体间的物质也可以成为抗原，如血型免疫、移植免疫等；自体内的某些隔绝成分也可以成为抗原，如眼睛晶状体蛋白质、精细胞、甲状腺球蛋白等，在正常情况下，是固定在机体的某一部位，与产生抗体的细胞相隔绝，因此不会引起自体产生抗体。但当受到外伤或感染，这些成分进入血液时，就像异物一样也能引起自体产生抗体，这些对自体具有抗原性的物质称为自身抗原，所产生的抗体称为自身抗体。由于自身抗体与自身抗原发生反应，于是就引起自身免疫疾病，如过敏性眼炎、甲状腺炎等。机体其他自身组织的蛋白质因电离辐射、烧伤、某些化学药品和某些微生物等理化和生物因素的作用发生变性时，也可成为自身抗

原，引起自身免疫疾病，如系统性红斑狼疮病、白细胞减少病、慢性肝炎等。②大分子性。是指构成抗原的物质通常是相对分子质量大于10000的大分子物质，相对分子质量越大，抗原性越强。绝大多数蛋白质都是很好的抗原。为什么抗原物质都是大分子物质呢？这是因为大分子物质能够较长时间停留在机体内，有足够的时间和免疫细胞（主要是巨噬细胞、T淋巴细胞和B淋巴细胞）接触，引起免疫细胞作出反应。如果外来物质是小分子物质，将很快被机体排出体外，没有机会与免疫细胞接触。如大分子蛋白质经水解后成为小分子物质，就失了抗原性。③特异性。是指一种抗原只能与相应的抗体或效应T细胞发生特异性结合。抗原的特异性是由分子表面的特定化学基因所决定的，这些化学基团称为抗原决定簇或抗原决定子。抗原以抗原决定簇与相应淋巴细胞的抗原受体结合而激活淋巴细胞引起免疫应答。换言之，淋巴细胞表面的抗原识别受体通过识别抗原决定簇而区分“自己”与“异己”。抗原也是以抗原决定簇与相应抗体特异性结合而发生反应的，因此，抗原决定簇是免疫应答和免疫反应具有特异性的物质基础。

四、两种特异性免疫机制

（一）T细胞介导的细胞免疫

T细胞受到抗原刺激后，增殖、分化、转化为效应T细胞，当相同抗原再次进入机体的细胞中时，效应T细胞对抗原的直接杀伤作用及效应T细胞所释放的细胞因子的协同杀伤作用，统称为细胞免疫。细胞免疫的产生分为感应、反应和效应三个阶段。其作用机制包括两个方面：①致敏T细胞的直接杀伤作用。当致敏T细胞与带有相应抗原的靶细胞再次接触时，两者发生特异性结合，产生刺激作用，使靶细胞膜通透性发生改变，引起靶细胞内渗透压改变，靶细胞肿胀、溶解以致死亡。致敏T细胞在杀伤靶细胞过程中，本身未受伤害，可重新攻击其他靶细胞。参与这种作用的致敏T细胞，称为细胞毒T细胞或杀伤T细胞。②通过淋巴因子相互配合、协同杀伤靶细胞。如皮肤反应因子可使血管通透性增高，使吞噬细胞易于从血管内游出；巨噬细胞趋化因子可招引相应的免疫细胞向抗原所在部位集中，以利于对抗原进行吞噬、杀伤、清除等。由于各种淋巴因子的协同作用，扩大了免疫效果，达到清除抗原异物的目的。

T细胞是细胞免疫的主要细胞。其免疫源一般为：寄生原生动物、真菌、外来的细胞团块（如：移植器官或被病毒感染的自身细胞）。几乎所有细胞的表面都有特殊的糖蛋白分子，即第Ⅰ类MHC。T淋巴细

胞能识别不同于自身的MHC-Ⅰ，所以移植器官被排斥。但T细胞不能直接识别入侵的病毒等抗原，只有当病毒侵入细胞，细胞表面出现了来自病毒的小分子蛋白质，并与细胞表面的MHC结合成复合物时，T细胞才能识别，才对该细胞进行攻击。

T细胞介导的细胞免疫的过程如下：

（1）感应阶段（抗原的摄取和识别）

辅助性T细胞的受体能识别与MHC-Ⅱ结合的外来抗原。MHC-Ⅱ类分子存在于巨噬细胞和B细胞表面。巨噬细胞吞噬入侵的细菌、病毒等微生物，在细胞内消化、降解，抗原分子与MHC-Ⅱ类结合呈现在细胞表面，将抗原传递给辅助性T细胞。同时，巨噬细胞分泌白介素-Ⅰ，刺激辅助性T细胞，促使其分泌白介素-Ⅱ，这个信号分子又反过来刺激辅助性T细胞，使之加快分裂而产生更多的白细胞介素-Ⅱ，形成正反馈。白介素-Ⅱ既能刺激T细胞分化出细胞毒T细胞和记忆细胞，也能刺激B细胞分化出浆细胞和记忆细胞。

（2）反应阶段（淋巴细胞的转化和增殖）

接受到抗原刺激后的T淋巴细胞在淋巴因子的作用下，增殖、分化出大量的细胞毒T细胞和记忆T细胞。细胞毒T细胞具有对靶细胞的杀伤功能，记忆T细胞则具有记忆功能。

（3）效应阶段（裂解靶细胞，清除抗原）

由于病毒感染细胞后，细胞表面呈现病毒表达的抗原，并结合到细胞表面的MHC-Ⅰ类分子的沟中，形成MHC-抗原结合物，能够被细胞毒T细胞识别。当感染细胞被细胞毒T细胞接触、识别后，细胞毒T细胞分泌穿孔素，使靶细胞膜的通透性改变，引起细胞溶解，靶细胞内的病毒进入体液，被抗体消灭。癌变细胞也是细胞毒T细胞攻击的目标，因此免疫功能低下的人群容易患癌症。

当外来的抗原消灭殆尽时，另一类T细胞——抑制性T细胞发挥功能，抑制辅助性T细胞和其他淋巴细胞的活动，从而终止这一免疫活动。此时如果有同种抗原再次入侵，初级免疫（或初次免疫）活动产生的记忆T细胞立即分裂而产生新的效应细胞，使抗原迅速被清除，同时产生新的记忆细胞保持记忆，称为次级免疫反应（或二次免疫）。由于初级免疫反应留下记忆细胞，次级免疫反应总是比初级免疫反应发生得快，效率也更高。

（二）B细胞介导的体液免疫

体液免疫是通过B细胞实现的。B细胞受抗原刺激后，增殖分化形成浆细胞；浆细胞合成抗体并分泌到细胞外进入体液中与相应的特异性抗原结合，发挥免疫效应。抗体是体液免疫的物质基础，是由B细胞

在抗原刺激下所产生的免疫球蛋白。体液免疫的抗原多为相对分子质量在10000以上的蛋白质和多糖大分子。病毒颗粒和细菌表面都带有不同的抗原，所以都能引起体液免疫。抗原的种类非常多，B细胞表面的受体（即膜型抗体）种类也非常多。不同受体的区别在于分子构象上的不同，每一种受体分子只能和一种抗原或少数几种相近的抗原结合。从形态上看，所有B细胞似乎都相同，其实它们表面的受体是不同的。据估计，人体内B淋巴细胞至少有10^{10}种。

1．B细胞产生浆细胞和记忆细胞

这个过程一般包括两种类型。第一类：B细胞遇到互补的抗原分子（多糖、蛋白质等）时，细胞表面的受体分子就和抗原结合。B细胞在连接接受了带有互补决定簇的抗原之后就“活化”、长大，并迅速分裂，产生了一个有同样免疫能力的细胞群。这个由共同的祖先经无性繁殖而产生的相同的细胞群，称为克隆，又称无性繁殖系。这些细胞继续分化，一部分成为比淋巴细胞略大，并含有丰富糙面内质网的细胞，称为浆细胞（抗体就是浆细胞产生的），另一部分发展为记忆细胞（图3-6-4）。

第二类：需要巨噬细胞和T细胞的参与。巨噬细胞有强大的吞噬能力，其表面带有第 II 类MHC分子。它们（无特异性地）吞噬入侵的细菌抗原物后，一些抗原分子穿过细胞膜而露到细胞表面，夹在第 II 类MHC分子的沟中。不同的辅助性T细胞表面带有不同的受体，能识别不同的抗原——巨噬细胞表面MHC分子结合物。辅助性T细胞在遇到这些巨噬细胞后，就活化分裂而产生更多有同样特异性的辅助性T细胞。B细胞表面也带有第 II 类MHC，可和特异的抗原分子结合。上述特异的辅助性T细胞的作用是刺激已经和特异的抗原分子结合的B细胞，分裂分化产生浆细胞和记忆细胞。B细胞依靠辅助性T细胞和巨噬细胞而活化的类型比不需要辅助性T细胞参与活化的过程具有更强大效应（图3-6-5）。

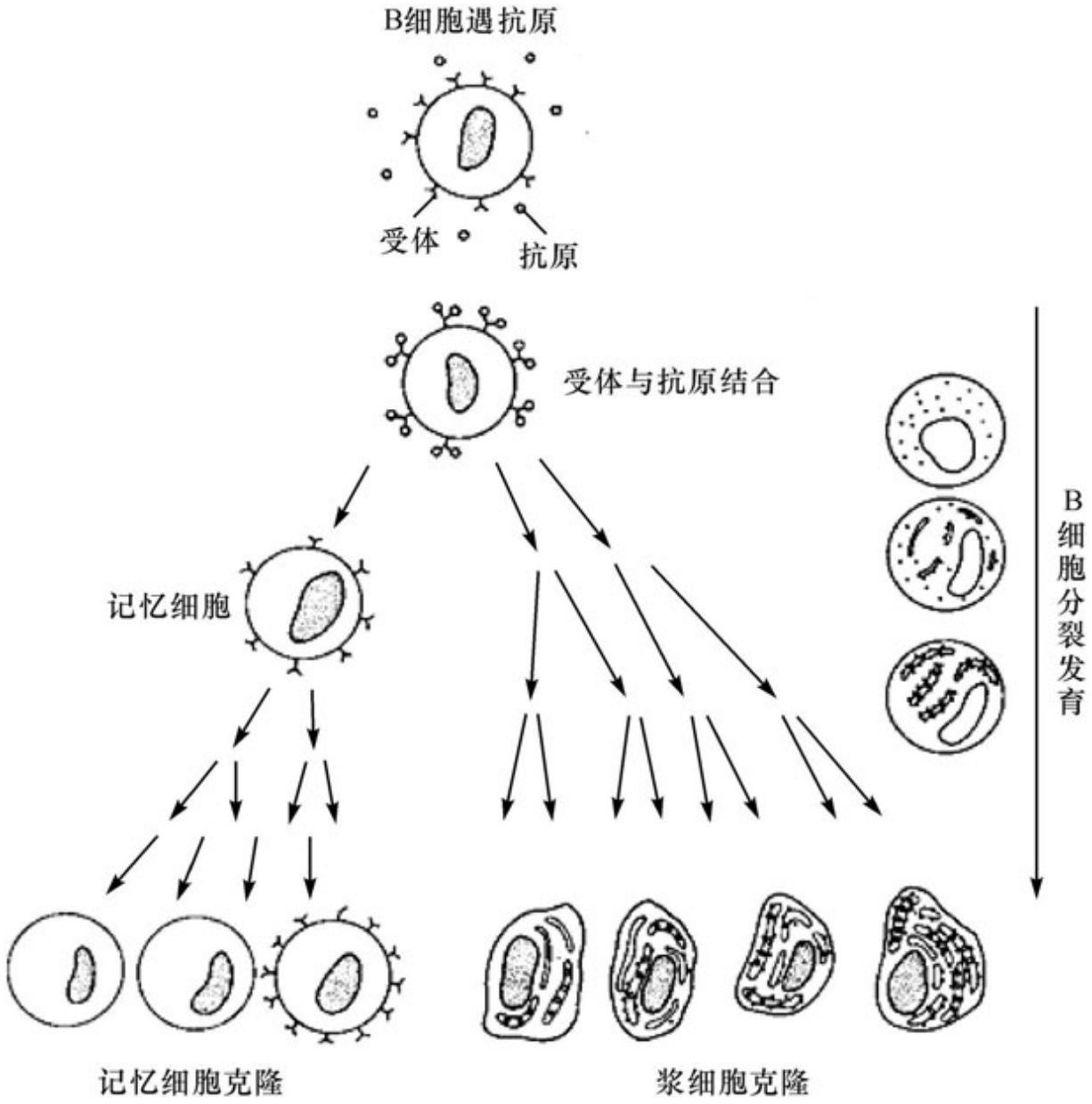


图3-6-4　B细胞产生浆细胞和记忆细胞示意图

2．浆细胞产生抗体

浆细胞一般停留在各种淋巴结中，它们产生抗体的能力很大，每一个浆细胞每秒钟能产生2000个抗体，可以说是制造特种蛋白质的机器。浆细胞的寿命很短，只有几天。抗体离开浆细胞后，随血液、淋巴流到身体各部分，发挥消灭抗原的作用。

3．记忆细胞与二次免疫反应

记忆细胞也分泌抗体，特点是寿命长，对抗原十分敏感，能“记住”入侵的抗原。如果有同样的抗原第二次入侵时，记忆细胞比没有

记忆的B细胞更快地作出反应，即很快分裂产生新的浆细胞和新的记忆细胞，浆细胞再产生抗体消灭抗原，这就是二次免疫反应。二次免疫反应不但比初次反应快，也比初次反应强，能在抗原侵入后尚未为患之前将它们消灭，所以成年人比幼儿少患传染病。有些抗原诱发的记忆细胞能对这种抗原记忆终生，因而动物或人对这种抗原有了终生免疫的能力。人患麻疹或天花、伤寒、百日咳等病痊愈后，或接种了这些疾病的疫苗后，终生不再被这些病原体感染。

由此可知，体液免疫的两个关键过程是：①产生高效而短命的浆细胞，由浆细胞分泌抗体清除抗原。②产生寿命长的记忆细胞，在血液和淋巴中循环，随时“监察”，如有同样抗原再度入侵，立即发生免疫反应以消灭之（二次免疫反应）。

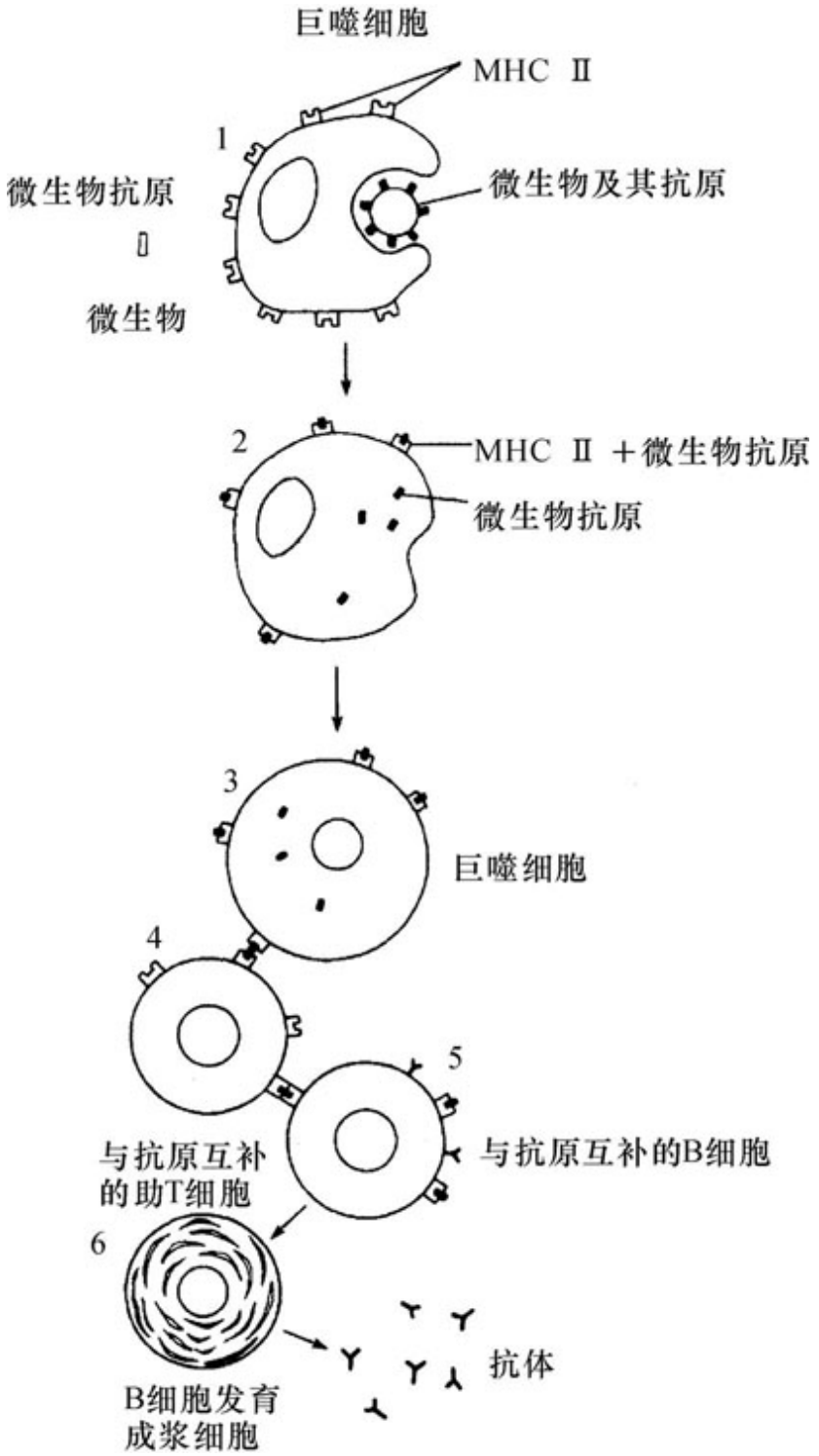


图3-6-5　巨噬细胞和助T细胞参与B细胞的活化过程示意

五、免疫系统疾病

（一）自身免疫病

免疫的一个重要特征是能分清“自我”和“非我”，只有“非我”的外物才能导致抗体或致敏淋巴细胞的产生。但有时却能出现相反的情况，即抗体或致敏淋巴细胞失去了分辨自身和外物的能力，把自身的某些细胞和组织当作入侵的抗原而围攻它，这就是自身免疫病。一般的咽炎、扁桃体炎本不是大病，不过是一种细菌——化脓性链球菌感染而已。人体被感染后，免疫系统启动，产生抗体而将病菌消灭。可惜这种病菌表面有一种抗原决定子和心脏瓣膜上的一种物质的表面结构十分相似。细菌诱导产生的抗体能和细菌结合，也能围攻心脏瓣膜，等到细菌被消灭，炎症消退时，心脏可能已经受到不可修复的伤害，使病人患风湿性心脏病。这就是一种自身免疫性疾病。风湿热、类风湿性关节炎、溶血性贫血等都是自身免疫病。

（二）过敏

有些外物如花粉、秋季枯草等，虽然对人体无害，却能引起某些强烈的过敏反应。有些过敏反应来势迅猛，如青霉素、蜂毒等引起的过敏反应，如不及时治疗可使人致死。过敏反应是一种免疫反应，引起过敏反应的物质称为过敏原。花粉、青霉素以及某些食物（如菌类、草莓以及牡蛎等的某些成分）对于敏感的人都是过敏原。过敏原与呼吸道黏膜或皮肤接触，或被吞入消化管，都会引起过敏反应。过敏反应的第一步是与过敏原互补的体液抗体，主要是IgE大量增生。IgE是一种亲细胞抗体，能附着在肥大细胞和嗜碱性粒细胞表面，使这些细胞变为敏感细胞。肥大细胞是来自造血干细胞的一种结缔组织细胞，直径可达15μm，细胞质中富含分泌粒，它们在皮肤下和呼吸系统、消化系统以及生殖系统的黏膜中最多。接受了IgE的敏感肥大细胞再遇过敏原时，过敏原即与肥大细胞上的受体结合，结果肥大细胞分泌物大增。分泌物主要是组织胺等。组织胺有舒张血管的作用。血管舒张的结果是毛细血管渗透性增大，渗出液增多，出现局部红肿、灼热、流鼻涕、流泪、喷嚏等。给以抗组织胺类药剂，症状可以缓解。过敏性哮喘是另一种过敏反应，肥大细胞不分泌组织胺，而分泌一种慢反应的肽（SRS），它的作用是使平滑肌收缩，严重时可使呼吸道平滑肌持续收缩1～2h。抗组织胺药物对此无效，注射肾上腺素可得到缓解。

（三）免疫缺乏病

严重联合免疫缺乏病（SCID）是一种与生俱来的疾病。新生儿缺乏B细胞或T细胞，对任何外物没有反应能力，任何致病性的因子都可造成婴儿死亡。此病的病因之一是基因的活性发生了变化，即编码腺苷脱氨酶的基因失活，使腺苷脱氨酶缺乏，腺苷累积过多，而腺苷对

淋巴细胞而言是有毒的物质。根治这种先天性遗传病的唯一办法就是基因治疗。

艾滋病（AIDS）——获得性免疫缺乏综合征，是近20年来在非洲、美国，后来又在欧洲出现的一种传染病，现在还在蔓延，亚洲各国也有发现。我国现存艾滋病患者和HIV感染者约为70万，其中艾滋病患者有264302例（注：2008年12月1日卫生部统计数据）。

法国巴斯德研究所首先发现了AIDS的病原，即一种RNA病毒，称人类免疫缺乏病毒（HIV），其大小和感冒病毒、脊髓灰质炎病毒相似。这种病毒的表面有一层糖蛋白分子，其构象正好和助T细胞上的T_4糖蛋白互补，因而两者结合，病毒得以进入助T细胞。但另外一些免疫细胞，如巨噬细胞和一些B细胞，甚至其他一些组织的细胞，如脑细胞，也可被HIV侵染。因此有些艾滋病患者有严重痴呆、行动迟缓、记忆力丧失等症状。我们已经知道，助T细胞是两种免疫途径都要参与的细胞，助T细胞被大量消灭后，患者将失去一切免疫功能，而各种传染病包括肉瘤等将乘虚而入，患者最后常因心力衰竭而死亡。艾滋病病毒对热敏感，对肥皂、洗涤剂也敏感，所以与患者握手等一般接触均不致感染此症。艾滋病病毒是通过血液和精液传播的。此病主要流行于注射毒品、同性恋者和生活不检点的人。现在还没有找到有效的治疗AIDS的方法。

六、免疫系统与癌

根据免疫监视假说，细胞免疫系统有消灭癌细胞的功能。临床上曾经有过恶性肿瘤不经治疗而自然消失的病例，就是免疫监视假说的一个有力根据。主张这一假说的人认为癌细胞表面有不同于正常细胞的抗原，正常的细胞免疫机制能识别这种异常抗原，因而能消灭癌细胞。正是由于人体具有这种免疫监视机制，因此癌细胞一旦出现了就立即被消灭。如果癌细胞由于某些尚不熟悉的原因漏网，它们就发展起来，于是癌症出现。按照这一假说，患免疫缺乏病的人应该有高于常人的癌发生率。但事实并非如此，免疫缺乏病患者仍和正常人的癌发生率没有显著差异。有一种小鼠先天胸腺机能缺陷，缺乏T细胞，免疫机能极差，但它们在隔离饲养的条件下，癌的发生率并不高于正常小鼠，化学致癌物处理后的癌发生率也和正常鼠无差别。因此证明，T细胞免疫系统并无监视消灭癌细胞的功能。但是，病毒诱导动物致癌的实验表明，T细胞免疫系统对于病毒致癌确有抑制功能，因为T细胞对于由病毒寄生的自身细胞是有免疫功能的。

【例题解析】

例1　关于效应B细胞的来源的叙述中正确的是（　　）

A．效应B细胞多数来源于B细胞直接受到抗原的刺激

B．记忆细胞在处理抗原后能够产生效应B细胞

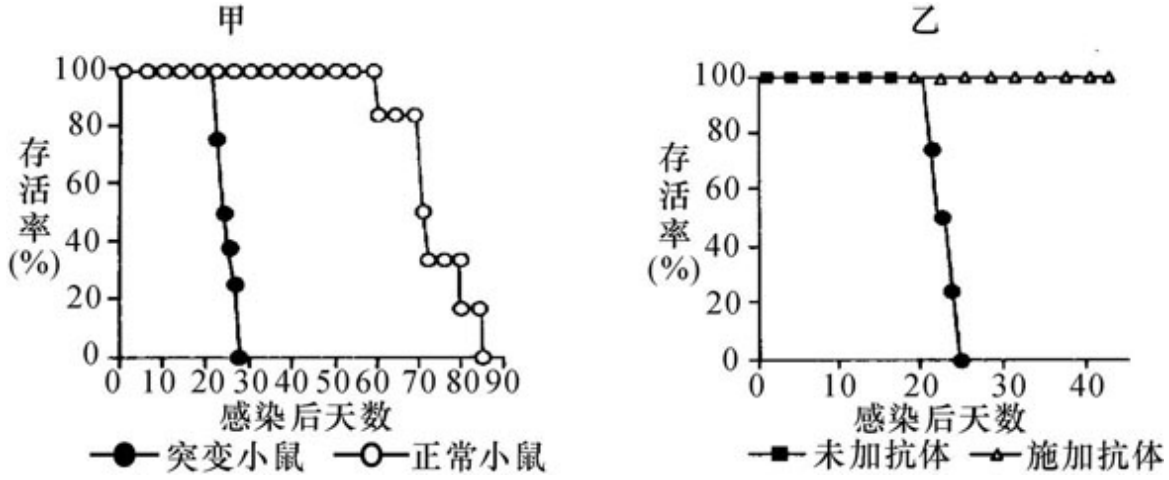
C．效应B细胞全产生于T细胞呈递抗原后

D．B细胞在胸腺中发育成为效应B细胞

解析　效应B细胞的产生过程有两种类型：第一类，抗原的抗原决定簇直接与B细胞膜表面的受体结合刺激B细胞，使B细胞活化，并进行分裂分化，产生效应B细胞和记忆细胞。第二类，需要巨噬细胞和助T细胞的参与。巨噬细胞有强大的吞噬能力，其表面带有第ⅡI类MHC分子。它们（无特异性）吞噬入侵的细菌抗原物后，抗原决定簇穿过细胞膜而露到细胞表面。不同的助T细胞表面带有不同的受体，能识别不同的抗原。那些能识别巨噬细胞表面抗原—MHC复合物的助T细胞，在遇到这些巨噬细胞后，就活化分裂而产生更多有同样特异性的助T细胞。B细胞表面也带有第Ⅱ类MHC，可和特异的抗原分子结合。上述特异的助T细胞的作用是刺激已经和特异的抗原分子结合的B细胞，分裂分化产生效应B细胞和记忆细胞。B细胞依靠助T细胞和巨噬细胞而活化的类型比不需要助T细胞参与的类型作用更强大，产生的效应B细胞更多。胸腺是T细胞的发育场所，骨髓是B细胞发育的发育场所，而效应B细胞和效应T细胞是在外周免疫器官中发育成熟。

答案　B

例2　有一种基因突变的小鼠，以某种胞内寄生的病原体进行感染实验后，比较突变小鼠与正常小鼠的死亡情况，结果如图（甲）。感染该病原体后，进行两种小鼠体内T淋巴细胞与B淋巴细胞数目的测试，发现两种小鼠间无明显差异；但是在感染前后的突变小鼠血清中的免疫球蛋白浓度都非常低。如果用识别该病原体的专一性抗体处理突变小鼠后，再进行感染实验，小鼠存活的结果如图（乙）。则下列推测中正确的是（　　）（多选题）



A．两种小鼠被感染后，B淋巴细胞均能增殖分化

B．突变小鼠被感染后，T淋巴细胞的功能是正常的

C．推测此突变可能发生在抗体基因

D．推测此突变可能发生在T淋巴细胞

解析 由题干信息“感染该病原体后，进行两种小鼠体内T淋巴细胞与B淋巴细胞数目的测试，发现两种小鼠间无明显差异”可知，两小鼠在淋巴细胞的增殖和分化上并无差异。由“在感染前后的突变小鼠血清中的免疫球蛋白浓度都非常低”可知，突变小鼠在抗体的产生上有缺陷。如果用识别该病原体的专一性抗体处理突变小鼠后，再进行感染实验，小鼠全部存活，说明突变小鼠在免疫方面的缺陷仅由抗体的缺乏造成，而抗体是由效应B淋巴细胞产生。

答案　ABC

【针对训练】

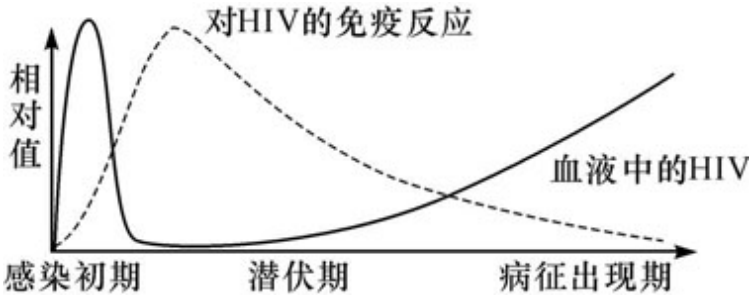
1．右图为病毒HIV造成艾滋病的病程，显示人体内产生免疫力与HIV病毒出现的情况。此外在临床上，感染初期与潜伏期时并无病症出现。试问，在潜伏期时要如何采样与检测，以判断病人是否已被感染（　　）

A．采取口腔黏液直接测定HIV的存在

B．采取口腔黏液直接测定抗HIV抗体的存在

C．采取血液直接测定HIV的存在

D．采取血液直接测定抗HIV抗体的存在



2．2005年3月12日到5月14日，我国有34位志愿者接种了不同剂量的单个疫苗【DNA疫苗或痘病毒载体疫苗（MAV）】，均未出现任何不良反应。近年来在预防传染病的疫苗家族中增加的第三代疫苗——DNA疫苗，它们是由病原微生物中的一段表达抗原的基因制成，这段基因编码的产物仅仅引起机体的免疫反应。以下关于核酸疫苗的叙述中不正确的是（　　）

A．核酸（DNA）疫苗导入人体需要使用适当的基因工程载体

B．导入人体的核酸疫苗直接刺激人体产生抗体，起到免疫作用

C．核酸疫苗的接种可以达到预防特定的微生物感染的目的

D．核酸疫苗接种后引起人体产生的抗体是由效应B细胞合成的

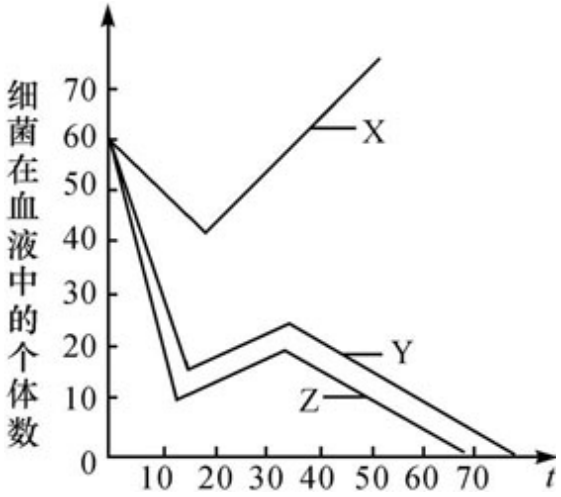
3．给某种实验动物注射了三种细菌，右图表示随时间的变化实验动物的血液中细菌个体数的变化（X：给无免疫能力的宿主注射了毒性强的细菌；Y：给有免疫能力的宿主注射了毒性强的细菌；Z：给有免疫的宿主注射了毒性弱的细菌），则下列有关的说法中正确的是（　　）

A．毒性强的细菌杀死了宿主

B．免疫系统不能防御毒性强的细菌

C．毒性弱的细菌也可能像毒性强的细菌一样造成危害

D．动物免疫系统可区分毒性强和毒性弱两种细菌



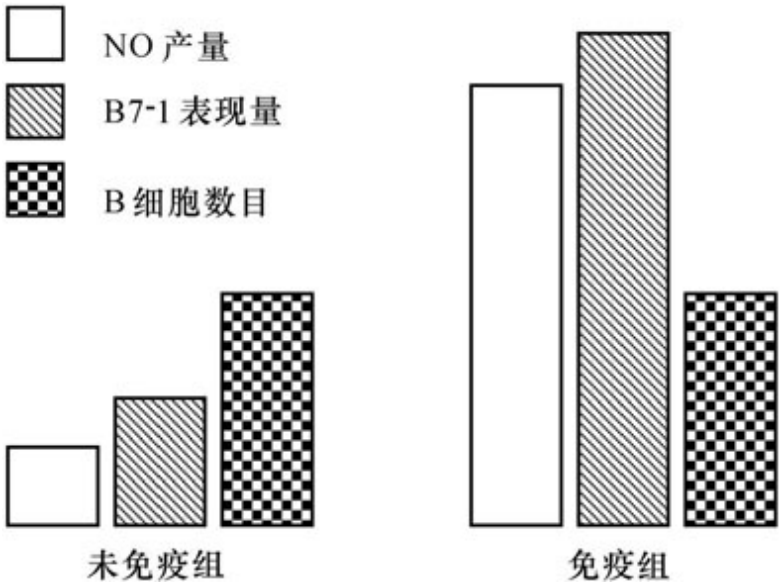
4．NO在生物体内的许多生理反应中扮演重要的调节者，在防御作用中则具有毒杀的作用。某实验以抗原MBP免疫小鼠后，取出脾脏细胞，测定NO对B细胞的影响。结果显示，免疫后小鼠脾脏细胞样本中NO产量与B细胞表面分子B7-1的表现量明显增加，然而未免疫组与免疫组的B细胞数目无明显差异，结果如图。下列哪一项推测为合理的（　　）

A．MBP会先促进小鼠脾脏细胞的NO产量，进而增进B细胞表面分子B7-1的表现

B．MBP促进小鼠脾脏细胞NO产量的效应可能与B细胞表面分子B7-1有关

C．MBP会先促进B细胞表面分子B7-1的表现，进而增进脾脏细胞的NO产量

D．MBP促进小鼠脾脏细胞NO产量的效应与B细胞表面分子B7-1无关



5．小奇虽然接受过B型肝炎疫苗注射，但是体内抗B型肝炎病毒的抗体活性却很低。小奇体内的白细胞数目都正常，试问他的免疫系统有何缺失（　　）

①注射部位未引起发炎反应　　②T淋巴球表面没有抗原受体

③T淋巴球无法协助B细胞发育　　④B淋巴球表面没有抗体

⑤B淋巴球受抗原刺激后，无法正常发育

A．①②

B．③④

C．②⑤

D．③⑤

6．切断输精管是男性节育方法之一。假如一具有生育能力的青年男子因外伤致输精管断裂，其外伤治愈后再进行输精管手术连通，术后发现其精液中有正常量精子，但均不存活，其最可能原因是（　　）

A．该外伤殃及睾丸

B．附睾、前列腺等器官受伤或伤未痊愈

C．体内产生相应抗体

D．连通手术不成功

7．用不同种类的蛇毒能制造出不同的抗蛇毒血清。以下叙述中正确的有（　　）（多选题）

A．不同的蛇毒攻击不同的细胞，因为细胞表面糖蛋白分子不同

B．被毒蛇咬后通过注射特异的抗蛇毒血清治疗，属于被动免疫

C．一种蛇毒只含一种蛋白质，因此一种蛇毒抗血清只含一种抗体

D．抗蛇毒血清能解蛇毒的毒害作用，但不能分解蛇毒

8．以相同剂量的X类毒素分别免疫兔子与小鼠三次后，采集血清，经过二倍连续稀释后，进行抗体与抗原反应的测试。结果显示，可以与抗原产生反应的血清最高稀释倍率，分别是兔子为2^{10}，小鼠为2^{12}。如果利用相同稀释倍率的兔子及小鼠血清，分别与相同剂量的X毒素作用后，进行X的毒力测试，则发现兔子的血清可以完全中和X的毒性，小鼠的血清则否。试问下列叙述中正确的是（　　）（多选题）

A．X类毒素对小鼠有较佳的免疫性

B．免疫后，小鼠产生体液性免疫反应较兔子强

C．小鼠对X产生的抗体量较兔子高

D．以小鼠血清进行主动免疫，可以提供的保护力较兔子血清强

E．以小鼠血清进行被动免疫，可以提供的保护力较兔子血清弱

9．流感疫苗通常安全而有效，但如果全面接种，并不符合成本效益，所以免费接种疫苗的优先对象包括：①65岁以上老人；②26个月至1岁婴儿；③6个月以上慢性疾病患者；④与高危险病人同住的家人或照护机构工作人员；⑤与高危险病人经常接触的医护工作人员；⑥托儿所与幼儿园的老师与工作人员。以下所列优先接种的理由中正确的是（　　）（多选题）

A．①和②的免疫力比一般人弱

B．③接触病原体的机会比一般人高

C．④可能会成为传染源

D．⑤接触病原体的机会比一般人高
E．⑥会被高危险群的幼儿传染

【参考答案】

1．D　2．B　3．C　4．B　5．D　6．C　7．ABD　8．ABE　9．ACD

第7讲　生殖和发育

（诸暨中学　赵文浪）

【知识梳理】

一、生殖方式的进化

1．生殖类型：无性生殖→有性生殖

（1）无性生殖：无生殖细胞结合，由母体直接产生新个体（表3-7-1）。

表3-7-1　无性生殖类型

分裂生殖	单细胞动物经有丝分裂产生两个子代	原生动物
出芽生殖	体侧以有丝分裂长出芽体→成熟后脱离母体	酵母菌、水螅
裂体生殖	个体断裂→形成两个或多个完整个体	涡虫、海星、珊瑚
营养生殖	植物体营养器官(根、茎、叶)的一部分在与母体脱离后，能够发育成为一个新个体	马铃薯块茎

（2）有性生殖：包括同配生殖、异配生殖和卵式生殖

2．受精方式：从体外受精到体内受精，其特点如表3-7-2。

表3-7-2　受精方式及特点

受精方式	体外受精	体内受精
特性	同时释放出精子和卵→在水中完成受精	雌雄先行交配→在雌体内完成受精
成功率	受精成功率较低→产卵较多	受精成功率较高→产卵较少
代表生物	珊瑚、硬骨鱼类、两栖类	甲壳类、昆虫、软骨鱼类、爬行类、鸟类、哺乳类

3．胚胎发育：可分为卵生、卵胎生及胎生，主要区别见表3-7-3。

表3-7-3　胚胎发育方式

	卵生	卵胎生	胎生
受精方式	体外或体内	体内受精	体内受精
受精卵发育	在体外发育	在雌体输卵管内发育	在母体子宫内发育
胚胎所需	由卵黄提供养分	由卵黄提供养分	由母体胎盘提供养分
特性	鸟类有孵卵行为 不孵卵：鱼类、两栖类、爬行类	卵产出后即已孵化或卵产出后孵化期缩短	有周密护幼育幼行为、母体分泌乳汁哺育幼儿
幼体存活率	最低		最高
代表生物	无脊椎动物、硬骨鱼、两栖类、鸟类、爬行类	软骨鱼、蛇、龟、蜥蜴	哺乳类

二、人类的生殖器官

1．男性的生殖器官（表3-7-4）

表3-7-4　男性生殖器官

睾　丸	左右各一，悬吊于阴囊内（原在腹腔内→胚胎八个月时下降至阴囊内） (1)细精管：管壁上的精原细胞经减数分裂产生精子 (2)管间细胞（间质细胞）：细精管外的内分泌细胞管间细胞可分泌雄性激素（睾酮）		
附睾	左右各一，位于睾丸顶部（由弯曲长管组成）→储存精子		
输精管	左右各一，连接附睾，输送精子，由阴囊进入腹腔，最后与尿道会合		
附属腺体	储精囊	位于膀胱背下方，有导管注入输精管	分泌黏液（可中和尿道及阴道的酸性）→以利精子的生存及运动
	前列腺	尿道从其中央小孔通过	
	尿道球腺（考柏氏腺）	位于阴茎勃起组织的基部、前列腺下方	
阴茎	具有海绵勃起组织，先端膨大成龟头（尿道在龟头上开口），为性交的交接器，在性兴奋时会充血而勃起，借射精将精子送入雌性体内		

2．女性的生殖器官（表3-7-5）

表3-7-5　女性生殖器官

卵巢	左右各一，位于腹腔内，内含百万个初级卵母细胞，每个卵母细胞与其周围的许多卵泡细胞组成卵泡，卵泡腔内充满液体 (1)卵泡：①产生卵细胞，②分泌雌性激素 女性进入青春期后，通常每月只有一个卵泡发育成熟 排卵后，剩余的卵泡细胞迅速增殖形成黄体 (2)黄体：分泌雌性激素及黄体激素促使子宫内膜增厚
输卵管	左右各一，位于子宫上方，由肌肉组成 (1)输卵管前端为漏斗状的开口(喇叭口)，不与卵巢直接相连 卵巢排出的卵(次级卵母细胞)经腹腔进入喇叭口，再至输卵管内 (2)输卵管内壁具有纤毛 ①借纤毛的波动及管壁肌肉收缩→将卵移向子宫 ②精子借子宫及输卵管肌肉收缩与本身游动至输卵管上端1/3处受精
子宫	位于腹腔下方，为倒置梨形的肌肉囊，为受精卵着床及胎儿发育的场所 (1)子宫颈：为子宫末端的肌肉环，下连阴道 (2)子宫内膜：子宫壁最内一层的构造，有周期性增厚和剥离现象
阴道	上接子宫颈，下连阴道口 (1)性交时：为容纳男性阴茎的构造　(2)分娩时：为胎儿产出的通道

三、精子和卵细胞的形成

（一）精子的形成

精子的发生在睾丸的生精细管（曲细精管）内，生成过程的细节见图3-7-1。精原细胞位于生精细管的外围，发育中的精细胞由小管外缘逐渐移向管腔，其间经历减数分裂及分化作用。大多数动物的精子结构基本一致，由头、颈和尾三部分组成。头部是染色体集中的地方，细胞质很少，前端有一个顶体泡由高尔基体分化而成，内含水解酶，如顶体蛋白酶、透明质酸酶、酸性磷酸酶等。在受精时，精子释放顶体酶消化卵膜上的物质，协助精子入卵。精子的颈部，由中心粒演化而来。精子的尾部是颈部（中心粒）发出的轴丝，由9＋2排列的微管组成。

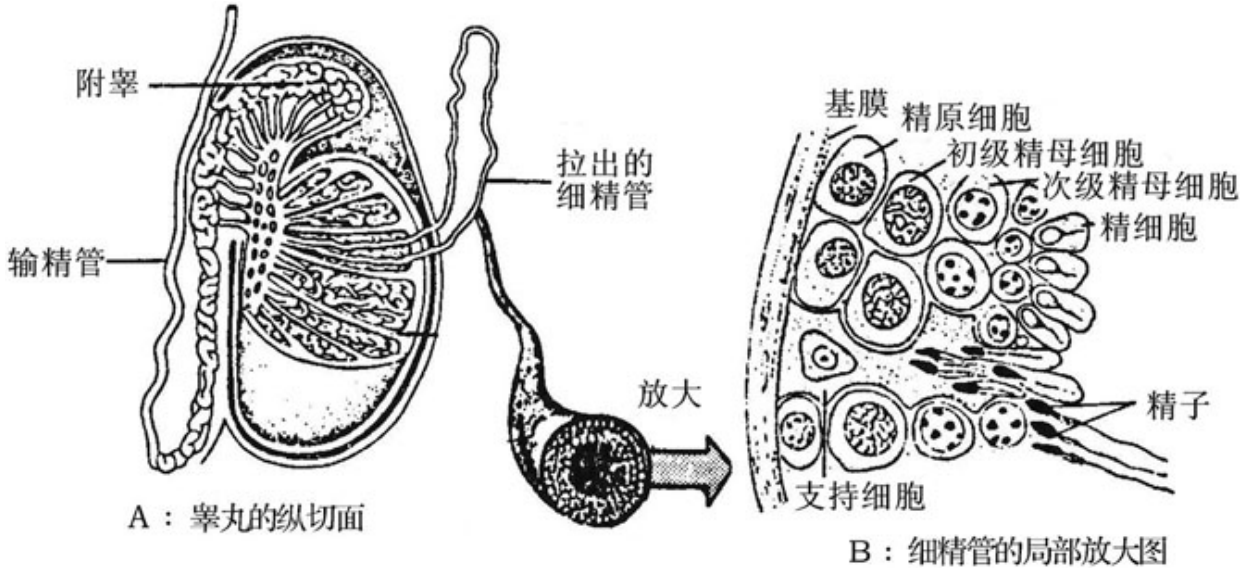


图3-7-1　精子的形成过程

（二）卵细胞的形成（图3-7-2）

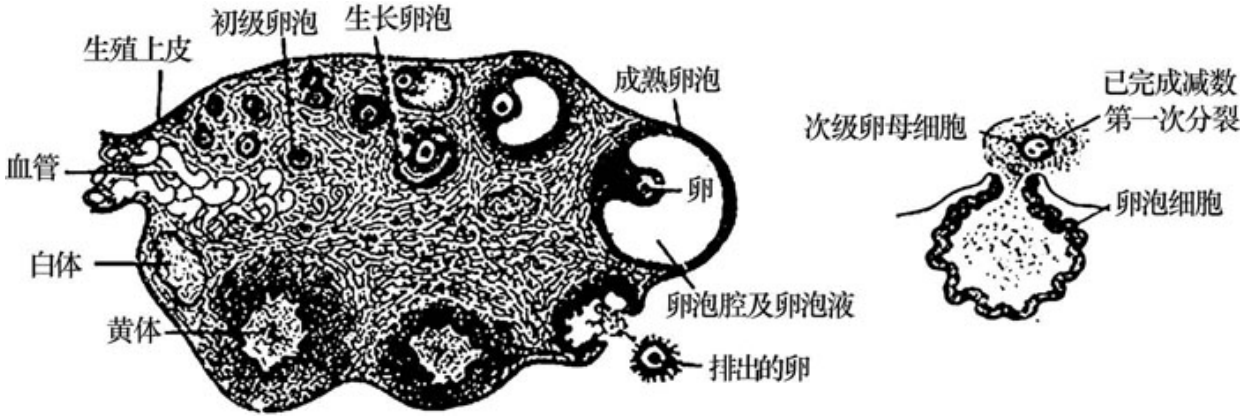


图3-7-2　卵细胞的形成过程

1．卵泡的发育、成熟

卵泡是由中央一个卵母细胞和周围许多卵泡细胞组成，卵泡发育过程大致分为4个阶段。

（1）原始卵泡：原始卵泡位于皮质浅部，数量很多。卵泡中有一个初级卵母细胞，周围是单层扁平卵泡细胞。在胚胎期初级卵母细胞由卵原细胞分化形成，此后进入减数第一次分裂并长期停留于分裂前期，直到排卵前才完成第一次分裂或退化。

（2）初级卵泡：由原始卵泡发育而成，在此期间初级卵泡细胞体积增大，卵泡细胞由扁平变成单层立方或增多为多层，此时卵泡细胞也称颗粒细胞。颗粒细胞和初级卵母细胞共同分泌一层富含糖蛋白的

嗜酸膜称透明带。初级卵母细胞和颗粒细胞的突起伸入透明带内，而颗粒细胞也有突起伸入初级卵母细胞内，有利于颗粒细胞将营养物质输送到卵母细胞。初级卵泡的周围有结缔组织形成的一层卵泡膜。

（3）次级卵泡：初级卵泡进一步发育形成次级卵泡，此时期颗粒细胞增多，细胞间出现大小不一的腔隙，最终形成卵泡腔，腔内充满由颗粒细胞分泌和由血管渗透而来的卵泡液，并将初级卵母细胞挤到卵泡一侧引起卵泡腔隆起，该结构称为卵丘。紧靠卵母细胞的一层颗粒细胞增大，呈柱状、放射状排列，称为放射冠。

（4）成熟卵泡：是卵泡发育的最后阶段，体积很大，直径可达1～15cm，并向卵巢表面突起，进一步成熟后从卵巢排出。

2．排卵

排卵指卵母细胞（次级卵母细胞）及其外周的透明带和放射冠随卵泡液一起从卵巢中排出，经腹腔进入输卵管的过程。排卵后卵泡发育成黄体，黄体分泌孕酮。

（三）卵细胞发生及月经周期的激素调节

1．人类女性与生殖相关的激素（表3-7-6）

表3-7-6　人类女性与生殖相关的激素

	分泌的激素	激素作用
下丘脑	生殖腺释放激素(GnRH)	引起脑垂体分泌 FSH、LH、PRL
腺垂体	促卵泡激素（卵泡刺激素）(FSH)	促使卵巢中的卵泡生长
	黄体生成激素(LH)	(1)促使卵泡生长 (2)FSH＋LH→促进卵泡分泌雌激素 (3)高浓度 LH→促使卵泡破裂排卵 (4)促使黄体生长、促进黄体分泌雌激素和黄体激素
	催乳激素(PRL)	促进乳房发育及乳腺分泌
卵巢	雌激素	(1)促进生殖器官的发育 (2)与女性青春期的发育有关 (3)维持女性第二性征
	黄体素(孕酮等)	(1)促进子宫内膜增厚；(2)抑制子宫平滑肌收缩；(3)促进乳腺发育

2．月经周期及相关激素调节

（1）性周期：雌性哺乳动物两次排卵之间的时期。人和猿的性周期为月经周期。

月经周期中卵巢发生周期变化包括三个过程：卵泡期、排卵期和黄体期（黄体是排卵后残存的卵泡壁内陷，卵泡内的卵泡细胞体积增

大形成的，因为胞浆中含有黄色颗粒所以叫黄体，黄体能分泌大量孕激素和雌激素。在排卵后7～8天发育到顶峰，若排出的卵不受精，黄体在排卵后第10天开始退化为白体，若受精则继续生长一直到妊娠5～6个月开始退化）。

月经周期中子宫内膜发生周期变化包括三个过程：增殖期、分泌期、月经期。

（2）激素调节（图3-7-3）

月经周期受下丘脑—腺垂体—卵巢轴调节，哺乳动物有两种促性腺激素，它们具有相反的作用，一种是促卵泡激素（FSH），一种是黄体生成素（LH）。两种激素协作使卵泡长大并刺激卵泡细胞产生雌激素。

卵泡期：由于上次月经周期中形成的黄体退化，使得颗粒细胞的合成能力降低，血浆中的雌激素和孕酮水平明显降低。这样雌激素和孕酮对下丘脑—腺垂体的负反馈抑制作用减弱，使得血浆中的FSH水平开始升高，但LH仍维持较低水平。FSH能刺激卵泡成熟，于是在第3天血浆中雌激素水平上升，在第5～7天优势卵泡被选择出来。随着卵泡的生长，颗粒细胞的数量和体积不断增加，第12天雌激素水平达到最高值。由于高雌激素水平（200pg/mL）对腺垂体LH分泌有正反馈调节，所以两天后LH也达到高峰。

排卵期：排卵要求血浆中雌激素水平先达到最高峰并维持36～48h，再出现LH分泌高峰并维持24～36h，这种作用通过下丘脑—腺垂体轴来实现。

黄体期：由于高水平的LH对颗粒细胞上的LH受体有下调作用，所以LH水平的升高抑制了颗粒细胞产生雌激素的能力，因此排卵后出现雌激素水平下降。然而随着黄体的成熟，黄体中颗粒细胞增加了孕酮的分泌并且恢复了雌激素的合成。在排卵后的第20～23天，这两种激素的血浆浓度均达到一个较高的水平，但此时浓度小于排卵前。

黄体早期随着性激素水平的升高，对LH的分泌产生了负反馈调节，使得血浆中FSH水平下降；由于血浆中的雌激素浓度高于200pg/mL时，正反馈刺激LH分泌，而低于200pg/mL时，负反馈抑制LH和FSH的分泌，因此LH的分泌幅度明显降低。

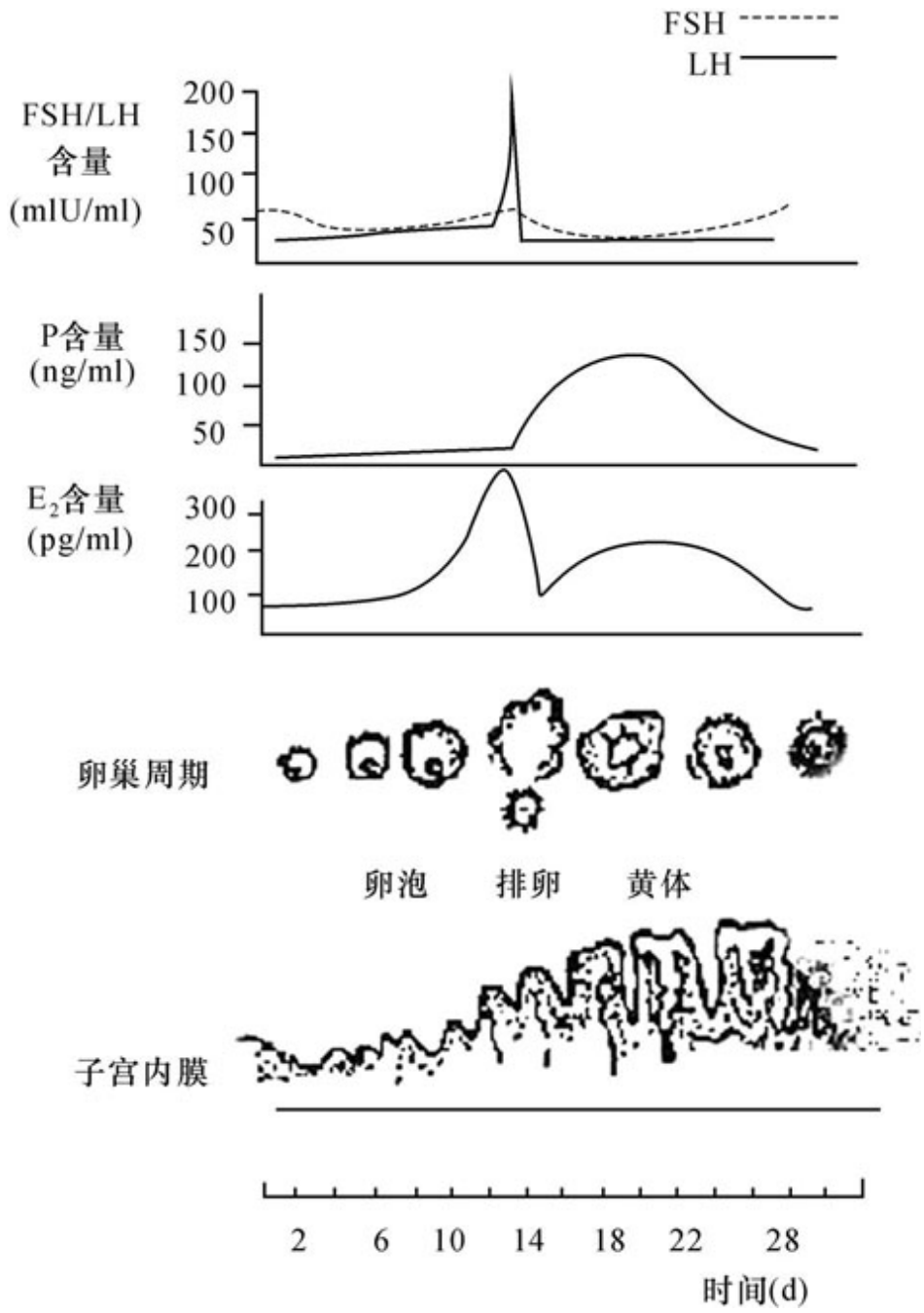


图3-7-3　月经周中各种激素的变化及相互作用机制

若卵没有受精，黄体于排卵后3～10天后退化，子宫内膜脱落引起月经出血。黄体消失后，血中激素减少，抑制垂体性激素的分泌又被消除，垂体再度分泌促性腺激素，排卵周期重新开始。若受精，垂体继续分泌LH，黄体更加增大，固醇类分泌量更多，直到妊娠4个月后激素才减少。

四、动物个体发育

（一）受精

精子和卵细胞在输卵管壶腹部相遇并融合形成受精卵的过程。

1．受精的条件

人类和多数哺乳动物射出后的精子都不能立刻受精，精子被送到输卵管上端所需的时间很短，而卵则在排卵后间隔一段时间方可受精，故精子在输卵管中要等一段时间，在这段时间内精子的形态和生理发生较大的变化，以增强穿入卵子的能力。这种在雌性生殖管道中精子之间相互作用而引起精子变化的过程称为精子获能。获能的本质是暴露精子表面与卵子识别的装置，解除对顶体反应的抑制，使精子穿入卵内完成受精过程。发生获能的主要部位是子宫腔，其次是输卵管。精子只有获能才能完成受精。获能是一个可逆的过程，不具有特异性，可在体外发生。

获能后精子的特点：多种酶系活化，如质膜顶体膜上的腺苷酸环化酶激活，胞内cAMP增多，cAMP有激活某些蛋白质磷酸化过程的作用，使顶体内的水解酶激活，有利于精子入卵；获能后膜发生重组和改建，获能精子表面某些识别卵细胞的信号识别分子暴露出来，有利于和卵细胞结合；精子的活动能力提高。

2．受精的过程（如图3-7-4）

精子与卵子在输卵管壶腹部相遇并相互识别→精子的顶体外膜与头部的细胞膜融合，破裂，形成许多小孔→释放出顶体酶（顶体酶含多种蛋白水解酶，如放射冠穿透酶可使放射冠的颗粒细胞松解而脱离卵细胞外围→颗粒细胞脱落→透明质酸酶使残存放射冠基质分解暴露出透明带并在顶体蛋白酶的作用下，透明带部分水解）→溶解卵子外围的放射冠及透明带（称为顶体反应）→精子突破透明带局限区域到达并进入卵细胞，多精子受精抑制并通过诱导Ca^{2+}内流激发卵细胞完成第二次减数分裂，并形成第二极体→精子尾部迅速退化，细胞核膨大形成雄性原核→与雌性原核融合形成受精卵。

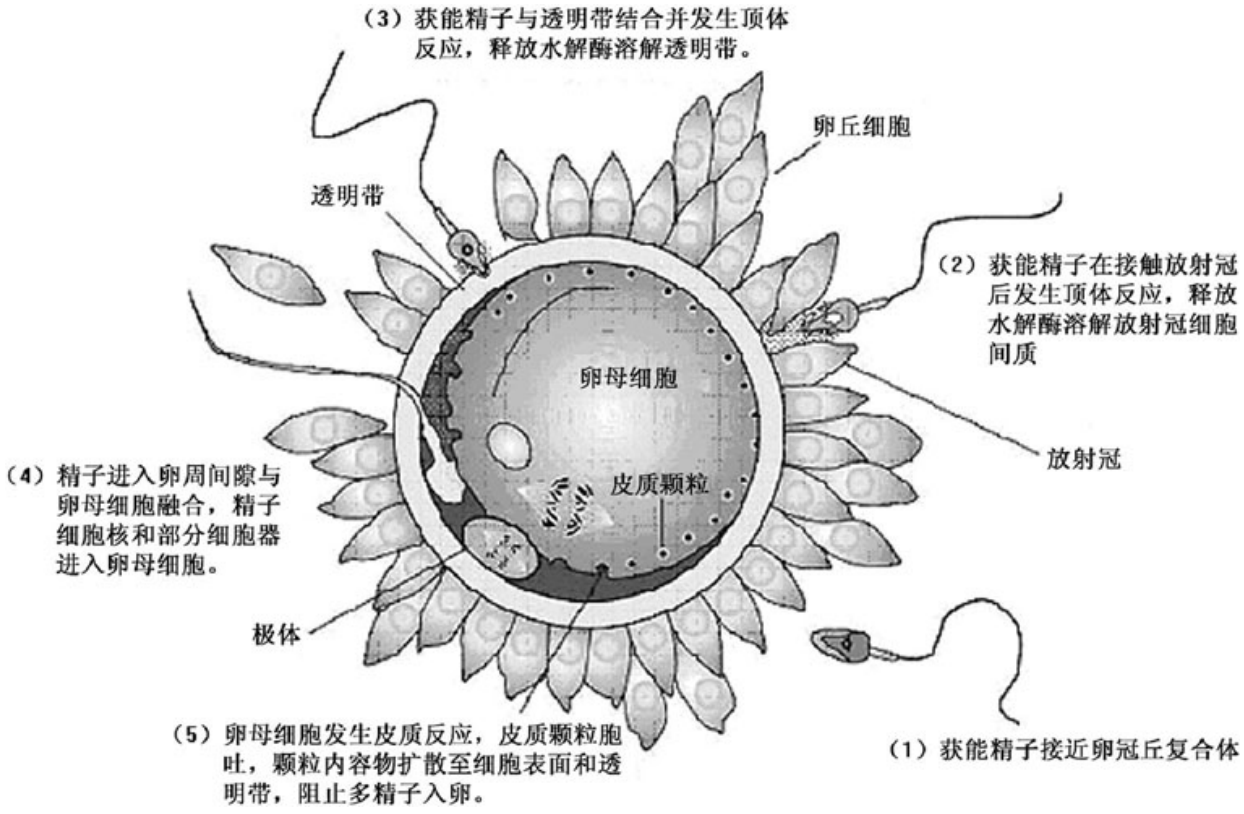


图3-7-4　受精过程

顶体反应：顶体位于精子头部的最前端，其中含有顶体囊泡，精子接触卵子时，卵子透明带中含有一种多糖成分触发Ca^{2+}进入精子头部，引起顶体外排囊泡内容物，内容物中的水解酶能水解透明带和卵黄膜，使精子达到卵细胞质膜；同时Ca^{2+}诱发$H^{+}-Na^{+}$交换，使头部pH上升以增强精子的活力。

多精受精预防机制：皮质反应（又称透明带反应），卵细胞周围的颗粒细胞释放蛋白水解酶到卵周间隙中随后扩散到透明带，并作用于透明带使卵子上精子的受体失活，同时使透明带中的蛋白质变性而变硬，最终阻止其他精子进入，防止多精受精。

（二）胚胎发育

1．卵裂：受精卵的分裂叫卵裂。

完全卵裂：卵裂面将受精卵完全分开，卵裂球大小相差不多，一般少黄卵（均黄卵）都为全裂。中量端黄卵也进行全裂，但动、植物极卵裂球大小相差较多，如多数两栖类、肺鱼。卵裂是有规律地按一定形式进行的，在32细胞前细胞多成倍增加，其后渐不规则。全裂类型较多，根据卵裂球排列形式，主要有：①辐射型卵裂，如棘皮动物、文昌鱼；②螺旋卵裂，如部分软体动物、多毛类环形动物；③两

侧对称型卵裂，如海鞘；④不规则型卵裂，有些卵最初是螺旋型，以后又改为两侧对称型，如某些环节动物；⑤有的卵裂程序不规则，初期的卵裂球的分裂即不同步，出现了3细胞期，如大多数哺乳动物。哺乳动物卵裂至16～64细胞期，形成多细胞实心球体，为典型的桑椹胚。

不完全卵裂：多黄卵进行这种卵裂，由于卵含大量卵黄，卵裂面不能通过整个卵，卵裂仅在卵的细胞质部分进行。有盘状卵裂，卵裂发生在动物极胚盘上，胚盘下的卵黄不分裂，如硬骨鱼、爬行类和鸟类；表面卵裂，昆虫卵的大量卵黄集中于卵的中央，细胞核和少量细胞质位于中央，大部分细胞质分布在卵周，多次分裂后，卵裂环最终均位于卵的表面。

2．桑椹胚期

当胚胎的卵裂球达到16～32细胞左右，细胞间紧密连接，形成致密的细胞团，形似桑椹，称为桑椹胚。

3．囊胚期（胚泡）

16～32细胞以后，细胞团中央出现裂隙并逐渐增大成为腔。细胞开始分化，一部分集聚成团（称为内细胞团，将发育成胚胎）；另一部分细胞渐变为扁平而围在腔的四周（将发育成为胚胎的滋养组织），于是形成囊胚。

4．着床过程、部位和条件

（1）过程：着床时约为受精后的第5～6天，胚泡的极端滋养层与子宫内膜接触后，分泌蛋白水解酶溶解子宫内膜形成内陷，胚泡由此逐渐埋入子宫内膜。植入后内膜的缺口由周围的上皮增殖，将缺口修复，一周内即可完成。

（2）部位：一般在子宫体和底部，最常见于子宫后壁。

（3）条件：雌、孕激素协同调节；子宫内膜必须处在分泌期；胚泡及时进入子宫腔；透明带及时消失；子宫内环境正常等。

5．植入后的子宫内膜变化

胚泡植入后，子宫内膜功能层在分泌期的基础上，发生蜕膜反应，即内膜进一步增厚，血液供应更加丰富，腺体分泌更加旺盛，基质细胞变得肥大，胞质中含有丰富的糖元和脂滴，形成蜕膜细胞。故植入后的子宫内膜称蜕膜，在分娩时脱落。

根据胚与蜕膜的位置关系，可将蜕膜分为三部分：

（1）基蜕膜，位于胚的深部，随着胚胎的发育，基蜕膜逐渐增厚，将来形成胎盘的母体部位。

（2）包蜕膜，覆盖于胚的子宫腔面。

（3）壁蜕膜，为其余部分的蜕膜。胚胎早期，壁蜕膜与包蜕膜之间可见子宫腔，随着胚胎的生长发育，壁蜕膜和包蜕膜融合，子宫腔消失。

6．原肠胚期（三胚层的形成及分化）

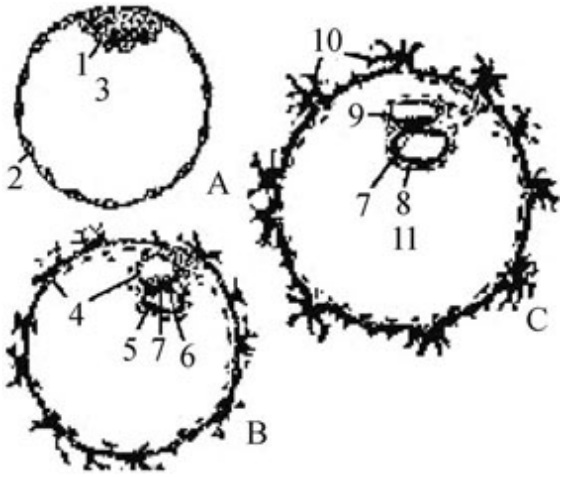


图3-7-5　三胚层的形成

1．内部细胞群；　2．滋养层；　3．胚泡腔；　4．外胚层；　5．内胚层；　6．中胚层；　7．胚体形成部位　8．卵黄囊；　9．羊膜；　10．绒毛；　11．胚外体腔

（1）外胚层、中胚层、内胚层形成过程如图3-7-5。

（2）三胚层的分化（表3-7-7）

表3-7-7　三胚层的分化

胚　层	早期分化	最终形成
外胚层	神经板、神经管、神经嵴	脑、脊髓、皮肤表皮及附属器、内耳、腺垂体、肾上腺髓质等
胚内中胚层	体节 间介中胚层 侧中胚层	骨、软骨、纤维结缔组织、骨骼肌 泌尿系统和生殖系统的大部分器官 胸腹腔的腹侧和前外侧壁的肌肉结缔组织、消化管壁上的肌组织、心包腔等
内胚层	原肠	消化管、消化腺、呼吸道和肺的上皮以及甲状腺、甲状旁腺和胸腺等

7．胎盘的结构及胎儿的物质交换

（1）胚胎形成（图3-7-6）

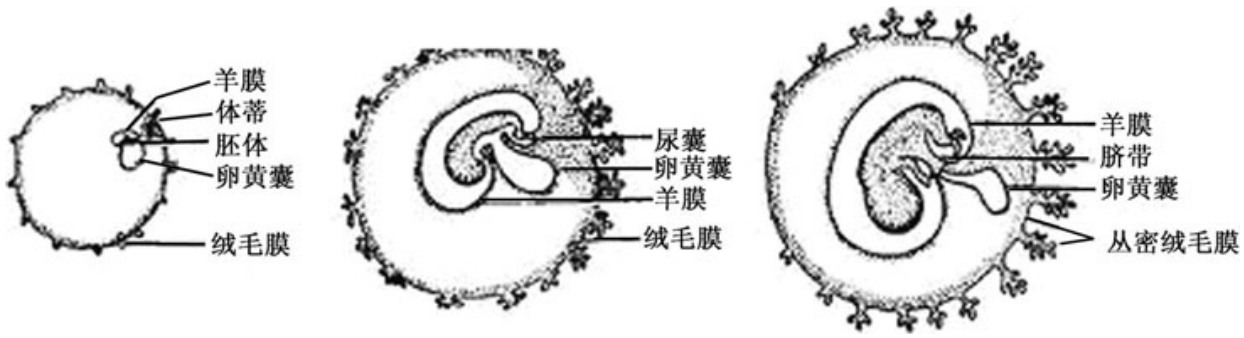


图3-7-6　人胚胎形成过程

（2）胎盘的结构及物质交换（图3-7-7）

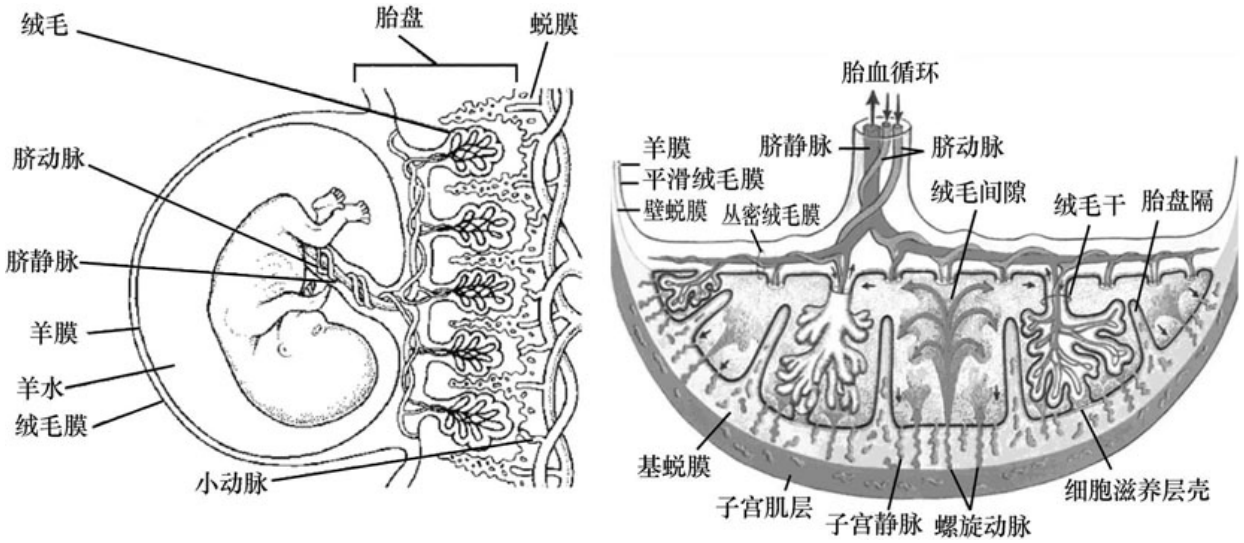


图3-7-7　胎盘的结构及物质交换过程图

8．胚胎的膜

胚胎的膜是来自胚泡分化形成的一些附属结构，不参与胚体的构成，但对胚胎起到重要的保护、营养和支持作用，主要包括绒毛膜、卵黄囊、尿囊、羊膜、脐带等（表3-7-8）。

表3-7-8　胚胎的膜

名　称	组成和结构	功　　能
绒毛膜	由合体滋养层、细胞滋养层、胚外中胚层组成，分为平滑绒毛膜和丛密绒毛膜	从子宫内膜吸收营养物质供给胎儿生长发育，并排出胎儿代谢产物
羊膜 羊水	由羊膜上皮和胚外中胚层组成，羊水来自羊膜上皮细胞的分泌和胚胎的排泄物	构成羊膜腔、分泌羊水，保护胎儿、冲洗产道。
脐带	由羊膜包被着闭锁的卵黄囊和尿囊、两条脐动脉、一条脐静脉及周围的黏液性结缔组织形成的一条圆索状结构。	作为胎儿与胎盘之间的物质运输的通道。

【例题解析】

例1　下列有关于动物的生殖方式，何者正确（　　）

A．无脊椎动物皆行体外受精

B．雌雄个体先行交配以进行体内受精

C．哺乳类动物皆为胎生而无卵生种类

D．卵胎生动物将受精卵留存于子宫内发育

E．卵生动物的胚胎皆无胚外膜保护

解析A．节肢动物行体内受精；C．澳洲的鸭嘴兽和针鼹属于卵生的哺乳类；D．卵胎生动物将受精卵留存于输卵管内发育；E．鸟类和爬虫类的卵壳内有胚外膜保护胚胎。

答案　B

例2　有关于动物的生殖作用，下列叙述中何者正确（　　）

A．蜜蜂和水蚤的卵未经受精皆发育为雄性个体

B．人体的卵原细胞经过减数分裂可产生四个卵细胞

C．软骨鱼类和硬骨鱼类皆行体外受精和卵生

D．胎生和卵胎生皆由母体和胎盘提供胚胎所需养分

E．鸟类和爬虫类的受精卵皆可分化形成胚外膜

解析A．水蚤的卵未受精可发育为雌性个体；B．人体的卵原细胞经过减数分裂可产生一个卵细胞和三个极体；C．软骨鱼类行体内受精和卵胎生，硬骨鱼类行体外受精和卵生；D．胎生由母体和胎盘提供胚胎所需养分，卵胎生由卵黄提供胚胎所需养分。

答案　E

例3　有关于人类的生殖系统，下列叙述何者正确（　　）

A．细精管产生的精子暂存于储精囊

B．前列腺分泌的雄性激素以睾固酮为主

C．子宫壁的肌肉层有周期性增厚和脱落的现象

D．输卵管内的纤毛有助于卵移向子宫

解析A．精子储存于副睾；B．雄性激素由睾丸的管间细胞分泌；C．子宫壁的肌肉层无周期性增厚和脱落的现象，子宫内膜有周期性增厚和脱落的现象。

答案　D

例4　下列何种激素在哺乳动物排卵前与排卵后都会增多（　　）

A．黄体素

B．雌激素

C．黄体生成素

D．卵泡刺激素

解析B．排卵前的滤泡分泌雌激素，排卵后的黄体分泌雌激素和黄体激素。

答案　B

例5　下列有关激素与其功能的配对，哪几项正确（　　）（多选题）

A．甲状腺素：身体产热量升高B．肾上腺素：血糖下降

C．胃泌素：促进胃液分泌

D．FSH：促进黄体激素分泌

E．糖皮质素：抗发炎作用

解析B．肾上腺素——促使肝糖转变为葡萄糖（使血糖升高）；D．FSH——促使卵泡分泌雌激素，LH——促使黄体分泌雌激素和黄体激素。

答案ACE

例6　下列有关受精卵发育的叙述中，何者正确（　　）（多选题）

A．人类的卵在受精后随即进行卵裂，并同时由输卵管向子宫移动

B．受精卵发育形成的胚泡中有一群内细胞群

C．内细胞群所分泌的酶能分解子宫内膜以帮助着床

D．着床时整个胚泡埋入子宫内膜中

E．胎盘是由胎外膜的绒毛与子宫壁形成

解析A．受精卵在受精30h之后才开始进行卵裂；C．滋胚层细胞分泌酶以分解子宫内膜，内细胞群分化为内胚层和外胚层。

答案　BDE

例7　下列有关人类生殖与胚胎发生的叙述中，何者正确（　　）

A．卵黄囊内含养分，供胚胎发育

B．受精卵移动至子宫着床后，再开始进行有丝分裂

C．胚胎与母体血管在胎盘处直接相通，交换气体

D．胚胎的代谢废物经胎盘由母体排除

解析A．人类的卵黄囊已退化，不含养分；B．受精30h后，受精卵开始卵裂并自输卵管上端移至子宫着床；C．胚胎与母体血管在胎盘处未直接相通。

答案　D

例8　脊索的形成是在以下哪个发育时期形成的（　　）

A．囊胚期

B．原肠胚期

C．神经胚期

D．其后的器官形成期

解析　原肠胚发育到最后，向外的开口——胚孔缩小。在胚胎的背面开始出现2条互相平行的隆起。这2条隆起逐渐联合起来，即形成神经管。胚胎发育的这一时期为神经胚期。在神经胚期，除形成神经管外，还要形成脊索和体腔。这个过程可在蛙胚神经褶晚期横切片上观察到。

答案　C

例9　胎盘是由母体子宫内膜与胎儿的下列哪部分结合而成（　　）

A．绒毛膜

B．尿囊

C．绒毛膜与尿囊

D．羊膜

解析　胎盘是由胎儿的绒毛膜和尿囊与母体子宫壁内膜结合起来形成的。需要注意的是，胎生不是哺乳动物特有，一些鲨鱼及爬行动物都以真正的胎生实现繁衍。

答案　C

例10　下列哪一组器官均为中胚层衍生物（　　）

A．脑下垂体前叶，脊髓，小肠，肺

B．脊索，腹直肌，红血细胞，睾丸

C．耳咽管，甲状腺，消化道内壁膜，胰脏

D．胆囊，直肠末端，肝脏，消化道表面浆膜

解析　内胚层形成消化腺和消化道、呼吸道的内表皮，外胚层形成神经、感官和外表皮等体表结构，其余为中胚层形成。原条深面的细胞则逐渐迁移到内外胚层之间，形成松散的间充质。原条两侧的间充质细胞继续向侧方扩展，形成胚内中胚层，它在胚盘边缘与胚外中

胚层续连。从原结向头侧迁移的间充质细胞，形成一条单独的细胞索，称脊索。

答案　B

例11　动物的结构都是由3个胚层直接或间接发育而来的。下列结构中，哪项不是由内胚层发育来的（　　）

A．肠上皮

B．口腔黏膜

C．肝脏

D．肺泡

解析　口腔黏膜由外胚层发育而来。

答案　B

例12　胚层的形成对动物进一步的发育有很重要的意义，每个胚层都奠定了一定组织和器官的基础。下面关于不同胚层分化形成器官的描述中，错误的是（　　）

A．外胚层形成了中枢神经系统

B．消化道上皮由外胚层和内胚层参与形成的

C．中胚层形成了肝脏

D．中胚层形成了肌腱和韧带

解析　可借助以下口诀来记忆：外胚表皮附神感，内胚腺体呼消皮，中胚循环真脊骨，内脏外膜排生肌。

答案　C

例13　卵细胞完成第二次减数分裂是在（　　）

A．生长卵泡期

B．成熟卵泡期

C．排卵期

D．受精期

解析　次级卵母细胞只有在受精刺激作用下才能完成第二次减数分裂。

答案　D

【针对训练】

（一）单选题

1．下列哪种细胞生成雄激素结合蛋白（　　）

A．生精细胞

B．支持细胞

C．间质细胞

D．基底细胞
2．关于睾丸支持细胞功能的叙述，下面哪一项是错误的（　　）
A．各级精细胞的营养依靠支持细胞供给
B．在幼儿早期分泌苗勒氏管抑制因子（MIF）
C．参与精子的运输和释放
D．在FSH作用下，产生雄性结合蛋白
3．关于睾丸中各种细胞的叙述，哪一项是错误的（　　）
A．间质细胞产生睾酮
B．支持细胞能产生雄激素结合蛋白
C．人初级精母细胞的染色体数为46条
D．精子发生依附在间质细胞上进行
4．关于睾酮的叙述，下面哪一项是错误的（　　）
A．能维持男性特征
B．促进蛋白质合成
C．是固醇类激素
D．促进精子发生
5．男子结扎输精管后，下面哪一项叙述是正确的（　　）
A．声调发生改变
B．无精子产生
C．精液中不含精子
D．失去性欲
6．下面关于孕酮作用的叙述，哪一项是错误的（　　）
A，通常在雌激素基础上才能发挥作用
B．减少宫颈黏液分泌量，有利于精子穿透
C．具有产热作用
D．刺激乳腺腺泡的发育
7．关于孕激素作用的叙述，下列哪一项是错误的（　　）
A．使子宫肌活动减弱
B．降低母体免疫排斥反应
C．促进能量代谢有产热作用
D．刺激子宫膜呈增生期变化。
8．下面关于黄体的叙述中哪一项是错误的（　　）
A．对月经周期分泌期子宫内膜的发育和维持是重要的
B．妊娠第一个月末开始萎缩
C．可分泌雌激素和孕激素
D．排出的卵是否受孕将决定黄体的命运

9．关于雌激素生理作用的描述，哪一项是错误的（　　）
A．促进阴道上皮细胞增生，角质化
B．增强输卵管和子宫平滑肌的收缩
C．子宫内膜增生，变厚，腺体分泌
D．增强卵巢对促性腺激素的反应
10．排卵后，卵泡可能发生的变化是下列哪一项（　　）
A．血体→黄体→白体
B．黄体→血体→白体
C．黄体→白体→血体
D．血体→白体→黄体
11．血中哪种激素水平出现高峰可作为排卵的标志（　　）
A．FSH
B．LH
C．孕激素
D．雌激素
12．对于结扎输卵管的妇女，下面哪一项叙述是正确的（　　）
A．不排卵，有月经
B．不排卵，无月经
C．仍排卵，有月经
D．仍排卵，无月经
13．关于绒毛膜促性腺激素的叙述，下面哪一项是错误的（　　）
A．hCG是糖蛋白
B．hCG具有孕激素样作用
C．妊娠3个月后，hCG在血中的水平开始下降
D．hCG是维持早期妊娠所必需的
14．关于精子的描述，下面哪一项是错误的（　　）
A．精子从精液的其他成分中分离出来后是不育的
B．正常发育需要睾酮的刺激
C．正常发育需要卵泡刺激素的作用
D．通过尾部的摆动运动到附睾并贮存在那里
15．排卵后，下列现象的描述哪一项是错误的（　　）
A．血浆孕激素的水平升高
B．子宫黏液变得更加黏稠和缺乏
C．血浆中黄体生成素水平下降
D．子宫内膜厚度变薄

16．下列身体的4个部位中，哪一个仅能产生雄激素或雌激素（　　）

A．睾丸

B．卵巢

C．肾上腺皮质网状带

D．胎盘

17．关于无排卵月经的描述，下面哪一项是错误的（　　）

A．卵泡不排卵

B．不排卵卵泡仍能分泌雌激素

C．子宫内膜存在增殖期变化

D．子宫出血但比排卵月经的经血少

18．妊娠期内不排卵是由于下列哪种激素的作用（　　）

A．雌激素

B．孕激素

C．雌激素与孕激素

D．FSH和LH

19．临近青春期时，下丘脑—腺垂体—性腺轴活动的增强是由于下列哪一项原因（　　）

A．雌激素水平升高

B．下丘脑对性激素敏感性降低

C．性腺调控器的调控点处于较低水平

D．LH水平升高

20．睾酮的化学性质是

A．固醇类

B．类固醇

C．胺类

D．肽类

E．蛋白质

21．睾酮由睾丸的下列哪种细胞分泌（　　）

A．间质细胞

B．支持细胞

C．精原细胞

D．精母细胞

E．精子

22．促进睾丸间质细胞合成与分泌睾酮的激素是（　　）

A．FSH

B．TSH
C．ACTH
D．LH
E．GnRH
23．雌二醇的化学性质是（　　）
A．胺类
B．肽类
C．类固醇
D．固醇类
E．蛋白质
24．下列哪一种激素能在排卵前一天左右诱发排卵所必需的LH峰（　　）
A．雌二醇
B．孕酮
C．促卵泡激素
D．抑制素
E．雌三醇
25．孕酮的化学性质是（　　）
A．蛋白质
B．肽类
C．胺类
D．类固醇
E．固醇类
26．下列有关孕激素的叙述中，正确的是（　　）
A．促进子宫内膜发生增生期变化
B．促进子宫内膜发生分泌期变化
C．子宫发育
D．促进并维持女性特征
E．促进子宫收缩
27．育龄期女子基础体温的双相变化是有下列哪种激素的作用（　　）
A．雌激素
B．孕激素
C．甲状腺激素
D．LH
E．FSH

28．月经正常的妇女，其月经黄体能维持几天（　　）
A．3～5天
B．5～7天
C．7～9天
D．9～11天
E．12～15天
29．精子获能的主要部位是（　　）
A．睾丸曲细精管
B．附睾
C．阴道
D．子宫颈
E．子宫腔
30．妇女在妊娠过程中妊娠黄体能维持多久时间（　　）
A．6周左右
B．8周左右
C．10周左右
D．12周左右
E．14周左右
31．在妊娠过程中，胎盘分泌的hCG何时到达高峰（　　）
A．卵子受精的第5～6天
B．妊娠2～3周
C．妊娠4～5周
D．妊娠6～7周
E．妊娠8～10周
（二）多选题
32．性腺的主要功能为（　　）
A．产生生殖细胞
B．分泌性激素
C．完成受精过程
D．输送生殖细胞
E．促进生长
33．下列所述结构中属于雄性附属器官的是（　　）
A．睾丸
B．附睾
C．输精管
D．精囊腺

E．前列腺
34．睾丸中产生的精子不断运出，主要储存在（　　）
A．曲细精管
B．睾丸网
C．输出小管
D．附睾
E．精囊
35．精液中所含的主要成分包括（　　）
A．精子
B．精囊腺分泌物
C．前列腺分泌物
D．大量的睾酮
E．大量的LH
36．关于卵泡的发育，下列叙述中正确的是（　　）
A．原始卵泡最早出现于20周左右的女性胎儿卵巢
B．初级卵泡在青春期前处于静止状态
C．每个月经周期，每一卵巢中只有1个卵泡发育并排卵
D．排出的卵细胞是次级卵母细胞
E．女性一生中只有200～400个卵泡发育并排卵
37．卵巢分泌的激素有（　　）
A．雌激素
B．孕激素
C．雄激素
D．松弛素
E．抑卵泡素
38．关于雌激素的生理作用，下列叙述中正确的是（　　）
A．促进雌性生殖器官的发育
B．维持女性第二性征
C．加速骨骼生长，促进骨骺的愈合
D．降低血浆胆固醇含量
E．促进体毛生长
39．关于雌二醇对LH分泌的反馈性调节，下列叙述中正确的是（　　）
A．雌二醇高于200pg/mL时，正反馈刺激LH的分泌
B．雌二醇低于200pg/mL时，负反馈刺激LH的分泌
C．雌二醇通过抑制下丘脑活动间接抑制LH的分泌

D．雌二醇直接作用于腺垂体调节LH的分泌
E．雌二醇可通过对下丘脑的正反馈作用，调节LH的分泌
40．对调节月经周期起主要作用的激素是（　　）
A．雌激素
B．孕激素
C．GnRH
D．LH
E．FSH
41．关于月经周期中卵巢和子宫内膜的周期性变化的关系，下列叙述中正确的是（　　）
A．黄体萎缩，雌、孕激素水平下降造成子宫内膜脱落
B．卵泡生长期相当于子宫内膜的增殖期
C．黄体期相当于子宫内膜的分泌期
D．月经期卵泡开始发育
E．卵巢排卵是子宫内膜增生期与分泌期的分界线
42．关于受精卵和胚泡，下列叙述中正确的是（　　）
A．受精卵很快被运输到子宫腔
B．在输卵管内受精卵很快分裂，形成卵裂球
C．大约在受精后的第5天，形成胚泡
D．桑椹胚是植入子宫内膜的最好时期
E．胚泡外膜细胞称为滋养层
43．胎盘的内分泌机能有（　　）
A．分泌绒毛膜促性腺激素
B．分泌雌三醇
C．分泌孕酮
D．分泌胰岛素

【参考答案】

（一）单选题

1．B　2．B　3．D　4．C　5．C　6．B　7．D　8．B　9．C　10．A　11．B　12．C　13．B　14．D　15．D　16．D　17．D　18．C　19．B　20．B　21．A　22．D　23．C　24．A　25．D　26．B　27．B　28．E　29．E　30．C　31．E

（二）多选题

32．AB　33．BCDE　34．DE　35．ABC　36．ABDE　37．ABCDE　38．ABCD　39．ABCD　40．ABCDE　41．ABCDE　42．

BCE　43．ABC

第8讲　运　动

（诸暨中学　赵文浪）

【知识梳理】

人体的运动主要与在神经调节下的肌肉运动有密切的联系，本讲的重点是人体骨骼肌的结构及生理特点、兴奋在神经肌肉的传递、骨骼肌的肌肉的收缩原理和过程以及肌肉收缩的形式。

一、人体骨骼肌的结构和生理特点

（一）肌纤维的结构

人体的骨骼肌由500～600余块肌肉组成。每块肌肉都是一个器官。每块单肌肉由以下几种组织构成：

肌组织：由肌纤维（肌细胞）组成，肌纤维构成肌肉的主体，是肌肉中的收缩成分。

结缔组织：由包绕在肌纤维、肌束和整块肌肉外面的肌内膜、肌束膜和肌外膜及肌腱组成，是肌肉中的弹性成分。

神经组织：支配肌肉的运动。

肌细胞是骨骼肌的主要结构单位，其形纤长，故又称肌纤维。肌纤维同其他许多细胞一样，有细胞膜（肌膜）、核、质，肌浆中除丰富的线粒体、糖元等，还充满平行排列的肌原纤维和复杂的肌管系统。

1．肌原纤维和肌小节（如图3-8-1）

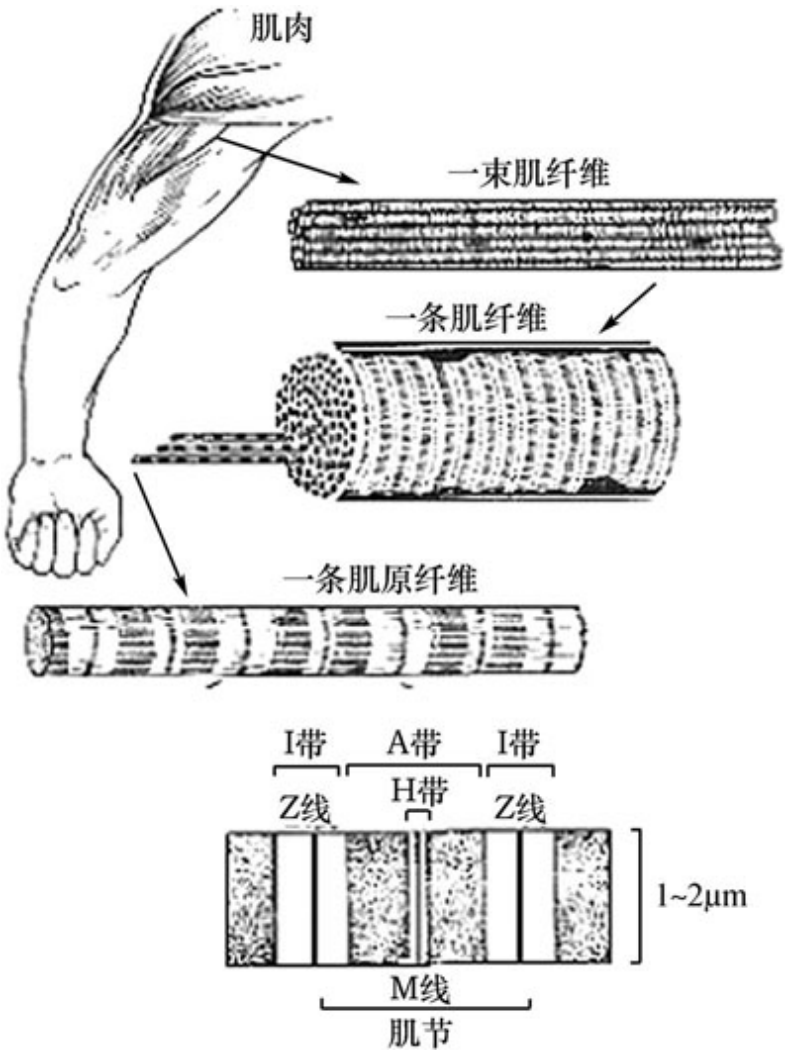


图3-8-1　肌纤维的结构

肌原纤维是包含在肌纤维内的纤维状结构，直径约1μm，沿肌纤维纵向排列，贯穿细胞全长。在一个肌细胞中，肌原纤维的数量可多达上千条。

（1）肌原纤维光镜下的形态特征：具明暗交替的条纹，A带较暗，H带、I带较亮；H带：较亮中有较暗的M线；I带，中间为Z线。

（2）肌节（肌小节）：两相邻Z线之间的部分，包括1/2I＋A＋1/2I。肌节是肌细胞的形态和基本功能单位，其长度取决于肌肉的收缩或伸展状态而变动约1.5～3.5μm。

（3）肌原纤维组成：粗肌丝和细肌丝。

粗肌丝：直径约100A，长约1.5μm，只存于A带中。

细肌丝：直径约50A，长约1.95μm，由Z线伸出，纵贯I带全长，并伸出至A带部位，与粗丝交错对插。

据此，I带和H带的长度实际上决定于细丝伸入A带的长度，深入的越长，则I带和H带愈短，即肌节愈短。即肌内收缩时I带和H带变短，而A带的长度一般保持不变。

2．肌丝的分子组成（图3-8-2）

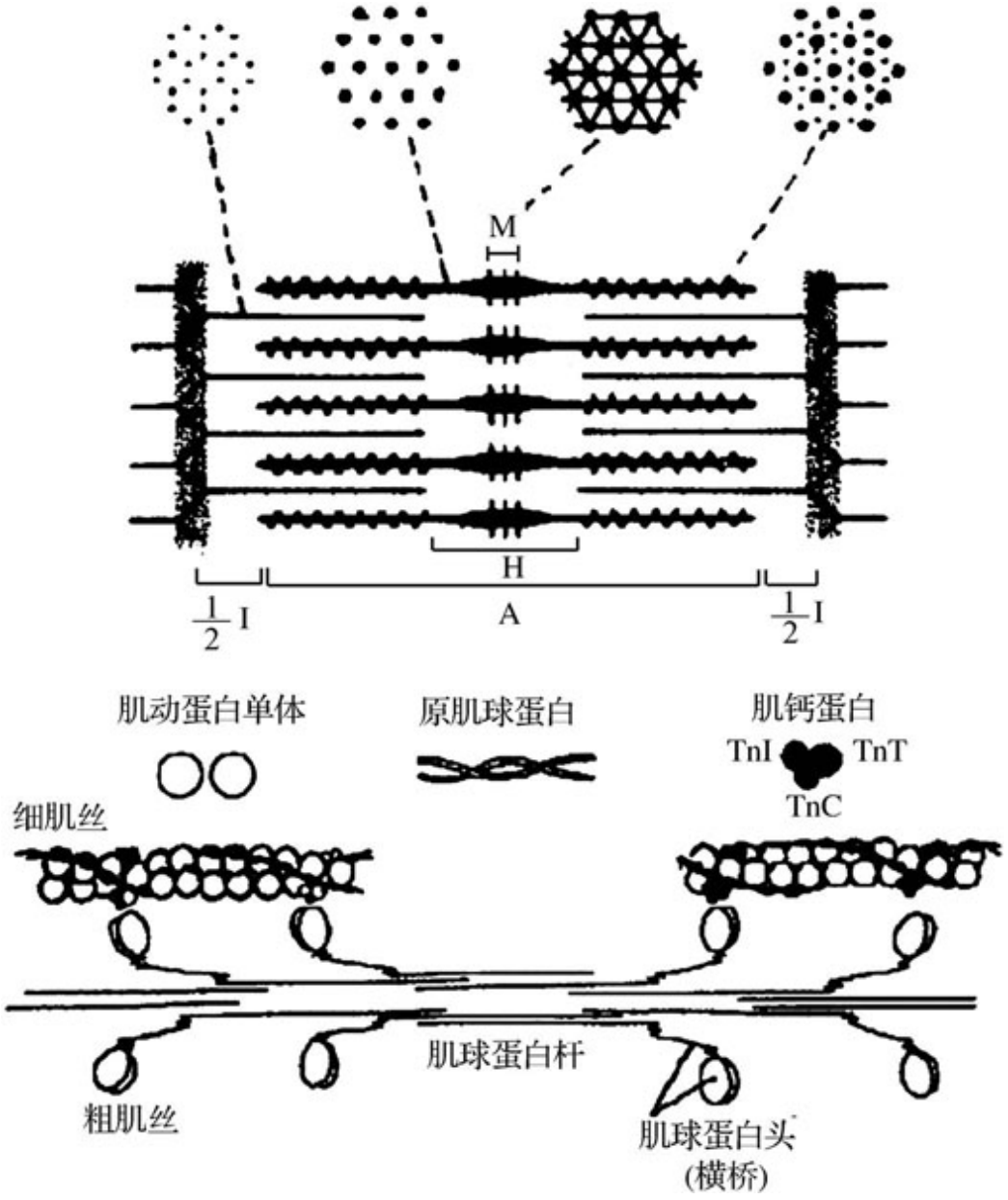


图3-8-2　肌丝的结构

（1）粗肌丝：由肌球蛋白（肌凝蛋白）组成。

肌球蛋白：一条1.5～2nm的主干和两个球头部组成。

每一条粗丝约含200～300个肌球蛋白分子。它们以M线为界，分属M线两侧的各半个肌节，呈对称分布；主干聚集成束，形成粗丝的主

轴，其尾端朝向M线，球头部指向Z线，并相隔一定的间距有规则地露出主轴表面，称为横桥。

横桥的功能特性对肌丝的滑行有重要意义：

①横桥上有一个能与ATP相结合的位点，同时具有ATP酶活性，有水解ATP的内源性能力。

②在一定条件下可和细丝上的肌动蛋白分子发生可逆性地结合，然后向M线方向摆动，拖动细丝向A带中央滑行。

（2）细肌丝：由三种蛋白组成。

①肌动蛋白（肌纤蛋白）：占细丝的60%，其单体呈球状，但在肌肉中聚合成双螺旋结构，成为细丝的主干，以垂直方向固定于Z线。肌动蛋白上，有能和横桥做可逆结合的位点，直接与肌球蛋白一道实现肌丝的滑行，故肌动蛋白与肌球蛋白一同被称为收缩蛋白。

②原肌球蛋白（原肌凝蛋白）：也是双螺旋结构的细丝，在肌肉静息时位于肌动蛋白和粗丝横桥之间，起阻止两者相结合的作用。位于肌动蛋白双螺旋沟的沟沿掩盖肌动蛋白与横桥的结合位点，使肌动蛋白处于抑制状态。

③肌钙蛋白（原宁蛋白）：不与肌动蛋白相连，以一定间隔位于原肌凝蛋白之上，此蛋白对Ca^{2+}很高的亲和力，很容易与Ca^{2+}呈可逆结合。在肌肉静息时，肌钙蛋白像一把钩子，把原肌球蛋白钩住，使其固定于肌动蛋白双螺旋沟的沟沿，以阻止原肌球蛋白滑到沟底。

3．肌管系统（图3-8-3）

肌管系统又称为内膜系统，是指环绕在每条肌原纤维周围的膜状微管系统，包括如下几个结构：

（1）横管系统（T管）：肌膜在Z线水平向内凹陷形成，其走向与纤维的长轴垂直，经过分支，在肌原纤维之间形成环行管，所以横管系统与肌纤维外部相通。肌膜的动作电位由T管传入肌细胞内部。

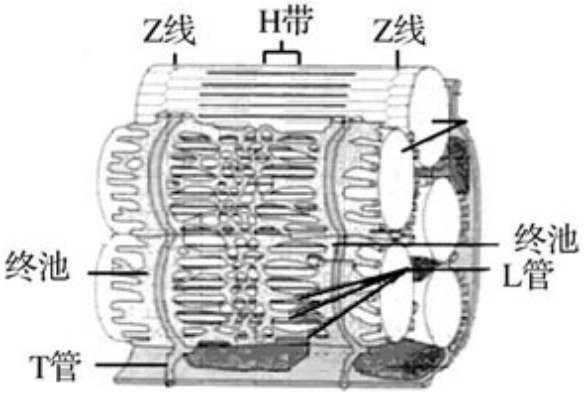


图3-8-3　肌管系统

（2）纵管系统（L管）：在发生上相当于一般细胞的滑面内质网，所以又称肌质网。此管和肌原纤维平行，围绕肌原纤维的另一套相互吻合的微管系统，L管在Z线附近变宽并相互吻合，形成终池（为贮存和释放Ca^{2+}的地方）。

（3）三联体：分属于两个肌节的相邻的两个终池，其间隔以横管形成所谓三联体。

肌管系统的功能：

①与细胞内外之间的信息传递有关，引起终池Ca^{2+}释放，以触发肌肉收缩。

②实现肌原纤维内外的物质交换，如将肌原纤维收缩时所需的能源物质输入肌原纤维内，并将这些物质被利用后所产生的废物排出。

（二）骨骼肌细胞的生物电现象

生物电是一种极普遍的生理现象，是活组织的基本特征之一，也是兴奋的标志。

膜电位：细胞膜内外的电位差，叫膜电位（跨膜电位）。

1．静息电位

（1）极化状态：细胞安静时，膜内、外电位稳定于某一数值的状态。

（2）静息电位的成因：是由于细胞内外Na^+、K^+离子分布不均和细胞膜具有选择通透性。

在静息状态下，由于膜内的K^+浓度比膜外的大20～40倍，膜外的Na^+浓度比膜内的大7～12倍，故在膜两侧存在着Na^+、K^+浓度梯度。这一浓度梯度驱使K^+顺浓度梯度向膜外扩散，Na^+顺浓度梯度向膜内扩散；另一方面，由于细胞膜对K^+的通透性要比对Na^+的通透性大20～100倍左右，故安静时，细胞膜对K^+有一定的通透性（虽然很低），而对Na^+基本是不通透的，从而使少量的K^+通过细胞膜扩散到膜外，而Na^+则不能扩散到膜内。同时，由于细胞内负离子大多是大分子的有机磷酸离子和带负电荷的蛋白质，不能随K^+一道通过细胞膜，因而留在膜内。这样一来，细胞膜外侧就有较多正离子，细胞膜内侧则有较多负离子。因而使膜外电位变为正，膜内电位变为负，使膜内外产生了外正内负的跨膜电位差。可见这种跨膜电位差是由于膜内的K^+向膜外扩散而形成的。一旦当K^+外流形成的这种内负外正的电位差即电位梯度出现以后，它就成为一种阻止K^+继续向外扩散的力量。因此，当由于浓度梯度而使K^+向外扩散的力量和电位梯度阻止K^+向外扩散的力量

相等时，即两种力量达到平衡时，K^+就不再向外扩散，膜两侧的电位差也就稳定于某一固定数值。这就是静息电位。

各种动物都有内负外正的静息电位，但由于各类细胞膜内外K^+浓度比值或膜对K^+的通透性不同，因而其静息电位值也有所不同，如哺乳动物的心肌、骨骼肌和神经细胞的静息电位为-70～90mV，平滑肌为-50mV～60mV。

2．动作电位（详见第5讲）

（1）动作电位波形分析：①上升相，幅度为70＋40＝110mV，首先是膜电位由-70mV的静息水平迅速减少至零，然后是膜电位的极性发生倒转，由内负外正变为内正外负，顶端达到+40mV，倒转的部分称为超射（0～+40）。②下降相，从顶端开始下降，最后恢复到静息膜电位水平。

其他动物的神经纤维、各种肌细胞的情况大致相同：静息膜电位：-50～100mV；动作膜电位：80～130mV；超射：30～50mV。

（2）动作电位的成因：概括地说，是在刺激的作用下，细胞膜保持的极化状态逐渐被消除，称为去极化。当膜电位降低到阈电位水平时，细胞膜的通透性突然改变，膜对Na^+的通透性突然增加大约500倍，大大超过了对K^+的通透性。Na^+由于浓度梯度的推动和膜内负离子的吸引而迅速内流，使膜内正电荷迅速增加，从而引起两侧电位由安静时的内负外正倒转为内正外负，也就是形成了动作电位上升支，即去极化时相。但膜对Na^+的通透性增加只是暂时的，当去极化达到顶点时，即Na^+内流形成的膜内正电位足以阻止Na^+不再流入，膜对Na^+的通透性回降，而对K^+的通透性增高，这时膜又几乎只对K^+有通透性，于是膜内的K^+由于高浓度和正电位的推动而迅速外流，使膜内外电位又回到原来的内负外正状态，形成动作电位的下降支，即复极化时相。由此可见，动作电位曲线的上升支，是膜外Na^+迅速内流的结果，但当Na^+内流所形成的膜内正电位的产生的电位梯度与推动Na^+内流的浓度梯度相平衡时，Na^+就停止继续流入，去极化达到顶点，这时膜两侧的电位差就是动作电位的高度。

3．动作电位的传播及特性

动作电位的特征之一就是它的可传导性，即细胞膜任何一处所产生的动作电位，可传播到整个细胞。其机制是：当膜某一点受刺激而产生动作电位时，该点的膜电位即倒转为外负内正，而邻接的未兴奋部位因仍处于静息状态，膜电位为外正内负，再由于细胞内液和细胞外液都是导电的，于是兴奋部位与未兴奋部位之间就产生局部电流。

这一局部电流构成了对未兴奋部位的刺激，使之产生兴奋，就像外加刺激在最初的受刺激部分引起兴奋一样。这个过程在膜上连续进行下去，表现为动作电位在不断向前传播，直至传遍整个细胞。在传播中，它的前部不断地向前传导，后部又不断复极化，使局部电流波及的长度保持不变。

动作电位传导的特性：

①生理完整性：要求神经纤维在结构上和机能上都是完整的。

②双向传导：如刺激作用于细胞的中段，由此而产生的动作电位可同时向两端传导。在完整反射弧中，兴奋单向传递。

③非递减性：在传导过程中，动作电位的幅度和传导的速度不因距离原兴奋点渐远而有所减小。

（三）骨骼肌的兴奋的条件

实验证明，任何刺激要引起组织兴奋，必须具备三个条件，即一定的强度、一定的持续时间以及一定的强度时间变化率。用直流电刺激组织，只有在通电和断电的瞬间引起组织兴奋，而在继续通电的过程中，由于刺激强度无变化，所以不能引起组织兴奋。如果迅速增加电刺激的强度，强度还很小时组织就会兴奋，假如缓慢增加电刺激的强度，必须强度较大时，组织才出现兴奋。这三个条件的参数不是固定不变的，并可相互影响，如果其中一个或两个的值变化了，其余的值也会发生相应的改变（详见第5讲）。

（四）肌肉组织发生兴奋后兴奋性的变化

1．兴奋性变化分期

①绝对不应期：紧接在兴奋之后首先出现一个非常短暂的时期，在此期中无论测试刺激的强度多大，都不能引起第二次兴奋，故认为兴奋性由正常水平（100%）暂时降落到0。

②相对不应期：高于阈刺激可引起兴奋。

③超常期：低于阈刺激可引起兴奋。

④低常期：兴奋性低于正常。

这一系列变化发生在不到0.1s的时间内，不同组织以上各期时间不同。

2．绝对不应期的意义

①使每个兴奋过程都不能融合；②兴奋产生和传导是脉冲式的；③决定组织发生兴奋和最高频率。如哺乳动物神经的绝对不应期一般为1ms，因此它每秒最多只能发放或传导1000次冲动。

不同组织此期长短不一，不同类型的神经纤维，此期也不同。

（五）肌纤维类型及生理特点

1．肌纤维的类型：快肌纤维和慢肌纤维

快肌纤维：直径较慢肌纤维大，含有较多的收缩蛋白；肌浆网较慢肌纤维发达，由较大的运动神经元支配，神经纤维较粗，传导速度较快。

慢肌纤维：周围毛细血管较快肌纤维丰富，慢肌纤维含有较多的肌红蛋白；慢肌纤维含有较多的线粒体，而且线粒体体积较大；慢肌纤维由较小的运动神经元支配，神经纤维较细，传导速度较慢。

2．两种肌纤维特点的比较

（1）收缩速度：肌肉中快肌纤维收缩速度较快、慢肌纤维收缩速度较慢。

（2）收缩力量：肌肉收缩力大小取决于肌肉的横断面积，并受肌纤维类型等因素影响，快肌收缩力量大于慢肌。

（3）抗疲劳性：肌肉中快肌纤维抗疲劳能力弱，慢肌纤维抗疲劳能力强。原因：①慢肌纤维中的线粒体体积大，而且数目多，线粒体中有氧代谢酶活性高；②慢肌纤维中肌红蛋白含量较丰富；③慢肌毛细血管网较发达，有氧代谢潜力较大；④快肌含有丰富的糖酵解酶，无氧代谢能力高，产生乳酸，易疲劳。

二、兴奋在神经肌肉的传递

（一）神经肌肉接点的结构（图3-8-4）

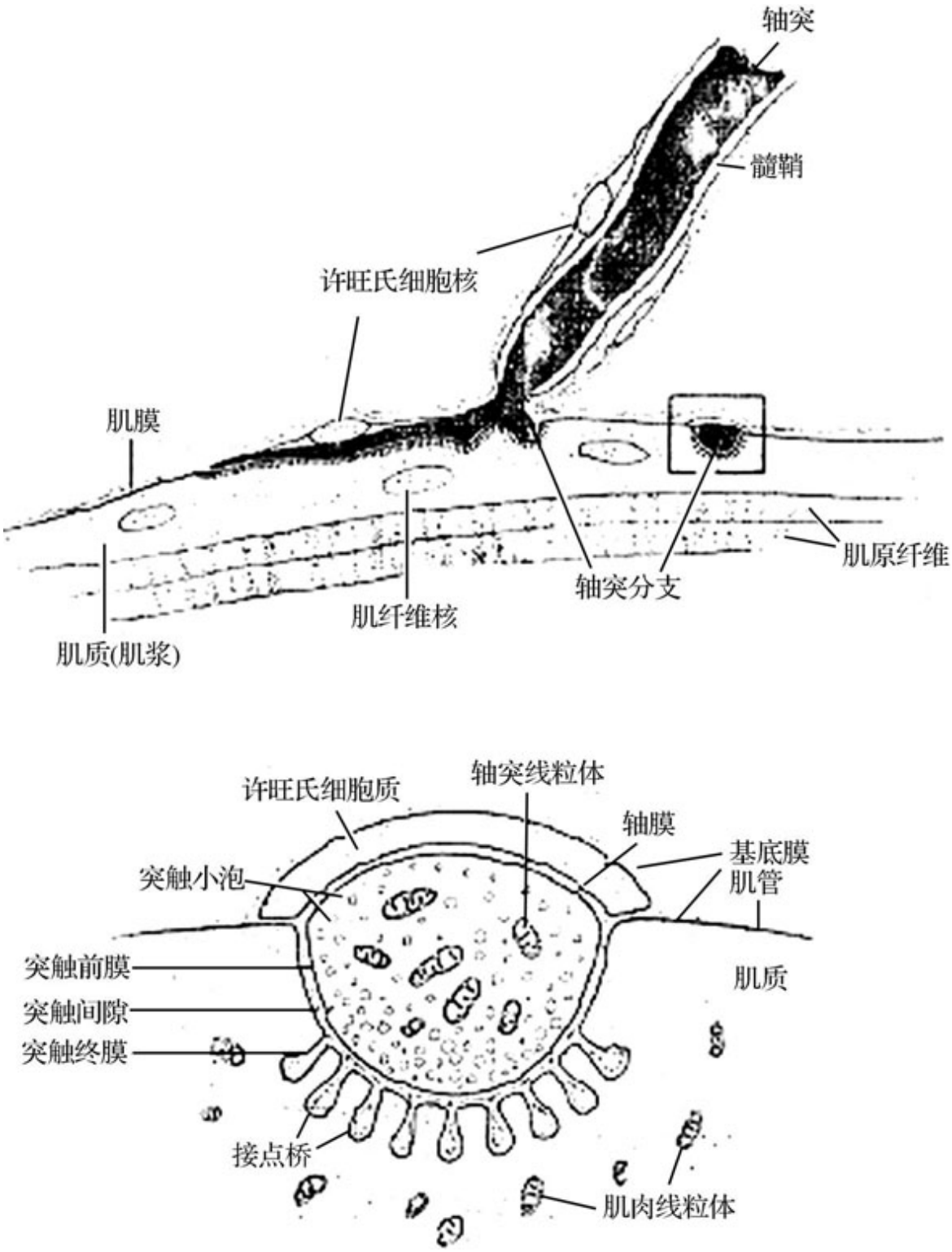


图3-8-4　神经肌肉接点的结构

接点前膜：是运动神经轴突小分支末梢的神经膜，内有很多含乙酰胆碱的小囊泡。

接点间隙：内有大量的胆碱酯酶。

接点后膜：肌纤维的终膜，此膜与普通的肌膜连续，但在结构和机能上不同，终膜比肌膜厚，而褶成许多凹陷的小皱襞，其上有乙酰胆碱的受体。

（二）兴奋传递的机制

1．神经肌肉接点的突触传递过程

（1）运动神经纤维末梢的去极化，改变神经膜的通透性，使Ca^{2+}进入末梢内，导致突触小泡向接点前面移动并融合然后破裂，放出Ach。Ach经过突触间隙扩散到后膜，与后膜Ach受体结合（R受体），形成Ach-R复合物。Ach-R使终膜去极化，产生终板电位（EPP）。当EPP达到一定的阈限时，作用于肌膜并使其发放可传播的动作电位。肌膜动作电位通过兴奋—收缩耦联，引起肌纤维的收缩。

（2）由于接点间隙中及终膜上有大量胆碱酯酶，在它的作用下，每次冲动中轴突末梢所释放的Ach，能在2ms内全部水解成乙酸和胆碱而失去作用，而不至于持续作用于终膜而使肌细胞持续兴奋，从而使神经肌肉的传递，在正常情况下，保持1对1的关系，即运动神经传来一次冲动，轴突末梢释放一定量的Ach，肌纤维产生一次收缩。

2．神经肌肉接点兴奋传递特点

（1）化学传递：Ach把电信号转变为化学信号；（2）单向性传递：只能从运动神经末梢传向肌纤维，不能逆传；（3）时间延搁：在此比在同一细胞中慢（0.5～1.0ms）；（4）易受化学和其他环境因素的影响。

三、肌纤维的收缩过程

（一）肌丝滑行学说

1．肌丝滑行理论：肌肉的缩短或伸长是由于肌小节中粗丝和细丝的相互滑行，肌丝本身结构和长度不变。当肌肉缩短时，由Z线发出的细丝沿着粗丝向暗带中央滑动，结果相邻的各Z线都相互靠近，肌小节长度变短，从而出现了整个肌肉缩短的情况。

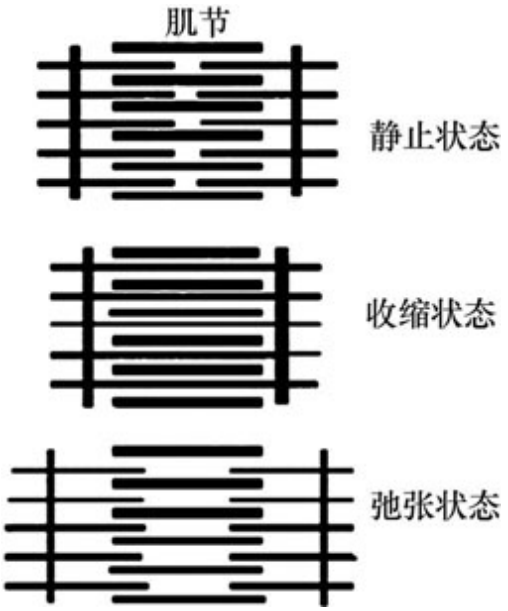


图3-8-5　肌原纤维横纹肌模式图及不同收缩状态肌微丝滑动简化图解

2．此理论的证据是（如图3-8-5）：①肌肉缩短后，A带不变，I带明显缩短，由于肌节两端的细丝在肌节中相接触，H消失。②当肌肉拉长时，细肌丝沿粗丝向暗带外侧滑动，故明带和H带均加宽。

（二）肌纤维收缩耦联的分子机制

肌肉收缩的全过程包括三个相互衔接的主要环节：①细胞膜的电位变化，触发肌肉收缩这一机械变化，即兴奋—收缩耦联。②横桥运动引起肌丝的滑行。③收缩的肌肉舒张。

1．兴奋—收缩耦联

肌肉的收缩是由肌膜的动作电位触发的，这个过程称为兴奋—收缩耦联，它包括如下两个主要步骤：

（1）动作电位沿横管系统传向肌细胞深部，横管系统的膜是肌膜的直接延续。因此动作电位不仅沿肌膜传布，同时，也沿横管系统传布至细胞内部，深入到三联管和肌小节近旁。

（2）三联管兴奋引起终池释放Ca^{2+}，触发肌肉收缩。

与横小管共同形成三联体的终末池，是Ca^{2+}的贮存库，肌肉安静时肌细胞内的Ca^{2+}约有90%以上贮存在终末池内。当沿横小管传布的动作电位传至三联管区域时，这种电变化通过尚不清楚的某种方式影响终末池，使终末池上的钙通道突然大量开放，于是Ca^{2+}顺着浓度差迅速从终末池释放到肌浆中。使肌浆中的Ca^{2+}浓度从安静时低于$10^{-7}mol\cdot L^{-1}$突然上升到10^{-5} $mol\cdot L^{-1}$水平，即升高达100倍。这些增加的Ca^{2+}从肌浆扩散到附近的肌原纤维，并与肌钙蛋白迅速结合。

2．横桥运动引起肌丝的滑行

（1）当肌浆中增高的Ca^{2+}与肌钙蛋白结合，原肌球蛋白从肌动蛋白的螺旋沟的沟沿滑到沟底，露出肌动蛋白丝上的位点，含有ATP的横桥与此位点结合，形成肌动蛋白、肌球蛋白ATP复合体。与此同时，横桥中的肌球蛋白ATP酶受肌动蛋白激活，使横桥中的ATP迅速水解成ADP＋Pi，放出能量，引起横桥头部向粗丝的中心方向摆动，牵拉细丝向肌节中央滑行（图3-8-6）。

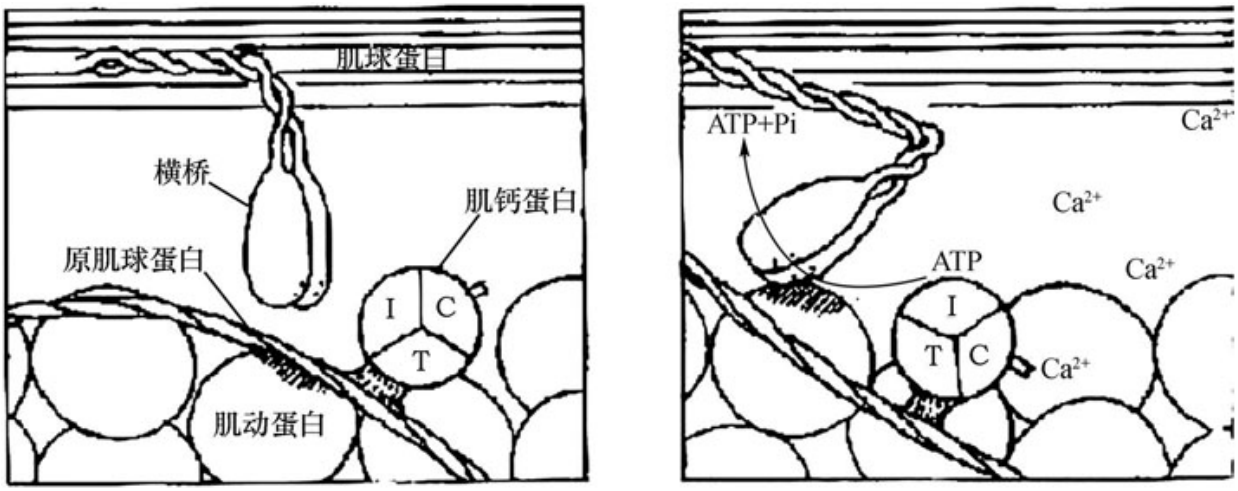


图3-8-6　横桥运动引起肌丝的滑行

（2）横桥头部的摆动，暴露出它上面的ATP结合点，新的ATP立即与之结合，横桥头部与肌动蛋白分离，横桥中ATP通过内源性分解放能，使横桥从倾斜位回到正常位。如果ATP缺乏，无新的ATP与之结合，横桥就不能与肌动蛋白分离而出现“僵硬状态”。

当横桥恢复正常位时，头端又与肌动蛋白的下一个位点相结合，于是又发生一次新的摆动，牵动细丝进一步向粗丝中央滑行。在肌浆中Ca^{2+}浓度未下降之前，横桥就是这样周期性的与肌动蛋白结合、摆动、分离，将细丝逐步拖向粗丝中央，肌肉缩短。

3．肌肉的舒张

当运动神经传来的刺激停止，Ca^{2+}的释放也立即停止，肌浆网膜上的钙泵迅速地将Ca^{2+}泵回肌浆网的纵向管，再扩散至终池，肌浆中的Ca^{2+}浓度下降，Ca^{2+}与肌钙蛋白分离。肌钙蛋白的构型恢复原状，原肌球蛋白又重将肌动蛋白上的位点掩盖，使横桥与肌动蛋白分离，粗丝和细丝回到它们原来的状态，肌肉舒张。如果Ca^{2+}主动运输被抑制，即Ca^{2+}不能收回入肌浆网，即刺激停止以后，肌肉也不能舒张，

而出现持续性的收缩，称为挛缩。钙泵将Ca^{2+}主动泵回肌浆网所消耗的能量是由ATP分解提供的，因此，肌肉收缩和舒张都需要消耗ATP。

四、肌肉的收缩形式

（一）负荷

生理学上把肌肉收缩时遇到的负荷分为：①后负荷：肌肉开始收缩后才遇到的负荷；②前负荷：肌肉在收缩前就有的负荷。

实验发现，后负荷越大，肌肉中产生的张力愈大，缩短的速度愈小。如果把某一肌肉在不同负荷时所产生的张力和收缩速度绘成坐标曲线，就是张力速度曲线。肌肉产生的张力和收缩速度呈反比。

（二）骨骼肌的收缩形式

根据肌肉收缩时长度和张力变化特点，肌肉收缩可分为三种基本形式：

1．缩短收缩

当肌肉收缩时所产生的张力大于外加阻力（负荷）时，肌肉缩短，牵拉它附着的骨杠杆做向心运动，这种收缩即为缩短收缩。缩短收缩是人体得以实现各种加速度的基础，如屈肘、高抬腿、挥臂等。缩短收缩时，肌肉消耗了大量的能量用以完成外功。缩短收缩又可根据收缩时负荷和速度的变化区分为等张收缩和等动收缩。

（1）等张收缩

等张收缩时，其负荷即外加阻力在整个收缩过程中是恒定的，因而当张力发展到足以克服外加阻力后，其张力在收缩全过程中就不再变化，但肌肉在收缩过程中，不同关节角度收缩力量大小不同，收缩速度也就有所不同。

如：当肘关节屈曲举起一恒定负荷时，肱二头肌在屈肘时所能产生的张力，随关节角度的变化而改变，以115～120°时最大，而在关节角度为30°时最小。由于肌肉举起一物体所需的张力，必须稍大于被举起的物体，因此，肱二头肌在整个屈肘范围内所能举起的最大重量，必然不会大于其张力最弱点即在关节为30°时所能举起的重量。也就是说，在最大等张收缩时，只有在它的张力最弱点处，肌肉才能达到最大收缩能力，而在关节其余部分，即小于此值。

（2）等动收缩

等动收缩是在整个关节运动范围内，以恒定速度进行的最大收缩。它也是运动中常见的收缩形式，如自由泳中的手臂划水动作。等动收缩在关节整个的范围内都产生最大张力，而等张收缩不能，这是

由于其负荷（外加阻力）能随关节运动的进程而精确地调整。在关节角度的张力最弱点负荷最轻，在关节角度张力最强点负荷最重。

在日常训练中，等动收缩的实现需要专门的器械。

2．拉长收缩

当肌肉收缩时产生的张力小于外力时，此时，肌肉虽积极地收缩，但仍然被拉长了，这种收缩即拉长收缩。拉长收缩在实现人体运动中，起着制动、减速和克服重力等作用。拉长收缩时，肌肉做负功。

如：在跑步中，当屈髋肌群用力收缩而使大腿快速抬高到一定限度时，伸髋肌群即积极收缩以制止其过分上抬。但由于伸髋肌群的张力小于屈髋的力量，此时，它虽积极收缩但仍然被拉长了。这不仅制止了大腿的过分抬高，同时也为伸髋肌群在后继的伸髋动作中发挥更大的力量创造了前提条件。又如，当人从高处跳下时，足一接触地面，就反射性地引起股四头肌和臀大肌产生拉长收缩，克服重力的作用使下肢保持屈曲状态，以减缓和制止身体的下落，避免跌倒和损伤。

3．等长收缩

当肌肉的两端被固定或负有不能拉起的重量的情况，肌肉虽积极收缩，但长度并不变化，只能产生张力，这种收缩叫等长收缩。

【例题解析】

例1　有关于神经元与肌肉收缩，下列叙述何者错误（　　）（多选题）

A．每个运动神经元仅与一个肌纤维相连

B．动作电位传到轴突末梢可促使钙离子通道打开

C．突触小泡释出乙酰胆碱可促使肌纤维产生动作电位

D．反复刺激将使神经末梢持续释出乙酰胆碱

E．神经冲动和肌纤维收缩皆遵守全有全无律

解析A．一个运动神经元可支配多条肌纤维；D．神经反复受到刺激→神经末梢释出的乙酰胆碱逐渐减少→肌肉收缩强度愈来愈弱（肌肉疲劳）。

答案　AD

例2　肌肉收缩时会出现下列哪一现象（　　）

A．暗带消失

B．肌小节缩短

C．肌动蛋白缩短

D．肌凝蛋白缩短

解析A．暗带不变；C．肌动蛋白滑动，但并未缩短；D．肌凝蛋白并未缩短。

答案　B

例3　肌肉兴奋—收缩耦联的关键物质是（　　）

A．Ca^{2+}

B．乙酰胆碱

C．Na^{+}

D．神经递质

解析　当肌细胞兴奋以后，动作电位传到三联体，引起肌质网的终池释放Ca^{2+}到肌浆中，从而引发粗细肌丝相互作用产生穿插滑行活动，所以Ca^{2+}是肌肉兴奋和收缩的中间耦联因子。

答案　A

例4　将肌细胞的电位变化和肌肉内的收缩过程耦联起来的关键部位是（　　）

A．横管系统

B．纵管系统

C．纵管终池

D．三联体

解析　横管系统的作用是将肌细胞膜上的动作电位传入细胞每部。纵管系统的作用是积累、储存和释放Ca^{2+}，从而引发肌小节的收缩和舒张。三联体的作用是将肌肉兴奋的电活动转换为机械收缩的关键部位。

答案　D

例5　肌肉收缩的初长度取决于（　　）

A．被动张力

B．前负荷

C．后负荷

D．单收缩

解析　前负荷是肌肉收缩以前作用于肌肉上的负荷，它可以改变肌肉的初长度。

答案　B

例6　在肌肉强直收缩过程中，动作电位（　　）

A．不发生重叠或总和

B．幅度变小

C．幅度变大

D．频度变低

解析　作为兴奋标志的动作电位的图形永远是单个、分离的，永远不会发生总和。动作电位的幅度也是不会改变的。在强直收缩期间，肌肉动作电位的频率是可能变化的，但是不一定是频率变低。

答案　A

例7　形成消化道平滑肌动作电位去极化的离子基础是（　　）

A．Na^+内流

B．Ca^{2+}内流

C．主要是Na^+内流，也有Ca^{2+}内流

D．主要是Ca^{2+}内流，也有Na^+内流

解析　平滑肌静息时产生慢波电位，当平滑肌兴奋时，细胞膜对钙离子的通透性突然增加，钙离子内流，产生动作电位超射，其中也有钠离子内流，但量很少。

答案D

例8　兴奋—收缩耦联的步骤有（　　）（多选题）

A．兴奋通过横管传向细胞深处

B．终池释放Ca^{2+}

C．Ca^{2+}触发肌丝滑行

D．肌质网收回Ca^{2+}

E．收缩蛋白结构变化

解析　收缩蛋白的结构变化属于肌肉的收缩过程，不属于兴奋—收缩耦联的步骤。

答案　ABCD

【针对训练】

（一）单选题

1．下列关于终板电位的特点的叙述，哪一项是错误的（　　）

A．无不应期

B．可以总和

C．由Ca^{2+}内流形成

D．没有“全或无”现象。

2．下列关于终板电位的叙述哪一项是错误的（　　）

A．负电位

B．以电紧张方式扩布，不能远距离传导

C．无“全或无”性质

D．可进行空间总和，但不进行时间总和

3．当神经末梢处于静息状态时是否释放递质（　　）
A．不释放递质
B．经常间断地、随机释放少数突触小泡的递质
C．少数突触小泡按顺序释放递质
D．每秒钟约有200个突触小泡释放。
4．下列关于小终板电位的叙述中，哪一项是正确的（　　）
A．由单个乙酰胆碱分子所引起
B．电位幅度小，但恒定
C．产生的速率是恒定的
D．一个或几个突触小泡释放所引起
5．小终板电位是哪种电位（　　）
A．去极化电位，且为负电位
B．去极化电位，且为正电位
C．超级化电位
D．失去极化，后超级化
6．下列小终板电位的特征哪一项是错误的（　　）
A．仅局限于终板膜
B．不能总和
C．电位幅度不恒定，但最小的微终板电位幅度是恒定的
D．频率变异大
7．引起乙酰胆碱量子性释放的关键因素是什么（　　）
A．神经末梢去极化引起的Ca^{2+}内流
B．终板膜上胆碱酯酶对乙酰胆碱的分解
C．突触前膜内胆碱乙酰化酶促进乙酰胆碱的合成
D．Na^{+}内流引起神经末梢去极化
8．乙酰胆碱是怎样使突触后膜去极化的（　　）
A．带正电的乙酰胆碱分子进入突触后膜
B．引起突触后膜对Na^{+}通透性增加
C．引起突触后膜对K^{+}通透性增加
D．引起突触后膜对各种小离子（正离子）通透性增加
9．肌丝滑行学说的直接根据是肌肉收缩时的什么变化（　　）
A．肌小节的长度缩短
B．明带和暗带缩短
C．暗带长度不变，明带和H带缩短
D．暗带长度不变，明带和H带不变

10．肌肉安静时，阻碍横桥与肌动蛋白结合的成分是什么（　　）

A．肌球蛋白

B．原肌球蛋白

C．肌动蛋白

D．肌钙蛋白

11．下列关于横桥活动的叙述中哪一项是错误的（　　）

A．横桥摆动使细肌丝向暗带中央移动

B．横桥活动的能量来源于ATP

C．横桥与细肌丝分离必须先有ATP附着于横桥位点上

D．横桥在粗肌丝表面的分布是随机的

12．下列关于骨骼肌肌管系统的叙述中，哪一项是错误的（　　）

A．由来源和机能都不相同的两组独立的管道系统组成

B．横管的走行方向与肌原纤维垂直

C．横管结构与肌细胞膜的结构有本质的区别

D．纵管的走行方向与肌原纤维平行

13．终池（侧囊）是什么（　　）

A．横管末端膨大部分

B．纵管接近肌小节两端横管的膨大部分

C．横管和纵管两者的膨大部分融合而成

D．是独立的结构，与横管和纵管无关

14．横管的作用是什么（　　）

A．将细胞内的兴奋传导到细胞外

B．将细胞膜的兴奋传导到细胞深部

C．贮存Ca^{2+}

D．释放Ca^{2+}的通道

15．肌质网和终池的主要作用是什么（　　）

A．将细胞外的兴奋传导到细胞内

B．将细胞内的兴奋传导到细胞外

C．联结两个肌小节

D．贮存、释放和再聚积Ca^{2+}触发肌小节的收缩与舒张

16．三联体的主要作用是什么（　　）

A．包围并固定肌原纤维

B．包围并固定肌小节

C．将细胞外的物质运输到细胞内

D．将兴奋与收缩耦联起来的关键部位

17．肌细胞的三联管结构是指什么（　　）

A．每个纵管及其两侧的肌小节

B．每个纵管及其两侧的横管

C．每个横管及其两侧的肌小节

D．每个横管及其两侧的终池

18．所谓兴奋—收缩耦联，是指什么过程（　　）

A．神经的兴奋与肌丝滑行之间的过程

B．肌细胞膜兴奋与肌丝滑行之间的过程

C．Ca^{2+}从终池释放与肌丝滑行之间的过程

D．肌细胞膜的兴奋与Ca^{2+}从终池释放之间的过程

19．在极大的后负荷情况下，肌肉出现什么形式的收缩（　　）

A．等张收缩

B．等长收缩

C．等张收缩和等长收缩

D．既不缩短，也不产生张力

20．肌肉克服后负荷，开始出现缩短后，即表现为什么形式的收缩（　　）

A．等张收缩

B．等长收缩

C．等张收缩和等长收缩

D．既不缩短，也不产生张力

21．在体骨骼肌的收缩一般属于什么形式的收缩（　　）

A．等张收缩

B．等长收缩

C．等张收缩和等长收缩

D．既不缩短，也不产生张力

22．决定肌肉初长度的因素是什么（　　）

A．前负荷

B．后负荷

C．前负荷＋后负荷

D．前负荷－后负荷

23．后负荷越小，肌肉收缩时会出现什么情况（　　）

A．开始出现收缩的时间越迟

B．收缩后达到的张力越大

C．作的机械功越大

D．缩短的程度越大

24．在观察后负荷肌肉收缩的影响时，前负荷应选择哪个数值（　　）

A．固定于一个数值不变

B．使其为零

C．加到最大值

D．调整到与后负荷相适应

25．若要出现完全强直收缩第二次收缩应开始于前一次收缩的什么时期（　　）

A．潜伏期

B．收缩期结束前或结束时

C．舒张期开始后

D．舒张期结束时

26．连续阈上刺激的时距大于单收缩时程时，肌肉出现什么情况（　　）

A．一次单收缩

B．一串单收缩

C．不完全强直收缩

D．完全强直收缩

27．连续阈上刺激的时距短于单收缩的收缩期时，肌肉出现什么情况（　　）

A．一次单收缩

B．一串单收缩

C．不完全强直收缩

D．完全强直收缩

28．连续阈上刺激的时距大于单收缩的收缩期，而短于单收缩时程时，肌肉出现什么情况（　　）

A．一次单收缩

B．一串单收缩

C．不完全强直收缩

D．完全强直收缩

29．平滑肌兴奋时，Ca^{2+}主要来源于何处（　　）

A．细胞外液和肌质网

B．细胞外液

C．肌质网

D．钙调蛋白

30．兴奋在神经肌肉接点处的传递特点是什么（　　）

A．无时间延搁

B．双向传递

C．化学传递

D．不易受环境因素的影响

31．神经末梢兴奋引起囊泡释放递质时，其主要媒介作用并直接导致递质释放的是（　　）

A．神经末梢Na^+的内流

B．神经末梢K^+的内流

C．神经末梢Cl^-的内流

D．神经末梢的Na^+-K^+交换

E．神经末梢Ca^{2+}的内流

32．在兴奋收缩耦联过程中起主要媒介作用的离子是（　　）

A．Na^+

B．Cl^-

C．K^+

D．Ca^{2+}

E．Mg^{2+}

33．骨骼肌细胞兴奋收缩耦联过程中，胞质中的Ca^{2+}来自于（　　）

A．横管膜上电压门控Ca^{2+}通道开放引起的外Ca^{2+}内流

B．细胞膜上NMDA受体通道开放引起的外Ca^{2+}内流

C．肌质网上Ca^{2+}通道开放引起的释放

D．网上Ca^{2+}泵的主动转运

E．粒体内Ca^{2+}的释放

34．有机磷中毒时，可使（　　）

A．乙酰胆碱与其受体亲和力增高

B．胆碱酯酶活性降低

C．乙酰胆碱释放量增加

D．乙酰胆碱水解加速

E．乙酰胆碱受体功能障碍

35．重症肌无力患者的骨骼肌对运动神经动作电位的反应降低是由于（　　）

A．递质含量减少

B．递质释放量减少

C．胆碱酯酶活性增高
D．乙酰胆碱水解加速
E．乙酰胆碱受体功能障碍
36．下列物质中，能阻断终板膜上胆碱能受体的物质是（　　）
A．河豚毒
B．阿托品
C．美洲箭毒
D．心得安
E．四乙胺
37．骨骼肌细胞膜中横管的主要作用是（　　）
A．Ca^{2+}进出肌细胞的通道
B．将动作电位引向肌细胞处
C．乙酰胆碱进出细胞的通道
D．Ca^{2+}的储存库
E．产生终板电位
38．微终板电位是（　　）
A．神经末梢连续兴奋引起
B．神经末梢一次兴奋引起
C．数百个突触小泡释放的Ach引起
D．个别突触小泡释放引起的Ach引起的
E．个别Ach分子引起的
39．在神经—肌接头处，消除乙酰胆碱的酶是（　　）
A．ATP酶
B．胆碱酯酶
C．腺苷酸环化酶
D．Na^{+}-K^{+}依赖式ATP酶
E．单胺氧化酶
40．肌丝滑行学说的直接根据是，肌肉收缩时（　　）
A．暗带长度不变，明带和H带缩短
B．暗带长度不变，明带缩短，而H带不变
C．暗带长度缩短，明带和H带不变
D．明带和暗带长度均缩短
E．明带和暗带长度均不变
41．骨骼肌发生等张收缩时，下列哪一项的长度不变（　　）
A．明带
B．暗带

C．H带
D．肌小节
E．肌原纤维
42．牵拉一条舒张状态的骨骼肌纤维，使之伸长，此时其（　　）
A．H带长度不变
B．暗带长度不变
C．明带长度增加
D．不完全强直收缩
E．完全强直收缩
43．生理状态下，整体内骨骼肌的收缩形式几乎属于（　　）
A．单收缩
B．单纯的等长收缩
C．单纯的等张收缩
D．不完全强直收缩
E．完全强直收缩
44．使骨骼肌产生完全收缩的刺激条件是（　　）
A．足够强度的单刺激
B．足够强度和持续时间的单刺激
C．足够强度和时间变化率的单刺激
D．间隔小于单收缩收缩期的连续阈刺激
E．间隔大于单收缩收缩期的连续阈刺激
45．回收骨骼肌胞质中Ca^{2+}的Ca^{2+}泵主要分布在（　　）
A．肌膜
B．肌质网膜
C．横管膜
D．溶酶体膜
E．线粒体膜
（二）多选题
46．下列不属于局部兴奋特点的是（　　）
A．呈递减性传导
B．呈电紧张性扩布
C．具有“全或无”现象
D．无不应期
E．可以总和
47．兴奋在神经纤维上的传导特点包括（　　）

A．双向性
B．不衰减性
C．电紧张性扩布
D．相对不疲劳性
E．具有时间延搁
48．以“载体”为中介的易化扩散的特点是（　　）
A．具有高度的结构特异性
B．有电压依赖性
C．有饱和现象
D．有竞争性抑制现象
E．需要消耗能量
49．单个神经纤维或肌肉细胞的动作电位的特征（　　）
A．具有“全或无”现象
B．呈不衰减性传导
C．互不融合
D．无不应期
E．可以总和
50．在神经—肌肉接头处，兴奋的传递特点包括（　　）
A．单向传点
B．有时间延搁
C．需要化学递质参与
D．相对不疲劳性
E．易受环境变化或化学药物的影响
51．前负荷不变时，后负荷对肌肉的影响是（　　）
A．影响肌肉的初长度
B．影响肌肉的张力
C．影响肌肉的缩短速度及开始缩短的时间
D．影响肌肉缩短的幅度
E．影响肌肉做功
52．终板电位的特点是（　　）
A．无“全或无”现象
B．呈电紧张性扩布
C．有不应期
D．可以总和
53．有关横桥的生理特性，正确的是（　　）
A．可与肌浆中的Ca^{2+}可逆性结合

B．可与肌纤蛋白可逆性结合
C．具有ATP酶的活性
D．使原肌凝蛋白分子构型发生改变
E．可与肌钙蛋白发生不可逆结合
54．下列可以使骨骼肌收缩幅度增加的因素是（　　）
A．刺激强度增大
B．后负荷增大
C．刺激频率加快
D．最适前负荷
E．肌肉收缩能力增强
55．兴奋由神经向骨骼肌传递时发生（　　）
A．神经末梢去极化
B．递质与骨骼肌终板膜受体结合
C．神经末梢释放去甲肾上腺素
D．产生可扩布的终板电位
E．递质呈量子式释放
56．控制神经细胞膜上通道开关的主要因素有（　　）
A．温度
B．pH值
C．某些化学物质
D．电压
E．渗透压

【参考答案】

（一）单选题

1．C　2．D　3．B　4．D　5．A　6．B　7．A　8．D　9．C　10．B　11．D　12．C　13．B　14．B　15．D　16．D　17．D　18．B　19．B　20．A　21．C　22．A　23．D　24．A　25．B　26．B　27．D　28．C　29．A　30．C　31．E　32．D　33．C　34．B　35．D　36．C　37．B　38．D　39．B　40．A　41．B　42．C　43．E　44．D　45．B　46．AC

（二）多选题

47．ABD　48．ACD　49．ABC　50．ABCE　51．BCDE　52．ABD　53．BC　54．ACDE　55．ABE　56．CD

第9讲　生物与环境

（诸暨中学　李志军）

【知识梳理】

一、基本概念

（一）生态因子

生态因子是指环境中对生物的存活、生长、发育、行为、生殖和分布有着直接影响或间接影响的环境要素，如温度、湿度、食物、氧气、二氧化碳和其他相关生物等。生态因子中生物生存不可缺少的环境条件称为生物的生存条件。

生态因子可以分为非生物因子和生物因子。非生物因子包括气候因子（如温度、湿度、光、降水、风、气压和雷电等）、土壤因子（如土壤结构、土壤有机和无机成分的理化性质以及土壤生物等）、地形因子（如地面的起伏，山脉的坡度和阴阳坡等）。生物因子包括生物之间的各种关系（如竞争、捕食、寄生和互利共生等）和人为因子（人类活动对自然界和其他生物的直接或间接影响）。

（二）限制因子

限制因子是对生物正常生存和成功繁殖有限制作用的关键性因子。任何一个环境因子只要接近或超过生物的耐受范围，就会成为这种生物的限制因子。限制因子可以是一个，也可以是2个或多个。例如，在培养一种细菌时，如果别的条件不变，提高培养液中蛋白质含量，细菌就长得快，否则就长得慢，在这里蛋白质的量就是一个限制因子。如果蛋白质和其他条件不变，把温度从20℃提高到25℃，细菌繁殖加快，那么温度也是一个限制因子。

生物与环境的关系往往是复杂的，但是在一定条件下对一定生物物种而言，并非所有的因子都具有同样的重要性。对限制因子的研究一般分为几个步骤：首先通过野外观察和分析，筛选出起显著作用的因子；其次分析这些因子对生物起作用的机制；最后通过设计室内实验研究这些因子与生物的定量关系。

（三）利比希最小因子定律

1840年德国化学家利比希（Liebig）分析了土壤与植物生长的关系，认为每一种植物都需要一定种类和一定数量的营养元素，并阐明在植物生长所必需的元素中，供给量最少（与需要量比相差最大）的元素决定着植物的产量。他指出：“植物的生长取决于处于最小量的营养物质的量。如果这种营养物质数量极微，植物的生长就会受到不

良影响。”比如，谷物产量往往不受水和CO_2含量的限制，而是受一些需要很少的因素如硼、锰等的限制。

奥德姆对利比希定律作了两点补充：①这一定律只适用于稳定状态，即能量和物质的输入和输出处于平稳的情况下才适用；②要考虑环境因子之间的相互作用。同一环境因子，由于伴随的其他因子不同，对生物所起的作用也不同。

（四）谢尔福德（Shelford）耐性定律

1913年，美国生态学家谢尔福德在最小因子定律的基础上提出了耐受性定律，他认为生物不仅受生态因子最低量的限制，而且也受生态因子最高量的限制。生物对每一种生态因子都有其耐受的上限和下限，上下限之间就是生物对这种生态因子的耐受范围，其中包括最适生存区。

（五）生态幅

谢尔福德耐性定律中的耐受范围就叫做生态幅。一般说来，在生态幅的中间为最适区，它的两端为两个生理受抑区，再向外延伸，超出生态幅，则为不能耐受区（图3-9-1）。生物的生态幅不是固定的，会因发育时期、季节、环境条件的不同而改变。

生物可以通过内稳态调整耐受限度。内稳态是通过生理过程或行为的调整而实现的，恒温动物通过控制体内产热调节体温，变温动物靠减少散热或利用环境热源使身体增温。如沙漠蜥蜴，早晨温度较低时候，使身体侧面迎向太阳，并紧贴在温暖的岩石上使体温升高；中午，抬头面对太阳减少辐射，前脚趾离地抬高身体，让空气在周围流通以散热。

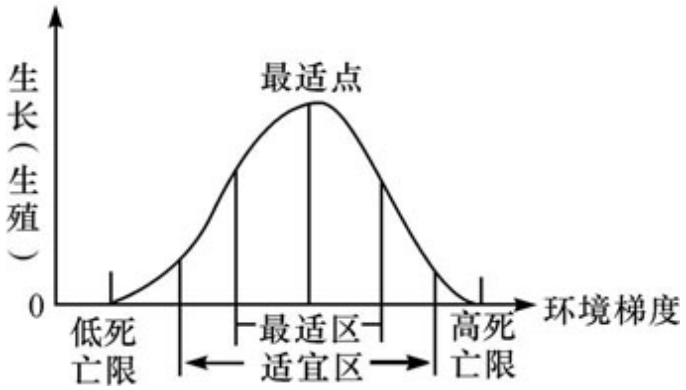


图3-9-1　生物对生态因子的耐受曲线

人为的驯化过程可以稍稍调整生物对某个生态因子或某些生态因子的耐受范围。如果一种生物长期生活在它的最适生存范围偏一侧的环境条件下，久而久之就会导致该种生物耐受曲线的位置移动，并可

产生一个新的最适生存范围，而适宜范围的上下限也会发生移动。这一驯化过程涉及酶系统的改变，因为酶只能在环境条件的一定范围内最有效地发挥作用，正是这一点决定着生物原来的耐受限度，所以驯化也可以理解为是生物体内决定代谢速率的酶系统的适应性改变。

二、非生物因子

（一）光

太阳辐射是地球生物生存和生殖的能量来源，其光质、光强以及光照周期性变化都对生物生长发育和地理分布有着深刻影响。

1．光质

光是由波长范围很广的电磁波组成的，主要波长范围是150～4000nm，其中可见光为380～760nm，小于380nm的为紫外光，大于760nm的为红外光。波长越长，增热效率越大，所以地表热量基本就是由红外光能所产生的。

植物的叶绿素主要吸收红光和蓝紫光，所以在可见光谱中，波长为620～760nm的红光和波长为435～490nm的蓝光对光合作用最为重要，这部分辐射称为生理有效辐射，绿光很少被吸收，称为生理无效辐射。红光有利于糖的合成，蓝光有利于蛋白质合成。红光促进种子萌发，远红光可以逆转红光的作用，蓝光抑制茎的生长。

不同波长的光穿透海水的能力不同，红光能量弱，仅在几米深处就会被完全吸收，紫光和蓝光能量强，但是光具有波粒二相性，易被反射，也不能潜入很深海水。所以海洋中的藻类表现出垂直分布的现象，在浅海中分布有绿藻，深处依次分布着褐藻、红藻，而大约200m以下，就很少有藻类植物的分布了。高山植物在紫外线作用下，茎的伸长生长受到抑制，往往具有莲座状叶丛，花青素含量较高。高山强烈的紫外线辐射不利于植物克服高山障碍进行分布，因此紫外线是决定很多植物分布的一种因素。

变温动物依靠“晒太阳”升高体温，主要是依靠日光中红外光的作用。波长在300～200nm之间的紫外光有强烈的杀菌作用，有破坏核酸与蛋白质结构的能力，因而有导致基因突变的作用。哺乳动物中，只有灵长类具有发达的色觉。高山动物体色较暗也是因为短波光较多的原因。

2．光照强度

光照强度在赤道地区最大，随纬度的增加而逐渐减弱。光照强度还随海拔高度的增加而增强。在北半球的温带地区，山的南坡所接受的光照比平地多，而平地所接受的光照又比北坡多。

光照强度对植物的生长发育和形态构成有重要作用。光促进组织和器官的分化，制约着器官的生长发育速度，使植物各器官和组织保持发育上的正常比例。黄化现象是植物对黑暗环境的特殊适应，植物叶肉细胞中的叶绿体必须在一定的光强条件下才能形成。

绿色植物的光合作用深受光照强度的影响。在一定范围内，光合作用效率与光强成正比，但光强达到一定程度，光合作用效率不再提高，反而下降，这一点称为光饱和点。另外，植物在进行光合作用的同时也进行着呼吸作用，当影响植物光合作用和呼吸作用的其他环境因子保持恒定的时候，生产和呼吸之间的平衡由光强决定。光合作用率和呼吸作用率相等时就是光补偿点，在此处的光照强度是植物开始生长和进行净生产所需要的最小光强强度。

阴地植物的光饱和点要比阳地植物低得多，同样光补偿点也比阳地植物低得多。C_4植物的光饱和点比C_3植物高，甚至在自然光照下不发生光饱和现象，这是由于C_4植物叶维管束鞘具有花环状结构和固定二氧化碳的效率高，有利于光合作用的光产物的运输，而光呼吸受到强烈抑制。C_4植物光合作用的产物和生长速度都超过C_3植物。

一般说来，植物个体对光能的利用效率远不如群体高，夏季当阳光最强时，单株植物很难利用这些光能，但在植物群体中对反射、散射和透射光的利用要充分得多，这是因为在群体中当上部的叶片已经达到饱和点时，群体内部和下部的叶片还远没有达到光饱和状态，有的甚至还在光补偿点以下，所以植物群体的光合作用是随着光照的不断增强而提高的，尽管有些叶片可能已超过了光饱和点。

对植物群体的总光能利用率产生的主要因素是光合面积、光合时间和光合能力。光合面积主要指叶面积，通常用叶面积指数来表示，即植物叶面积总和与植株所覆盖的土地面积的比值。光合时间是指植物全年进行光合作用的时间。光合能力是指大气中二氧化碳含量正常和其他因子处于最适状态时植物最大净光合作用效率，光合能力是以每天每平方米叶面积所生产的有机物干重来计算的。

光照强度对动物行为和生长发育也都有很大的影响。在自然条件下动物每天开始活动的时间常常是由光照强度决定的，当光照强度上升到一定水平（昼行性动物）或下降到一定水平（夜行性动物）时，它们才开始一天的活动，因此这些动物将随着每天日出日落时间的季节性变化而改变其开始活动的时间。在动物的个体发育过程中，贻贝等深海动物暗光下生长较快，蛙卵有光发育快而正常，平常生活在有光条件的昆虫，其幼虫在无光情况下发育迟缓，平常生活在无光条件

的昆虫，其幼虫在有光情况下发育迟缓。蚜虫在连续有光和连续无光的情况下，产生的多为无翅个体，在光暗交替情况下，则产生较多有翅个体。光强不同，动物体色也不同，如鱼背色暗，腹白色而浅，而生活于深海的甲壳类则体色为红色。同样，夜行性动物的眼睛要比昼行性动物的眼睛大，说明光照还影响动物的视觉和视觉器官。

3．光照周期

由于地球自转和公转所造成的太阳高度角的变化，使太阳能的输入具有昼夜和季节的周期性变化（图3-9-2），从而使地球上的自然现象都具有周期性。

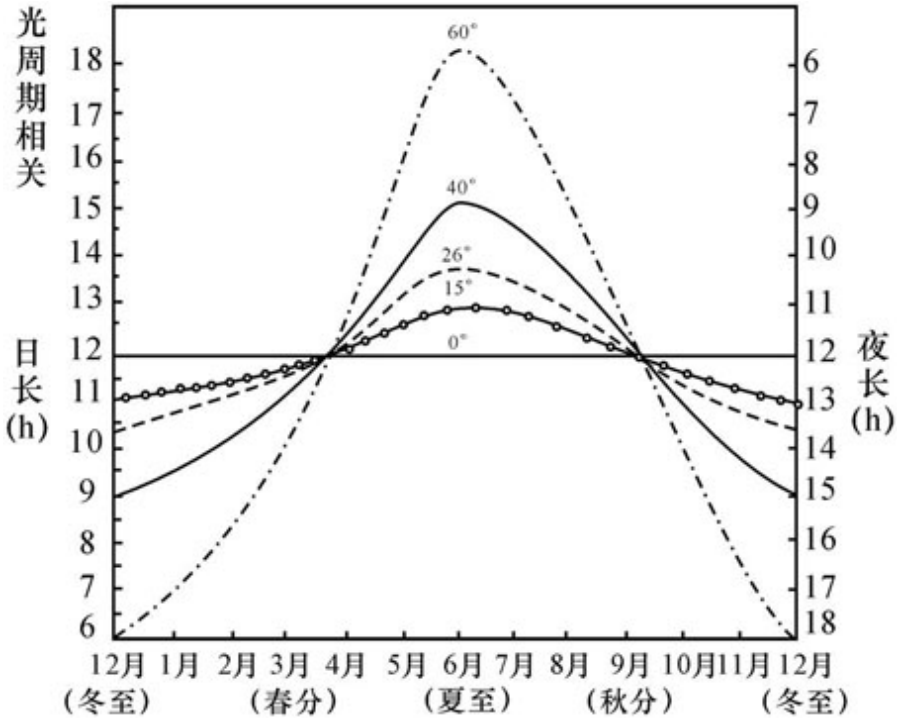


图3-9-2　北半球的日照变化图

（1）植物的光周期

根据开花对日照时间长短的要求，可将植物分为几类：长日照植物通常在日照超过一定时间才开花，否则只进行营养生长，不能形成花芽，如小麦、油菜、菠菜、萝卜；短日照植物通常在日照短于一定时间才开花，否则只生长不开花，如水稻、大豆、玉米、菊花；中间型植物（日中性植物）则在其他条件合适时，可在任何日照条件下开花，如四季豆、蒲公英、番茄、黄瓜。中日性植物只有在某一中等长度日照条件下才能开花，在较长和较短日照下均保持营养生长状态，如甘蔗要求11.5～12.5h日照。长短日植物的花诱导要求长日照，花形

成要求短日照，如大叶落地生根、芦荟、夜香树。短长日植物的花诱导要求短日照，花形成要求长日照，如风铃草、瓦松、白三叶草。

短日照植物在我国是在秋冬季节开花，此时我国北方和南方都具备短日条件，但北方地区日照时间比南方地区相对较短。因为植物必须积累一定的日照量才能开花，而在相同的生长期内，短日照植物在北方所受的光照量要少于南方，移植到北方的植物为了积累相同的日照量，就必须延长生长期，所以推迟开花或不开花。因此，要保证结实，一般引早熟品种为好。如南方大豆在北京种植时，从播种到开花时间长，枝叶很繁茂，但由于开花期太晚，天气冷了，果实结得不多，产量不高。一些麻类（如黄麻等）也是短日植物，人们主要取其茎秆上的纤维，南麻北种，由于开花推迟，生长期延长，可以增加植株高度，提高纤维产量。

长日照植物在我国是在春夏季节开花，此时我国北方和南方都具备长日条件，但北方地区日照时间比南方地区相对较长，南种北引在较短的时间内就能获得足够的光照量，所以提前开花。又因为在这种情况下，结实前的生长期过短，营养积累少，植株很小就开花了，所以产量也不高，出现“花”而不实，未老先衰的现象。为了提高作物的产量，应引种晚熟品种为好。北种南引刚好相反。

总之，短日照植物（大豆）南下开花早，北上开花迟；长日照植物（小麦）南下开花迟，北上开花早。为了不要早得太多，应引晚熟种为好；为了不要迟得太多，应引早熟种为好。

（2）动物的光周期

在动物中，鸟类的光周期现象最为明显。很多鸟类的迁徙都是由日照长短变化所引起的。鸟类在不同年份迁徙离开某地和到达某地的时间相差无几，严格的迁飞节律，与日照节律有明显的关系。鸟类生殖腺的年周期和发育是与日照长度的周期变化完全吻合的，在鸟类生殖期间人为改变光周期可以控制鸟类的产卵量。

（二）温度

生物的所有生理生化过程都依赖于一系列酶的参与，而每种酶的活性都有其最低温度、最适温度和最高温度，相应形成了生物生长的“三基点”。不同生物的“三基点”是不一样的，通常生长在高纬度地区的生物低温阈值偏低，生长在低纬度的高温阈值偏高。

1．有效积温法则

法国学者Reaumur（1935）从变温动物的生长发育过程中总结出有效积温法则：每种昆虫在生长发育过程中，须从外界摄取一定的热量才能完成其某一阶段的发育，而且昆虫各个发育阶段所需要的总热

量是一个常数，其公式为：K＝N（T－T_0）。其中：K是该生物所需的有效积温，是常数；T是当地该时期的平均温度；T_0是该生物生长活动所需最低临界温度；N是天数。有效积温的意义在于可以有效地指导农业生产，并且可以根据当地平均气温以及某害虫的有效总积温进行预测预报，以防治病虫害。

2．植物对极端温度的适应

冷害是指喜温生物在零度以上的温度条件下受害或死亡。冻害是指冰点以下的低温使生物体内（细胞内或细胞间隙）形成冰晶而造成的损害。冰晶的形成会使原生质膜发生破裂和使蛋白质失活或变性。

对于低温，在形态方面：北极和高山植物的芽和叶片常受到油脂类物质的保护，芽具鳞片，植物体表面生有蜡粉和密毛，植物矮小并常成匍匐状、垫状或莲座状等，这种形态有利于保持较高的温度，减轻严寒的影响。在生理方面：减少细胞中的水分和增加细胞中的糖类、脂肪和色素等物质来降低植物的冰点，增加抗寒能力。

对于高温，在形态方面：有些植物生有密绒毛和鳞片，能过滤一部分阳光；有些植物体呈白色、银白色，叶片革质发亮，能反射一大部分阳光，使植物体免受热伤害；有些植物叶片垂直排列使叶缘向光或在高温条件下叶片折叠，减少光的吸收面积；还有些植物的树干和根茎生有很厚的木栓层，具有绝热和保护作用。在生理方面：降低细胞含水量，增加糖或盐的浓度，这有利于减缓代谢速率和增加原生质的抗凝结力。其次是靠旺盛的蒸腾作用避免植物体因过热受害。还有一些植物具有反射红外线的能力，夏季反射的红外线比冬季多，这也是避免使植物体受到高温伤害的一种适应。

3．动物对极端温度的适应

动物在形态、生理和行为上表现出了很多明显的适应。很多啮齿类动物的体温就常随外界温度的变化，如季节差异、昼夜变化等而有所波动，甚至有些低等的哺乳动物在休眠时体温与变温动物相似。骆驼水分充足时，体温为36～37℃，而在较长时间缺水时，体温波动幅度较大，白天的最高体温可比晚上最低体温高7℃，这样上升的体温与环境温度之间的差变小，有利于减少蒸发；骆驼喝水时，水不仅能积存在整个机体内，而且红血球也充满了水分；骆驼背部的厚驼毛以及驼峰中的脂肪，都可起到隔热层的作用；骆驼出汗少，体温40℃以上时几乎不出汗，尿也很少，这些都有利于骆驼耐渴。

4．几个规律

（1）贝格曼规律：不论恒温还是变温动物，同一物种，寒冷气候条件下体型趋向于大，在温暖气候条件下体型趋向于小。因为个体大的动物，相对体表面积小，单位体重上的相对散热量小。（2）阿伦规律：恒温动物身体的突出部分（如四肢、外耳、尾巴等），在气候寒冷的地方有变短的趋向，这与寒冷条件下减少散热有关。（3）葛罗吉规律：恒温动物在温暖地区的个体黑色素增多，在干旱地区则红、黄、棕色增多，寒冷地区色素逐渐减退。（4）乔丹规律：鱼类的脊椎数目在低温水域中比温暖水域中多。可以理解为，低温使鱼类的生长和发育速度变慢，因而延长了性成熟时间，从而产生更大个体，脊椎数目也就较多。

（三）水

在生物体内水分通常是含量最多的化合物，可以说一切生命活动都离不开水。

1．植物和水

依据植物对水分的需求量和依赖程度，可把植物分为水生植物和陆生植物。水生植物由于对水环境的适应，其特点是体内有发达的通气系统，以保证各部分氧气的需要；叶片呈带状、丝状或极薄，有利于采光和吸收二氧化碳和无机盐；植物体具有较强的弹性和抗扭曲能力以适应水流。淡水植物具有自动调节渗透压的能力，而海水植物则是等渗的。水生植物又分为沉水植物、浮水植物和挺水植物三种。陆生植物可分为湿生、中生和旱生三种类型。湿生植物抗旱能力小，不能忍受长时间缺水；中生植物生长于水湿条件适中的环境，其形态结构及适应性介于湿生植物和旱生植物之间，是数量最多，分布最广的陆生植物；旱生植物能忍受较长时间干旱，主要分布于干热草原和荒漠地区。

2．动物和水

动物和植物一样必须保持体内的水分平衡。对水生动物来说，主要依赖水的渗透作用保持体内水分得失平衡。陆生动物体内的含水量一般比环境高，因此常因蒸发失水，而且排泄过程中也会损失一些水。失去的水分必须从食物、饮水和代谢水中得到补足，以保持体内水分的平衡。

淡水动物和海水动物都有一定的适应和调节机制（见动物生理），可以自动适应和调节自身渗透性，以保持内环境稳定。陆生动物也是通过多种途径来保持体内水分平衡。在形态结构、行为以及生理上都有保持水分平衡的适应机制。如昆虫的几丁质外壳，蜗牛和螺

的外壳、两栖动物体表分泌的黏液、爬行动物具有的厚角质层等都是为了防止水分过分蒸发，保持体内水分平衡的形态结构。

湿度对于生物的生长发育及生殖力也有一定影响。低湿可以抑制新陈代谢，高湿可以加速发育（有一定限度）。仓库害虫必须在谷粒含水量达13%以上才能大量繁殖。啮齿类动物，如食物中含水量减少，生长受到阻碍。

（四）化学因子

对于陆生生物，化学因子主要是指大气成分。空气中过高的二氧化碳含量对于陆生动物有抑制生长发育的作用，甚至引起昏迷及死亡。如粮食保管中用自然气调法（让昆虫呼吸作用来消耗氧及产生过多的二氧化碳）来抑制害虫的发生。氧是除厌氧生物之外一切生物呼吸作用所必需的，氧对脂肪、糖及蛋白质的氧化作用是动物获得能量的主要来源。水生生物从水中摄取氧，动物在无氧时将窒息而死。氮是生物体的主要成分，但是大气中的分子氮（N_2）除固氮菌可以利用外，对于大多数生物没有直接的用处。

随着工业化的进程，大气中的污染物对于生物的影响越来越大。二氧化硫（SO_2）对植物的影响为：伤害阈值为（0.25～0.55）$\times10^{-6}$，2～8h，典型症状——叶片脉间呈不规则的点状、条状或块状坏死区。氟化氢（HF）对植物的影响为：伤害阈值＞40×10^{-6}，典型症状——叶尖和叶缘坏死。臭氧（O_3）对植物的影响为：伤害阈值（0.05～0.15）$\times10^{-6}$，0.5～8h；典型症状——叶面上出现密集的细小斑点。乙烯对植物的影响：伤害阈值（10～100）$\times10^{-6}$，典型症状——“偏上生长”致使叶片、花、果脱落。

常用植物来检测大气的污染程度，这类植物叫指示植物。作为指示植物的基本条件有：能够综合反映大气污染对生态系统影响的强度；能够较早地发现污染（对大气污染敏感）；能够同时检测多种大气污染物；能够反映出一个地区的污染历史（基本年轮的化学分析）。常见（用）的指示植物：地衣最敏感，$0.015\sim0.105\times10^{-6}$二氧化硫下无法生存（但反应慢）。

对于水生生物，化学因素主要是指水的盐分与酸碱度。在水生环境中，盐分是最重要的。按照盐类与生物的关系，可把水生生物分为两类：变渗压的、恒渗压的。前者体液的浓度随周围水中盐分的改变而改变，如很多海产的无脊椎动物等。后者又可分为高渗与低渗两类。淡水生物多数为高渗类，而咸水的种类多为低渗类。这些动物对于渗透压的保持，主要是依靠水分的调节，其次是靠盐分的调节，也

有少数依靠体表外膜的不渗透性，使与周围水体隔离（少数水生昆虫）。草履虫和淡水的硬鱼就是依靠第一种机制，将多余的水分排出，维持一定的渗透压。海产硬鱼则依靠第二种机制，它吸取海水，把水分与盐分一同摄入，但是它保留水分，把多余的盐分排出，以维持一定的渗透压。两栖类及昆虫不能在海水中生存，主要就是由于缺少这种机制。

水的酸碱度对水生生物有重要影响。深海海水的酸碱度pH约为8。大面积的淡水域酸碱度也较稳定，pH在6～9之间。雨水由于溶解了空气中的CO_2，所以是偏酸性的，pH约在5～6。沼泽地中由于腐殖质多而呈酸性。大多水生生物喜中性或微碱性的水生环境，所以酸性的沼泽地中除一些嗜酸的植物、动物（如有壳变形虫类、某些小鞭毛虫等）外，很少有其他生物。

海洋和湖泊等水域有较强的调节pH的能力，这是由于水域存在着H_2CO_3和碳酸盐的缓冲系统。酸碱度的改变对生物的生长生殖和活动都能产生影响。例如，绿草履虫，在酸性的培养液中（pH6.0～6.3），体长可达120μm，在碱性培养中（pH7.6～8.0），体长只有86μm。海胆在pH6.2的水中不能受精，pH低于4.6时死亡。

（五）土壤因子

土壤中除空气和水外，固体物质包括无机的矿物质和有机的腐殖质两大部分。

土壤是比较稳定的环境，它的温度、湿度、酸碱度等除了表层以外都是很少变化的，所以是生物很好的栖息场所，对于羞光动物更是一个理想的庇护所。但是土壤在一定情况下，也有可能发生温度、湿度等的巨大变化。土温太高（超过42℃）时，土栖的地蚕及其他节肢动物就会死亡，土壤温度季节性的改变，使某些土栖昆虫及蚯蚓等发生垂直性的迁移，冬季表层温度低时，向下迁移，夏季温度升高，向上迁移。土壤湿度也可引起类似的改变，湿度过高时，金针（叩头虫幼虫）等即向上迁移，水分过多时甚至可引起死亡，这就是利用灌溉杀虫的原理。土壤过分干燥时也可引起某些动物的死亡。

三、生物因子

环境中的生物因子包括种内关系和种间关系两个方面。

（一）种内关系

种内关系是同种个体之间的关系，包括种内斗争和种内互助。

1．种内斗争

种内斗争是同种生物个体间因对资源或其他因素的需要而引发的斗争，它是种群数量调节的一个重要因素。

动物种群和植物种群内个体间的相互关系，其表现有很大的区别。动物具活动能力，个体间的相容或不相容关系主要表现在领域性、等级制、集群和分散等行为上。池塘中蝌蚪过多时，蝌蚪的肠道中分泌出的有毒物质积累到一定浓度，从而抑制蝌蚪的生长和发育；如果池塘中除了鲈鱼以外没有其他鱼类，那么鲈鱼就会以本种的幼鱼为食。种内斗争对于失败的个体来说是有害的，甚至会引起死亡，但对于种的生存是有利的，它可以使同种内生存下来的个体得到比较充分的生活条件，或使出生的后代更优良一些。一些营个体生活或家庭生活的动物，当食物不足时，它们会迁移。迁移使动物能够充分利用适合于它们生活的区域，而且种群混杂，促进杂交，能消除长期近亲繁殖所带来的危害，也能消除地区性繁殖过剩的现象。

植物除了有集群生长的特征外，更主要的是存在个体间的密度效应，反映在个体产量和死亡率上。植物的密度效应，已发现有两个特殊的规律：（1）最后产量衡值法则：Donald按不同播种密度种植车轴草，并不断观察其产量，结果发现，虽然第62天后的产量与密度呈正相关，但到最后的181天，产量与密度变成无关，即在很大播种密度范围内，其最终产量相等。“最后产量衡值”法则的原因是不难理解的：在高密度（或者说，植株间距小、彼此靠近）情况下，植株彼此之间竞争光、水、营养物激烈，在有限的资源中，植株的生长率降低，个体变小（包括其中构件数少）。（2）－3/2自疏法则：如果播种密度进一步提高和高密度播种下植株的继续生长，种内对资源的竞争不仅影响到植株生长发育的速度，而且进而影响到植株的存活率。在高密度的样方中，有些植株死亡了，于是种群开始出现“自疏现象”。以每平方的植株数作为横坐标，每株均重作为纵坐标，做出来的自疏线斜率为－3/2，所以叫做“－3/2自疏法则”。如果密度很低，或者在人工稀疏的种群，自疏现象可能不出现。“最终产量衡值法则”和“－3/2自疏法则”都是经验的法则。在许多种植物进行的密度试验中，证实了－3/2自疏现象。对“－3/2自疏法则”，尚未有圆满的解释。

2．种内互助

动物通过种内互助能更有效地捕食、避敌，更好地适应环境。如企鹅群聚能改变群体的小气候，使温度提高，风速减小，有利于个体存活。斑马群聚有利于防御，狮的群聚有利于共同猎食。

利他行为是另一种社会性相互作用。利他行为是指一个个体牺牲自我而使社群整体或其他个体获得利益的行为。利他行为的例子很多，尤其是社会昆虫。白蚁的巢穴如被打开，工蚁和幼虫都向内移动，兵蚁则向外移动以围堵缺口，表现了“勇敢”的保卫群体的利他行为。工蜂在保卫蜂巢时放出毒刺，这实际上是一种“自杀行动”。亲代关怀也是一种利他行为，亲代为此要消耗时间和能量，但能提高后代存活率。一些鸟类当捕食者接近其鸟巢和幼鸟时佯装受伤，以吸引捕食者追击自己而引开鸟巢，然后自己再逃脱。不少啮齿类在天敌逼近时发出特有鸣叫声或以双足敲地，向周围的个体发出报警信号，而发信号者反更易引起捕食者的注意。利他行为是怎样在进化中产生的？利他行为与群体选择有密切联系。经典的自然选择理论的基础是个体选择，适者生存，不适者被淘汰。按照此理论，对于个体不利的利他行为应被自然选择所淘汰，那么应如何对利他行为的产生进行解释呢？多数学者认为利他行为的产生是群体选择的结果。群体选择学说认为种群和社群都是进化单位，作用于社群之间的群体选择可以使那些对个体不利（降低适应度）但对社群或物种整体（增加适应度）有利的特性在进化中保存下来。换言之，选择是在种群内各种亚群体间进行，通过群体选择保存了那些使群体适应度增加的那些特征。利他行为可以在下列三个群体水平间产生：（1）如果个体的利他行为对其直系亲属有利，则属于家庭选择。（2）如果个体利他行为对于近亲家族有利，则属于亲属选择。（3）如果个体利他行为对于全群有利，则属于群体选择。

（二）种间关系

种间关系指不同物种之间的关系。它比种内关系更为复杂，从理论上讲，任何物种对其他物种的影响只可能有三种形式，即有利、有害或无利无害的中间态，分别用＋、－、○表示。见表3-9-1。

表3-9-1　种间关系

相互作用类型	物种 1	物种 2	相互作用的一般特征
中性作用	○	○	两物种彼此不受影响
竞争:直接干扰型	−	−	一种群直接抑制另一个种群
竞争:资源利用型	−	−	资源缺乏时的间接抑制
偏害作用	−	○	种群 1 受抑制,种群 2 无影响
寄生作用	+	−	种群 1 寄生者,通常较宿主 2 的个体小
捕食作用	+	−	种群 1 捕食者,通常较猎物 2 的个体大
偏利作用	+	○	种群 1 偏利者,而宿主 2 无影响
原始合作	+	+	相互作用对两种都有利,但不是必然的
互利共生	+	+	相互作用对两种都必然有利

1．捕食

捕食是一种生物摄取另一种生物个体（猎物）的全部或部分。广义的捕食包括四种类型：（1）典型的捕食是指食肉动物吃食草动物或其他食肉动物。（2）食草动物吃绿色植物，这种情况下植物往往未被杀死而受损害。（3）昆虫中的拟寄生者，例如寄生蜂，它们与真寄生虫者（如血吸虫）的区别是总要杀死其宿主。（4）同类相食，也是捕食现象的一种特例，只不过是捕食者与被食者是同一特种而已。

在捕食者—猎物复杂关系中，自然选择对捕食者在于提高发现、捕获和取食猎物的效率，而对猎物在于提高逃避、不被捕食的效率。显然这两种选择是对立的。因此，在两者关系进化中，猎物趋于中断这种关系，捕食者则维持这种关系。假如某些捕食者在捕杀被食者中有更好的捕杀能力，那么它就在以后世代更易得到后裔。因此，自然选择有利于更有效的捕食。但是，当捕食过分，捕食者就可能把被食者消灭，然后捕食者因饥饿而死亡。因此，在进化过程中，捕食者不能对被食者过捕。这就是斯洛博金所谓的精明捕食者的根据。在多种捕食者捕食多种被食者的系统中，一种被食者可能通过隐藏来躲避捕食，另一种可能以快速飞跑来逃脱捕食，而捕食者也就难以在进化中同时获得这两种互相矛盾的捕食能力。对于被食者来说，自然选择有利于逃避捕食，但多种捕食者各具不同的捕食策略，因此被食者也难以获得适合于逃脱所有捕食者的行为和本能。两者在长期的自然选择过程中，在形态、生理和行为上产生了一系列的适应性。植物以两种主要方式来保护自己免遭捕食：（1）毒性与差的味道；（2）防御结

构，在植物王国已发现大量的多种化学武器来保卫植物免遭捕食者和寄生者的进攻。这些次生化合物或直接有毒，或可降低植物的食物价值，如降低动物肠道对植物叶组织蛋白的吸收。防御结构在各种水平上都存在，从叶表面可陷住昆虫及其他无脊椎动物的微小绒毛，到可阻止哺乳类食草动物的大型针刺。经历过落叶的植物，其次生化合物水平及防御结构大小都会提高或“被诱导”。

捕食者不仅仅是动物，有些真菌也是捕食性的，如土壤中的指状节菌能捕食土壤或水中的线虫。当指状节菌接触到线虫时，菌线立刻膨胀，环绕在线虫体上，菌丝伸入线虫体内而将线虫消化吸收。另外一种德拉指菌以菌丝的球状末端附着到线虫体上，使线虫不得脱身，然后由菌丝分泌酶而消化吸收之。

捕食者和被捕食者通过捕食关系来调节彼此数量上的波动关系，捕食者数量上的高峰总是在被捕食者之后，一般相差1/4个周期。捕食者捕食被捕食者时，最易易被捕到的是体弱或有病的个体。在美国北部边界一个岛上，狼所捕杀的动物几乎一半患有肺部疾病，比种群中患病的比率（2%）高得多。所以捕食者虽然消灭了很多被捕食者，被捕食者却因淘汰了弱劣个体而提高了种群基因库的质量。

在放牧系统中，食草动物种群与植物种群的相互关系是复杂的，简单地认为食草动物的吃草活动必然使草场的生产力下降的看法是错误的，适当的放牧有利于草场净生产力的提高（图3-9-3）。

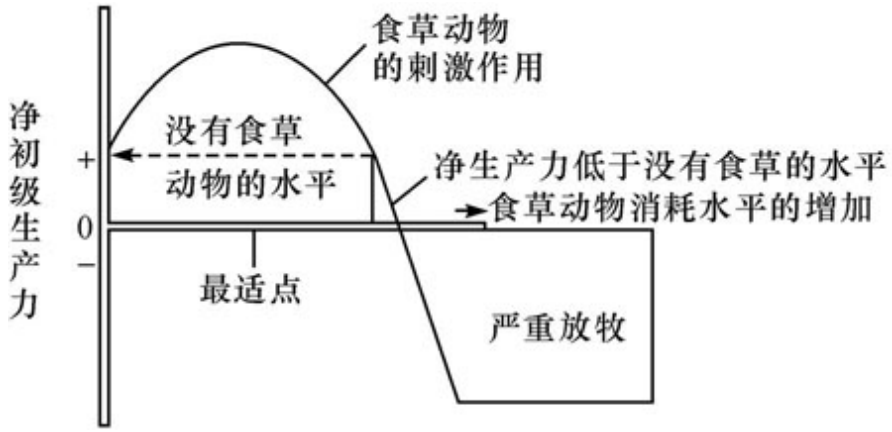


图3-9-3　食草动物消费植物生产者对于植物净生产量刺激作用模型

2．竞争

竞争是两种不同种的生物个体之间因争夺同一食物或同一栖息地等共同资源而发生的相互关系。从理论上讲，两种生物的需求越相近竞争越激烈。竞争的结果可能是一个物种获得生存发展，另一个被淘

汰；也可能导致两者的生态需求发生分化而长期共存。前一种情况在实验室里比较单纯的实验种群中是可以出现的。

竞争可以分为资源利用性竞争和相互干涉性竞争两类。在资源利用性竞争中，两种生物之间没有直接干涉，只有因资源总量减少而产生的对竞争对手的存活、生殖和生长的间接影响。大、小草履虫的竞争属于这类。相互干涉性竞争也很常见，如将两种仓谷害虫——拟谷盗和锯谷盗共同饲养于面粉中，由于拟谷盗吞食锯谷盗的卵和蛹，因而不久拟谷盗种群发展起来，而锯谷盗逐渐衰落。干扰也可通过竞争者利用毒物来进行，一种小茧蜂寄生在蚜虫上，其从卵中孵化后即产生毒物，杀死所有其他拟寄生卵。某些植物能分泌一些有害化学物质，阻止别种植物在其周围生长，称为他感作用，也属于相互干涉性竞争。

不对称性是竞争的一个共同特点。不对称性是指竞争对于各方影响的大小和后果不同，即竞争后果的不等性。例如，潮间带生活的藤壶与小藤壶的竞争。藤壶在其生长和增殖的过程中，常覆盖、压挤和窒息小藤壶，从而剥夺了小藤壶的生存；相反，小藤壶的生长对于藤壶的影响很小。但是藤壶对于缺水很敏感，干燥是限制藤壶在潮间带分布上限的主要因素。所以在潮间带上部经常受干燥缺水的地方，小藤壶能生活得很好。种间竞争的另一个共同特点是：对一种资源的竞争，能影响对另一种资源的竞争结果。以植物间竞争为例，冠层中占优势的植物，减少了竞争对手进行光合作用所需的阳光辐射。这种对阳光的竞争也影响植物根部吸收营养物质和水分的能力。这就是说，在植物的种间竞争中，根竞争与枝竞争之间有相互作用。为了区分根竞争和枝竞争的相对影响，有的学者设计了下列试验，如车轴草和粉苞苣的竞争（图3-9-4）：①单独生长；②冠分开，根间竞争；③根分开，冠间竞争；④根和冠同时竞争。竞争的结果是：根间竞争使粉苞苣的干重降为单独生长时的65%，枝间竞争降为47%，而根和冠竞争的联合影响是下降31.6%＝65%×47%。因此，在植物的种间竞争中，冠间竞争（竞争的资源主要是光）和根间竞争（营养物质和水）的影响都是重要的。

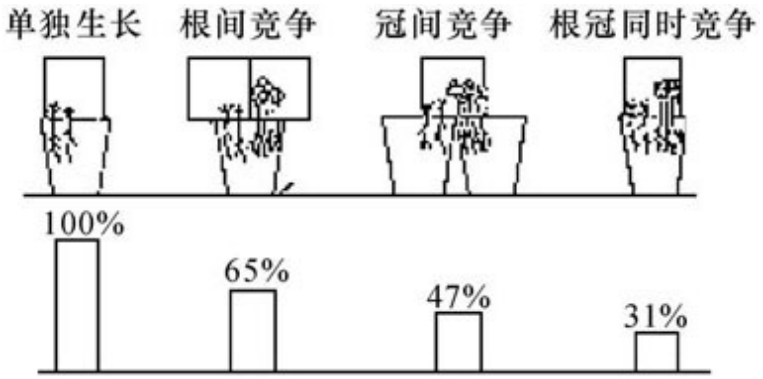


图3-9-4　车轴草和粉苞苣的根竞争和枝竞争

上图表示试验设计，下图表示粉苞苣与单独生长时干重的百分率

竞争释放：在缺乏竞争者时，物种会扩张其生态位。在以色列，两种沙鼠（Gerbillus allenbyi和Meriones tristrami）在一定范围内重叠。在重叠处，G.allebyi只发现在非沙性土中，而在只有G.allenbyi的地方它既占据沙性土也占据非沙性土。似乎在没有M. tristrami的情况下，G.allenbyi能够扩张其生态位。

性状替换：就是指两个亲缘关系密切的种类在异域性分布中，它们的特征往往很相似，甚至难以区别。但在同域性分布中，它们之间的区别就明显，彼此之间必须出现明显的生态分离。

3．寄生

两种生物生活在一起，一种生物以消耗另一种生物体内的有机物质为主，前者（寄生物）受益，后者（寄主）受损，这种现象叫寄生。

主要的寄生物有细菌、病毒、真菌和原生动物。在动物中，寄生蠕虫特别重要，而昆虫是植物的主要大寄生物。专性寄生必须以宿主为营养来源，兼性寄生也能营自由活动。脊椎动物被微寄生物感染后会产生强烈的免疫反应。行为对策对降低寄生水平也很重要。许多脊椎动物具备整理行为，有效地去除外寄生物。植物和低等动物在受到感染后也能提高免疫力，但没有脊椎动物那样复杂的特异性。例如，烟草植物的一片叶子被烟草花叶病毒感染后，会提高整个植物体的防御性化学物质水平，从而增加对多种病原体的抵抗力。食草作用也会引起类似反应。拟寄生是指寄生者进入主体内吸收营养并把寄主逐渐杀死的寄生现象。拟寄生不同于寄生，寄生时寄主不被杀死。例如，黑青小蜂产卵于越冬的棉红铃虫幼虫体内，蜂卵在虫体内以虫体物质为食，逐渐杀死棉红铃虫。

4．共栖

两种生物生活在一起，一种生物为另一种生物提供栖息的场所，对一个物种有益，对另一个物种无影响，这种现象就是共栖。这种现象在海洋生物中最多，如硅质海绵偕老同穴，又名天女之花篮，生于深海，底生、附着。幼年时2只小虾，即俪虾，一雌一雄，双双进入偕老同穴的水管腔中，以海绵水流中的浮游生物为食，逐渐长大，由于海绵水管腔的开口处长有筛样横板，因而再也不能走出，直至死亡，海绵也因此获得“偕老同穴”的美名，这种海绵与俪虾的关系就是共栖。再如僧帽水母是海洋漂浮的群体腔肠动物，以一种特化的水母体，即漂浮体，漂在海面上。水母体的底面有许多触手，上面有刺囊，可捕食各种小生物，但有一种小鱼，经常徘徊于漂浮体之下、触手之间，它们不受僧帽水母刺囊的攻击，反而以僧帽水母为“保护伞”，有时游出漂浮体之外，遇到紧急情况就又游回来。海参直肠中经常有小鱼栖息，有时从海参肛孔游出，但迅速游回，以免被其他大鱼吞食。这两种关系也是共栖关系。

5．原始合作

两种生物共同生活，互相有利，如分开时，各自都能生活，此种关系即合作关系。如寄居蟹体形以及附肢都有变化，适于隐藏于螺壳中。螺壳上有时附有一或两个海葵，寄居蟹可藏于其下，而不为敌害动物所发现，并且海葵触手上有刺细胞，可帮助寄居蟹驱赶敌害动物，另一方面寄居蟹行动迅速，可帮助海葵扩大捕食区域，寄居蟹捕食时，一些食物碎渣就可为海葵食用，它们的关系是合作的关系，但这种合作关系并不紧密，如果分开，则双方都能独立生活。蚂蚁和蚜虫的关系也属于合作。

6．互利共生

如果两种生物共同生活，互相有利，彼此都要依靠对方才能生活，分开后双方的生活都要受到很大影响，甚至不能生活而死亡，那么这两种生物之间的关系就是互利共生。如白蚁必须依靠鞭毛虫来消化纤维素，鞭毛虫必须生活在白蚁消化管内这样一个条件适宜、食物丰富的环境中，否则就要死去。新出生的白蚁总要从成长的白蚁的肛门附近舔食流出的液体，取得其中的鞭毛虫，否则虽食入木屑，也不能消化。此外，地衣是菌和藻的共生体；豆科植物和根瘤菌的关系也是互利共生。互利共生的例子很多，这里不再列举。

7．北学互助和拮抗

动植物之间可以通过化学物质而实现互助或拮抗关系，如一种生物产生的化学物质促进另一种生物的生长繁殖，称为化学互助。例如，生物在土壤中杂居共处时，有些生物产生一些物质，如生长素、

维生素等，对其他生物有促进生长的作用；土壤微生物使土壤活化，变成肥沃土壤，有利于其他植物的生长，也是一种化学互助作用。如果某种生物产生并释放某些物质，抑制另一些生物的生长繁殖，则称为化学对抗或拮抗。化学拮抗最突出的例子是抗生素。例如，青霉菌分泌青霉素，使周围细菌死亡。青霉菌是获益者，因为杀死了细菌就去除了食物竞争者，细菌则是受害者，所以又可称为偏害共栖。

四、生态因子作用的几个特点

1．综合性：每一个生态因子都是在与其他因子的相互影响、相互制约中起作用的，任何一个因子的变化都会在不同程度上引起其他因子的变化。例如光强度的变化必然会引起大气及土壤温度和湿度的改变，这就是生态因子的综合作用。

2．非等价性：对生物起作用的诸多因子是非等价的，其中必有1～2个起主要作用的主导因子。如光周期现象中的日照长度和植物春化阶段的低温因子就是主导因子。

3．不可替代性和互补性：生态因子虽非等价，但都不可缺少，一个因子的缺失不能由另一个因子来替代；但某一因子的数量不足，有时可以靠另一因子的加强而得到调剂和补偿。

4．限定性：生物在生长发育的不同阶段往往需要不同的生态因子或生态因子的不同强度，因此某一生态因子的有益作用常常只限于生物生长发育的某一特定阶段。

【例题解析】

例1　湖水表面的冰层对生活在湖泊中鱼类的影响包括（　　）

①缺氧不利于鱼生活　②降低水温下降的速度　③增加了水中的氨　④降低了水温

A．①

B．①＋②

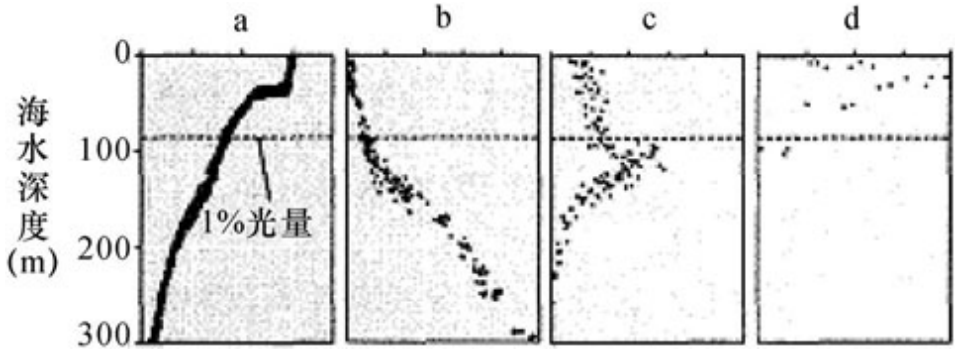
C．①＋②＋③

D．①＋③＋④

解析　水的一个重要特性是3.98℃时密度最大，所以结冰是从水面开始。当水温低于3.98℃时，越接近湖底温度越高，越接近冰面温度越低，有利于减少湖水热量的散失。结冰会导致空气中的氧气不能与湖水交换，水中易缺氧，所以可以破冰捕鱼。

答案　B

例2　下面的图表说明夏天北太平洋中的一些参数（叶绿素、磷酸盐、初级生产和温度）的垂直分布：



从左到右，字母a到字母d代表（　　）

A．温度、磷酸盐、叶绿素和初级生产

B．叶绿素、磷酸盐、温度和初级生产

C．初级生产、磷酸盐、温度和叶绿素

D．磷酸盐、温度、初级生产和叶绿素

解析　首先理解纵坐标表示海水深度，横坐标没有阐明，一般向右表示增大。大洋的表层水受到光照影响，温度较高，在表层水和深层水之间常有温跃层，厚度约几百米，在温跃层下面，水温低，变化小，1500m以下为恒定低温，a图符合。大洋中盐度基本稳定，但是夏天，表层磷酸盐会被大量利用，数量减少。大洋中很多地方，在距表面50～100m深的地方会形成一个被称为“叶绿素含量最大的深水层”。因为从表面海水向下沉降、并带去养分的浮游植物会遇到一个向上的养分流，从而在距海平面有一定深度、但仍有充足光线的地方供给新的生物生长，这些叶绿素含量很高的深水层在海洋每年的生产中以及在碳向海洋内部的流动中都扮演一个重要角色。溶解氧在表层最高，因为富有植物的光合作用；在500～1000m会出现氧最小值的水层，主要是生物呼吸消耗；再向下，含氧量会上升，因为此处的水是北极或南极富含氧表层冷水下沉而来，加上深水区生物呼吸减少。深海底部，氧含量又有所下降，主要是底栖动物的呼吸。初级生产需要光照，仅局限在水表层。

答案　A

例3　生态等值种具有相同的（　　）

A．栖息地

B．食物

C．环境

D．生态位

解析　生长型反映植物生活的环境条件，相似的环境条件具有相似的生长型。世界各大洲环境相似地区，由于趋同进化而具有相同生长型的植物，称为生态等值种。例如生活于非洲、北美、澳洲和亚洲的许多荒漠植物，都发展了叶子细小等特征，虽然它们可能属于不同的科。生态位是指物种在生物群落或生态系统中的地位和角色。生态等值种往往具有相同的生态位。

答案　D

例4　发生在自然种群中的利他行为（如狮群中的雌狮保护所有幼仔）是因为（　　）

A．有利于物种的延续

B．有利于家族的延续

C．有利于家族成员共有基因的传递

D．群体选择机制

解析　利他行为在动物界是普遍存在的，利他行为用个体选择的观点是很难解释的，因为利他行为对自身个体不利，只对其他个体有利。但是从亲缘选择的观点看，利他行为有利于与自身有亲缘关系的个体存活，从而把自己的基因也传递下去。值得注意的是，行为可以是利他的，但基因决不会利他，基因永远是自私的。在基因层次上利他行为必然被自然选择所淘汰，而自私行为必定被保存。A不对：因为利他行为主要是针对与自己占有共同基因的亲缘个体，而不是针对本物种的所有个体。B不对：因为利他行为虽然客观上有利于家族的延续，但其根本原因还是能保证家族成员共有基因的传递。D不对：因为动物群体可以由亲缘个体组成，也可由毫无亲缘关系的一些个体组成。

答案　C

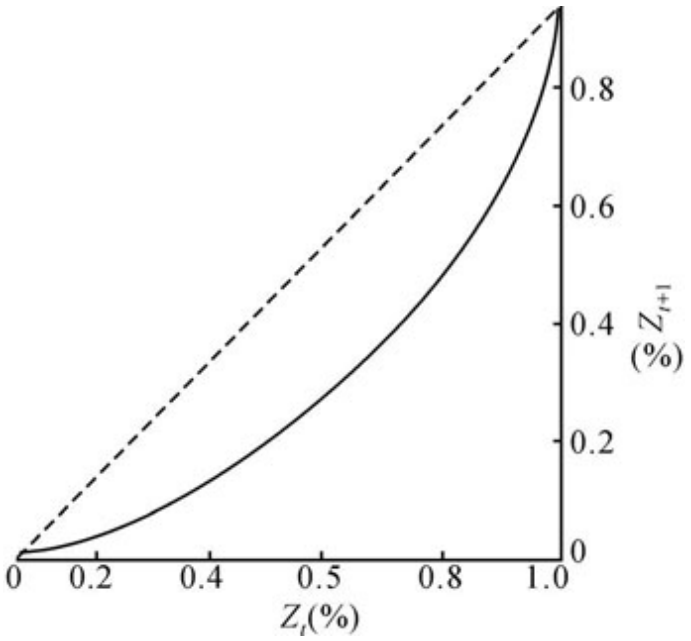
例5　在实验室中进行了两类细菌竞争食物的实验。在两类细菌的混合培养液中测定了第Ⅰ类细菌后一代（即Z_{t+1}）所占总数的百分数与前一代（即Z_t）所占百分数之间的关系。在下图中，实线表示观测到的Z_{t+1}和Z_t之间的关系，虚线表示$Z_{t+1}=Z_t$时的情况。从长远看，第Ⅰ类和第Ⅱ类细菌将会发生什么情况（　　）

A．第Ⅰ类细菌与第Ⅱ类细菌共存

B．两类细菌共同增长

C．第Ⅰ类细菌把第Ⅱ类细菌从混合培养液中排除掉

D．第Ⅱ类细菌把第Ⅰ类细菌从混合培养液中排除掉



解析　从上图看，第Ⅰ类细菌后一代在细菌总数中所占的比例总是比前一代少，长此下去，第Ⅰ类细菌所占的比例就会越来越少，直至从混合培养液中消失，即完全被第Ⅱ类细菌所排除。A不对：因为第Ⅰ类细菌越来越少，不可能与第Ⅱ类细菌实现长期共存。B不对：因为只有第Ⅱ类细菌在逐渐增长，而第Ⅰ类细菌的相对数量越来越少，直至消失。C不对：因为事实刚好相反。

答案　D

例6　拟态是一种进化的产物，当一个物种模拟另一个物种（主要物种）的特征（如明亮的色彩）时，通常主要物种是（　　）

A．与拟态种的亲缘关系很近（它们形成所谓的姐妹种）

B．比拟态种大的多的种类

C．有毒或不能吃的种类

D．无毒的，但是拟态种个体有毒

E．上述答案不止一个是正确的

解析　拟态是指一种生物在形态、行为等特征上模拟另一种生物，从而使一方或双方受益的生态适应现象。拟态包括三方：模仿者、被模仿者和受骗者。受骗者可为捕食者或猎物，甚或同种中的异性。拟态类型很多，基本类型有以下几种：（1）贝茨氏拟态：可食性物种模拟有毒、有刺或味道不佳的不可食物种的拟态现象，大多见于鳞翅目昆虫。强调模仿者自身无特殊“刺激性”，被模仿者（主要物种）有特殊“刺激性”。（2）米（缪）勒氏拟态：两种具有警戒色的不可食物种互相模拟的拟态现象。模拟者与被模拟者没有明显区别，

无所谓谁模拟谁的问题，所有参与者贡献相同，共同获益。如，几种均不能吃的蝴蝶，彼此之间外形相似。因鸟类必须通过亲身尝试才能得知某种昆虫不适口，几种均不适口的蝴蝶形色相似，这样便可减少因被尝试而牺牲部分个体的机会。（3）进攻性拟态：模仿其他生物以便于接近进攻对象的拟态。如鲛鳚鱼的背鳍棘形似蠕虫，用以引诱其他鱼类近身取食以便捕杀。（4）自家拟态：指同种生物间的模拟，如很多雄蜂无刺。（5）宿主拟态：主要见于鸟类。例如杜鹃产卵于其他种鸟的窝内，其卵色与宿主的卵相近，因而不被发觉，其雏孵出后为宿主抚养成熟。题干中主要物种有明亮的色彩，应该归入贝茨氏拟态，该拟态中拟者和被拟者的相似性仅限于可见的形态结构、色斑和行为等，不涉及解剖学特征，没有亲缘关系。

答案　C

例7　下列叙述中错误的是（　　）

A．植物的自疏现象是种内竞争

B．两个物种的竞争总是导致一个物种被排挤

C．植物对于捕食具有补偿性及防卫反应

D．寄生的植物可能不能光合作用

解析　对于种内关系，高中阶段强调分为种内互助和种内斗争，竞争是发生在种间，而大学教材不注重这种区别，所以植物的自疏现象可以叫做种内竞争。两个物种的竞争导致一个物种被排挤很少发生，双小核草履虫排斥大草履虫这样一些例子存在于试验条件下，容器中只有两者时才会发生。自然界生物多种多样，生态位完全重叠的生物几乎没有，且自然界有捕食等其他调节手段，不会因为竞争使一方灭亡。植物被动物啃食以后，具有各种补偿措施和防卫反应。如植物枝叶受损，自然落叶会减少。遭遇锯蜂危害的松树改变酚代谢，产生新的化学物质。寄生植物可以分为半寄生和全寄生。半寄生植物只是从寄主摄取无机盐类，自身可以光合作用，如槲寄生。全寄生植物从寄主那里得到全部营养，如菟丝子、大花草。

答案　B

【针对训练】

（一）单选题

1．下列何者不属于生态学研究的范围（　　）

A．生物种类与气候因子的关系

B．两种生物的相互关系

C．生物种类在世界的分布

D．一种生物的外部形态与内部构造

2．下列各项中不属于温度生态效应的是（　　）

A．北大西洋涛动（NAO）使挪威国鸟河乌的存活率上升，种群数量增加

B．北极狐的耳朵比非洲狐的小

C．温带森林中的啮齿类毛色较热带森林中的栖居者毛色浅

D．帝企鹅冬季繁殖时雄鸟集群孵卵

3．水生动物体液的渗透压高于环境时称为高渗压。关于鱼类水盐代谢和渗透压调节途径有①肾小球退化，排少量的尿；②肾小球发达，排大量的尿；③经常吞海水；④排低渗压的尿；⑤将尿素等代谢产物贮存于血液中提高渗透压。上述途径中鲨鱼所具有的是（　　）

A．①和③

B．②和④

C．⑤

D．①③和⑤

4．下面不属于内温动物对低温环境生理适应对策的是（　　）

A．阿伦规律

B．逆热流交换机制

C．产热

D．局部异温性

5．北美洲在过去的18000年中，云杉、白桦向北推移的原因是（　　）

A．潮湿气候的区域已经向南推移了

B．飓风发生的频率增加了

C．年平均温度升高了

D．年均降水量增加了

6．樱花钩吻鲑是台湾特有种，须生活于水温16℃以下，水质纯净之河流，现仅存于台湾七家湾溪上游，该处几乎看不到绿色藻类生长，下列哪个最可能是限制藻类生长的限制因子（　　）

A．光线

B．水流

C．磷元素

D．pH

7．蘑菇（真菌）与光的关系是（　　）

A．它们的生长在任何情况下都需要光

B．它们的生长不需要光，但许多类型的蘑菇需要一定量的光才能产生孢子

C．它们的存在根本不需要光

D．它们需要光，但有许多例外（光有促进作用，例如能促进生长和有利于菌褶中色素的形成）

8．一种生活在炎热且干燥环境中的植物可能具有（　　）

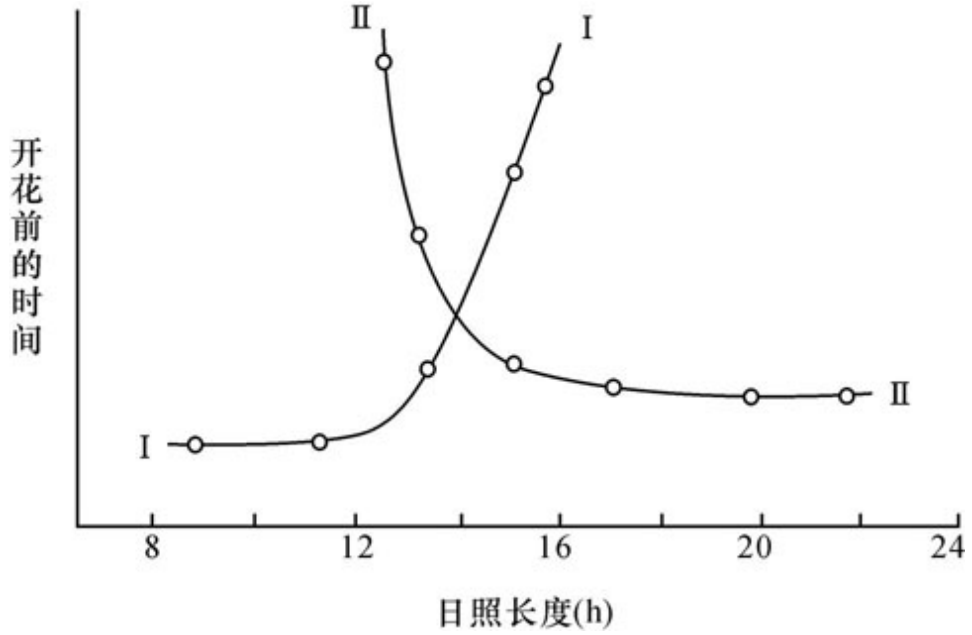
A．深色的大叶，叶两面有大量气孔

B．浅色的大叶，叶只有一面有气孔

C．浅绿色、有毛、中等大小的叶，只在叶的上表面有气孔

D．小而厚的叶，只有少量气孔

9．下图所列为Ⅰ和Ⅱ两株植物的日长与开花时间关系的曲线，由此曲线可判断（　　）



A．Ⅰ是短日照植物，Ⅱ是长日照植物

B．Ⅰ是长日照植物，Ⅱ是短日照植物

C．Ⅰ是短日照植物，Ⅱ是日中性植物

D．Ⅰ是长日照植物，Ⅱ是日中性植物

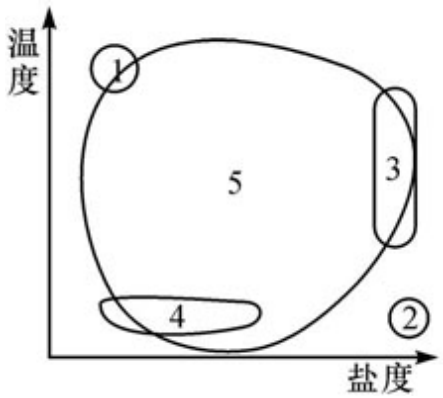
E．Ⅰ是日中性植物，Ⅱ是短日照植物

10．右图绘出了5种鱼的耐盐范围和耐温范围，在这5种鱼中，哪一种是北极海的特有种，哪一种只能生活在热带湖泊中，哪一种的分布最广泛（　　）

A．1，2，3

B．5，3，4

C．3，4，2
D．2，1，5
E．1，4，2



11．以下哪两个物种之间的关系属于拟寄生（　　）
A．多鞭毛虫和白蚁
B．杜鹃和大苇莺
C．华肝蛭和淡水螺
D．赤眼蜂和玉米螟

12．生态系统中的捕食者往往会压低猎物的种群数量，使猎物变少，因此移出捕食者会使猎物的数量增加，而增加物种存活的机会。但是在某些状况下，捕食者若被移除，当地的物种多样性反而会降低。试问下列何种捕食者若被移除，最可能造成当地物种多样性降低（　　）
A．会捕食其他捕食者的捕食者
B．会捕食属于竞争优势猎物的捕食者
C．会捕食属于竞争弱势猎物的捕食者
D．同时会吃植物的杂食性捕食者

13．若一地区有A、B两种植物，将A物种移除则其原来生长处会为B所占，则A、B之间的关系是什么（　　）
A．互利共生
B．相互竞争
C．无相互作用
D．偏利共生
E．交替消长

14．现有相似生态位的甲乙两物种，原本分居两地，现因甲物种迁入乙物种的栖息地而共居一处，试问下列何种情形不可能发生（　　）

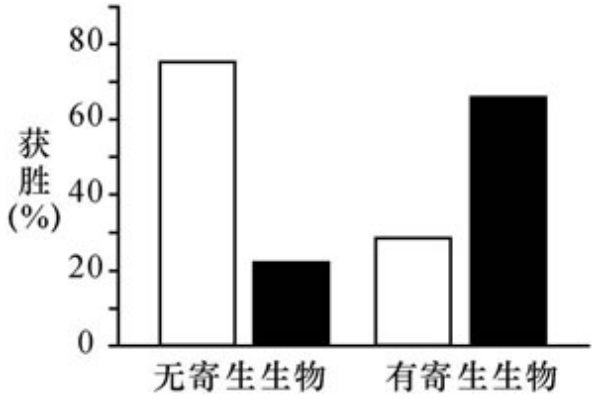
A．两物种共存，且两者之生态位宽度不变
B．两物种共存，且两者之生态位皆变宽
C．两物种共存，且两者之生态位皆变窄
D．其中一物种在此地灭绝
E．两物种皆在此地灭绝

15．下列对红树林的叙述中，何者错误（　　）
A．红树林的生长受盐度的影响，无法存活于淡水的环境
B．红树为胎生植物，胚胎可藉由水中漂浮扩散到其他地区繁衍
C．海茄苳是台湾地区常见的红树林树种之一
D．红树林植物因具有排盐腺，而能在盐水中生长
E．红树为多年生的木本植物

16．下列叙述中正确的是（　　）
①两种食性相同的动物，一定会产生竞争；②天敌可以完全控制猎物的种群数量；③野火对森林只有坏处没有好处；④热带雨林只分布在中南美洲和亚洲
A．①、②
B．③、④
C．①、③
D．以上都不正确

17．在深海区，可以分为上下两个层：上层是有初级生产的区，下层没有初级生产。产生这一区别的关键因素是什么（　　）
A．上层水域水较暖，可使藻类比以藻类为食的初级消费者生长得更快
B．上层水域有足够的光照可以积累由光合作用产生的有机物
C．上层水域的养分较多使光合作用产生有机物得以积累
D．上层水域海水表面的波浪运动可使水中的氧溶解量提高，提供给光合作用
E．在上层水域，有较多的鱼，可将浮游动物控制在较低密度，使得藻类密度较高

18．甲面包虫（□）和乙面包虫（■）放在一起的时候，不论异种还是同种产下的卵，都会遭到面包虫的捕食。斜吻棘头虫是一种寄生在这两种面包虫上的原生生物。右图是在没有寄生虫与有寄生虫的状况下，两种面包虫在竞争实验中的表现。根据本图，试问下列叙述中何者正确（　　）



A．在没有寄生生物的状况下，甲面包虫的捕食量低于乙面包虫
B．在没有寄生生物的状况下，甲面包虫的竞争策略劣于乙面包虫
C．棘头虫有效降低了乙面包虫的种群密度
D．棘头虫逆转了两种面包虫的竞争结果
E．以捕食作为竞争策略的结果并不因寄生生物的加入而有所改变

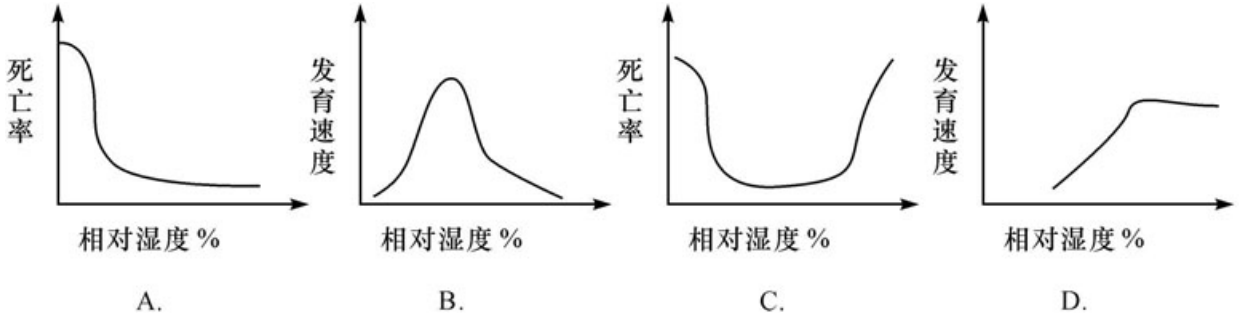
（二）多选题

1．一般而言，沉水植物必须生长在空旷无荫的水池中，因此沉水植物所获得的光量与下列何者相似（　　）
A．森林下层的植物
B．草原上的高大草本植物
C．洞穴中生长的植物
D．沙漠植物
E．森林中的高层植物

2．大雨过后，土壤积水，导致蚯蚓集聚在土表，但是生活在泥土中的蚯蚓在流动的溪水中却不会淹死。根据以上观察选出正确的推论（　　）
A．蚯蚓用鳃呼吸
B．土壤积水的时候，土壤中氧气不足
C．蚯蚓无法将进入体内的水分排出
D．土中过多的矿物质溶在水中，造成蚯蚓无法维持盐度平衡

3．下列何者是属于互利共生（　　）
A．鲨鱼与印鱼
B．樟树与山茶花
C．兔子与肠细菌
D．藻类与珊瑚
E．菊花与蚜虫

4．根据昆虫的一些最重要生命现象对湿度响应程度的差异，有学者将昆虫分为喜湿和比较喜旱两大类。以你现有的知识，请判断以下哪些图可以反映湿度对喜湿昆虫死亡和发育表征的影响（　　）



A.　　B.　　C.　　D.

5．下列有关浮游植物的说法中不正确的有（　　）

A．海洋中数量最多的浮游植物是蓝藻

B．深海中的浮游植物都可以异养生长

C．有些浮游植物可以产生对人有害的毒素

D．水华形成是因为富营养化导致浮游植物的种类和数量迅速上升而造成的

6．物种的迁移或移动往往受光照的影响很大。请问下列哪一叙述，不受光照的影响（　　）

A．黑面琵鹭秋冬的南下

B．绿藻在湖中上下垂直的移动分布

C．银汉鱼的繁殖

D．鲑鱼的洄游

7．沿海地区常有海水倒灌的情形，下列有关其对植物影响的叙述中何者正确（　　）

A．海水倒灌后，植物有缺水现象

B．海水倒灌后，植物的光合作用增加

C．海水倒灌后，植物的呼吸作用增加

D．若植物能将盐分堆积至老叶，则其存活的机会增加

E．若植物细胞的液泡内能堆积一些有机或无机物质及可溶性糖类，则其存活的机会增加

8．以下何种特性不是生物对热带雨林生态系环境产生的适应（　　）

A．昆虫色彩变暗

B．有休眠现象

C．植物长出藤状茎、且叶片集中于上层

D．草本植物多呈一年生状态

E．叶片变硬

【参考答案】

（一）单选题

1．D　2．C　3．C　4．A　5．C　6．C　7．B　8．D　9．A　10．D　11．D　12．B　13．B　14．B　15．A　16．D　17．B　18．D

（二）多选题

1．AC　2．BD　3．CD　4．AD　5．BD　6．CD　7．ACDE　8．BDE

第10讲　种群与群落

（诸暨中学　李志军）

【知识梳理】

一、种群

种群是一定的时间和空间范围内的、占有一定地域（空间）的同种所有个体的自然组合。种群具有个体所不具备的各种群体特征，这些特征多为统计指标，大体分三类：基本特征是种群密度；影响密度变化的是出生率、死亡率、迁入率和迁出率，称为初级种群参数；从这些特征又可导出次级种群参数，如性别比例、年龄组成和种群增长率等。

（一）种群的几个基本概念

1．种群密度

一个种群在单位面积或单位体积的个体数目，叫种群密度，用于显示种群的大小。由于生物的多样性，种群密度的统计方法随生物种类和栖息地条件而异，大体分为绝对密度统计和相对密度统计两类。绝对密度是指单位面积或空间的实有个体数，而相对密度则只能获得表示数量高低的相对指标。例如每公顷有10只黄鼠是绝对密度，而每置100夹日捕获10只是相对密度，即10%捕获率。相对密度又可分为直接指标和间接指标，如10%捕获率表示黄鼠只数是直接指标，而每公顷鼠洞数则是间接指标。最直接方法是计数种群中每一个体，对不断移动位置的动物，直接统计个体数很困难，可以应用标志重捕法。N：M＝n：m，其中M为标志数，n为再捕个体数，m为再捕中标记

数，从上面三个已知数估计该样地上个体总数N。对于许多动物，由于获得绝对密度困难，相对密度指标成为有用资料，诸如捕获率、遇见率、洞口和粪堆等活动痕迹、鸣声、毛皮收购量、单位渔捞努力的渔获量等。

种群密度与出生率、死亡率、迁移率有关。出生率大于死亡率时，种群密度将会增加，迁入多于迁出时，种群密度也会增加，反之种群密度将减少。

理论上最大的出生率等于种群的繁殖力或繁殖潜能，即在理想的最适条件下种群不受外界因素限制时的出生率，最小的死亡率是指只有年老而自然死亡时的死亡率。但事实上，永远不可能有理想的最适条件，并且由于生存竞争等因素的存在，繁殖力总要受到多方面的抑制，所以实际的出生率或称生态出生率总是低于理想的最大出生率的，实际死亡率或生态死亡率总是远远大于最小死亡率。（种群的性别比例、年龄结构等见于高中内容。）

2．种群的空间分布格局

种群的空间分布格局是种群内个体在其生存环境空间中的配置方式，主要有均匀分布、随机分布和集群分布等形式（图3-10-1）。



图3-10-1　三种内分布型或格局

（1）均匀分布：种群内各个体的分布是等距离的。这主要是由于种群的成员之间激烈竞争所引起的。如肥水池塘开始培肥时条件一致，浮游生物的分布是均匀分布；植物中，森林树木为争夺树冠、上部空间所进行的激烈竞争常导致均匀分布。

（2）随机分布：种群中每个个体在任一空间的分布概率相等的现象是随机分布。随机分布的现象在自然界中是十分罕见的，只有在资源，如食物、空间都分布均匀时，成员间相互作用并不导致任何形式的吸引和排斥时才会有随机分布。如面粉内拟谷盗的分布是随机分布，森林底层中一些无脊椎动物的分布是随机分布。

（3）集群分布：种群的个体集中于一特定区域的几个点上是集群分布。自然界中生物的空间分布大多属于集群分布。它是动植物对付

环境差异的结果，造成这种分布的原因有资源分布不均，以母体为扩散中心，动物的社会行为使其结合成群等。

最常用而简便的检验种群分布型的指标是：方差/平均数比率，即S^2/m。如果把图3-10-1的均匀分布分成许多小方格，那么每方格中点数应该是相等的。对此进行取样和统计分析，因为各方格个体数相等，标准差等于零，所以$S^2/m=0$。假如分布是随机的，则含有0，1，2，…的个体数的样方，其出现概率将符合泊松分布序列，则$S^2/m=1$。如果分布是成群的，含很少个体数（包括0个体在内）的样本，和含较多个体数的样本的出现概率将较泊松分布的期望值高，因此，S^2/m必然明显地大于1。即：

①若$S^2/m=0$，属均匀分布；

②若$S^2/m=1$，属随机分布；

③若S^2/m显著地>1，属集群分布。

3．生命表

简单的生命表只根据各年龄组的存活或死亡数据编制。从生命表可获得三方面信息：①存活曲线；②死亡率曲线；③生命期望。存活曲线直观地表达了该同生群的存活过程，Deevey曾将存活曲线分为三个类型（图3-10-2）：

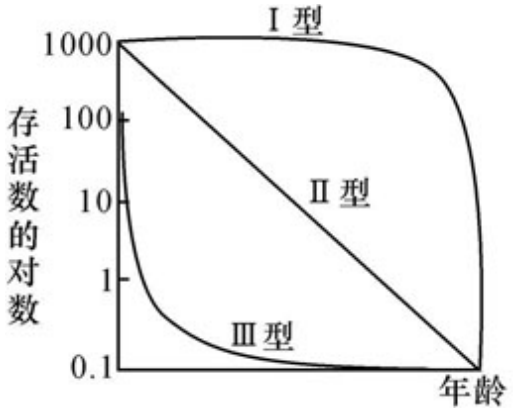


图3-10-2　存活曲线的类型

Ⅰ型：曲线凸型，表示在接近生理寿命前只有少数个体死亡。例如大型兽类和人的存活曲线。

Ⅱ型：曲线呈对角线，各年龄死亡率相等。许多鸟类接近于Ⅱ型。

Ⅲ型：曲线凹型，幼年期死亡率很高。

根据对同年出生的所有个体进行存活数目进行动态监察的资料而编制的生命表称为同生群生命表，或称动态生命表。另一类为静态生

命表，是根据某一特定时间对种群作一年龄结构调查资料而编制的。动态生命表和静态生命表的关系可用图（3-10-3）来表示。图中纵坐标表示年龄，横坐标表示时间。连续追踪t_0，t_1，…时段中出生动物的存活就是动态生命表（特定年龄生命表）。图中表示的根据t_1时间所作年龄结构的生命表，就属于静态的，也称特定时间生命表或垂直生命表。

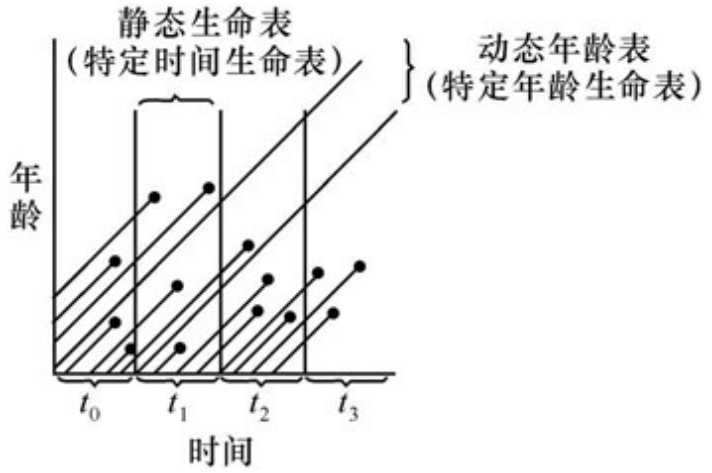


图3-10-3　动态生命表和静态生命表的关系

（二）种群增长模型

种群增长模型很多，按增长率是一常数还是随密度而变化，分为与密度无关和与密度有关增长模型。

1．与密度无关的增长模型

种群在“无限”的环境中，即假定环境中空间、食物等资源是无限的，因而其增长率不随种群本身的密度而变化。这类增长通常呈指数式增长，可称为与密度无关的增长。与密度无关的增长又可分为两类，如果种群的各个世代彼此不相重叠，如一年生植物和许多一年生殖一次的昆虫，其种群增长是不连续的、分步的，称为离散增长；如果种群的各个世代彼此重叠例如人和多数兽类，其种群增长称为连续增长。

（1）种群离散增长模型

一般用差分方程描述，种群的离散增长可用下式表示：

$$N_t = N_0\lambda^t$$

其中N为种群大小，t为时间，λ为种群的周限增长率。举例说，一年生生物（即世代间隔为一年）种群，开始时有10个雌体，到第二年成为200个，那就是说，$N_0=10$，$N_1=200$，即一年增长20倍。今以λ

代表种群两个世代的比率：$\lambda=N_1/N_0=20$。如果种群在无限环境下以这个速率年复一年地增长，即10，10×20^1，10×20^2，10×20^3，…，$N_t=N_0\lambda^t$。

将方程式$N_t=N_0\lambda^t$两侧取对数，即：$\lg N_t=\lg N_0+(\lg\lambda)t$。

它具有直线方程式$y=a+bx$的形式。因此，以$\lg N_t$与t作图，就能得到一条直线，其中$\lg N_0$是截距，$\lg\lambda$是斜率。

λ是种群离散增长模型中有用的量，如果$\lambda>1$种群上升；$\lambda=1$种群稳定；$0<\lambda<1$种群下降，$\lambda=0$雌体没有繁殖，种群在一代中灭亡。

（2）种群连续增长模型

种群连续增长的动态研究，涉及微分方程。把种群变化率dN/dt与任何时间的种群大小N（t）联系起来。最简单的情况是有一恒定的每员增长率r，它与密度无关，即：$dN/dt=rN$。

其中dN/dt为种群的生长速度，也即在一定时间中个体数的变化；N为种群原有的个体数；r为增长率，在这里即出生率减去死亡率。

其积分式为：

$$N_t=N_0e^{rt}$$

其中N_t为t时间后的数量，N_0为开始时间的数量，r为增长率，t为时间，e为自然对数的底。

以种群大小N_t对时间t作图（图3-10-4）说明种群增长曲线呈“J”字型（见于高中内容的“J”型曲线）。但如以$\lg N_t$对t作图，则变为直线。

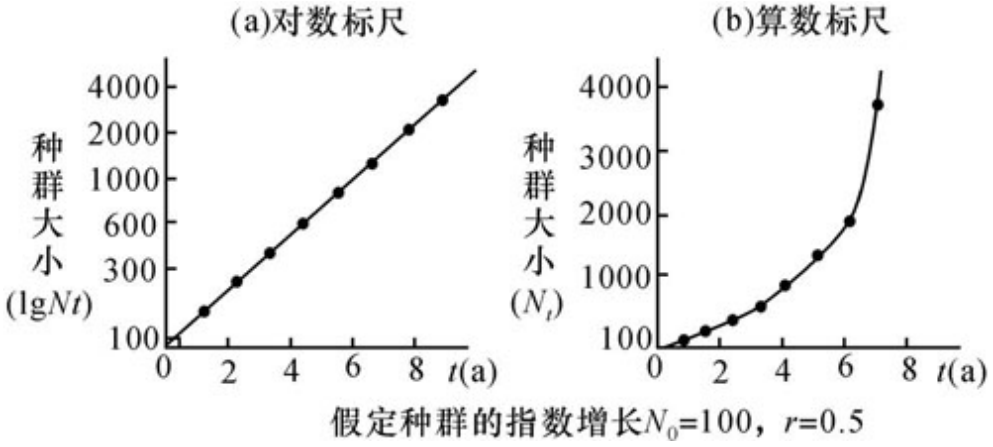


图3-10-4　种群的指数增长曲线图

r是一种瞬时增长率，如果：r＞0，种群上升；r＝0，种群稳定；r＜0，种群下降。λ与r可以相互转换，其关系式为：r＝lnλ，λ＝e^r。

2．与密度有关的增长模型

尽管物种具有巨大的增长潜力，在自然界中，种群却不能无限制地增长。因为，随着种群数量的增长，制约因素的作用也在增大。种群密度增高会引起传染病流行而使死亡率增加，捕食者也会因捕食对象增多而更多捕食，而更重要的是食物的供应将越来越不足，所以在自然界，种群总是在增长到一定限度后，出生率和死亡率逐渐达到平衡。与密度有关的增长模型同样分离散增长模型和连续增长模型两类。现仅就连续增长模型做简单介绍。

对于种群连续增长的生物，在自然环境中种群增长曲线不是直线而是一个S形曲线（见于高中相应内容），即开始时经过一适应环境的延滞期后，即进入指数增长期（即个体呈指数增长），然后增长速度变慢，最后出生率和死亡率相等，种群不再增长而进入最高密度的稳定期。这时种群的密度是环境所能负担的最高密度，即环境的满载量，或负载能力。

在实验室内培养酵母、草履虫等单细胞生物，就可得到种群指数生长的曲线。但是继续生长下去，酵母或草履虫等的生长速度就会因食物不足等因素的制约而减慢下来，最后生长停止而达到环境的满载量。种群生长全过程的S形曲线称为逻辑斯谛曲线。它的数学公式是：

$$dN/dt＝rN（K－N）/K$$

其中r为增长率，N为某一时间原有的个体数，K为负荷能力或满载量，即环境所能接受的种群数量。当K－N＞0时，种群在增长，N值很小时（如开始接种酵母时，酵母很少），种群生长快。当N值达到K/2时，密度增长最快，此后种群减速增长。当种群密度很高时，即N值很大时，接近于K时，K－N≈0，种群不再增长，此时种群即达到了满载量的平衡状态。

逻辑斯谛增长模型的重要意义是：①它是许多两个相互作用种群增长模型的基础；②它也是渔捞、林业、农业等实践领域中，确定最大持续产量的主要模型；③模型中两个参数r、K，已成为生物进化对策理论中的重要概念。

（三）种群密度的调节

1．密度制约因素

影响种群个体数量的因素很多。有些因素的作用是随种群密度的变化而变化，这种因素称为密度制约因素。例如，传染病在密度大的

种群中更容易传播，因种群密度越大，其对种群数量的影响就越大，反之，种群密度小，对种群的影响就小。

2．非密度制约因素

有些因素虽对种群数量起限制作用，但其作用强度与种群密度无关，如气候因素就是这样，刮风、下雨、降雪、气温都会对种群的数量产生影响，但这种因素起多大作用与种群密度是无关的，这类因素称为非密度制约因素。生物种群数量的不规则变动往往同非密度制约因素有关。非密度制约因素对种群数量的作用一般总是很猛烈的，灾难性的。例如，我国历史上屡有记载的蝗灾是由东亚飞蝗引起的。引起蝗虫大发生的一个因素是干旱，东亚飞蝗在禾本科植物的荒草地中产卵，如果雨水多，虫卵因水淹或霉菌感染而大量死亡，因而不能成灾，只有气候干旱蝗虫才能大发生，所以我国历史上干旱常伴随蝗灾。

无论是密度制约因素还是非密度制约因素，它们都是通过影响种群出生率、死亡率或迁移率而起着控制种群密度的作用。

（四）自然种群的数量变动的典型例子

1．季节消长

温带湖泊的浮游植物（主要是硅藻），往往每年有春秋两次密度高峰，称为“开花”。其原因是：冬季的低温和光照减少，降低了水体的光合强度，营养物质随之逐渐积累；到春季水温升高、光照适宜，加之有充分营养物，使有巨大增殖能力的硅藻迅速增长，形成春季数量高峰。但是不久后营养物质耗尽，水温也可能过高，硅藻数量下降；以后营养物质又有积累，形成秋季较低的数量高峰。这种典型的季节消长，也会受到气候异常和人为的污染而有所改变。掌握其消长规律，是水体富营养化预测和防治所必需的。

2．种群爆发

常见的是赤潮。赤潮是指水域中一些浮游生物（如腰鞭毛虫、裸甲藻、梭角藻、夜光藻等）暴发性增殖引起水色异常的现象，主要发生在近海，又称红潮，其主要成因是无机污染，氮、磷等营养物过多形成富营养化。其危害主要有：藻类死体被微生物分解，耗尽水中溶氧，鱼贝等窒息而死；有些赤潮生物产生毒素，杀害鱼贝，甚至离海岸64km的人，有时会受到由风带来毒素危害，造成呼吸和皮肤的不适。淡水中藻类的大量繁殖叫做水华，比如我国的太湖水污染、滇池水污染。

3．生态入侵

由于人类有意识或无意识地把某种生物带入适宜于其栖息和繁衍的地区，种群不断扩大，分布区逐步稳定地扩展，这种过程称生态入侵。欧洲的穴兔于1859年由英国引入澳大利亚西南部，由于环境适宜和没有天敌，每年以112.6km速度向北扩展，经过16年后澳洲东岸发现有穴兔，即16年中向东推进了1770km。穴兔成为一大危害，与牛羊竞争牧场。人们采用许多方法，耗资巨大，都未能有效地控制。最后在第二次大战以后，由于引入黏液瘤病毒，才将危害制止。紫茎泽兰原产墨西哥，1865年作为观赏植物引入夏威夷，1875年引入澳大利亚。后来发展为到处繁衍、泛滥成灾。解放前由缅甸、越南进入我国云南，现已在四川境内大量繁殖，并向东扩展到广西、贵州境内。它常连接成片，发展为单优势群落，侵入农田、危害牲畜，影响林木生长，成为当地“害草”。

（五）种群的生态对策

各种生物在进化过程中形成各种特有的生活史，人们可以把它想象为生物在生存斗争中获得生存的对策，称为生态对策或生活史对策。例如生殖对策、取食对策、逃避捕食对策、扩散对策等等，而r-和K-对策关系到生活史整体的各个方面，广泛适用于各种生物类群，因而更为学者所重视。

K-对策：气候稳定的系统，如热带雨林，物种数量接近于环境容纳量的水平，与逻辑斯蒂增长模型中K值接近，故称K-对策。其特点是：寿命长，个体大死亡率较低，生殖力弱，亲代对子代有效地保护，但缺乏有效的散布方式。K-对策种群的死亡率主要由与种群密度相关的因素引起。K-对策生物在新环境中定居能力较差，它常出现在群落演替的晚期。大部分脊椎动物属于K-对策者。

r-对策：气候条件多变的系统中，种群密度常处于增长状态，是高增长率（r）的，故称r-对策。其特点是寿命短，个体小，死亡率高，生育时间早且生殖率高，发育快。往往是临时性生态环境的占据者，常常出现在群落演替的早期。其种群的死亡率主要由环境变化引起，与种群密度无关。绝大部分无脊椎动物属r-对策者。

r-/K-对策的概念已被应用于杂草、害虫和拟寄生物，以说明这些生物的进化对策。农田生态系统是人类种植并进行喷药、施肥等活动的场所，人类关心的是作物生长及去除杂草和害虫，所以杂草害虫必须有较高的增殖和扩散能力，才能迅速侵入和占领这类系统，它们一般都是r-对策者。杂草中如狗尾草、马唐、飞蓬和豚草，害虫如褐飞虱、黏虫、螟虫等；而飞蝗可以被视为具有两种对策交替使用的特殊类型，即群居相是r-对策的，散居相是K-对策的。蚜虫的有翅和无翅世

代交替也是这样。至于选择拟寄生物作为防治害虫天敌，同样要考虑r-/K-对策者的不同作用。

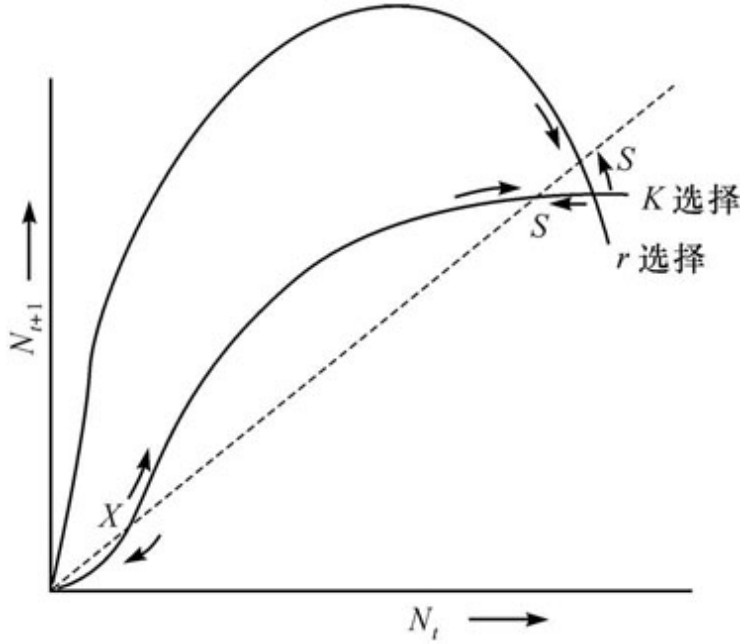


图3-10-5　r-K策略者种群动态的区别

由于K-策略者和r-策略者的基本特征不同，它们的数量变动也存在明显差异（图3-10-5）。图中横坐标表示某物种在时间t的个体数量（N_t），纵坐标表示时间t＋1的个体数量（N_t+1），虚线表示N_t+1与N_t相等，种群平衡，箭头表示种群数量变动方向。曲线位于虚线上面表示个体数量在增长，位于虚线下面表示个体数量在下降。K-策略者曲线与虚线有两个交点X和S。X是不稳定的平衡点，可称为灭绝点，如果种群下降到X点以下就不可能再恢复，从而不可避免地继续下降，直到灭绝。相反，r-策略者由于低密度下增殖快，所以只有一个平衡点S，在个体数量极少时，也能回到S。因此，在物种面临威胁时，对K-策略者的保护比对r-策略者更困难、更紧迫、更重要。

1979年，Grime提出了植物的CSR对策，即竞争、忍耐、杂草对策。在生境严酷程度和受干扰程度都较低的情况下，植物种群种内、种间的竞争都很激烈，于是这种生境中的生物形成了“竞争策略”；在生境严酷程度低，受干扰高的生境中，环境变化剧烈，只有繁殖率高的种群能够生活下来，于是这种生境中的生物形成了“杂草策略”；在生境严酷程度高，受干扰低的生境中，如荒漠、高海拔环境的植物形成了能够忍受极端温度和湿度的能力，形成了“胁迫忍耐策略”。竞争对策者利用资源的效率更高，忍耐对策者可以在资源水平

很低的环境中生存，杂草对策者适应于多变环境（类似于动物生态学中的r-对策）。可以利用CSR三角形（图3-10-6）表示以上关系。

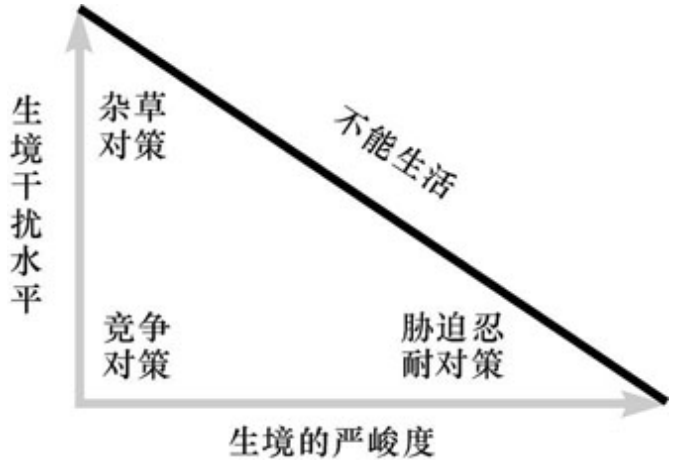


图3-10-6　用CSR三角形划分生境和植物生活史

二、生物群落

群落是指在一定时间内，居住在一定地区中的各种有直接或间接关系的所有动、植物和微生物种群的集合体。

（一）群落的几个基本概念

1．优势种：对群落的结构和群落环境的形成有明显控制作用的植物种称为优势种，它们通常是那些个体数量多、投影盖度大、生物量高、体积较大、生活能力较强，即优势度较大的种。群落的不同层次可以有各自的优势种，比如森林群落中，乔木层、灌木层、草本层和地被层分别存在各自的优势种，其中乔木层的优势种，即优势层的优势种常称为建群种。

2．多度：多度是指群落中物种个体数目的多少，多用于群落野外调查。

3．盖度：植物地上部分垂直投影面积占样地面积的百分比，即投影盖度。

4．频度：某个物种在调查范围内出现的频率。常按包含该种个体的样方数占全部样方数的百分比来计算，即：频度＝某物种出现的样方数/样方总数×100%。

5．优势度：优势度是确定物种在群落中生态重要性的指标，优势度大的种就是群落中的优势种。确定植物优势度时，指标主要是种的盖度和密度。动物一般以个体数或相对多度来表示。森林群落中Curtis等（1951）提出用重要值来表示每一个物种的相对重要性。I（重要

值）＝［相对密度（%）＋相对频度（%）＋相对优势度（%）］/300

6．种间关联：在一个特定群落中，有的种经常生长在一起，有的则互相排斥。如果两个种一块出现的次数比期望的更频繁，它们就具正关联；如果它们共同出现次数少于期望值，则它们具负关联。正关联可能是因一个种依赖于另一个种而存在，或两者受生物的和非生物的环境因子影响而生长在一起。负关联则是由于空间排挤、竞争、他感作用或不同的环境要求。

（二）多样性

生物多样性是指生物中的多样化和变异性以及物种生境的复杂性，包括三个层次：遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性。对于一个群落来说，一般情况下多样性越高，其稳定性越高，反之就越低。

一般认为物种多样性具有两种含义：种的数目和种的均匀度。种的均匀度指一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况，它反映的是各物种个体数目分配的均匀程度，例如，甲群落中有100个个体，其中90个属于种A，另外10个属于种B。乙群落中也有100个个体，但种A、B各占一半。那么，甲群落的均匀度就比乙群落低得多。

测定多样性的公式很多，常见的是辛普森多样性指数。辛普森在1949年提出过这样的问题：在无限大的群落中，随机取样得到同样的两个标本，它们的概率是什么呢？如在加拿大北部寒带森林中，随机采取两株树标本，属同一个种的概率就很高。相反，如在热带雨林随机取样，两株树属同一种的概率很低，他从这个想法出发得出多样性指数。所以，辛普森多样性指数＝随机取样的两个个体属于不同种的概率＝1－随机取样的两个个体属于同种的概率。计算种i的辛普森多样性指数公式为：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{s} (N_i / N)^2$$

D是辛普森多样性指数，S是群落中的总种数，N是观察到的个体总数，N_i是种i的个体数。辛普森多样性指数的最低值是0，最高值是1。前一种情况出现在全部个体均属于一个种的时候，后一种情况出现在每个个体分别属于不同种的时候。例如，甲群落中A、B两个种的个体数分别为99和1，而乙群落中A、B两个种的个体数均为50，按辛普森多样性指数计算，则

$$D_1 = 1 - \sum_{i=1}^{2} (N_1/N)^2 = 1 - \left[\left(\frac{99}{100} \right)^2 + \left(\frac{1}{100} \right)^2 \right] = 0.0198$$

$$D_2 = 1 - \sum_{i=1}^{2} (N_2/N)^2 = 1 - \left[\left(\frac{50}{100} \right)^2 + \left(\frac{50}{100} \right)^2 \right] = 0.5000$$

乙群落的多样性高于甲群落。造成这两个群落多样性差异的主要原因是种的不均匀性，从丰富度来看，两个群落是一样的，但均匀度不同。多样性一般随着纬度的增加、海拔的增高以及水深度加大有逐渐减少的趋势。

（三）生态位

生态位指的是生物种群在群落中的生活方式及它们在时间和空间上占有的地位。生态位不只是具体的栖息地，还包括这一物种在这一群落中的营养地位，所需的物理和生物条件，如温度、湿度、pH、压力（如在深水中）等，以及在时间和季节变化时节律性的行为变化，要求的食物，与其他生物的关系等，简言之，所谓生态位就是这一物种在群落中处于什么地位和起什么作用。

群落中生态位相似的两个物种常发生竞争关系，以夺取生态位。生态位越近似的物种，竞争越激烈，选择压就越强。激烈竞争的结果，可能使其中一个物种趋于灭绝。但是，这种现象在自然情况下是较少发生的，只有在外力（如人力）介入或新物种进入的情况下才可能发生。更多的是，生态位相似的物种，通过自然选择，生态位发生了分化，从而减少或排除了它们的竞争，使它们共存下来。如达尔文在加拉帕戈斯岛上观察的地雀是生态位分化的很好实例（见于高中内容）。再如老鹰和猫头鹰的生态位比较接近，自然选择使它们一个在白天活动，一个在夜间活动，这样就使它们各就各位而避免了竞争。

植物中生态位分化的例子也很多。沼泽地中常有多种蕨类植物生活在一起。它们之所以能够共同生活在一起，乃是因为它们各有不同的分布：有些物种占领水底，有些物种只能生活在沼泽边缘，有些则生活在沼泽中较干燥的高地上。所以表面上看，它们都生活在同一沼泽地中，其实详细观察后就可看出，它们实际各自要求不同的湿度及其他条件，因而它们的生态位是各不相同的。

生态位的多样性是群落结构相对稳定的基础。

（四）群落结构

群落中各种生物所占据的空间及时间各不相同，因而各种群落都有一定的结构，表现为种群在其中的分布。这种分布有空间上的分

布，包括垂直分布与水平分布，也有时间上的分布，并有时表现出时辰节律。

1．垂直结构

群落的垂直结构是指由于不同物种的遗传特性及其对光、温度、水、营养等的不同要求，不同物种处在群落的不同高度上，这种在垂直方向上的分布，就形成了群落的垂直结构。

森林群落的垂直分布最复杂，分为地下层、地表层、草被层、灌丛、乔木层和树冠层。成层结构是自然选择的结果，它显著提高了植物利用资源的能力，比如在发育成熟的森林中，上层乔木可以充分利用阳光，而林冠下被那些能够有效利用弱光的灌木所占据。穿过乔木层的光，有时仅占到达树冠的全光照的十分之一，但是林下灌木层却能够利用这些微弱的、并且光谱已经改变了的光。在灌木层下的草本层能够利用更微弱的光，草本层往下还有能更耐阴的苔藓层。群落中动物的分层现象也很普遍。动物之所以有分层现象，主要与食物有关，因为群落不同层次提供不同的食物，其次还与不同层次的微气候条件有关。如森林中的鸟类，往往有不同的栖息空间，中层栖息着山雀、啄木鸟等，而林冠层则栖息着柳莺、交嘴和戴菊等。大多数鸟类虽然可同时利用几个不同的层次，但每一种鸟都有一个自己最喜好的层次。

2．水平结构

群落的水平结构是指群落的配置状况或水平格局，有人称之为群落的二维结构。群落的水平格局，其形成主要与构成群落的成员的分布状况有关。大多数群落，各物种常形成相当高密度集团的斑块状镶嵌。

3．时间分布

一天有昼夜之分，一年有春夏秋冬四季之分。地球周而复始地运转，生物的分布随昼夜、季节的变化而变化。例如蝴蝶、蜜蜂和蝇等在白天活动，入夜即潜伏不动；蚊、螟蛾、萤火虫等则在夜间活动，白日潜伏。很多鸟都是白日活动的，但夜鹰、猫头鹰则是夜间活动的。松鼠白天活动，蝙蝠则夜间活动。白日行动的动物称为昼行性动物，夜间行动的动物称为夜行性动物。有些动物只在拂晓或黄昏时活动，称为暮行性动物。

水生群落的垂直分布和水平分布也有很多随昼夜而变化的。淡水浮藻类白天在水的表层进行光合作用。浮游动物也随浮游植物一同漂游于水的表层，但在中午日光最强时，下沉到水的深处，日落之后，

又浮到水面采食浮游植物或互相捕食。这种和地球24h自转相适应的分布规律叫做时辰节律或日节律。

4．影响群落结构的因素

（1）生物因素

群落结构总体上是对环境条件的生态适应，但在其形成过程中，生物因素起着重要作用，其中作用最大的是竞争与捕食。

竞争：如果竞争的结果引起种间的生态位的分化，将使群落中物种多样性增加。

捕食：如果捕食者喜食的是群落中的优势种，则捕食可以提高多样性，如捕食者喜食的是竞争上占劣势的种类，则捕食会降低多样性。

（2）干扰

干扰是指平静的中断，正常过程的打扰或妨碍。在陆地生物群落中，干扰往往会使群落形成断层，断层对于群落物种多样性的维持和持续发展，起了一个很重要的作用。不同程度的干扰，对群落的物种多样性的影响是不同的，Conell等提出的中等干扰说认为，群落在中等程度的干扰水平能维持高多样性。其理由是：①在一次干扰后少数先锋种入侵断层，如果干扰频繁，则先锋种不能发展到演替中期，使多样性较低；②如果干扰间隔时间长，使演替能够发展到顶级期，则多样性也不很高；③只有在中等程度的干扰，才能使群落多样性维持在最高水平，允许更多物种入侵和定居。

（3）空间异质性

环境的空间异质性：环境的空间异质性愈高，群落多样性也愈高。

植物群落的空间异质性：植物群落的层次和结构越复杂，群落多样性也就越高。如森林群落的层次越多，越复杂，群落中鸟类的多样性就会越多。

（五）群落交错区与边缘效应

群落交错区又称生态交错区或生态过渡带，是两个或多个群落之间（或生态地带之间）的过渡区域。如森林和草原之间的森林草原过渡带，水生群落和陆地群落之间的湿地过渡带。群落交错区是一个交叉地带或种群竞争的紧张地带，发育完好的群落交错区，可包含相邻两个群落共有的物种以及群落交错区特有的物种，在这里，群落中物种的数目及一些种群的密度往往比相邻的群落大。群落交错区种的数目及一些种的密度有增大的趋势，这种现象称为边缘效应。有人利用

增加群落交错区数量或边缘长度以增加边缘效应，提高野生动物产量。

（六）平衡说和非平衡说

对群落结构形成的看法，有两种对立的观点，即平衡说和非平衡说。

平衡说认为共同生活在同一群落中的物种处于一种稳定状态。其中心思想是：共同生活的种群通过竞争、捕食和互利共生等种间相互作用而形成相互牵制的整体，导致生物群落具有全局稳定性特点；在稳定状态下群落的物种组成和各种群数量都变化不大；群落实际上出现的变化是由环境的变化，即所谓的干扰所引起的。总之，平衡说把生物群落视为存在于不断变化着的物理环境中的稳定实体。

非平衡说认为，组成群落的物种始终处在不断的变化之中，自然界中的群落不存在全局稳定性，有的只是群落的抵抗性（群落抵抗外界干扰的能力）和恢复性（群落在受干扰后恢复到原来状态的能力）。非平衡说的重要依据就是中度干扰理论。例如在海洋和湖泊中通常有很丰富的浮游植物种类，只用资源分隔和捕食影响来说明这种高多样性是难以使人信服的，但这些水体的光、温、营养物质等物理环境变化很快，可以天计，甚至时计，因此在竞争排斥过程中出现多次中断，从而达到共存。

平衡说和非平衡说除对干扰的作用强调不同以外，一个基本区别是：平衡说的注意焦点是系统处于平衡点时的性质，而对于时间和变异性注意不足；而非平衡说则把注意焦点放在离平衡点时系统的行为变化过程，特别强调时间和变异性。

（七）岛屿与群落结构

岛屿由于与大陆隔离，生物学家常把岛屿作为研究进化论和生态学问题的天然实验室或微宇宙。许多自然生境，例如溪流、山洞以及其他边界明显的生态系统都可看作是大小、形状和隔离程度不同的岛屿。

生态学家发现岛屿上的物种数明显比邻近大陆的少，并且面积越小，距离大陆越远，物种数目就越少。在气候条件相对一致的区域中，岛屿中的物种数与岛屿面积有密切关系，许多研究表明，岛屿面积越大，种数越多。这一关系可以用简单方程描述：

$S=CA$

或取对数$\lg S=\lg C+z(\lg A)$

其中：S＝种数，A＝面积，z和C为两个常数，参数C是表示单位面积种数的常数，取决于分类类群和生物地理区域，其生物学意义不

大；而参数z，表示种数—面积关系中回归的斜率，具有较大的生物学意义。例如，当z＝0.5时，只需要将岛屿面积增加4倍，即可将物种数加倍。但当z＝0.14时，必须使面积增加140倍才能将物种数加倍。加拉帕戈斯群岛的关系式为：$S＝28.6A^{0.32}$

根据平衡说，岛屿上的种数决定于物种迁入和灭亡的平衡；并且，这是一种动态平衡，不断地有物种灭亡，也不断地由同种或别种的迁入而替代补偿灭亡的物种。以迁入率为例，当岛上无留居种时，任何迁入个体都是新的，因而迁入率高。随着留居种数加大，种的迁入率就下降。当种源库（即大陆上的种）所有种在岛上都有时，迁入率为零。灭亡率则相反，留居种数越多，灭亡率也越高。迁入率多大还取决于岛的远近和大小，近而大的岛，其迁入率高，远而小的岛，迁入率低。同样，灭亡率也受岛的大小的影响。

自然保护区在某种意义上讲，是受其周围生境“海洋”所包围的岛屿，因此岛屿生态理论对自然保护区的设计具有指导意义。保护区地点的选择应首先考虑选择具有最丰富物种的地方作为保护区，另外，特有种、受威胁种和濒危物种也应放在同等重要的位置上。有些生态系统（如热带森林）中的动物（如蜜蜂、蚂蚁等）是多种植物完成其生活史必不可少的，它们被称为流动联接种，由于这些植物是流动联接种食物的主要来源，所以支持流动联接种的植物又称为关键互惠共生种。关键互惠共生种的丢失将导致流动联结种的灭绝。因此，在选择保护区时，保护区必须有足够复杂的生境类型，保护关键种，特别是关键互惠共生种的生存。

按平衡假说，保护区面积越大，对生物多样性保护越有利。在同样面积下，一个大保护区好还是若干小保护区好？这决定于：①若每一小保护区支持的都是相同的一些种，那么大保护区能支持更多种；②从传播流行病而言，隔离的小保护区有更好的防止传播作用；③如果在一个相当异质的区域中建立保护区，多个小保护区能提高空间异质性，有利于保护物种多样性；④对密度低、增长率慢的大型动物，为了保护其遗传特性，较大的保护区是必需的。保护区过小，种群数量过低，可能由于近交使遗传特征退化，也易于因遗传漂移而丢失优良特征。在各个小保护区之间的“通道”或走廊，对于保护是很有帮助的：①能减少被灭亡的风险；②细长的保护区，有利于迁入。

Wilson（1975）认为，保护区的最佳形状是圆形，应避免狭长形的保护区，主要是因为考虑到边缘效应，狭长保护区不如圆形的好。另外，狭长形的保护区造价高，保护区也易于受人为的影响。但

Blouin和Connor（1985）认为，如果狭长形的保护区包含较复杂的生境和植被类型，狭长形保护区反而更好。

（八）群落演替

群落随着时间的推移而发生的有规律性的变化称为演替。经过演替而达到最终稳定状态的群落称为顶极群落。按演替发生的起始条件划分为初级演替和次级演替；按基质的性质划分为水生演替和旱生演替；按控制演替的主导因素划分为内因性演替和外因性演替；按群落代谢特征来划分有自养性演替和异养性演替。现简单介绍初级演替和次级演替。

1．初级演替

从一个未被生物占领过的原始裸地或湖泊开始的演替称为初级演替。

对于旱生演替来说一般要经过这样的几个阶段：①地衣阶段。这是最早的阶段，在没有任何生物的地方，地衣可以生活，它极耐干旱，可长在岩石上，并能溶解岩石，从岩石中摄取矿物质，也能吸收雨水中溶解的矿物质。地衣中的藻类或蓝藻部分在有雨水时还能进行光合作用。地衣死后，它的残体为细菌所分解，残体中的物质又可为别的地衣所用。岩石风化而成的碎屑被地衣所阻留，和矿物质、地衣死后生成的腐殖质以及细菌等日积月累而形成岩石表层的土壤。有了土壤，就为苔藓类植物创造了生存的条件。②苔藓阶段。地衣为苔藓的生存创造了条件。苔藓植物比地衣能更好地利用日光，繁殖力也强，因而它们顶替了地衣而处于主导地位，而岩石风化产生的颗粒也被更有效地保存于原地。苔藓死后的残体为细菌、真菌等分解而产生腐殖酸类物质和各种矿物质。前者有分解岩石的作用，后者被保存于土壤中或被新一代植物所吸收，所以这一阶段是含有细菌、真菌、腐殖酸、无机盐等的土壤逐步形成的阶段。同时一些动物如螨、蚂蚁以及蜘蛛等也逐渐出现。③草本植物阶段。当土壤厚度增加到能保持足够湿度的时候，草本植物的幼苗就能够存活，并逐渐发展而取代苔藓。这时，昆虫、蜗牛等以及小型的哺乳动物开始侵入并各自找到自己的生态位。土中的营养物也逐渐丰富起来。④灌木阶段。首先出现喜光的灌木，以后灌木大发展，而草本植物逐渐衰败下来。随着草类的衰败，昆虫种类也将略有减少，而鸟类则由于树木提供了浆果及掩蔽所而增多。⑤树林阶段。在灌木丛中，乔木生长起来，最终占有优势。

水生演替主要过程如下：①自由漂浮植物阶段。这一阶段，湖底有机物的聚积，主要依靠浮游有机体的死亡残体，以及湖岸雨水冲刷

所带来的矿质微粒。天长日久，湖底逐渐抬高。②沉水植物群落阶段。水深3～5m以下首先出现的是轮藻属的植物，构成湖底裸地上的先锋植物群落。由于它的生长，湖底有机物积累加快，同时由于它们的残体在嫌气条件下分解不完全，湖底进一步抬高，水域变浅，继而金鱼藻、弧尾藻、黑藻、茨藻等高等水生植物种类出现。这些植物的生长能力强，垫高湖底作用的能力也就更强。此时大型鱼类减少，而小型鱼类增多。③浮叶根生植物群落阶段。随着湖底变浅，出现了浮叶根生植物如眼子菜、莲、菱、芡实等。由于这些植物的叶在水面上，当它们密集后就将水面完全覆盖，使其光照条件变得不利于沉水植物的生长，原有的沉水植物将被挤到更深的水域。浮叶根生植物高大，积累有机物的能力更强，垫高湖底的作用也更强。④挺水植物群落阶段。水体继续变浅，出现了挺水植物，如芦苇、香蒲、水葱等。其中，芦苇最常见，其根茎极为茂密，常交织在一起，不仅使湖底迅速抬高，而且可形成浮岛，开始具有陆生环境的一些特点。这一阶段的鱼类进一步减少，而两栖类、水蛭、泥鳅及水生昆虫进一步增多。⑤湿生草本植物阶段。湖底露出地面后，原有的挺水植物因不能适应新的环境而被一些禾本科、莎草科和灯芯草科的湿生植物所取代。由于地面蒸发加强，地下水位下降，湿生草本群落逐渐被中生草本植物群落所取代。在适宜的条件下发育为木本群落。⑥木本植物阶段。在湿生草本植物群落中，首先出现的是一些湿生灌木，如柳属、桦属的一些种，继而乔木侵入逐渐形成森林。此时，原有的湿地生境也随之逐渐变成中生生境。在群落内分布有各种鸟类、兽类、爬行类、两栖类和昆虫等，土壤有蚯蚓、线虫及多种土壤微生物。整个水生演替系列实际上是湖沼填平的过程，通常是从湖沼的周围向湖沼的中心顺序发生的。

2．次级演替

次级演替是指在原来存在的生态系统被破坏后重新发生演替的过程。例如，砍伐森林、改种作物后又撂荒不用，大火烧光植被，河流堵塞而成沼泽等，造成生物群落的全部消失，此时开始发生的群落演替就是次级演替。次级演替一般都比初级演替进行得快。这是因为原来群落中的一些生物遗体和有机质遗留下来，环境条件较好。

3．顶极群落

群落演替的最终阶段是顶极群落。顶极群落是最稳定的群落阶段，其中各主要种群的出生率和死亡率达到平衡，能量的输入与输出以及生产量和消耗量也都达到平衡。只要气候、地形等条件稳定，不发生意外，顶极群落可以几十年几百年保持稳定而不再发生演替。现

在地球上的群落大多是在没有人为干扰下经过亿万年的演替而达到的顶极群落。

关于顶极群落有多种不同的理论，主要有三种：单元顶极论、多元顶极论和顶极—格局假说。

（1）单元顶极论

该学说认为一个地区的全部演替都将会聚为一个单一、稳定、成熟的植物群落或顶极群落。这种顶极群落的特征只取决于气候。给以充分时间，演替过程和群落造成环境的改变将克服地形位置和母质差异的影响。至少在原则上，在一个气候区域内的所有生境中，最后都将是同一的顶极群落。

（2）多元顶极论

该学说认为：如果一个群落在某种生境中基本稳定，能自行繁殖并结束它的演替过程，就可看作是顶极群落。在一个气候区域内，群落演替的最终结果，不一定都要汇集于一个共同的气候顶极终点。除了气候顶极之外，还可有土壤顶极、地形顶极、火烧顶极、动物顶极，同时还可存在一些复合型的顶极，如地形—土壤和火烧—动物顶极等等。

（3）顶极—格局假说

该假说实际上是多元顶极的一个变型。它认为，在任何一个区域内，环境因子都是连续不断变化的，随着环境梯度的变化，各种类型的顶极群落，不是截然呈离散状态，而是连续变化的，因而形成连续的顶极类型，构成一个顶极群落连续变化的格局。

4．群落演替的特征

群落演替是一个带有合乎道理的方向性性的有序过程，演替最后走向具有自我平衡性质的稳态（顶极群落）。因此可以预测演替的预期趋势：从能量的角度看，总生产量逐渐增加，但净生产量逐渐降低，表现为群落内有机物总量增多，无机物从生物外部转移到生物体内；从结构上来看，营养结构、空间结构越来越复杂，多样性增高，抵抗力稳定性越来越强；从生活史看，生物个体增大，生活周期变长，生态位变窄；从物质循环角度来看，从开放转为封闭，交换速度变慢。

【例题解析】

例1　在动物种群密度测定中常见的方法如①粪堆计数法；②鸣叫计数法；③标志重捕法；④毛皮收购记录法；⑤单位渔捞努力的鱼数和生物量测定法。其中哪个（些）方法属相对密度测定法（　　）

A．以上皆属

B．①，②和④

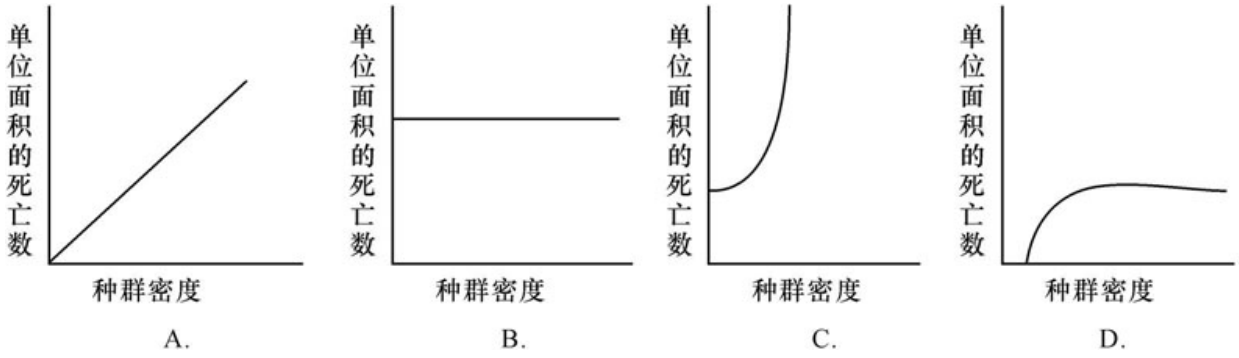
C．①，②，③和④

D．①，②，④和⑤

解析　种群密度的统计方法随生物种类和栖息地条件而异，大体分为绝对密度统计和相对密度统计两类。绝对密度是指单位面积或空间的实有个体数，比如样方法、标志重捕法、直线回归法调查的都是绝对密度；相对密度只能获得表示数量高低的相对指标，诸如捕获率，遇见率，洞口、粪堆等活动痕迹，鸣声、毛皮收购量，单位渔捞努力的渔获量等。单位渔捞努力是海洋生物学上的一个专有名词，是指单位时间内，以一定的渔法作业（如拖网作业等）所投入的工作量，在工作量一定的情况下，渔获量越大，代表此海域相应鱼类密度大。

答案　D

例2　以下各曲线表示在种群数量动态过程中死亡个体数与种群密度变化的关系，横坐标表示种群密度，纵坐标表示单位面积的死亡个体数。下列哪个选项反映出死亡不受密度制约（　　）



解析　死亡率＝死亡的个体数/总个体数＝死亡个体数/（种群密度×面积），死亡不受密度制约，也就是死亡率不变。图中纵坐标代表单位面积死亡个体数，横坐标代表种群密度，A图中斜率不变，也就是死亡率不变，B图表示死亡率随种群密度增加反而下降，C表示死亡率随种群密度增加而增加，D表示死亡率开始随种群密度增加而增加，随后种群密度增加，死亡率下降。

答案　A

例3　群落空间结构决定于两个要素，即群落中各物种的（　　）及相同生活型的物种所组成的层片，它们可看作群落的结构单元。

A．种类

B．生活型

C．生态环境

D．生态型

解析　生活型是生物对外界环境适应的外部表现形式，同一生活型的生物，不但体态相似，而且在适应特点上也是相似的。对植物而言，生活型是植物对综合环境条件的长期适应，而在外貌上反映出来的植物类型。它的形成是植物对相同环境条件趋同适应的结果。在同一类生活型中，常常包括了在分类系统上地位不同的许多种。丹麦生态学家Raunkiaer以植物体在度过生活不利时期（冬季严寒、夏季干旱）对恶劣条件的适应方式作为作为分类的基础，以休眠或复苏芽所处位置的高低和保护的方式为依据，把陆生植物划分为五类生活型：高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物、地下芽植物、一年生植物。层片是由相同生活型或相似生态要求的种组成。在植物群落垂直结构划分中，同一层植物常由若干生态要求上很不相同的种组成。例如，乔木层中有乔木和靠乔木支持的同等高度的藤本植物。生活型及相同生活型的物种所组成的层片是决定群落空间结构的两个要素。生态型是指同一物种内因不同生境而表现出具有一定结构或功能差异的不同类群。

答案　B

例4　生活在极端干旱的沙漠地区的植物通常采取的生活史对策为（　　）

A．r-对策

B．杂草对策

C．竞争对策

D．胁迫忍耐对策

解析　r-、K-对策主要是适用于描述动物，杂草对策、竞争对策、胁迫忍耐对策主要适用于描述植物。在环境稳定良好，竞争比较激烈情况下（如废弃的农田、森林等），竞争能力强的植物容易生存，即形成竞争对策；在环境变化剧烈时，只有繁殖率高的种群能够生活下来，于是这种生境中的生物形成了“杂草策略”；在生境严酷程度高，受干扰低的生境中，如荒漠、高海拔环境的植物形成了能够忍受极端温度和湿度的能力，形成了“胁迫忍耐策略”。

答案　D

例5　植物群落的形成，可以从裸地上开始，也可以从已有的另一个群落中开始。但是任何一个群落在其形成过程中，至少需要经过哪些阶段（　　）（多选题）

A．繁殖体的传播

B．植物地上部分郁闭
C．植物地下部分相互交织
D．植物体的定居
E．植物体之间的竞争

解析　群落的形成过程，可简单地分为三个阶段：①开敞或先锋群落阶段。这一阶段的特征是一些生态幅度较大的物种侵入定居并获得成功。②郁闭未稳定的阶段。在这一阶段，物种之间的竞争激烈，有的物种定居下来，且得到了繁殖的机会，而另一些物种则被排斥。同时，那些能充分利用自然资源又能在物种的相互竞争中共存下来的物种得到了发展，它们从不同角度利用和分摊资源。通过竞争，逐渐达到相对平衡。③郁闭稳定的阶段。物种通过竞争平衡地进入协调进化，使资源的利用更为充分、有效。这时群落有比较固定的物种组成和数量比例，群落结构也较为复杂。无论什么群落的形成，必然涉及物种的来源即传播问题、定居问题，群落中物种多起来，必然有竞争的发生，所以答案为A、D、E。B、C都是群落在演替到一定阶段才会出现的。

答案　A、D、E

【针对训练】

（一）单选题

1．以下关于生态位的术语哪个是不正确的（　　）
A．生物在生物群落中的地位和作用
B．用来表示栖息地再划分的空间单位
C．是一个多维的超体积空间
D．是一组生物所占有的环境

2．以下关于种群分布的说法中哪项是错误的（　　）
A．在自然界中种群均匀分布不是普遍现象
B．种群密度的变化往往导致分布型的改变
C．成群分布增加了对食物、领域及光线的竞争
D．生境的多样性促进随机分布

3．检验种群的内分布型时，当方差与均值相等，即$A^2/m=1$，该种群属于什么分布（　　）
A．均匀型分布
B．成群型分布
C．随机型分布
D．随机与均匀型分布

4．岛屿生物地理学理论被广泛接受的一个重要原因是该理论能够简单地用一个变量来表述岛屿的生物学特征，这个变量是（　　）

A．岛屿面积

B．物种数量

C．岛屿距大陆的距离

D．物种的灭绝速率

5．从湖泊到森林的演替中不经历（　　）

A．沉水植物阶段

B．浮叶根生植物阶段

C．沼泽植物阶段

D．富营养化阶段

6．在以下各植物群落中，一般来说，具有最小叶面积指数的植物群落是（　　）

A．荒漠

B．热带雨林

C．草原

D..落叶林

7．下列措施中对维持野生动物种群健康发展可能有积极作用的是（　　）

A．狩猎

B．圈养

C．近亲繁殖

D．消灭其天敌

8．仔细阅读以下陆地生物群落类型的描述，选择符合描述顺序的选项（　　）

①通常可分为4层：树冠层、下木层、灌木层和地面层（由草本、蕨类和苔藓组成）

②分布在非洲中南部，澳大利亚北部和巴西西北部，垂直结构不发达，水平结构明显

③分布在欧亚大陆和北美的北部，属于严寒的大陆气候，季节变化极为明显。常见鸟类有榛鸡、雷鸟、交嘴雀等

④主要分布在南、北纬10°之间，生活着90%的非人类的灵长类动物

A．热带季相林，草原，苔原，热带干旱林

B．温带针叶林，热带干旱林，寒带针叶林，热带雨林

C．温带阔叶林，热带稀树草原，寒带针叶林，热带雨林

D．热带季相林，草原，苔原，热带干旱林

9．应该以下列哪一项指标判断一个物种为群落中的优势种（　　）

A．群落中个体数量最多的物种

B．在群落中作用最大的物种

C．占有最大生存空间的物种

D．有最大生物量的物种

10．什么样的动物具有在种群成长上较大的生物潜能，也就是说此物种容易形成大的种群而成为普遍种（　　）

A．一生之中可以多次生殖

B．第一次开始生殖的年龄较晚

C．每一次生殖的子代数目1～2只

D．寿命长，但是可以生殖的年龄短

E．子代需要亲代照顾的时间长，照顾子代的期间无法受孕

11．下列对外来种的叙述中，何者正确（　　）

A．外来种可以强化本土物种的竞争力

B．外来种是经由人为引进，并在引进后成功繁殖的物种

C．迁移性的鸟类多属于外来种

D．外来种可能导致本土物种的灭绝

E．为了增加岛屿的基因多样性，应积极引入外来种

12．下列对生物种群的叙述中，何者正确（　　）

A．种群是生态系统的最基本组成单元

B．基因同质化将可能导致种群的灭绝

C．若没有天敌，种群将无限制的成长

D．一个种群可以由一个物种或是好几个物种共同组成

E．大种群灭绝的几率较小种群为高

13．校园的池塘中发现有一批同样大小的同种蝌蚪，于是黄生先从池塘中捞取120只蝌蚪做好记号后释回，但是后来才发现做记号会造成一部分蝌蚪的死亡，其他没有做记号的则无影响。蝌蚪在水中自由混合，两天后黄生再于水池中随机捞取100只蝌蚪，其中有8只是有记号的。试问下列叙述中何者正确（　　）

A．池塘中有1500只蝌蚪

B．池塘中最多有1500只蝌蚪

C．池塘中最少有1500只蝌蚪

D．池塘中的蝌蚪在960～12000只之间

E．在此实验中，用标志重捕法的方式会低估此池塘蝌蚪的种群数量

14．下列何者是初级演替的植物社会中，最初出现的生物（　　）

A．类植物

B．绿藻

C．苔藓植物

D．草本植物

15．研究人员观察到两种蝴蝶的幼虫，生活在卷起的叶子中，甲种会将粪便喷放到远处，乙种会将其粪便留在叶子里面。试问下列何者正确（　　）

A．乙种的粪便较易滋生病菌，影响幼虫的发育和健康

B．乙种的粪便气味较重，易吸引天敌

C．甲种比乙种更倾向群居

D．对幼虫的存活而言，甲种栖息位置的选择较乙种重要

16．只分布于某一特定地理区域内的物种被称为特有种。它们只存在限定范围内的合理解释是（　　）

A．天敌特别多

B．环境限制因子特别多

C．该特定地域与其他地理区长时间隔离

D．资源特别丰富

17．有关世界上生物群落的叙述中，下列何者正确（　　）

A．在自然状况下，各地区具有的生物群落多与当地的气候（如温度、雨量）有密切的关系

B．世界各地凡相同名称生物群落内的优势种均大致相同或有很相近的亲缘关系

C．世界各洲各有其特有不同的生物群落，此因各洲有其生物发展史

D．寒原和针叶林是地球上的两个生物群系，前者主要分布在北极圈外围；后者主要沿北回归线两侧分布

18．在两个生态系统的交界处（草场和森林），有一过渡区，这一过渡区中的动物与邻近两个生态系统相比，其特点是（　　）

A．动物种类少

B．动物种类多

C．植食性动物多

D．肉食性动物多

（二）多选题

1．种群具有个体所不具备的各种群体特征，这些特征多为统计指标，常被称为初级种群参数的是（　　）

A．增长率

B．出生率

C．死亡率

D．迁入率

E．迁出率

2．下列关于种群中个体分布型的说法中正确的有（　　）

A．生境条件是否均匀直接影响分布格局的类型

B．动物对食物资源的利用、对生境的选择和种群内的社会关系会影响分布型

C．种群内个体间的竞争往往会导致随机分布

D．种群内个体间的协作关系往往会导致集群分布

E．该种群物种行为与种群分布型无关

3．热带地区拥有较高的生物多样性，下列相关叙述中何者正确（　　）

A．物种的演化是由热带地区开始，因而就时间而言，热带地区较有机会演化出不同的物种

B．热带地区气候稳定，生产量最高，因而就食物链能量转换的角度而言，能够提供较长食物链中各阶层的能量来源

C．热带地区的水平及垂直栖地的多样性高，因而可以提供各种对栖地不同需求动物的安身立命之处

D．热带地区过去陆续有欧美国家的殖民与移民，不断引入外来种，因而增加了当地的物种丰富度

4．在自然状况下，有A、B、C三种不同的树木分布于同一大片的土地上，三者的个体数量几乎相等。走在这片土地上，时常可见A种植物，看到B种植物的机会很少，但可在一定的距离下见到C种植物。根据上述情况，下列叙述中何者正确（　　）

A．三种的族群密度几乎相等

B．三种的族群大小几乎相等

C．A种的空间分布型很可能是任意（随机）分

D．B种的空间分布型很可能是丛生（集中）分布

E．C种的空间分布型很可能是均匀分布

5．下列属于演替过程的有（　　）

A．深水池塘内逐级有挺水植物长出

B．弃耕农田中植物的生长
C．草原上灌木丛的比例增加
D．森林火灾引起的变化
6．虎甲虫是高山草原常见的一种捕食性昆虫，八通关和合欢山二者海拔高度差不多，但八通关经常会有定期（周期性）的火灾发生，而合欢山则否。火会影响生物的生活史及生物特性。下列对两地甲虫生物特性可能差异的叙述中，何者正确（　　）
A．八通关草原的虎甲虫体重较轻、生活史较短、产卵数较多
B．合欢山草原的虎甲虫体重较轻、生活史较短、产卵数较少
C．八通关草原的虎甲虫体重较重、生活史较长、产卵数较多
D．合欢山草原的虎甲虫体重较重、生活史较长、产卵数较少
7．比较面积与地形相似的大陆性岛屿及海洋性岛屿上的物种，下列叙述中何者正确（　　）
A．大陆性岛屿的物种种类较多
B．大陆性岛屿的物种具有较高的迁移能力
C．大陆性岛屿上的物种进化速度通常较快
D．海洋性岛屿的特有种比例较高
E．海洋性岛屿上通常较少有大型哺乳类动物
8．下列哪些现象在演化上没有方向性（　　）
A．火山爆发杀灭附近生物
B．工业黑化
C．台风携带褐飞虱至一新地区而有建立者效应
D．麋鹿的雄性用头上的角打斗以争取配偶
E．酒场设立造成果蝇酒精去氢酵素基因频率的变动

【参考答案】

（一）单选题

1．D　2．D　3．C　4．A　5．D　6．A　7．A　8．C　9．B　10．A　11．D　12．B　13．B　14．B　15．D　16．C　17．A　18．B

（二）多选题

1．BCDE　2．BD　3．ABC　4．ABCDE　5．ABC　6．AD　7．ADE　8．AC

第11讲　生态系统

（柯桥中学　叶建伟）

【知识梳理】

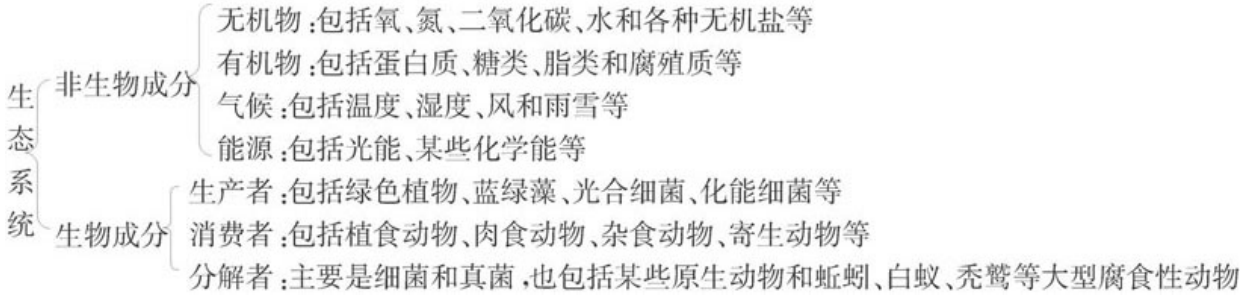
一、生态系统的基本概念

生态系统一词是英国植物生态学家A.G.Tansley于1936年首先提出来的。后来俄罗斯植物学家V.N.Sucachev又从地植物学的研究出发，提出了生物地理群落的概念。这两个概念都把生物及其非生物环境看成是互相影响、彼此依存的统一体。生物地理群落简单说来就是由生物群落本身及其地理环境所组成的一个生态功能单位，所以从1965年在丹麦哥本哈根会议上决定生态系统和生物地理群落是同义语，并确定了生态系统一词的含义，即在一定的空间内生物的成分和非生物的成分通过物质的循环和能量的流动互相作用、互相依存而构成的一个生态学功能单位。

所有生态系统（自然或人工）都具有下面一些共同特性：①生态系统是生态学上的一个主要结构和功能单位，属于生态学研究的最高层次（生态学研究的四个层次由低至高依次为个体、种群、群落和生态系统）；②生态系统内部具有自我调节能力；③具有能量流动、物质循环和信息传递三大功能；④生态系统营养级的数目通常不会超过5～6个；⑤是一个动态系统。

二、生态系统的组成和结构

（一）生态系统的组成



生态系统中的生物成分是依据其在生态系统中的功能划分的，而与系统分类学中的类群无关，所以又被称为生态系统的三大功能类群。

生产者是自养生物。生态系统中的消费者和分解者是直接或间接依赖生产者为生的，所以生产者是生态系统中最基本和最关键的生物成分。

消费者是异养生物，指依靠活的动植物为食的动物。直接吃植物的动物叫植食动物，又叫一级消费者（如蝗虫、兔等）；以植食动物为食的动物叫肉食动物，也叫二级消费者，如食野兔的狐；以后还有三级消费者（或二级肉食动物）、四级消费者（或叫三级肉食动物），直到顶位肉食动物。消费者也包括那些既吃植物也吃动物的杂食动物。消费者还应当包括寄生生物。

分解者也是异养生物，在生态系统中的基本功能是把动植物死亡后的残体分解为比较简单的化合物，最终分解为最简单的无机物并把它们释放到环境中去，供生产者重新吸收和利用。由于分解过程对于物质循环和能量流动具有非常重要的意义，所以分解者在任何生态系统中都是不可缺少的组成成分。通常把细菌和真菌等称为小分解者，把专吃兽尸的兀鹫、食朽木、粪便和腐烂物质的甲虫、白蚁、皮蠹、粪金龟子、蚯蚓和软体动物等称为大分解者。

（二）食物链和食物网

1．食物链

食物链指生态系统中通过一系列的取食和被取食关系建立的能量传递关系。食物链是生态系统营养结构的基本单元。可分为捕食食物链、碎屑食物链和寄生食物链等三种类型，在任何生态系统中都存在着两种最主要的食物链，即捕食食物链和碎屑食物链。

（1）捕食食物链：以活的动植物为起点的食物链。如草→兔→狐狸。捕食食物链虽然是人们最容易看到的，但它在陆地生态系统和很多水生生态系统中并不是主要的食物链，只在某些水生生态系统中，捕食食物链才会成为能流的主要渠道（图3-11-1）。

（2）碎屑食物链：以死生物或腐屑为起点的食物链。如枯枝落叶→真菌→花鼠。在大多数陆地生态系统和浅水生态系统中，生物量的大部分不是被取食，而是死后被微生物所分解，因此能流是以通过碎屑食物链为主（图3-11-1）。

（3）寄生食物链：以寄生方式取食活的有机体而构成的食物链。如羊→跳蚤→细滴虫。

2．食物网

在生态系统中生物之间实际的取食和被取食关系并不像食物链所表达的那么简单，而是食物链之间彼此交错联结而形成的一个网状结构即生态系统的食物网（图3-11-2）。一个复杂的食物网是使生态系统保持稳定的重要条件，一般认为，食物网越复杂，生态系统抵抗外力干扰的能力就越强，食物网越简单，生态系统就越容易发生波动和毁灭。

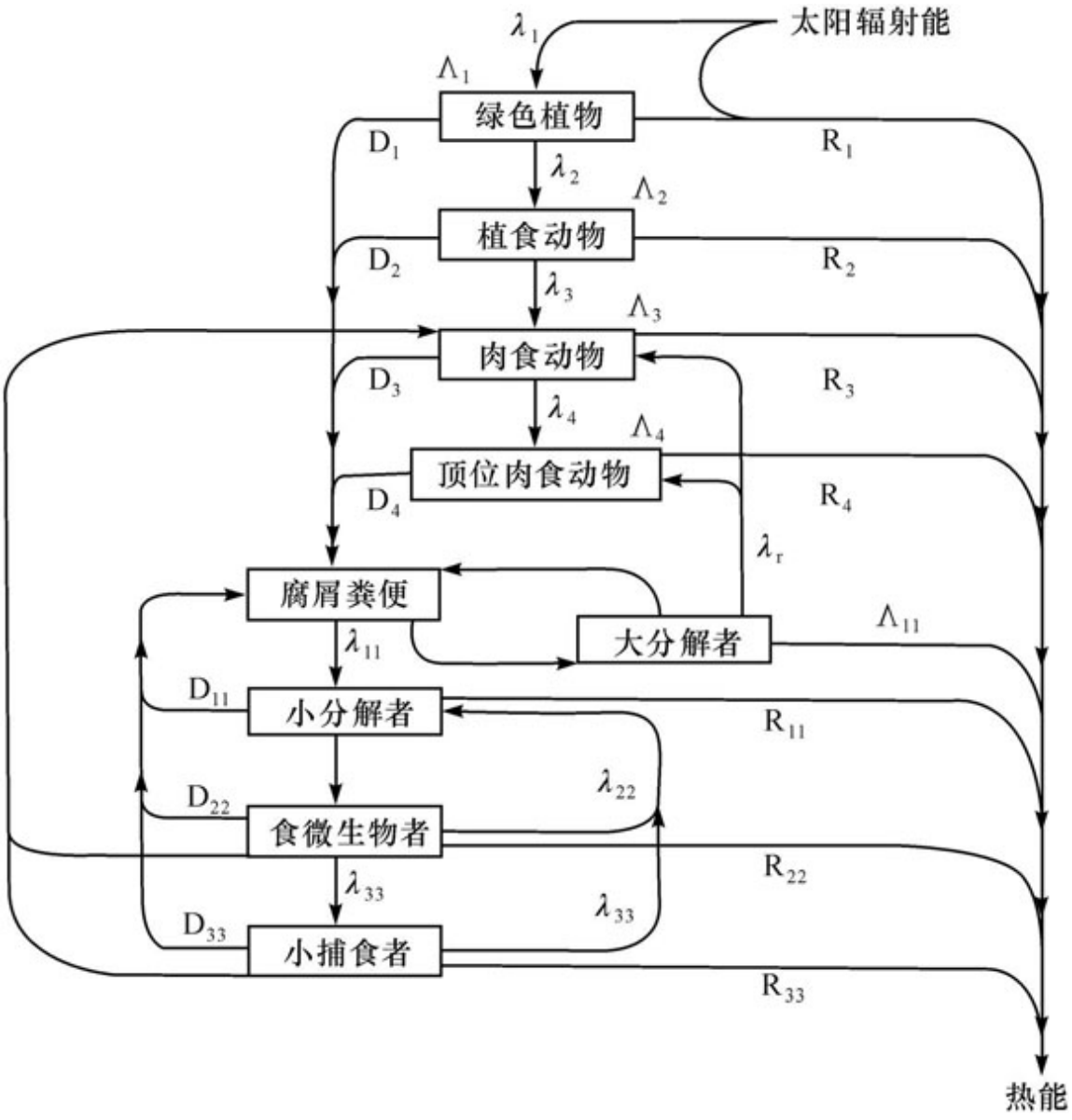


图3-11-1　捕食食物链和碎屑食物链及两类食物链之间的相互关系

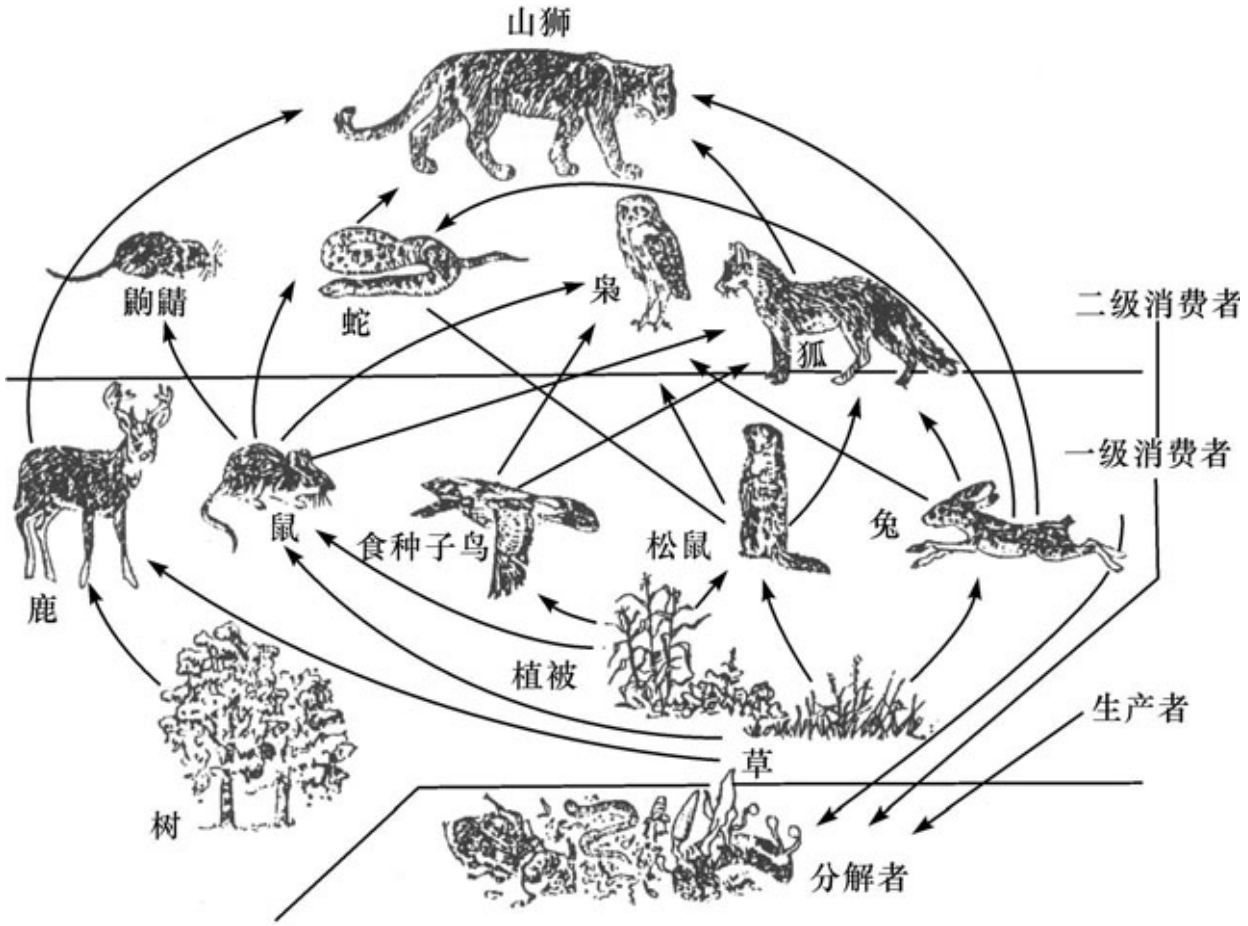


图3-11-2　一个简化的陆地生态系统食物网

（三）营养级和生态金字塔

1．营养级

一个营养级是指处于食物链某一环节上的所有生物种类的总和。营养级之间的关系已经不是指一种生物和另一种生物之间的营养关系，而是指一类生物和处在不同营养层次上另一类生物之间的关系（图3-11-3）。绿色植物等所有自养生物构成第一个营养级。以生产者为食的植食动物属于第二个营养级。第三个营养级包括所有以植食动物为食的肉食动物。以此类推，还可以有第四个营养级（即二级肉食动物营养级）和第五个营养级等。有时一种可能同时占有多个营养级，如螳螂既捕食植食性昆虫又捕食肉食性昆虫，它就处在两个营养级上。一个生态系统中营养级的数目不可能很多，一般限于3～5个。营养级的位置越高，归属于这个营养级的生物种类和数量就越少。

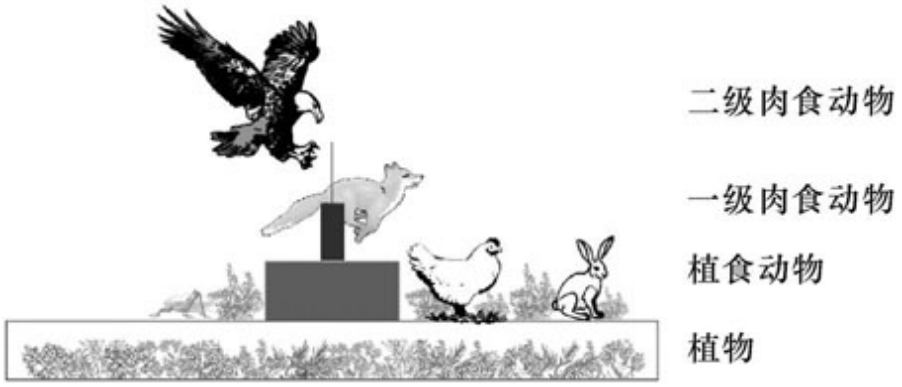


图3-11-3　生态系统中的营养级图解

2．生态金字塔（图3-11-4）

生态金字塔是指生态系统中各个营养级之间的数量关系，这种数量关系可采用生物量（各营养级生物组织的干重总量）单位、能量（各营养级所固定的总能量值）单位和个体数量单位，采用这些单位所构成的生态金字塔就分别称为生物量金字塔、能量金字塔和数量金字塔。

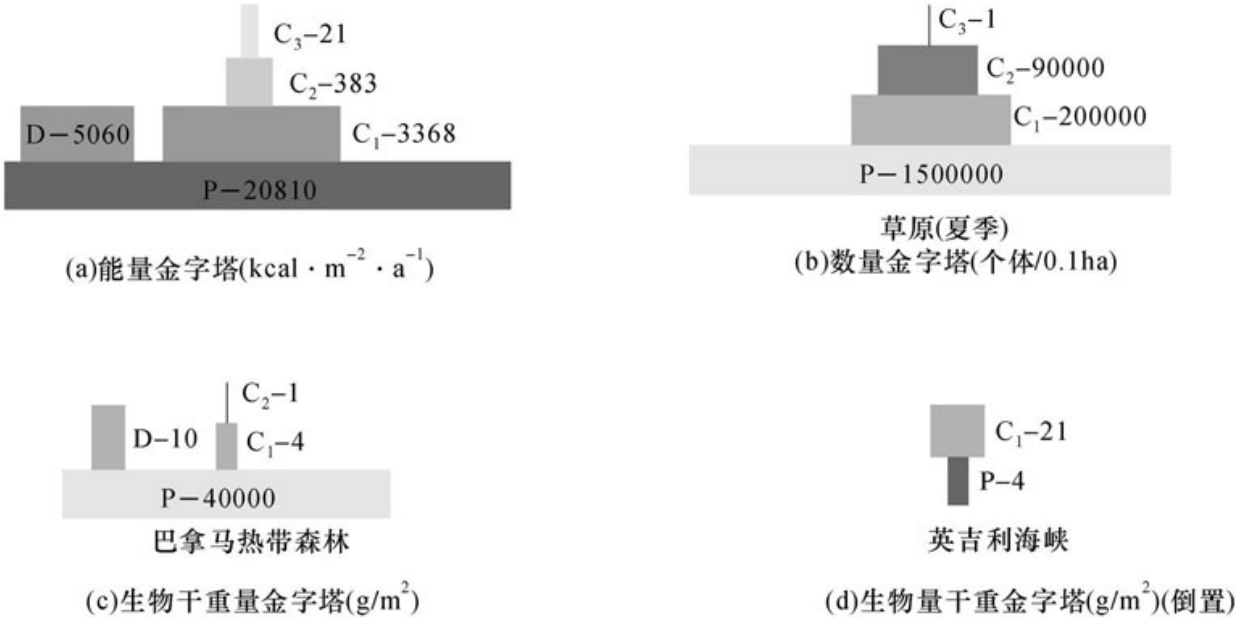


图3-11-4　生态金字塔的3种类型

P表示生产者；C表示消费者；D表示分解者

生物量金字塔和数量金字塔在有些情况下可以呈现出倒锥形。由于个体重量悬殊，一棵桑树可供养成千上万只蚕，此时数量金字塔就表现为明显的上宽下窄的倒金字塔。在湖泊和开阔海洋这样的水域生

态系统中，微小的单细胞藻类是主要的初级生产者，这些微型藻类世代历期短、繁殖迅速，只能累积很少的有机物质，并且浮游动物对它们的取食强度很大，因此生物量很小，常表现为一个倒锥形的生物量金字塔。这种反常情况是因为浮游植物个体小含纤维素少，因此可以整个被下一个营养级的浮游动物所吞食和消化，并能迅速转化为下一个营养级的生物量。

3．生态效率

生态效率是指各种能流参数中的任何一个参数在营养级之间或营养级内部的比值关系，这种比值关系也可以应用于种群之间或种群内部以及生物个体之间或生物个体内部，不过当应用于生物个体时，这种效率更常被认为是一种生理效率。常用的生态效率有同化效率、生长效率、利用效率、林德曼效率等四种。

$$(1)\text{同化效率}\left(\frac{A_n}{I_n}\right)=\frac{\text{固定的日光能}}{\text{吸收的日光能}}(\text{植物})=\frac{\text{同化的食物能}}{\text{摄取的食物能}}(\text{动物})$$

$$(2)\text{生长效率}\left(\frac{P_n}{A_n}\right)=\frac{n\text{营养级的净生产量能量}}{n\text{营养级的同化能量}}$$

$$(3)\text{利用效率}\left(\frac{I_{n+1}}{P_n}\right)=\frac{n+1\text{营养级的摄食能量}}{n\text{营养级的净生产量}}$$

$$(4)\text{林德曼效率}\left(\frac{I_{n+1}}{I_n}\right)=\frac{n+1\text{营养级的摄食能量}}{n\text{营养级的摄食能量}}$$

（若n营养级为植物，I_n即为植物吸收的日光能）

$\frac{I_{n+1}}{I_n}=\frac{A_n}{I_n}\times\frac{P_n}{A_n}\times\frac{I_{n+1}}{P_n}$，即林德曼效率相当于同化效率、生长效率与利用效率的乘积。

林德曼效率也可表示为：$\left(\frac{A_{n+1}}{A_n}\right)=\frac{n+1\text{营养级的同化能量}}{n\text{营养级的同化能量}}$

公式中的能流参数说明：

I（摄取或吸收）：表示一个生物（生产者、消费者、分解者）所摄取的能量；对植物来说，I代表被光合作用色素所吸收的日光能值。

A（同化）：表示在动物消化道内被吸收的能量（吃进的食物不一定都能吸收）。对分解者来说是指细胞外产物的吸收；对植物来说是指在光合作用中所固定的日光能，即总初级生产量（GP）。

P（生产量）：代表呼吸消耗后所净剩的能量值，它以有机物质的形式累积在生态系统中。对植物来说，它是指净初级生产量（NP）；对动物来说，它是同化量扣除呼吸消耗后的生产量。

不同营养级或同一营养级的不同生物的生态效率有一定的差异。一般说来，大型动物的生长效率要低于小型动物，老年动物的生长效率要低于幼年动物。肉食动物的同化效率要高于植食动物。恒温动物的同化效率很高（约为70%），但生长效率极低（约为1%～3%）。变温动物的同化效率虽然比较低（约为30%），但生长效率极高（约为16%～37%）。把这两种生态效率综合起来分析，不难看出，变温动物的总能量转化效率要比恒温动物高得多。例如，蝗虫每吃50kg植物可以长6.85kg肉（包括构成身体的各种组织），而田鼠每吃50kg植物只能长0.7kg肉（包括各种组织）。可见，变温动物是生态系统中更有效的“生产者”。利用效率的大小则可以看出一个营养级对下一个营养级的捕食压力。而林德曼效率在各生态系统中基本上是一个常数，即10%，因此10%的林德曼效率被认为是重要的生态学规律。

4．生态系统的反馈调节与生态平衡

生态系统是一个开放系统。自然界生态系统的一个很重要的特点就是它常常趋向于达到一种稳态或平衡状态，使系统内的所有成分彼此相互协调。这种平衡状态是靠一种自我调节过程来实现的。由于生态系统具有自我调节机制，所以在通常情况下，生态系统会保持自身的生态平衡。生态平衡是指生态系统通过发育和调节所达到的一种稳定状况，它包括结构上的稳定、功能上的稳定和能量输入输出上的稳定。

生态系统的自我调节主要是依靠反馈调节实现。反馈有两种类型，即负反馈和正反馈。负反馈是比较常见的一种反馈，它的作用是能够使生态系统达到和保持平衡或稳态，反馈的结果是抑制和减弱最初发生变化的那种成分所发生的变化。另一种反馈叫正反馈，正反馈是比较少见的，它的作用刚好与负反馈相反，即生态系统中某一成分的变化所引起的其他一系列变化，反过来不是抑制而是加速最初发生变化的成分所发生的变化，因此正反馈的作用常常使生态系统远离平衡状态或稳态。如一个湖泊受到了污染，鱼类的数量就会因为死亡而减少，鱼体死亡腐烂后又会进一步加重污染并引起更多鱼类死亡。这就是一个典型的正反馈调节，正反馈的作用，使污染越来越严重。

三、生态系统的功能

（一）生态系统的能量流动

生态系统中的能量流动开始于绿色植物的光合作用和绿色植物对太阳能的固定。生态系统中的能量流动就是从植物固定太阳能开始的。

1．生态系统的初级生产、生物量

因为绿色植物固定太阳能是生态系统中第一次能量固定，所以植物所固定的太阳能或所制造的有机物质就称为初级生产量或第一性生产量，也可称为初级生产力。动物虽然也能制造自己的有机物质和固定能量，但它们不是直接利用太阳能，而是靠消耗植物的初级生产量，因此，动物和其他异养生物的生产量就称为次级生产量或第二性生产量。测定初级生产量的方法有很多种，如收割法、二氧化碳同化法、黑白瓶法、放射性同位素测定法、叶绿素测定法以及pH值测定法。

初级生产量中，有一部分是被植物自己的呼吸消耗掉了，剩下的部分才以可见有机物质的形式用于植物的生长和生殖，这部分生产量就称为净初级生产量，而把包括呼吸消耗在内的全部生产量称为总初级生产量。从总初级生产量（GP）中减去植物呼吸所消耗的能量（R）就是净初级生产量（NP），即GP＝NP＋R。净初级生产量代表着植物净剩下来可提供给生态系统中其他生物（主要是各种动物和人）利用的能量。

净生产量一部分可能随着季节的变化而被分解了，另一部分则以生活有机质的形式长期积存在生态系统之中。在某一特定时刻调查时。生态系统单位面积内所积存的这些生活有机质就叫生物量。可见，生物量实际上就是净生产量的累积量，某一时刻的生物量就是在此时刻以前生态系统所累积下来的活有机质总量。生物量的概念既可用于植物，也可应用动物。

生产量和生物量是两个完全不同的概念，生产量含有速率的概念，是指单位时间单位面积上的有机物质生产量，而生物量是指在某一特定时刻调查时单位面积上积存的有机物质。

因为GP＝NP＋R（GP表示总初级生产量，NP表示净初级生产量，R表示呼吸消耗量），所以，若GP－R＞0，则生物量增加；若GP－R＜0，则生物量减少；若GP－R＝0，则生物量不变。对于生态系统中某一营养级来说，总生物量不仅因生物呼吸而消耗，也由于受更高营养级动物的取食和生物的死亡而减少，所以，dB/dt＝NP－R－H－D

其中的dB/dt代表某一时期内生物量的变化，H代表被较高营养级动物所取食的生物量，D代表因死亡而损失的生物量。

一般说来，在生态系统演替过程中，通常GP＞R，NP为正值，这就是说，净生产量中除去被动物取食和死亡的一部分，其余则转化为生物量，因此生物量随时间推移而渐渐增加，表现为生物量的增长

（图3-11-5所示）。当生态系统的演替达到顶极状态时，生物量便不再增长，保持一种动态平衡（此时GP＝R）。此时生态系统的生物量最大，但净生产量最小。

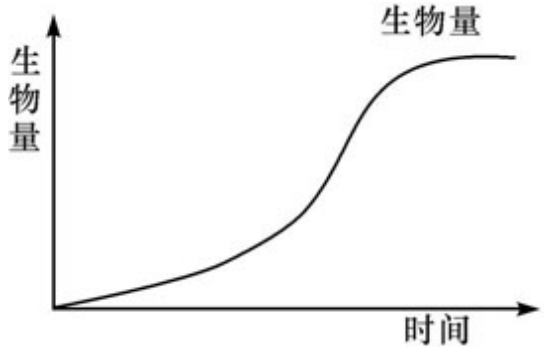


图3-11-5　生态系统的生物量随时间增长

生态系统的初级生产量和生物量受温度和雨量的影响最大，因此，地球各地的初级生产量和生物量随气候的不同而相差极大。总的来说，海洋的净初级生产量要比陆地低得多。在陆地生态系统中净初级生产量最高的是热带雨林，其次为温带森林，再次为温带草原，最低的为冻土带。生物量高低排序与净初级生产量的排序基本相同，也是热带雨林＞温带森林＞温带草原＞冻土带。在海洋生态系统中净初级生产量最高的是上涌区（即深海的营养水向表层涌流），其次是海岸区，最低的是开阔大洋区。其中上涌区的净初级生产量比冻土带还要高，仅次于温带草原的净初级生产量。

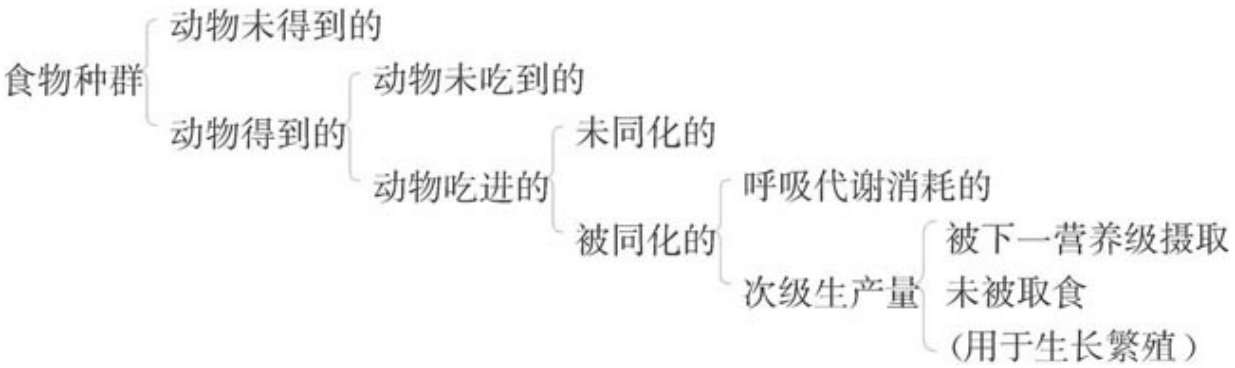
净初级生产量是随着生态系统的发育而变化的。一般说来，林地发育到干材期的时候生产力达到最大，此时乔木占最大优势，而下木层发育最弱。此后随着树龄的增长，用于呼吸的总初级生产量会越来越多，而用于生长的总初级生产量会越来越少，即净初级生产量越来越少。当然净生产量和总生产量的比值（NP/GP）也会随着生态系统的成熟而下降。

2．生态系统的次级生产量

（1）次级生产量的产生过程

次级生产量是指生态系统中消费者的生产量，一级、二级、三级……消费者的生产量都属于次级生产量。次级生产量是动物用于生长、发育和繁殖的那部分能量，包括现存的生物量、被下一营养级捕食的能量以及被分解者分解的能量。

次级生产量的一般生产过程可概括如下：



上述图解是一个普适模型，它可应用于任何一种动物或一个营养级，包括植食动物和肉食动物。对植食动物来说，食物种群是指植物（初级生产量），对肉食动物来说，食物种群是指动物（次级生产量）。

对一个动物种群来说，次级生产量等于动物吃进的能量减掉粪尿所含有的能量，再减掉呼吸代谢过程中的能量损失。可用下列公式表示：

P＝C－FU－R

其中P代表次级生产量，C代表动物从外界摄取的能量，FU代表以粪、尿形式损失的能量，R代表呼吸过程中的能量损失。

虽然海洋生态系统的初级生产量比陆地生态系统的初级生产量小得多（海洋初级生产量总和约为陆地初级生产量的1/3），但由于海洋生态系统中的植食动物有着极高的取食效率，海洋动物利用海洋植物的效率约相当于陆地动物利用陆地植物效率的5倍，因此海洋生态系统的次级生产量总和却比陆地高得多。

3．能量流动

图3-11-6是Cedar Bog湖能量流动的一个定量分析图。这一能流定量分析图说明能量流动的重要特点：①生态系统中的能量流动是单方向和不可逆转的。②能量在流动过程中逐渐减少，这是因为在每一个营养级生物的新陈代谢活动（呼吸）都会消耗相当多的能量，这些能量最终都将以热的形式消散到周围空间中去。能量流动的这两个特点告诉我们：任何生态系统都需要不断得到来自系统外的能量补充，以便维持生态系统的正常功能。如果在一个较长的时期内断绝对一个生态系统的能量输入（太阳辐射能或现成有机物质），这个生态系统就会自行消亡。

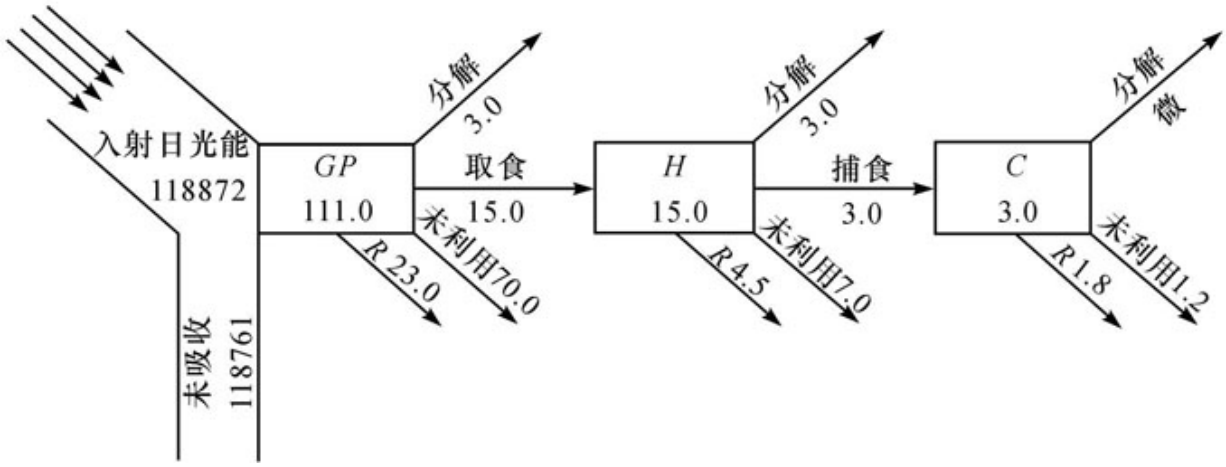


图3-11-6　Cedar Bog湖能量流动的定量分析

GP：总初级生产量；H：植食动物；C：肉食动物；R：呼吸［单位：cal/（$cm^2 \cdot a$）］

根据生态系统的能量输入和输出以及在系统内部的转化过程，生态学家建立了生态系统能量流动的普适模型（图3-11-7）。

从这个模型中我们可以看出外部能量的输入情况以及能量在生态系统中的流动路线及其归宿。普适的能流模型是以方框表示各个营养级和贮存库，并用粗细不等的能流通道把这些方框按能流的路线连接起来，能流通道的粗细代表能流量的多少，而箭头表示能量流动的方向。最外面的大方框表示生态系统的边界。自外向内有两个能量输入通道，即日光能输入通道和现成有机物质输入通道。这两个能量输入通道的粗细将依具体的生态系统而有所不同，如果日光能的输入量大于有机物质的输入量则大体上属于自养生态系统；反之，如果现成有机物质的输入构成该生态系统能量来源的主流，则被认为是异养生态系统。大方框自内向外有三个能量输出通道，即在光合作用中没有被固定的日光能、生态系统中生物的呼吸以及现成有机物质的流失。

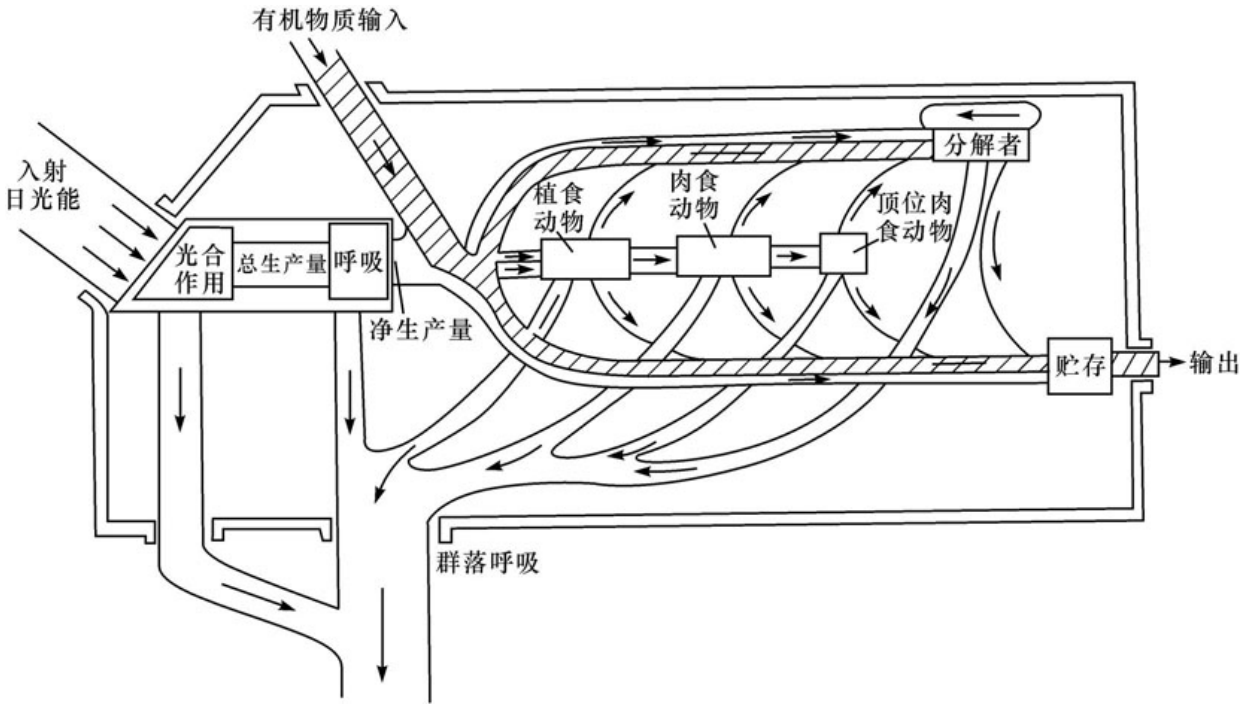


图3-11-7　普适生态系统能流模型

（二）生态系统的物质循环

1．物质循环的概念

自然界的各种化学元素（包括构成原生质必不可少的元素），在生物圈里具有从环境进入生物体，沿着食物链而在不同生物之间流转，最后又回到环境中去的趋势。由于这种循环带有全球性，所以称为生物地球化学循环，简称生物地化循环。

生物地化循环可以用“库”和“流通率”两个概念加以描述。库是由存在于生态系统某些生物或非生物成分中一定数量的某种化学物质所构成的，如在一个湖泊生态系统中，水体中磷的含量可以看成是一个库，浮游植物中的磷含量又是一个库。又如大气中碳的含量是一个库，植物体内的碳含量是一个库，当然植食性动物、肉食性动物体内的碳含量也分别是生物圈的碳库。这些库借助有关物质在库与库之间的转移而彼此相互联系。物质在生态系统单位面积（或单位体积）和单位时间的移动量就称为流通率。周转率和周转时间可以更为直观地描述生态系统物质流通率。周转率就是出入一个库的流通率（单位/天）除以该库中的营养物质总量，即

$$\text{周转率}=\frac{\text{流通率}}{\text{库中营养物质总量}}$$

最大的周转率发生在从非生物库到生产者库的流通中和从生产者库到非生物库的流通中。因此生态系统中，最易遭受短期干扰的库就是生产者的营养库。

周转时间就是库中的营养物质总量除以流通率，即

$$\text{周转时间}=\frac{\text{库中营养物质总量}}{\text{流通率}}$$

周转时间表达了移动库中全部营养物质所需要的时间。周转率越大，周转时间就越短。

生物地化循环在受人类干扰以前，一般是处于一种稳定的平衡状态，这就意味着对主要库的物质输入与输出达到平衡。对于一个顶极生态系统、一个主要的地理区域和整个生物圈来说，各个库的输入和输出之间是平衡的。例如，大气中主要气体（氧、二氧化碳和氮）的输入和输出都是处于平衡状态的，海洋中的主要物质也是如此。当然，这种平衡不是在短期内达到，是在生态系统的发育过程中逐渐形成的，因此在生态演替过程各个库的输入和输出之间是不平衡的，通常从非生物库到生物库的流通量大于从生物库到非生物库的流通量。

2．物质循环的类型

生物地化循环可分为三大类型，即水循环、气体型循环和沉积型循环。在气体型循环中，物质的主要储存库是大气和海洋，其循环与大气和海洋密切相联系，具有明显的全球性，循环性能最为完善。凡属于气体型循环的物质，其分子或某些化合物常以气体形式参与循环过程，属于这类的物质有氧、二氧化碳、氮、氯、溴和氟等。参与沉积型循环的物质，其分子或化合物绝无气体形态，这些物质主要是通过岩石的风化和沉积物的分解转变为可被生态系统利用的营养物质。沉积型循环的全球性不如气体型循环表现得那么明显，循环性能一般也很不完善。属于沉积型循环的物质有磷、钙、钾、钠、镁、铁、锰、碘、铜、硅等，其中磷是较典型的沉积型循环物质。

（1）水循环

水循环是自然循环中最重要的一个，可以说没有它就没有生态系统的一切活动。水循环的动力是太阳能，大气是全球水循环的关键因素。水循环的主要路线是水从地球表面通过蒸发（包括植物的蒸腾作用）进入大气，同时又不断地通过降水从大气返回地球表面。每年地球表面的蒸发量与全球降水量是相等的，因此，这两个相反的过程处于一种动态平衡状态。

（2）碳循环（图3-11-8）

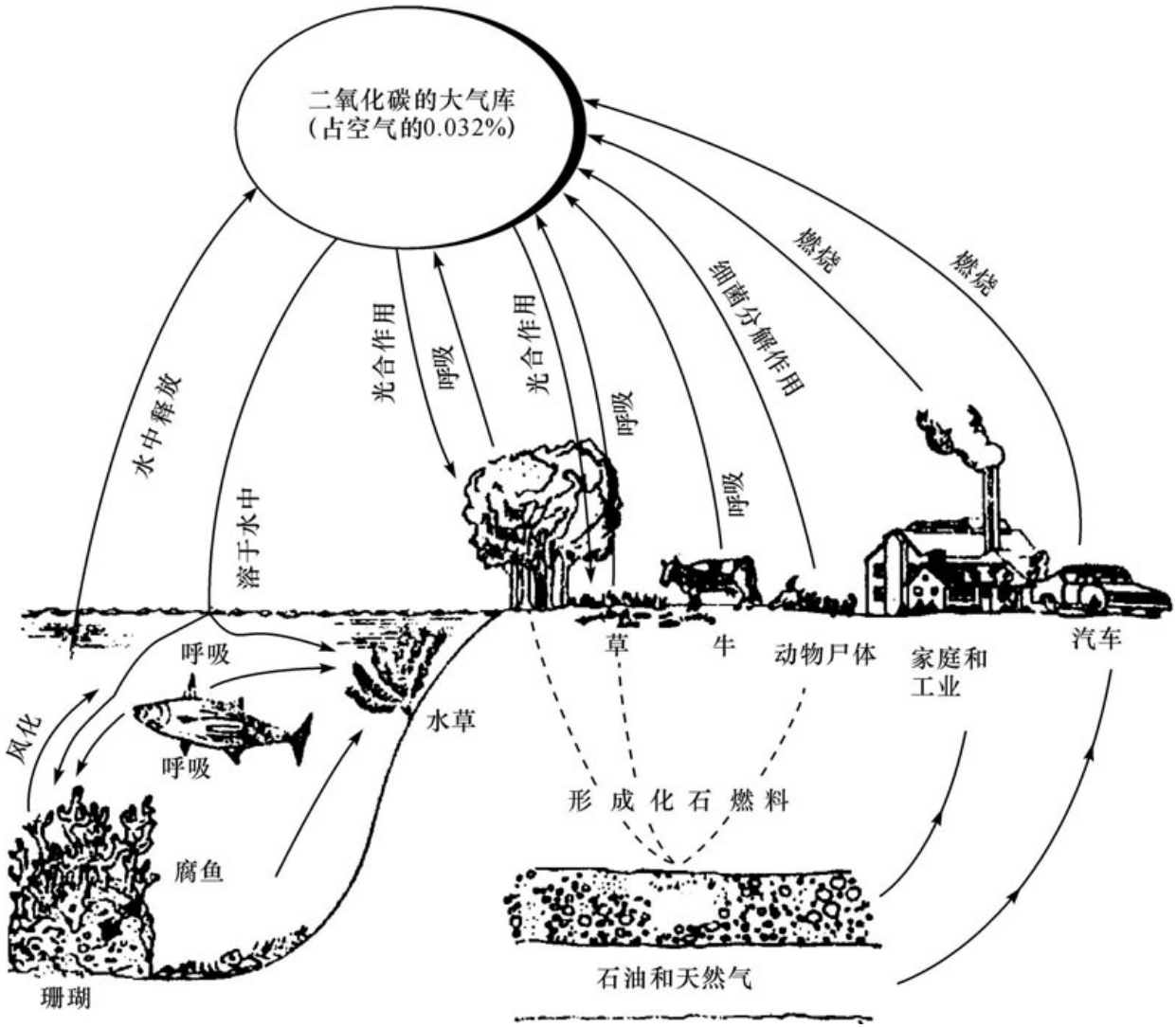


图3-11-8　碳的循环路线

无机环境中与碳循环有积极作用的两个碳库是水圈和大气圈。碳在无机环境与生物群落之间以CO_2的形式进行循环。①绿色植物通过光合作用固定大气中的CO_2。②绿色植物合成的含碳有机物通过食物链转移到动物体内。③动、植物通过呼吸作用，把CO_2放回大气中。④动物的排泄物、动植物的遗体被分解者利用，分解后产生的CO_2也返回大气中。⑤人类燃烧化石燃料，使大量CO_2进入大气，从而使储存于地层中的碳加入到碳循环中。人类对碳循环的主要影响是引起“温室效应”。

（3）氮循环（图3-11-9）

氮循环的很多环节，都必须有特定的微生物利用特殊的代谢才能完成。①固氮作用：由于大气成分的79%是氮气，所以氮最重要的储存库就是大气圈，但是大多数生物又不能直接利用氮气，只有被固定为无机氮化合物（主要是硝酸盐和氨）以后，才能被生物所利用。固氮作用包括高能固氮、生物固氮和工业固氮。最重要的是生物固氮，已知有固氮能力的细菌和藻类很多，其中最突出的是根瘤菌。②氨化作用：指将蛋白质、氨基酸、尿素及其他含氮化合物转变为氨或铵化物的过程。由腐生性的细菌和真菌完成。③硝化作用：指将氨或铵盐转化为亚硝酸盐、硝酸盐的过程。由亚硝化细菌和硝化细菌完成。④反硝化作用（脱氮作用）：指在无氧或缺氧条件下，把硝酸盐等较复杂的含氮化合物转化为N_2、NO和N_2O的过程，这个过程是由细菌和真菌参与的。

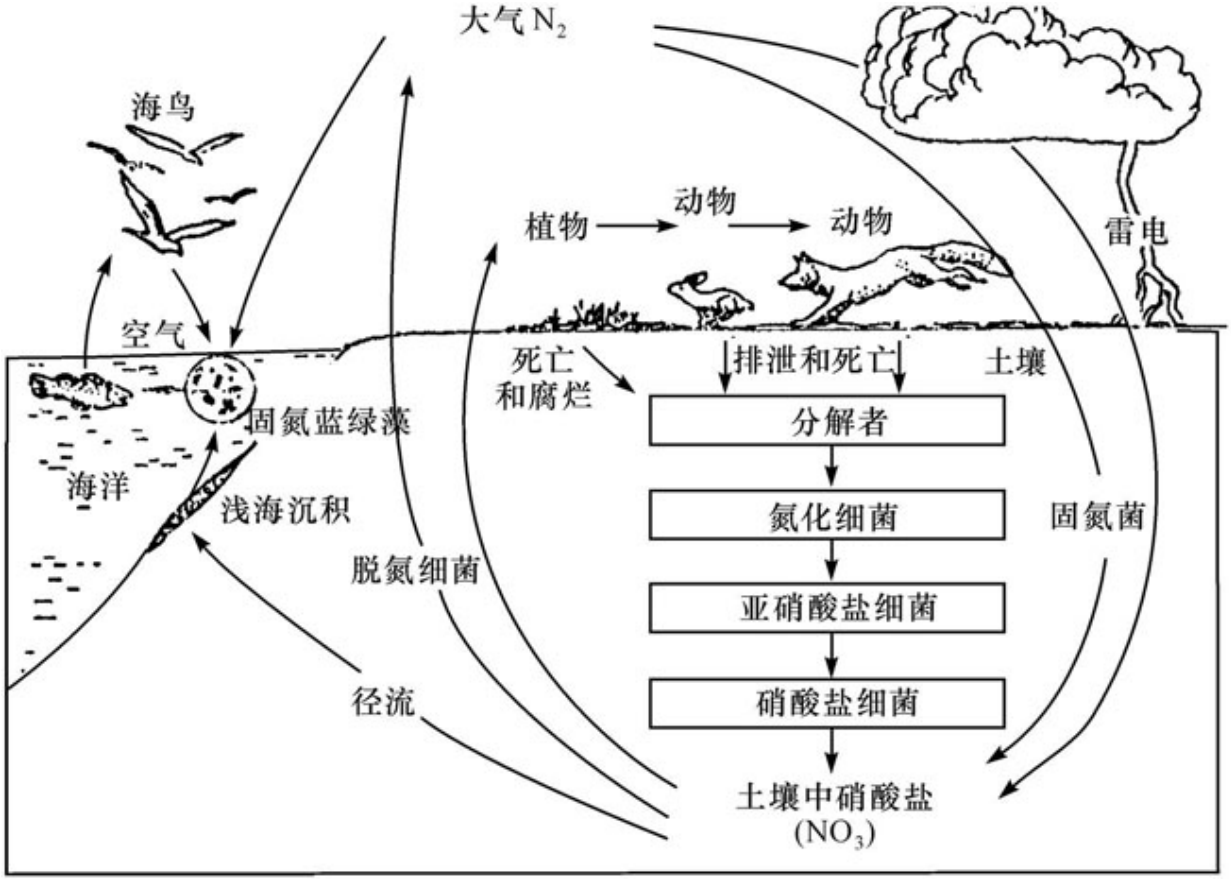


图3-11-9　氮的循环

四、环境问题

（一）人类对大气层的破坏

1．酸雨污染

酸雨是pH小于5.6的酸性降水（不是单纯的雨，还包括雪、雾、尘埃等各种含有酸性物质的沉降物），是空气中的SO_2和NO在强光进行光化学氧化作用，并和空气中的水汽结合形成硫酸和硝酸造成的降水污染。工厂排放的煤烟尘是SO_2的最主要来源，汽车尾气和喷气式飞机的尾气则是NO的最主要来源。酸雨会直接伤害植物，如树叶枯黄脱落，种子发芽率、幼苗成活率和光合效率降低；土壤酸化，肥力下降；水域酸化，毒害水生生物；腐蚀建筑物。防止酸雨危害，一方面应改善和减少化石燃料燃烧，另一方面应绿化环境，多种一些能吸收SO_2等气体的柳杉、菊花等植物。

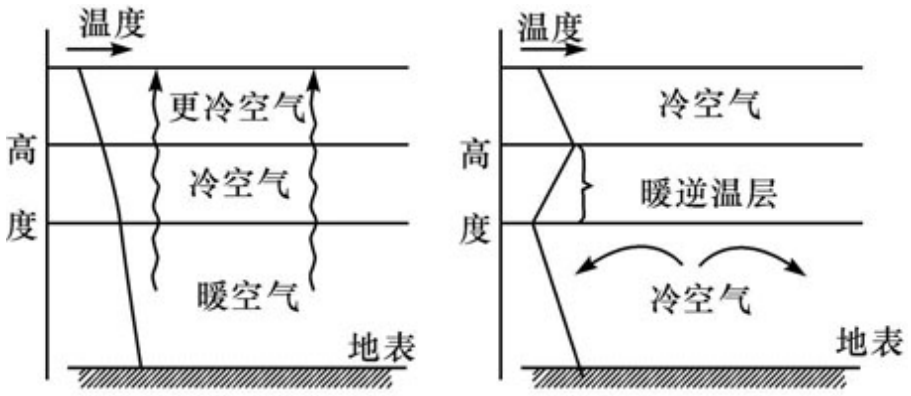
2．光化学烟雾

汽车尾气中的一氧化氮和碳氢化合物在阳光中的紫外线的作用下，发生各种光化学反应，形成臭氧、二氧化氮、醛类和过氧乙酰基硝酸酯（PAN）等气态的有害物质，再与大气中的粒状污染物混合，形成浅蓝色烟雾。由于这种烟雾的污染物主要是光化学作用形成的，故称光化学烟雾。光化学烟雾中，臭氧是主要成分之一，约占10%，对植物伤害严重；醛类刺激人眼；PAN不仅有害于植物和人眼，而且还是十分危险的致癌物。

空气污染达到毒害的程度还常常伴随着一种气候条件，即逆温现象（图3-11-10）。在正常情况下，靠近地面的暖空气上升，把污染物往上带，并把它们扩散到更高的高度，气温则随离地面的高度的增加而降低。而在逆温时，冷空气位于暖空气的下方，城市上空暖空气上升就会受阻，污染物停留在靠近地面的冷空气中。

3．温室效应

大气中的CO_2、CH_4、N_2O及氯氟烃等被称为温室气体。温室气体能无阻挡地让太阳的短波辐射射向地面，并部分吸收地表向外发射的长波辐射（如图3-11-11），而使地面温度上升，如同玻璃温室一般，于是人们把温室气体的这种功能称为温室效应。温室效应使全球气候变暖，极地冰雪融化，导致海平面上升。



逆温现象图解

(左)暖空气上升,扩散污染物;　(右)由于逆温现象,压在冷空气上面的暖空气层阻碍污染物上升和进行扩散

图3-11-10　逆温现象

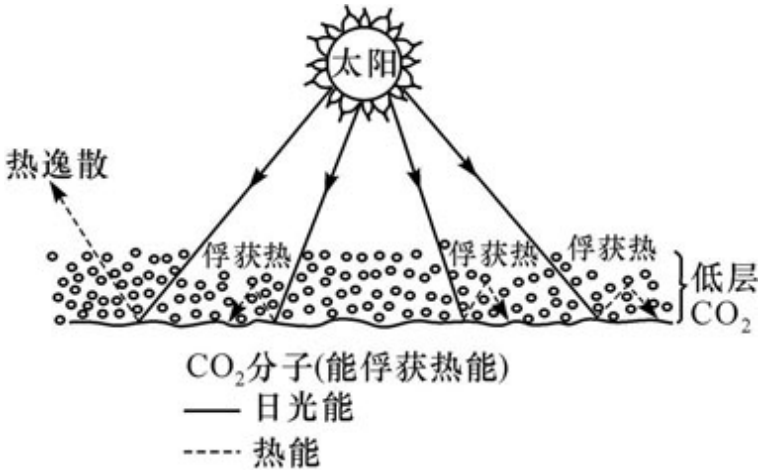


图3-11-11　温室效应

4．臭氧层的破坏

在地面空气中的臭氧是一种污染物，但在大气层的上部，位于地球上空25～40km的大气平流层中的臭氧是地球的一个保护层，能阻止过量的紫外线到达地面以免伤害生物，引起突变。但是，近几十年来，人们发现平流层臭氧浓度正在减少，南极上空已出现臭氧“空洞”。臭氧层的破坏是人类活动造成的，人类排放的氯氟烃（用于冷冻机、电冰箱、空调等的制冷剂）和氮氧化（产生于超音速飞机、汽车尾气和氮肥）等气体促使臭氧分解。

（二）水体污染

1．水体富营养化

由于生活污水、工业废水和农田排水中含较多的N、P等元素，这些元素大量地进入水体后使藻类植物等大量繁殖，这些生物死亡以

后，先被需氧微生物分解，使水体中溶解氧的含量明显减少。接着，生物遗体又会被厌氧微生物分解，产生出硫化氢、甲烷等有毒物质，使鱼类和其他水生生物窒息或中毒死亡。这就是水体富营养化现象。富营养化发生在池塘和湖泊等淡水生态环境中叫做水华或水花，发生在海水中叫做赤潮。

2．有毒物质的污染

进入水体中的有毒污染物有两类：一类是指汞、镉、铅、铜、铅、锌等重金属；另一类则是有机氯、有机磷、多氯联苯、芳香族氨基化合物等化工产品。

生物富集作用：生物从环境摄取重金属和脂溶性的DDT、六六六等有机氯杀虫剂后，在体内积累，并沿食物链转移。其结果是污染物的浓缩，营养级越高，富集能力越强，积累越多，呈现倒金字塔形。

水体污染还包括热污染、油污染、悬浮固体物污染等等。

（三）土壤污染

土壤污染是指人类活动产生的污染物通过各种途径输入土壤，其数量和速度超过了土壤净化的能力，导致土壤正常功能失调，影响到作物的生长发育和破坏天然植被。污染物还可能迁移转化，引起大气或水体污染，通过食物链，最终影响到人类的健康。土壤污染物主要有化肥、农药、废物（垃圾、废渣和污水）、酸雨等。

（四）其他环境问题

除上述各种环境污染外，人类面临的其他重大全球性环境问题还有淡水资源短缺、土地荒漠化、生物多样性受破坏等。

【例题解析】

例1　在生态金字塔中，哪种不可能形成倒金字塔形（　　）

A．数量金字塔

B．生物量金字塔

C．能量金字塔

D．都不可能

解析　生态金字塔是指各个营养级之间的数量关系，这种数量关系可采用生物量单位、能量单位和个体数量单位，采用这些单位所构成的生态金字塔就分别称为生物量金字塔、能量金字塔和数量金字塔。生物量金字塔以生物组织的干物质表示每个营养级中生物的总重量。一般来说营养级提高生物量则减少。但是，湖泊和开阔海洋这样的水域生态系统中，生产者（浮游植物）个体小，生活史短，积累的有机物少，并且浮游动物对它们的取食强度很大，因此食物量很小，

表现为倒锥形的生物量金字塔。数量金字塔在有些情况下也可呈现倒锥形，例如在夏季的温带森林中，生产者（树木）的个体数就比植食动物的个体数量少得多。能量金字塔是利用各营养级所固定的总能量值的多少来构成的生态金字塔。由于上一营养级在单位时间单位面积上所固定的能量绝不会少于靠吃它们为生的下一营养级生物所生产的能量，因此能量金字塔不可能形成倒锥形。

答案　C

例2　下列生态系统中，总初级生产量最高的是（　　）

A．温带草原

B．热带草原

C．温带常绿阔叶林

D．热带雨林

解析　在一段时间内，生态系统中某个种群或群落生产出来的有机物总量，叫生态系统的生产量（或称生产力）。生产量含有速率的概念，要注意与生物量（无速率含义）的区别。生产量分为初级生产量和次级生产量两个水平。（1）初级生产量：绿色植物通过光合作用，把太阳能转变成植物体内的化学能，这过程称为“初级生产”，它所固定的总能量（或形成的有机物总量）称为初级生产量。又分①总初级生产量：在某单位时间内生产者所固定的全部太阳能；②净初级生产量：总初级生产量减去生产者自身呼吸消耗后余下的数值。（2）次级生产量是指生态系统中有机物质的再生产。在单位时间内动物体的同化量减去其呼吸量余下的值。实际上它就是动物用于生长、发育和繁殖的那部分能量，即所有消费者（包括一级、二级……消费者）的“净生产量”。热带雨林的植被种类和数量都比较丰富，以及光、温度和水分等非生物因素都比较适宜，因此是陆地生态系统中总初级生产量最高的，同时净初级生产量也最高［2000g/（m^2·a）］。海洋的净初级生产量要比陆地低得多（1/2），但是海洋的次级生产量却很高（是陆地的3倍）。另外要注意的是，热带雨林整个生态系统的生物量增长率最小（接近于0）要与净初级生产量最高相区别。

答案　D

例3　生态系统发展过程中其结构和功能特征会发生明显变化，其中（　　）（多选题）

A．发展期的生态系统，P/R（总生产量/总呼吸量）＞1；而在成熟稳定期P/R＜1

B．生态系统从幼年期向成熟期的发展过程中，矿质营养循环由相对开放趋向于更加封闭

C．生态系统从幼年期向成熟期的发展过程中，有机化合物多样性逐渐增加，群落代谢过程中向环境中排出的产物增加。

D．发展期系统内部的熵值明显较成熟期为高

解析　生态系统与生物有机体一样，具有从幼期到成熟期的发育过程，这一过程称为生态系统的发育。群落演替是生态系统发育的主要部分。生态系统从幼期到成熟期的过程，往往是结构趋于复杂、多样性增加、功能完善和稳定性增加。①群落结构特征：生态系统演替过程中，群落多样性增加。某一物种占绝对优势的情况减少，物种均匀性增大。幼期的食物链结构简单，多是直线状的，随后发展成为立体式网络结构。②能量动力学的特征：幼期的生态系统总生产量明显超过呼吸量，呈积累状态，整个生态系统的生物量逐渐增加，到成熟期时P/R≈1，生物量保持稳定。同时总生产量与现存生物量之比（P/B）也是呈幼期高而成熟期低的趋势。③营养物质循环的特征：主要营养物质N、P、K等的生物地球化学循环，在生态发育过程中，趋向于更加封闭。在幼期生态系统内外间的交换是频繁而快速的，随着生态系统的发育逐渐形成完善而复杂的网络，具有更较大的独立性，保持营养物质的功能加大，输入量和输出量接近平衡。④有机物质和生化物质多样性的增加在生态系统的发育中往往具有重要的生态学意义。生物在进化过程中生产出的许多有机物质和生化物质除了本身积累一部分外，更重要的是通过多种代谢途径，向大气、水、土壤等环境中输出，由此对周围环境产生深远而巨大的影响。⑤稳定性的特征：生态系统幼期常处于物种数少而不拥挤，具有较高负荷潜力的空间。随着系统的发育过程，不断地有物质和能量输入，不断地排除熵，使系统向着成熟稳定期发展。成熟期生态系统内的生物之间，生物与物理环境之间的联系更加紧密，熵值更小，保持营养物质的能力提高，对外界干扰的抵抗力增大。此时，生态系统基本上处于自我维持的稳定状态。

答案　BCD

例4　温室效应产生的主要原因是（　　）

A．环绕地球大气的CO_2浓度上升

B．地球表面的能量反射

C．太阳辐射能量增加

D．太阳黑子的作用

解析　温室气体能无阻挡地让太阳的短波（波长在1.5μm以下）辐射射向地面，并能够部分吸收地表向外辐射的长波（波长在4～20μm的红外线）辐射。这样就引起地球对太阳能的收支不平衡，即吸

收的热量大于散失的热量，地球平均气温上升，即温室效应。能够引起温室效应的气体都为温室气体，包括CO_2、CH_4、氮氧化物、氯氟烃等。引起全球增温作用的温室气体中以CO_2为主，约占60%以上。但值得注意的是，CO_2并不是温室效应最强的气体，比如N_2O的温室效应要比CO_2高得多（200倍左右），但是由于大气中的浓度比较低，所以总作用不如CO_2大。温室效应的危害有：影响植被分布、海平面上升、干旱加剧、粮食减产、陆地减少等等。防治温室效应的主要手段是提高森林覆盖率，改善生态环境。

答案　A

例6　硝化作用是指将氨转变成硝酸盐，反硝化作用是指（　　）

A．将氨转变成分子氮

B．将氨转变成亚硝酸盐

C．将硝酸盐转变成分子氮

D．将亚硝酸盐转变成硝酸盐

解析　微生物在生态系统的氮循环过程中起到的作用包括生物固氮作用、氨化作用、硝化作用、反硝化作用等。①生物固氮作用：分子态氮被微生物还原成氨或其他氮化物的过程称为生物固氮作用。能够固氮的微生物，均为原核生物，主要包括细菌、放线菌和蓝藻等。②氨化作用：微生物分解含氮有机物产生氨的过程称为氨化作用。③微生物将氨氧化成硝酸盐的过程称为硝化作用。硝化作用分为两个阶段：第一阶段是氨被氧化为亚硝酸盐，靠亚硝化细菌完成；第二阶段是亚硝酸盐被氧化为硝酸盐，靠硝化细菌完成。④反硝化作用：指反硝化细菌在缺氧条件下，还原硝酸盐，释放出分子态氮（N_2）或一氧化二氮（N_2O）的过程。

答案　C

【针对训练】

（一）单选题

1．在下列实例中，哪一项不是光的生态效应（　　）

A．非洲草原某种大型蹄类的迁徙

B．候鸟的迁徙

C．绿藻分布于水的表层

D．美洲兔夏毛褐色，冬毛白色

2．下列生态系统中，初级生产力最高的是（　　）

A．大陆架
B．开阔大洋
C．河流与湖泊
D．珊瑚礁
3．下列生态系统中，不属于人工生态系统的是（　　）
A．农田
B．果园
C．被污染的湖泊
D．养鱼池
4．下列食物链损耗的总能量最少，即可利用的能量最多的是（　　）
A．植物→兔子→鸟
B．植物→野鼠→地鼠→狮
C．植物→蝴蝶→蜻蜓→蛇
D．植物→鹿
5．按生产力高低排序，正确的答案是（　　）
A．热带雨林＞亚热带季雨林＞北方针叶林＞冻原
B．开阔大洋＞河口＞湖泊＞大陆架
C．温带草原＞稀树草原＞常绿阔叶林＞北方针叶林
D．长江流域农田＞黄河流域农田＞黑龙江流域农田＞热带雨林
6．生态系统中的能流途径主要是（　　）
A．生产者→消费者→分解者
B．生产者→分解者→消费者
C．分解者→消费者→生产者
D．消费者→分解者→生产者
7．能量沿着食物网流动时，保留在生态系统内各营养级中的能量变化趋势是（　　）
A．能量越来越少
B．能量越来越多
C．能量基本没有变化
D．因生态系统不同，能量或越来越多，或越来越少
8．下列生态系统中，开放程度最大的是（　　）
A．湖泊
B．热带雨林
C．农田
D．水库

9．形成次级生物量的生物类群是（　　）

A．化能合成细菌

B．真菌

C．蓝绿藻

D．蕨类植物

10．下列生态系统中，生物量最高的是（　　）

A．热带雨林

B．温带草原

C．荒漠

D．开阔大洋

11．在森林生态系统食物网中，储存能量最多的营养级是（　　）

A．生产者

B．初级消费者

C．次级消费者

D．分解者

12．地球上各种不同类型的生态系统具有不同的调节能力。与农田、草原、冻原等生态系统相比较，热带雨林的自我调节能力具有以下哪一组特点（　　）

A．种群数量调节能力强，抵抗外界干扰能力弱

B．分解力弱，生产力强

C．抵抗外界干扰能力强，自我恢复能力弱

D．能量流动速度快，物质循环速度慢

13．总初级生产量的生产效率一般不会超过（　　）

A．1%

B．3%

C．5%

D．10%

14．一般而言，在一个有四个营养阶层的生态系中，最高的营养阶层在一年中所获取的能量大约是最基层（最下层）营养阶层净生产能量的（　　）

A．1/3

B．1/4

C．1/5

D．10^{-3}

E．10^{-4}

15．生态系统中受到捕食压力较大的是（　　）

A．植食动物

B．一级食肉动物

C．二级食肉动物

D．三级食肉动物

16．以下说法中正确的是（　　）

A．所有的自然生态系统都是开放的生态系统

B．所有的自然生态系统都是封闭的生态系统

C．森林生态系统在演替初期是开放的生态系统，演替后期是封闭的生态系统

D．湖泊生态系统是封闭的生态系统

17．下列生态系统中，遭到破坏后最难恢复的是（　　）

A．热带雨林

B．北方针叶林

C．温带草原

D．极地冻原

18．温室效应指的是（　　）

A．农业生产中大量使用温室和塑料大棚，产生了对环境不利的后果

B．大气中二氧化碳浓度升高，使大气层如同温室的外罩一样，太阳短波辐射容易进入，地表长波辐射难以出去，导致地表温度升高，引起一系列环境问题

C．农民长期在温室和塑料大棚内工作，导致了与温室和塑料大棚有关的疾病

D．在温室和塑料大棚内生产的蔬菜质量与露天农田中生产的蔬菜质量不同

19．温室效应的最直接后果是（　　）

A．气温升高

B．极地和高山冰雪消融

C．海平面上升

D．生态系统原有平衡破坏

20．水体富营养化的后果是（　　）

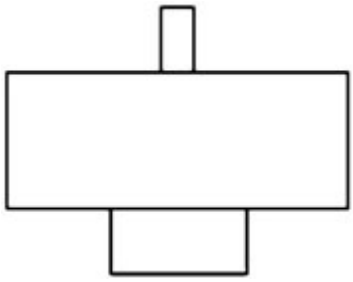
A．由于藻类大量繁殖，死后分解消耗大量氧气，导致鱼类因缺氧而死亡，使渔业产量减少

B．由于藻类大量繁殖，使鱼类的食物增加，导致渔业产量增加

C．对渔业产量没有影响

D．使渔业产量忽高忽低
21．下列资源属于可再生性资源的是（　　）
A．煤炭资源
B．核能资源
C．森林资源
D．天然气资源
22．食物网结构比较简单的生态系统是（　　）
A．温带草原
B．落叶阔叶林
C．淡水湖泊
D．极地冻原
23．下列做法中不是可持续农业的做法的是（　　）
A．农、林、牧、渔多种经营
B．大力植树造林，避免水土流失
C．大力开展生物防治，避免化学农药污染
D．大量使用化肥，保持农产品持续高产
24．下列类型的农业生产模式中不属于生态农业范畴的是（　　）
A．养鱼塘的分层养殖
B．农田的间作套种
C．海洋的网箱养殖
D．稻田养鱼或养鸭
25．生态系统营养级的数目，通常不会超过（　　）
A．2～3个
B．5～6个
C．8～10个
D．12～14个
26．目前，最受人们重视、最活跃的生态学研究领域是（　　）
A．个体生态学
B．种群生态学
C．群落生态学
D．生态系统生态学
27．生态系统三大功能类群不包括（　　）
A．生产者
B．消费者
C．分解者

D．非生物环境
28．能流和物流速度快的生态系统是（　　）
A．热带雨林
B．落叶阔叶林
C．温带草原
D．北方针叶林
29．下列生态系统中消费者食物专一性强的是（　　）
A．热带雨林
B．湖泊
C．温带草原
D．荒漠
30．盐度周期性变化明显的生态系统是（　　）
A．海洋
B．河口
C．红树林
D．盐湖
（二）多选题
1．生态系统中把多种多样的信息分为（　　）
A．物理信息
B．化学信息
C．行为信息
D．营养信息
E．图像信息
2．若有一生态金字塔如右图，下列哪一组叙述是对的（　　）
A．这个生态金字塔可能是能量塔
B．这个生态金字塔见于热带雨林生态系统
C．这个生态金字塔可能是生物量塔
D．这个生态金字塔不存在
E．这个生态金字塔可能见于水域生态系统



3．生态系往极盛相发展时，下列叙述中哪些是正确的（　　）

A．物种会越来越多

B．寄生的动物会有减少的趋势

C．净初级生产量增加

D．环境中有机物会增加

4．有分析表明，落叶林中一些生活在阔叶树上，以其叶片为食的食叶甲虫是落叶林中的重要生物。假如没有这些甲虫，落叶层将严重堆积，最终导致落叶林生长不良。以下分析中错误的是（　　）

A．食叶甲虫属于群落中的分解者

B．食叶甲虫属于群落中的消费者

C．食叶甲虫对落叶林的物质循环有促进作用

D．食叶甲虫在能量金字塔中位于最基础的底部

5．以下对生态系统中有机物的分解过程的分析中，正确的是（　　）

A．非生物的作用使有机物形成腐屑

B．生物的作用使有机物形成腐屑

C．腐屑主要由食腐动物彻底分解

D．微生物将腐屑分解后产生无机物

6．决定淡水生态系统初级生产量的限制因素主要有（　　）

A．营养物质

B．光

C．水中氧气的浓度

D．植食动物的捕食

E．水的浓度

7．初级生产量的测定方法有（　　）

A．收获量测定法

B．氧气测定法

C．二氧化碳测定法

D．放射性标记物测定法

E．叶绿素测定法分生产量

8．分解作用是一个比较复杂的过程，它包括（　　）

A．碎裂

B．溶解

C．异化

D．淋溶

E．矿化

9．分解过程的特点和速率，决定于（　　）

A．待分解资源的质量

B．分解者的生物种类

C．待分解资源的种类

D．分解时的理化性质

E．待分解资源的数量

10．根据海岛生物地学的平衡理论，一个海岛上物种的数量是由灭绝物种的频率和开拓物种的频率间的平衡来决定的。该理论指出，海岛的面积越大，物种灭绝的可能性越小。该理论还指出，海岛离大陆越近，从大陆上岛的开拓物种会越多。最后物种将达到接近平衡的水平，即灭绝的和开拓的物种出现的机会相等。但是在某一段时间，海岛上的现存物种也会出现变化，这一变化叫做物种的周转，周转的速率是灭绝速率和开拓速率的总和。在四个面积不同，与大陆距离不同的海岛中，有关海岛的物种数量和周转率的叙述中，正确的是（　　）

A．面积大，距大陆近的岛，其物种数量最多、周转率最低

B．面积大，距大陆远的岛，其物种数量中等，周转率中等

C．面积小，距大陆近的岛，其物种数量中等，周转率最高

D．面积小，距大陆远的岛，其物种数量最少，周转率中等

【参考答案】

（一）单选题

1．A　2．D　3．C　4．D　5．A　6．A　7．A　8．C　9．B　10．A　11．A　12．C　13．B　14．D　15．A　16．A　17．A　18．B　19．A　20．A　21．C　22．D　23．D　24．C　25．B　26．D　27．D　28．A　29．A　30．B

（二）多选题

1．ABCD　2．CE　3．AD　4．BC　5．ABD　6．ABD　7．ABCDE　8．ACD　9．ABD　10．AC

第12讲　动物行为

（柯桥中学　叶建伟）

【知识梳理】

一、动物行为的概述

（一）动物行为的概念

个体的生存和种群的繁衍是动物的基本要求。动物的行为（如摄食行为、性行为）是为了满足上述基本需要，适应体内、体外环境变化（如季节变化、食物来源、生理需求的变化等）的一切反应的总和。它不仅包括躯体的移位动作（如奔跑、游泳等）和身体局部的微细动作（如发出声音、竖起耳朵等），还包括动物日常生活活动（如取食、呼吸等）以及动物的习性、举止（如潜伏、假死、注目凝视、释放外激素等）。

（二）动物行为的特点

动物行为一般具有如下特点：①动物行为是一个动态的过程。如繁殖期雄孔雀见到雌孔雀展屏。②动物行为是对环境的适应反应，所以具有适应意义，并在生存斗争中起重要作用。如母鸡发现老鹰，用鸣叫声将小鸡召唤到其翅下躲藏。③动物行为是神经系统和内分泌系统协调作用的结果。如鸟类的繁殖行为，不仅受性激素的支配，也受神经系统的控制，还受环境因素的影响。

（三）动物行为发生的原因

动物行为是有遗传基础的（如典型的本能行为），但行为不是直接决定于基因。基因只能决定神经系统、激素系统以及运动系统的结构的发育和建成。动物的行为由神经系统直接决定。

动物行为是在长期进化过程中自然选择的产物，行为发生的原因有终极原因和近期原因。①终极原因：在动物行为学中，将行为或行为方式的进化历史原因，以及其对动物生存特别是繁殖能力的影响，称为行为的终极原因。也就是说终极原因研究的是：为什么在自然选择中选了这种行为而没有选他种行为？这种行为有什么突出的适应性？也可以说，终极原因是要解答“为什么”的问题。如回答候鸟为什么具有迁徙行为，而不像留鸟那样定居，这也就是行为方式的生态功能和进化历史。②近期原因：在动物行为学中将动物个体怎么样去进行某种活动，或者说在环境条件因素的刺激下动物的内部生理机制（广义的，包括生理、心理、遗传和发育机制）是怎么样去完成某种行为的方式，称为近期原因。近期原因是要解答“怎么样”的问题。举例来说，秋夜蟋蟀发出求偶的声音，当人走近时，立刻停止发声，潜藏不动。这一行为的近期原因是蟋蟀接受了人走近的刺激，通过神经系统的传导，有关肌肉停止了活动，结果发声停止，身体也潜伏不动。这一行为的终极原因是在长期进化过程中，蟋蟀产生了这一潜藏行为，能最有效地逃避敌人的侵害，求偶固然重要，短期放弃求偶，

以保证生命安全更重要，因此在自然选择中，暂停发声中选。总之，近期原因所涉及的是动物个体的遗传程序的解码，从而引起一系列生理现象（如候鸟迁徙前的生理变化）；终极原因则涉及到动物种群的遗传程序的历史变化以及变化的原因（如候鸟与留鸟的区别及其原因）。

（四）行为及其适应性

完成一个行为要付出代价。要付出能量，这是能量代价；要冒生命危险，如为捍卫集群利益而与进攻者战斗，这是危险代价。有时为完成一个行为而必须放弃另外一些有益的机会，如在保护配偶或保卫领地时不得不放弃捕食的良机，这种代价可称为机会代价。从行为的终极原因考虑，只有所有这些代价的总和小于所要完成的行为的收益，这一行为才是值得完成的，才是有适应意义的。

动物行为学家N. Tinbergen研究了动物行为的得失问题。他观察了黑头海鸥的孵卵行为（图3-12-1）。黑头海鸥产卵后，用草、树枝、细沙等将卵伪装起来，使附近乌鸦和其他海鸥难以发现。雏鸥孵出后约1h，亲鸥将破蛋壳衔走，抛至远处。Tinbersen设想，这是因为蛋壳内面是白色的，很容易为捕食者所发现，亲鸥将破壳移走，就使雏鸥不至暴露目标。他将鸡蛋染成海鸥蛋的颜色，分散放在海鸥群中，在一些鸡蛋的附近再放些海鸥的破蛋壳。果然，靠近海鸥破蛋壳的鸡蛋更易为乌鸦所发现。但是，海鸥并不是在雏鸥刚一孵出就将破壳带走，而是在1h之后才离开雏鸥并将破壳带走。海鸥宁可将破壳留在巢中1h，冒被乌鸦发现的危险而不将破壳带走，其意义何在？这是因为邻近的其他海鸥时刻都在觊觎雏鸥。新孵的雏鸥羽毛未干、全身湿软，最易为海鸥所吞食。如果亲鸥离去，不满1h的雏鸥就随时有被邻近海鸥吞食的危险。所以这里有两种危险：一个是把破蛋壳留在巢内，暴露目标，冒被乌鸦发现的危险；一个是在雏鸥孵出后，亲鸥立即衔蛋壳飞走，让雏鸥冒被邻近海鸥捕食的危险。这两种危险比较起来，后者大于前者，所以亲鸥留守1h，直到雏鸥羽毛变干而蓬松，才衔破壳飞走。此时雏鸥既不至为邻近海鸥所捕食，也没有给乌鸦暴露目标。海鸥这一有适应意义的行为，不是在有意识地权衡得失后做出的选择，而是在进化过程中通过自然选择形成的。



图3-12-1　黑头海鸥的孵卵行为

（五）先天的行为和后天学习的行为

动物的行为一般可分为先天的（即生来就会的行为）和后天学习的（即根据后天经验而生成的行为）。前者是遗传决定的，后者是环境决定的，当然也是有遗传基础的。黑头海鸥的衔蛋壳行为就是遗传决定的先天行为。花园蜘蛛的雌蛛每天早晨吃掉旧网，重织新网。织网过程井井有条，先织辐丝支架，后织螺旋线。蜘蛛的这一行为，也是经过了长期自然选择而达到如此精巧程度的先天行为。

先天的行为主要指本能，它也是脱离不了环境的，只有在一定的环境中，先天的行为才能表现出来。后天的经验对先天的行为也可能发生影响，如澳大利亚桉树林中生活着卡拉鹦鹉和紫鹦鹉两种鹦鹉。两者都住在树洞中，有时在同一树洞中住着两种鹦鹉。平时它们相安无事，但在孵卵时就要争夺地盘发生冲突，紫鹦鹉比卡拉鹦鹉大，争夺的结果总是卡拉鹦鹉弃卵而逃，于是紫鹦鹉就把自己所产的卵和卡拉鹦鹉所产的卵一同孵育。经紫鹦鹉孵育出来的幼卡拉鹦鹉有些行为仍是卡拉鹦鹉的行为，有些行为却变成紫鹦鹉的行为了。小卡拉鹦鹉发出的求食声仍是卡拉鹦鹉式的，但紫鹦鹉母亲居然乐于给它哺食。卡拉鹦鹉长大离巢后，在受惊时发出的声音仍是卡拉鹦鹉式的惊叫声，但在呼喊同伴时，却完全是紫鹦鹉的呼叫声。它飞翔的姿势也完全成了紫鹦鹉式的，食性也变得和紫鹦鹉的食性一样。没有改变的行为是先天的行为，改变了的行为则是后天经验，即后天学到的新的行为。

后天的学习也离不开先天的基因基础。R. Tryon曾于1940年用大鼠做迷宫实验，他用的迷宫只有一个入口和一个出口，出口处有食

物。大鼠从入口进入迷宫后，经过多次“尝试与错误学习”后，终于找到出口，而一到出口，就受到食物奖励。Tryon让大鼠连续进出迷宫，多次之后，有些大鼠能很快找到出口，有些大鼠却总是要走些死胡同，然后才能摸索到出口。Tryon从这些大鼠中选出最快走到出口和最慢走到出口的大鼠。他让两类大鼠分别繁育后代，然后再用迷宫训练两者的后代，经过多代选择后，他获得了在走迷宫的本领上迥然不同的两群大鼠，这个结果说明，学习能力的高低是有基因基础的，是可遗传的。

先天行为除了前面讲到的本能以外，还包括趋性和非条件反射。趋性是动物对环境因素刺激最简单的反应。如眼虫、某些昆虫和鱼类的趋光性，臭虫的趋热性。非条件反射是动物先天具备的，反射弧参与的对刺激作出的局部的反应。非条件反射与本能的区别在于，非条件反射一般是个体局部发生的行为，本能是全身性的行为。随着动物进化层次的增高先天性行为所占的比重逐渐降低，后天性行为的比重逐渐增加，如哺乳动物的行为中已经没有趋性了。

（六）行为的遗传

行为是有遗传基础的，但是行为不是直接决定于基因的。基因只能决定神经系统、内分泌系统和运动系统等的发育和建成，再由神经系统来决定行为。所以，从根本上讲，自然选择是通过对各种行为的选择而选择一定的基因转录转译系统，有了一定的转录转译系统，也就有了一定的行为了。这也说明了行为的终极原因和近期原因的关系。

Ruthenbuhler研究蜜蜂行为的遗传学，他用斯库系（van Scoy）和布朗系（Brown）的蜜蜂做杂交实验。斯系对一种细菌病敏感，感染后全巢覆灭。布系不发生此病。这是因为布系能打开蜂巢中小室，移走其中染病致死的幼虫，而斯系工蜂无此行为。因此布系被称为卫生型，斯系为不卫生型。这两种蜜蜂杂交产生的后代（F_1）都是不卫生型。如果F_1和亲代的卫生型回交，后代有4种不同的类型：

①卫生型，打开蜂巢小室，移走死幼虫　1/4；

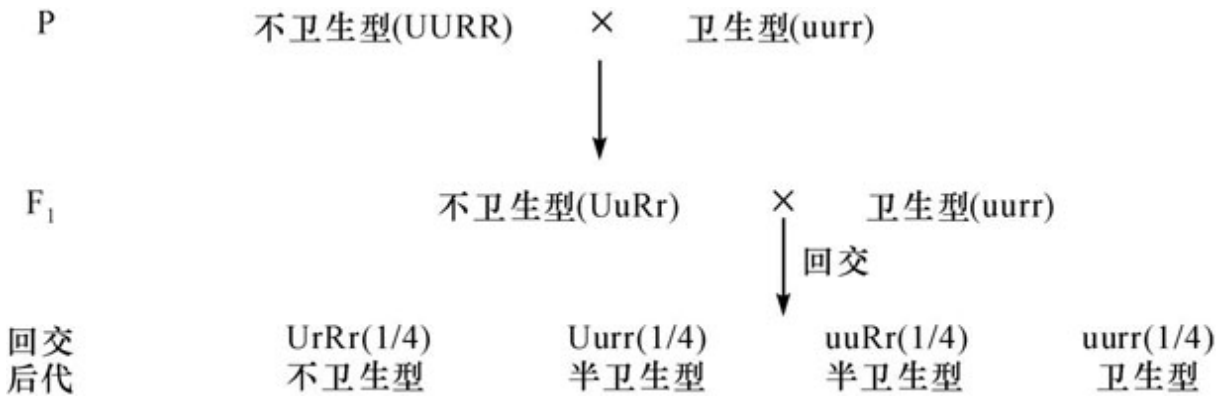
②不卫生型，不能打开蜂巢小室，不能移走死幼虫　1/4；

③半卫生型，能打开蜂巢小室，不能移走死幼虫　1/4；

④半卫生型不能打开蜂室，若人为打开蜂室，则能移走死幼虫1/4。

这一结果完全符合孟德尔遗传定律。这是两对基因的遗传，用U（u）和R（r）代表这两对基因：U（显性）决定不打开蜂巢小室的

行为；u（隐性）决定打开蜂巢小室的行为；R（显性）决定不移走死幼虫的行为；r（隐性）决定移走死幼虫的行为。



（七）符号刺激和固定动作格局

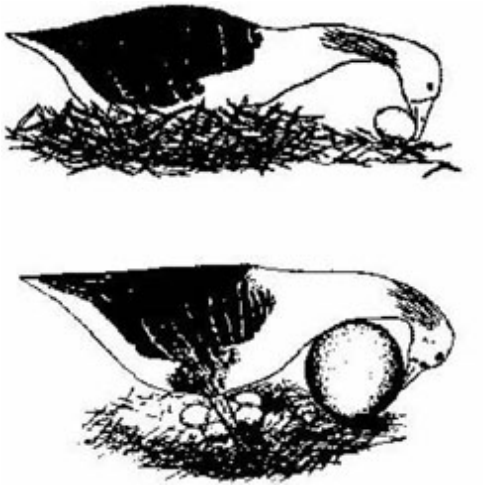
外界的一个特定的刺激可引起动物发生特定的反应。这种反应是稳定的，即每次刺激都发生相同的反应，称为固定动作格局。引起这一反应的刺激称为符号刺激，或称引发者。

例如，一种淡水三棘鱼，雄鱼到了交尾季节腹面变为红色，红色就是一种符号刺激，可引起雄鱼彼此之间猛烈的攻击行为。甚至在交尾季节，当看到街上的红色消防车经过窗前时，放在窗前水族箱中的雄三棘鱼就会猛冲过去，对红色消防车作攻击状，对其他颜色车辆没有反应。

欧洲一种雄知更鸟成长后胸部成红色，它们有保卫领地的习惯。在遇到另一胸部为红色的雄知更鸟时，必发起猛烈进攻。甚至对一束红色的羽毛也要猛烈攻击，但对灰暗色的知更鸟模型却“无动于衷”，不发生任何反应。这里的符号刺激或引发者显然也是红色。

海鸥刚孵化出来，就能用喙敲打母鸥喙上的红斑，母鸥对此的反应是吐给雏鸥食物。如果在雏鸥前面放一木杆，杆的末端染上红色条带，雏鸥也将用喙敲啄杆上红带。

美洲北部一种扑动鸻，雄鸟有一很像胡须的黑线，雌鸟没有，如果将正在交配的雌鸟捉来，在它脸上画一条黑线，雄鸟就立刻前来攻击。这些都是由符号刺激引起的固定的动作。



上图：正常蛋

下图：大蛋模型

说明：滚蛋固定动作格局的符号刺激是球状物

图3-12-2　灰雁的滚蛋固定动作格局

一种灰雁在孵卵时，如果将卵挪开，它就伸颈，用喙将卵拨回（图3-12-2）。这种姿势是先天的、不学就会的，并且是永远使用的唯一的姿势，所以也属于固定动作格局。

固定动作格局没有任何推理的内容，完全是固定不变的格式。例如，一种海产的没有外壳的软体动物海蛞蝓，在海底爬行取食时，如遇到以它为食的海星，头立刻缩回，身体变扁平，拍击海水而迅速逃跑。这种逃跑运动是生而有之的，是不必学习的。DenniS记录了海蛞蝓脑中个别神经元的电学活动，发现神经元释放的电波率与强度和逃跑的动作是完全一致的。他把这种海蛞蝓的脑从体内取出，使与感觉器官和肌肉完全分离，再用电刺激其中的神经元，结果神经元发出的电反应和逃跑时的电反应一样。由此可见，海蛞蝓脑中存在着一个特定的逃跑行为机制，称为先天引发机制，引起这一机制活动的信号，即符号刺激，在这里是来自海星的分泌物。三棘鱼的红色腹面，母鸥喙上的红点都是符号刺激，都能引起先天引发机制的反应。

（八）学习

所谓学习，简单地说，就是用经验调整行为，以更好地适应环境。本能行为也可以通过学习调整，如前面讲到的雏鸥用喙敲打母鸥喙上的红斑的行为。雏鸥长到五六天时，除了孵育它的母鸥以外，不再啄击其他物件的红斑。这说明符号刺激机制虽然是先天性行为，但动物可通过学习，用经验来对它进行调整，从而降低或不犯错误。学习是十分复杂的过程，动物的主要学习方式有六种。

1．习惯化

这是最简单的学习。当一种刺激反复进行时，动物的反应就逐渐减弱，最后可完全消失。如蜘蛛第一次听到音叉的声音时，就要迅速

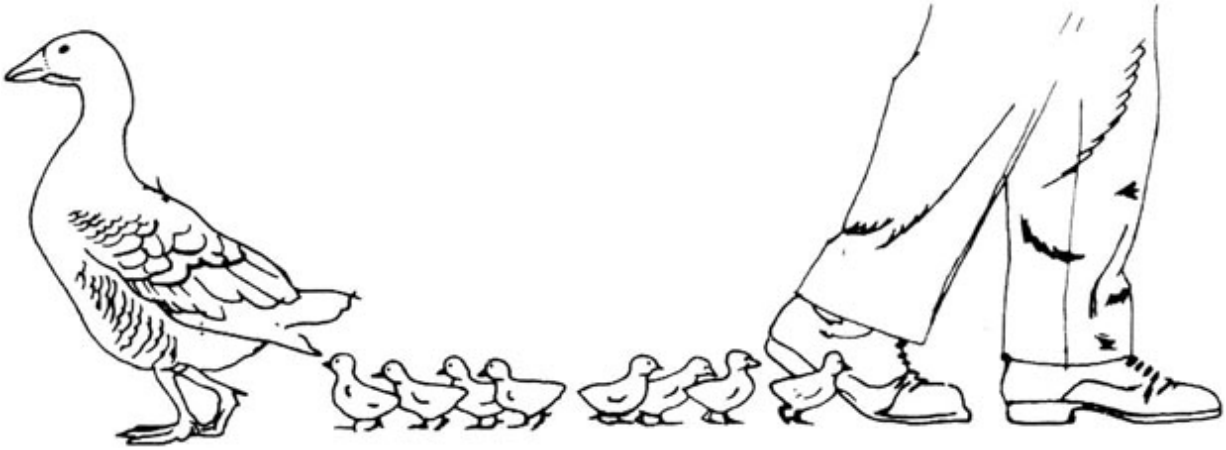
躲避，但时间一长，就不再躲避了。涡虫对噪音刺激也是先有反应，时间一长就没有反应了。小鸟对反复从天空掠过的形影不再逃避，对田间的稻草人不再警惕。大街上的马不再害怕往来车辆等等。习惯化可使动物对于环境中既无利又无弊的刺激不发生反应，重要的是，对与生活无关的刺激不发生反应，有利于节省不必要的能量消耗。

2．印随学习

新孵化出来的雏鸭或雏鹅，总追随母亲，在母亲走向河水中时，就结队随母亲一同走向河水。鸡、鸭、鹅等动物对于第一次接触的能活动的较大物体都能紧紧追随，这就是印随，说明动物已经将所接触的物件“印入”脑中了。

行为学家K. Lorens用孵化箱代替母鹅孵蛋，雏鹅出世后首先接触的不是母鹅而是Lorens自己。结果Lorens成了印随的对象。在他走开时，雏鹅竟排一长列跟在他的后面（如图3-12-3）。可见，雏鹅已经学会认识Lorens了。甚至在几个月后，雏鹅长大了，其中的雄鹅对雌鹅竟不感兴趣，而向Lorens或别的人作出了求爱的表示。印随虽然是在动物出生后的早期形成的，但对其后的行为（如性行为、社群行为）能产生深远影响，也就是说影响动物个体的行为发育。

印随学习和其他学习行为有几个重要区别：①印随学习只需要少量的经验信息就可学成，并且一旦学成，就可保持较长时间，很难改变；②印随学习不需奖励或惩罚，但只能在生长一定时期内完成，这个时期称为敏感期。过了敏感期就没有印随学习了。



3-12-3　A. Lorens孵育的雏鹅和雌鹅孵育的雏鹅，混置一处后，前者追随Lorens，后者追随雌鹅而分别走开

印随学习在进化上是有选择价值的，因为动物出生后首先接触的活动物体一般都是它的母亲。能够追随母亲，和母亲建立联系而不和

别的动物建立联系，就能得到保护和抚育而不致为别的动物所伤害。在许多哺乳动物中，母亲与子女之间也是通过印随学习而建立联系的。山羊羔出生后与母亲的接触很重要，有了接触，母羊才给以正常的母爱。如果将初生羊羔带走，即使只带走1h再还给母羊时，母羊就拒绝接收了。但如果出生后让羊羔和母亲只接触5min，然后再取走1h甚至更多时间，母亲仍能认识这只羔羊而接受它。动物的这种行为使母兽不致误认其他母兽的子女，这显然是有利于自己基因的传播，因而也是有利于保护本物种的基因库。

3．联系学习

把2个或2个以上的刺激联系起来而诱发同样的行为，就是联系学习或联想学习。条件反射是动物建立联想学习的机制。巴甫洛夫提出的唾液分泌性食物条件反射就是一种联系学习。巴甫洛夫把食物和铃声联系起来，每次在给狗食物之前先摇铃，然后再给以食物，经过若干次训练后，只要一摇铃，不给食物，也能引起狗的唾液分泌。铃声所引起的唾液分泌就被称为食物分泌性条件反射。原来与唾液分泌无关的铃声（无关刺激）此时就称为条件刺激。形成条件反射的基本条件就是无关刺激与非条件刺激（引起非条件反射的刺激）在时间上的结合，这个过程称为强化。任何无关刺激与非条件刺激结合应用，都可建立条件反射。条件反射的实质就是在大脑皮层建立原先不存在的暂时联系（如图3-12-4）。

另一种联系学习是用奖励和惩罚的方法。例如，让一条蚯蚓走“丫”形管，管的一个岔黑暗潮湿，有食物。另一个岔里没有食物，并且通了电流，蚯蚓进去就要受到电击。蚯蚓从丫形管口进入，经过多次尝试，逐渐走入黑湿而有食物的岔管的次数越来越多，这说明蚯蚓已经学会了如何逃避电击，如何找到食物了。又如将鸡放入食物箱内，当它用喙啄在杠杆上时，就能获得食物，如此重复多次，鸡就学会自动啄杠杆而得食。这种学习的方法就是“尝试与错误”的方法。由于建立这种条件反射，动物必须通过自己的某种运动或操作才能得到强化，所以也被称作操作条件反射。

动物在自然界的生活中，必然有许多无关刺激，但这些刺激与有关的刺激（如食物）总是有直接或间接关系的。动物有联系学习的能力，就可利用无关刺激获得食物，找到栖息的场所，或逃避敌人了。

青蛙第一次遇到能排放臭液的臭蝽时，立刻将臭蝽当作美餐而吞食。不料臭蝽分泌臭液，青蛙赶快将它吐出，从此青蛙记取了这一教训，不再吃臭蝽了，这也属“尝试与错误”学习。

4．模仿学习

幼年动物主要是通过对年长者的行为进行模仿来学习的，如小鸡模仿母鸡用爪扒地索食，年幼的黑猩猩会模仿成年的黑猩猩用沾水的小树枝从洞穴中取出白蚁作为食物。模仿与印随的区别在于模仿没有特定的敏感期。

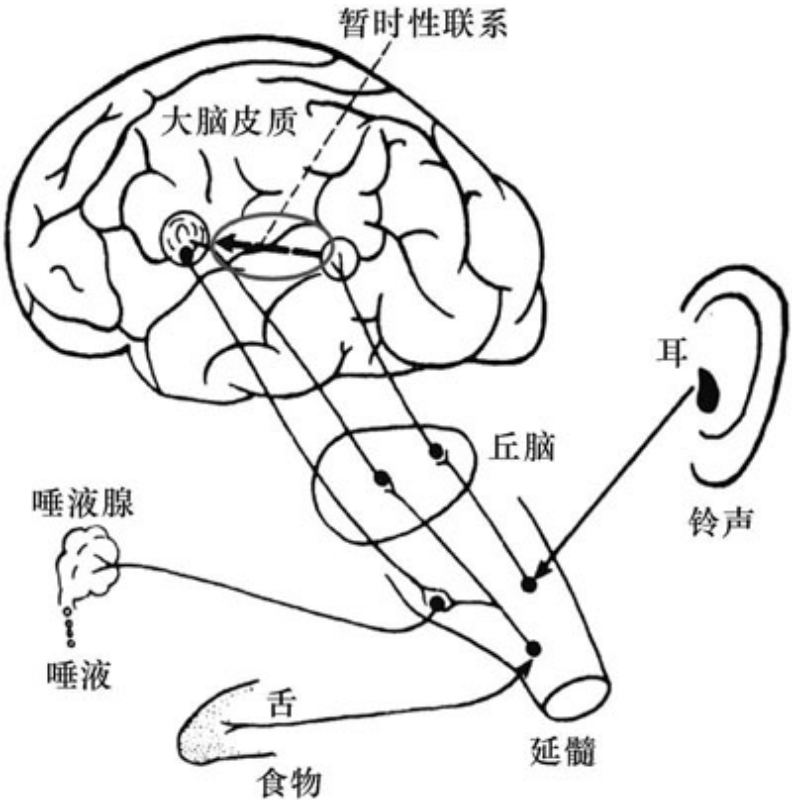


图3-12-4　对声音刺激建立唾液分泌性食物条件反射的机制的示意图

很多年前，在英格兰有一只大山雀，一次偶然碰巧打开了放在门外的奶瓶盖，偷喝了牛奶。不久，那里的其他大山雀也学会了偷喝牛奶。第一只打开奶瓶盖的大山雀的行为就是“尝试与错误”，其他大山雀也学会了打开奶瓶盖的行为属于模仿。

5．潜在学习

这是指没有报偿的学习方式。它是一种特殊的联想学习，即在没有明显的奖罚情况下对无关刺激或环境的联想。1929年，布罗哥特（H. C. Brodgett）用老鼠进行了由6个单位组成的“T”型迷宫学习实验。实验组动物在最初的7天内，即使到达目标箱也不给予报酬，从第8天才开始给予报酬。与一开始就给予报酬的对照组动物比较，实验组动物虽然在无报酬期间几乎看不到效果，但给予报酬后，错误的次数可急剧减少，很快追上了对照组水平。这说明即使在无报酬期间，学习曾潜在地进行，这种现象称为潜在学习。

6．洞察学习

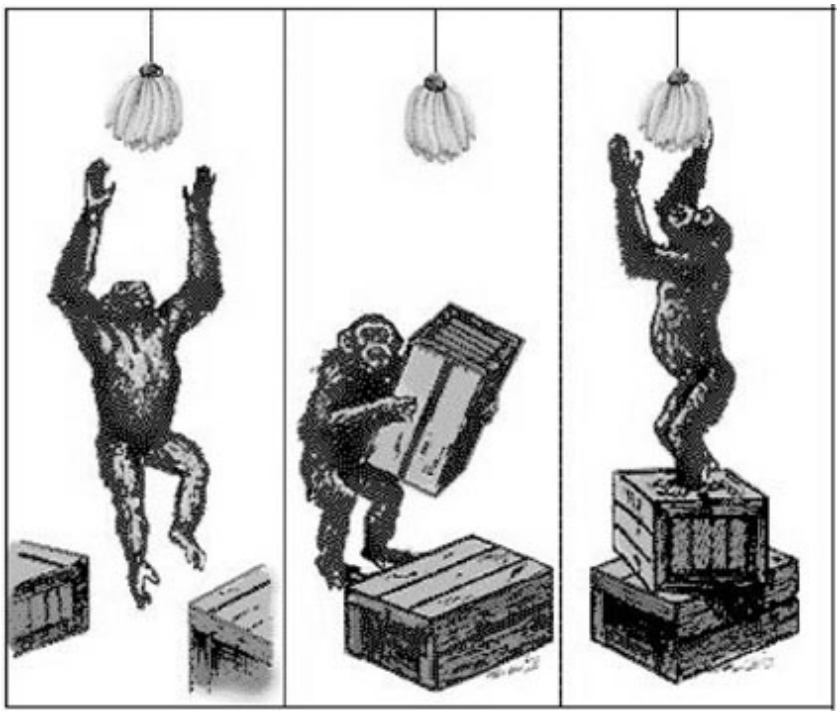


图3-12-5　黑猩猩取食物行为

这是很复杂的学习形式，是利用存在于脑中的从其他性质的刺激取得的经验来解决当前新问题的能力。最有名的例子是黑猩猩取食物的行为。将黑猩猩喜欢吃的食物，如香蕉，悬空挂在高处，同时室内散放几个木箱和短木棒等。黑猩猩虽然以前没有遇到过这样的问题，却能想到把木箱搬来，摞高，自己爬上去把香蕉拿下来（图3-12-5）。这说明黑猩猩有推理的能力，它根据以前的经验，知道木箱摞起来可弥补身高之不足。不但如此，黑猩猩还能把短棍套连成长棍，把香蕉取下来。曾有一次，实验者将香蕉挂在笼顶，笼底分散放几个木箱，黑猩猩竟坚持要求实验者也进入笼中。实验者觉得“盛情难却”，进入笼中，黑猩猩竟跳到实验者肩上，取下香蕉。

另一个克服障碍获得食物的实验是将动物用绳拴在柱上，在动物与木桩之间，用另一木桩阻拦绳索，使动物不能达到食物。这种情况对黑猩猩和猴子不成问题。对善于攀援的松鼠也不成问题，它们都能往回走、绕过木桩取得食物。但是狗和熊就不会这样做，它们只能蹦蹦跳跳，碰机会，也许偶然绕过了木桩取得食物，也许一直取不到食物（图3-12-6）。

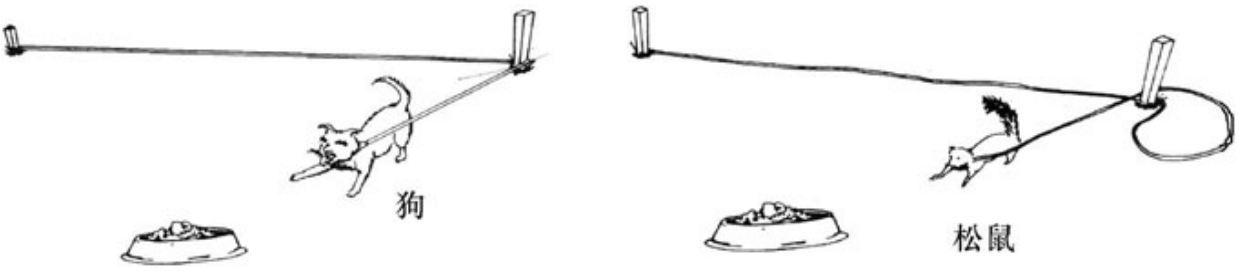


图3-12-6　狗及松鼠取食示意图

二、动物行为的类型

依据动物行为所具有的适应意义，可将动物行为分为索食行为、贮食行为、攻击行为、防御行为、繁殖行为、社群行为、节律行为等。

（一）索食行为和贮食行为

1．索食行为

动物的索食行为是指搜寻食物、捕捉食物和对食物进行加工处理，以满足自己或同种个体对食物需求的行为。动物是异养生物，必须摄取现成的有机物而生活。索食行为正是保证了动物个体及同类能找到并捕捉到充足的食物，即取得作为构成躯体进行一切活动所必需的物质和能量来源，以保证个体不断生长发育与繁殖，使种族得到延续。

2．贮食行为

一些动物在食物充足的时期或季节，将多余的食物收藏起来以便慢慢食用的行为就是贮食行为。如蚂蚁在夏秋季食物丰盛时，会成群结队地往巢内搬运粮食，贮存在“粮仓”中。如果遇到粮食发霉，蚂蚁还能将粮食搬出巢外晒干或扔掉。动物的贮食行为与动物的生活环境相适应。每一种动物的贮食行为都利于度过不良的环境条件，即严寒的冬天和其他食物缺少的时期，以维持动物正常的生命活动。

（二）动物的攻击行为和防御行为

1．攻击行为

同种动物个体之间发生相互攻击或搏斗叫攻击行为。同种动物个体为争夺食物、配偶或领地是发生攻击行为的主要原因。如两只猫为争夺食物而打架，两只狗为争夺领域而攻击，两只公鸡为争夺配偶而格斗。同种动物在相互攻击中一般很少受到伤害。毒蛇在攻击时不使用毒牙；好斗的宝石鱼的攻击已演变成游戏，绝不在对方肚子上咬一口；狼的相互攻击只是一种伪战，败者会主动暴露出致命的咽喉部，请对方宽恕，胜者也决不会趁机咬死对方。但在种群密度较大，生活

资源和活动空间严重不足时，也有相互残杀现象。如一个小水坑中有过多蝌蚪时，大蝌蚪会释放毒素杀死小蝌蚪，以此来维持种群的合理密度。

攻击行为尽管使某些个体受到损害，甚至死亡，但对种群还是有利的。它使动物占有足够的食物和空间，使胜利者拥有交配权，对个体的生存和种群的进化都有利。

2．防御行为

动物采取各种方式保护自己，防御敌害的行为叫防御行为。防御行为有很多方式。如：

（1）保护色：动物身体的颜色与其栖息环境相似，以此避敌求生。这种在体色上对环境的适应叫保护色。水母、海蜇等漂浮生物躯体近于全透明，是对水体的良好适应。体色可随环境的变化而变色的避役，更具保护自己，获取食物的意义。

（2）警戒色：一些能释放毒液或恶臭的动物，其体表多具醒目的色泽或斑纹。其意义在于警告或吓退其捕食者，所以称这种体色为警戒色。黄蜂腹部有黑黄相间的条纹，令被它螫过的鸟望而生畏，从而保护了自己，得以生存。

（3）拟态：某些动物的形体或色泽与其他生物或非生物异常相似，这种状态叫拟态。如尺蠖的体态酷似短枝。

（4）假死：是一种以装死方式来逃生的保护性适应。如金龟子遇到敌害后会装死，从植株上滚落地上，伺机逃脱，从那些喜吃活食的捕食者口中逃脱。

（5）逃逸：某些动物遇到敌害时，会采取一定方式迷惑捕食者，趁机逃走，这样的保护性适应方式叫逃逸。如蜥蜴会断尾逃生；乌贼喷出墨汁趁机逃逸；黄鼬和放屁虫能以臭气退敌等。

（6）其他方式：麝牛遇到敌害时，成年麝牛会围成一圈，头朝外，把幼仔围在中央用角御敌；乌鸦会聚众乱叫以御敌；食肉动物多以提上唇、露犬齿，并发出呜叫来驱敌；鸵鸟会伪装成受伤诱敌，以保护雏鸟。

动物的防御行为保护了个体的生存，保证了种的延续，是动物长期适应环境的结果。但是，动物的防御行为不是总能起到保护自己的作用，饥饿的食虫鸟不再挑剔假死的金龟子，杜鹃口腔上皮细胞有特殊保护能力，不怕毛虫的毒毛。这说明了适应具有相对性。

（三）动物的繁殖行为

动物的繁殖行为是指动物在繁殖过程中所表现出来的一系列动作或活动，包括占领巢区、筑巢、求偶、交配、孵卵、对子代的哺育

等。

1．占领巢区

动物在繁殖季节，对食物等条件都适合的一定区域有着强烈的占有欲，称为占领巢区。这种占有欲，许多动物都有，尤以鸟类表现最为突出。雄鸟在选定巢区后，便守在巢区内，等待雌鸟的到来，同时发出警告性鸣叫，不准其他雄鸟侵入其巢区范围，有时甚至用武力保卫巢区。这种行为可保证动物在繁殖期间有一个安全的环境，并可从巢区获得充足的食物。

2．筑巢

动物在交配产卵之前，建造一个安全、稳定的产卵、孵化和育雏场所，称为筑巢。有些小型的鸟类能编织各种精致的巢，如缝叶莺以植物纤维贯穿大型树叶的侧缘，缝合成悬于树梢的兜状巢。

3．求偶

雌雄个体交配以前的互相识别、选择、接近等准备行为，称为求偶。大多数动物是靠雄性动物的行为来吸引雌性的，如雄性个体以鲜艳醒目的标志和特定的动作姿势引起雌性注意。送礼或献食也是求偶的一种方式。求偶的作用可以归纳为3个方面，首先是吸引和选择同种异性，以防止产生不育和杂种，其次是抑制异性的攻击和逃避反应，最后是达到性行为的同步。

4．交配

凡是体内受精的动物都要通过性器官的结合，才能使两性的生殖细胞在体内融合，这种行为称为交配。体外受精的动物，如鱼类和两栖类，虽无交配过程，但有与交配意义相同的行为。例如青蛙和蟾蜍，在生殖季节“抱对”。

5．孵卵

动物产下卵之后，多数没有孵卵的习性，有孵卵习性的种类便开始了孵化。亲体孵卵或亲体以各种方式等待卵的孵化是有其生物学意义的：①亲体伏卧在卵上，为卵提供适宜的温度条件。②亲体将卵放入口中或者守卫在卵旁的行为，可以为卵的孵化提供一个安全、舒适的场所，阻止天敌的伤害，保证幼体的出生率。

6．哺育

鸟类和哺乳类动物的幼体，从卵中或从母体中出生以后，就会受到亲体的喂养和照顾，这是动物的哺育行为。动物哺育行为的意义在于使幼体能够得到亲体很好的照顾，得到充足的食物并且受到保护，提高幼体的成活率。

（四）定向行为

动物都生活在一定的区域中，都有特殊的定位方法，定位活动是依靠某种感觉器官来完成的。定向可分3个方面：

1．化学定向

化学定向要依靠嗅觉器官来完成。狗外出时不时地在路旁的一些标志物上小便，狗尿中有一种化学物质，这样留下信号以便作为回来的标记。蚂蚁外出觅食，其身体分泌出一种液体物来标志路线，同巢的同伴利用触角感知气味而来到食源地。洄游性鱼类也是化学定向的，试验证明鲑鱼的生殖洄游是依靠化学物质定向的，如果将鲑鱼的鼻孔堵塞，它们就不能洄游到其出生的河流里。

2．视觉定向

大多数动物是以视觉来定向的。现已证明，白天迁飞的鸟类是靠太阳的位置定向的，晚上迁飞的鸟类则以星辰来定向。鸽子在阴天放飞，仍然可以返回原地，说明它有视觉定向和非视觉定向，非视觉定向可以由地磁、重力、气压、风向等因素的变化来确定方向位置。

3．听觉定向

听觉定向也称回声定向，是一些动物在空气或水中发出声音后碰到前方阻挡的物体发出回波，动物借助识别回波而判断物体的位置。如蝙蝠、海龟、鲸、海豹等动物是靠回声定位去避开障碍物和寻找食物的。

（五）动物的社群行为和通讯

1．社群行为

动物的社群行为是指同种生物个体之间除繁殖行为以外的一切形式的联系，又叫社会行为、群体行为。社群行为的最简单形式是同种个体的结集和共同行动，没有分工和地位的差异。如集群迁飞的蝗虫，结队而游的鱼，成群觅食的麻雀。社群行为的高级形式是集群的成员出现地位的差异和彼此的分工合作。如一个蜂群，有蜂王、雄蜂和工蜂，它们形态不同，分工不同，地位也不同。维护社群行为的机制主要有以下两个方面：

（1）等级

动物社群组织内部的等级一般是通过成员之间的竞争来确定的，一经确定后并不轻易改变，各个成员也都“承认”并记住了“自己的等级位次”，并用姿态和行为表现出来。幼小动物在社群组织中起初并没有等级，待成长后才有一定的等级位次，这种等级位次或者是由其母亲的等级位次而定，或者是根据幼小动物之间在游戏行为中的表现而定。动物的模仿学习也具有一定的等级，模仿行为主要发生在相同等级动物个体之间。

（2）分工

社群组织中成员的分工也是维护社群组织的重要机制。由于分工，各司其职，既可以减少成员之间的争斗，又可以提高社群作为一个整体的效率或适合度。

2．通讯

动物社群中要依靠信息的传递来达到行动的一致。通讯的方式有如下几个方面：①视觉通讯。这是视觉器官发达的动物之间最普遍的通讯方式。这在昆虫、鸟类、哺乳类动物中比较常见。②听觉通讯。这是听觉器官发达的动物之间的通讯方式，它不受时间的限制，即白天和晚上均可进行，其信号是声音。同一种动物发出不同的声音，有不同的信息，如求偶、报警、召唤、炫耀等。③化学通讯。这是利用化学物质作为信号来传递信息。接受化学物质的感觉器官是鼻、触角等。④触觉和电通讯。这类通讯常在那些视觉器官不发达的动物或视觉难以进行的地方发生。如蜘蛛眼为单眼，只能感光，不能成像，视力差，但它们的触肢和足上的感觉毛就弥补了视力的不足；某些生活于深海中的鱼类，由于光线和视觉已不能发挥作用，则依靠产生电场和电场变化来测定周围的物体。

3．蜜蜂语言

蜜蜂采蜜的效率极高。这主要是因为蜜蜂具有一个十分复杂的通讯系统。这一复杂的通讯系统指的是蜜蜂在蜂巢面上的“舞蹈”，其中包含蜜源的距离、所在的方向、食物的性质和质量等多种信息（图3-12-7）。当一只工蜂发现一处丰富的蜜源时，它就在蜂箱中垂直竖立的蜂巢面上“跳舞”，以这种方式向蜂房中的其他蜜蜂通报它的发现。如果食物就在附近（约60m以内），蜜蜂就跳“圆舞”。蜂巢内是黑暗的，蜜蜂看不见舞蹈，但能跟随舞蹈者的舞步和扇翅来感受信息，同时还可从舞蹈者口中尝到它所采食物的味道，从它身上嗅到蜜源的香气和它腹部分泌的挥发油气味，这些追随者收到了信息后就出巢而向各个方向飞去。它们找到蜜源后，就带着花蜜或花粉飞回巢中，将采集物储存于小室中，又跳起“圆舞”，招引更多同伙再去采集。如果蜜源距离较远（80m以上），蜜蜂就跳“摆尾舞”，舞步构成横的8字形。当蜜蜂沿着∞字竖轴舞蹈时，它会发出清晰的声音，并且腹部向两侧摆动。舞蹈时，∞字竖轴与重力线的夹角，与太阳光通向蜜源的最短飞行方向之间的夹角相等。舞蹈的次数和动作的强度还可以提供蜜源丰富程度和含糖量的信息。

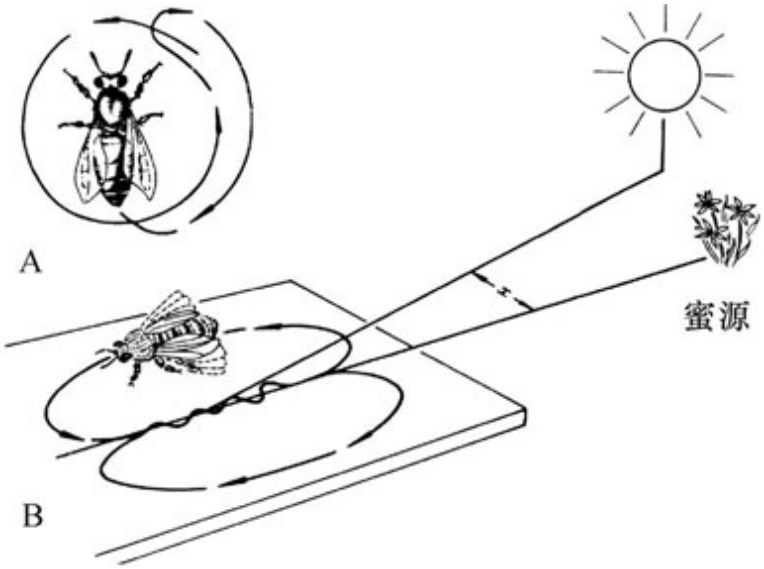


图3-12-7　蜜蜂舞蹈

A．圆舞；B．摇摆成∞形舞蹈，∞的纵轴与重力线所成夹角等于太阳与蜜源间夹角

（六）动物的节律行为

动物的活动适应环境中自然因素的变化而发生有节律的变化称为节律行为。

1．昼夜节律

动物的活动和生理机能与地球的昼夜相联系，出现大约每隔24h重复进行的现象，称为昼夜节律。根据昼夜活动的特性，可分为4类：白天活动的，称昼行性，如多数鸟类、昆虫、一部分哺乳类；黄昏或晨曦活动的，称晨昏性，如夜鹰；黑夜活动的，称夜行性，如猫头鹰；不规则活动的，称无节律性，如多数土壤动物。

2．潮汐节律

很多海洋动物的活动是与潮水的涨退相联系的，称为潮汐节律或月运节律。潮汐产生的条件是由月、日位移的引力而造成的。蛤蜊、藤壶等，涨潮时在水下觅食；蟹类涨潮时躲藏在洞穴内，当潮水退落时爬出洞穴，在海滩上捕食。

3．季节节律

产生季节节律的原因是地球绕太阳公转一周所接受日照的时数不同和引起的温度的变化。这种昼夜长短和温度明显差异的季节变化影响了许多动物的活动。生活于温带地区的动物，它们大多春季繁殖，冬季冬眠，如青蛙等两栖动物。动物的迁徙、繁殖、换毛、换羽都具有季节节律性。

4．生物钟

生物体自身有一个掌管时间的钟，即生物钟。比如公鸡到清晨一定时刻鸣啼，猫头鹰的体温恰好在夜里12点最高。生物钟不是具体的形态结构，而是一种以生化为基础的机制，目前尚难确定这一机制存在于生物体的什么地方。

（七）利他行为和亲缘选择

动物完成一个行为要付出一定代价，只有代价少而收获多的行为才是有适应意义的，能通过自然选择的行为。但是很多动物总是要完成一些对它本身很不利，甚至可罹杀身之祸的行为。例如，很多群居动物在遇警时，总有一些守卫者发出警报，或大叫、或狂奔、或扑翅起飞等，使动物群早做御敌准备或逃跑，但守卫者本身却暴露了目标，易为掠食者捕获。挪威的旅鼠有自杀的行为。它们可成群结队地步入海中淹死，使种群密度减少，以适应环境中有限的食物。蜜蜂、蚂蚁社会中绝大多数个体失去了生殖能力，而帮助一个或几个雌性个体，供给它们营养、保卫它们的安全，在它们产卵后又承担哺育其后代的任务。所有这些行为，即牺牲自身、使种群得利的行为，称为利他主义行为。

利他行为是如何通过自然选择的？对于这个问题，生物学家有不同的解释，比较可信的解释是亲缘选择假说或间接选择假说。我们知道，自然选择可以说是选择生殖能力，选择的结果是使基因得以保存和传代。如果个体牺牲了自己的生殖权力，而帮助其他个体更好地繁殖后代，只要被帮助者能把牺牲者的基因保存、扩增并传递到后代，那么，牺牲者虽然失去了自己的生殖权力，却得到了被帮助者代为传递基因的补偿。这种能够得到补偿的自我牺牲自然是会被自然选择所选中的。

有亲缘关系的个体有很多相同的基因，这是不言而喻的。子女有父母的基因（1/2父亲，1/2母亲），亲缘关系越近，相同的基因越多。亲属间含有共同基因的可能性可用亲属关系系数r来表示没有亲属关系的个体间的r为0；父母和子女间的r为1/2；兄弟姊妹间的r为1/2；同父异母或同母异父的兄弟姊妹之间的r为1/4；堂表兄弟姊妹间的r为1/8等。

假定决定“利他”精神的基因是A，在一个动物群中，一个动物的A基因能通过也含有A基因的亲属的生殖活动而被保存下来，或甚至更多地保存下来，那么，自身生殖就可被淘汰，而由亲属代替生殖就将被选择。假设一个动物有产生2个子女的能力，但它自己不生殖，而将它的食物提供给它的一个能产生3个子女的兄弟姊妹，让它生殖，产生

3个后代，后代靠它提供的丰富的食物而成长起来，这个动物牺牲它自身的生殖就是值得的。因为它自己不生殖，失去了2个子女，这个牺牲的价值是r×2，即0.5×2＝1，但是它的基因由它的兄弟姊妹传递给3个子女的利益是0.5×3＝1.5。因此，利大于弊。这种牺牲是得利的，所以在自然选择中被选中了。

【例题解析】

例1　下列哪项行为属于洞察学习（　　）

A．黑猩猩取香蕉

B．鹦鹉学舌

C．鼠走T形迷宫

D．狗听到铃声分泌唾液

解析　把香蕉悬挂于高处，室内散放几个木箱和短木棍，黑猩猩能把木箱叠高，爬上去取香蕉，也能把木棍接起来取香蕉，黑猩猩以前虽没遇到过此问题，但据以前的经验，经推理知道木箱叠起来可弥补身高不足，这种利用脑中原有经验解决当前新问题的学习行为属于洞察学习（悟性学习）。鹦鹉通过观察获得过去所不会的发声，它不懂语言的含义，是一种观察学习（模仿）。老鼠在T形迷宫中乱走乱闯，经过多次失败后，偶尔找到出口，以后再进入T形迷宫，由于主动地把路的特征与逃出迷宫联系起来，能较快找到出口，这是主动联系学习，又称试错学习，也称操作条件反射。狗听到铃声分泌唾液是经典的条件反射，是一种被动联系学习。

答案　A

例2　蜘蛛织网这种行为属于（　　）

A．本能

B．非条件反射

C．趋性

D．习惯化

解析　习惯化是一种否定的学习行为，它是对既无积极意义，又无消极意义的无关刺激不予反应，减少能量的无谓消耗。蜘蛛织网是由遗传物质控制的，是对蜘蛛有积极意义的先天性行为。趋性是趋向和离开刺激源（光、热、化学物质等）的动物整体的定向运动，而本能是对刺激产生的按一定程序进行的一系列行为活动，非条件反射是指身体的某一部分对某一刺激产生的定型反应。可见蜘蛛织网这种行为活动是一种本能。

答案　A

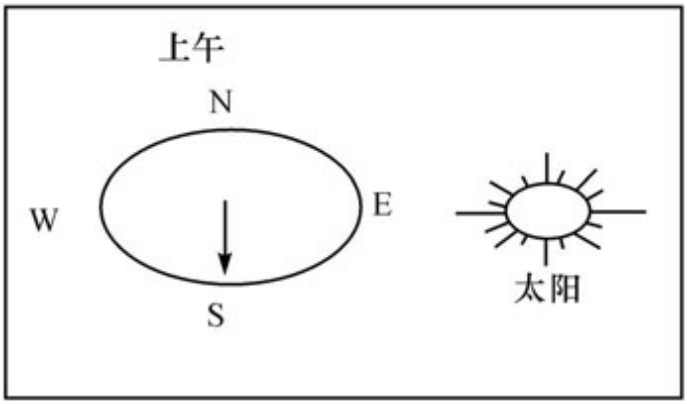
例3　将利用太阳定向的迁徙鸟置于笼中，图A为正常迁徙方向，图B利用镜子改变了太阳照射的方向，则图B中鸟向什么方向迁飞（　　）

A．东

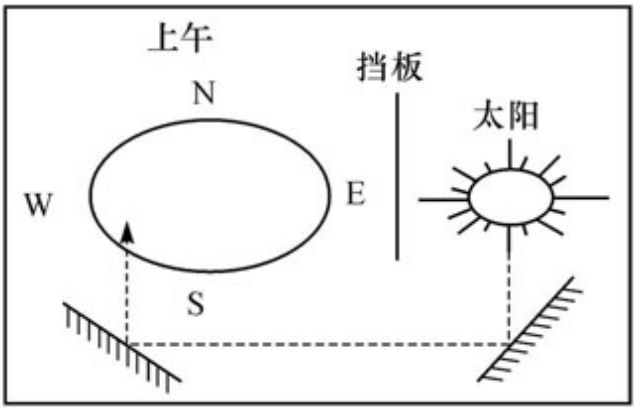
B．南

C．西

D．北



图A



图B

解析　利用太阳定向的迁徙鸟，它的运动方向常常与光源保持一个固定的角度；如果改变太阳照射方向，那么，迁徙鸟也会改变它的运动路线。题中，太阳照射方向偏移了90°，那么，迁徙鸟的迁飞方向也偏移90°。

答案　C

例4　无毒的拟斑蝶外观酷似色彩鲜艳、身体有毒的王斑蝶，这一现象属于（　　）

A．贝茨拟态

B．缪勒拟态

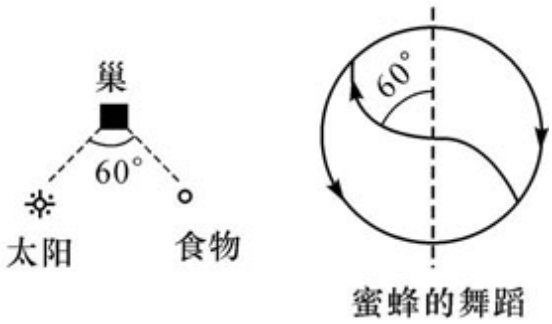
C．警戒色

D．保护色

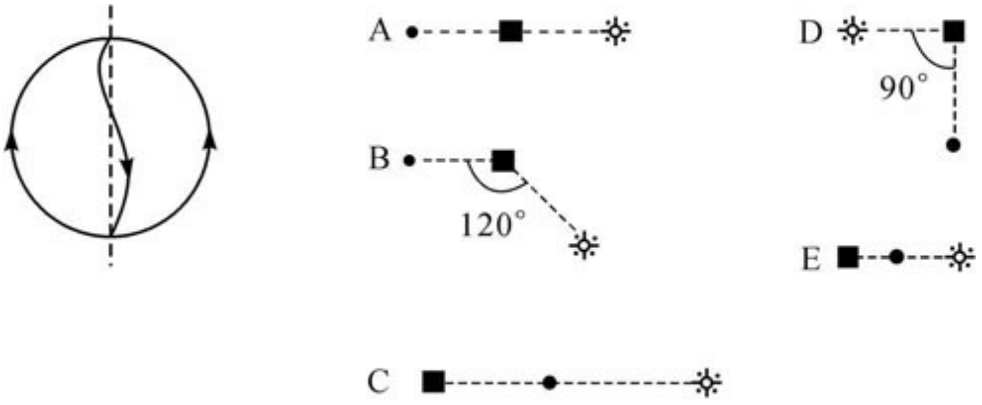
解析　拟态是指一种动物因在形态和体色上模拟另一种有毒和不可食的动物而得到好处。贝茨拟态：一种无毒可食的动物模拟一种有毒不可食的动物。缪勒拟态：两个有毒的物种彼此相互模拟，双方就都能得到好处（它们共同分担捕食动物在学习期间所造成的死亡率）。缪勒拟态常见于毒蛾科各个科种之间。题中，拟斑蝶无毒、王斑蝶有毒，所以判定为贝茨拟态。

答案　A

例5　一只蜜蜂发现食物后可以用舞蹈告诉同伙食物的地点，甲图是一个例子。根据这一例子，乙图中的蜜蜂舞蹈指示的是什么方向的食物来源（　　）



甲图



乙图

解析　蜜蜂是社会性昆虫，具有社群行为，工蜂发现蜜源后，能用舞蹈（蜜源较近时跳圆形舞，蜜源较远时跳“8”字摆尾舞）这个语言向同巢工蜂发出信息，其他工蜂根据舞蹈动作和气味找到蜜源，体现了合作行为。题图中蜜蜂跳的是“8”字摆尾舞，表示蜜源离蜂巢较

远，其中直爬方向指示蜜源方向。如蜜源与太阳同方向，蜜蜂在蜂巢上垂直向上爬，如蜜源与太阳反方向，蜜蜂在蜂巢上垂直向下爬，如蜜源与太阳偏离一定角度，则蜜蜂在蜂巢上顺着偏离的角度爬，直爬时间指示蜜源与蜂巢距离。每天的太阳在天空位置不断变化，蜜蜂通过生物钟作相应调整。做这类题目时，可以蜂巢为原点作一坐标系，再把蜂巢与太阳、蜂巢与食物用线段连接构成一个α角，再把这个α角沿原点（蜂巢）转动，使蜂巢与太阳的线段与纵坐标重合（太阳向上），则蜂巢与食物的线段就是直爬路线，直爬方向就是蜂巢与食物的方向。如果α角为0度，表示蜜源与太阳同方向，蜜蜂在蜂巢上垂直向上爬，如果0度＜α＜90度，表示蜜源与太阳同方向，蜜蜂在蜂巢上偏离α角向上爬；如果90度＜α＜180度，表示蜜源与太阳反方向，蜜蜂在蜂巢上偏离α角向下爬；如果α角为180度，表示蜜源与太阳反方向，蜜蜂与蜂巢上垂直向下爬。题中蜜蜂向下爬，α角接近180度，只有A较恰当，B、D明显角度不符，C方向相反，E方向距离都不对。

解析　A

例6　有人定义：动物玩耍是一种没有适应意义的行为。对于这个定义你认为表述正确的是（　　）

A．这个定义不成立，因为在自然选择过程中，那些没有适应意义的行为将被淘汰

B．事实上，玩耍具有适应意义

C．动物的玩耍不是行为表达

D．以上都不正确

解析　动物的行为最终目的都是个体的生存和种族的延续，它们不仅受到遗传和环境的影响，而且是在长期进化过程中通过自然选择形成的，具有物种的特异性和适应性。从动物的各种玩耍中，可以看到有许多是它们在成年前必须经历的行为。如小羚羊、羔羊和其他食草动物会玩一些假逃跑的游戏：它们从根本就不存在的捕食者旁边飞快地逃跑。而这种本领，是在它们可以安全地捕食之前必须掌握的。在巨鼠、狼和狗这类肉食动物中，小动物会假装捕到了食物，然后煞有介事地跳跃、撕咬、用力扑打、摇晃和咆哮。而这正是它们长大后捕捉到食物时的情景。小蝙蝠在玩耍时会彼此猛扑，其飞行的路线与成年蝙蝠捕捉昆虫时，为迷惑昆虫而诡秘飞行的线路相似。这是它们在捕食前的练习。小海龟虽然无法跳跃嬉戏，但也有它们自己独特的游戏方式：轮流举起前腿，在玩伴前快速地颤抖，这个动作是它们成熟后的雄性海龟求爱时会使用到的。

答案　AB

【针对训练】

（一）单选题

1．关于动物的行为叙述中，哪一项是正确的（　　）

A．所有动物的行为都是无意识行为

B．学习行为是意识行为，先天性行为是无意识的

C．同人类有亲缘关系的黑猩猩的行为中，有的是意识行为

D．低等的动物没有学习行为，只有先天性行为

2．对于攻击行为，下列选项错误的是（　　）

A．同种个体之间所发生的攻击和战斗

B．攻击有肉体和非肉体方式

C．攻击中双方都受到伤害

D．攻击中双方都不受到伤害

3．在繁殖时期的雄三刺鱼，只会对涂上红颜色的三刺鱼模型发起猛烈攻击是因为（　　）

A．模型的形状与真鱼不相像

B．模型的大小与真鱼不相似

C．红颜色是刺激行为发生的主要因素

D．模型的大小、形状都与真鱼不相像

4．当一只雄狮成为狮群的首领后，它有时会杀死狮群中（前任首领）的幼仔，这种现象在行为生态学中被解释为（　　）

A．这雄狮不喜欢幼仔

B．这雄狮没有能力照顾那些幼仔

C．这雄狮要繁殖自己的后代

D．这雄狮的父亲行为退化

5．老鼠的出现，猫发现老鼠，并做好捕鼠的准备，这与什么相关（　　）

A．外界刺激和动物感官的功能状况

B．外界刺激与动物的生理特性

C．外界和内部刺激

D．动物的机体结构

6．一只灰喜鹊在院子左边的一棵树上鸣叫，不久又飞到院子右边的一棵松树上又开始鸣叫。当另一只灰喜鹊飞进院子时，第一只灰喜鹊飞向它，并试图啄它。对这种行为的最好的解释是（　　）

A．鸟类用歌声和争斗行为来维护领地

B．鸟类爱好独居

C．灰喜鹊好斗
D．灰喜鹊用叫声传达信息
7．繁殖行为的程序正确的是（　　）
A．性别决定→性选择→抚幼
B．性识别→交配→抚幼
C．求偶→交配→抚幼
D．性选择→交配→抚幼
8．除哪项外，其余均是动物行为的共同特点（　　）
A．所有动物行为都有一定的遗传基础
B．动物的行为都是一个运动变化的过程
C．动物的行为对其生存繁衍有重要作用
D．动物行为的产生是神经、激素调节的结果
9．下列描述中属于摄食行为范围的是（　　）
A．采食、饮水、呼吸、排尿和排粪
B．采食、饮水、逃避、排尿、排粪
C．采食、饮水、移居、排尿和排粪
D．采食、饮水、移居、分工
10．动物行为中的印随学习，在进化上的选择价值是（　　）
A．逐步增强个体对环境的适应性
B．逐步减少环境对个体生存的威胁
C．减少幼体对环境的依赖
D．增加幼体的生存机会
11．人们养蜂取蜜，是利用了蜜蜂的（　　）
A．贮食行为
B．攻击行为
C．防御行为
D．繁殖行为
12．白蚁群体中，个体数量最多和最少的是（　　）
A．兵蚁和工蚁
B．工蚁和蚁王
C．工蚁和雄蚁
D．兵蚁和蚁王
13．下列动物中，学习能力最强的是（　　）
A．蚯蚓
B．大山雀
C．马

D．黑猩猩

14．影响动物行为的因素，正确的是（　　）

A．刺激的强度、神经系统的兴奋势、遗传控制

B．刺激强度、神经的兴奋势、行为时间间隔性

C．激素、生物钟、肌肉系统的存在

D．激素、生物钟、条件反射的存在

15．贮食行为发生在（　　）

A．饥饿时

B．食物丰富时

C．食物缺乏时

D．任何时候

16．鹰在空中盘旋时，母鸡将小鸡掩藏在自己的翅膀下的行为是（　　）

A．先天性的社群行为和贮食行为

B．先天性的防御行为和繁殖行为

C．后天性的社群行为和贮食行为

D．后天性的防御行为和繁殖行为

17．一种萤火虫的雌性个体运用腹末的发光器准确模仿另一种的信号而把另一种雄性骗来吃掉，这是（　　）

A．使用工具

B．捕食

C．使用诱饵

D．拟态

18．青蛙及蟾蜍在生殖季节有雌雄抱对现象，这种现象的生物学意义是（　　）

A．它们属于体内受精的动物

B．它们在进行交配

C．雄性在向雌性求偶

D．抱对增加了精卵结合的机会

19．瓣蹼鹬的雄鸟拥有鲜艳的婚羽，这是由哪种激素所决定的（　　）

A．雄激素

B．雌激素

C．孕激素

D．催产素

20．环境中一个特定的刺激可引起动物发生特定的、稳定的反应，这种刺激叫符号刺激。以下各例中，不属于符号刺激引起反应的是（　　）

A．杜鹃幼鸟张开大口，引发体型比它小得多的寄主鸟的喂饲行为

B．巴甫洛夫的实验狗听到铃声，引起唾液分泌

C．海鸥面对巢中两只木制假蛋，总是挑选大的一只来孵

D．“灯蛾扑火”

21．完全符合本能行为的是（　　）

A．地蜂筑巢、鸟怕稻草人

B．幼蛇像成蛇捕食、小鼠获奖走迷宫

C．幼蛙捕虫、海兔逃避海星

D．海鸥幼雏求食、狮子捕食

22．下列行为受外激素影响的有（　　）

A．蚂蚁工蚁集群外出采食

B．大雁的集体性迁徙

C．大麻哈鱼的生殖洄游

D．以上均不是

23．下列的环境信息是超常刺激的是（　　）

A．濑鱼以鲜艳的体色接近鲨鱼

B．海鸥抱窝时挑选大蛋

C．雄三棘鱼加强攻击红色腹部且倒立的模型

D．青蛙捕活动昆虫

24．蛙类不抚幼，但幼蛙能有效的像成蛙一样捕食昆虫，这是（　　）

A．适应行为

B．学习行为

C．经验行为

D．本能行为

25．每年春季，雄蛙的鸣囊鼓起，发出声音，雄蛙此行为属于（　　）

A．攻击行为

B．防御行为

C．繁殖行为

D．捕食行为

26．影响鸟类迁徙的最重要因素是（　　）

A．大气平均温度的变化

B．日照时间的变化
C．食物来源的减少
D．来自天敌的压力增加
27．萤火虫在夜晚发光，其生物学意义主要是（　　）
A．引诱异性
B．释放体内多余的能量
C．警告其他昆虫
D．分泌荧光物质
28．小鸟对立在田间的稻草人不再警惕和害怕，这是它的哪种学习方式（　　）
A．印随学习
B．联想学习
C．习惯化
D．模仿
29．猫在饥饿时对纸片都感兴趣，但是饱食后，老鼠的叫声也常常不能引起猫的反应，这说明（　　）
A．猫的行为刺激来自于身体内部
B．鼠叫不是猫行为的刺激因素
C．饱食后的猫，其神经系统变得迟钝
D．猫的行为是内外刺激共同作用的结果
30．树蛙在繁殖季节，雄性发出“Co、qui”的叫声，其雌性却只能听到“qui”音，从而进行异性求偶，这种听觉是对刺激的（　　）
A．刺激积累
B．外围筛选
C．中枢筛选
D．关键刺激
31．在育雏期间内，雏鸟总是张大口等待亲鸟的喂食，雏鸟的这种行为属于（　　）
A．繁殖行为
B．索食行为
C．社群行为
D．贮食行为
32．下列行为实例中，既是最简单的学习方式，又是习惯化的学习方式的是（　　）
A．麻雀对反复出现的稻草人不再害怕
B．中华鲟对出生地位置的印记

C．杜鹃在篱雀巢中下蛋
D．血吸虫从人的皮肤侵入
33．大海鸥的红嘴对它的小海鸥有特殊的功用，下列各项中正确的一项是（　　）
A．超常刺激
B．符号刺激
C．抑制攻击
D．确认双亲的标记
34．飞船飞离地球后，四周一片星空，没有地球上的昼夜变化，生活在飞船上的狗，在最初几天里（　　）
A．失眠
B．长期活动
C．保持日节律
D．无规律
35．从卵中孵出的小鸭会把抚养它们的人当作自己的父母，这种现象称为（　　）
A．学习行为
B．适应策略
C．印随
D．识别
36．判断哪一项不属于繁殖行为（　　）
A．母野鸭奋起追逐老鹰
B．大山雀撕开奶瓶盖偷食牛奶
C．园丁鸟用鲜花、浆果和彩色玻璃碎块装饰自己的小庭院
D．大山雀撕取桦树皮做窝
37．狮群中处于统治地位的是（　　）
A．雄狮
B．最具竞争性的雄狮
C．雌狮
D．最具生殖潜能的雌狮
38．一群鸭中有一只修饰羽毛，其他个体都随之修饰羽毛，这是（　　）行为
A．联想学习
B．习惯化
C．模仿学习
D．A、B、C均不是

39．“一窝蚂蚁共有一个‘大脑’”，下列关于这句的分析，哪一项是不正确的（　　）

A．一窝蚂蚁分工合作，组织严密，像是一个“大脑”控制一样

B．一窝蚂蚁的不同个体之间能通过各种“语言”准确地传递信息

C．一窝蚂蚁的不同个体的“脑”加起来相当于一个大脑

D．一窝蚂蚁中各种信息的传递像神经传递信息一样

40．遗传在行为中的相对作用是（　　）

A．决定行为的精细性

B．决定行为的局限性

C．决定行为的表现型

D．启动行为的继承性

41．鸭在凫水后有梳理羽毛的行为，但在求偶时，这种行为与清洁身体无关，具特殊含义。下列梳理羽毛求偶的方式最高等（　　）

A．翘鼻鸭用力梳理翼上的羽干

B．绿炎鸭举翅露出鲜明的羽毛

C．绿翅鸭对翼上鲜艳部位稍作整理

D．鸳鸯象征性碰一下翼上一根大的羽毛

42．动物牺牲自己的生命来帮助同类的行为，称为利他行为。一般认为利他行为是由于亲缘选择而产生的。下列不能用亲缘选择解释的是（　　）

A．守卫蜂巢的工蜂的自杀性进攻

B．雄狮保护家族中非亲生狮仔的行为

C．兵蚁保卫蚁王的行为

D．鸟类以报警鸣叫来提醒其他个体有临近的危险

43．一些蛾类利用外激素吸引异性交配。一般是雌蛾在一处释放这种气味，雄蛾从远处飞来发现雌蛾（　　）

A．雄蛾被外激素引诱，逆风飞向有气味的地方，外激素引导它落在雌蛾附近（趋风性）

B．雄蛾被外激素引诱，利用气味浓度梯度来导向和降落（趋化性）

C．雄蛾受天气条件的影响，尽管有外激素的存在，它还是在随机地飞行中发现附近的雌蛾

D．雄蛾受天气条件的影响，天空中的信号使它保持方向，外激素帮助它落在雌蛾处

44．在秋季鸟类迁飞时，有些鸟的幼鸟与成鸟一起迁飞，而有些鸟的幼鸟则与成鸟分开迁飞。与之有关的因素是（　　）

A．在一个季节里亲鸟做巢的数
B．该种鸟个体的平均寿命
C．迁徙过程中食物的需求
D．迁徙的方向和距离是学习行为还是先天行为
45．发生在自然种群中利他行为（如狮群中，一“姑母”保护其他的幼狮），其最根本的原因是（　　）
A．可以保证本物种的延续
B．可以保证本家族的延续
C．可以保证亲戚中的基因传播
D．是群体选择的机制
46．芦莺给杜鹃孵化卵，并把其幼体带大，而杜鹃不仅偷走芦莺的卵而且把其卵吃掉，芦莺这种利他行为是（　　）
A．互相回报的
B．互惠合作的
C．完全利它的
D．行为操纵的
47．对一些鸽子进行训练，使其在每天上午10点钟时从一个取食的机器中取食，取食时只要啄一个小孔即可。然后，把这些鸽子向西经方向运送了60°至P地。在这一新地点，它们可能会在当地时间的几点钟啄取食机的小孔（　　）
A．上午10点
B．上午4点
C．下午4点
D．下午2点
48．一些蛾类后翅上的大眼斑属于（　　）
A．信号刺激
B．释放者
C．超常刺激
D．种间释放者
（二）多选题
1．下列属于先天性行为的是（　　）
A．蚂蚁搬家、大雁南飞、孔雀开屏
B．公鸡报晓、惊弓之鸟、鹦鹉学舌
C．蜘蛛织网、猫捉老鼠、尺蠖拟态
D．狗辨主客、黄牛耕地、老马识途

2．转移捕食者视线是反捕食的一种策略，下列哪些行为属于转移捕食者视线范围（　　）

A．眼镜蛇的眼斑长在颈部

B．海参被捉时把内脏吐出

C．壁虎被攻击时把尾折断

D．眼蝶的后翅后部有眼状斑纹

3．下列属于动物间的“语言”的是（　　）

A．狗的“尿”

B．羊身上的气味

C．夏天狗吐出舌子

D．青蛙的叫声

4．下列实例中属于先天定型行为的是（　　）

A．二化螟对波长330～440nm光的光线趋性最强

B．人类的眨眼反射

C．家燕的迁徙

D．食物引起狗分泌唾液

5．在自然环境中，被食动物避免被其他动物吃掉而保存自己是十分重要的，所以被食动物都具有反捕食策略，下列实例属于反捕食策略的有（　　）

A．牛用舌卷吃长草，羊吃短草

B．套索蜘蛛可分泌一种雌蛾的性外激素

C．雨蛙栖于绿叶间，体呈绿色

D．寄居蟹生活于螺壳内

6．下列攻击行为的实例中，错误的是（　　）

A．两只同种的公鸡争一只母鸡

B．圆蛛雌、雄交配后，雌性吃掉雄性

C．两只家狗为争夺一食物而相互厮打

D．鼠见了猫后迅速躲藏起来

7．下列叙述中正确的是（　　）

A．某些先天的模式可以通过经验来改变

B．趋性永远不会和固定模式行为同时发生

C．超常刺激常产生更强的反应

D．固定行为模式是高度固定的先天行为

8．下列实例中是模仿学习的是（　　）

A．英国的“山雀偷奶”

B．幼小猩猩能从石缝中吸水

C．小儿随妈妈学跳舞
D．一雄鸡啼明，百鸡齐鸣
9．下列动物中属于封闭式社群的动物是（　　）
A．野猪种群
B．大象种群
C．猩猩种群
D．蚂蚁种群
10．下列情况中属于繁殖行为的有（　　）
A．孔雀开屏
B．雌昆虫分泌性外激素
C．捕鸟蛛的雌性吃掉雄性
D．不同种的动物染色体不同
11．下列实例中属于动物的定向行为的是（　　）
A．雄蛾通过触角感觉雌性的性外激素
B．蚂蚁利用分泌物而觅食
C．大麻哈鱼的溯河洄游
D．蝙蝠利用超声波而飞翔以避它物
12．下列现象属于动物行为的是（　　）
A．瓢虫的假死
B．河马的吼叫
C．肺鱼的夏眠
D．鸟类迁徙
13．与鸟类迁徙时的导航机制有关的因子是（　　）
A．太阳和星星
B．地球磁场
C．鸟类的生物钟
D．鸟巢气味
14．捕食是动物获食的主要手段，且捕食有多种方法。下列实例属于捕食范围的是（　　）
A．斑马吃草茎、角马吃叶鞘
B．射水鱼将水从口中射出击中昆虫
C．黄安鳉背鳍具肉穗
D．犰狳把身体蜷缩成团
15．具单向性外迁的动物有（　　）
A．白冠雀
B．旅鼠

C．王蝶
D．群居性沙漠蝗
16．种群繁衍是动物行为的目的之一，所以动物往往具抚育行为，下列符合抚育行为的是（　　）
A．哺乳动物的胚胎在子宫内发育
B．母兽遇敌口叼幼仔行走
C．亲鸟以鸣叫声给雏鸟以学音示范
D．长臂猿之间常呼号以示位置
17．下列实例中，属于矛盾行为的有（　　）
A．两公鸡相斗，一方突然停止去进攻树干
B．一猴群中的“大姐”常攻击“小妹”
C．雄三棘鱼求偶时，突然离开到巢边用鳍激水
D．狗见了生人就狂吠并后退
18．下列所列动物依靠化学定向的是（　　）
A．蚂蚁、蜜蜂、河蚌
B．蚂蚁、鸽、河蟹
C．蜜蜂、狗、白蚁
D．狗、白蚁、豹鼠
19．在感觉、协调、运动系统协调动物行为的关系中，有反馈进行调节，下列情况属于负反馈调节的是（　　）
A．体温自动控制
B．昆虫的蜕皮激素刺激蜕皮
C．恒渗透压动物的水盐平衡
D．动物的求偶
20．缪勒氏拟态是模仿者和被模仿者皆不可食，下列属于缪勒氏拟态的是（　　）
A．黄蜂与土蜂
B．瓢虫与虎甲
C．竹节虫与竹
D．副王蝶与王蝶
21．下列动物在性选择中属于同性选择的是（　　）
A．猴、野牛
B．孔雀、鸳鸯
C．海豹、鹿
D．狗

【参考答案】

（一）单选题

1. C 2. C 3. C 4. C 5. A 6. A 7. C 8. B 9. A 10. D 11. A 12. B 13. D 14. B 15. B 16. B 17. C 18. D 19. A 20. B 21. C 22. A 23. B 24. D 25. C 26. B 27. A 28. C 29. D 30. B 31. B 32. A 33. B 34. C 35. C 36. B 37. B 38. D 39. C 40. B 41. D 42. D 43. A 44. D 45. C 46. D 47. D 48. A

（二）多选题

1. AC 2. ABCD 3. ABD 4. ABC 5. CD 6. BD 7. ACD 8. ABC 9. AC 10. ABC 11. BCD 12. ABCD 13. ABC 14. ABC 15. BD 16. ABC 17. ABC 18. AB 19. AC 20. AB 21. ACD

第四章　生物技术实践

第1讲　微生物的利用及酶的应用

（萧山中学　董柯锋）

【知识梳理】

一、微生物的类群

微生物是指形体微小，结构简单，肉眼一般不可见，通常要用光学显微镜和电子显微镜才能看清楚的生物。微生物不是分类学的范畴，而是对微小生物这个类群的统称，由荷兰人列文虎克首次真正观察到并做出描述。微生物与人类的关系极为密切，虽然有些微生物能使人和动植物患病，但90%以上的微生物对人类是有益的。

微生物所包含的类群十分庞杂，目前已知的大约有10万种微生物，包括：①原核生物类的细菌、蓝藻等；②非细胞生物的病毒；③真核生物类的原生生物、真菌等。下面以细菌和病毒为例来介绍。

（一）细菌

最早发现细菌并做出描述的人是列文虎克。其后巴斯德发明了巴斯德消毒法，即在62℃左右维持30min，可杀死食品中不产生孢子的致病细菌而不影响食品的风味，这种低温消毒的方法至今仍广泛使用。与巴斯德同时期的柯赫提出了确定传染病病原微生物的柯赫原则，并首创琼脂培养基培养的方法。

1．细菌的形态结构

①形态

细菌形态有球形、杆形和螺旋形之分。球形或椭圆形的细菌称为球菌，如金黄色葡萄球菌、肺炎双球菌、链球菌等。杆状或长柱状的细菌称为杆菌，如枯草杆菌、大肠杆菌、黄色短杆菌、谷氨酸棒状杆菌等。螺旋菌形态多样，如霍乱弧菌等。

②结构

细菌是单细胞的原核生物，主要由细胞壁、细胞膜、细胞质和拟核等部分构成，具体结构见图4-1-1。

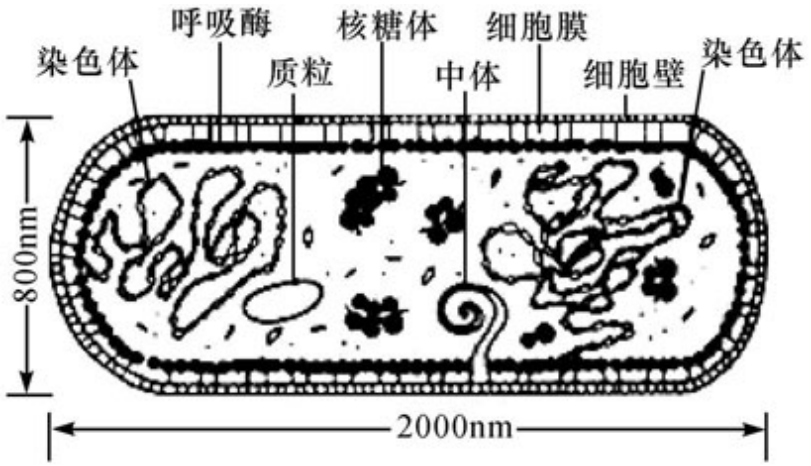


图4-1-1　细菌结构

除支原体外，所有细菌都有细胞壁，它的主要成分为肽聚糖，青霉素能抑制肽聚糖的合成，故能抑菌。除了肽聚糖之外，有些细菌壁上还有磷壁酸（壁酸或胞壁酸），经革兰氏染色（即先用结晶紫初染，然后用碘液媒染将细菌染成深紫色，再用乙醇褪色，最后用番红复染）后，仍能保持深紫色，是革兰氏阳性菌（用G^+表示）；无磷壁酸的细菌为革兰氏阴性菌（用G^-表示），经染色后呈红色。阳性菌对青霉素敏感，阴性菌对青霉素不敏感。

许多细菌的细胞膜向细胞内折入而成一个或数个多层膜结构，称为中体。过去认为中体有呼吸功能，其实细胞膜本身就有呼吸功能。中体实际是制备电镜标本时出现的假象。

在电镜下可以看到拟核由一个大型的DNA分子反复折叠缠绕而成，呈棒状、哑铃状或球状。它控制着细菌的主要遗传性状。

细菌细胞质是无色透明的胶状物，里面含有核糖体、质粒和一些贮藏性颗粒（如淀粉粒、硫粒等）。质粒是细菌中除拟核以外的小型环状DNA分子，数量很多。它上面一般含有几个到几百个基因，控制着细菌的抗药性、固氮、抗生素生成等性状，质粒是基因工程中天然的运载体。

有些细菌除了上述基本结构之外，还具有特殊结构，如荚膜、鞭毛和芽孢。芽孢是在细菌生长发育后期形成的厚壁、含水量极低、抗逆性极强的休眠体，无繁殖功能。芽孢具有惊人的耐高温能力和休眠能力。因此，在微生物培养基和发酵设备中，必须进行灭菌，以杀死芽孢作为标准，通常湿热灭菌至少在121℃下维持15min以上；干热灭菌要在150～160℃下维持1～2h。少数芽孢杆菌，例如苏云金芽孢杆

菌，在其形成芽孢的同时，会同时形成一种蛋白质晶体，称伴孢晶体，它对鳞翅目昆虫的幼虫具有毒杀作用。

2．细菌的繁殖

细菌主要以二分裂的方式进行繁殖，如果条件合适，每20min就可分裂一次。分裂时，细胞增大，DNA分子复制，接着细胞中部的细胞膜和细胞壁向内生长，形成隔膜，将细胞质分成两半，形成两个子细胞。多种细菌在环境不良时能产生孢子，以度过不良环境。与芽孢不同，孢子是生殖细胞，有外孢子和内孢子之分。外孢子的产生形式与真菌十分相似；内孢子虽也具有很强的耐受不良环境的能力，但没有芽孢强。

3．菌落

单个细菌肉眼是看不见的，但是当单个或少数细菌在固体培养基上大量繁殖时，便会形成一个肉眼可见的、具有一定形态结构的细胞群体，称为菌落。不同种类的细菌所形成的菌落，在大小、形状、光泽度、颜色、硬度、透明度等方面具有一定的特征。例如，无鞭毛的球菌，常形成较小较厚、边缘较整齐的菌落；有鞭毛的细菌则形成大而扁平、边缘呈波浪状或锯齿状的菌落。每种细菌在一定的条件下所形成的菌落，可以作为菌种鉴定的重要依据。

4．细菌的营养和呼吸

除了吞噬营养外，生物界的其他各种营养方式在细菌中都存在，大多数细菌是异养的，少数可以自养。

①光合细菌　凡能进行光合作用的细菌都是光合细菌。但细菌的光合作用与植物的光合作用是有区别的。第一，光合细菌都是厌氧的，在有氧条件下不能生存。它们光合作用的最终电子供体不是水，因而也不放出氧气。第二，光合细菌没有叶绿体，只有相当于真核细胞类囊体的载色体。其色素的吸收波长在近红外区，适合在缺少光线的水底泥中进行光合作用。第三，细菌光合作用全过程只相当于真核细胞的光系统Ⅰ，故效率较低。

②化能自养细菌　这类细菌能将自然界的无机物氧化，从中取得能量，并利用能量将无机物CO_2还原为糖类。常见有硝化细菌、硫细菌、氢细菌等。

③异养细菌　绝大多数细菌都是化能异养的。

④呼吸　多数细菌是需氧的，它们没有线粒体，其电子传递链位于细胞膜上。少数细菌厌氧。有的绝对厌氧，在有氧环境中不能生存，称专性厌氧细菌，如光合细菌。有的既能在厌氧环境中生存，也能在有氧环境中生存，称兼性厌氧细菌，如大肠杆菌。

5．其他细菌

①放线菌　放线菌也为单细胞的原核生物。它的菌体一般由分枝状的菌丝构成。菌丝可以分为两类：伸入到培养基内部的菌丝称为基内菌丝，主要功能是吸收营养物质；伸展在空气中的菌丝称为气生菌丝，这类菌丝较粗，呈直线形或弯曲分枝形。大多数放线菌都是靠基内菌丝吸收现成的营养物质，进行腐生生活的。放线菌生长到一定阶段，一部分气生菌丝便分化成孢子丝。孢子丝有杆形的、波浪形的、螺旋形的等，上面生有成串的孢子。在适宜的条件下，孢子萌发长出菌丝。

放线菌主要分布于土壤、空气和水中，尤其在富含有机质的土壤中较多，平常所说的“土腥气”主要来自放线菌。多数抗生素都是由放线菌产生的，如链霉素、红霉素等。

②衣原体　衣原体很小，能通过细菌过滤器。由于衣原体所需ATP全部依赖于寄主细胞，故衣原体必须在寄主细胞内生活，有摄能寄生物之称。砂眼和鹦鹉热的病原体为衣原体。

③支原体　支原体是已知的最小的能在细胞外培养生长的原核生物。无细胞壁，形态多样，对青霉素等作用于细胞壁的抗生素不敏感。

6．人体细菌

①共栖细菌　人的消化道内栖息着大量细菌群落。人的粪便几乎一半干重都是消化道中的细菌。这些细菌能合成多种B族维生素和维生素E、K等。

②致病细菌　细菌释放的毒素可以分为2种：一种为外毒素，是细菌分泌到体外介质中的毒素，可随血液、淋巴等进入身体各部分，是毒性很强的蛋白质，但不耐热，热处理后毒性消失，但仍有抗原的作用，成为类毒素。类毒素进入人体，能使人体产生抗毒素（一种抗体）。另一种为内毒素，只在细菌死亡溶解后才被释放出来，是脂和多糖的复合物，毒性比外毒素弱。内毒素相对热稳定，不能转变为类毒素，也不能诱导产生抗毒素。

（二）病毒

1．病毒的结构

病毒可以通过细菌过滤器，主要由核酸和衣壳两部分组成。核酸位于病毒的内部，构成病毒的核心。核酸的四周由蛋白质构成的衣壳包围。衣壳和核酸合称核衣壳。有些病毒仅由核衣壳构成，如烟草花叶病毒；有些病毒（如流感病毒）的核衣壳外面，还有一层由蛋白质、多糖和脂类构成的膜，叫做囊膜，囊膜实际是来自寄主的细胞膜

或核膜，其上有特异的糖蛋白分子，可和寄主细胞膜上的受体分子结合，使病毒粒进入细胞。囊膜上生有刺突。图4-1-2表示两种病毒结构。

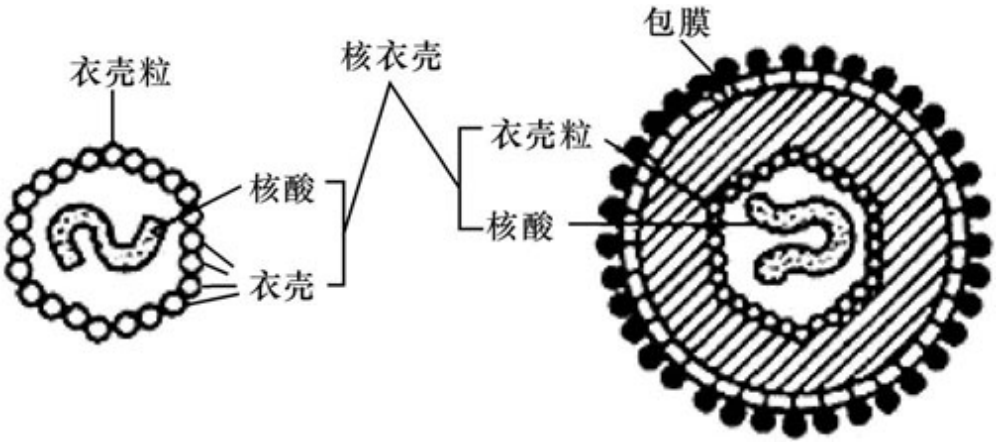


图4-1-2　裸露病毒与包膜病毒的结构比较

衣壳由许多结构相同的衣壳粒组成。衣壳粒是电镜下能够看到的最小形态单位，通常由1～6个多肽分子组成。衣壳具有保护病毒核酸，决定病毒抗原特异性等功能。衣壳粒的排列方式不同，使病毒呈现出不同的形态。

一种病毒只含有一种核酸：DNA或RNA。核酸中贮存着病毒的全部遗传信息，控制着病毒的一切性状，如病毒的形态结构、致病性等。

2．病毒的增殖

病毒的繁殖过程只能在宿主的活细胞中进行，通常将病毒的繁殖过程称为增殖。下面以噬菌体为例进行说明。

噬菌体在侵染宿主细胞时，首先是吸附在宿主细胞表面，然后将核酸注入到细胞内部，衣壳则留在外面。核酸进入宿主细胞以后，就利用宿主细胞内的物质，复制出子代噬菌体的核酸，并合成构成子代噬菌体衣壳的蛋白质。这些蛋白质和核酸进一步装配成子一代噬菌体。装配完成的噬菌体，在细胞裂解以后，一齐被释放出来，数量通常在10^2～10^5个左右。

此过程所需的能量、酶、核苷酸、氨基酸等全部由细菌供给。从噬菌体侵入细菌到新的噬菌体逸出，侵入新的细菌，这一周期称为溶菌周期。溶菌周期一般很短，约20～30min，这种能使细菌破裂死亡的噬菌体称为毒性噬菌体或溶菌性噬菌体。有些噬菌体在侵入宿主细胞后，不一定立即复制，也不一定使细菌死亡，而是与细菌的DNA分

子整合，构成细菌DNA的一部分，随细菌DNA的复制而复制，这种噬菌体DNA称为原病毒。处于原病毒的时期是病毒的溶源周期。这种能形成原病毒的噬菌体称为温和噬菌体，图4-1-3表示其生活周期。

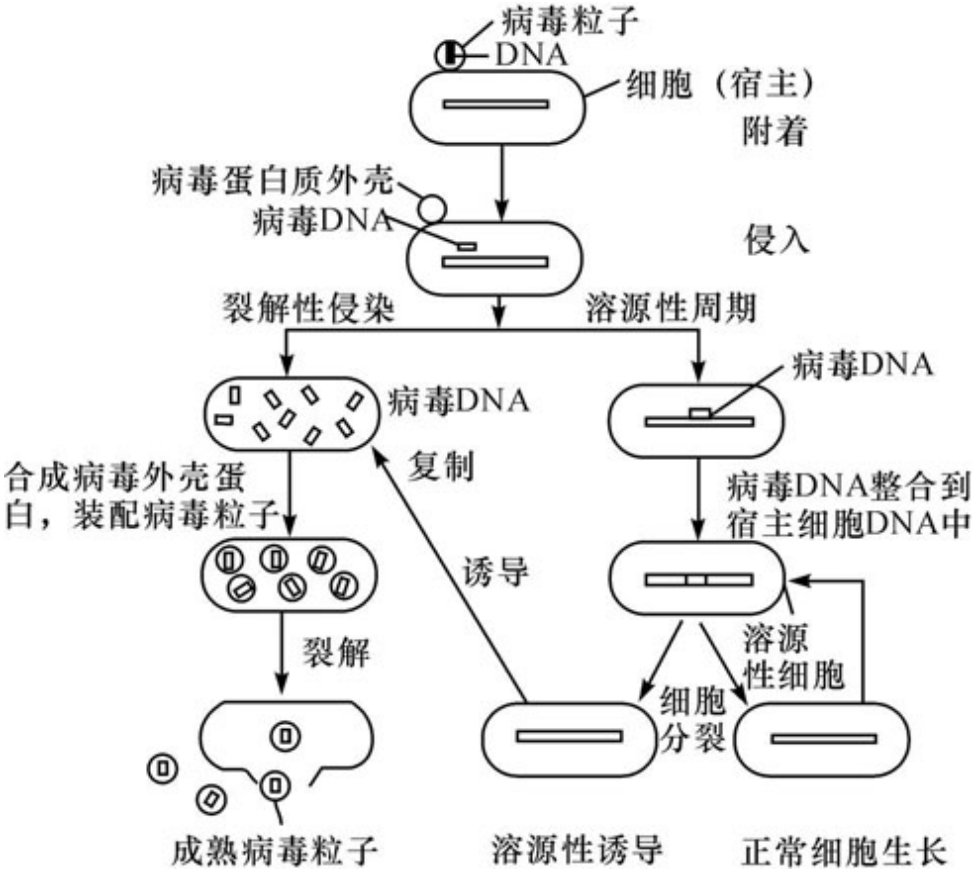


图4-1-3　温和噬菌体的生活周期

（示溶源性周期与裂解性侵染）

二、微生物的营养、代谢和生长

微生物（除病毒）在生命活动的过程中，需要不断地从外界吸收营养物质，通过新陈代谢，获取能量并合成自身的组成物质，以维持正常的生长和繁殖。

（一）微生物的营养

微生物的种类繁多，对营养物质的需要也各不相同。在生产实际和科学研究中，常常要人工培养某种微生物，因此，必须了解微生物所需要的营养物质。通过对多种微生物细胞的化学组成的分析，可以对微生物所需的营养物质有一个大致了解。微生物细胞的化学组成与其他生物大体相同，也是由C、H、O、N、P、S以及其他元素组成

的，其中C、H、O、N占细胞干重的90%以上，这些元素最终来自外界环境中的各种无机和有机化合物。我们将这些化合物归纳成碳源、氮源、生长因子、无机盐和水这五大类营养要素物质。下面着重介绍碳源、氮源和生长因子。

1．碳源

凡是能为微生物提供生长繁殖所需碳元素的营养物质，就叫做碳源。在自然界，从CO_2、$NaHCO_3$，到糖类、脂肪酸等含碳有机物，甚至花生粉饼、石油等成分复杂的天然物质，都可以作为微生物的碳源。其中，糖类是最常用的碳源，尤其是葡萄糖。对自养型的微生物而言，通常利用无机碳源；对异养型的微生物，则必须利用有机碳源。

碳源主要用于合成微生物的细胞物质和一些代谢产物，有些碳源还是异养微生物的主要能源物质，因此微生物对碳源的需求量很大。但不同种类的微生物，对碳源的要求却差别很大。例如，甲烷氧化菌只能利用甲烷和甲醇作碳源，而洋葱假单胞菌却能利用90多种含碳化合物。

2．氮源

凡是能为微生物生长繁殖提供所需氮元素的营养物质，就叫做氮源。可以作为氮源的营养物质很多，有分子态氮、氨、铵盐、硝酸盐、尿素、牛肉膏和蛋白胨等。其中铵盐、硝酸盐等是最常用的氮源。能利用分子态氮作为氮源的微生物称为固氮微生物。

氮源主要用于合成蛋白质、核酸以及含氮的代谢产物。对于异养微生物而言，含C、H、O、N的化合物既是氮源，又是碳源。

3．生长因子

在充足的碳源、氮源、无机盐和水等条件下，有些微生物仍不能正常生长，还需要额外补充一些有机物，如乳酸杆菌需要补充多种维生素、氨基酸等，但补充的量很小，通常每升培养基中只需加几微克左右。这些微生物生长不可缺少的微量有机物就叫做生长因子，主要包括维生素、氨基酸和碱基等，它们一般是酶和核酸的组成成分。微生物之所以需要补充生长因子，往往是由于缺乏合成这些有机物所需要的酶或合成能力有限。一些天然有机物，如酵母膏、蛋白胨、动植物组织提取液等，都可以为微生物提供生长因子。

（二）微生物的代谢

微生物的代谢是指微生物细胞内所发生的全部反学反应。与其他生物相比，微生物的代谢异常旺盛，这是由于微生物的表面积与体积的比很大，约是同等重量的成年人的30万倍，它们能够迅速与外界环

境进行物质交换。研究资料表明，在适宜的条件下，大肠杆菌每小时分解的糖是自身重量的2000倍，乳酸菌每小时产生的乳酸能达到自身重量的成千上万倍。

1．微生物的代谢产物

微生物在代谢过程中，会产生多种多样的代谢产物。根据代谢产物与微生物生长繁殖的关系，可以分为初级代谢产物和次级代谢产物两类。

初级代谢产物是指微生物通过代谢活动所产生的、自身生长和繁殖所必需的物质，如氨基酸、核苷酸、多糖、脂类、维生素等。不同种类的微生物细胞中，初级代谢产物的种类基本相同。此外，初级代谢产物的合成在不停地进行着，任何一种产物的合成发生障碍都会影响微生物正常的生命活动，甚至导致死亡。

次级代谢产物是指微生物生长到一定阶段才产生的化学结构十分复杂、对该微生物无明显生理功能，或并非是微生物生长和繁殖所必需的物质，如抗生素、毒素、色素、激素等。不同种类的微生物所产生的次级代谢产物不相同，它们可能积累在细胞内，也可能排到外环境中。其中，抗生素是一类具有特异性抑菌和杀菌作用的有机化合物，种类很多，常见的有链霉素、青霉素、红霉素和四环素等。

2．微生物代谢的调节

微生物在长期的进化过程中，形成了一套完善的代谢调节系统，以保证各种代谢活动经济而高效地进行。微生物的代谢调节主要有两种方式：酶合成的调节和酶活性的调节。

①酶合成的调节

微生物细胞内的酶可以分为组成酶和诱导酶两类。组成酶是微生物细胞内一直存在的酶，它们的合成只受遗传物质的控制，与环境中是否存在某种物质无关；而诱导酶则是在环境中存在某种物质的情况下才能够合成的酶，它们的合成既受遗传物质的控制，也受环境中物质的影响。例如，在用葡萄糖和乳糖作碳源的培养基上培养大肠杆菌，开始时，大肠杆菌只能利用葡萄糖而不能利用乳糖，只有当葡萄糖被消耗完毕以后，大肠杆菌才开始利用乳糖。这个实验表明，大肠杆菌分解葡萄糖的酶是组成酶，分解乳糖的酶不是组成酶，而是在乳糖诱导下合成的诱导酶。这种调节既保证了代谢的需要，又避免了细胞内物质和能量的浪费，增强了微生物对环境的适应能力。

②酶活性的调节

微生物还能够通过改变已有酶的催化活性来调节代谢的速率。酶活性发生改变的主要原因是：代谢过程中产生的物质与酶结合，致使

酶的结构发生变化。但这种变化是可逆的，当代谢产物与酶脱离时，酶结构便会复原，又恢复原有的活性。例如，谷氨酸棒状杆菌能够利用葡萄糖，经过复杂的代谢过程形成谷氨酸；但当终产物——谷氨酸的合成过量时，就会抑制谷氨酸脱氢酶的活性，从而导致合成途径中断。当谷氨酸因消耗而浓度下降时，抑制作用就会被解除，该合成反应又重新启动。因此，酶活性调节是一种快速、精细的调节方式。这种现象在核苷酸、维生素的合成代谢中十分普遍。

上述两种调节方式是同时存在，并且密切配合、协调起作用的。通过对代谢的调节，微生物细胞内一般不会积累大量的代谢产物。但在工业生产中，人们总希望微生物能够最大限度地积累对人类有用的代谢产物，这就需要对微生物代谢的调节进行人工控制。

3．微生物代谢的人工控制

人工控制微生物代谢的措施包括改变微生物的遗传特性、控制生产过程中的各种条件（即发酵条件）等。

①改变微生物的遗传特性　以黄色短杆菌为例。黄色短杆菌能够利用天冬氨酸合成赖氨酸、苏氨酸和甲硫氨酸。其中，赖氨酸是一种人和高等动物的必需氨基酸，在食品、医药和畜牧业上的需要量很大。在黄色短杆菌的代谢过程中，当赖氨酸和苏氨酸都积累过量时，就会抑制天冬氨酸激酶的活性，使细胞内难以积累赖氨酸；而赖氨酸单独过量就不会出现这种现象。由此可见，要想利用黄色短杆菌生产赖氨酸，就必须抑制苏氨酸的合成。研究发现，高丝氨酸脱氢酶是合成高丝氨酸不可缺少的一种酶，而合成赖氨酸则不需要这种酶。可以对黄色短杆菌进行诱变处理，选育出不能合成高丝氨酸脱氢酶的菌种，从而达到让黄色短杆菌大量积累赖氨酸的目的。

②控制生产过程中的各种条件　以谷氨酸发酵为例。在谷氨酸的生产过程中，可以采取一定的手段改变细胞膜的透性，使谷氨酸能够迅速排放到细胞外面，从而解除谷氨酸对谷氨酸脱氢酶的抑制作用，提高谷氨酸产量。

（三）微生物的生长

在代谢的基础上，微生物的个体会由小到大不断地生长。但是，对于单细胞微生物来说，个体的生长很不明显，持续很短时间就开始繁殖，而且生长与繁殖交替进行，界限难以划清。因此，在实际工作中，常以微生物的群体为单位来研究微生物的生长。

对微生物群体生长规律的研究，往往是在人工培养的条件下进行的。下面以细菌为例来讲述。将少量的某种细菌接种到恒定容积的液体培养基中，并置于适宜的条件下培养，然后，定期取样测定培养基

中细菌群体的生长情况。常用的测定方法有两种：一种是测细菌的细胞数目，例如将待测样品与等量的已知含量的红细胞混匀后，涂布在载玻片上，经固定染色后，在显微镜下随机选若干个视野进行计数，得出细菌与红细胞的比例，再根据红细胞的含量计算出单位体积内的细菌数目；另一种是测重量，例如取一定体积的培养基，经离心分离、反复洗涤后，称菌体的湿重，或烘干后称干重，再由此计算出其中的细胞总重量。

根据测定结果，可以发现细菌的生长速率并不是始终不变的，而是随时间的推移而发生有规律的变化。如果以时间为横坐标，以细菌数目的对数为纵坐标作图，可以得到反映细菌生长规律的曲线，叫做生长曲线。根据生长曲线可以将细菌群体从开始生长到死亡分为4个主要的时期。

1．调整期　刚刚接种到培养基上的细菌，对新环境有一个短暂的调整或适应过程，因此，一般不立即开始分裂繁殖，这段时间称为调整期。这时期细菌代谢活跃，体积增长很快，大量合成细胞分裂所需的酶类、ATP以及其他细胞成分。调整期的长短与菌种、培养条件等因素有关。选用对数期的菌种、加大接种量或用培养过的培养基，均能缩短调整期的长度。

2．对数期　这个时期细菌进入快速分裂阶段，细胞数目以等比数列的形式增加：1→2→4→8等，因此，一个细菌繁殖n代，可以产生2^n个细菌。处于对数期的细菌，代谢旺盛，个体的形态和生理特性比较稳定，常作为生产用的菌种（也叫种子）和科研的材料。

3．稳定期　经过一段时间的高速生长以后，随着营养物质的消耗，有害代谢产物的积累，pH的变化等，细菌的分裂速率下降，死亡细胞的数目逐渐增加，整个培养基中新增加的细胞数和死亡的细胞数达到动态平衡，这个时期称为稳定期。在稳定期，活菌数目达到最高峰，细胞内大量积累代谢产物，特别是次级代谢产物，某些细菌的芽孢也是在这个时期形成的。

4．衰亡期　随着培养的继续，细菌的死亡速率超过繁殖速率，最终导致培养基中的活菌数目急剧下降，这个时期称为衰亡期。到了衰亡期，细胞会出现多种形态，甚至畸形，有些细胞开始解体，释放出代谢产物等。

认识和掌握微生物的生长曲线，具有重要的实践意义。例如，处于对数期的细菌，生长繁殖速率快，代谢旺盛，因此，生产上常用这个时期的细菌作为菌种，以缩短生产周期。又如，进入稳定期后，抗生素等代谢产物逐渐增多，这时如果适当补充营养物质，就有助于延

长稳定期、提高代谢产物的产量。为此，采用了微生物的连续培养装置：在一个流动装置中，以一定的速度不断添加新的培养基，同时又以同样的速度不断放出老的培养基，以保证微生物对营养物质的需要，并排出部分有害代谢产物，使微生物保持长时间的高速生长。目前这种做法已成功地应用于酒精、丙酮、丁醇等产品的生产中。连续培养缩短了培养周期，提高了设备利用率，并且便于自动化管理。

三、微生物的培养与分离

（一）培养基

1．培养基的配制原则

①目标要明确　要根据所培养的微生物种类、培养的目的（用于生产还是实验）等，选择原料配制培养基。例如，自养微生物能够自己合成所需的有机物，它们的培养基可由简单的无机物组成。“细菌喜荤，霉菌喜素”指的是：通常细菌的培养基要用蛋白胨、牛肉膏、酵母提取物来配制，如芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌等；霉菌的培养基一般用无机物配制或添加蔗糖的豆芽汁即可。而一些大型真菌（如平菇、黑木耳）则用木屑培养基或棉子壳培养基。

②营养要协调　配制培养基时，必须注意各种营养物质的浓度和比例，否则会产生不良后果。例如，蔗糖是多种微生物的主要营养物质，但高浓度的蔗糖反而会抑制微生物的生长。在各种营养物的比例中，碳源和氮源的比最为重要。例如，在谷氨酸生产中，当培养基中碳源与氮源的比为4：1时，菌体大量繁殖而产生的谷氨酸少；当碳源与氮源的比为3：1时，菌体繁殖受抑制，但谷氨酸的合成量大增。

③pH要适宜　这是由于各种微生物适宜生长的pH范围不同。通常细菌要求在中性偏碱的环境中生长，如细菌的最适pH为6.5～7.5，放线菌的最适pH为7.5～8.5；而霉菌则要求在中性偏酸的环境中生长。

2．培养基的种类

培养基种类很多。根据物理性质的不同，可以将培养基分为液体、半固体和固体培养基。固体和半固体培养基需加入凝固剂，如琼脂。固体培养基主要用于微生物的分离、计数等；半固体培养基主要用于观察微生物的运动、鉴定菌种等；液体培养基则用于工业生产。

根据培养基的化学成分，可以将它们分为合成培养基、天然培养基等。合成培养基是用化学成分已知的化学物质配成的，这类培养基因为成分明确，常用于分类、鉴定等。天然培养基是用化学成分不明确的天然物质配成的，如玉米粉、牛肉膏等，常用于工业生产。

根据培养基的用途，可以将它们分为选择培养基、鉴别培养基等。选择培养基是在培养基中加入某种化学物质，以抑制不需要的微生物生长，促进所需要的微生物的生长。常见有：加入青霉素等抗生素的培养基用于选择真核生物（真菌为代表）；加入高浓度食盐的培养基用于选择金黄色葡萄球菌；不加氮源的培养基，用于选择自生固氮微生物；不加碳源的培养基用于选择自养微生物等。鉴别培养基是根据微生物的代谢特点，在培养基中加入某种指示剂或化学药品配制而成的，用于鉴别不同种类的微生物。如在培养基中加入伊红和美蓝，可以用来鉴别饮用水和乳制品中是否存在大肠杆菌（大肠杆菌的有无及数量代表样品被粪便污染的程度，一般规定饮用水的标准是每升数量小于3个）等细菌：如果有大肠杆菌，其代谢产物（有机酸）就与伊红和美蓝结合，使菌落呈深紫色，并带有金属光泽。

另外，根据所培养微生物的不同特点和生活方式，也可采取不同的培养基。如病毒都是寄生的，故必须以活细胞作培养基才能培养病毒。以细菌作为培养基培养噬菌体；以活的鸡胚细胞作为培养基培养动物病毒；以植物愈伤组织作为培养基培养植物病毒。

（二）微生物的培养技术（以细菌的培养技术为例）

1．培养基的配制

①称量　用天平称取牛肉膏、蛋白胨、氯化钠、琼脂若干，并放入烧杯中。

②溶化　加入适量蒸馏水，酒精灯上搅拌加热，直至琼脂溶化。

③调pH值　用NaOH并结合pH试纸调节，至中性偏碱性。

④培养基的分装　将培养基分装到不同的试管中，高度不超过试管高度的1/5。

⑤加棉塞　棉塞能防止污染，保证通气良好。为了防止水分进入，须用非脱脂棉。

⑥包扎　用报纸或牛皮纸包扎，并做好标记。

2．灭菌　采用湿热灭菌法。

3．摆斜面　冷却至50°C左右开始倒胶。

4．接种　采用接种环接种，整个过程必须在酒精灯火焰附近操作。

5．培养　在恒温箱中培养。

（三）微生物的分离

常见的微生物分离方法有两种：划线分离法和涂布分离法。

1．划线分离法

用接种环在固体培养基上接种时，可用接种环蘸取各种菌的混合液在培养基上轻轻划线。由于划线过程中接种环上的菌液逐渐减少，因此划线最后部分的细菌间距离加大。将接种后的固体培养基培养10～20h后，每一个细菌细胞产生一个菌落。再将每个菌落分别接种至固体培养基的试管斜面上，即在斜面上划线，则每个斜面上的菌群就是由一个细菌产生的后代。这种方法称划线分离法，它可以用来分离、纯化细菌。此法简单易行。

2．涂布分离法

先将培养基上的菌液稀释，通常稀释至10^{-5}～10^{-7}。取0.1mL稀释度不同的稀释液，加在培养皿的固体培养基上，用玻璃刮刀涂布在培养基平面上，然后进行培养。在适当的稀释度下，可培养得到相互分开的菌落，通常以每个培养皿中有20个以内的单菌落最为合适。此法使单菌落易于分开，但操作略显复杂。

四、发酵工程简介

1857年，法国微生物学家巴斯德发现了发酵的原理，人们才认识到发酵是微生物活动的结果。此后，随着纯种微生物的分离及培养技术的建立，以及密闭式发酵罐的设计成功，人们开始利用某种类型的微生物，在人工控制的环境条件下，进行大规模的生产，逐步形成了发酵工程。

发酵工程是指采用现代工程技术手段，利用微生物的某些特定功能，为人类生产有用的产品，或直接把微生物应用于工业生产过程的一种新技术。1957年，日本率先用微生物发酵法成功生产谷氨酸。发酵工程的内容包括：

1．菌种的选育　最初，人们是从自然界寻找所需要的菌种，但用这种方法获得的菌种，产量一般都比较低，不能满足工业上的需要。20世纪40年代，开始用人工诱变的方法育种，即用紫外线、激光、化学诱变剂等处理菌种，使菌种产生突变，再从中筛选出符合要求的优良菌种。这种育种方法在氨基酸、核苷酸、某些抗生素等的发酵生产中获得成功。如高产青霉素菌株的获得，即为此方法。随着现代生物技术的进一步发展，目前已开始用细胞工程、基因工程等方法构建工程细胞或工程菌，再用它们发酵，可以生产出一般微生物所不能生产的产品。

2．培养基的配制　20世纪60年代以前，常用薯类、谷类等粮食作物配制培养基，每年都要消耗大量的粮食。随着新型菌种和微生物酶

的开发应用，野生植物淀粉、甘蔗渣、秸秆水解物，以及乙醇、醋酸等石化产品都能用来配制培养基了。

3．灭菌　发酵工程中所用的菌种大多是单一的纯种，整个发酵过程一旦混入杂菌，将导致产量大大下降，甚至得不到产品。故培养基和发酵设备均需经过严格的灭菌。

4．扩大培养和接种　优良菌种要经过多次扩大培养，达到一定数量再接种。

5．发酵过程　这是发酵的中心阶段。在这个阶段，除了要随时检测培养液中的细菌数目、产物浓度等，以了解发酵进程外，还要及时添加必需的培养基组分，以满足菌种的营养需要。同时，要严格控制温度、pH、溶氧、通气量与转速等发酵条件。对发酵条件的控制可以通过发酵罐上的各种装置进行。

6．分离提纯　这是制取发酵产品不可缺少的阶段。发酵工程的产品一般有两类：代谢产物或菌体本身。产品不同，分离提纯的方法一般不同。前者可采用蒸馏、萃取、离子交换等方法获得，后者（如单细胞蛋白）可采用沉淀、过滤等方法获得。分离提纯后的产品，要经质检合格，才能成为正式产品。

发酵工程因其生产条件温和，原料来源丰富且廉价，产物专一，废弃物对环境污染小和容易处理等特点，在医药、食品、农业、冶金、环保等许多领域得到了广泛的应用，逐渐形成了规模庞大的发酵工业。

五、酶工程与酶的应用

酶工程是指将酶所具有的生物催化功能，借助于工程学的手段，应用于生产、生活、医疗诊断和环保等方面的一门科学技术。概括地说，酶工程是由酶制剂的生产和应用两方面组成的。

（一）酶制剂的生产

酶制剂是指含有酶的制品，可以分为液体和固体两大类。例如，治疗某些胃病的胃蛋白酶液，就是液体的酶制剂；加酶洗衣粉中的蛋白酶和脂肪酶等，就是固体的酶制剂。

酶普遍存在于动物、植物和微生物体内。人们最早是从植物的器官和组织中提取酶的。随着酶制剂日益广泛的应用，现在，生产酶制剂所需的酶大都来自微生物，这是因为同植物和动物相比，微生物具有容易培养、繁殖速度快和便于大规模生产等优点。微生物产生的酶种类很多，有的存在于细胞内，有的分泌到细胞外，因此，对所需要的某一种酶来说，需要提取和分离纯化。

将提取和分离纯化的酶制成酶制剂（如将某种酶的酶液进行干燥处理后，加入适量的稳定剂和填充剂），就可以用来催化化学反应了。但是，这样的催化反应结束后，酶制剂和产物是混合在一起的，产物的纯度不高，并且酶制剂不能重复使用。为此，提出了固定化酶：将分离纯化后的酶固定到一定载体上，使用时将被固定的酶投放到反应溶液中，催化反应结束后又能将被固定的酶回收。例如，将葡萄糖异构酶吸附到离子交换树脂上，或者包埋在明胶中，制成的固定化葡萄糖异构酶，不仅可以用于使葡萄糖转化为甜度更高的高果糖浆，而且可以在生产中反复使用。目前，已研制出膜状、颗粒状等多种形态的固定化酶。

（二）酶制剂的应用

酶制剂的主要应用，有下面4个途径：

1．用于治疗疾病

一些酶制剂可以用做药品，治疗多种疾病。如溶菌酶可以用来分解病原菌的细胞壁，具有明显的抗菌和消炎作用；尿激酶可以用来活化人体内的溶纤维蛋白酶原，使溶纤维蛋白酶原转化为溶纤维蛋白酶；溶纤维蛋白酶具有溶解患者血管内纤维蛋白凝块的作用，可以用来治疗血栓病。

2．用于加工和生产一些产品

一些酶制剂在食品加工方面具有广泛的用途。如可以用果胶酶来澄清果酒和果汁；用木瓜蛋白酶制成的嫩肉粉，可以使肉丝、肉片等烹调后吃起来嫩滑可口。

利用酶制剂可以生产一些药品。如利用青霉素酰化酶改造青霉素分子，制成了氨苄青霉素等新型青霉素。

3．用于化验诊断和水质监测

可用葡萄糖氧化酶和过氧化氢酶加上无色化合物制成尿糖试纸，用于检测尿液中的葡萄糖；用固定化酶膜和变换器制成血糖快速测试仪；利用固定化多酚氧化酶制成多酚氧化酶传感器，快速测定水中酚的含量等。

4．用于生物工程其他分支领域

如基因工程中所用的内切酶和连接酶均是由酶工程生产的；细胞工程中的纤维素酶也是由酶工程生产的。

【例题解析】

例1　下列有关细菌细胞壁的叙述中，错误的是（　　）

A．与植物的细胞壁成分不同

B．防止细菌在低渗溶液中胀破

C．可以引发其寄主的防御机制

D．可保护细菌在高渗溶液中不死

解析　细胞壁位于质膜的外侧，是无活性的结构，主要对细胞起保护和支持的功能。不同生物的细胞壁的成分有所差异。藻类和高等植物细胞壁的主要成分是果胶和纤维素；真菌细胞壁的主要成分为几丁质（壳多糖）；细菌细胞壁的主要成分为肽聚糖，有些含有磷壁酸。细胞壁尽管有一定的伸缩性，但这种伸缩性强度不大。当细胞处于低渗溶液中时，细胞不断吸水膨胀，此时的细胞壁起到支撑作用，使细胞不会因为吸水而胀破，从而维持细胞的形态。对有些寄生的细菌而言，当侵入到寄主细胞以后，因为壁上的糖蛋白和一些其他复合物，可以引发寄主细胞的识别，从而引起防御。细胞壁为全透性的，在高渗溶液中，细胞失水，细胞壁无法阻止这一过程，造成细胞死亡。

答案　D

例2　下列哪类细菌形成的菌落往往外形很不透明或有“干燥”之感，并且表面一般有粗糙和皱褶感（　　）

A．产芽孢

B．产荚膜

C．具有鞭毛

D．产纤维素酶

解析　菌落指单个或少数细菌在固体培养基上大量繁殖时，所形成的一个肉眼可见的、具有一定形态结构的细胞群体。不同种类的细菌所形成的菌落，在大小、形状、光泽度、颜色、硬度、透明度等方面具有一定的特征，可以作为菌种鉴定的重要依据。一般而言，具有鞭毛的细菌会形成大而扁平、边缘呈波状或锯齿状的菌落；无鞭毛的球菌，常形成较小较厚、边缘较整齐的菌落；产荚膜的细菌会形成小而透明、边缘光滑的菌落；产芽孢的细菌会形成外形很不透明或有“干燥”之感，并且表面一般有粗糙和皱褶感的菌落；而对于能产纤维素酶的细菌，常要以纤维素作培养基，其菌落外形多样化。

答案　A

例3　病毒的特点是（　　）（多选题）

A．可采用光学显微镜观察病毒的形态特征

B．病毒不能产生ATP，不能独立进行各种生命过程

C．病毒颗粒内含有DNA和RNA

D．病毒能通过细菌过滤器

E．没有细胞结构

解析　病毒无细胞结构，无法独立完成代谢，必须在寄主细胞内，利用寄主细胞的能量（ATP）、原料、酶系统、核糖体等才能完成其增殖的过程。故病毒的个体很小，能够顺利通过细菌过滤器；一般只能用电子显微镜进行观察。病毒颗粒内一般只含DNA或RNA两者之一，分别称为DNA病毒和RNA病毒，或者均不含核酸，只含蛋白质，称为朊病毒。

答案　BDE

例4　破伤风抗毒素是以什么为抗原注射于马体后得到的可治疗破伤风病的生物制品（　　）

A．外毒素

B．内毒素

C．类毒素

D．破伤风杆菌

解析　细菌释放的毒素可以分为2种：一种为外毒素，是细菌分泌到体外介质中的毒素，可随血液、淋巴等进入身体各部位，是毒性很强的蛋白质，但不耐热，热处理后毒性消失，但仍有抗原的作用，成为类毒素。类毒素进入人体，能使人体产生抗毒素（一种抗体）。另一种为内毒素，只在细菌死亡溶解后才被释放出来，是脂和多糖的复合物，毒性比外毒素弱。内毒素是相对热稳定，不能转变为类毒素，也不能诱导产生抗毒素。破伤风抗毒素是指将破伤风杆菌产生的外毒素经过热处理后，使其毒性消失，但仍保留其抗原性，成为类毒素，将此类毒素为抗原进行动物体注射后，所获得的抗体。

答案　C

【针对训练】

1．绝大多数细菌的直径为（　　）

A．1～10mm

B．1～10μm

C．1～10nm

D．10mm以上

2．在含硫热泉或深海火山口中生活的极端嗜热嗜酸菌，作为唯一的碳源进行硫的代谢的是（　　）

A．甲烷

B．二氧化碳

C．氨基酸

D．甲醛

3．青霉素直接影响细菌的结构是（　　）

A．细胞壁

B．细胞膜

C．线粒体

D．核酸

4．细菌芽孢在普通条件下最长可存活（　　）

A．几小时

B．几天

C．12个月

D．几年及至几十年

5．原核微生物的质粒是细菌等的（　　）

A．染色体DNA

B．细胞器DNA

C．核外DNA

D．附加体

6．在细菌学中革兰氏染色法的染色过程中，下列操作不正确的是（　　）

A．制作细菌热固定涂片

B．用含I_2的乙醇溶液先染色后，然后用乙醇脱色

C．用结晶紫染色后冲洗

D．用番红（藏红）复染

7．细菌质粒特征包括（　　）（多选题）

A．能独立自我复制的线形DNA分子

B．含有10～50个基因的小型、结构简单的DNA分子

C．细菌存活所必需的成分

D．能从一个细菌转移到另一个细菌

8．抗生素能杀死或抑制细菌。下列哪种细菌生化途径是抗生素作用的目标（　　）

A．细胞壁形成

B．细胞膜

C．DNA复制过程

D．蛋白质合成

9．寄生细菌通常比宿主进化得更快，其主要原因是（　　）

A．细菌总是比宿主处于更强的选择压力

B．细菌的DNA复制更容易发生错误

C．感染通常杀死宿主，而不是细菌
D．细菌的生活周期通常比宿主短
10．下列各项中属于原核生物的是（　　）
A．蓝藻，支原体
B．衣原体，噬菌体
C．衣藻，金鱼藻
D．放线菌，霉菌
11．原核细胞与真核细胞相同的特性是（　　）（多选题）
A．均含有环状DNA
B．均含有线状DNA
C．染色体的基本单位是核小体
D．均含有作为蛋白质合成的机器——核糖体
12．原核生物（　　）（多选题）
A．具有细胞器，但不具有细胞核
B．能产生ATP，能独立进行生命过程
C．细胞壁含几丁质
D．大多具有环状DNA
E．都是厌氧生物
13．原核生物都有（　　）
A．细胞核
B．核糖体
C．线粒体
D．叶绿体
E．中心体
14．海洋中某些单细胞生物在条件适合时呈对数生长，形成赤潮，对鱼、虾等危害极大，其中最主要原因是（　　）
A．消耗大量氧气
B．消耗大量有机物
C．产生毒素
D．产生过多糖类
15．下列选项中，不属于衣原体显著特征的是（　　）
A．它们是小的细菌
B．它们的生命周期包括原体和网状体阶段
C．它们引起洛基山斑疹热和斑疹伤寒
D．它们只在生活的细胞中繁殖

16．在自然界，纤维素、半纤维素和木质素的主要分解者是（　　）

A．绿色藻类

B．霉菌

C．酵母菌

D．光合细菌

17．有一试管中生长着球形酵母，另一试管中是球形酵母的原生质体，如何用最简单的方法区别开（　　）

A．在显微镜下比较大小，酵母大，酵母原生质体小

B．在显微镜下比较大小，酵母小，酵母原生质体大

C．加水在显微镜下观察，酵母小，酵母原生质体变大

D．加水在显微镜下观察，酵母存在，酵母原生质体破裂

18．病原微生物所产生的干扰机体细胞和组织生理作用的物质是（　　）

A．毒素

B．细菌素

C．抗生素

D．干扰素

19．自然界最小的细胞是（　　）

A．病毒

B．支原体

C．血小板

D．细菌

20．引起人类沙眼病和鸟类鹦鹉热的病原体是（　　）

A．支原体

B．病毒

C．衣原体

D．立克次氏体

21．土霉素的产生菌属于（　　）

A．细菌

B．霉菌

C．链霉菌

D．放线菌

22．链霉素的抗菌方式为（　　）

A．阻止细胞壁合成

B．影响细胞膜功能

C．抑制蛋白质合成
D．干扰核酸合成
23．白喉棒杆菌的致病因素是（　　）
A．内毒素
B．外毒素
C．侵袭酶类
D．荚膜
24．下列原核微生物中，靠节肢动物传播引起人类疾病的是（　　）
A．砂眼衣原体
B．普氏立克次氏体
C．肺炎支原体
D．梅毒螺旋体
25．对青霉素不敏感的微生物是（　　）
A．支原体
B．衣原体
C．立克次氏体
D．葡萄球菌
26．在柠檬酸发酵工业中最常用的微生物是（　　）
A．酵母
B．曲霉
C．根霉
D．青霉
27．下列关于原核生物的叙述中，错误的是（　　）
A．都是单细胞
B．细胞质都是匀质的
C．有核糖体等简单细胞器
D．是地球上数量最大，分布最广的一类生物
28．巴斯德曾进行了如下实验：把新鲜、清澈的肉汤等量放入甲、乙2个玻璃瓶中，再将甲瓶的瓶口烧软并拉成鹅颈状，然后将2瓶肉汤都进行煮沸，最后2瓶都敞开瓶口放在温暖环境下。一段时间后观察，甲瓶肉汤基本不变，乙瓶肉汤变质发臭。根据实验所能得出的结论，巴斯德在这个实验中排除的最重要的无关因素是（　　）
A．空气
B．空气中的未知物
C．培养基和一定温度

D．瓶子的形状

29．当你生病的时候，医生开给你抗生素，他总是告诉你一直服用抗生素，直到服完为止，其原因是（　　）

A．避免浪费

B．病毒需要高剂量的抗生素才能被杀死

C．让更多耐抗生素的细菌生存将促进耐抗生素细菌的进化

D．长期服用抗生素才能防止病毒的二次感染

30．抗病毒药物研发较为困难，可能的原因是（　　）（多选题）

A．病毒变异快

B．病毒自我复制不受干扰

C．病毒借用细胞的代谢装置自我复制

D．病毒的外壳蛋白不易变性

31．病毒的基因组可以由（　　）组成。

A．蛋白质

B．多糖

C．同一病毒中既有DNA，又有RNA

D．DNA或RNA

32．溶源性病毒是一种（　　）的病毒。

A．核酸能够整合在宿主细胞染色体中

B．进入细胞后立即复制

C．含有复制所需的自己的ATP

D．含有复制所需的自己的酶

33．以下哪些病是由病毒引起的（　　）

A．结核，脚气

B．禽流感，乙型肝炎

C．地中海贫血，流感

D．艾滋病，梅毒

34．质粒与病毒的主要区别是（　　）

A．质粒DNA是环状的

B．质粒可以在大肠杆菌内繁殖

C．质粒DNA与蛋白质结合

D．病毒基因组能编码外壳蛋白

35．下列哪些病是由病毒侵染直接引起的（　　）（多选题）

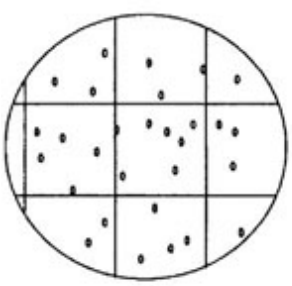
A．乙肝

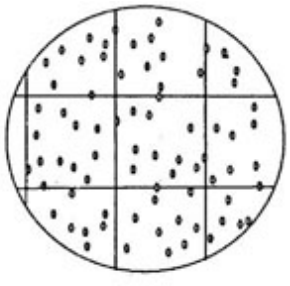
B．口蹄疫

C．疯牛病
D．禽流感
36．病毒具有的核酸类型为（　　）
A．所有的病毒都只有DNA
B．所有的病毒都只有RNA
C．一种病毒既有DNA又有RNA
D．一种病毒只有一种核酸，DNA或RNA
37．生物学家认为病毒是生物，其主要理由是（　　）
A．病毒由蛋白质和核酸构成
B．病毒能够侵染其他生物
C．病毒能够在寄主体内完成遗传物质的自我复制
D．病毒能控制蛋白质的合成
38．从某种病毒中提取出核酸，经测定，其碱基的组成中A与T含量相等，C与G的含量相等。以下有关这种病毒核酸种类的结论哪个正确（　　）
A．RNA
B．单链DNA
C．双链DNA
D．环状DNA
39．以下关于病毒的描述中哪些是正确的（　　）（多选题）
A．从进化的角度来看病毒是最原始的生命形式
B．RNA病毒都是反转录病毒
C．一种病毒只含有一种核酸，要么是DNA，要么是RNA
D．某些灭活的病毒可用来诱导细胞融合
40．经过病毒使一个细菌的遗传物质传导到另一细菌内，这一过程被称为（　　）
A．转位
B．转化
C．转移
D．转导
41．仙台病毒是RNA病毒。在动物细胞杂交技术中，被广泛应用于促进细胞融合。促进融合的结构最可能是（　　）
A．病毒RNA
B．病毒被膜
C．灭活病毒颗粒
D．活性病毒颗粒

42．可用于基因工程载体的DNA分子有（　　）（多选题）
A．细菌DNA
B．病毒DNA
C．噬菌体DNA
D．质粒DNA
43．下列哪几项不是病毒引起的疾病（　　）
A．脊髓灰质炎、腮腺炎
B．流感、艾滋病、肝炎
C．灰指甲、脚癣、肺结核
D．鸡瘟、狂犬病、烟草花叶病
44．某些病毒外被膜结构，这种膜结构来自（　　）
A．宿主细胞的细胞膜
B．病毒自己合成
C．宿主细胞的细胞核膜
D．脂由病毒合成，蛋白质由宿主细胞合成
45．如果在培养真菌的实验室里，你使用过滤的方法对培养液灭菌，过滤滤膜的孔径是0.2μm。结果几天后，你发现真菌在滤过的培养液里停止生长，显得不健康。对此最可能的解释是（　　）
A．培养液中含有病毒
B．过滤除去了培养液中的比较大的营养物
C．培养液中含有细菌
D．过滤改变了培养液的pH
46．使用核酸酶处理后毒性不会改变的病原体是（　　）
A．乙肝病毒
B．朊病毒
C．禽流感病毒
D．艾滋病病毒
47．一种新的能导致人类患病的禽流感病原体，引起世界各国政府忧虑的原因是（　　）（多选题）
A．导致禽流感的细菌能够抵抗多数抗生素
B．导致禽流感的病原体可能突变，使其在人群中传播
C．导致禽流感的病原体由野生鸟类携带从而随着它们的迁徙而在世界范围内传播
D．导致禽流感的病原体能通过煮熟的鸡肉传播
48．在抗病毒性感染中起主要作用的是（　　）
A．干扰素

B．抗毒素
C．类毒素
D．抗生素
49．微生物通过诱导能够产生诱导酶，这种调节方式（　　）（多选题）
A．在转录水平进行调节
B．优势在于避免浪费细胞的营养资源
C．所产生的酶在代谢产物过多时被抑制，过少时活性增强
D．其诱导物一般是诱导酶的作用底物
50．下列哪种方法可用于总活菌数计数（　　）
A．浊度计比色法
B．光电比色法
C．血球计算板法
D．平板菌落计数法
51．研究细菌的生物学性状最好是选用细菌群体生长繁殖的哪个时期（　　）
A．迟缓期
B．稳定期
C．对数期
D．衰亡期
52．一定量的酵母菌培养液中，放入酵母菌若干，抽样镜检，视野如图甲所示。将容器放在适宜温度下恒温培养6h后，稀释100倍，再抽样镜检，视野如图乙所示。据此，以下叙述中正确的是（　　）
A．培养6h后，酵母种群密度增加200倍左右
B．6h内，酵母经历了约8个细胞周期
C．在这段培养时间里，酵母的一个细胞周期需要时间平均为1.3h
D．培养6h后，酵母种群密度增加100倍左右


甲


乙

53．以无菌操作技术进行以下实验操作：①将1g样品溶于9mL无菌水中。②对上述菌液进行4次梯度稀释：1mL前一稀释菌液＋9mL无菌水，摇匀。③吸取0.1mL最后一次稀释所得菌液涂布于细菌培养基平板上。④将平板放在37°C恒温环境中培养24h后，计数平板上菌落数目。假如计数得平板平均菌落数为5，则下列结论中正确的是（　　）

A．实验结果可表述为“样品含活菌数约5×10^6个/g”

B．样品实际含菌数大于5×10^6个/g

C．吸取0.1mL步骤①菌液滴在血球计数板上，在显微镜下直接计数，所得结果略小于5×10^6个/g

D．若步骤③重复数次，可以提高数据可信度

54．在筛选抗青霉素菌株时，须在培养基中加入青霉素，其作用是（　　）

A．筛选

B．诱变

C．既筛选又诱变

D．以上答案都不对

55．平板划线操作适用于下列哪些实验目的（　　）（多选题）

A．纯化大肠杆菌

B．分离水生耐热细菌Taq

C．计数尿素分解菌

D．土壤微生物种类调查

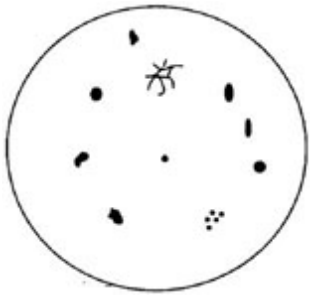
56．一定体积某菌液以100万倍稀释后，吸取0.1mL涂布于平板上，24h恒温培养后，结果如图所示。此实验的目的可能是（　　）

A．计数菌液的微生物活细胞数目

B．分离获得某种或某类微生物

C．计数菌液中微生物细胞数目

D．研究细菌形态



【参考答案】

1．B　2．B　3．A　4．D　5．C　6．B　7．BD　8．A　9．C　10．A　11．AD　12．BD　13．B　14．C　15．C　16．B　17．D　18．A　19．B　20．C　21．D　22．C　23．B　24．B　25．A　26．B　27．B　28．A　29．C　30．AC　31．D　32．A　33．B　34．D　35．ABD　36．D　37．C　38．C　39．CD　40．D　41．C　42．BCD　43．C　44．A　45．A　46．B　47．BC　48．A　49．ABD　50．D　51．C　52．C　53．B　54．A　55．AB　56．D

第2讲　生物技术在食品加工及其他方面的应用

（杭州学军中学　余林）

【知识梳理】

现代生物技术包括基因工程、蛋白质工程、细胞工程、酶工程和发酵工程等领域，是当今世界新技术革命的标志之一，其在解决当今世界发展重大问题（如粮食短缺、资源枯竭、生态环境恶化）中发挥了积极作用．在我国的食品工业中，生物技术工业化产品占有相当大的比重．现代生物技术在食品领域中有广阔市场和发展前景，本讲将着重叙述生物技术在食品加工及其他方面的应用，以及相关实验。

一、生物技术与食品加工

生物技术在食品工业中被广泛地应用。这包括用发酵法制造食品，如酒类、酱油、腐乳；用基因工程法制造新品种；还包括从生物材料中提取提纯某些色素、香料等；以及用生化方法对产品品质的监测。

其中发酵工程在食品工业中的应用非常广泛（表4-2-1）。

表4-2-1　发酵工程在食品工业中的应用

产品名称	用　途	常用微生物
单细胞蛋白	动物食品，将来可能为人类食品	产朊假丝酵母、白地霉、大螺旋蓝藻、小绿球藻
腐乳	食品	毛霉、根霉、红曲霉

续表

产品名称	用　　途	常用微生物
酱油	调味品及食品添加剂	米曲霉、酵母菌、乳酸菌
醋酸	调味品及食品添加剂	醋酸菌
柠檬酸	调味品及食品添加剂	黑曲霉
乳酸	调味品及食品添加剂	德氏乳酸杆菌
L-谷氨酸、L-赖氨酸	调味品、营养强化剂、饲料	谷氨酸棒杆菌、北京棒杆菌、黄色短杆菌
L-苏氨酸	调味品、营养强化剂、饲料	谷氨酸棒杆菌、北京棒杆菌、大肠杆菌
肌苷酸	食品调味呈鲜剂	谷氨酸棒杆菌的营养缺陷型
β-胡萝卜素	食品及饲料添加剂	三孢布拉霉菌
核黄素	食品及饲料添加剂	阿氏假囊酵母
乙醇类饮料（白酒、啤酒、果酒等）	饮料	不同种类的酿酒酵母株

（一）果酒及果醋的制作方法和实验

果酒是以各种果品为原料酿制调配而成的低度饮料酒。果醋是以水果为主要原料酿制而成的一种营养丰富、风味优良的酸味调味品。苹果醋中含有醋酸、苹果酸、乳酸、延胡索酸等，其兼有水果和食醋的营养保健功能。果酒和果醋具有独特的营养和风味，深受人们的喜爱。

葡萄酒是酵母在无氧条件下进行酒精发酵的产物。葡萄糖被氧化为乙醇的反应式：

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH$$

醋杆菌在有氧条件下才能将乙醇氧化为醋酸，培养液中醋酸含量可达13%。其反应式：

$$C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$$

（1）用葡萄制作葡萄酒

实验材料：新鲜红葡萄2.5～5kg。

实验步骤：

①将发酵瓶、纱布、榨汁机、烧杯（锥形瓶）等实验用具先用温水反复冲洗几次，再用体积分数为75%的酒精溶液擦拭消毒，晾干待用。

②用清水将葡萄洗干净，去除枝梗和腐烂的籽粒，在酸性高锰酸钾溶液中浸泡5min，然后再用清水冲洗。

③将适量的干酵母混合少量温水（＜40℃）于小烧杯中，待酵母悬液中出现气泡即可。

④用榨汁机榨取葡萄汁后，将其装入发酵瓶中，或将葡萄打成浆后，用洁净的纱布过滤至发酵瓶中（注入的果汁量不要超过发酵瓶总体积的2/3）。加入酵母悬液，搅匀后，用瓶盖盖紧，只留一通气管（普通乳胶管即可）自容器内的上部引出至一盆清水中，出口管口没入水下（排出发酵产生的气压并观察产气情况）。

⑤将发酵瓶置于25～30℃下发酵2～3天。当发酵瓶中停止出现气泡，则发酵完毕。将上部液体倒置于另一容器中。清除底部皮渣。再用塑料布蒙口，扎紧。10～15天后，再用以上方法倒缸，清除底部沉淀物。几次操作后，上清液即为葡萄酒。

果汁发酵后是否有酒精产生，可以用重铬酸钾来检验。在酸性条件下，重铬酸钾与酒精反应呈现灰绿色，检测时，先在试管中加入发酵液2mL，再滴入物质的量浓度为3mol/L的H_2SO_4几滴，振荡混匀，最后滴加常温下饱和的重铬酸钾溶液3滴，振荡试管，观察颜色的变化。

（2）用果酒制作果醋

实验材料：果酒200mL与蒸馏水800mL混合液。醋化醋杆菌（可先在培养液中培养后再使用，或直接用醋曲代替）。

发酵过程略。

（二）腐乳的制作方法和实验

腐乳是我国传统的发酵食品。腐乳中含游离氨基酸、醇、酯、有机酸、糖、蛋白质等发酵产物。豆腐胚的外衣是由毛霉或根霉的菌丝组成。进一步发酵时还需添加红曲霉和其他成分。

用北方豆腐制作腐乳，其原理是利用霉菌中的淀粉酶和蛋白酶将豆腐中的淀粉和蛋白质水解为糖、多肽和氨基酸。

实验材料：已接种的毛霉菌种，北方豆腐，红曲霉米粉。

实验步骤：

①将北方豆腐切成小块，分开放在保湿玻璃瓶或瓦瓶中。将毛霉菌液用喷雾器喷（或用毛笔刷）到豆腐块上，25～28℃下培养2～3天。

②将长出菌丝的腐乳胚紧密分层排列在一起，将食盐分层加在腐乳胚上，上多下少。加盖腌制3天后加食盐水至胚面，再腌制5天，然后将盐水倒掉。

③将红曲粉调料、黄酒、白糖和适量水调和后加到已腌制的豆腐胚上，然后将其放入玻璃罐中。加盖后在室温下放置1个月后即可食

用。

（三）精油的提炼方法和实验

从芳香植物中可分离得到高度挥发的液态物质——精油。精油中最多的组分是萜类化合物。精油可用作香料、调味品和药物。蒸汽蒸馏是最常见、最重要的分离精油的方法，常使用蒸汽蒸馏装置收集薄荷叶中的精油。

实验材料：薄荷叶适量（100g左右）。

实验步骤：

①装配好蒸汽蒸馏装置。

②将薄荷叶剪碎，选取适量蓬松地放入B瓶中，以瓶颈以下1cm或更低为宜。

③向A瓶中添加水，同时加入沸石或碎瓷片防暴沸（也可用毛细管代替）。同时往冷凝器中通水。

④放置好接受器。在接收瓶口上盖小块铝箔或牛皮纸。

⑤加热蒸汽发生装置。当接收瓶内上层油状物不再增多时即可停止加热。将接收瓶塞好，并将其他装置归位。

二、生物技术与其他

生物技术在纺织工业、制药、制革、医疗、水产品加工、造纸和农业等方面也有广泛的应用。特别是在治理环境污染、对有毒化合物和高分子化合物的分解净化、石油探矿和开采、细菌冶金、有机废弃物的综合治理、海洋和宇宙的开发等中有突出贡献（表4-2-2）。

表4-2-2　生物技术与其他

产品名称	用　途	常用微生物
细菌杀虫剂	杀灭鳞翅目、膜翅目等昆虫	苏云金杆菌、乳状病芽孢杆菌
病毒杀虫剂	杀灭多种昆虫	多种病毒
沼气发酵	环境净化与生物废料再生	假单胞菌、产碱杆菌等多种
生物降解污水与毒物	环境净化	降解菌及木质纤维转化的微生物
细菌浸矿	从金属矿石中回收金属	氧化亚铁硫杆菌、嗜酸硫细菌等

（一）城市污水及工业废水的处理

污水一级处理、二级处理、三级处理，是目前城市污水及工业废水的处理方法。一级处理也叫预处理，是通过沉淀、浮选、过滤等物理方法去除污水中的悬浮状固体物质，或通过凝聚、氧化、中和等化

学方法，使污水中的强酸、强碱和过浓的有毒物质，得到初步净化。二级处理是利用生物化学作用，去除污水中的有机物。三级处理也叫深度处理，三级处理根据进水水质，采用相应处理方法，脱氮、除磷、减少BOD（生物耗氧量）。

（二）细菌杀虫剂

细菌类杀虫剂是国内研究开发较早、生产量最大、应用最广的微生物杀虫剂。苏云金杆菌是最具有代表性的品种。苏云金杆菌是一种能产生伴孢晶体毒素，作用范围较广的重要昆虫病原菌，对多种农业害虫有不同程度的毒杀作用。苏云金杆菌可产生内毒素（即伴随晶体）和外毒素（α、β和γ外毒素）两大类毒素。伴孢晶体是主要的毒素。在昆虫的碱性中肠中，可使肠道在几分钟内麻痹，致昆虫停止取食，并很快破坏肠道内膜，造成细菌的营养细胞易于侵袭和穿透肠道底膜进入血淋巴，最后昆虫因饥饿和败血症而死亡。

（三）病毒杀虫剂

病毒杀虫剂是一类以昆虫为寄主的病毒类群，虽研究开发比细菌杀虫剂晚，但近年来发展迅速。应用比较普遍的有核型多角体病毒、颗粒体病毒和基因工程棒状病毒。感染虫态都是幼虫，成虫虽然带毒，但不致死亡。利用昆虫病毒防治害虫专一性强，不污染环境，并有长期的防治效果，但效果慢。

（四）加酶洗衣粉的使用条件和效果

洗衣粉的主要成分是表面活性剂。而加酶洗衣粉中又添加了多种酶制剂，如蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶等。

加酶洗衣粉中的碱性蛋白酶多为内切酶，可以使奶渍、血渍等多种蛋白质污垢降解成易溶于水的小分子肽。碱性蛋白酶的主要产生菌是某些芽孢杆菌。衣物上脂质污垢的主要成分是甘油三酯。甘油三酯很难被一般洗衣粉中的表面活性剂乳化，而留在衣物上的甘油三酯容易发生氧化反应，使纺织品变黄变脆。碱性脂肪酶制剂能将甘油三酯水解成容易被水冲洗掉的甘油二酯、甘油单酯和脂肪酸，从而达到清除衣物上脂质污垢的目的。碱性脂肪酶的主要产生菌是某些青霉。

本实验的内容是用加酶的洗衣粉洗涤沾有鸡血的棉织品，观察不同温度下的洗涤效果。

实验材料：加酶洗衣粉及未加酶洗衣粉。

实验步骤：

①将两组恒温水浴分别调至40℃和80℃。

②向3个三角瓶中各加水100mL，向其中1、2号瓶分别加入加酶洗衣粉和不加酶洗衣粉0.5g，摇匀，以不加洗衣粉的3号瓶作为对照。

③将3个三角瓶分别放在20℃室温下、40℃水浴中、80℃水浴中。

④待三角瓶中温度达到预定温度后，将3小块沾有鸡血并放置1天以上的棉布分别放入3个三角瓶中，不时摇动，观察水的颜色和棉布去污速度。组间进行不同温度洗涤效果的比较。

【例题解析】

例1　在柠檬酸发酵工业中最常用的微生物是

A．酵母

B．曲霉

C．根霉

D．青霉

解析　曲霉是发酵工业和食品加工业的重要菌种，已被利用的近60种。2000多年前，我国就用曲霉制酱，曲霉也是酿酒、制醋曲的主要菌种。现代工业利用曲霉生产各种酶制剂（淀粉酶、蛋白酶、果胶酶等）、有机酸（柠檬酸、葡萄糖酸、五倍子酸等），农业上用作糖化饲料菌种。

答案　B

【针对训练】

1．在果酒、果醋、腐乳、泡菜的制作中，用到的微生物分别是（　　）

A．酵母菌、酵母菌、毛霉、乳酸菌

B．酵母菌、醋酸菌、毛霉、乳酸菌

C．毛霉、醋酸菌、乳酸菌、酵母菌

D．酵母菌、乳酸菌、毛霉、醋酸菌

2．“白色农业”属于生物工程中的“发酵工程”和“酶工程”，人们在工厂车间内都要穿戴白色工作服从事劳动生产，故形象地称“白色农业”。“白色农业”生产的食品为白色食品。下列不属于白色食品的是（　　）

A．酸奶

B．花生油

C．粉丝

D．干酪

3．下列关于果醋的制作中，正确的是（　　）

A．果醋的制作需用醋酸菌，醋酸菌是一种好氧菌，所以在制作过程中需通氧气

B．醋酸菌是一种嗜温菌，温度要求较高，一般在50°C左右

C．醋酸菌能将果酒变成果醋

D．当氧气、糖源充足时，醋酸菌可将葡萄中的糖分解成醋酸

4．甲烷细菌在沼气池中可用塘泥和牲畜粪便接种。我国农村不少地区已建起了许多小型沼气池，利用沼气做饭、照明，既解决了燃料困难，又减少了环境污染。下列关于甲烷细菌的说法中错误的是（　　）

A．甲烷细菌是一类严格厌氧古细菌

B．大多数甲烷细菌能利用H_2作为CO_2的还原剂以合成有机物

C．甲烷细菌对热敏感，不能在高温环境中生存

D．甲烷细菌可在固定CO_2、减缓温室效应中发挥重要作用

5．用30%～80%糖加工果品能长期保存，是因为微生物处于（　　）环境中引起质壁分离而死亡。

A．高渗压

B．低渗压

C．等渗压

D．中渗压

6．病毒杀虫剂是一类以昆虫为寄主的病毒类群，虽研究开发比细菌杀虫剂晚，但近年来发展迅速。下列关于病毒杀虫剂的说法中不正确的是（　　）

A．由于侵染昆虫的病毒感染力强，杀虫效果好，但对人畜有害，且污染环境

B．病毒杀虫剂的感染虫态都是幼虫，成虫虽然带毒，但不致死亡

C．制备病毒杀虫剂时，先要收集大量的昆虫

D．用来防治害虫的病毒，主要为：细胞核多角体病毒、细胞质多角体病毒和颗粒病毒

7．下列说法中不正确的是（　　）

A．酿制酸奶通过pH抑制微生物的生长

B．泡菜的制作中会产生亚硝酸盐，食入0.3～0.5g的亚硝酸盐即可引起中毒甚至死亡

C．精油是从植物的花、叶、茎、根或果实中，通过水蒸气蒸馏法、挤压法、冷浸法或溶剂提取法提炼萃取的挥发性芳香物质

D．精油的主要成分是醇类

8．苏云金杆菌作为生物农药的主要有效成分是（　　）
A．细胞内毒素
B．细胞壁
C．芽孢
D．伴胞晶体
9．具有降解环境中有毒物质的微生物一般是（　　）
A．硝化细菌
B．假单胞菌
C．蓝细菌
D．反硝化细菌
10．通常污水深度处理工艺可以（　　）（多选题）
A．去重金属
B．脱氮
C．除磷
D．减少BOD
11．果汁发酵后检测是否有酒精产生，采用的方法有（　　）（多选题）
A．用菲林试剂检测
B．用重铬酸钾溶液检测
C．品尝样液和闻闻是否有酒味
D．用双缩脲试剂检测
12．制作腐乳时加一定量的酒精的原因是（　　）（多选题）
A．抑制微生物的生长
B．保证腐乳成熟
C．使腐乳具有独特的香味
D．脱去腐乳中的水分
13．以下属于微生物进行污染降解的是（　　）（多选题）
A．城市垃圾的卫生填埋
B．污水一级处理
C．污水二级处理
D．污水深度处理

【参考答案】

1．B　2．B　3．B　4．C　5．A　6．A　7．D　8．D　9．B　10．BCD　11．BC　12．AC　13．ACD

第五章　现代生物科技专题

第1讲　基因工程及克隆技术

（柯桥中学　叶建伟）

【知识梳理】

一、基因工程

（一）基因操作的基本技术

1．凝胶电泳

当一种带电粒子被放置在电场中时，它们会以一定的速度移向相应的电极，这就是电泳。凝胶电泳则使用了一种无反应活性的稳定的支持介质，如琼脂糖凝胶和聚丙烯酰胺凝胶等。凝胶电泳的迁移率与分子的大小、极性及介质黏度有关。因此根据分子大小的不同，构型或形状的差异，以及所带的净电荷的多寡，便可以通过电泳将一群分子混合物中的各种成分分离开来。

核酸分子（DNA和RNA）的磷酸基团呈离子状态，带负电荷，因此当核酸分子被放置在电场中时，它们就会向正电极的方向迁移。由于DNA几乎具有等量的净电荷，所以在一定的电场强度下，DNA分子的迁移速度取决于核酸分子本身的大小和构型。相对分子质量较小的DNA分子，比相对分子质量较大的DNA分子更容易通过凝胶介质，故其电泳迁移率也快些。所以凝胶电泳可以分离和纯化特定的DNA片段。

2．核酸分子杂交

核酸分子杂交技术的原理是：带有互补的特定核苷酸序列的单链DNA或RNA，当它们混合在一起时，其特定的同源区段将会退化形成双链的结构。因此DNA/DNA或DNA/RNA的杂交作用可以用来揭示核酸片段中某一特定基因的位置。将在电泳凝胶中分离的DNA片段转移并结合在适当的滤膜（如硝酸纤维素滤膜）上，然后通过与DNA或RNA探针的杂交作用检测这些被吸印的DNA片段，这种实验方法叫做DNA印迹杂交技术，也叫Southern DNA印迹技术。若被转移的待检测样品为RNA，就是Northern RNA印迹杂交技术。而Western蛋白质杂交技

术，则是利用放射性同位素^{125}I标记的特定蛋白质的抗体，检测硝酸纤维素滤膜上的蛋白质样品。

3．细菌转化

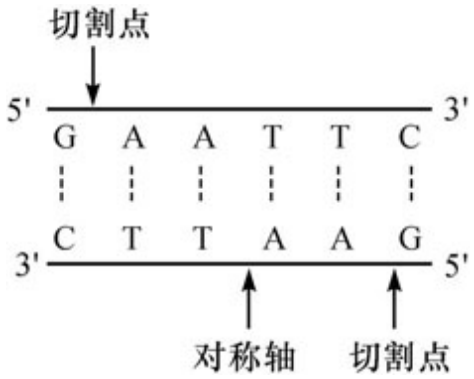
在基因操作中，体外建成的重组DNA本身不能繁殖和扩增，只有将它引入到宿主细胞以后，才能进行繁殖并表达。现在已有多种方法可以将外源DNA引入宿主细胞，如转化、转导、转染、基因显微注射等。但最常用的方法是转化。细菌转化是指一种细菌菌株捕获了来自另一种细菌菌株的DNA，而导致性状特征发生遗传性改变的生命过程。这种提供转化DNA的菌株叫做给体菌株，而接受转化DNA的寄主菌株则叫做受体菌株。受体菌只有在进入了感受态时，才能捕获外源的转化DNA。与基因工程关系最密切的大肠杆菌缺乏天然的转化机制，但在转化DNA前，预先用$CaCl_2$处理，能够人为诱导这些细胞呈现感受态。

（二）基因操作的工具

1．限制性核酸内切酶

限制性核酸内切酶，是一类能够识别双链DNA分子中某种特定核苷酸序列，并由此切割DNA双链结构的核酸内切酶。它们主要是从原核生物中分离纯化出来的。在限制性核酸内切酶的作用下，侵入细胞的外源DNA分子被切割成不同大小的片段，而细菌自身的DNA由于甲基化酶的保护作用，则可免受限制酶的降解。限制酶和甲基化酶对DNA底物有相同的识别序列，但有相反的生物功能。通常甲基化酶只修饰宿主本身的DNA，对于入侵的外源DNA，甲基化酶不起作用，使外源DNA分子被限制酶切割。有时甲基化酶发生差错，将外源DNA分子修饰，限制酶就不能对其作用。这漏网之鱼繁殖的后代，再次感染同一细菌品系时，甲基化酶就会对其加以修饰，便能抵抗限制酶的进攻，而大量繁殖。这就是为什么在一种菌株生长的噬菌体虽然受到了宿主的限制，但总有极少数能存活和此噬菌体再次感染原寄主菌株时成斑率为100%的原因。限制性核酸内切酶有Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型三种类型，其中Ⅱ型酶在基因工程中被广泛利用。

限制酶识别的靶序列具有双重旋转对称的结构，即这些核苷酸对的顺序呈回文结构（如图5-1-1）。限制酶识别的靶子序列同DNA的来源无关，任何不同来源的DNA，经过适当限制酶的处理之后，都可以重新连接起来。这种特性是重组DNA技术学的重要基础之一。根据这一特性，才能够将不同来源的DNA片段重组成新的重组DNA分子或是新的基因。



1-1　大肠杆菌EcoR Ⅰ的靶序列

限制酶造成DNA分子的断裂类型，通常是2种独特的排列方式之一。（1）两条链上的断裂位置是交错的，但又是对称地围绕着一个对称轴排列，这种形式的断裂，结果形成具有黏性末端的DNA片段。（2）两条链上的断裂位置是处在一个对称结构的中心，这种形式的断裂，是形成具有平末端的DNA片段（如图5-1-2）。具有相同黏性末端的DNA片段能够通过互补碱基间的配对而重新环化起来。平末端的DNA片段则不易重新环化。

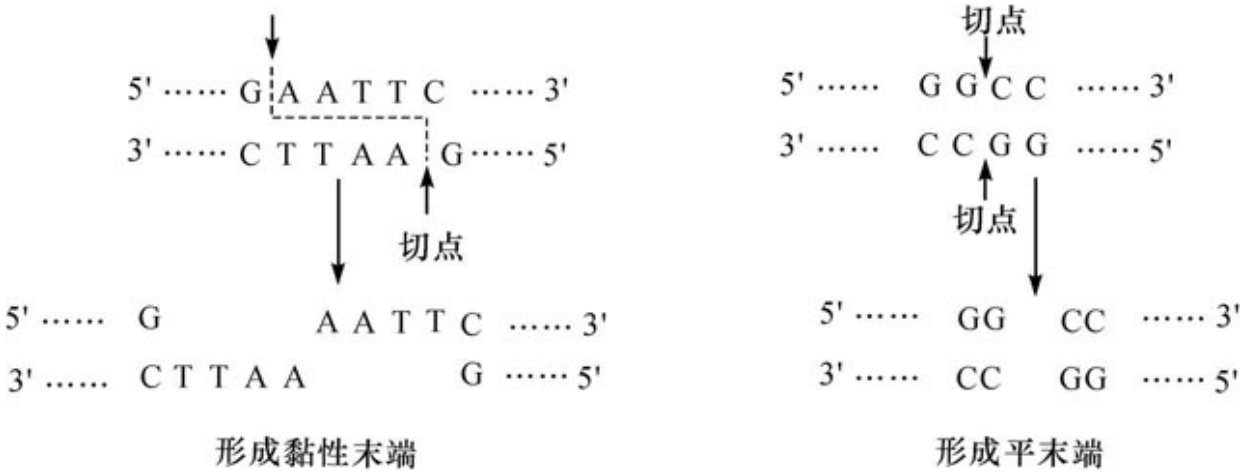


图5-1-2　限制酶的两种断裂类型

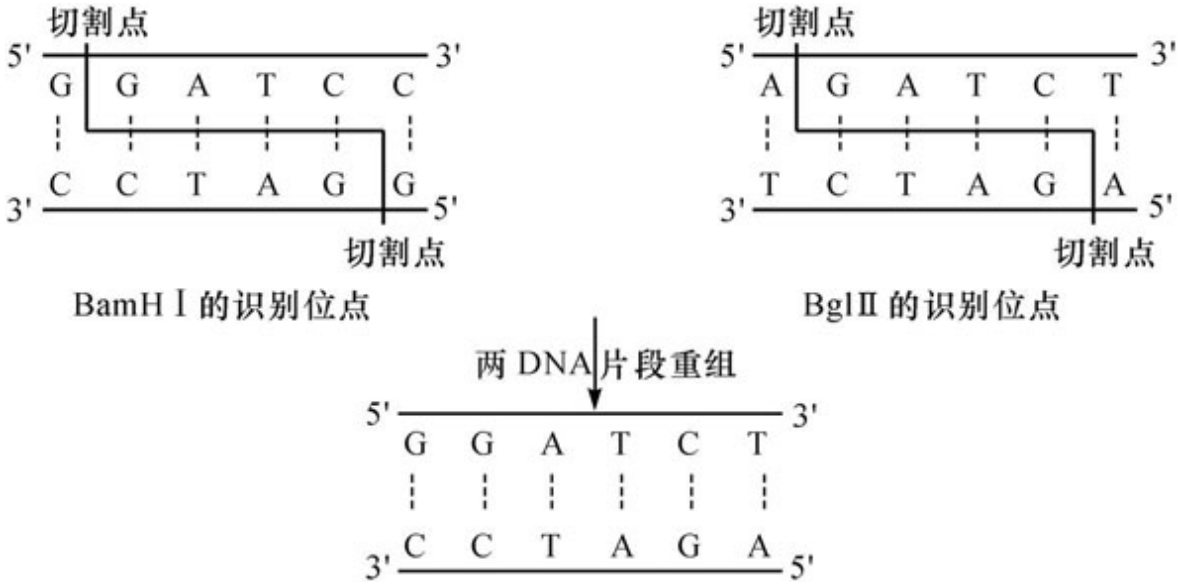
有的限制酶（如Sau3A Ⅰ）识别的靶序列是包含在另一种限制酶（如BamH Ⅰ）识别的靶序列之内。有一些来源不同的限制酶识别同样的靶序列，形成同样的末端，称为同裂酶。还有一些来源不同的限制酶，识别的靶序列各不相同，但产生相同的黏性末端（如BamH Ⅰ和Bg1 Ⅱ）。由同尾酶所产生的DNA片段能够通过其黏性末端之间的互补作用彼此连接起来。因此在基因工程中很有用处。但由2种同尾酶消化

产生的黏性末端，重组之后所形成的序列结构不能在被原来的任何一种同尾酶所识别（如图5-1-3）。

2．DNA连接酶

DNA连接酶能够催化2条DNA链之间形成磷酸二酯键。这种酶需要在一条DNA链的3′末端具有一个游离的羟基，在另一条DNA链的5′末端具有一个磷酸基团，同时还需要有一种能源分子（在细菌中是NAD^+，在动物细胞及噬菌体中是ATP）的存在才能实现这种连接反应。

DNA连接酶并不能连接两条单链的DNA分子，被连接的DNA链必须是双螺旋DNA分子的一部分。这种形式的连接过程，对于正常的DNA合成、损伤DNA的修复，以及遗传重组中DNA链的拼接等都是十分必要的。



重组后的序列既不能被BamHⅠ识别，也不能被BglⅡ识别

图5-1-3

平末端DNA片段的连接：平末端DNA片段的连接方法多种：①平末端DNA片段连接：利用T_4DNA连接酶，在ATP存在的条件下，使平末端相互连接。这种连接效率不高，基因操作很少采用。②同聚物加尾法：末端核苷酸转移酶（不需要模板）能够催化dNTP加到DNA分子的3′羟基基团上。若选择的脱氧核苷三磷酸为dATP，则在DNA分子的3′羟基末端形成单纯由腺嘌呤脱氧核苷酸组成的DNA单链延伸，这样的延伸片段称为poly（dA）尾巴；若选择的脱氧核苷三磷酸为dTTP，则形成poly（dT）尾巴。poly（dA）尾巴和poly（dT）尾巴是互补的，因此任何两条DNA分子，只要分别获得poly（dA）尾巴和poly（dT）

尾巴，就能彼此连接起来。③用衔接物连接平末端DNA片段：所谓衔接物，是指用化学方法合成的一段由10～12个核苷酸组成的、具有一个或数个限制酶识别位点的5′末端和待克隆的DNA片段5′末端，用多核苷酸激酶处理使之磷酸化，然后再通过T_4DNA连接酶的作用使两者连接起来。接着用适当的限制酶消化具有衔接物的DNA分子和克隆载体分子，使两者都产生出了彼此互补的黏性末端。于是便可以按照常规的黏性末端连接法，将待克隆的DNA片段同载体分子连接起来。利用衔接物连接平末端DNA片段的方法，兼具有同聚物加尾法和黏性末端法的优点，因此在DNA分子的连接中，是一种有效而又实用的手段。

3．基因的载体

一个外源DNA片段很难进入受体细胞，即使进入细胞，一般也不能进行复制和功能的表达。这是因为，外源DNA片段一般不带有复制子系统及在新的受体细胞中进行功能表达的调控系统。在基因工程中，通常是利用载体把外源DNA片断利用运载工具送入生物细胞。

载体的本质是DNA。经过人工构建的载体，不但能与外源基因相连接，导入受体细胞，还能利用本身的调控系统，使外源基因在新细胞中复制以致功能的表达。

作为理想的基因载体，应具备以下几个条件：（1）在宿主细胞中能独立自主的复制，即本身是复制子。（2）载体DNA分子中有一段不影响它们扩增的非必需区域，并在其中具有一种或多种限制酶的单一切割位点，还要求在此位点中插入外源基因片段，不影响本身的复制功能。（3）在基因组中有1～2个筛选标记。（4）相对分子质量小，多拷贝，易于操作。（5）容易从宿主细胞中分离纯化。

基因工程所用的载体，主要有5类：（1）质粒。质粒是一种裸露的，有自主复制能力的环状DNA分子。在质粒基因组中，没有溶菌酶基因。质粒可以“友好”地“借居”在宿主细胞中，也只有在宿主细胞中，质粒才能完成自己的复制。基因工程所用的质粒载体，是以天然质粒为基础，加以人工的改造和组建的质粒。（2）λ菌体的衍生物。野生型的λ菌体本身不适于作为克隆载体来用，主要原因是λ噬菌体DNA对大多数常用的限制酶有较多的确切位点，比如有5个EcoR Ⅰ的限制位点、有7个HindIII的限制位点。因此，λ噬菌体只有经过改造才能适合用作克隆载体。（3）柯斯质粒。（4）单链DNA噬菌体M_{13}。（5）动物病毒。

（三）基因操作的步骤

基因工程技术一般包括五个步骤：1．目的基因的获得；2．重组DNA分子的构建；3．重组DNA分子导入宿主细胞；4．重组体克隆的

筛选和鉴定；5．目的基因的表达。

1．目的基因的获得

基因工程技术的第一步，就是要获得目的基因。目前已经有许多方法可以获得目的基因。例如采用化学方法合成基因，从构建的基因文库中调取目的基因，应用mRNA逆转录法合成cDNA（互补DNA）等。

（1）化学方法合成基因

在基因的化学合成中，首先要合成出有一定长度（150～200bp）的、具有特定序列结构的寡核苷酸片段。然后再通过DNA连接酶的作用，使它们按照一定的顺序共价地连接起来。采用这种方法已合成出干扰素基因。

（2）从构建的基因文库中调取目的基因

基因文库，是指汇集了某一基因组所有DNA序列的重组DNA群体（转化子群）。构建基因文库时，最常用的克隆载体系统是λ噬菌体、质粒和柯斯载体。要构建大型基因组，就要克隆相当大量的不同限制片段，才能在调取其中某一基因片段时以一种合理的频率获得结果。理论上克隆数，可用供体生物的基因组DNA总量除以克隆片段的平均大小得出。以人β-珠蛋白基因为例，其大小约为1.5kb。而人的单倍体基因组总长度达3×10^6kb左右。那么理论上需要克隆2307692个长度为1.5kb的不同限制片段，才能够确保在重组DNA转化子克隆群体中，至少有一个是获得了这个基因的分子。但由于DNA片段是随机克隆的，因此这个理论值只是基因组基因文库所需要的最小数值。为了达到以一种合理的几率筛选出单拷贝目的基因，一个完全的基因库就必须含有3～10倍于最低重组DNA克隆数的克隆。

构建基因文库时，首先用多种限制性内切酶或者机械的方法，将某种生物的细胞DNA切成不同片段，然后把所有片段随机连接到用同样内切酶切过的基因载体上，最后分别转移到适当受体细胞如细菌中，通过细胞增殖而构成各个片段的克隆（如图5-1-4）。

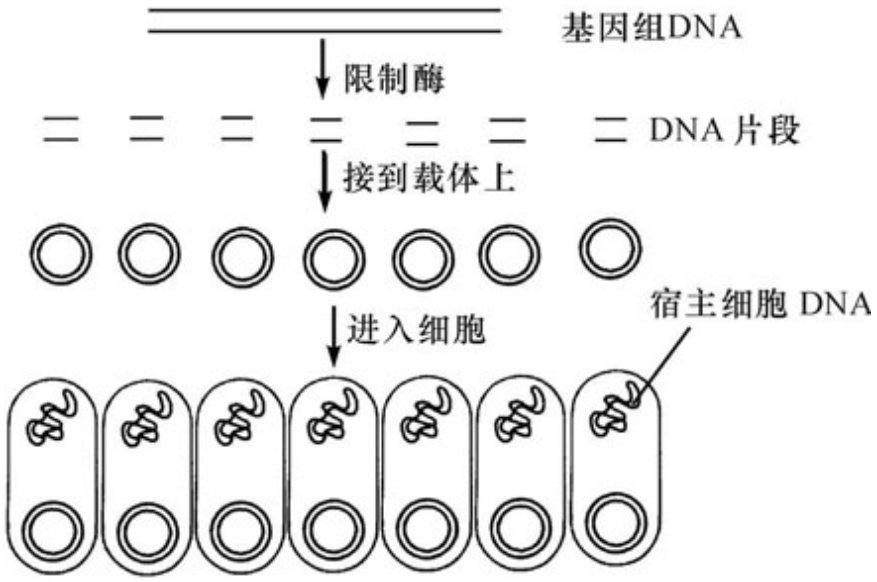


图5-1-4　基因组克隆文库

有了基因文库，就可随时从中提取所需要的目的基因，引入受体细胞使之表达。

值得注意的是，由于制备DNA片段的切点是随机的，所以每一克隆内所含的DNA片段既可能是一个或几个基因，也可能是基因的一部分，或者除完整基因外还包含着两侧的邻近DNA序列。

（3）从真核生物分离纯化目的基因的一般方法——逆转录法

真核基因有以下特点：第一，真核细胞的基因组很大，其中单拷贝基因约占染色体DNA的10^{-5}～10^{-7}，多拷贝基因约占10^{-3}，因此从染色体直接分离纯化目的基因几率很小。第二，真核基因内部含有内含子。如果以原核细胞作为表达系统，即使分离出了真核基因，由于原核细胞缺乏mRNA的转录后加工系统，由真核基因转录的mRNA也不能加工、拼接成为成熟的mRNA。因此在基因工程中，为了得到真核基因，一般是先分离纯化目的基因的mRNA，再反转录成cDNA，即逆转录法。

从真核细胞分离纯化mRNA，再反转录成cDNA，包括：细胞总RNA的提取，mRNA的分离与纯化，mRNA转译活性的鉴定以及cDNA的逆转录合成四大步骤。第一步，细胞总RNA的提取。由于每种特异mRNA在总RNA中的含量极少，所以提取细胞总RNA时，要选择富含某种特异mRNA的组织细胞。如提取珠蛋白mRNA时，可选择网织红细胞；提取卵蛋白mRNA时，可选择输卵管；提取胰岛素mRNA时，可选择胰岛β细胞。能否选择到富含某种特异mRNA的组织细胞，是获得大量纯化mRNA的关键。第二步，mRNA的分离与纯化。首先根据真核

mRNA的3′端含有poly（A）序列，利用寡聚（dT）—纤维素亲和层析柱，将mRNA从总RNA中分离出来。然后根据各种mRNA的相对分子质量大小差异，利用凝胶电泳分离、纯化，得到特异的mRNA。也可以利用核酸杂交技术分离相应的mRNA。第三步，mRNA转译活性的鉴定。通过转译活性的鉴定，看其是否与天然基因活性相同。第四步：逆转录合成双链cDNA。整个过程包括以下4步：①以poly（A）RNA为模板，寡聚（dT）作引物，以dNTP为原料，在逆转录酶作用下合成第一条互补DNA链，这条链在末端会弯回形成一个发夹结构；②碱处理降解杂交双链中的RNA模板；③以第一条cDNA链为模板，发夹结构作引物，以dNTP为原料，在逆转录酶或DNA聚合酶Ⅰ作用下，合成第二条DNA链；④用特异切除单链的S_1酶切去发夹环部分，最终得到平端ds-cDNA。

若把某种真核细胞的总mRNA分离出来，不经过特异性mRNA的纯化，而将所有的mRNA都通过逆转录法合成cDNA。把所有的cDNA都插入到质粒载体中，并转化给细菌（如大肠杆菌）就构建了cDNA文库。一个完全的cDNA基因文库所含的克隆数，要比一个完全的基因组文库所含的克隆数少得多，所以目的基因的筛选比较简单。

2．重组DNA分子的构建

外源DNA片段与载体的连接，主要依赖于限制酶和DNA连接酶的作用。当载体和外源DNA用同种限制酶或同尾酶切割时，所形成的DNA末端就能够彼此退火，并被DNA连接酶连接起来，形成重组DNA分子（如图5-1-5）。但由此引导的外源DNA片段的插入，可以有两种彼此相反的取向，这对于基因克隆是很不方便的。这种单酶切的DNA重组法称为插入式。双酶切的取代式DNA重组法，将外源DNA片段定向插入载体分子，可以克服插入式的弊端，而被基因操作广泛采用。

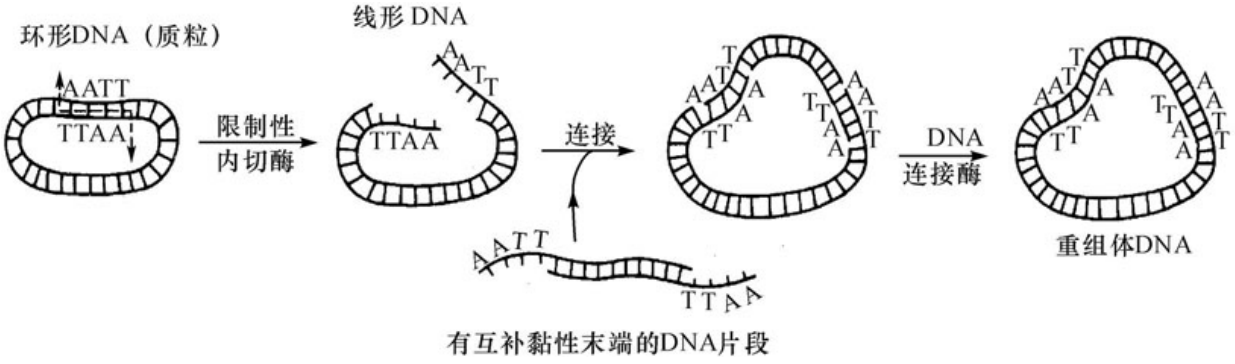


图5-1-5　重组体DNA的形成

取代式DNA重组法：外源DNA分子和载体分子，都用同一组2种核酸内切限制酶切割，使外源DNA分子和载体分子都产生两种不同黏性末端。然后将消化产物混合起来，那么载体分子和外源DNA片段将按一种取向退火，并在DNA连接酶的作用下形成重组DNA分子。

质粒载体和待克隆的外源DNA分子，都是用Hind III和BamH Ⅰ作双酶切割，那么载体分子和插入片段分别产生的BamH Ⅰ（或HindIII）末端将会彼此退火；而载体的BamH Ⅰ（或HindIII）末端，同插入片段的HindIII（BamH Ⅰ）末端则不能够彼此退火，从而实现了外源DNA片段定向插入载体分子的目的（如图5-1-6）。

3．重组DNA分子导入宿主细胞

带有目的基因的重组DNA分子，需要导入适当的宿主细胞进行繁殖，才能获得大量的目的基因，即基因的扩增。将外源重组DNA分子导入受体细胞的途径，包括转化、转染、转导、显微注射和电穿孔等多种不同的方法。转化、转染和转导主要适用于细菌一类的原核细胞和酵母这样的低等真核细胞，而显微注射和电穿孔则主要应用于高等动植物的真核细胞。在基因操作中，转化是指感受态的细菌（如大肠杆菌）细胞捕获和表达质粒载体DNA分子的生命过程。转染是指感受态细菌（如大肠杆菌）细胞捕获和表达噬菌体DNA分子的生命过程。转导指先将重组的λ噬菌体DNA或重组的柯斯载体DNA，包装成具有感染能力的λ噬菌体颗粒，然后经由在受体细胞表面的λDNA接受器位点，使这些带有目的基因序列的重组DNA注入细菌（如大肠杆菌）细胞。

4．重组体克隆的筛选和鉴定

重组体克隆的检测方法，包括使用特异性探针的核酸杂交法、免疫化学法以及遗传检测法和物理检测法等。

（1）利用表型特征筛选——遗传检测法

在基因工程中所用的载体分子，基本上都带有可供选择的遗传标志或表型特征。质粒以及柯斯载体具有抗药性记号或营养记号，而对于噬菌体来说，噬菌斑的形成则是它们的自我选择特征。如利用具有抗药性的质粒转化大肠杆菌细胞，再用含有相应抗菌素的生长培养基进行培养，便可以容易地检测出获得了此种质粒的转化子细胞。

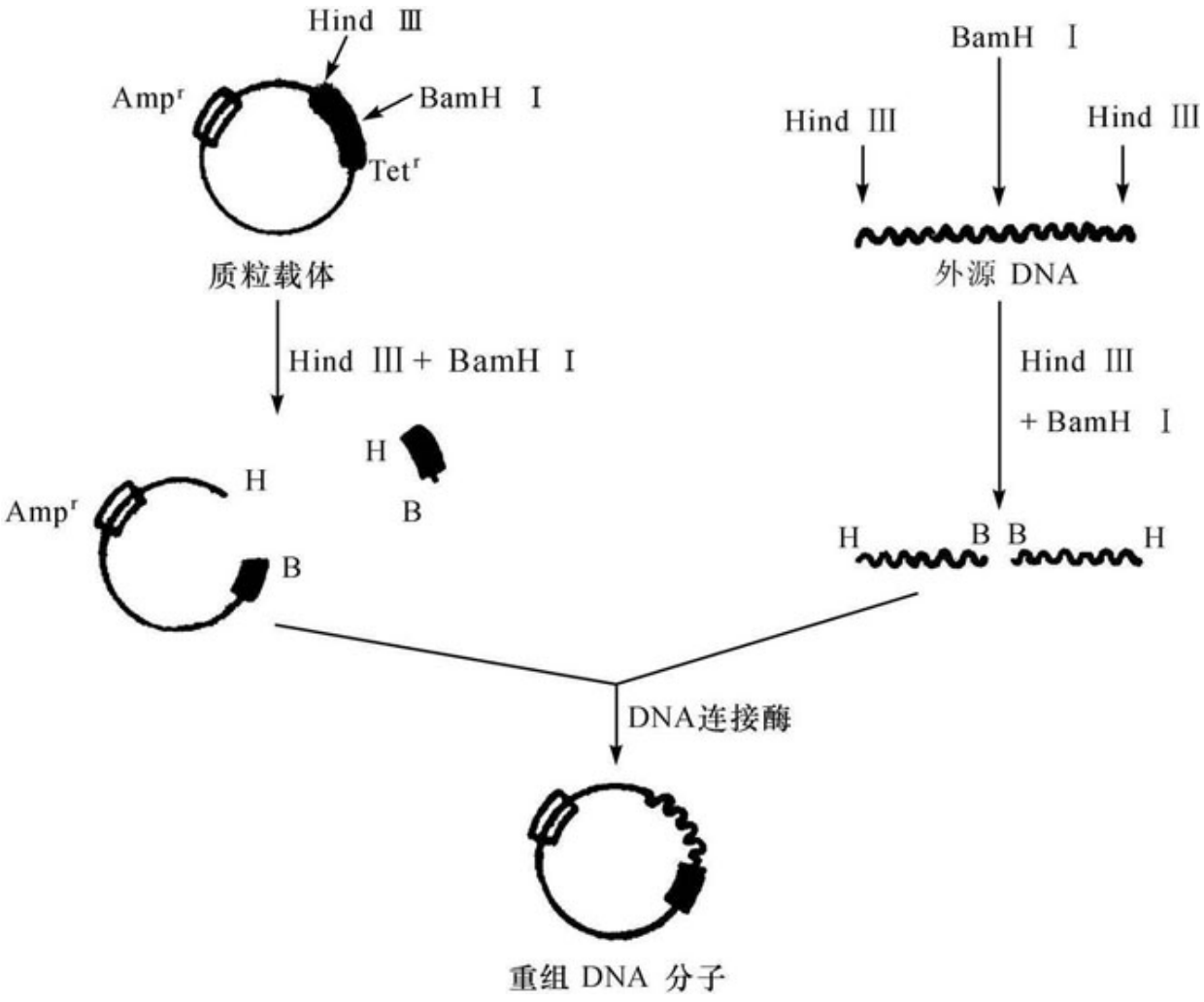


图5-1-6　外源DNA片段的定向插入

检测外源DNA插入作用的一种通用的方法——抗药性标记插入失活筛选法（如图5-1-7）。在pBR322质粒上含有抗氨苄青霉素基因（Amp^r）和抗四环素基因（Tet^r），在Tet^{r}内有BamH Ⅰ和Sal Ⅰ两种限制酶的单一识别位点。利用这两种限制酶可以将外源DNA片段定向插入到Tet^{r}内，导致Tet^{r}出现功能性失活，于是所形成的重组质粒都将具有Amp^r Tet^{s}的表型。用这种重组体转化野生型（Amp^s Tet^s）菌株，并涂布在Amp琼脂平板上，凡获得了pBR322质粒和重组质粒（Amp^r Tet^s）的寄主细胞都可长成菌落。再将Amp琼脂平板上的菌落原位影印在Tet琼脂平板上生长，对比这两个平板的菌落生长情况，凡在Amp平板上能够生长而在Tet平板上不能生长的菌落，便是属于带有重组DNA质粒的转化子克隆。挑出这样的阳性克隆，扩增分离便获得带有外源DNA插入片段的重组DNA质粒。

从Tet琼脂平板中选择出Tet^s菌落比较麻烦。若把转化的细胞接种在加有环丝氨酸和四环素的培养基中生长，会简化这种插入失活检测法的程序。四环素是抑菌性的抗菌素，它能通过抑制细胞蛋白质的合成使细菌停止生长，但不致死亡。而氨基酸的类似物环丝氨酸，如果在细胞生长分裂过程中掺入到新合成的蛋白质多肽链，会导致细菌死亡。因此，培养在这种生长培养基中的Tet^r细胞，由于能够生长，所以被培养基中的环丝氨酸杀死；Tet^s细胞由于生长受到抑制，从而避免了环丝氨酸的致死作用，结果便存活下来。将经过如此处理的细胞，涂布在含有氨苄青霉素的琼脂平板上，所形成的菌落都为Amp^r Tet^s表型，即都带有外源DNA插入片段的pBR322重组质粒。

（2）利用核酸杂交筛选

从基因文库中筛选带有目的基因插入序列的克隆，最广泛使用的一种方法是核酸分子杂交技术。它所依据的原理是放射性同位素（^{32}p或^{125}I）标记的DNA或RNA探针进行DNA·DNA或RNA·DNA杂交，利用同源DNA碱基配对的原则检测特定的重组克隆（图5-1-8）。

（3）利用免疫学方法筛选

免疫学方法是一个专一性很强、灵敏度很高的检测方法。基本原理是：以目的基因在宿主细胞中的表达产物（多肽）作抗原，以该基因产物的免疫血清作抗体，通过抗原抗体反应将目的基因克隆检出。

（4）物理筛选法——电泳法筛选

带有插入片段的重组DNA分子在相对分子质量上会有所增加，用凝胶电泳分离质粒DNA并测定其分子长度是一种比较简单的方法。

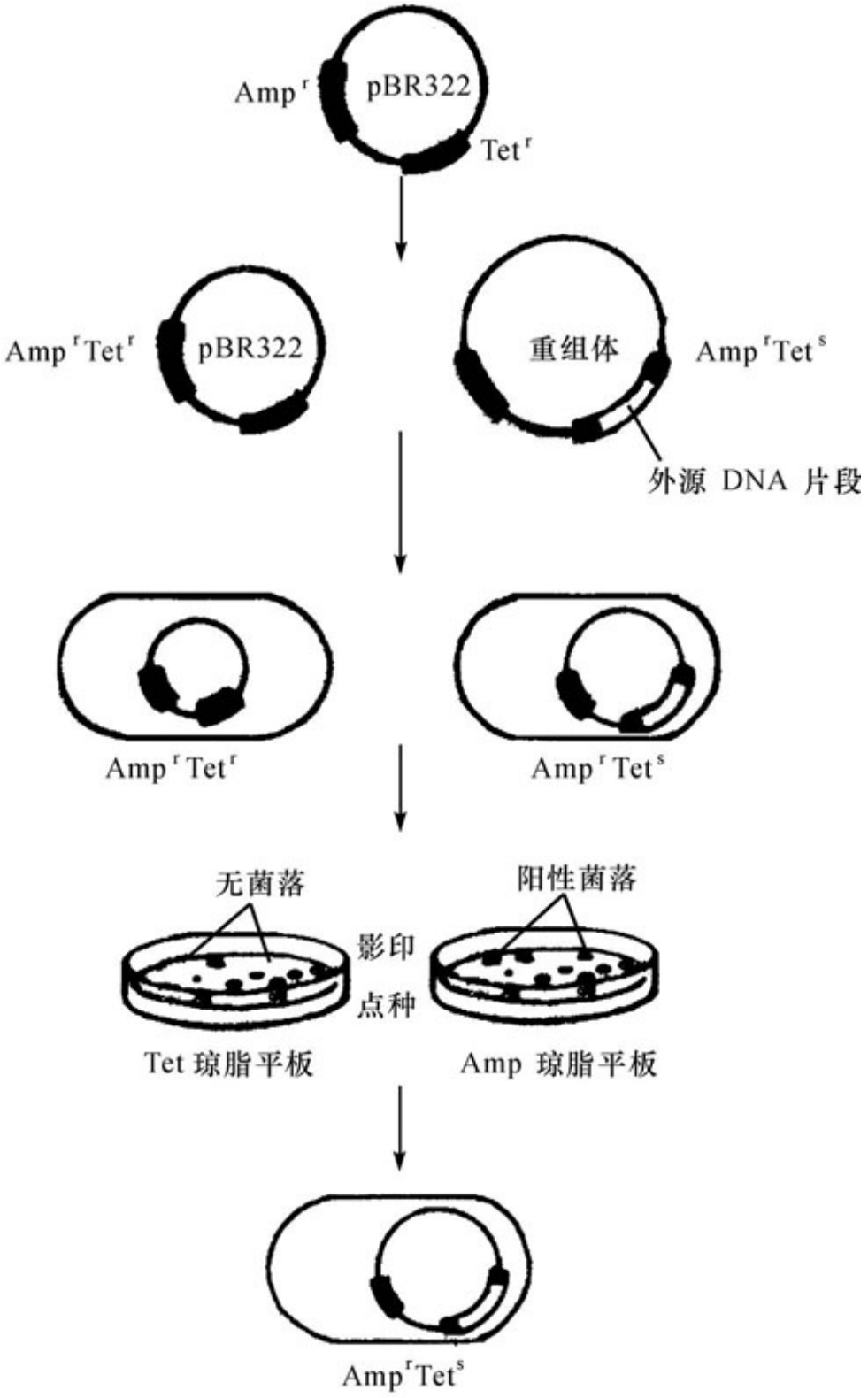


图5-1-7　抗药性标记插入失活筛选法检测外源DNA的过程

找到了含有目的基因的DNA片段克隆后，就可将这一克隆大量培养以取得足够的基因数量。1985年Mullis发明了在体外通过酶促反应有选择地大量扩增（包括分离）一段目的基因的技术，即聚合酶链式反应，简称PCR技术。

PCR技术的基本过程是：在PCR反应体系中加入作为模板的DNA序列、与计划被分离的目的基因两条链各自3′端序列相互补的DNA引物（约含20个碱基的短DNA单链）、TaqDNA聚合酶、dNTP（dATP、dTTP、dGTP和dCTP）。第一步：变性。在高温下（如95°C），模板DNA双链或经PCR扩增形成的双链DNA解旋，形成单链。第二步：退火。反应体系温度降至55°C左右，引物与模板DNA单链的互补序列配对结合。第三步：延伸。当反应体系的温度回升时（如72°C），DNA模板—引物结合物在TaqDNA聚合酶的作用下，以dNTP为反应原料，靶序列为模板，按碱基配对与半保留复制原理，合成一条新的与模板DNA链互补的新链。重复循环变性—退火—延伸三个过程，就可有选择地大量扩增需要的DNA片段。

PCR扩增的产物可分为长产物片段和短产物片段两部分。短产物片段的长度严格地限定在两个引物链5′端之间，是需要扩增的特定片段（目的基因）。短产物片段和长产物片段是由于引物所结合的模板不一样而形成的，以一个原始模板为例，在第一个反应周期中，以两条互补的DNA链为模板，引物是从3′端开始延伸，其5′端是固定的，3′端则没有固定的止点，长短不一，这就是“长产物片段”。进入第二周期后，引物除与原始模板结合外，还要与新合成的链（即“长产物片段”）结合。引物在与新链结合时，由于新链模板的5′端序列是固定的，这就等于这次延伸的片段3′端被固定了止点，保证了新片段的起点和止点都限定于引物扩增序列以内，形成长短一致的“短产物片段”。不难看出“短产物片段”是按指数倍数增加，而“长产物片段”则以算术倍数增加，几乎可以忽略不计，这使得PCR的反应产物不需要再纯化，就能保证足够纯DNA片段供分析。

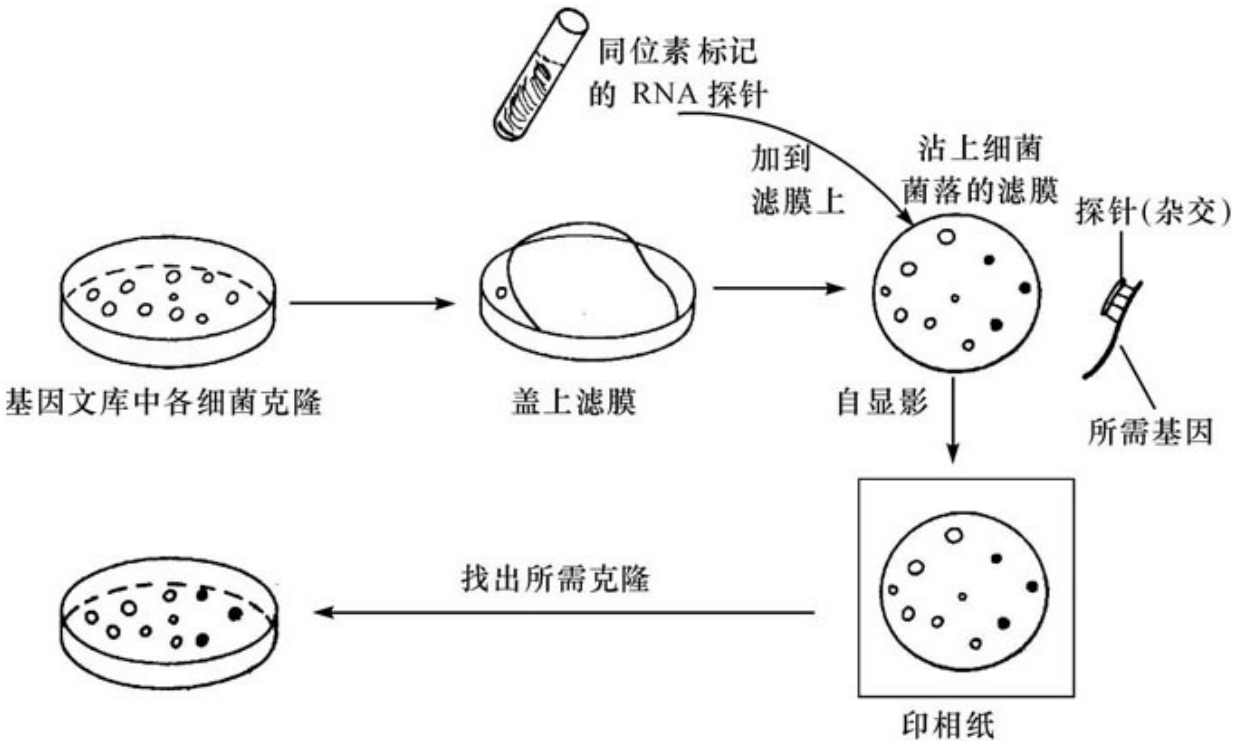


图5-1-8　原位杂交技术，找出所需基因

5．目的基因的表达

目的基因在受体细胞中准确地转录和翻译，形成基因产物，说明基因工程已经成功。

（四）基因工程的应用

基因工程在农牧业、医药和医学、环境保护等领域都有着广泛的应用。

二、克隆技术

（一）克隆的概述

克隆是英文“clone”或“cloning”的音译，起源于希腊文“klone”，原意是指幼苗或嫩枝，以无性繁殖或营养繁殖的方式培育植物，如扦插和嫁接。“克隆”既可作名词也可作动词用。当作名词用时，克隆是指一个无性繁殖系；当作动词用时，克隆则是指利用不同方法产生无性繁殖系所进行的工作。简言之，克隆作动词用时是指研究或操作过程，作名词用时是指产生的结果。

克隆可根据其研究或操作的对象和结果分为基因克隆（分子水平）、细胞克隆（细胞水平）和个体克隆（个体水平）三大类。基因克隆是指在分子（DNA）水平上开展研究工作以获得大量的相同基因及其表达产物。细胞克隆则是在细胞水平上开展研究工作以获得大量

相同的细胞。个体克隆则是经过一系列的操作产生一个或多个与亲代完全相同的个体，这种克隆所用的生物材料可能是一个细胞，也可能是一个组织。很显然，基因克隆、细胞克隆和个体克隆是在三个不同的层次上所开展的工作。总体而言，克隆以原有的基因或细胞或生物个体作为模板，复制出多个与原来模板完全相同的基因或细胞或生物个体。

“克隆”过程并不一定是人工的，在自然界中也可以观察到许多“克隆”现象。如：由一个细菌分裂出多个和它完全一样的细菌而形成菌落；青霉菌通过孢子产生大量和它一样的后代。

（二）植物克隆——植物组织培养

1．植物组织培养的概述

1902年，德国植物学家哈伯兰特提出了细胞全能性的理论是植物克隆的理论基础。1958年，美国植物学家斯蒂瓦特等人用胡萝卜韧皮部的细胞进行培养，终于得到了完整植株，并且这一植株能够开花结果。这就是人工植物克隆，即植物组织培养。植物细胞的全能性是植物克隆的理论基础，植物组织培养则是植物克隆的技术基础。

植物组织培养是根据植物细胞具有全能性的理论，在无菌条件下，利用植物体离体的器官（如根、茎、叶、茎尖、花、果实等）、组织（如形成层、表皮、皮层、髓部细胞、胚乳等）或细胞（如大孢子、小孢子、体细胞等）以及原生质体，放在适宜的人工培养基上进行培养，这些器官或组织就会进行细胞分裂，形成新的组织。不过这种组织没有发生分化，只是一团薄壁细胞，叫做愈伤组织。然后在适合的光照、温度和一定的营养物质与激素等条件下，愈伤组织便开始分化，产生出植物的各种器官和组织，进而发育成一棵完整的植株。

2．植物组织培养的一般程序

（1）启动培养——初代培养

初代培养是指在组培过程中，最初建立的外植体无菌培养阶段，即无菌接种完成后，外植体在适宜的光、温、气等条件下被诱导成无菌短枝（或称茎梢）、不定芽（丛生芽）、胚状体的过程。因此，也称为诱导培养。由于外植体的来源复杂，又携带较多杂菌，因此初代培养一般比较困难。

①外植体的选择

组织培养所用的材料非常广泛，可采取根、茎、叶、花、芽和种子的子叶，有时也利用花粉粒和花药，其中根尖不易灭菌，一般很少采用。选择外植体时需要考虑以下几个方面：a．生理状态：选择幼嫩的，生长年限短的组织。b．植物的长势：生长健壮的器官或组织。

c．外植体大小：外植体过大，消毒往往不彻底，易造成污染；过小则离体培养难于成活。一般外植体大小在0.5～1.0cm，叶片、花瓣等约为5mm×5mm，茎段长约带1～2个节，茎尖分生组织带1～2个叶原基，长约为0.2～0.5mm。

②外植体的消毒

a．先将材料用流水冲洗干净，最后一遍用蒸馏水冲洗，再用无菌纱布或吸水纸将材料上的水分吸干，并用消毒刀片切成小块。b．在无菌环境中将材料放入70%酒精中浸泡30～60s。c．再将材料移入漂白粉的饱和液或0.01%升汞水中消毒10min。④取出后用无菌水冲洗三、四次。

③接种、培养和植株再生

外植体在无菌条件下，在适宜的光、温、气等条件下可被诱导成无菌短枝（或称茎梢）、不定芽（丛生芽）、胚状体。具体操作包括：a．接种。在无菌环境下，将切好的外植体立即接在培养基上，每瓶接种4～10个。b．封口。接种后，瓶、管用无菌药棉或盖封口，培养皿用无菌胶带封口。c．培养。适宜的培养条件包括：温度：一般采用25±2℃。低于15℃时培养，植物组织会表现生长停止，高于35℃时对植物生长不利。光照：要控制适宜的光照强度、波长以及光周期等。湿度：一般要求70%～80%的相对湿度。渗透压：通常1～2个大气压对植物生长有促进作用。pH值：一般培养基控制在5.8左右。

（2）继代与生根培养

初代培养所获得的芽、苗、胚状体等，数量都还不多。继代培养是继初代培养之后的连续数代的扩繁培养过程。旨在繁殖出相当数量的无根苗，最后能达到边繁殖边生根的目的。

生根培养：当丛生芽苗增殖到一定数量后要分离成单苗转入生根培养基进行生根诱导。一般认为矿质元素含量高，有利于茎叶生长，较低时有利于生根。所以生根培养基多采用1/2MS或者1/4MS培养基。另外，培养基要去掉全部细胞分裂素，并加入适量的生长素（NAA、IBA等）。一般2～4天即可见根原基发生，当根长约1cm时即可驯化移栽。

（3）组培苗的炼苗和移栽

试管苗从无菌到光照、温度、湿度稳定的环境进入自然环境，必须进行炼苗。一般移栽前，先将培养容器打开，于室内自然光照下放3天，然后取出小苗，用自来水把根系上的营养基冲洗干净，再栽入已准备好的基质中，基质使用前最好消毒。移栽前要适当遮阴，加强水

分管理，保持较高的空气湿度（相对湿度98%左右），但基质不宜过湿，以防烂苗。

3．原生质体培养

进行原生质体培养之前，必须要去掉植物的细胞壁，即原生质体的分离。原生质体的分离方法主要有两种，机械法和酶解法。机械法：将叶肉细胞、愈伤组织和液体悬浮培养细胞置于高渗的糖溶液中，使之质壁分离，原生质体收缩成球形。然后用剪刀剪碎组织，就可切开细胞壁获得少量完整的原生质体。机械法分离的原生质体数量很少，而且只能适于部分组织。酶解法：把材料放在由一定量的纤维素酶、果胶酶和半纤维素酶组成的混合酶溶液中处理适宜的时间，即可得到分离的原生质体。酶解法是目前分离原生质体普遍采用的方法。

将有生活力的原生质体在适当的培养基和培养条件下培养，很快就开始出现细胞壁再生和细胞分裂的过程。约1～2个月后，通过细胞的持续分裂，在培养基上出现肉眼可见的细胞团。细胞团长到2～4mm左右，即可转移到分化培养基上，诱导芽和根的分化，长成完整的植株。

4．原生质体的融合

原生质体的融合方式分自发融合和诱导融合两类。自发融合是在植物原生质体分离过程中，用酶解法分解细胞壁后进行融合。这类融合是种内融合，与胞间连丝有关，融合的个体一般不能进一步发育。诱导融合是指制备出原生质体后，加入诱导剂或用其他方法促使两个亲本原生质体融合，诱导融合可以是种内的，也可以是种间的，甚至是属间、科间的融合。诱导融合的方法大体可以分为物理的和化学的两类。前者是利用显微操作、灌流吸管、离心或振动等机械方法以促使原生质体融合，这种方法目前多与诱导剂结合起来使用，化学融合法是用不同的试剂作诱导剂，促使原生质体融合。目前常用的比较有效的是高pH值—高钙法和聚二乙醇法。

5．植物组织培养的应用

①快速繁殖、培养无病毒植株。②大规模的植物细胞培养，用以生产药物、食品添加剂、香料、色素和杀虫剂等。③制造人工种子：用植物组织培养的方法，诱导离体的植物组织形成具有生根发芽能力的胚状结构，包裹上人造种皮，制成人工种子。④解决作物品种繁殖能力差，结子困难或发芽率低的问题。⑤转基因植物的培养。⑥培养杂种植物。

（三）动物克隆

1．动物细胞、组织培养

动物细胞培养的基本过程：取动物胚胎或幼龄动物器官、组织。将材料剪碎，并用胰蛋白酶消化，处理形成单个细胞，将分散的细胞放入含有特殊培养基的细胞培养瓶中配成一定浓度的细胞悬浮液。悬液中分散的细胞很快就贴附在瓶壁上，成为细胞贴壁。当贴壁细胞分裂生长到互相接触时，细胞就会停止分裂增殖，出现接触抑制。从机体取出后立即进行的细胞、组织培养的过程称为原代培养。在细胞培养中出现接触抑制时，就要进行传代培养。具体操作是用胰蛋白酶处理出现接触抑制的细胞培养瓶，使贴壁细胞从瓶壁上脱离下来形成悬液。然后加入新的培养液，将细胞分离稀释，并从原培养瓶内转接到若干个新的培养瓶内，使其继续生长、增殖，这个过程称为传代培养。

动物细胞培养液的成分：葡萄糖、氨基酸、无机盐、维生素和动物血清等。动物细胞培养的条件：无菌、无毒的环境；营养物质（合成培养基）；温度和pH（36.5±0.5℃，7.2～7.4）；气体环境（氧气和二氧化碳）等。

动物组织培养指动物组织在体外及人工条件下维持生活状态或生长特性。动物组织培养过程中可以伴随组织分化。长期的组织培养，由于细胞的运动、变化，使培养物的组织成分发生结构与功能的变异，只能使单一类型的细胞保存下来，成为简单的细胞培养。

2．细胞系和细胞株

细胞系指可以传代的细胞，因此原代培养物在首次传代时就成为细胞系了。根据传代次数的不同可将细胞系分为无限细胞系（连续细胞系）和有限细胞系，前者指能够连续培养下去，即无限传代的细胞系，后者指不能连续培养下去的细胞系。无限细胞系是发生转化了的细胞系，即细胞的遗传物质已经改变，获得无限增殖的能力，但并不是都发生癌变。只有一些已经失去了接触抑制现象的细胞群，才是癌变的细胞群，即恶性细胞系。

把一个单细胞从原代培养物或细胞系中分离出来单独培养，使之繁衍成一个新的细胞群的技术，叫做克隆培养法或细胞克隆。经过细胞克隆形成的细胞群，由于来源于一个共同的祖细胞，所以称为纯系或细胞株。细胞株具有共同的性质，如恒定的染色体组型、同功酶类型、相同的病毒敏感性和生化特性等。

3．细胞核移植和动物的克隆繁殖

动物的克隆繁殖是一种通过核移植过程进行无性繁殖的技术。发育早期的动物胚胎细胞或成年动物的体细胞，经显微手术移植到去掉

细胞核的卵母细胞中之后，在适当的条件下，可以重新发育成正常胚胎。这种胚胎被移植到生殖周期相近的母体之中，可以发育成为正常动物个体。根据移植核的来源，将动物克隆分为2种：①胚胎克隆：使用的核供体细胞如果来自多细胞阶段的胚胎，叫做胚胎克隆。②体细胞克隆：使用的核供体细胞来自动物体，叫做体细胞克隆。

核移植克隆哺乳动物的技术操作过程主要包括核受体和核供体的处理和制备、核移植、重组胚的体外或体内培养、核移植胚胎移入代孕母畜等步骤。

（1）核受体细胞的准备

去核卵母细胞常常作为核移植的受体细胞。这是因为在卵母细胞的细胞质中含有某种特定的因子，可以使移植核中所含有的基因表达程序发生重新排列，使已经分化了的细胞重新回到发育过程的原点，同受精卵一样开始个体发育过程。

卵母细胞的来源有两种方式：一是用激素对雌体进行超数排卵处理，从输卵管冲出体内成熟的M II 卵母细胞。二是从屠宰场收集卵巢，吸出滤泡中的卵丘—卵母细胞复合体，在体外培养成熟后作为受体。

（2）核供体细胞的准备

在核移植操作中，细胞核供体细胞首先必须是完整的二倍体，该细胞必须保持有供体动物完整的基因组；其次，供体细胞核必须能够在受体细胞质的作用下，产生细胞分化过程的倒转，变得如同受精卵一样，能发育成一个正常动物个体的全过程。

（3）细胞核移植

常用的核移植方法有两种，即胞质内注射和透明带下注射。胞质内注射是用一个外径5～8μm的注核针吸取供体核后直接注射进卵母细胞胞质内的方法。透明带下注射则是把供体细胞核注射在透明带与卵母细胞之间的卵周隙中，核移植后用电刺激进行细胞融合。

（4）激活

卵母细胞的激活涉及的因素很多，无论是受精引起的卵母细胞激活还是人工的激活，都会引起卵母细胞发生一系列的反应，这些反应是胚胎发育所必需的。其激活原理是通过电刺激、钙离子载体等方法，使卵母细胞从M II 期中解放出来，并转到“受精”状态。

（5）重组胚的体内或体外培养

经融合和激活的重组胚移入中间受体作体内或体外培养，观察重组胚的发育率。羊、牛、猪的核移植胚常采用体内培养方法获得桑椹胚和囊胚，即羊和牛的重组胚用琼脂包埋后移入休情期的母羊结扎的

输卵管中体内培养4～7天，发育至桑椹胚和囊胚。大鼠、小鼠和兔的核移植胚多作体外培养，发育至桑椹胚或囊胚。

（6）胚胎移植

重组克隆胚胎移植的受体母畜要选择皮毛颜色与供体品种不同、繁殖性能强、体格稍大的当地品种，进行同期发情处理，按常规方法移入代孕母畜的子宫中，待其发育到产仔。

4．克隆羊——“多利”与体细胞核移植

第一步：取妊娠期的6岁母绵羊（Finn Dorset白品种母羊）的乳腺细胞作核供体细胞，用饥饿法使其进入休眠状态而使全部基因具有活性。第二步：注射促性腺激素，促使母羊（Sottish Blackface黑面母绵羊）排卵，28～33h取其未受精卵，快速去核，放入10%FCS、1%FCS和0.5%FCS连续5天，使其进入G_0期成为受体细胞。第三步：乳腺细胞与无核卵放入同一培养皿中，在微电流的作用下，将乳腺细胞融入卵中，形成一个含有新的遗传物质的卵细胞。第四步：新的卵细胞植入羊的结扎的输卵管内，6天后发育为桑椹胚或囊胚（8～16个细胞）。第五步：将此早期胚胎移入假孕母羊子宫中，产下“多利”即为6岁母羊的复制品，也为白色。

“多利”羊的克隆成功证明了：（1）一个已经完全分化了的动物体细胞仍然保持着当初胚胎细胞的全部遗传信息，并且经过一定的技术处理后，可以回复到类似受精卵时期的功能。（2）在胚胎和个体发育中，细胞质具有调控细胞核发育的作用。（3）提示我们可以进一步做到，在培育体细胞成为核供体之前，利用“基因靶”技术精确地诱发核基因的遗传改变或精确地植入目的基因，再用选择技术准确地挑选那些产生了令人满意变化的细胞作为核供体，从而生产出基因克隆体。即可以按照人的意志去改选、生产物种。

【例题解析】

例1　下列哪些有关DNA聚合酶链式反应（PCR）的说法是正确的（　　）

A．反应需要一对引物

B．反应始终在高于70℃的条件下进行

C．应需要加连接酶

D．反应中不需要加限制性内切酶

解析　本题考查PCR的步骤。以下简要介绍一下PCR反应：

如果已经知道目的基因的序列，就能很方便地用PCR（聚合酶链式反应），从基因组DNA或cDNA中获得目的基因，而不必经过复杂的

DNA文库构建过程。PCR是20世纪70年代中期Mullis创立的技术，Mullis也因此获得了诺贝尔奖。

PCR反应系统包括含有目的基因或序列的DNA模板，对热稳定的DNA聚合酶，一对脱氧寡核苷酸引物、DNA合成所需要的4种脱氧核苷三磷酸以及保证聚合酶催化反应的Mg^{2+}及缓冲液等。

人工合成引物的序列设计是PCR成功的关键，一般两条引物的序列反应分别与欲获得的双链DNA两条链3′端的序列互补。先升高温度（90°C以上）使模板DNA变性、双链分开；再迅速降低温度（50～60°C）退火使引物与模板DNA配对互补结合；然后升温到聚合酶反应适宜的温度（70°C），此时在聚合酶催化下，从引物3′羟基端开始，与模板DNA上的碱基配对逐个加上脱氧核苷酸，合成新的DNA链。其后再按高温变性、低温退火、适温延长三步反复循环，新合成的DNA在下一循环中又作为模板使用，每循环一次，合成的目的序列扩增一倍，而且很快扩增的序列主要限制在所设计的一对引物规定的模板序列范围内。综上所述，反应并不是始终在高于70°C的条件下进行，也不需要加连接酶。

答案　AD

例2　以下用于评估遗传变异的实验技术中，哪一种必须涉及限制性核酸内切酶的使用（　　）

A．蛋白质电泳

B．DNA测序

C．PCR

D．RFLP分析

解析　本题考查现代分子生物技术。核酸限制性片段长度多态性（RFLP）分析是限制性内切酶、核酸电泳、印迹技术、探针杂交技术的综合应用，多用于临床遗传性疾病的基因诊断的初筛试验。基本原理是遗传性疾病多有基因的缺陷，如基因缺失、基因插入、编码区小范围核苷酸序列改变或点突变等。前两者可将纯化的正常人和病人DNA同时用限制性内切酶切成片段，经电泳分离、印迹、探针杂交等找到目的基因。由于患者基因的缺失或插入，造成被限制性内切酶切开的片段（相对分子质量）大小与正常人发生差异（限制性片段长度多态），使其电泳迁移率发生差异，而达到基因诊断的目的。小区域或点突变，可选用一个限制性内切酶的切点正好在这一变异位置，使切割作用和正常人发生差异（如正常人基因可切断而患者不能，或反之），达到诊断目的。现在PCR产物经变性为DNA单链，用聚丙烯酰胺凝胶电泳分离，只要有一个核苷酸发生变异，其电泳迁移率就会改

变，进行多态分析。实际上把基因的异常位置设计在PCR扩增区域内就能进行多态分析。

答案　D

例3　以温和性噬菌体为媒介，把供体细胞的DNA片段转移到受体细胞中，从而使后者获得前者部分遗传性状的过程称为（　　）

A．转导

B．接合

C．突变

D．转化

解析　本题考查重组DNA分子导入宿主细胞的相关技术。将外源重组DNA分子导入受体细胞的途径，包括转化、转染、转导、显微注射和电穿孔等多种不同的方法。转化、转染和转导主要适用于细菌一类的原核细胞和酵母这样的低等真核细胞，而显微注射和电穿孔则主要应用于高等动植物的真核细胞。在基因操作中，转化是指感受态的细菌（如大肠杆菌）细胞捕获和表达质粒载体DNA分子的生命过程。转染是指感受态细菌（如大肠杆菌）细胞捕获和表达噬菌体DNA分子的生命过程。转导指先将重组的λ噬菌体DNA或重组的柯斯载体DNA，包装成具有感染能力的λ噬菌体颗粒，然后经由在受体细胞表面的λDNA接受器位点，使这些带有目的基因序列的重组DNA注入细菌（如大肠杆菌）细胞。

答案　A

【针对训练】

（一）单选题

1．限制性内切酶的作用实际上就是把DNA上某些化学键打断，一种能对GAATTC专一识别的限制酶，打断的化学键是（　　）

A．G与A之间的键

B．G与C之间的键

C．A与T之间的键

D．磷酸与脱氧核糖之间的键

2．下列关于质粒的叙述中，正确的是（　　）

A．质粒是广泛存在于细菌细胞中的一种颗粒状细胞器

B．质粒是细菌细胞质中能够自主复制的小型环状DNA分子

C．质粒只有在导入宿主细胞后才能在宿主细胞内复制

D．细菌质粒的复制过程一定是在宿主细胞外独立进行的

3．分别以限制性内切酶A及B来切割一段DNA，假设完全作用完毕。以A切割得到10个很小的片段，而以B切割则得到3个较大的片段。请问你如何解释此两种限制性内切酶作用现象的不同（　　）

A．限制酶A对于DNA的辨识序列比较长

B．限制酶B对于DNA的辨识序列比较长

C．限制酶A的活性大于限制酶B的活性

D．两者对于DNA的辨识序列不同

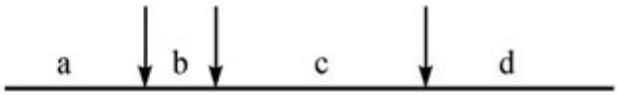
4．已知某种限制性内切酶在一线性DNA分子上有3个酶切位点，如右图中箭头所指。如果在该线性DNA分子3个酶切位点上都被该酶切断，则会产生a、b、c、d四种不同长度的DNA片段。现有多个上述线性DNA分子，若在每个DNA分子上至少有1个酶切位点被该酶切断，则从理论上讲，经该酶酶切后，这些线性DNA分子最多能产生长度不同的DNA片段种类数是（　　）

A．3

B．4

C．9

D．12



5．三种限制性内切酶BamHⅠ、XbaⅠ及BglⅡ的识别序列与切割位置(^)分别为G^GATCC、T^CTA-GA 和 A^GATCT。请问哪两种限制性内切酶切割后的DNA片段，可以互相接合起来（　　）

A．BamHⅠ和XbaⅠ

B．XbaⅠ和BglⅡ

C．BamHⅠ和BglⅡ

D．三者均可以彼此互补并接合

6．采用基因工程的方法培育抗虫棉，下列导入目的基因的做法中正确的是

①将毒素蛋白注射到棉受精卵中；②将编码毒素蛋白的DNA序列，注射到棉受精卵中；③将编码毒素蛋白的DNA序列与质粒重组，导入细菌，用该细菌感染棉的体细胞再进行组织培养；④将编码毒素蛋白的DNA序列与细菌质粒重组，注射到棉的子房并进入受精卵（　　）

A．①②

B．②③

C．③④

D．④①

在DNA测序工作中，需要将某些限制性内切核酸酶的限制位点在DNA上定位，使其成为DNA分子中的物理参照点。这项工作叫做“限制酶图谱的构建”。假设有以下一项实验，请分析给出条件，回答问题：

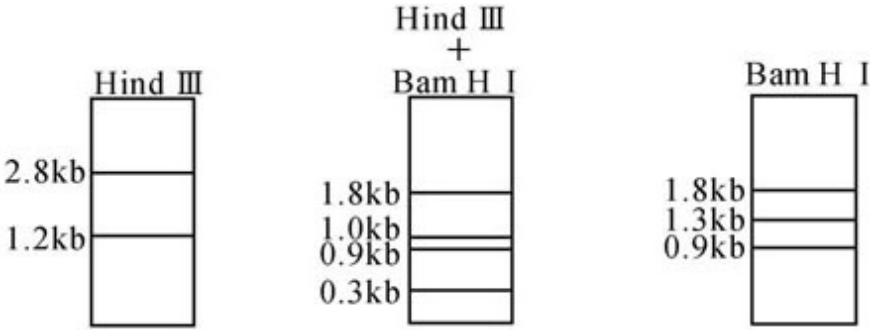
7．这两种限制性内切核酸酶在该DNA分子上的限制位点数目是以下哪一组？（　　）

A．HindIII1个，BamH Ⅰ2个

B．HindIII2个，BamH Ⅰ3个

C．HindIII2个，BamH Ⅰ1个

D．HindIII和BamH Ⅰ各有2个



7～10题图

8．假如将HindIII降解产生的2.8kb片段提取出来，加入BamH Ⅰ，反应产物是以下哪一组？（　　）

A．1.8kb，0.9kb，0.1kb

B．1.2kb，1.0kb，0.6kb

C．1.8kb，1.0kb

D．1.2kb，1.6kb

9．假如将BamH Ⅰ降解产生的1.3kb片段提取出来，加入HindIII，反应产物是以下哪一组？（　　）

A．1.3kb

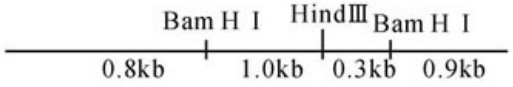
B．0.9kb，0.4kb

C．1.2kb，0.1kb

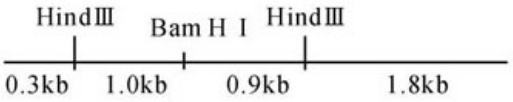
D．1.0kb，0.3kb

10．根据上述所得实验结果，正确构建成的限制酶图谱是（　　）

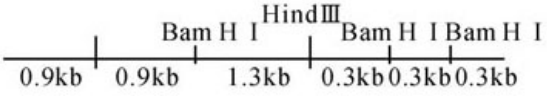
A.



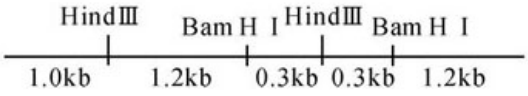
C.



B.



D.



11．2005年3月12日到5月14日，我国有34位志愿者接种了不同剂量的单个疫苗［DNA疫苗或痘病毒载体疫苗（MAV）］，均未出现任何不良反应。近年来在预防传染病的疫苗家族中增加的第三代疫苗——DNA疫苗，它们是由病原微生物中的一段表达抗原的基因制成，这段基因编码的产物仅仅引起机体的免疫反应。以下关于核酸疫苗的叙述中不正确的是（　　）

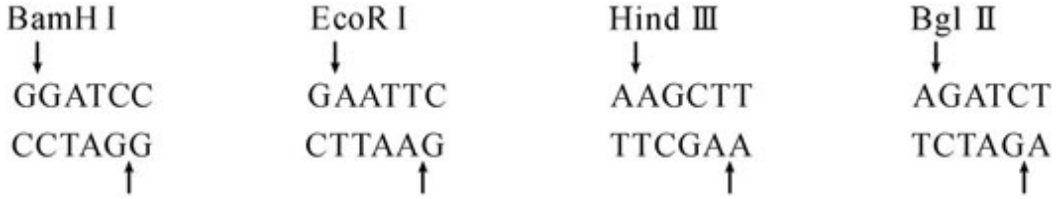
A．核酸（DNA）疫苗导入人体需要使用适当的基因工程载体

B．导入人体的核酸疫苗直接刺激人体产生抗体，起到免疫作用

C．核酸疫苗的接种可以达到预防特定的微生物感染的目的

D．核酸疫苗接种后引起人体产生的抗体是由效应B细胞合成的

12．限制酶是一种核酸内切酶，可识别并切割DNA分子上特定的核苷酸序列。下图为四种限制酶BamHⅠ、EcoRⅠ、HindIII和BglⅡ的识别序列和切割位点：



切割出来的DNA黏性末端可以互补配对的是（　　）

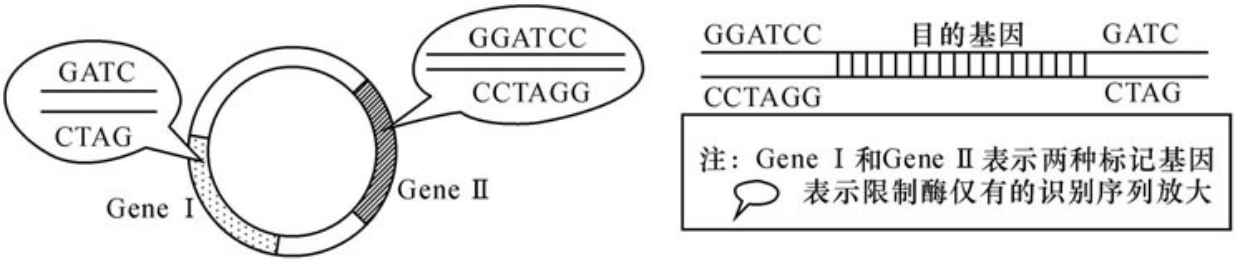
A．BamHⅠ和EcoRⅠ

B．BamHⅠ和HindIII

C．BamHⅠ和BglⅡ

D．EcoRⅠ和HindIII

13．基因工程中，需使用特定的限制酶切割目的基因和质粒，便于重组和筛选。已知限制酶Ⅰ的识别序列和切点是—G↓GATCC—，限制酶Ⅱ的识别序列和切点是—↓GATC—。根据图示判断下列操作正确的是（　　）



A．质粒用限制酶Ⅰ切割，目的基因用限制酶Ⅱ切割
B．目的基因和质粒均用限制酶Ⅰ切割
C．质粒用限制酶Ⅱ切割，目的基因用限制酶Ⅰ切割
D．目的基因和质粒均用限制酶Ⅱ切割

14．不能作为克隆载体的DNA是（　　）
A．质粒DNA
B．噬菌体DNA
C．细菌基因组DNA
D．腺病毒DNA
E．逆转录病毒DNA

15．cDNA是指（　　）
A．在体外经反转录合成的与RNA互补的DNA
B．在体外经转录合成的与DNA互补的RNA
C．在体外经转录合成的与DNA互补的RNA
D．在体内经反转录合成的与RNA互补的DNA

16．设计实验来确定在一种特定的细菌中发生的遗传转移过程是转化，转导还是接合。设想有下列条件和材料可以利用：（1）合适的突变株和选择培养基；（2）DNase（可以水解游离的DNA分子）；（3）两种滤板：一种能够持留细菌和细菌病毒，但不能持留游离的DNA分子；另一种滤板只能持留细菌；（4）一种可以插入滤板使其分隔成两个空间的玻璃容器（如U形管）。A、B、C、D、E、F为不同的营养缺陷菌株，两两在基本培养基上混合培养。“＋”表示有菌落出现，“－”表示无菌落出现：

	A＋B	C＋D	E＋F
在基本培养基上混合培养	＋	＋	＋
在混合培养期间加入 DNase	－	＋	＋
利用只能持留细菌的滤板相隔的 U 形管进行试验	＋	－	＋
利用只能持留细菌和细菌病毒而不能持留 DNA 的滤板相隔的 U 形管试验	＋	－	－

则A＋B，C＋D，E＋F遗传转移过程分别为（　　）

A．转化，转导，接合

B．转化，接合，转导

C．接合，转化，转导

D．转导，接合，转化

17．下列关于原位杂交技术叙述中，错误的是（　　）

A．所用探针只能用放射性同位素标记

B．可分为光镜原位杂交和电镜原位杂交两种

C．杂交反应在载玻片或铜网载膜上进行

D．是核酸分子杂交技术的一种

E．可探测某种基因在染色体上或细胞中的位置

18．目前在植物基因工程中使用最广、效果最佳的克隆载体是（　　）

A．Col质粒

B．R质粒

C．Ti质粒

D．Mega质粒

19．不属于生物大分子印迹技术的是（　　）

A．Southern blotting

B．Northern blotting

C．Western blotting

D．PCR

E．免疫印迹技术

20．设计聚合酶链式反应（PCR）的引物时，应考虑引物与模板的是（　　）

A．5′端特定序列互补

B．5′端任意序列互补

C．3′端特定序列互补
D．3′端任意序列互补
21．2001年2月，一只背上长着“人耳”的老鼠在北京展览馆与观众见面，这只老鼠其实是一只切去脾脏的老鼠，它背上的“人耳”是一种高分子化学材料聚羟基乙酸作为模型支架用物理方法培植成的，培植的“人耳鼠”的生物工程技术是（　　）
A．细胞和组织培养
B．细胞融合
C．动物胚胎移植
D．细胞核移植
22．下列对动物细胞培养的有关叙述中正确的是（　　）
A．动物细胞培养的目的是获得大量的分泌蛋白
B．动物细胞培养前要用胰蛋白酶使细胞分散
C．细胞的癌变发生于原代培养向传代培养的过程中
D．培养至50代后的传代细胞称为细胞株
23．胚胎干细胞是哺乳动物或人早期胚胎中的细胞，可以进一步分裂、分化成各种组织干细胞，再进一步分化成各种不同的组织。下列叙述中错误的是（　　）
A．各种组织干细胞分化形成不同组织细胞是基因选择性表达的结果
B．胚胎干细胞有细胞周期，神经干细胞分化形成的神经细胞没有细胞周期
C．造血干细胞分化形成红细胞、白细胞的过程是不可逆的
D．肝脏干细胞分化形成肝脏细胞的过程表现了细胞的全能性
24．下列有关克隆人的说法中错误的是（　　）
A．克隆人是一种无性生殖方式
B．克隆人证明了人体细胞细胞核具有全能性
C．在现有克隆技术条件下，成功率为100%
D．中国政府禁止生殖性克隆人
25．下列关于细胞全能性的理解中不正确的是（　　）
A．大量的科学事实证明，高度分化的植物体细胞仍具有全能性
B．细胞内含有个体发育所需全部基因是细胞具有全能性的内在条件
C．通过植物组织培养得到的试管苗，是植物细胞在一定条件下表现全能性的结果

D．通过动物细胞培养获得细胞株或细胞系，表明了动物体细胞也具有全能性

26．下列不属于克隆的是（　　）

A．植物体通过体细胞进行的无性繁殖

B．将某种瘤细胞在体外大量培养繁殖

C．扦插和嫁接

D．将鸡的某个DNA片段导入小鼠的细胞中，并得以表达

27．利用细胞工程方法，以SARS病毒核衣壳蛋白为抗原制备出单克隆抗体。下列相关叙述中正确的是（　　）

A．用纯化的核衣壳蛋白反复注射到小鼠体内，产生的血清抗体为单克隆抗体

B．体外培养单个效应B细胞可以获得大量针对SARS病毒的单克隆抗体

C．将等量效应B细胞和骨髓瘤细胞混合，经PEG诱导融合后的细胞均为杂交瘤细胞

D．利用该单克隆抗体与SARS病毒核衣壳蛋白特异性结合的方法可诊断出病毒感染者

28．由单克隆抗体研制而成的“生物导弹”由两部分组成，一是“瞄准装置”，二是杀伤性“弹头”，下列对此描述不正确的是（　　）

A．“瞄准装置”是由识别肿瘤的单克隆抗体构成

B．“弹头”是由放射性同位素、化学药物和毒素等物质构成

C．“弹头”中的药物有选择杀伤肿瘤细胞的功能

D．“瞄准装置”是利用细胞工程制备出来的

29．为了研究病毒的聚合酶，科学家决定以基因重组技术表现位于大肠杆菌中的基因。请依照下列步骤，排出正确的操作顺序（　　）

a．将基因转植至表现载体上　b．打破细胞并分离细胞质中的成分　c．诱导蛋白质表现　d．由纯化的病毒颗粒中分离病毒RNA　e．PCR（聚合酶连锁反应）　f．反转录　g．选择所要的菌株　h．将基因转型到大肠杆菌的细胞中

A．d，f，e，a，h，g，c，b

B．d，b，c，a，h，e，f，g

C．h，g，a，b，d，f，c，e

D．d，f，e，h，g，b，c，a

30．在杂交瘤技术中，筛选融合细胞时常选用的方法是（　　）

A．密度梯度离心法
B．采用在选择培养基中不能存活的缺陷型瘤系细胞来制作融合细胞
C．荧光标记的抗体和流式细胞术
D．使用药物杀死未融合的细胞
（二）多选题
1．PCR实验的必需条件有（　　）
A．人工合成DNA引物
B．知道扩增片段的全序列
C．DNA聚合酶
D．核糖核苷酸
2．要将胡萝卜韧皮部细胞培养成完整植株，需要（　　）
A．具有完整细胞核的细胞
B．离体状态
C．导入外源基因
D．一定的营养物质和激素
3．胚胎移植技术目前主要应用于（　　）
A．解决某些不孕症者的生育问题
B．治疗某些遗传病
C．提高良种家畜的繁殖力
D．提高动物的抗病力
4．科学家将含有人的抗胰蛋白酶基因的DNA片段注射到羊的受精卵中，该受精卵发育的羊能分泌含抗胰蛋白酶的奶。这一过程涉及（　　）
A．DNA按照碱基互补配对原则自我复制
B．DNA以其一条链为模板合成RNA
C．RNA以自身为模板自我复制
D．按照RNA密码子的排列顺序合成蛋白质
5．质粒是基因工程中最常用的运载体，它的主要特点是（　　）
A．能自主复制
B．不能自主复制
C．结构很小
D．蛋白质
E．环状RNA
F．环状DNA
G．能“友好”地“借居”

6．克隆羊“多利”的诞生可以证明（　　）

A．细胞分化过程的稳定性

B．细胞质对细胞核基因的表达有调控作用

C．细胞分化过程的可逆性

D．动物体分化的体细胞的细胞核具有发育的全能性

7．用EcoR Ⅰ完全酶切某质粒分子，分析发现产物只有一种10bp的线形分子。据此判断正确的是（　　）

A．该质粒分子上没有EcoR Ⅰ的识别位点

B．该质粒分子上有1个EcoR Ⅰ的识别位点

C．该质粒分子大于10bp

D．该质粒分子等于10bp

8．雌性哺乳动物一生中卵母细胞的有效利用率很低。要大幅度提高良种家畜的繁殖率，研究课题之一是提高雌性家畜卵母细胞的利用率。下列措施可行或成为发展方向的是（　　）

A．胎儿卵巢体外培养

B．成体卵巢离体培养

C．相关激素刺激导致母畜超排卵

D．卵母细胞体外成熟培养

9．人类胚胎干细胞研究的现状和前景是（　　）

A．核移植胚胎干细胞株已经建立

B．通过诱导分化，已经获得皮肤等组织，用于烧伤等疾病的治疗

C．多国政府已经立法严格限制人类胚胎干细胞的研究

D．多国实验室致力于提高天然胚胎干细胞分离技术成功率的研究

10．小鼠骨髓瘤细胞因HGPRT基因缺陷而不能在HAT培养基中生长。将抗原免疫后的小鼠脾细胞与上述骨髓瘤细胞以3：1混合后，加聚乙二醇（PEG），再加HAT培养液；将混合物分装于细胞培养板的几十个小孔中，适宜条件下培养；数周后，小孔中的培养物分别可能出现下列哪些结果？（　　）

A．没有活细胞

B．细胞分裂繁殖，产生抗体，专一性抗体检验阴性

C．细胞分裂繁殖，不产生抗体

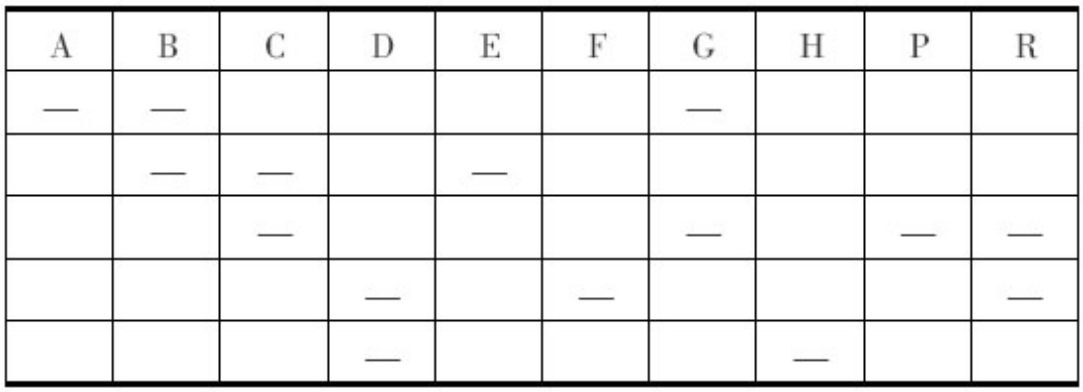
D．细胞分裂繁殖，产生抗体，专一性抗体检验阳性

11．细胞工程中，设计细胞杂交实验时，如果期望获得性状优良的作物新品种，必须优先考虑以下哪些问题？（　　）

A．亲本细胞的生殖隔离问题

B．选择具有期望的优良性状的亲本

C．亲本细胞融合技术
D．杂种细胞愈伤组织诱导和再分化
12．下图为10个DNA样品的指纹图，其中哪四个为一对夫妻及他们的两个孩子？（　　）



A．A、C为夫妻，B、E为孩子
B．B、C为夫妻，E、G为孩子
C．B、G为夫妻，A、C为孩子
D．F、G为夫妻，P、R为孩子
E．D、R为夫妻，F、H为孩子
13．细菌转化过程需要（　　）
A．受体细胞处于感受态
B．病毒
C．裂解的供体细胞
D．同种细菌
14．在基因工程技术中，经常用到的酶有（　　）
A．限制性核酸内切酶
B．DNA聚合酶
C．DNA连接酶
D．反转录酶

【参考答案】

（一）单选题

1．D　2．B　3．D　4．C　5．C　6．C　7．A　8．C　9．D　10．A　11．B　12．C　13．A　14．C　15．A　16．B　17．A　18．C　19．D　20．C　21．A　22．B　23．D　24．C　25．D　26．D　27．D　28．C　29．A　30．B

（二）多选题

1．AC　2．ABD　3．AC　4．ABD　5．ACFG　6．ABCD　7．BD　8．ACD　9．ABC　10．ABCD　11．BCD　12．BC　13．AC　14．ABCD

第2讲　胚胎工程、生物技术的安全性和伦理问题、生态工程

（温州中学　许晖）

【知识梳理】

一、胚胎工程

胚胎工程是利用人工控制方法影响、改变动物胚胎品质发育和进程的一种生物技术，是动物细胞工程的拓展与延伸。胚胎工程的研究对象主要限定于高等脊椎动物，特别是哺乳动物。胚胎工程在畜牧业生产和临床医疗上有广泛应用，主要包括体外受精、胚胎培养、胚胎移植、试管婴儿、胚胎分割、胚胎冷冻、胚胎细胞核移植、性别控制、胚胎细胞嵌合、胚胎干细胞等技术。

（一）体外受精

体外受精是指哺乳动物的精子和卵子在体外人工控制环境中完成受精过程的技术。生物学中把体外受精形成胚胎移植到母体后获得的动物称为试管动物。体外受精技术的基本操作程序为：

1．精子的获能处理

人们发现兔和大白鼠直接排出的精子不能直接使卵受精，其原因是附睾分泌的一种物质（去能因子）附于精子表面，抑制了精子的受精能力，精子必须在生殖道中停留一段时间后才具备受精能力，这一现象称为精子获能。获能后精子获得穿透卵子透明带的能力，耗氧量增加，运动加速。雌性生殖道内发生的精子获能是一个复杂的过程，子宫和输卵管都先后参与。能够解除去能因子的物质则称为获能因子。

精子的体外获能方法有培养法和化学诱导法。培养法是将精子用获能培养液培养一段时间使之获能。化学诱导法是用化学药物诱导使精子获能，常用药物为肝素和钙离子载体。

2．卵母细胞的采集和成熟培养

（1）卵母细胞的采集方式

①超数排卵。雌性动物用卵泡刺激素（FSH）和促黄体素（LH）处理，促进卵巢多排卵，再从输卵管中冲取已在体内发育成熟的卵子，可直接与获能精子受精。

②从活体卵巢中采集卵母细胞。借助超声波探测仪、内窥镜或腹腔镜直接从活体动物的卵巢中吸取大卵泡中的卵母细胞，采集到的卵母细胞一般需经成熟培养才能与精子受精。

③从屠宰后母畜的卵巢上采集卵母细胞。在无菌条件下用注射器或真空泵抽吸卵巢表面一定直径卵泡中的卵母细胞，或通过卵巢切片收集卵母细胞，采集到的卵母细胞也需经成熟培养才能与精子受精。

（2）卵母细胞的成熟培养

采集到的未成熟卵母细胞需在体外培养成熟后才能与获能精子受精。培养时，将采集到的卵母细胞在实体显微镜下挑选、洗涤后，放入成熟培养液中培养。成熟培养液即基础培养液中再添加孕牛血清、促性腺激素、雌激素和抗生素等成分。

3．体外受精

将获能精子与成熟卵子置于受精液中共同培养，使之完成受精过程。通常情况下，受精液与获能液为同一种培养液。受精卵通常是培养到一定阶段才进行移植。

（二）胚胎培养

胚胎培养是指应用人工创造的环境，对获取的早期胚胎进行体外培养，以便观察其发育和人工干预某一发育过程的技术。例如，体外受精获得的受精卵就需移入发育培养液中继续培养，以检查受精状况和受精卵的发育潜力，质量较好的胚胎才能移入受体母畜的生殖道内发育或进行冷冻保存。由于胚胎不同发育时期生理代谢的需求不同，进行胚胎体外培养时，需配制一系列不同成分的培养液，用于培养不同发育时期的胚胎。目前只能对少数物种不同阶段的胚胎进行培养，尚无从受精卵到新个体的全体外胚胎培养技术。

体外受精的早期胚胎在体外发育过程中，往往会停滞在某一阶段不再发育，这一现象称“发育阻滞”。不同动物胚胎培养时出现发育阻滞的时期不同，小鼠为2细胞期，猪为4细胞期，牛和绵羊为8～16细胞期。目前克服发育阻滞现象主要采用以下两种方法：一是改进培养液成分，确定并减除对其发育不利的成分。二是利用体细胞共同培养体系，利用体细胞生长过程中分泌的有益因子，促进胚胎发育。目前广泛采用的有输卵管上皮细胞共培养体系和颗粒细胞共培养体系。

（三）胚胎移植

胚胎移植也称受精卵移植，是指将经过超数排卵处理的良种母畜配种后，从其生殖道（输卵管或子宫角）取出受精卵或早期胚胎，移植到同种且生理状态相同的母畜生殖道的相应部位，使之继续发育成为新个体的技术，也称“借腹怀胎”。主要包括以下步骤：

①供体的选择和超数排卵处理。

②采集精子和人工受精。采集家畜精子的方法主要有假阴道法、手握法和电刺激法。人工受精的输精量一般是常规量的两倍。

③受体的选择和同期发情处理。受体一般是繁殖能力较强的健康本地品种。同期发情又称同步发情，是利用某些激素人为控制并调整一群母畜的发情周期，使之在预定时间内集中发情。常用方法有孕激素法、前列腺素法和两者结合使用的方法。不论采用什么处理方式，处理结束时配合使用孕马血清促性腺激素，可提高母畜的同期发情率和受胎率。

④采集胚胎。手术法适用于各种家畜或动物，非手术法仅适用于牛、马等大家畜。非手术法采集胚胎可利用三路式导管冲卵器。外管前端连接气囊，在冲卵器插入子宫内充气胀大后堵住子宫颈内口，以免冲洗液经子宫颈流出。冲洗液经内管注入子宫角，由另一导管导出冲洗液。

⑤胚胎的培养与检查、鉴定。显微镜下检查胚胎数量，观察胚胎质量。

⑥胚胎移植。妊娠成功率较高的胚胎移植时期为桑椹胚和囊胚。手术移植是在受体腹部作一切口，把吸有胚胎的注射器或移植管刺入黄体同侧的子宫角前端，将含有胚胎的培养液或冲洗液注入到子宫角或输卵管内，或在两侧子宫角各放一个胚胎。非手术移植（大家畜）似人工授精般将胚胎用移植管通过子宫颈放到与黄体同侧的子宫角，或两侧子宫角各放一个胚胎。

胚胎移植的生理学基础是：①同种动物的供体和受体在发情后数天甚至十几天内，生殖系统的变化相同，子宫内环境相同。②早期胚胎在一定时间内处于游离状态，有透明带保护，可以进行机械性移位而不受损伤。③由于胎盘屏障的保护和妊娠时母体免疫机能的变化，受体对外来胚胎基本上不发生免疫排斥反应。④胚胎与受体子宫建立正常的生理和组织联系，但供体胚胎的遗传特性和性别在孕育过程中不受影响。

（四）试管婴儿

试管婴儿又称体外受精联合胚胎移植技术，具体过程是先使用药物促使女性双侧卵巢在一个月经周期内多生长出一些卵子，待其成熟

后取出，在培养液中与经过获能处理的精子受精，经早期胚胎发育后，挑选出2～3个发育最好的胚胎移入子宫内，使女性受孕生子。1978年，世界上第一例试管婴儿Louis Brown在英国诞生。

试管婴儿技术可以一次形成多个胚胎，提高了胚胎移植的成功率。但多胚胎移植同时也增加了多胎的发生率，因此，各国一般都限制移入胚胎的最多数量。我国规定移入胚胎的最多数量为3个胚胎，多余的优质胚胎可以进行液氮冻存。如果这次移植的胚胎不成功，就可以在下一个治疗周期移植冷冻的胚胎。冷冻胚胎的成功率一般要比新鲜胚胎低10%。

①第一代试管婴儿技术。对于患有输卵管堵塞等疾病的妻子，可以通过手术直接从卵巢内取出成熟卵子，然后在试管里与丈夫的精子结合成受精卵，培养至早期胚胎后再移入子宫。第一代试管婴儿技术解决了女性不孕问题，是因输卵管堵塞而不孕的夫妇的唯一选择。

②第二代试管婴儿技术。对于精子少或精子活动能力弱的丈夫，可通过极其微细的吸管，从他的精液中挑选出健壮的精子，把它直接注入卵细胞中形成受精卵，称卵浆内单精子注射技术，使试管婴儿的成功率得到很大提高，并且使试管婴儿技术的适应范围更大了，即解决了男性不育问题。

③第三代试管婴儿技术。对遗传病的传统治疗，常用方法是通过绒毛或羊水对胚胎进行诊断，之后对异常胚胎或胎儿进行选择性流产。这种方法既落后又对孕妇造成痛苦。近年来，在人工助孕与显微操作的基础上，在胚胎植入母体之前，按照遗传学原理对这些胚胎作染色体和基因检测，从中选择最符合优生条件的一个胚胎植入母体，称胚胎着床前遗传病诊断。很多遗传性疾病都可以通过这种方法来避免遗传给后代，例如地中海贫血、先天愚型等。

（五）胚胎分割

胚胎分割是指将一个胚胎用显微手术方法分割成二分胚、四分胚甚至八分胚，经过短暂培养使其修复、发育，然后一同或分别移植到不同代孕母体中，以得到同卵双生或同卵多生后代的技术。这也是一种胚胎克隆的方法。

胚胎分割的具体方法有以下几种：

①显微针分割法。该法适用于卵裂球阶段的胚胎。操作时在显微操作仪下将胚胎固定，用玻璃针在透明带上作一切口，将卵裂球从透明带中移出，并吹吸卵裂球使之离散，分别装入空透明带中。

②显微刀分割法。该法适用于桑椹胚和早期囊胚。

③链霉蛋白酶软化或消化透明带后显微分割法。

④徒手分割法。徒手分割法主要适用于体积较大的胚胎，其优势在于不需使用显微操作仪，而是在立体显微镜下切割裸胚，多用于分割桑椹胚和囊胚。

（六）胚胎冷冻

胚胎冷冻技术是指在胚胎移植中，为便于长途运输和随时提供可移植胚胎，将那些6～7日龄已有20～30个细胞的新鲜活胚胎在液氮温度（-196℃）下冷冻贮存的技术。目前冷冻胚胎的移植成功率约为新鲜活胚胎移植成功率的70%～80%。

（七）胚胎细胞核移植

胚胎细胞核移植技术又称胚胎克隆，是通过显微操作将早期胚胎的细胞核移植到去核卵细胞中构建重组合子，再分别移入代孕母体子宫中发育成熟的技术。提供细胞核的胚胎称核供体，接受细胞核的称受体。由于哺乳动物的遗传性状主要由核遗传物质决定，因此同一个胚胎作核供体通过核移植获得的后代，核基因型一致，称克隆动物。通过核移植得到的胚胎也可作核供体，再一次进行细胞核移植，称再克隆。理论上，一个胚胎通过克隆和再克隆，可获得无限多的克隆动物。

（八）性别控制

性别控制技术通过控制后代性别比例，可发挥受性别限制的生产性状（如泌乳）和受性别影响的生产性状（如生产速度、肉质等）的最大经济效益。目前最常用且最有效的方法是X、Y精子分离和早期胚胎性别鉴定。

1．X、Y精子分离技术

分离X、Y精子并用于人工授精或显微授精是控制家畜性别的最简单方法。X、Y精子分离的主要依据是两种精子在密度、体积、电荷、运动性、DNA含量、H-Y抗原等方面存在的细微差别。

2．胚胎性别鉴定技术

胚胎性别鉴定技术是通过对动物正常生殖过程进行人为干预，使成年雌性动物产出人们期望性别后代的技术。在不影响胚胎移植发育的前提下，将供移植胚胎上的细胞取下少许进行性别鉴定。主要方法有：①Y染色体分析法。②H-Y抗原法。H-Y抗原是由Y染色体编码的、雄性动物特有的组织相容性抗原，分布在细胞膜表面，利用H-Y抗体可以分离得到Y精子和早期雄性胚胎。③Y染色体特异性DNA探针鉴定。④X染色体连接酶活力测定法。哺乳动物为维持性别之间的基因平衡，雌性个体细胞中的一条X染色体在胚胎发育早期失活。失活前，雌性胚

胎X染色体连锁酶的活性是雄性的2倍，据此即可鉴别雌雄胚胎。⑤Y染色体雄性决定基因（SRY）法。

（九）胚胎细胞嵌合

胚胎细胞嵌合技术是将动物品系内、种内、种间或属间的两个、多个胚胎或胚胎的一部分，以聚合或注入等方法嵌合在一起，形成一个嵌合体胚胎，最后再培养发育移植产下嵌合体后代的技术。具体方法是：先超数排卵采集胚胎，再用物理、化学或酶的方法处理胚胎透明带，将两个或多个除去透明带的胚胎移到含有钙离子的培养液中，培养形成嵌合体胚胎。例如，用同一种类的黑鼠和白鼠进行胚胎嵌合，可生下黑白相间的花小鼠；不同种类的绵羊和山羊胚胎进行细胞嵌合，可生下绵山羊，它既有绵羊的特征，又有山羊的特征。

（十）胚胎干细胞

胚泡（囊胚）的内细胞团具有体外培养无限增殖、自我更新和多向分化的特性，是一种全能细胞，称胚胎干细胞。ES细胞具有稳定的二倍体染色体核型，缺乏细胞周期中G_1期的限制点，大部分时间都处于S期。不存在X染色体失活现象，且端粒酶活性呈阳性，能维持端粒长度，保持干细胞增殖能力。能表达三种特异性标志分子，即细胞内转录因子（OCT4）、白血病抑制因子（LIF）和碱性磷酸酶（AP）。

ES细胞的主要用途有：①生产克隆动物。以ES细胞作为核供体进行核移植后，短期内即可获得大量核基因型相同的个体。这一技术也可进行异种动物克隆，对于保护珍稀野生动物有重要意义。ES细胞结合胚胎细胞嵌合技术还可解决哺乳动物远缘杂交的难题，用于生产动物新种。②生产转基因动物。打破物种界限，加快动物群体遗传变异程度，进行定向变异和育种。③用于器官组织移植。人胚胎干细胞经免疫排斥基因敲除后，再定向诱导分化形成终末器官，可避免不同个体间的移植排斥。④用于细胞治疗。将用遗传工程改造过的人体细胞直接移植、输入病人体内，达到治愈和控制疾病的目的。

二、生物技术的安全性和伦理问题

（一）现代生物技术的产生和发展

“生物技术”一词最早在1917年提出，指利用生物将原材料转变为产品。实际上，生物技术的应用可以追溯到1000多年以前，而人类有意识地利用酵母进行大规模发酵生产是在19世纪。1982年国际合作及发展组织对生物技术的含义进行了重新定义：生物技术是应用自然科学及工程学的原理，依靠微生物、动物、植物体作为反应器将物料进行加工以提供产品来为社会服务的技术。

1973年，美国科学家Herbert Boyer和Stanley Cohen共同完成了一项著名的实验。他们选用一个仅含有单一EcoR Ⅰ位点的质粒载体pSC101，并用EcoR Ⅰ将其切为线性分子，然后将该线性分子与同样具有EcoR Ⅰ黏性末端的另一质粒DNA片段和DNA连接酶混合，从而获得了具有两个复制起始位点的新的DNA组合。这是人类历史上第一次有目的的基因重组的尝试。DNA重组技术使生物技术中生物转化这一环节的优化过程变得更为有效，由此迅速完成了从传统生物技术向现代生物技术的飞跃。

现代生物技术的发展主要体现在下列几个方面：①基因操作技术日新月异，不断完善；②基因工程药物和疫苗研究与开发突飞猛进；③转基因植物和动物取得重大突破；④阐明生物体基因组及其编码蛋白质的结构与功能是当今生命科学发展的一个主流方向；⑤基因治疗、细胞核移植克隆、胚胎干细胞等技术取得重大研究进展，有可能革新整个疾病的预防和治疗领域；⑥蛋白质工程是基因工程的发展，它将分子生物学、结构生物学、计算机技术结合起来，形成一门高度综合的学科；⑦信息技术的飞速发展渗透到生命科学领域中，形成引人注目、用途广泛的生物信息学。

（二）现代生物技术对人类生活的影响

现代生物技术为人类生活提供了多方面的便利。主要包括：①更加准确地诊断、预防或治愈传染病和遗传病；②有效提高作物的产量，获得具有抗虫、抗真菌、抗病毒、抗逆境等优良性状的植物；③开发制造可以生产化学药物、生物多聚体、氨基酸、酶类和各种食品添加剂的微生物和动物细胞；④创造具有更多优良性状的家畜和其他动物；⑤简化从环境中清除污染物和废弃物的程序。

（三）现代生物技术对人类社会及环境的影响

虽然现代生物技术领域的发展已经带来了巨大的社会效益和经济效益，但是不可否认，生物技术所产生的巨大力量也给人类社会带来了许多意想不到的冲击。在对人类和自然环境的影响方面，人们主要关心的是下面一些问题：①那些经过基因工程改造的生物体是否会对其他的生物体或环境造成危害；②使用和开发基因工程生物是否会降低自然界的遗传多样性；③人是否也可以成为基因工程操作的对象；④基因诊断的程序会不会侵犯个人隐私权；⑤那些经过基因工程改造过的生物体可不可以变成私人拥有的财产；⑥对现代生物技术的经济资助是否会影响或限制其他重要技术的发展；⑦强调商业的成功是不是意味着现代生物技术的利益将只有富人用得起而穷人却用不起；⑧农业生物技术是否会彻底改变传统的耕作方式；⑨用现代生物技术生

产的药物进行治疗是否会压抑同样有效的传统治疗方式；⑩现代生物技术专利的申请是否会阻止科学家之间自由的思想交流；⑪与日俱增的新测定的各种生物的DNA序列是否可以申请专利为序列测定者带来利益，这样做是否妨害了公众对信息的知情权，从而损害大多数人的利益；⑫发展中国家的生物多样性资源如何得到保护；⑬基因的提供者与新药的研制者之间应如何分配新药上市所带来的巨大利益。

（四）转基因作物的争议及有关安全管理规则

转基因作物的发展十分迅速，其中种植面积最广的是转基因抗除草剂作物，其次是转基因抗虫作物。随着转基因作物种植面积的不断扩大，人们对转基因作物是否对人体健康有不利的影响，是否对生态环境有潜在的危险等问题越来越关注。

1998年8月，苏格兰的一位科学家在一个电视节目中宣布食用转基因马铃薯的大鼠发育缓慢并有免疫缺陷。但他没有提到一个关键的问题，即他转入的基因是凝集素基因，而该基因本身的安全性还没有得到确认。之后，一些机构对他的报告进行了分析，发现他的实验存在严重的问题，在科学上是站不住脚的。但他的片面报道使人们产生了一种错觉，即所有的转基因作物都是不安全的。

1999年，Losey等人发表论文，他们用撒有转BT毒蛋白基因的玉米花粉的马利筋叶子在实验室中喂养一种产于美洲的大王蝶的幼虫，结果发现这些幼虫的死亡率很高，便得出BT作物的种植面积将对大王蝶的保护产生深远影响的结论。尽管有人当时就注意到该结果最多只能算是一种初步结果，而且该实验没有合适的对照，撒在叶子上的花粉没有定量，也未调查玉米花粉散布的季节是否与大王蝶幼虫的取食季节相重叠。在随后的两年中，人们又对该问题进行了详细、科学的研究，结果证明BT花粉对大王蝶的风险低得可以忽略不计。但因为大王蝶美丽、可爱的形象深深扎根在人们的心里，对生物技术持反对意见的人们仍在引用Losey等人的文章强调BT花粉对大王蝶生存的危害。

以上两个例子涉及三个人们对转基因生物最为关心的问题：一是食品安全。例如，转基因生物有可能合成对人体有直接毒性或潜在毒性的蛋白质，担心出现滞后效应；合成的某些新的蛋白质有可能成为某些人的过敏源；某些基因足以使植物体某些代谢途径发生变化，导致转基因作物营养成分改变等。二是生物安全。转基因生物可能会对生态系统中其他生物产生影响，从而威胁生物多样性。三是环境安全。转基因生物可能会产生新的环境污染。

另一个有争议的问题是转基因生物及其产品的标识。尽管到现在为止，人类食用4000多种转基因食品及食品成分的经验表明，经过严格审批程序而进入市场的转基因食品不会对人类健康造成额外的风险。但由于种种原因，到目前为止，仍有40多个国家和地区制定了相关的法律或法规，要求对转基因生物及其产品进行标识管理。我国农业部于2003年颁布《农业转基因生物标识管理办法》，采用与欧盟、日本、韩国等国家不同的管理措施，即要求对农业转基因生物进行定性而非定量的标识管理。

（五）现代生物技术专利

现代生物技术的发明专利主要可分为产品发明专利、方法发明专利和生物特性的利用发明专利三大类。

1．产品发明专利。产品发明专利是现代生物技术专利申请中最为普遍的一类，它主要包括动植物新品种，新的微生物重组菌，新的宿主细胞类型以及其他一些现代生物技术中常用的单一物质和复合体，如新载体、新的限制性内切酶等。

2．方法发明专利。方法发明专利主要包括改造动植物、微生物甚至生物的部分组织的方法，以及分离、纯化、培养、增殖和检测生物或生物类物质的方法等。

3．应用发明专利。应用发明专利主要是指对植物、动物、微生物和生物类物质的新的应用。例如，有一项应用发明专利是对一种克隆载体的应用，该项发明包括载体本身以及相应的真核宿主细胞的培养。这项专利中的真核宿主细胞本身不能产生胸苷激酶，如果培养基中没有胸苷激酶，那么该真核宿主细胞即不能生长。专利中的克隆载体则带有编码胸苷激酶的基因，它转入该真核宿主细胞以后，细胞即能在没有胸苷激酶的培养基中生长。

（六）现代生物技术的社会伦理问题

现代生物技术与传统生物技术的最根本区别就在于前者是在基因水平上进行操作，改变已有的基因，改良甚至创造新的物种。近年来，从技术上讲人们主要关心以下两个问题：①外源基因引入生物体，特别是人体后，是否会破坏调节细胞生长的重要基因，是否会激活原癌基因，出现一些人们难以预料的后果；②基因工程是否会导致极强的难以控制的新型病原物的出现。虽然这两个问题目前尚无明确的答案，但世界各国政府都对基因操作制定了严格的规则。

除了技术性问题之外，现代生物技术还可能引起一系列社会伦理问题。首先，这一技术受到宗教界人士的强烈反对。众所周知，宗教界至今不肯接受达尔文的进化论，而现代生物技术则比达尔文理论更

进一步，不仅否定了上帝创造万物的根本信条，而且要人为地改变地球上现有的生物。这在教徒眼中绝对是对上帝的最大不敬，是最不道德的。因此现代生物技术不仅受到了虔诚的教徒的强烈反对，而且即使是普通的宗教信徒也感到难以接受。

除了宗教界外，分子生物学家们还受到来自动物保护组织的强大压力。用动物作为模型进行各种基因操作在动物保护者眼中是对所有生物（包括人类）的生存权的极大损害。他们极力要求政府通过法律取缔所有的动物实验。尽管美国等国已有法律规定，当动物的生存权与人的生存权发生冲突时，以人的生存权更为重要，从而在法律上肯定了医学领域使用动物实验的合理性，但是长期以来动物保护组织并未就此罢休。

素食主义者同样也感到自己的人权被现代生物技术侵犯了。他们认为生物学家们试图在植物中表达动物蛋白，并将转基因植物在市场上出售，就会使他们非自愿地摄入动物蛋白，从而违背了素食主义信条，这是对他们基本人权的侵犯。

上述几种人不仅通过他们自己的组织向各国政府施加压力，试图使政府立法全面禁止现代生物技术的开展，而且他们还常常出现在有关现代生物技术会议的会场上，直接向与会的科学家们提出抗议。

随着人类基因组计划的飞速发展，很多有识之士担心现代生物技术的进展将会给某些狂人提供歧视的新借口。事实上这种担心不无道理。1996年，科学家们从白种人的基因组中分离得到一种抗HIV感染功能的蛋白编码序列，而迄今为止尚未在其他人种中找到这一基因的同源序列。于是有一些种族主义者就利用这一发现鼓吹白种人优越论。因此，许多社会学家、科学家都对这一问题十分警惕，时刻提防有些人利用分子生物学和遗传学的成果为种族歧视，甚至灭绝种族的大屠杀寻找借口。

关于生殖细胞操作，同样是一个备受关注的问题。一方面，生殖细胞基因操作固然可以进行基因治疗，有望在地球上彻底消灭遗传病，但另一方面它也会给人类提供无限改变自身的可能性，甚至可能达到“改造人种”的程度，这将会引起十分严峻的后果。此外，最近争论得沸沸扬扬的“克隆人”问题同样给人们提出了十分严峻的伦理问题。为此，各国政府都已纷纷表态，坚决反对“克隆人”。同时，现有的遗传检测技术也带来了一些社会问题。例如，随着染色体检测技术的成熟，在妊娠时期就可以检测出胎儿的性别以及是否有一些严重的遗传病。那么这种技术的广泛应用，是否会带来性别比例失衡等严重的社会问题呢？因为性别歧视在当今世界依然是普遍存在的。

总之，现代生物技术正在改变着人们的生活和观念，它不仅仅是生物学家的宠儿，而正在变成为全人类所关注的热点问题。

三、生态工程

生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理，结构与功能协调原则，结合系统分析的最优化方法，设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。

（一）生态农业

世界农业经历了从原始农业、传统农业到现代农业的发展历程。无论是发达国家的石油农业，还是发展中国家的绿色革命，都不能摆脱农业生态环境恶化这一现实，这使得人们开始重新审视现代农业发展模式，引发了全球农业可持续性的思考。

生态农业是运用生态学、生态经济学原理及系统工程理论，集传统农业技术精华与现代农业高新技术为一体的新型农业生产体系。

1．可持续农业发展的技术理念

（1）有机农业

有机农业强调尽量减少使用农场以外的物质投入，完全停用各种化学合成物质，通过轮作、间作和各种生物防治方法来控制杂草和病虫害。这种由单一种群构成的人工农业生态系统缺乏多样性，作物产量较低，即使是发达国家目前采用者亦较少。

（2）持久农业

持久农业主张根据当地的物种与自然环境特点，设计包括乔木、灌木、草场、农作物、散养家禽等各种成分的生态系统，具有多样性，群落和系统具有自我演化潜力，因而具有稳定性。对系统中某一物种的单位产量来说，可能较常规农业方式为低，但系统中多种动植物一起表现在单位面积上的总产量就可能高于单一作物的产量。

（3）精准农业（精确农业）

精准农业是在现代信息技术、生物技术、工程技术等一系列高新技术最新成就的基础上发展起来的一种综合性很强的复杂系统，低耗、高效、优质、安全，但目前还只能在科技水平较高的少数发达国家实施，是21世纪可持续农业技术发展的新方向。它改变了大面积、大群体平均投入的资源浪费型做法，而是在分析影响地区产量差异的原因的基础上，按需实施，定位调控。它既强调降低农业的外部投入，又不排斥外部投入，不追求最大生产能力和提高产量，而是以提高资源利用效率、降低生产成本和减小环境污染风险为目标。

2．生态农业技术

生态农业技术是使生态农业形成起来并能有效运转的多项技术的有机组合。主要包括：

（1）农业环境综合整治技术。中国生态农业采用生物措施与工程措施相结合的办法综合治理农业环境，如排灌网建设、人工防护林建设等。

（2）农业资源的保护与增殖技术。保障耕地不衰退，森林能永续，河海鱼不尽，草原牛羊壮。

（3）小流域综合利用技术。小流域指由一条坳沟或河沟道为主体所构成的以分水岭和出口断面为界的一个独立而完整的自然集水区域，是山地和丘陵区的基本地貌组合单元。小流域综合治理就是以小流域为治理单元，合理规划和布置保持水土的农耕技术措施、林草措施和工程措施，优化农、林、牧、副各业的用地结构，使各项技术措施互相协调、互相促进，形成小流域综合治理技术体系，实现以水土流失控制为核心的生态、经济、社会效益相统一的综合治理目标。

（4）立体种养技术。如林地间种人参、果园养菇、多层养鱼等。

（5）庭院资源综合利用技术。充分利用家庭闲散劳力，把庭院建设成智力和劳力集约，能量和物质投入、产出水平高，转化效率高的地段。

（6）再生能源利用技术。常用技术包括建造薪炭林，推广太阳能热水器，建造沼气池和省柴灶等。

（7）农业副产物再利用技术。如利用牛粪、秸秆生产食用菌的技术，秸秆氨化技术等。

（8）有害生物综合防治技术。从生物与环境关系的整体观点出发，本着预防为主的指导思想和安全、有效、经济、简易的原则，因地因时制宜，合理运用农业的、生物的、化学的、物理的方法及其他有效的生态手段，把害虫控制在不足为害的水平，以达到保护人畜健康和增产的目的。

（二）生态园林

生态园林主要是以生态学原理为指导（如互惠共生、物种多样性、竞争、化学互感作用等）所建设的园林绿地系统，种群间相互协调，有复合的层次和相宜的季相色彩，充分利用阳光、空气、水分、养分和土地空间，构成一个和谐有序、稳定的群落。生态园林不仅具有普通森林生态系统具有的功能，还有其自身优势，主要表现在以下几个方面：①调节城市气候；②降低噪声；③抗灾防火；④美化城市市容；⑤节约城市建筑能耗。

（三）生态旅游

在旅游生态学中，旅游开发强调对旅游资源和环境的保护，保护是开发的前提。

1．原汁原味原则。旅游开发时要尽量保持旅游资源的原始性和真实性。

2．生态学原则。旅游地景观的格局及其生态过程有其自身的规律性，我们应据此来设计景观的结构，以遵循其生态过程的连续性，改善其功能。

3．承载力控制原则。旅游开发应遵循旅游环境承载力的基本理论，及时协调旅游与环境的相互关系，以免旅游资源及环境受到破坏。

4．环境教育原则。主要指对游客的环境教育。

5．依法开发的原则。旅游开发必须遵循相应的保护法规，如自然保护区的开发必须遵循《野生动物保护法》、《森林法》和《自然保护区管理条例》。

（四）恢复生态学

1．生态系统的退化与破坏

干扰是使生态系统发生退化的主要原因，包括自然干扰和人为干扰。自然干扰主要包括一些天文因素变异而引起的全球环境变化（如冰期、间冰期的气候冷暖波动），以及地球自身的地质地貌过程（如火山爆发、地震、滑坡、泥石流等自然灾害）和区域气候变异（如大气环境、洋流及水分模式的改变等）。人为因素主要包括人类社会中所发生的一系列的社会、经济、文化活动或过程（如工农业活动、城市化、商业、旅游、战争等）。

干扰的类型、强度和频度在很大程度上决定着生态系统退化的方向和程度。自然干扰一般是使生态系统返回到生态演替的早期状态，但一些剧变或突变性的自然干扰（火山爆发、洪水等）往往会导致生态系统的彻底毁坏。在某些地区，人为干扰对生态退化起主要作用，且常造成生态系统的逆向演替、不可逆的变化和不可预料的生态后果，如水土流失、土地沙漠化和盐碱化等。

2．恢复生态工程的概念

恢复生态工程根据生态学原理，通过一定的生物、生态以及工程的技术与方法，人为地改变和切断生态系统退化的主导因子或过程，调整、配置和优化系统内部及其与外界的物质、能量和信息的流动过程及其时空秩序，使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快成功地恢复到一定的或原有的乃至更高的水平。

3．恢复生态工程的基本原理

恢复生态工程强调的是将生态工程学原理应用于系统功能的恢复，最终达到系统的自我维持。

（1）整体性原理。恢复生态工程是按生态系统的内部相关性和外部相关性，来研究作为一个有机整体的生态系统或社会—经济—自然复合生态系统的区域环境。

（2）物能循环原理与再生功能。

（3）生态位原理。在引种工作中，引入的物种与原有的物种如果在生态位上相似，必然发生激烈竞争，通常所引入物种的数量更可能处于劣势，往往被排挤掉。因此，为了移植成功，常要求一次引入大量个体，或引入适合当地“空生态位”的种类。如乔灌草结合，就是按照不同植物种群在地上地下部分的分层布局，充分利用多层次空间生态位，同时又可产生动物、低等生物生存和生活的适宜生态位，最大限度地减少资源浪费，增加生物产量。

（4）物种相互作用原理。充分发挥生物种群间互利机制，使生物复合群体“共存共荣”。

（5）食物链原理。在人工生态系统中，通过食物链的人工代换，可以改变物质、能量的转移途径和富集方式。例如，可以使一种产品通过食物链环节转化为另一种类型的生物产品；使低能量的生物产品通过食物链的浓集作用变成高能量的产品；使一些低价值的产品变成高价值的产品。

（6）物种多样性原理。

（7）耗散结构原理。生态系统是耗散结构，外力干扰会使系统内部产生相当的变化。一定限度的外力干扰，系统可以进行自我调整。而当外力干扰超过一定限度时，系统就会从一个状态向新的有序状态变化。

（8）最小风险与最大效益原理。人们往往不能对恢复生态的后果和生态最终演替方向进行准确的估计和把握。因此在某种意义上，退化生态系统的恢复与重建具有一定的风险性。同时恢复生态往往又是一个高成本投入的工程，人们还要考虑恢复生态的经济效益和收益周期，以保持最小风险和最大效益。

4．退化生态系统的类型与恢复生态工程

（1）林业生态工程

1）林业生态工程的主要内容

①环境调控工程。人工环境调控的主要目标是减弱对生物生长发育具有限制作用的环境因子，增加生物生长发育所需求的环境因子。

②生物种群选择与匹配工程。生物种群选择要根据当地的自然环境特征和社会经济环境，选择最佳适生种。种群匹配是在主要种群选定以后，再根据与主要种群互利共生的原则来选定次要种群。

③群落建造工程。林业生态工程可以分阶段进行，利用人工群落建造本身逐步改善环境质量，使系统由低级向高级逐步过渡，尤其是在生态环境严酷的地带更应如此。

④食物链工程。食物链工程是人工群落建造的组成部分，是用人工食物链种群来代替天然食物链种群的一种工程置换措施，其中食物链加环是一种重要的方法。

2）林业生态工程的类型

林业生态工程的类型主要包括：①生态环境脆弱带工程；②主要水系水源涵养工程；③农用林工程；④交通、国防林工程；⑤海岸林工程；⑥城市绿化林工程。

（2）草地生态工程

由于自然干扰和人类活动的影响，草原生态系统出现了大面积的退化、沙化和盐碱化，草地资源日益衰竭，草原生产力不断下降。

1）改良天然草场

①改善草地土壤通气状况。一般划破草皮10～15cm，以切破草皮和稍使土壤松动为宜，不可使草皮翻转，划破草皮后结合补播、灌溉等措施。

②草地补播。补播能使牧草种类丰富，增加草层覆盖度，改善牧草品质，增加产量，是更新复壮草地植被的一项重要措施。

③封山育草。将草地在一段时间内封闭起来，使优质牧草得到恢复和发展，有利于牧草的自然更新，大面积提高产量。

2）建设人工草场

①建设围栏；②建设人工草地；③林草结合。

（3）废弃地恢复生态工程

废弃地是指非经治理则无法使用的土地，造成废弃地的主要原因是工业、生活废弃物的堆积，开采和挖掘的废坑道，拆迁的工厂遗留下的杂乱无章的场所和破旧建筑，以及沙漠化土地和盐碱化土地等。

1）沙漠化土地治理工程

①植物治沙。植物治沙主要包括建立人工植被或恢复天然植被以固定流沙；营造大型防沙阻沙林带以阻截外侧流沙的侵袭；营造防护林网以控制耕地风蚀和牧场退化；保护封育天然植被以防止固定、半固定沙丘和沙质草原的沙漠化危害。

②机械固沙。以各种材料（如麦草、芦苇、黏土和砾石等）做成不同规格的格状或带状沙障用于固沙。一般来说，带状沙障主要用于防治风向较为单一的沙害，格状沙障多用于防治多方向风作用所造成的沙害。

③化学固沙。化学固沙是将胶结物质喷洒于沙面并渗入沙层孔隙，经固化后形成防风蚀保护壳。

④衬膜种稻。在有水源的沙漠边缘地区，用沙漠衬膜种稻技术可以变沙漠为良田，是逐步改变沙漠化有战略意义的一项措施。

2）盐碱地改造工程

盐碱地形成是地面低洼和地下潜水流速不畅引起矿化度增加，并在其临界深度以上蒸发积盐的结果。盐碱地改造工程主要有以下几项措施：

①工程措施。主要有改善农业生产基础条件的治水、改土等农田水利工程措施，诸如排水、土地平整、灌溉及其配套建筑物的建设等。

②生物措施。利用某些植物具有耐瘠薄、耐盐碱、抗旱耐涝等特性，因地种植，以改善生态条件，逐步提高土壤肥力，达到增产的目的。

③农业措施。工程措施为农业生产发展提供了基础条件，农业措施是综合治理和综合发展的中心环节。其主要内容有：因土种植，调整种植结构和农业结构。

3）工矿区复垦与生态重建工程

工矿区复垦与生态重建工程一般包括两大步骤：一是造地，它是土地复垦最基础的工作；二是种植。

①矿山造地工艺。造地包括地形再塑和土体再塑。再塑土体构造必须遵循“上土下岩，粗下细上，酸碱在下，中性在上，不易风化的在下，易风化的在上，肥沃的在上”的原则。

②矿山土的培肥措施。矿山土的培肥不仅要排除限制植物生长的障碍因素，而且应随时跟踪各种性质的变化，采取相应的措施。包括消除酸害、表层覆盖、施肥种植和复垦地植被重建等技术。

4）水土流失的生态恢复工程

小流域综合治理是现阶段我国水土保持工作的最主要形式。从流域生态系统优化的角度出发，坚持生态效益与经济效益统一、治坡与治沟结合，生物措施、工程措施、农业措施结合，以流域为单位，应用生态工程原理，实行山、水、田、林、路的综合与连续治理。基本模式有：川地水利化、沟谷坝系化、坡地梯田林草化。

①农耕技术措施。农耕技术措施是小流域综合治理的基本措施，按其性质可分为以改变微地形为主的农耕措施和以增加地面覆盖为主的耕作措施。

②林草措施。积极地造林种草，增加水土流失地区的植被覆盖率，是解决水土流失的强有力手段和根本措施，同时也是恢复和改善水土流失地区生态平衡的物质基础。

③水土保持工程措施。可分为坡面治理工程、沟道治理工程和护岸工程。坡面治理工程主要是针对分水岭以下至沟缘线的坡地。沟道治理工程可防止径流流入沟道后引起冲刷。护岸工程是防止沟道和坝坡沿岸侧向冲刷的工程措施。

【例题解析】

例1　下列关于牛体外受精胚胎的工厂化生产的叙述中，正确的是（　　）

A．体外受精形成受精卵后即可移入母牛子宫

B．采集的卵母细胞应立即与精子共同放入培养液才能形成受精卵

C．成熟卵子与获能精子形成的受精卵，通常需培养到一定阶段才才进行移植

D．体外受精胚胎的工厂化生产即受精过程和胚胎发育的全过程都在体外进行

解析　只有成熟卵子和获能精子才能完成体外受精。采集的卵母细胞如果是未成熟的，需进行成熟培养。采集的精子也需进行获能处理。受精卵通常培养到一定阶段才进行移植，且是质量较好的胚胎才移入受体母畜生殖道内发育。目前只能对少数物种不同阶段的胚胎进行培养，尚无从受精卵到新个体的全体外胚胎培养技术。

答案　C

例2　下列哪一项不是解决基因歧视的正确方法（　　）

A．正确的科学知识传播和伦理道德教育

B．杜绝基因检测

C．保护个人遗传信息隐私权

D．建立完善的法律法规

解析　基因检测有利于疾病的诊断、预防和治疗，但有些人对基因检测的认识还不够，因此需要有正确的科学知识传播和伦理道德教育，也有必要通过立法来加强个人遗传信息管理和约束某些人的基因歧视行为。而杜绝基因检测则限制了生物技术的发展和利用，是不对的。

答案　B

例3　下列属于转基因植物潜在安全隐患的是（　　）（多选题）

A．转基因植物有可能合成对人体有直接毒性或潜在毒性的蛋白质

B．转基因植物合成的某些新的蛋白质有可能成为某些人的过敏源

C．某些转基因植物可以合成干扰素，进入人体后可增强相应细胞的免疫力

D．某些基因足以使植物体某些代谢途径发生变化，导致转基因作物营养成分改变

解析　转基因植物引发食物安全的主要理由包括：对食物的安全性检测不够，担心出现滞后效应；担心出现新的过敏原；担心营养成分改变等。A、B、D三项都属于转基因植物潜在的安全隐患。只有C项不是，它是转基因技术在制药方面的应用。

答案　ABD

例4　20世纪90年代，乌干达木薯业遭受病害的毁灭性打击。研究发现，这是一种新病毒引发的疾病，而这种新病毒是由两种已知病毒重组产生的。这一事实有力地支持了下列哪一观点（　　）

A．转基因生物有可能成为“入侵的外来物种”，威胁生态系统中其他生物的生存

B．导入转基因生物的外源基因有可能与感染该转基因生物的某些细菌或病毒杂交，从而重组出对人类或其他生物有害的病原体

C．转基因植物的抗除草剂基因，有可能通过花粉传播进入杂草中，使杂草成为除不掉的“超级杂草”

D．抗虫棉能抵抗棉铃虫，但随着棉铃虫抗性的增强，抗虫棉有可能被淘汰

解析　B项观点为外源基因有可能与某些细菌或病毒重组形成新生物。题干材料中新病毒由两种已知病毒重组产生，正是对B项的支持。

答案　B

例5　生态农业是一个自我维持的农业生产系统，其特点是在保持和改善系统内的生态平衡，在不对其周围环境造成明显改变的情况下，求得最大生产力和可持续发展。下列属于生态农业生产方式的是（　　）（多选题）

A．病虫害的生物防治

B．作物轮作、套种

C．使用化肥提高作物产量

D．秸秆等农业废弃物的资源化利用

解析　病虫害的生物防治是一种经济有效、无污染的病虫害防治技术。作物轮作可提高土壤肥力，也有防治病虫害作用；套种可提高光能利用率。秸秆等农业废弃物的资源化利用是农业副产物再利用技术的重要内容。生态农业以提高资源利用效率，降低生产成本和减小环境污染为目标，主张尽量减少使用农田生态系统以外的物质投入，反对以使用化肥为主要手段来提高作物产量。

答案　ABD

【针对训练】

1．（2009全国联赛）下列有关人类生殖过程的叙述中，哪一项是正确的（　　）

A．成熟精子遇到卵子便可发生受精作用

B．排出成熟卵子的过程即为排卵

C．卵子形成时的分裂过程均在卵巢内完成

D．卵子产生过程中减数第二次分裂是在精子和卵子的结合过程中完成的

2．对家畜进行卵母细胞采集时，可先用（　　）处理。

A．促性腺激素

B．促性腺激素释放激素

C．肝素

D．性激素

3．从活体动物的卵巢中直接采集卵母细胞时，不正确的方法是（　　）

A．超声波探测仪

B．内窥镜

C．腹腔镜

D．阴道镜

4．精子和卵子在体外受精后，应将受精卵移入（　　）

A．受体动物体内

B．培养箱

C．发育培养液

D．冷库冷藏

5．进行胚胎分割时，应选择发育良好、形态正常的（　　）

A．受精卵

B．原肠胚

C．胚胎

D．桑椹胚或囊胚

6．基因工程产物可能存在着一些安全性问题，但不必担心的是（　　）

A．目的基因通过花粉的散布转移到其他植物体内，从而可能打破生态平衡

B．运载体的标记基因可能指导合成有利于抗性进化的产物

C．目的基因本身编码的产物可能会对人体产生毒性

D．三倍体转基因鲤鱼与正常鲤鱼的杂交，进而导致自然种群被淘汰

7．生物工程技术为人类生活带来的好处有（　　）

①准确诊治，预防疾病　②检测缺陷基因，为生殖、就业、保险等作参考　③建立遗传信息档案、有效确认身份和侦破案件　④通过克隆技术繁殖人类本身　⑤开发研制新型药物、营养品、保健品　⑥有效清除、处理环境污染及废弃物　⑦有效提高作物、畜禽产量与质量　⑧重组高致病性基因，制造“生物武器”

A．①③④⑥⑧

B．①③⑤⑥⑦

C．②⑤⑥⑦⑧

D．①②③④⑦

8．有一山区由于开采露天小铁矿等活动，自然生态系统完全被破坏，成为一片废墟，为尽快使该山区恢复到原有自然生态系统状态，应采取的最好措施是在这片废墟上（　　）

A．回填土壤，引进多种外来物种，重建新的生态系统

B．撤出人类全部活动，实行全面封闭，等待自然恢复

C．回填土壤，栽培当地经济农作物，发展农业生产

D．回填土壤，栽种当地原有的植物，实行封山育林

9．用化学法使精子获能，采用化学药物是一定浓度的（　　）（多选题）

A．NaCl溶液

B．肝素

C．Ca^{2+}溶液

D．缓冲液

E．Ca^{2+}载体

10．常规胚胎移植的技术环节包括（　　）（多选题）

A．胚胎采集

B．胚胎检查

C．胚胎培养及保存

D．胚胎移植

11．（2009全国联赛）水华的频频暴发严重地威胁着我国淡水资源，为了解决这一问题，国内外专家已经研究出了多种控制水华暴发的方法，生物防治便是其中的一个办法。请问在水华污染水域投放下述哪些动物后，可有效地清理这些污染物（　　）（多选题）

A．河蚌

B．鲤鱼

C．鲢鱼

D．水螅

12．试管婴儿技术是将不孕夫妇的精子和卵细胞取出在试管中完成受精，并在试管中培养使其发育到如图所示的时期，再将胚胎移入子宫内发育成胎儿的过程。据此回答：

（1）右图所示的时期是胚胎发育的_____期。

（2）“试管婴儿”的形成用到下列哪些技术？_____（填序号）

①胚胎体外培养　②体外受精　③胚胎移植　④核移植

（3）要得到“同卵多胞胎”，需采用的技术是_____，他（她）们的性别是否相同？_____。

（4）目前，多数人都反对设计婴儿性别，原因是_____。



【参考答案】

1．D　2．A　3．D　4．C　5．D　6．D　7．B　8．D　9．BE　10．ABCD　11．AC

12．（1）囊胚　（2）①②③　（3）胚胎分割技术　相同　（4）破坏了人类正常性别比例，违反了伦理道德

第六章　动植物学

第1讲　植物的组织和组织系统

（温州中学　苏宏鑫）

【知识梳理】

在种子植物个体发育过程中，根、茎、叶、花、果实和种子分别都有着一定的形态结构，担负着一定的生理功能，是构成植物体的六大器官。其中根、茎、叶与植物营养物质的吸收、合成、运输和贮藏有关，统称之为营养器官，这个时期植物体的生长称为营养生长；而花、果实、种子与植物产生后代密切相关，被称之为繁殖器官，这个时期的生长是植物的生殖生长。无论是营养器官还是繁殖器官，都是由相应的组织构成的。

在个体发育中，具有相同来源的细胞（一个细胞或同一群有分裂能力的细胞）通过分裂、生长与分化形成的细胞群及其细胞间质称为组织。如果组织中仅有一种细胞类型的叫做简单组织，组织中有多种细胞类型的叫做复合组织。

按其发育特点，植物组织可分为两大类：简单组织和复合组织。前者又可分为分生组织和成熟组织。种子植物在胚胎发育时期，所有细胞都有强的分裂能力，但在后来的生长发育过程中，大部分细胞陆续分化而失去分裂能力，成为有特定功能的分化细胞，构成成熟组织；仍然保留分裂能力的少数没有分化的原始细胞，构成分生组织。成熟组织按其功能又可以分为：营养组织、保护组织、输导组织、机械组织、分泌组织等。

一、植物的组织

（一）分生组织

分生组织是具有细胞分裂能力的植物细胞群，这些细胞都属于周期细胞。在成熟的植物体内，总保留一部分不分化的细胞，它们终生保持分裂能力。有些分生组织常处于潜伏状态，即处于G_0期状态，只在条件适宜时才活跃起来，如腋芽内的分生组织。由于分生组织的存在，种子植物的个体总保持着生长的能力或潜能。分生组织的细胞体

积小、壁薄（只有中胶层或较薄初生壁）、质浓、一般液泡无或很小，排列紧密整齐。

1．按来源的性质，分生组织可分为：

（1）原分生组织　原分生组织是由从胚胎中保留下来的原始细胞构成的，具有持久的分裂能力，位于根茎顶端的最前端。

（2）初生分生组织　初生分生组织在细胞形态上已发生了初步分化，但仍具有分裂的能力，是从原分生组织向成熟组织过渡的组织，是一种边分裂边分化的组织。

（3）次生分生组织　次生分生组织是由已分化成熟的薄壁细胞脱分化后转变成的分生组织。

2．按在植物体上的位置，分生组织可分为：

（1）顶端分生组织　植物的根尖、茎端有分生组织，称为顶端分生组织（图6-1-1）。顶端分生组织的细胞多为横向分裂而使根茎长长。顶端分生组织可分成两类：原分生组织和初生分生组织。前者更靠顶部，但两者没有明确的界限。由于顶端分生组织活动引起的生长属于初生生长。

（2）侧生分生组织　在一些植物根、茎等器官中，靠近表面的，与器官长轴平行的方向上，也有呈桶形分布的分生组织，称为侧生分生组织（图6-1-1）。侧生分生组织包括形成层和木栓形成层各一层细胞。侧生分生组织的细胞分裂方向以切向分裂为主，还有径向和其他方向的分裂。

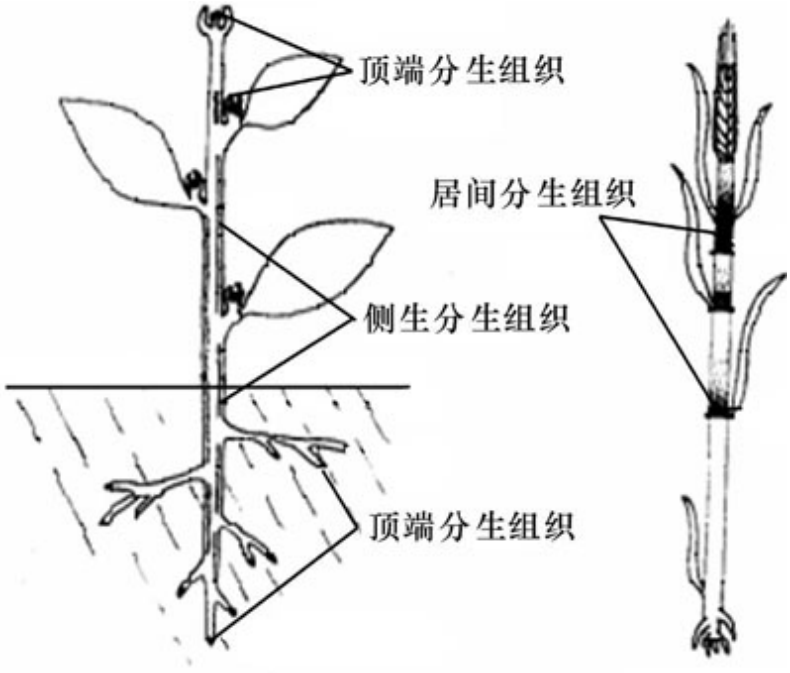


图6-1-1　植物体中分生组织的分布

侧生分生组织属于次生分生组织，其活动引起根、茎长粗，这种生长属于次生生长。木栓形成层是典型的次生分生组织。单子叶植物中一般没有侧生分生组织，一般不会进行加粗生长。

（3）居间分生组织　在有些植物发育的过程中，在已分化的成熟组织中夹着一些未完全分化的分生组织，称为居间分生组织，属于初生分生组织。在玉米、小麦等单子叶植物中，居间分生组织分布在节间的下方（图6-1-1），它们旺盛的细胞分裂活动使植株快速生长、增高。

（二）成熟组织

成熟组织的细胞失去分裂能力，发生了分化，成为各种成熟组织，也称为永久组织。不同成熟组织的细胞分化程度是有差别的。一些分化程度低的成熟组织细胞在相应的条件下还会发生脱分化，重新转为分生组织，即为次生分生组织。成熟组织又可分为以下几种组织类型。

1．保护组织　分布在植物各器官的外表面，有表皮和周皮两种类型。细胞排列紧密，质少，液泡大，没有胞间隙。地上部分的表皮细胞外壁厚且角质化（角质为脂肪类物质，渗入细胞壁中或沉积在外表面，使细胞壁坚韧、不透气、不透水），分布有气孔器以便控制气体交换；地下部分的表皮细胞壁薄、不角质化，但有根毛，适于吸收。多年生植物的根、茎的表皮因不断加粗而破裂，于是在破裂的表皮内侧又形成新的次生保护组织——周皮（详见后面的“根的次生结构”）。保护组织具有保护、吸收、控制气体交换的作用。

2．基本组织　又称薄壁组织，分布最广、最多。其结构特点表现在：细胞大，壁薄，一般只有初生壁而无次生壁，有胞间隙（疏松），质少，液泡大，分化程度低，可脱分化成次生分生组织。基本组织又可分为同化组织、贮藏组织、贮水组织和通气组织（图6-1-2）。

（1）同化组织　细胞含叶绿体，分栅栏组织和海绵组织。

（2）贮藏组织　细胞内富含大量营养物质或其他代谢产物。如稻的胚乳，马铃薯的块茎，主要由贮藏组织构成。

（3）贮水组织　高度特化的大型的薄壁细胞，贮有大量水分。多见于适应旱生的肉质植物，如仙人掌的茎、秋海棠的叶中等。

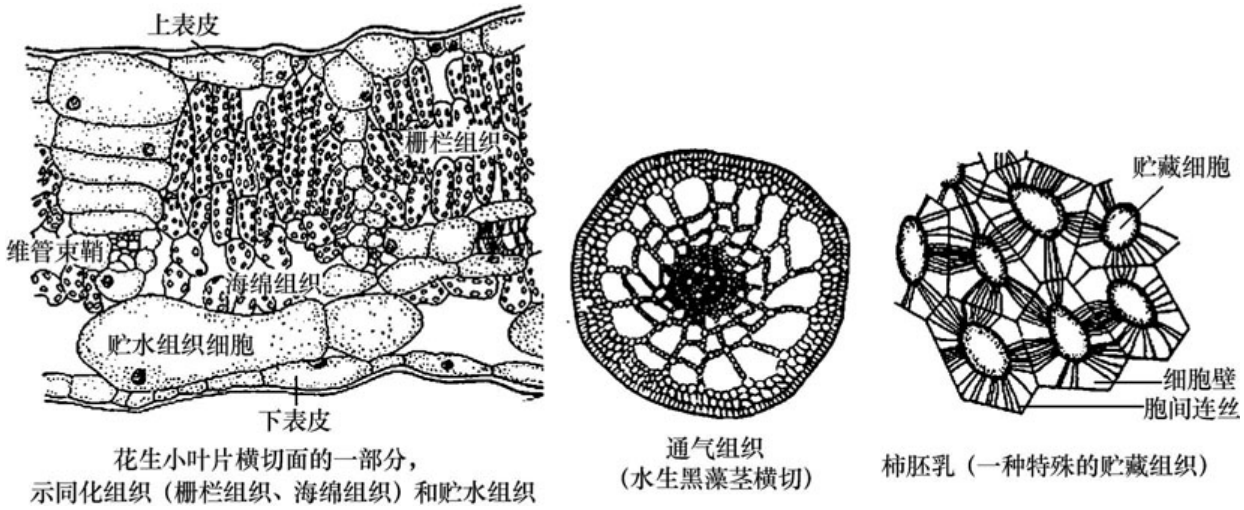
（4）通气组织　胞间隙特别发达。如水稻、莲等水生植物的根、茎、叶均具有发达的通气组织。

3．机械组织

其细胞长形，纵向排列，壁厚或角厚。具有支持和巩固作用。机械组织又可分为厚角组织和厚壁组织。

（1）厚角组织　厚角组织是支持力较弱的一类机械组织，多分布在幼嫩植物的茎或叶柄等器官中，起支持作用。如芹菜叶柄中的厚角组织有支撑叶子的功能。厚角细胞是长形的细胞，一般比薄壁细胞长，细胞壁上有不规则的增厚，在横切面上可以看出增厚的部分多在细胞的角隅上。厚角组织的细胞壁是初生壁性质的，不木质化，含水量高，延展性较强，能随植物器官的生长而延伸。厚角组织的细胞是活细胞（图6-1-3）。

（2）厚壁组织　厚壁组织支持能力比厚角组织强，是植物体的主要支持组织。厚壁细胞比厚角细胞更进一步特化：细胞壁全面地（而不是局部）加厚，木质化。有时细胞壁可占据细胞大部分，细胞内腔可以变得较小以至几乎看不清。发育成熟的厚壁组织细胞死亡，厚的细胞壁起到支持作用。厚壁组织有两类（图6-1-4）：纤维和石细胞。



花生小叶片横切面的一部分，示同化组织（栅栏组织、海绵组织）和贮水组织

通气组织（水生黑藻茎横切）

柿胚乳（一种特殊的贮藏组织）

图6-1-2　几种薄壁组织

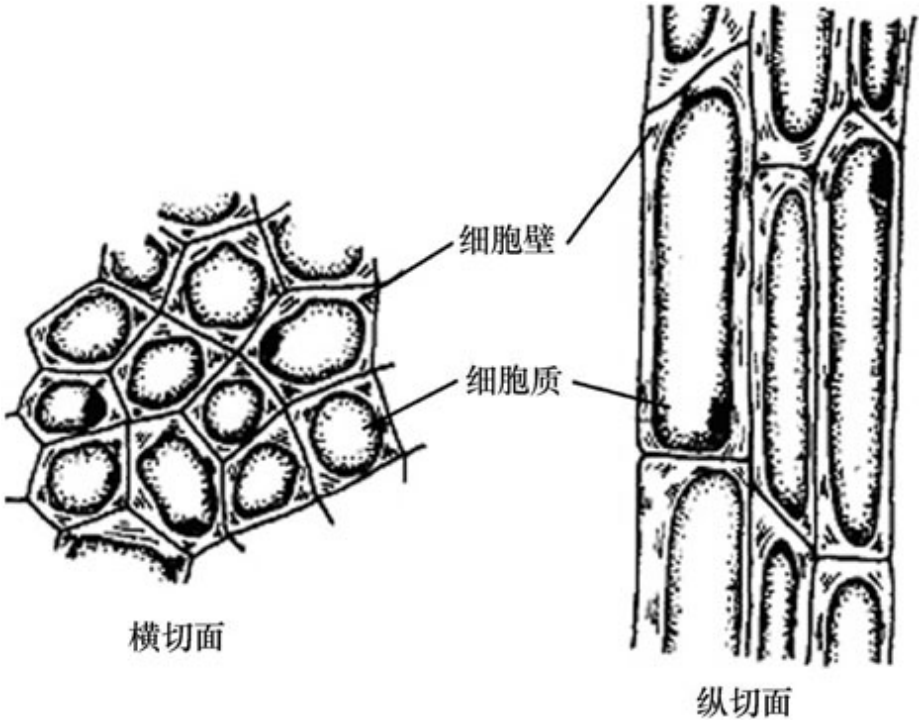


图6-1-3　叶柄中厚角组织

①纤维　细胞细长，两端是尖的。如木纤维，细胞壁木质化，坚硬有力；韧皮纤维，存在于韧皮部，细胞壁不木质化或只轻度木质化，故有韧性，如黄麻纤维、亚麻纤维等（图6-1-4）。

②石细胞　这类细胞形状不规则，但多为等直径的。梨果肉中的白色颗粒就是成团的石细胞，各种坚果和种子的硬壳中主要都是石细胞。

4．输导组织

输导组织是植物体内长距离输导营养物质的组织，其中输导水分和无机盐的结构为管胞和导管；输导有机物的有筛管与伴胞，或筛胞。输导组织的长管状输导细胞纵向分布并以相应的方式相互联系，贯穿于整个植物体内，形成一连续的输导系统。

（1）管胞　管胞是狭长、两端尖细的管状死细胞。管胞的细胞壁在细胞发育中形成厚的木质化的次生壁。次生壁加厚不均，形成了各种形状的加厚式样，这些加厚式样分成环纹、螺纹、梯纹、网纹、孔纹等五类（图6-1-5）。其尖端侧壁上有纹孔（没有次生壁加厚的区域），但不穿孔，上下两细胞的端部紧密重叠；水分通过纹孔从一个细胞到另一个细胞。

（2）导管分子　成熟的导管分子为长管状的死细胞，其细胞壁也有五种加厚方式。与管胞不同的是，导管在发育过程中伴随着细胞壁

的次生加厚与原生质体的解体，导管两端的细胞初生壁被溶解，形成了穿孔（图6-1-5）。多个导管分子以末端的穿孔相连，组成了一条长的管道，称导管。

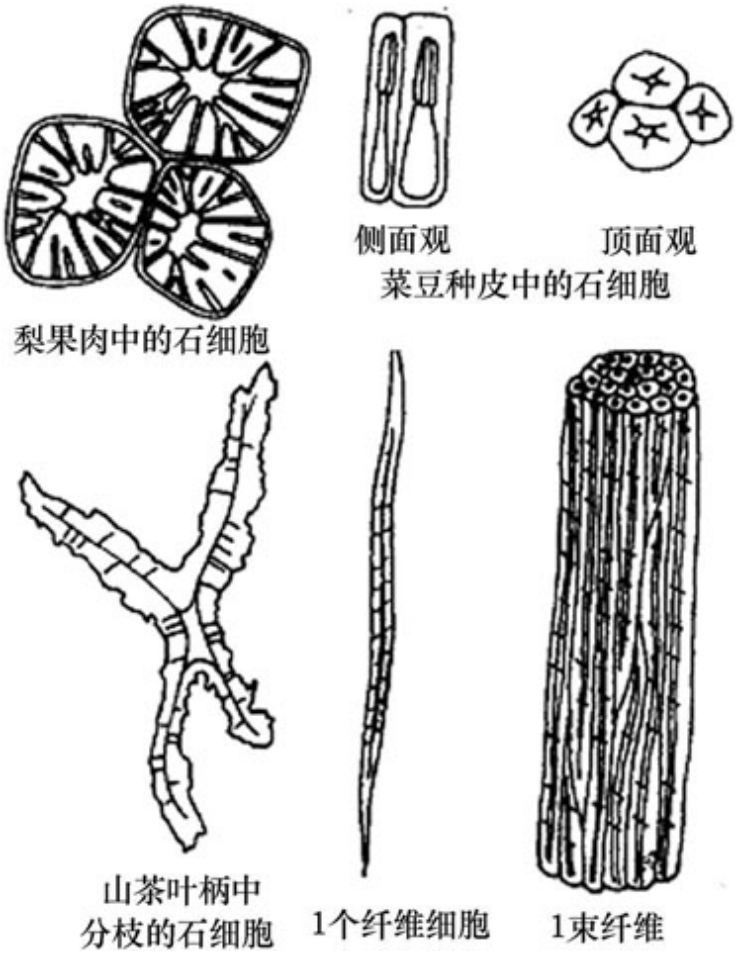


图6-1-4　石细胞与纤维

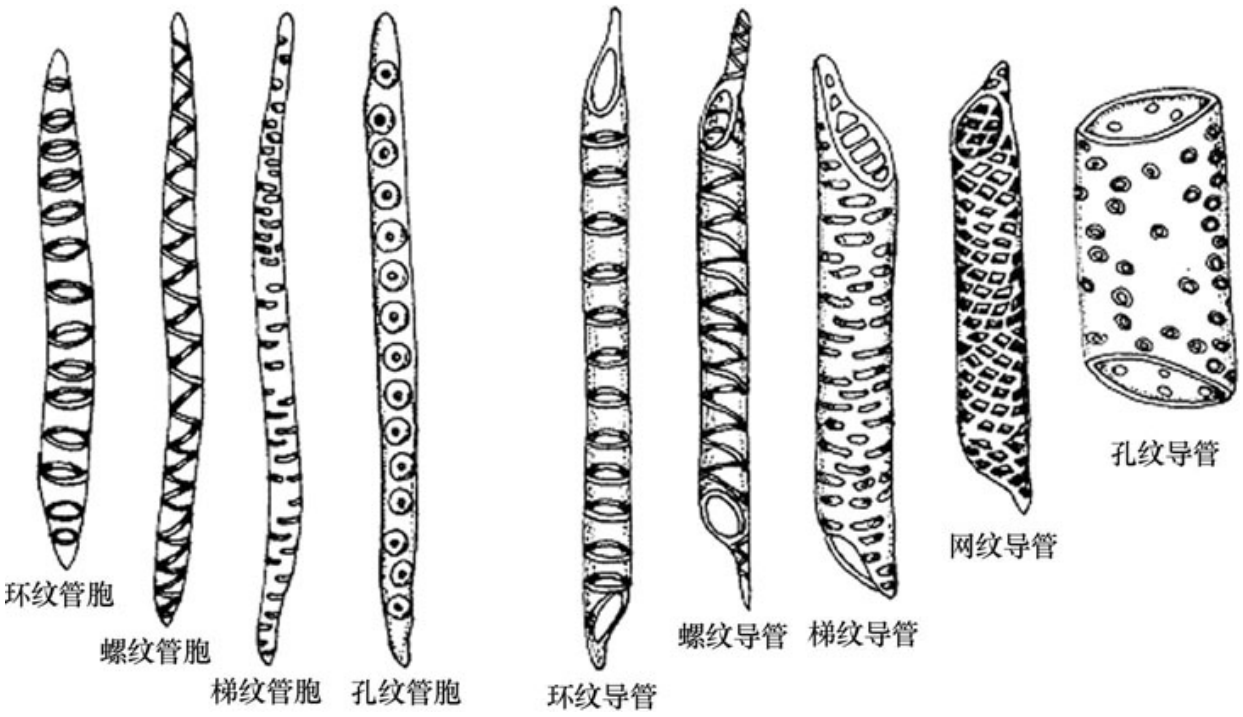


图6-1-5　管胞和导管的类型及次生壁的加厚方式

导管比管胞的输导效率高得多。多数蕨类和裸子植物仅以管胞输导水分及无机盐，在被子植物中不仅具有管胞（如叶脉的末端只有管胞），还出现了导管，并成为输导水分和无机盐的主要结构。

（3）筛管　筛管是运输有机物的结构，其组成单位是长形活细胞，称为筛管分子（图6-1-6），多个筛管分子以顶端相连而成筛管。筛管分子长成后，细胞核退化，液泡膜也消失，细胞质仍保留，上下两相邻筛管之间的细胞壁共同形成筛板，其上有较大的孔，称筛孔。穿过孔的原生质丝比胞间连丝粗大，称联络索。联络索沟通了相邻的筛管分子，能有效地输送有机物。

筛管分子的细胞壁不次生加厚、不木质化，在侧面的细胞壁上有许多特化的初生纹孔场，叫做筛域，筛域中的胞间连丝比较粗，有横向运输的作用。初生纹孔场是在初生壁形成时，不均匀加厚而形成的许多凹洼区域。在被子植物的筛管中，还有一种特殊的蛋白，称P-蛋白，有人认为P-蛋白是一种收缩蛋白，与有机物的运输有关。

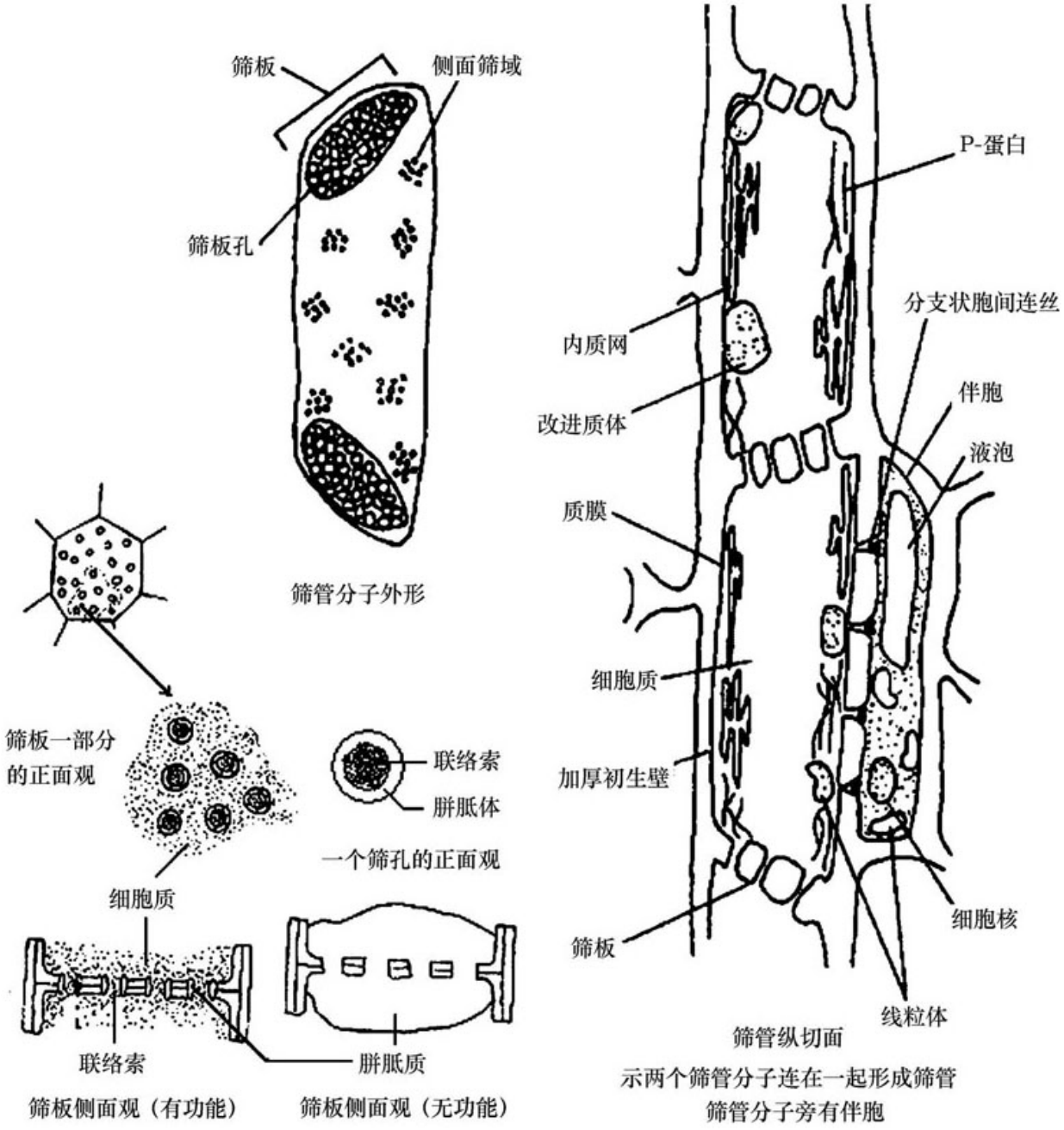


图6-1-6　成熟筛管分子和伴胞的结构

在生长季后期，沿着筛孔的四周，围绕联络索逐渐积累一种特殊的碳水化合物（β-1，3-葡聚糖，又称胼胝质），联络索束相应也变细，胼胝质不断积累成为垫状的沉积在整个筛板上的胼胝体，将筛孔完全堵塞，这时筛管分子进入休眠或衰亡。

（4）伴胞　伴胞是和筛管并列的一种细胞，是具有完整结构的活细胞，代谢很旺盛（图6-1-6）。伴胞和筛管是从分生组织的同一个母

细胞分裂发育而成。两者间存在发达的胞间连丝，在功能上也密切相关，伴胞与筛管分子共同完成有机物的运输。筛管分子没有细胞核，但仍能生活，可能与伴胞的存在有关。有些植物叶脉末端的伴胞发育成传递细胞。

（5）筛胞　被子植物有机物运输的结构是伴胞和筛管，在蕨类植物和多数裸子植物中，一般无筛管和伴胞，输导有机物的结构是筛胞，其两端不形成筛板，仅以细胞之间的斜壁或侧壁上的筛域相联系，以输导有机物，细胞质中也没有P-蛋白，输导功能较筛管差。

5．分泌组织　植物体中有一些细胞或一些特化的结构有分泌功能，这些具有分泌功能的细胞共同构成了分泌组织。这些细胞分泌的物质或是通过某种机制排到体外、细胞外，或是积累在细胞内。

（1）分泌物及其作用　分泌的物质十分复杂，有蜜汁、乳汁、树脂、黏液和挥发油等。分泌物有的能吸引昆虫帮助传粉或传播种子，有的能泌溢出过多的盐分而避免毒害，有的能抑制其他竞争性生物，也有的能促进植物本身的生长，等等。

（2）分泌组织的结构

①外部的分泌结构　这类结构比较简单，大都位于植物器官的表面，其分泌物能直接分泌到植物体外。常见的如某些花中的蜜腺；有些植物（如天竺葵）叶表面的腺毛；还有很多植物叶缘的排水器（由水孔和通水组织组成，能吐水）等。

②内部的分泌结构　这类结构埋藏在植物体的薄壁组织中，分泌物积聚于细胞腔内或细胞间隙中，常见的有分泌细胞、分泌腔、分泌道和乳汁管。玉兰等花瓣有香气是因为其中有油细胞，能分泌芳香油。橘子果皮上可见到透明的小点就是分泌腔，能分泌芳香油。松柏类植物的茎、叶等器官中的树脂道和漆树韧皮部中的漆汁道都是分泌道。树脂道分泌松脂，漆汁道分泌漆液，这两种分泌物都是重要的工业原料。橡胶树茎中的乳汁管，所分泌的汁液能制作橡胶。

二、复合组织

植物体内多种组织按一定的方式和规律相结合，就构成了复合组织。维管组织就是由原形成层分裂分化和形成的几种组织共同构成的复合组织，也是高等植物特有的组织。此外还有表皮、周皮、树皮、木质部和韧皮部等都属于复合组织。

（一）维管组织的组成

维管组织又称维管束，由木质部和韧皮部两部分构成。

1．韧皮部　韧皮部由筛管（或筛胞）、伴胞、韧皮纤维与韧皮薄壁细胞共同构成，其功能是：①筛管和伴胞能运输有机物质，是可以同时双向的。叶光合作用制成的有机分子通过韧皮部而运输到根部和茎部保存，或运到生长中的分生组织供生长之用。根部储藏的大分子有机物经水解成小分子后，也通过韧皮部而向上运输到茎、叶、果实等部位。②有支持作用。

2．木质部　木质部由管胞、导管、木纤维和木薄壁细胞共同构成，其中的管胞和导管能运输根所吸收的水与溶解在水中的无机盐到地上部分，单向运输。同时也具有支持的作用。

（二）维管束的主要类型

1．根据维管束中有无形成层，将维管束分为有限维管束和无限维管束。有限维管束只有木质部和韧皮部而不存在束内形成层，故这类维管束不能增粗。如多数单子叶植物中的维管束。无限维管束的木质部和韧皮部之间存在束内形成层，这类维管束能通过束内形成层的分生活动，产生次生木质部和次生韧皮部，从而增粗。如裸子植物和多数双子叶植物中的维管束。

2．根据木质部和韧皮部的位置和排列，将维管束分为以下四种类型（图6-1-7）。

（1）外韧维管束　韧皮部排列在外（指靠近植物体表），木质部排列在内，两者并生成束。种子植物一般都具有这种类型的维管束。这类维管束又可分为有限外韧维管束和无限外韧维管束。



图6-1-7　维管束类型图解

（2）双韧维管束　木质部的内、外方各有一并生的韧皮部，如瓜类、茄类、马铃薯、甘薯等的茎具有双韧维管束。

（3）同心维管束　维管束的木质部围绕着韧皮部或韧皮部围绕着木质部，呈同心排列的束。前者称为周木维管束，后者称为周韧维管束。芹菜茎的髓部和少数单子叶植物的根状茎中有周木维管束；被子植物的花以及蕨类植物的根状茎中，都有周韧维管束。

（4）辐射维管束　根的初生结构中，木质部呈若干辐射角，韧皮部间生于木质部的辐射角之间，二角交互排列，不相连接。

三、组织系统

植物的每一器官都由一定种类的组织构成。具有不同功能的器官中，组织的类型和排列的方式都可能不同。然而，植物是一个有机的整体，各个器官除了具有功能上的相互联系外，同时在它们的内部结构上也必然具有连续性和统一性，在植物学上为了强调这一观点，采用了组织系统这一概念。一个植物整体，或一个器官上的一种组织，或几种组织在结构和功能上组成一个单位，称为组织系统。

维管植物的主要组织可归并成三种组织系统，即皮组织系统、维管组织系统和基本组织系统，分别简称为皮系统、维管系统和基本系统。皮系统包括表皮和周皮，它们覆盖于植物体各器官的表面，形成一个包裹整个植物体的连续的保护层。维管系统包括输导有机养料的韧皮部和输导水分和无机盐的木质部，它们连续地贯穿于整个植物体内，把生长区、发育区与有机养料制造区和储藏区连接起来。基本系统主要包括各类薄壁组织、厚角组织和部分厚壁组织，它们是植物体各部分的基本组织。植物整体的结构表现为维管系统包埋于基本系统之中，而外面又覆盖着皮系统。各个器官结构上的变化，除表皮或周皮是始终包被的最外层外，主要表现在维管组织和基本组织分布上的差异。

【例题解析】

例1　下列哪个形态特征不属于筛管所具有（　　）

A．长形的生活细胞

B．组织分子相连的横壁形成筛板

C．细胞成熟后，细胞核消失

D．细胞特化过程中，次生壁不均匀加厚，原生质逐渐解体

解析　筛管分子是活细胞，成熟后核消失，上下两相邻的筛管分子之间存在筛板。细胞特化过程中，次生壁不均匀加厚，原生质逐渐解体的是导管。

答案　D

例2　大多数植物的代谢活动在哪一种组织中进行（　　）

A．表皮组织

B．厚壁组织

C．厚角组织

D．薄壁组织

解析　表皮组织只存在于植物体的表面，并且植物地上部分的表皮组织细胞的外壁往往都有不同程度的角质化，因此总的代谢水平就不高。厚壁组织细胞是没有生命的。厚角组织在植物体内分布很有限，细胞数量不多。薄壁组织细胞分布很广，细胞数量无论在哪个器官都是最多的，并且每个细胞的代谢又旺盛，因此薄壁组织是大多数植物体中代谢活动的主要场所。

答案　D

例3　存在于植物顶端分生组织细胞壁的成分是（　　）（多选题）

A．纤维素

B．半纤维素

C．木质素

D．果胶质

E．胼胝质

解析　植物细胞壁的中胶层成分主要是果胶质；初生壁的主要成分是纤维素、半纤维素和果胶质；次生壁含有纤维素和少量的半纤维素，以及特有的木质素、角质、栓质或矿质等。胼胝质是在生长季后期，沿着筛板上筛孔的四周，围绕联络索逐渐积累的一种特殊碳水化合物（β-1，3葡聚糖）。植物顶端分生组织的细胞壁只存在中胶层和初生壁。

答案　ABD

例4　能使植物茎长长的分生组织是（　　）（多选题）

A．顶端分生组织

B．居间分生组织

C．侧生分生组织

D．次生分生组织

解析　顶端分生组织含有原分生组织和初生分生组织，居间分生组织属于初生分生组织，原分生组织和初生分生组织细胞主要进行横向分裂，使植物长长。侧生分生组织有维管形成层和木栓形成层，其中的束间形成层和木栓形成层都属于次生分生组织，束中形成层属于初生分生组织，细胞主要进行切向分裂，使植物根、茎横向增粗。

答案　AB

【针对训练】

（一）单选题

1．植物组织是指（　　）

A．形态和机能完全相同的细胞群

B．形态相似、机能一致的细胞群

C．形态相同、机能不同的细胞群

D．形态和机能完全不同的细胞群

2．根尖结构中，根冠细胞组成的组织类型是（　　）

A．保护组织

B．营养组织

C．分生组织

D．机械组织

3．小麦拔节过程中起重要作用的是（　　）

A．原生分生组织

B．顶端分生组织

C．侧生分生组织

D．居间分生组织

4．属于成熟组织的细胞是

A．叶肉细胞

B．茎表皮细胞

C．果肉细胞

D．木纤维及以上三个选项

5．下列细胞可能会发生脱分化的是（　　）

A．原分生组织

B．幼嫩茎的成熟薄壁细胞

C．筛管分子

D．木纤维

6．能使竹笋迅速长高的最主要组织是（　　）

A．原分生组织

B．初生分生组织

C．次生分生组织

D．顶端分生组织

7．白菜具有吸收能力和控制气体交换的组织分别是下列的（　　）

A．保护组织和通气组织
B．输导组织和通气组织
C．保护组织和保护组织
D．薄壁组织和分泌组织
8．兼有支持和输导作用的是（　　）
A．厚角组织
B．厚壁组织
C．输导组织
D．分泌组织
9．具有有限维管束、双韧维管束和同心维管束的是下列的（　　）
A．甘蔗的叶脉、甘薯的茎和白菜的花
B．水稻的茎、玉米的根和芹菜的茎
C．大豆的根、南瓜的茎和蕨的根状茎
D．小麦的叶鞘、茄的茎和向日葵的茎
10．植物维管束中的导管在执行其功能时（　　）
A．是死的，有次生壁加厚
B．是活的，只是细胞壁木质化了
C．是活的，只有其核仁消失了
D．是活的，只有一个大液泡
11．壁厚、没有弹性且又细又长没有活性的细胞是（　　）
A．木纤维
B．韧皮纤维
C．导管
D．筛管
12．显微镜是观察动、植物切片和微生物的工具，评价一台显微镜首选的因素是（　　）
A．物镜和目镜倍数
B．清晰度
C．有名厂家
D．零件、功能齐全
13．南瓜的维管束为（　　）
A．外韧维管束
B．双韧维管束
C．周韧维管束
D．周木维管束

14．有限外韧维管束是贯串在（　　）
A．蕨类植物茎
B．双子叶植物茎
C．裸子植物茎
D．单子叶植物茎
15．在方形（如蚕豆）或多棱形（如芹菜）的茎中，棱角部分常分布有（　　）
A．厚角组织
B．厚壁组织
C．输导组织
D．木纤维
（二）多选题
1．下列说法中正确的是（　　）
A．单细胞生物是在单个细胞范围内发展了全部结构和功能而成的生物体
B．高等植物的导管和管胞，筛管和筛胞具有双向运输的特点
C．导管分子的次生壁加厚是不均匀的
D．厚角组织和厚壁组织细胞，次生壁不仅加厚的部分不同，而且成分也不同，前者不木质化，而后者木质化程度很高，尤其是木本植物
E．蕨类和裸子植物大多只有管胞和筛胞，没有导管和筛管；被子植物内主要有导管、筛管和伴胞，但也有管胞
2．根尖的顶端分生组织含有（　　）
A．原分生组织
B．初生分生组织
C．次生分生组织
D．侧生分生组织
3．在下列植物细胞中没有原生质的是（　　）
A．保卫细胞
B．韧皮纤维
C．厚角细胞
D．筛管分子
E．管胞细胞
4．下列细胞中没有次生壁的是（　　）
A．栅栏组织细胞
B．大米细胞

C．石细胞
D．筛胞
E．叶片表皮细胞
5．在一颗植物体的同一系统内各部分联为一体的是（　　）
A．皮系统
B．维管系统
C．基本组织系统
D．生殖系统
6．在根的下列结构中可以使根长粗的是（　　）
A．根尖生长点
B．根的维管形成层
C．根的木栓形成层
D．中柱鞘细胞
7．筛管分子最明显的特征是（　　）
A．侧壁具筛域
B．具核的生活细胞
C．端壁具筛板
D．次生壁加厚成螺纹、网纹和梯纹等形式

【参考答案】

（一）单选题

1．B　2．A　3．D　4．D　5．B　6．B　7．C　8．C　9．A　10．A　11．A　12．A　13．B　14．D　15．A

（二）多选题

1．ACDE　2．AB　3．BE　4．AB　5．ABC　6．BC　7．AC

第2讲　植物的营养器官

（温州中学　苏宏鑫）

【知识梳理】

一、根

（一）根和根系

1．根的类型　种子植物的根有主根、侧根和不定根之分。种子植物的第一条根，由种子中的胚根发育形成，称为主根（图6-2-1）或初

生根，可见一棵植物只有一个主根。主根生出许多分枝，称为侧根或次生根。侧根还可以进一步生出侧根。植物体在主根和侧根以外的部分，如茎、叶、胚轴或老根上产生的根统称为不定根。这样，主根及其侧根就是定根。

2．根系　一棵植物根的总和称为根系（图6-2-1）。由种子发育来的裸子植物和大多数双子叶植物的植株根系有明显的主根和侧根之分，称为直根系。在单子叶植物中，由胚根发育形成的主根只生长很短的时间便停止生长，然后在胚轴或茎基部长出许多不定根，因而所有根的粗细相近，没有明显的主根，这种根系称为须根系。

一般地，直根系由于主根长，可以向下生长到较深的土层中，形成深根系；须根系由于主根短，侧根和不定根向周围发展，形成浅根系。但根系的分布除受根系本身的特性以外，还受土、肥、水、气及光等因素的影响。根系在土壤中的生长具有向水性、向肥性和向地性生长的特点。



棉花的直根系



小麦的须根系

图6-2-1　植物的根系

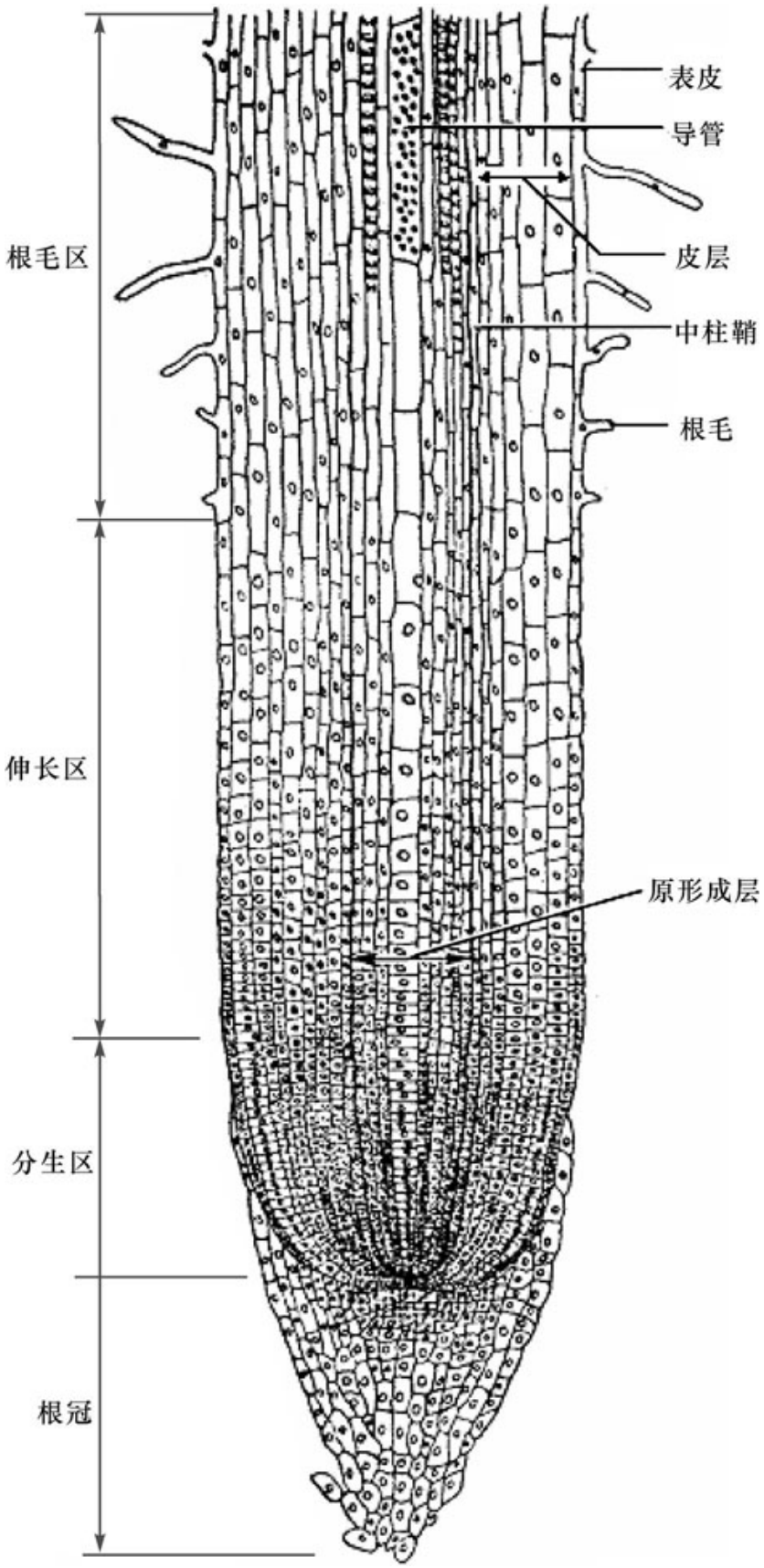

表皮
导管
皮层
中柱鞘
根毛
原形成层
根毛区
伸长区
分生区
根冠

图6-2-2　大麦根尖纵切面各分区的细胞结构

（二）根的初生生长和初生结构

1．根尖及其分区　根尖是指从根的顶端到着生根毛的部分。根尖从顶端到着生根毛的区域被分为四个部分：根冠、分生区、伸长区和成熟区（图6-2-2），总长度为1～5cm。

（1）根冠　根冠像帽子一样套在分生区外面。根冠由许多薄壁细胞构成，外层排列疏松，细胞壁常黏液化。根冠的发育受环境条件的影响，如将正常生长在土壤中的植物进行水培后，有些植物根尖上可能不再产生根冠。根冠的作用主要表现在以下三个方面：①保护根尖免受土壤颗粒的磨损；②根冠外层分泌的黏液可以促进周围细菌迅速生长而有助于土壤基质中营养物质的释放，帮助营养物质的吸收；③根冠可以感受重力，参与控制根的向重力性反应。

（2）分生区　分生区全部由顶端分生组织细胞构成。在植物的一生中，分生区产生的细胞一部分补充到根冠；大部分细胞进入根后方的伸长区，分化形成根的各部分结构；同时，仍有一部分分生细胞保持分裂能力。

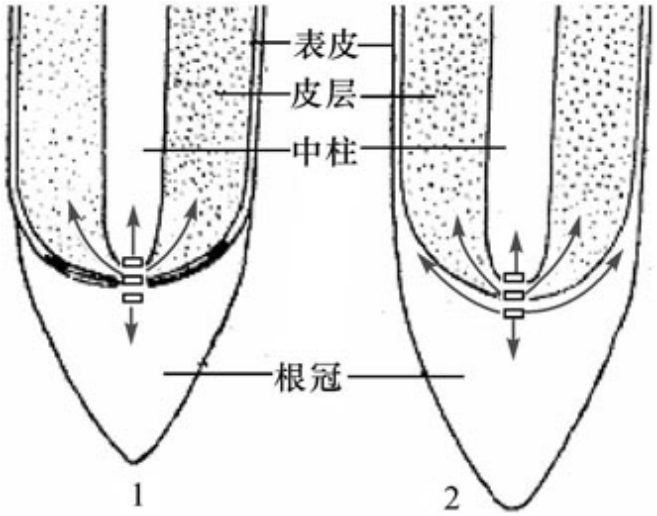


图6-2-3　根尖顶端分生组织的结构和衍生关系图解

1．大麦、玉米根尖的原始细胞：第一层产生原形成层，第二层产生基本分生组织和原表皮，第三层产生根冠；2．烟草根尖的原始细胞：第一层产生原形成层，第二层产生基本分生组织，第三层产生原表皮和根冠

根的分生区由原分生组织和初生分生组织两部分组成（图6-2-3），并且原分生组织通过分裂产生初生分生组织。根据其中细胞的位置、大小、形状及液泡化程度的不同，将根的初生分生组织划分为原

表皮、基本分生组织和原形成层三个部分。原表皮细胞砖形，径向分裂，以后发育形成表皮。基本分生组织细胞多面体形，可以进行各个方向的分裂，以后形成皮层。原形成层细胞小，有些细胞为长形，位于中央区域，以后发育形成维管柱。

（3）伸长区　伸长区细胞来源于分生区的初生分生组织，细胞多已停止分裂，突出的特点是细胞显著伸长，液泡化程度加强，体积增大并开始显著分化。最早的筛管和环纹导管，往往在伸长区开始出现。根尖的伸长主要是由于伸长区细胞的延伸，使得根尖不断向土壤深处推进。

（4）成熟区　成熟区由伸长区细胞继续分化形成，该区的各部分细胞停止伸长，分化出各种成熟组织。表皮细胞膜通常向外突出产生根毛，因此又称根毛区。根毛的生长速度快，数目多，每平方毫米可达数百根，如玉米约为425根，根毛的存在扩大了根的吸收表面。根毛的寿命很短，一般10～20天死亡，表皮细胞也同时随之死亡。随根尖的生长，根毛区不断进入土壤中新的区域，使根毛区能够更换环境，利于根的吸收。

2．根的初生生长和初生结构　根尖的成熟区已分化形成各种成熟组织，这些组织是由顶端分生组织的细胞，经分裂、生长、分化直接形成的结构，被称之为根的初生结构，这种由顶端分生组织的活动所进行的生长称为初生生长。初生生长只表现出根的长长。在根尖的根毛区作横切面，可观察根的初生结构，由外而内可分为：表皮、皮层和维管柱三个部分（图6-2-4）。

（1）表皮　表皮是根最外面的一层细胞，来源于原表皮，从横切面上观察，细胞为砖形，排列整齐紧密，无胞间隙，外切向壁上具有薄的角质膜，壁仍表现为全透性。有些表皮细胞特化形成根毛，具有吸收功能。在热带某些附生的兰科植物的气生根上可以看到根被，即复表皮，由几层细胞构成。根被由表皮原始细胞衍生，是一种保护组织，可以减少气生根水分的丧失。

（2）皮层　表皮之内，维管柱之外的多层薄壁细胞为皮层，来源于基本分生组织，细胞较大并高度液泡化，排列疏松有明显的胞间隙。如果在表皮之下有一到几层细胞，排列紧密，没有胞间隙，叫外皮层，但很多植物根的外皮层不明显。

皮层的最内一层细胞叫内皮层（图6-2-4，5），细胞排列整齐而紧密，在细胞的上、下壁和径向壁上，常有木质化和栓质化的加厚，呈带状环绕细胞一周，称凯氏带。在横切面上，凯氏带在相邻细胞的径向壁上呈点状，叫凯氏点。凯氏带不透水也不透矿质离子，并与质

膜紧密结合在一起，阻止了水分和矿物质通过内皮层的壁进入内部，水及溶解在其中的物质只能通过内皮层细胞的原生质体进入维管柱，因而接受选择。

一般具有次生生长的双子叶植物、裸子植物的内皮层常停留在凯氏带状态，细胞壁不再继续增厚；而大多数的单子叶植物和部分的双子叶植物，其内皮层细胞壁在发育的早期为凯氏带形式，以后进一步发育形成五面加厚的细胞，即内皮层细胞的上、下壁，左、右径向壁和内切向壁全面加厚，在横切面上内皮层细胞壁呈马蹄形，如玉米（图6-2-8）、水稻、小麦、鸢尾等单子叶植物的根；在细胞壁增厚的内皮层中留有薄壁的通道细胞，并正对原生木质部的脊，以此控制物质的转运。个别植物有六面加厚的情况，即内皮层的细胞壁全面加厚，如毛茛（图6-2-6）。

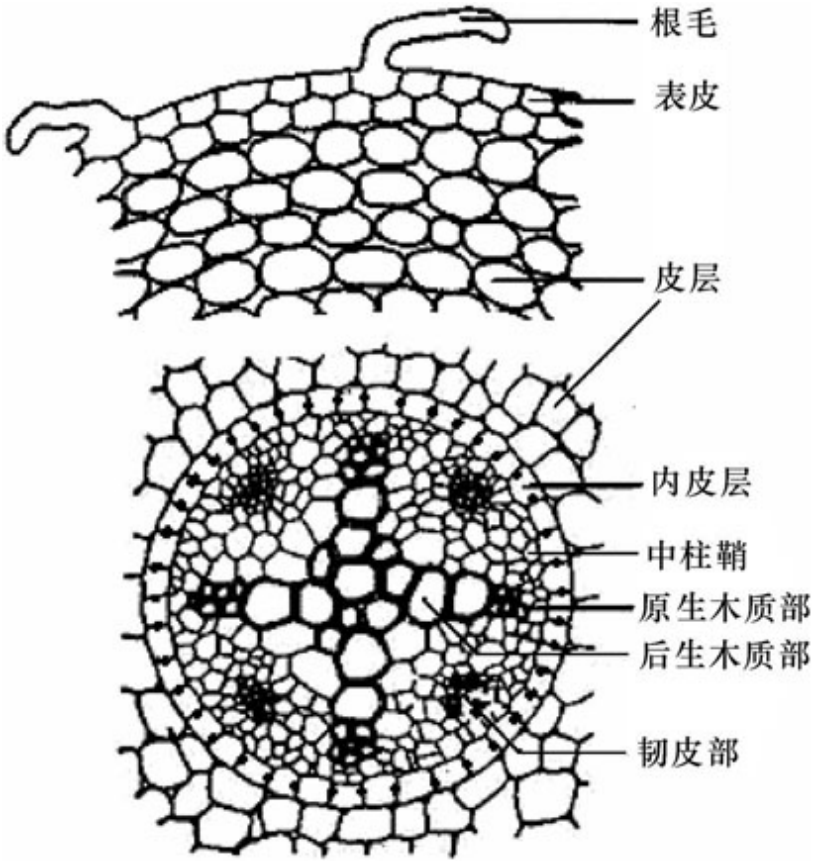


图6-2-4　双子叶植物幼根初生结构模式图

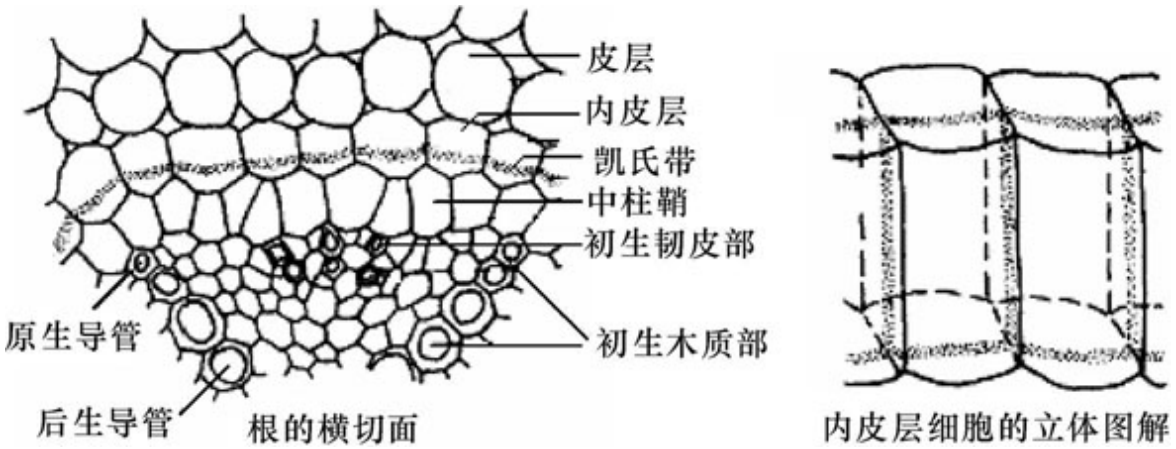


图6-2-5　内皮层结构

（3）维管柱　维管柱亦称中柱，来源于初生分生组织的原形成层，位于根的中央部分，由中柱鞘和维管组织构成。初生维管组织由初生木质部和初生韧皮部构成，如图6-2-4，6，7，8。

①中柱鞘　紧接内皮层细胞之下的一层薄壁细胞是中柱鞘，偶有两层或多层细胞的情况。其细胞排列整齐，分化程度比较低，属于G_0期细胞，可以脱分化恢复分裂的能力，与以后维管形成层、木栓形成层、不定芽、不定根和侧根的发生有关。

②初生木质部　维管柱的中央部分为初生木质部，呈星芒状，脊状突起一直延伸到中柱鞘。细胞组成主要为导管和管胞，少有木纤维和木薄壁细胞。

一般在初生木质部外侧的管状分子孔径小，多为环纹和螺纹导管，而中央部分孔径大，多为梯纹、网纹和孔纹导管。外侧管状分子的孔径小，是由于在木质部分化发育过程中更早发育成熟，故称原生木质部；而中央部分管状分子的孔径大，是由于发育生长的时间更长，成熟和死亡更晚，所以被称为后生木质部。像初生木质部分子这样，由外向内渐次成熟的发育方式称为外始式发育。初生木质部的这种结构和发育方式与根的吸收和输导功能相一致。

在根的横切面上，木质部表现出不同的辐射棱角，称木质部脊。脊的数目决定原型，依脊的数目将根分为二原型、三原型、四原型、五原型、六原型和多原型。一般双子叶植物根的木质部脊的数目比较少，而单子叶植物根中木质部脊数都在六或六个以上，故为多原型（图6-2-8）。

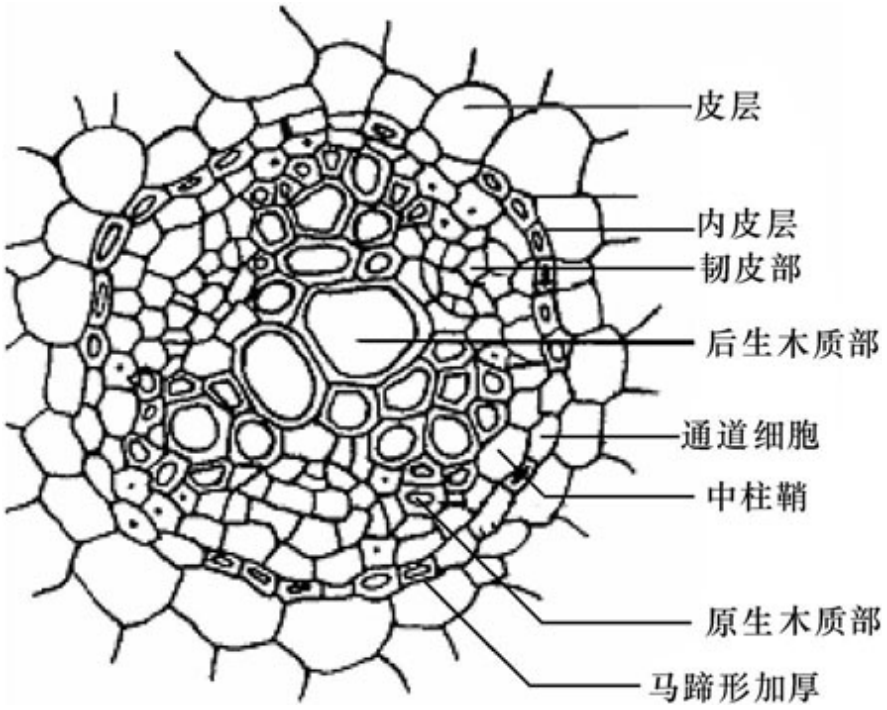


图6-2-6　毛茛根横切

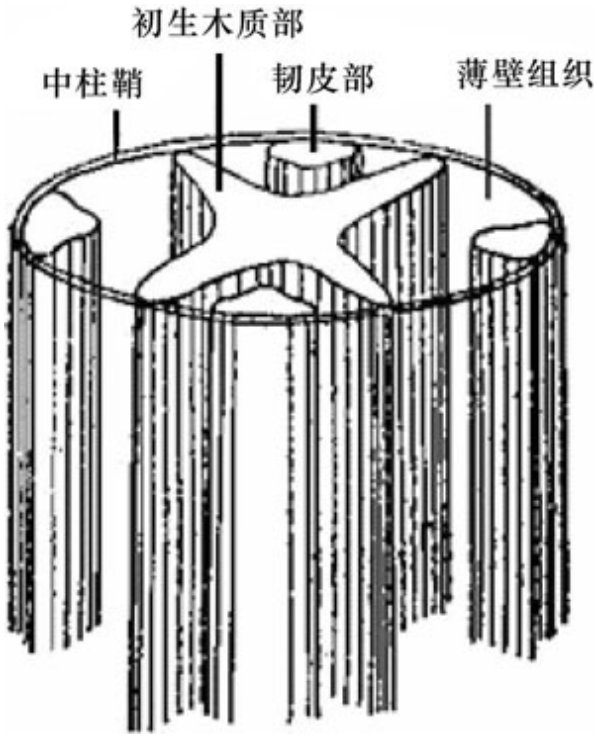


图6-2-7　根的维管结构的立体图解

③初生韧皮部　初生韧皮部位于木质部两脊之间，与初生木质部相间排列，因此其数目与木质部脊数相同。其组成成分主要是筛管与

伴胞，亦有少数韧皮薄壁细胞，有些植物中还含有韧皮纤维。初生韧皮部的发育方式与初生木质部一样，也是外始式发育。

初生木质部与初生韧皮部之间有一层到几层细胞，在双子叶植物和裸子植物中，是原形成层保留的细胞，将来成为形成层的组成部分；而在单子叶植物中两者之间为分化成熟的薄壁细胞。

根中一般无髓，但在大多数单子叶植物和少数双子叶植物的维管柱中以薄壁细胞或厚壁细胞构成其中心部分，被称之为髓，如玉米的根（图6-2-8）。

（三）侧根的发生

1．侧根发生的过程（图6-2-9，10）　种子植物的侧根，起源于中柱鞘，内皮层可以不同程度参与侧根的形成。由于这种起源发生在皮层以内的中柱鞘，故被称之为内起源。当侧根开始发生时，中柱鞘的某些细胞脱分化；最初的几次分裂是平周分裂，使细胞的层数增加并向外突起，以后的分裂是各个方向的，从而使突起进一步增大，形成了根冠和根的生长点，这就是侧根原基，以后生长点的细胞进行分裂、生长和分化，侧根不断向前推进。

2．侧根发生的位置　侧根在母根组织中的位置，在同一种植物中常常是稳定的，这与中柱鞘细胞有一定的关系。不是所有的中柱鞘细胞都能产生侧根，在二原型根中，侧根在韧皮部与木质部之间产生；在三原型和四原型根中，侧根的发生在木质部脊的位置；而在多原型根中侧根的发生正对着韧皮部（图6-2-11）。

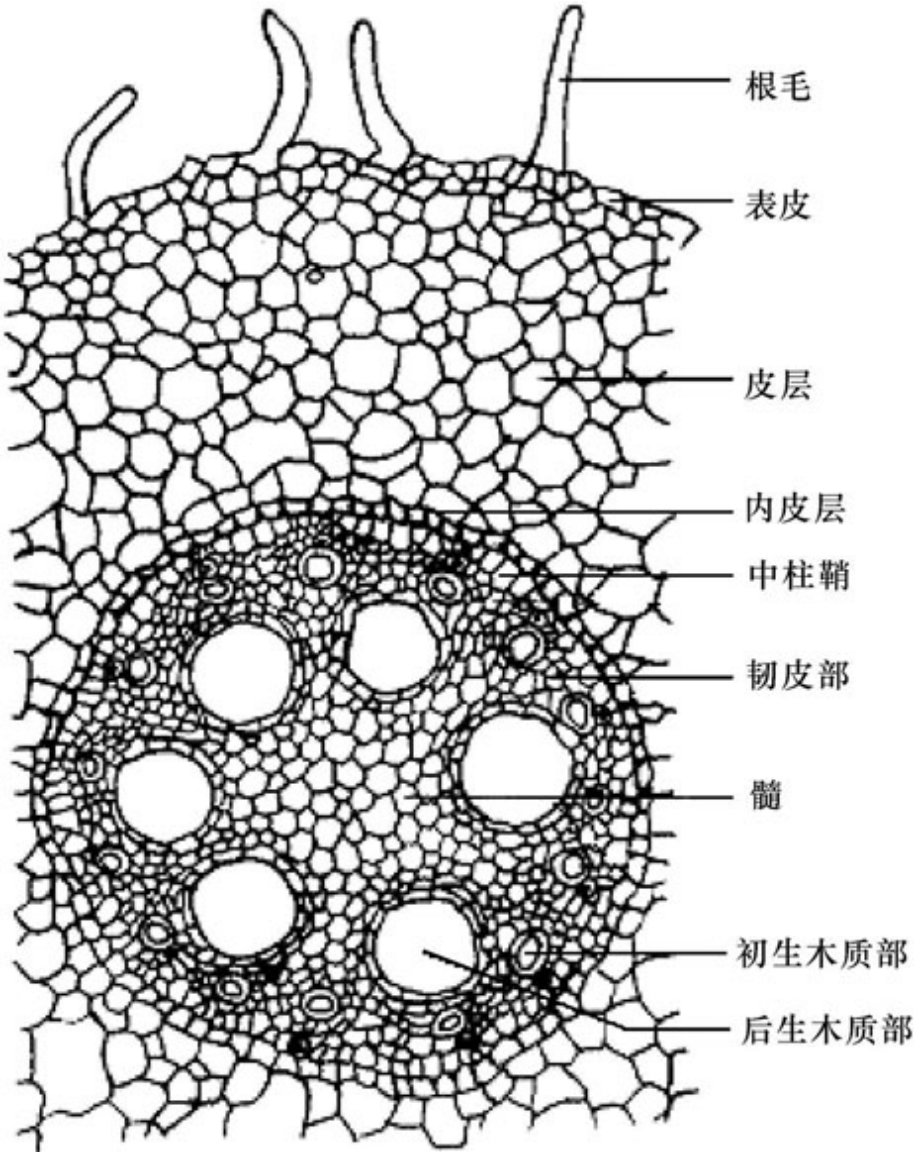


图6-2-8　玉米根的横切面

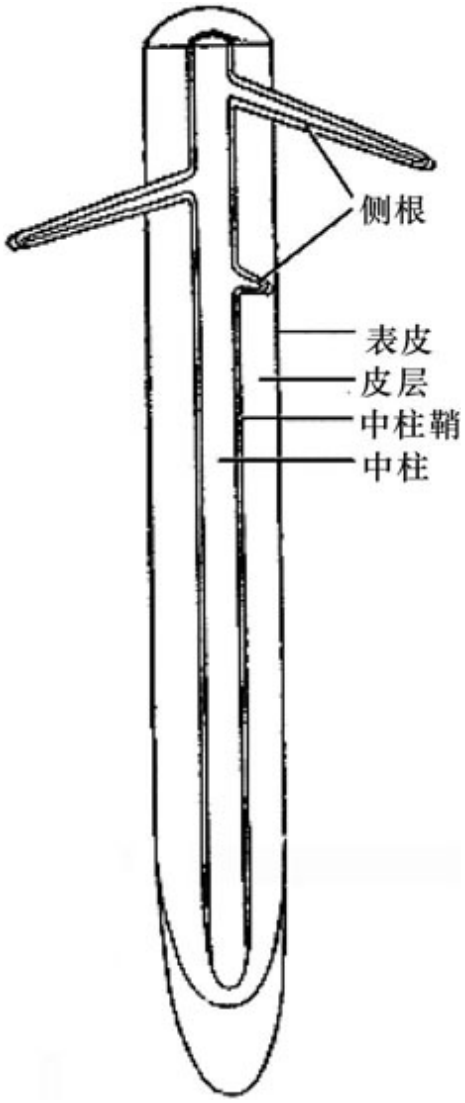


图6-2-9　侧根发生图解

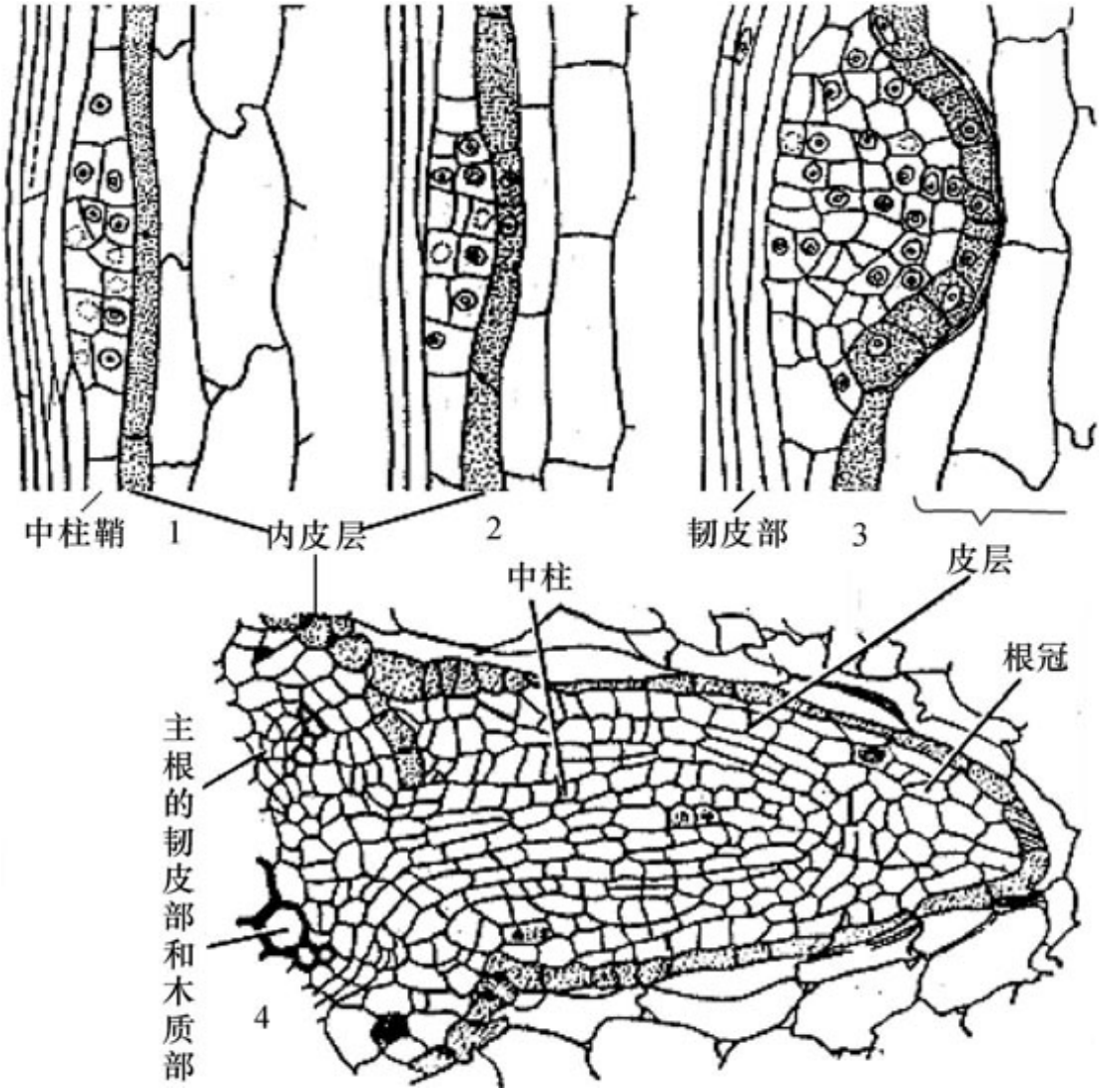


图6-2-10　胡萝卜侧根发生的顺序（1～4）

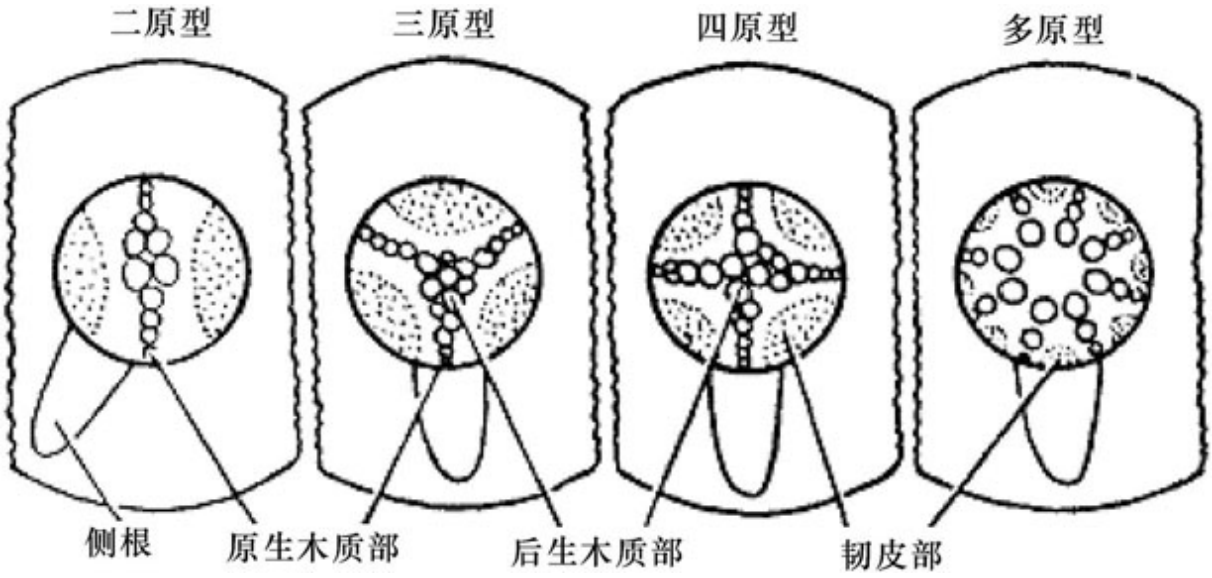


图6-2-11　不同原型的根中侧根发生位置图解

（四）根的次生生长与次生结构

根的次生生长是根的侧生分生组织活动的结果。侧生分生组织一般分为两类：维管形成层和木栓形成层。维管形成层产生次生维管组织，木栓形成层形成周皮，结果使根加粗。一般单子叶植物和一年生草本双子叶植物的根只有初生生长，没有次生生长；而裸子植物和木本双子叶植物的根，在初生生长结束后，经过次生生长，形成次生结构。根的次生生长只表现为根的长粗。

1．维管形成层的产生与活动　根的维管形成层首先产生于根的初生木质部和初生韧皮部之间保留的一层原形成层细胞，它们恢复分裂能力，进行平周分裂。因此开始时，维管形成层呈条状，几原型的根即有几条，如在四原型的根中就有四条维管形成层。由木质部凹陷处向两侧直至脊处的部分细胞先后恢复分裂能力，最后位于木质部脊处的中柱鞘细胞也脱分化，参与形成层的形成，使条状的维管形成层片段相互连接成一圈，完全包围了中央的木质部，最终成了形成层环。最初的形成层环形状与初生木质部相似，以后由于位于韧皮部内侧的那部分维管形成层产生早、分裂快，所产生的次生木质部的细胞数量多，把凹陷处的形成层环向外推移，使整个形成层环最终成为一个圆环（图6-2-12）。实际上，维管形成层只有一层细胞，只是因为刚分裂产生的新细胞分化程度不高，因而似乎有多层扁平的细胞组成的“形成层区”。

维管形成层出现后，主要进行平周分裂。向内分裂形成次生木质部，加在初生木质部外方；向外分裂产生次生韧皮部，加在初生韧皮

部内方，两者合称次生维管组织。由于这一组织是由维管形成层活动产生的，区别于顶端分生组织形成的初生结构而被称之为次生结构。多数植物形成层活动产生的次生木质部数量远远多于次生韧皮部，因此在横切面上次生木质部所占比例要比次生韧皮部大得多。形成层细胞除进行平周分裂外，还有少量的垂周分裂，增加本身细胞数目，使圆周扩大，以适应根的增粗。

2．木栓形成层的产生与活动　维管形成层的活动使根长粗，中柱鞘以外的成熟组织被破坏，这时根的中柱鞘细胞恢复分裂能力，形成木栓形成层。有些植物和多年生草本植物的木栓形成层可在皮层发生。木栓形成层进行平周分裂，向外分裂产生木栓层，向内分裂产生栓内层，三者共同组成周皮，代替外皮层起保护作用，为次生保护组织。木栓层细胞成熟时为死细胞，壁栓质化，不透水，不透气，细胞排列紧密，使外方的组织营养断绝而死亡。

根中最早形成的木栓形成层起源于中柱鞘细胞，但木栓形成层是有一定寿命的，活动一年或几年后停止活动，新的木栓形成层在周皮以内起源，并逐渐向内推移最终可由次生韧皮部薄壁细胞脱分化形成木栓形成层。

3．根的次生结构　根的维管形成层与木栓形成层的活动形成了根的次生结构（图6-2-13）。主要包括周皮、次生韧皮部、次生木质部、维管形成层和维管射线。在根的次生结构中，最外侧是起保护作用的周皮。在被子植物中，次生木质部的细胞组成为导管、管胞、木纤维和木薄壁细胞，导管大多是梯纹、网纹和孔纹的；次生韧皮部呈连续的筒状，其组成为筛管、伴胞、韧皮纤维和韧皮薄壁细胞，这时初生韧皮部只含有纤维和贮藏薄壁细胞，老的筛管已被挤毁。在次生结构中，出现了维管射线，为径向排列的薄壁细胞，起横向运输的作用。维管射线在木质部的部分称木射线，在韧皮部的部分称韧皮射线。在相邻两个维管束之间是薄壁的髓射线。

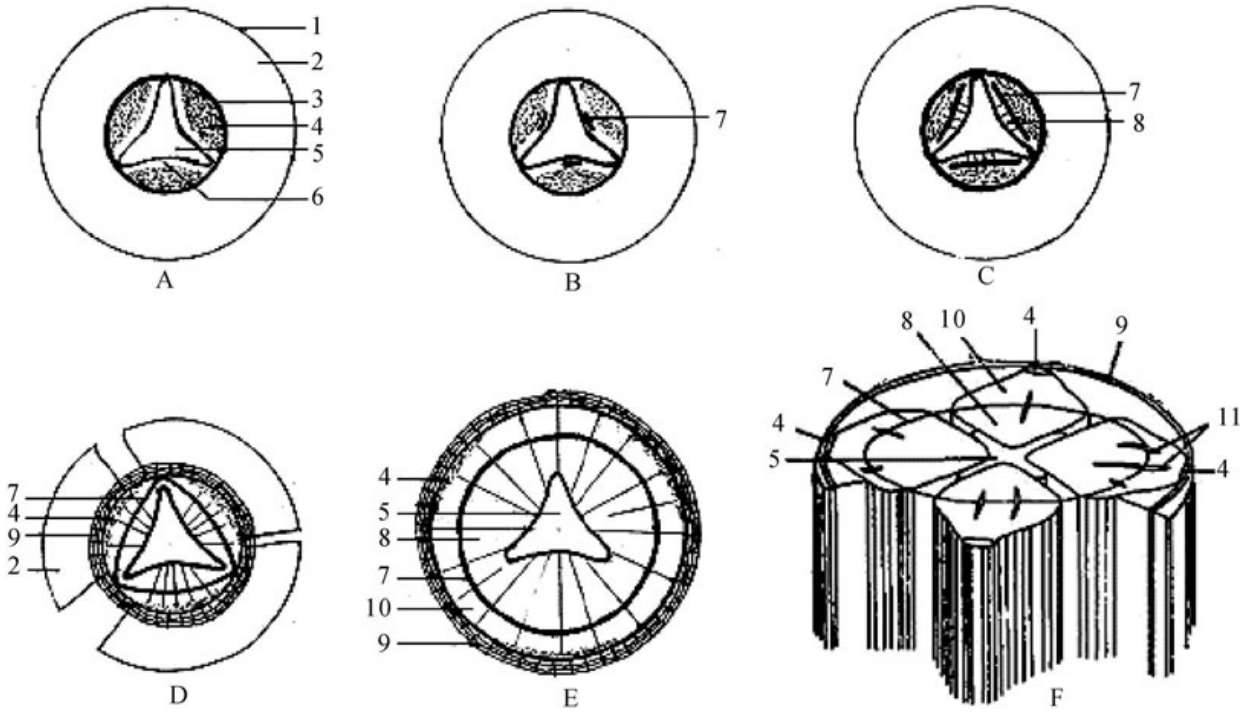


图6-2-12　根的次生生长过程模式图

A．初生结构　B．维管形成层开始发生　C．维管形成层继续发生和产生部分次生结构　D．维管形成层环形成，中柱增粗，皮层和表皮部分裂开和脱落，木栓形成层发生　E．次生结构　F．根的次生结构立体图

1．表皮　2．皮层　3．中柱鞘　4．初生韧皮部　5．初生木质部　6．原形成层　7．维管形成层　8．次生木质部　9．周皮　10．次生韧皮部　11．维管射线

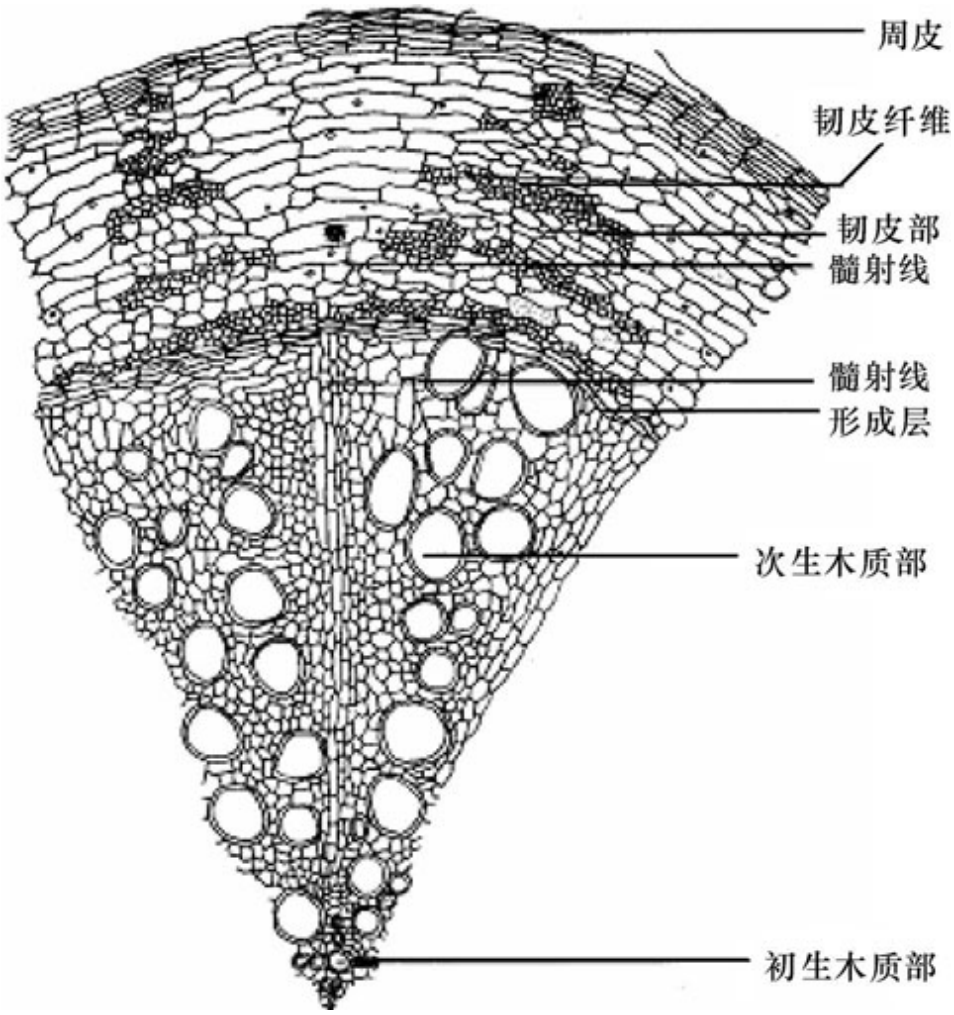


图6-2-13　棉老根次生结构

综上所述，根的生长和结构可归纳为图6-2-14。

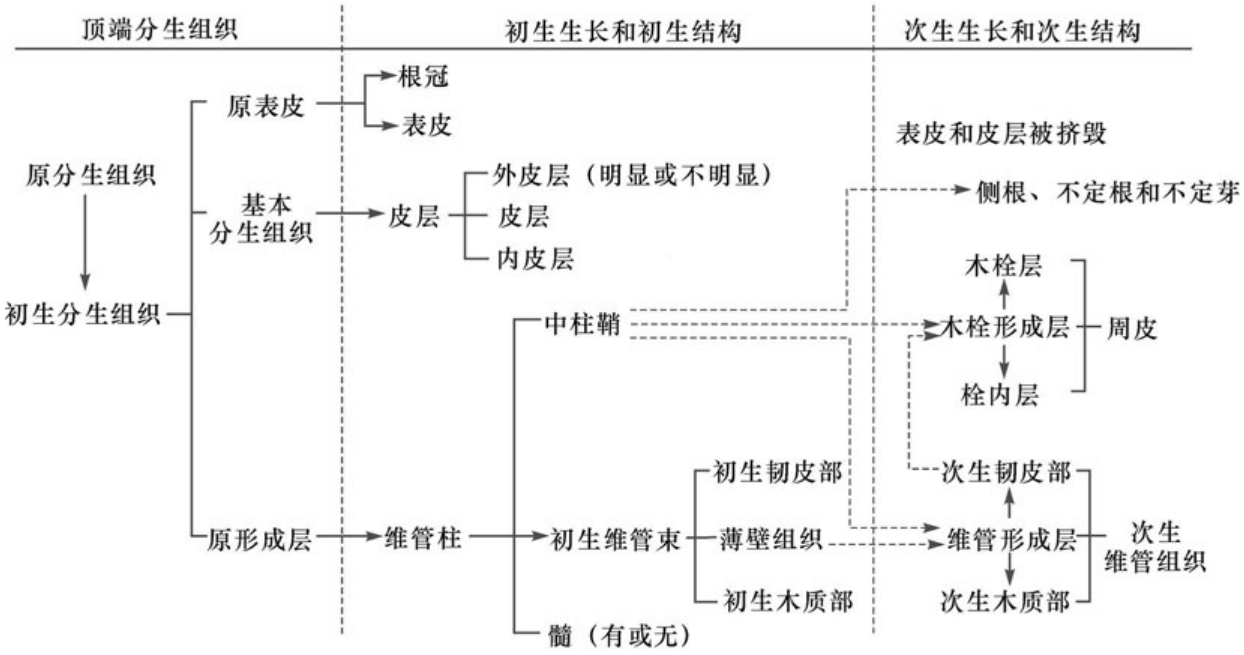


图6-2-14　根的结构的发育来源图解

（五）根瘤和菌根

1．根瘤　根瘤是植物地下部分的瘤状突起，在豆科植物中发现较多，是土壤中的根瘤菌侵入到根内而产生的共生体。根瘤的形成和大小由于植物种类不同而形态各异（图6-2-15）。

共生菌有根瘤菌和放线菌中的固氮菌，前者与豆科植物共生，后者能与非豆科植物共生，如木麻黄、罗汉松和杨梅等100多种植物。根瘤菌的最大特点是具有固氮作用，根瘤菌中的固氮酶能将空气中的N_2转变为氨，供给植物生长发育的需要，同时也可以从根的皮层细胞中吸收其生长发育所需的水分和养料。根瘤菌和豆科植物的共生是有选择的，例如大豆根只能与大豆根瘤菌共生而形成根瘤。

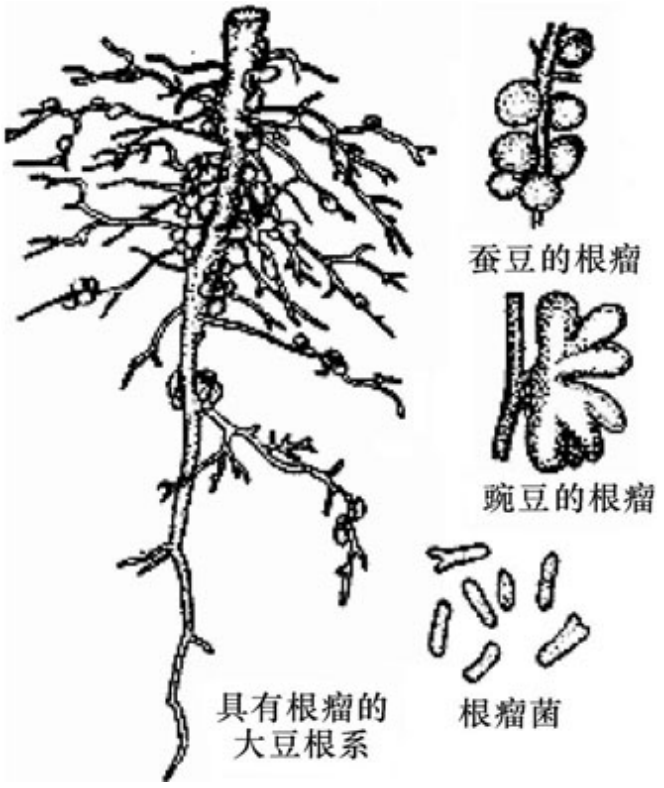


图6-2-15　根瘤菌与根瘤

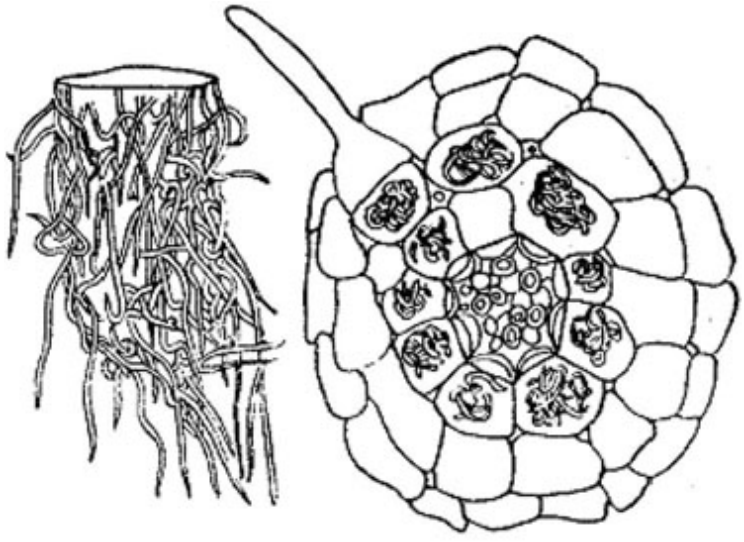


图6-2-16　菌根

2．菌根　菌根为植物与土壤中的真菌形成的共生体，菌根主要有两种类型：即外生菌根和内生菌根，如图6-2-16。真菌与高等植物共

生，能够加强根的吸收能力，把菌丝吸收的水分、无机盐等供给绿色植物使用，以帮助植物生长；同时还能产生植物激素和维生素B等刺激根系的发育，分泌水解酶类，促进根周围有机物的分解，从而对高等植物的生长发育有积极作用，而高等植物把它所制造的糖类及氨基酸等有机养料提供给真菌，以满足真菌生长发育的需要。

（六）根的功能

根是在长期进化过程中适应陆地生活发展起来的器官，它具有吸收水肥、固着和支持、合成、贮藏和繁殖等功能。根最重要的功能就是主要由根毛和幼嫩的表皮从土壤中吸收水分和溶解在水中的各种营养物质，包括土壤中的水和多种无机离子，以及氨基酸、蔗糖、某些抗生素和维生素等有机物。庞大的根系将植物体固着在土壤中，使茎叶系统能立于地表之上以最大的可能吸收太阳光。根能合成许多重要的有机物质，如多种氨基酸、植物激素、植物碱等，这些物质可通过韧皮部运往植物体的地上部分并供生长发育所用。根的薄壁组织发达，是贮藏物质的场所，如甘薯、萝卜、胡萝卜等的根特别肥大，肉质化。有的植物根能产生不定芽并发育成新的植株。

（七）根的变态

1．贮藏根　贮藏根的主要功能是贮藏大量的营养物质，因此其根常肉质化，根据来源不同而被分为肉质直根和块根两大类。

（1）肉质直根　肉质直根主要由主根发育而成（图6-2-17）。一棵植株上只有一个肥大的直根，常常还包括下胚轴和节间极度缩短的茎。如胡萝卜、萝卜、甜菜和人参等的肉质直根，它们在外形上极为相似，但加粗的方式和贮藏组织的来源却不同。胡萝卜根的增粗主要是由于维管形成层活动产生了大量的次生韧皮部；萝卜根的增粗主要是产生了大量次生木质部的缘故；甜菜根的增粗是一种异常生长的状态，在正常的形成层之外，来源于中柱鞘和韧皮部的同心圆排列的形成层向内、向外分别产生木质部和韧皮部，其中含有大量的薄壁组织。

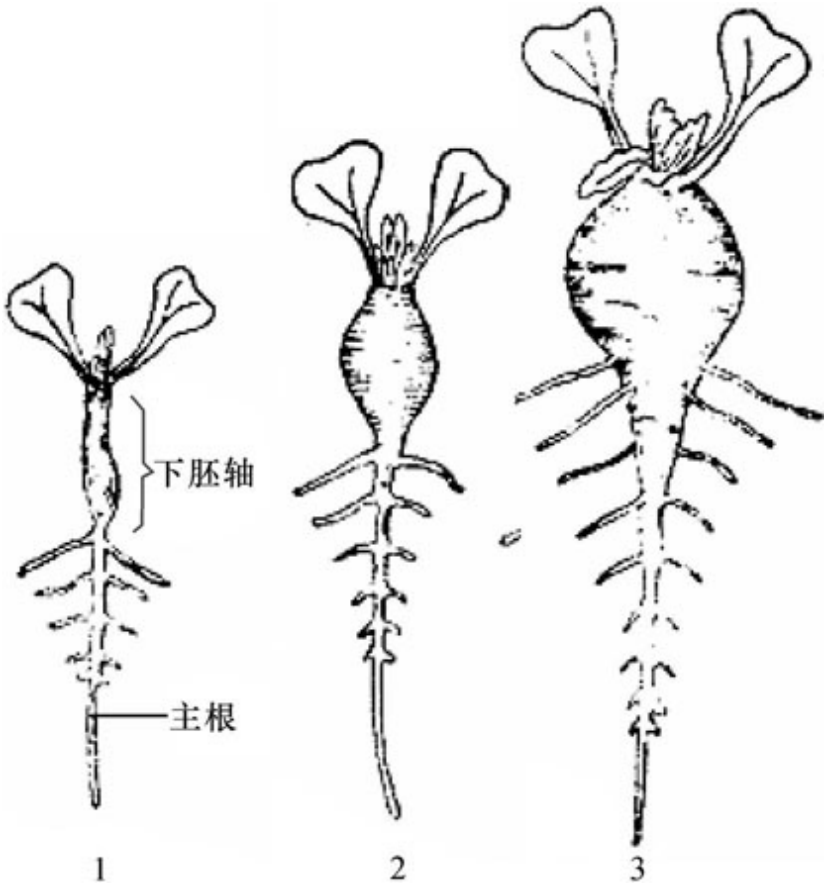


图6-2-17　肉质直根的发育过程（1～3为发育顺序）

（2）块根　块根和肉质直根不同，主要由侧根和不定根发育形成，因此在一株植物上可以形成许多块根。块根的形状不规则，其膨大的原因多为异常生长所致。

2．气生根　通常根生活在土壤中，但有些植物的根却生活在地面以上的空气中，广义的气生根包括了所有生活在空气中的不定根。常见的有下列几种类型：支柱根、攀援根、呼吸根和寄生根。

二、茎

（一）茎的基本形态

1．茎的外形　茎是植物地上部分的轴，其上着生叶、花和果实。着生叶和芽的茎称为枝或枝条（图6-2-18）。从茎的质地上看，茎内含木质成分少的叫草本植物，而木质化程度高的植物茎往往长得十分高大，称木本植物。

茎上着生叶和侧芽的位置叫节，两节之间的部分为节间。茎上的叶子脱落后留下的痕迹叫叶痕；在叶痕内，还可以看到叶柄和茎内维管束断离后留下的痕迹称维管束痕，简称束痕。同样将小枝脱落在茎

上的痕迹叫枝痕。有些植物茎上还可以见到芽鳞痕，这是鳞芽春季发育时，其外的鳞片脱落后留下的痕迹，可见具有鳞芽的枝每年都会增加一个芽鳞痕（图6-2-18这一枝已是有2年了）。有的植物茎表面可以见到形状各异的裂缝，这是茎上的皮孔，是植物茎气体交换的通道。

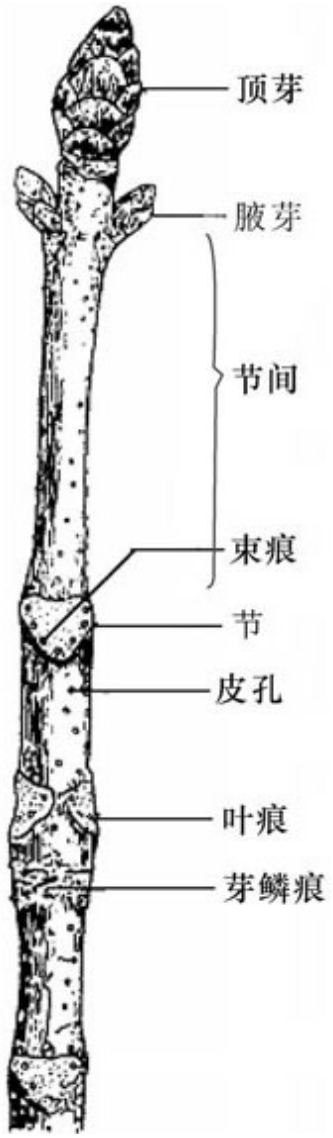


图6-2-18　山毛榉的枝条

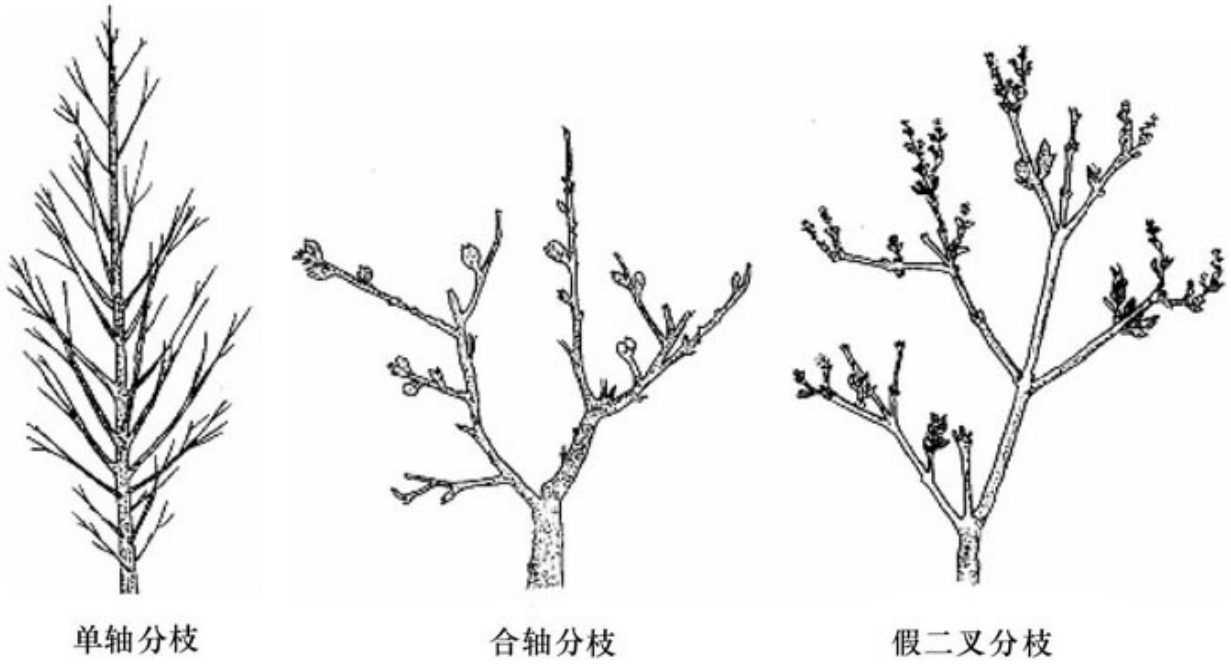


图6-2-19　茎的分枝

2．芽的类型　芽是幼态未伸展的枝、花或花序，也就是枝、花或花序尚未发育的雏体。芽包括茎尖分生组织及其外围附属物。

按芽在茎上的位置可以将芽分为没有固定着生部位的不定芽和有固定着生部位的定芽，定芽又可分为顶芽和腋芽。按芽鳞的有无，芽可分为裸芽和鳞芽。按芽所形成器官的不同，芽可分为叶芽、花芽和混合芽。按芽的生理状态的不同，芽又可分为活动芽和休眠芽。

3．茎的生长习性和分枝

（1）茎的生长习性　茎的生长方向与根相反，是背地性的，一般竖直向上生长，这种直立茎是茎的普通形式，但不同植物的茎在长期的进化过程中，有各自的习性以适应外界环境，使叶在空间展开，尽可能充分接受阳光制造有机物。因此根据其生长习性的不同，除直立茎外，还可分为攀援茎、缠绕茎和匍匐茎。

（2）茎的分枝　分枝是植物茎生长时普遍存在的现象，每种植物有一定的分枝方式，种子植物常见的有单轴分枝和合轴分枝两种（图6-2-19）。

分蘖是禾本科植物如小麦、水稻（图6-2-20）等的特殊分枝方式。它们的分枝方式与上述两种不同，其上部茎节上很少产生分枝，而分枝集中发生在接近地面或地面以下的茎节上，并且每个分枝的基部同时都会长出许多的不定根，这种分枝称为分蘖，这段茎节称为分蘖节。分蘖节包括了几个节和节间，节与节间密集在一起，里面贮有

丰富的有机养料，能在此产生腋芽和不定根，由腋芽形成的分枝称为分蘖，分蘖上又可以产生新的分蘖。

（二）茎的发育

茎尖在茎的顶端，其结构和根尖基本相同，都具有顶端分生区、伸长区和成熟区，但它的顶端分生区外面没有类似根冠的结构，而由许多幼叶紧紧包住，起保护作用。

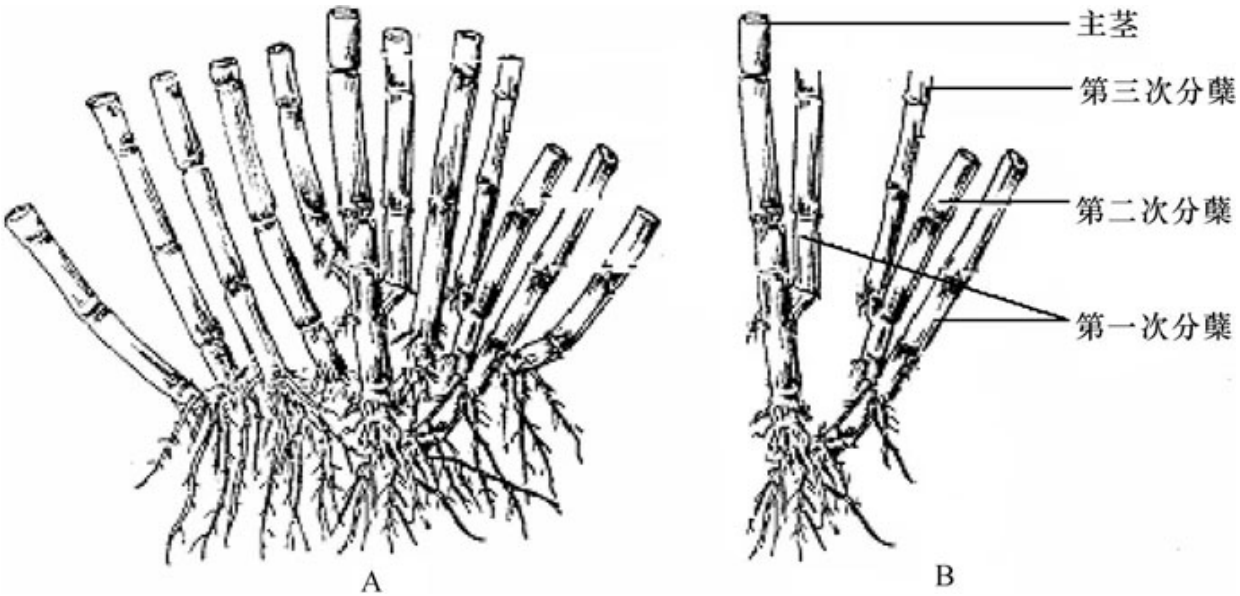


图6-2-20　A．水稻植株基部；B．示分蘖顺序

1．茎顶端分生组织　茎的顶端分生组织位于茎的最顶端，由顶端的原分生组织和由它衍生而来的初生分生组织构成。

（1）原套—原体学说　有不少解释顶端分生组织结构的学说，目前普遍接受的是原套—原体学说。这一学说认为：在被子植物中，茎尖顶端原分生组织的外部由一层至几层排列整齐的细胞组成，只进行垂周分裂，仅增加表面积而不能增加细胞层数，称为原套。原套之内为一团细胞，可以进行各个方向的分裂，不断增加体积而使茎的顶端扩大，被称为原体（图6-2-21）。原套、原体属于原分生组织。

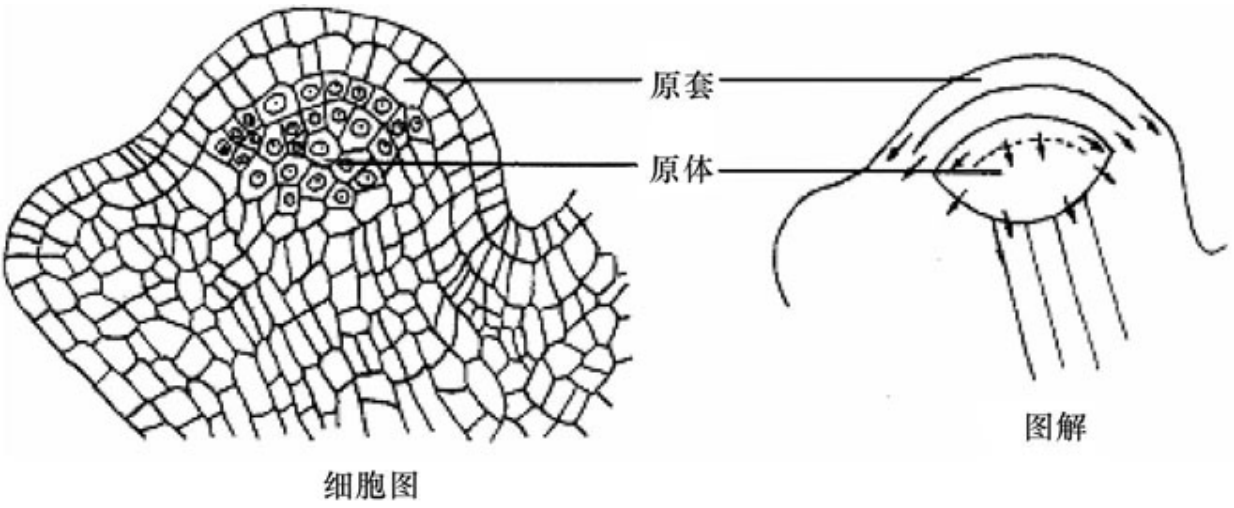


图6-2-21　茎尖的纵切面

（2）原分生组织产生初生分生组织　茎尖的原分生组织细胞没有任何分化，通过持久的不断分裂，向下产生的新细胞即为初生分生组织细胞。初生分生组织细胞一边继续分裂，一边开始长大分化，形成原表皮、基本分生组织和原形成层（图6-2-22）。初生分生组织细胞一边进行分裂，一边分化，一边伸长，在茎的外形上表现出迅速伸长，逐渐向成熟区过渡。以后细胞的体积长大基本停止，完成各种成熟分化，形成茎的初生结构。

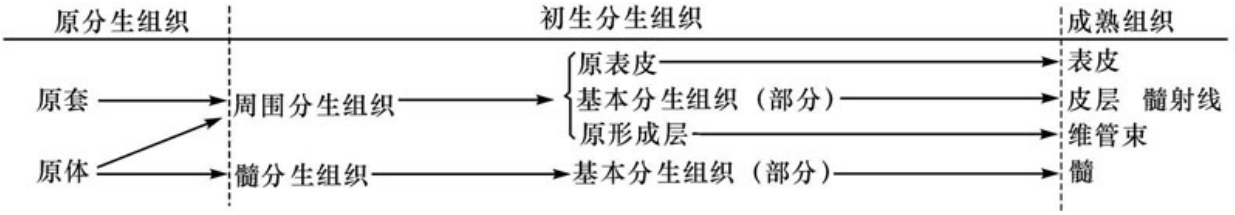


图6-2-22　茎结构的发育来源图解

茎的初生生长包括顶端生长和居间生长两种方式。前者是顶端分生组织活动的结果，后者是居间分生组织活动的结果。

2．叶和芽的起源　叶和芽是由叶原基和芽原基逐步发育而成。叶原基和芽原基起源于茎的顶端分生组织，在裸子植物和大多数被子植物中，顶端分生组织表面的第二层或第三层细胞平周分裂，在某些单子叶植物中由顶端分生组织的表层细胞平周分裂，形成叶原基和芽原基。芽原基具有和原来茎端一样的顶端分生组织。

叶原基和芽原基在顶端分生组织的表面发生，这种起源方式叫做外起源（图6-2-23）。芽原基也可以在植物的其他部位如根、茎甚至是叶上产生，这种不在茎顶端或叶腋产生的芽统称为不定芽。

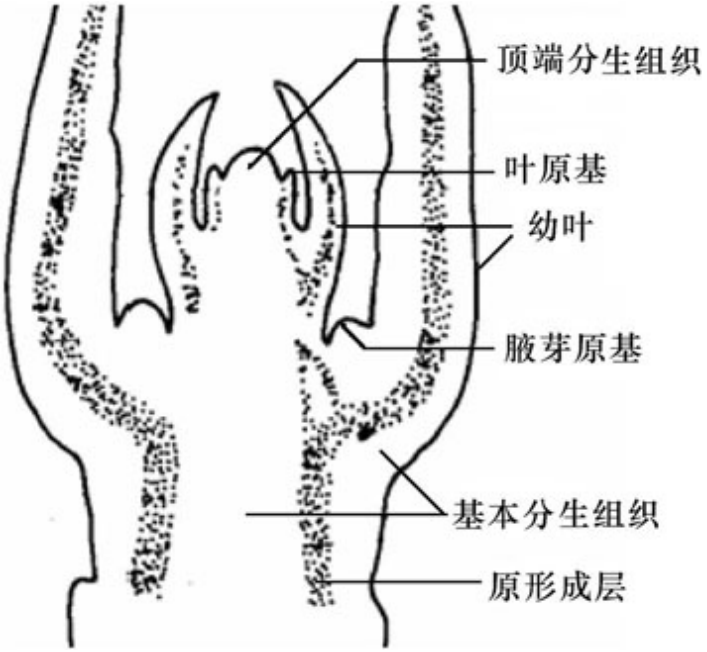


图6-2-23　丁香顶芽纵切面图

（三）茎的解剖结构

1．双子叶植物茎的结构

（1）初生结构　双子叶植物茎的初生结构可以分为表皮、皮层和维管柱三部分（图6-2-24，25）。

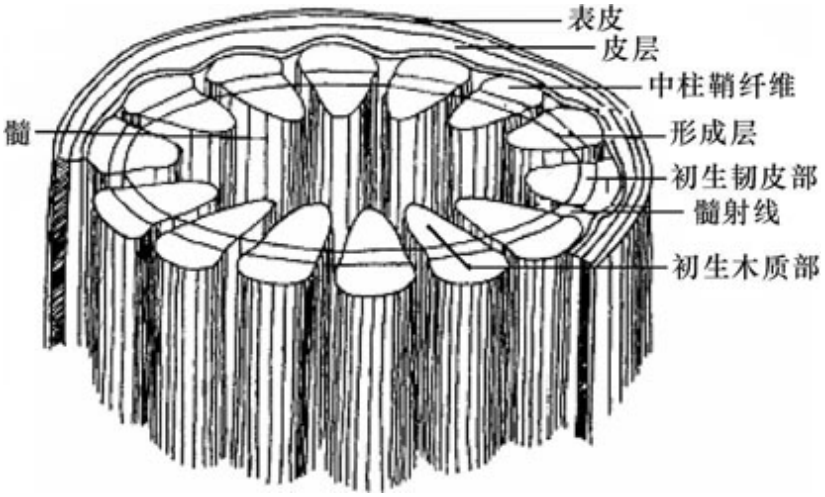


图6-2-24　双子叶植物茎初生结构立体图

①表皮　表皮是幼茎最外面的一层细胞，来源于原表皮，是茎的初生保护组织。

②皮层位于表皮之内，由基本分生组织发育而来，组成成分主要是薄壁细胞，细胞多层，排列疏松，有明显的胞间隙。在许多茎中，

皮层的外围分化出厚角组织，形成一圈连续或不连续的脊状突起。近表皮处的厚角组织和薄壁组织细胞中常含有叶绿体，因此使幼茎呈绿色。有些植物茎的周切面围皮层中还存在有厚壁组织，主要是纤维，也可以看到石细胞和其他异细胞。

茎中一般没有内皮层，所以茎中皮层和维管组织的界限不如根中清楚，仅在少数双子叶草本植物茎、一些植物的地下茎或沉水植物的茎中可发育出具有凯氏带的内皮层。

③维管柱　维管柱是皮层以内的部分，多数双子叶植物的初生维管柱包括初生维管束、髓和髓射线三部分。

初生维管束：裸子植物和多数双子叶植物的初生维管束都是无限维管束，并且多数是外韧的，来源于原形成层细胞。在裸子植物和大多数被子植物茎中，初生维管束成一轮分布，以此为界将基本组织分为皮层和髓。初生韧皮部由筛管、伴胞、韧皮纤维和韧皮薄壁细胞构成，分化成熟的顺序与根中相同，为外始式。原生韧皮部的分化很早，较早地行使其功能，以后在茎的生长过程中被拉坏，由后生韧皮部执行输导功能。原生韧皮部的薄壁细胞最后发育成韧皮纤维，由于处在中柱鞘的位置，又被称为中柱鞘纤维。初生木质部由导管、管胞、木纤维和木薄壁细胞组成，分化成熟的发育顺序是内始式，这是茎的重要特征，和根内初生木质部的发育正好相反。茎的原生木质部靠中央，一般只有环纹、螺纹的管状分子被包在薄壁组织中，缺乏纤维；后生木质部在原生木质部的外面，后成熟，由木薄壁细胞、木纤维和梯纹、网纹、孔纹的管状分子组成。随着后生木质部的形成，原生木质部的管状分子多被挤毁消失。

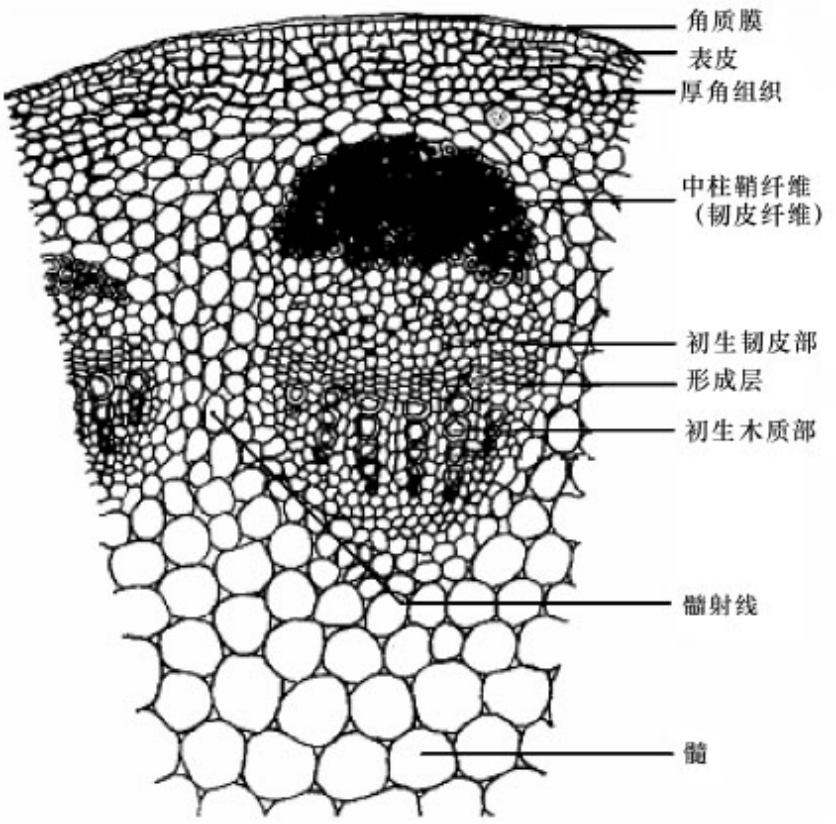


图6-2-25　向日葵茎横切面示初生结构

有少数植物形成双韧维管束，常见于葫芦科、旋花科、茄科、夹竹桃科等植物茎中，其中以葫芦科茎中最为典型。此外还有一类同心维管束，包括周韧维管束和周木维管束，前者可以在被子植物的花、果实和胚珠的小维管束上看到；后者存在于一些单子叶植物如朱蕉、蒟尾等的茎中和一些双子叶植物如大豆、酸模和秋海棠的维管束中。

髓：是茎的中心部分，一般由薄壁组织细胞组成，来源于原形成层束以内的基本分生组织，通常能贮藏各种内含物如丹宁、晶体和淀粉粒等，有些植物茎的髓中有石细胞。有些植物茎在生长过程中，髓成熟较早，节间部分的髓常被拉坏，形成片状髓或髓腔。

髓射线：是维管束之间的薄壁组织，位于皮层和髓之间，在横切面上呈放射状，外连皮层内通髓，有横向运输的作用，同时也是茎内贮藏营养物质的组织。

（2）次生结构　多年生双子叶植物茎与裸子植物的茎，在初生结构形成以后，侧生分生组织活动使茎增粗（图6-2-26）。侧生分生组织和根中的一样，包括维管形成层与木栓形成层两类。维管形成层和

木栓形成层细胞分裂、生长和分化，产生次生结构的过程叫次生生长，由此产生的结构叫次生结构。

①维管形成层的起源和活动（图6-2-27）　原形成层在分化形成初生维管束时，在初生韧皮部和初生木质部之间保留了一层具有分裂潜能的细胞（G_0细胞），这层细胞不断伸长，侵入生长形成了形成层的纺锤状原始细胞（细胞为长梭形，两头尖，切向扁平）；到了次生生长开始时，有些纺锤状原始细胞横向分裂形成一部分射线原始细胞（细胞基本上是等径的，细胞小）。至此，由纺锤状原始细胞和维管束内的射线原始细胞共同形成了束中形成层。当束中形成层开始活动时，初生维管束之间与束中形成层位置相当的髓射线薄壁细胞脱分化，恢复分裂能力产生另一部分的射线原始细胞，形成次生分生组织—束间形成层，并与束中形成层相连接，形成一个连续的圆筒状维管形成层。

纺锤状原始细胞分裂时以平周分裂为主，即纺锤状原始细胞分裂一次形成的两个子细胞，一个向外分化出次生韧皮部原始细胞或向内分化出次生木质部原始细胞，另一个则仍保留为纺锤状原始细胞。一般来讲，往往在形成数个次生木质部细胞后才形成一个次生韧皮部细胞。因此次生木质部细胞的数量明显多于次生韧皮部细胞。由于次生木质部细胞数量增多，茎部增粗，形成层环被推向了外围；形成层环要扩张，以适应茎的增粗，必须进行径向分裂以此来增加本身的数目。

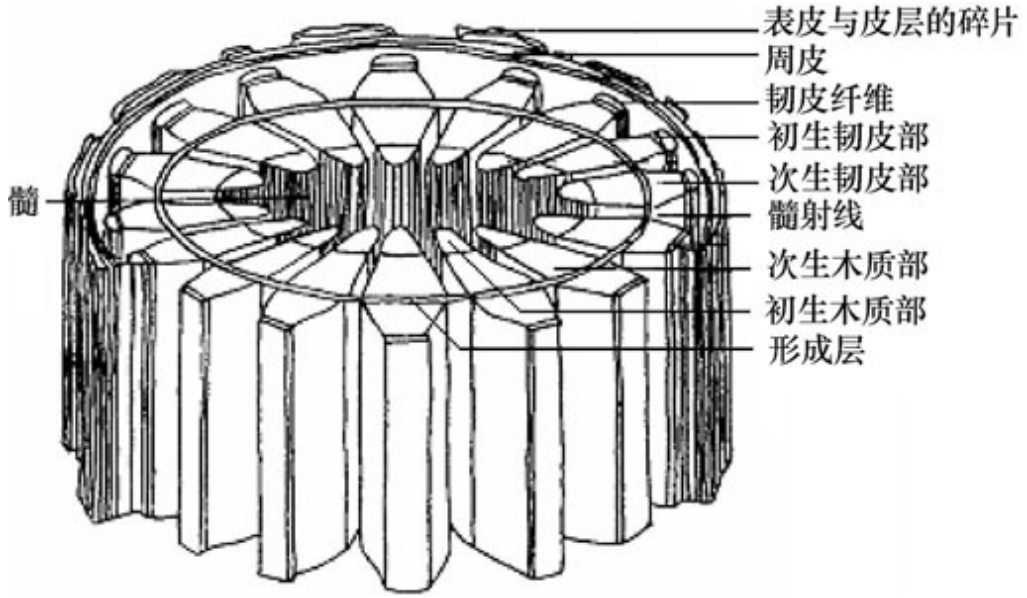
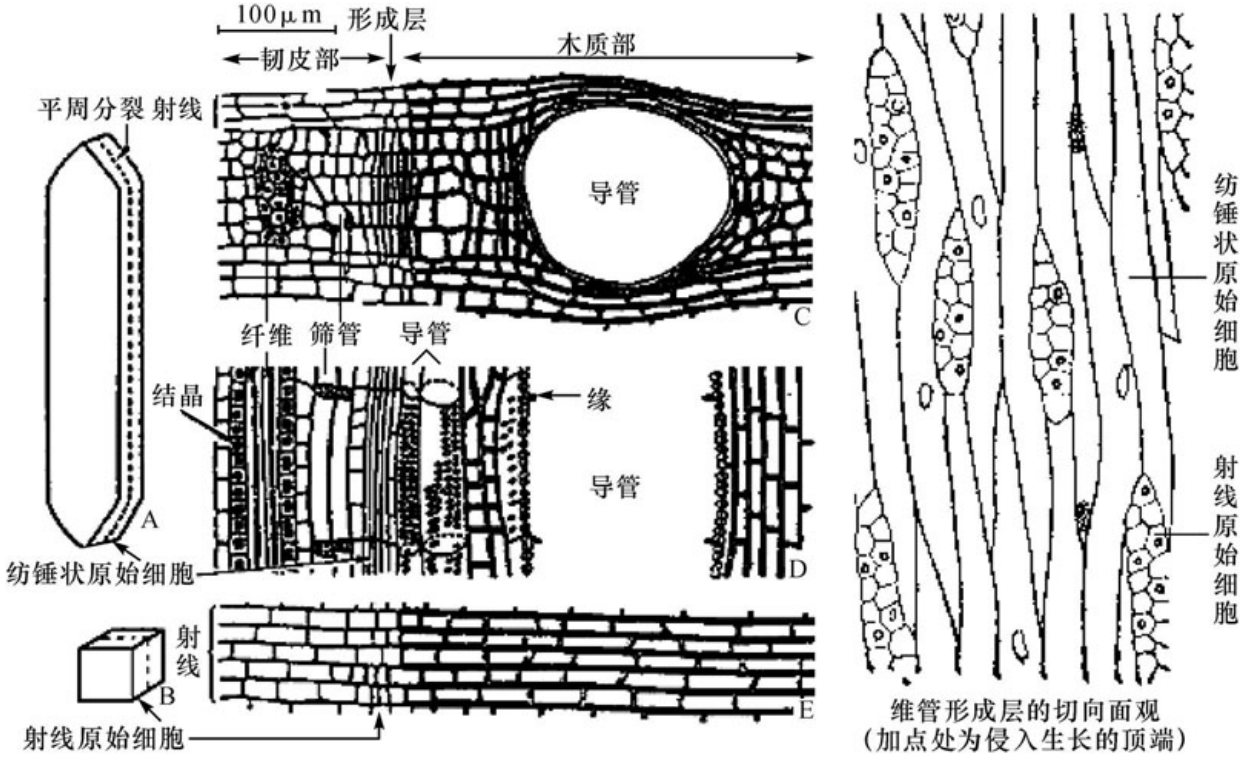


图6-2-26　茎的次生结构立体图解



A．纺锤状原始细胞　B．射线原始细胞（虚线示细胞的切向分裂方向）C、D、E．刺槐茎的切面（C．横切面　D、E．径向切面）

图6-2-27维管形成层及其衍生组织

射线原始细胞也是以平周分裂为主。束中形成层的射线原始细胞平周分裂，向内和向外分裂分别产生木射线和韧皮射线。束间射线原始细胞平周分裂产生次生的髓射线。

综上所述，次生木质部和次生韧皮部既有轴向系统的导管、管胞、木纤维、木薄壁细胞和筛管、伴胞、韧皮纤维、韧皮薄壁细胞，又有径向系统的维管射线（包括木射线和韧皮射线）。轴向系统的分子皆由纺锤状原始细胞产生，而径向系统的分子则由射线原始细胞产生。维管形成层的活动与其衍生的次生组织的关系，可归纳为如图6-2-28。

②次生木质部的产生和结构　形成层细胞活动时，产生的次生木质部的细胞数目远远多于次生韧皮部，因此木本植物的茎中，次生木质部占了大部分。树木生长的年数越多，次生木质部的比例就越大；初生木质部和髓所占比例很小或被挤压而不易识别。次生木质部构成了茎的主要部分，是木材的主要来源。双子叶植物次生木质部的组成成分和初生木质部相似，包括有导管、管胞、木纤维和木薄壁细胞，细胞均有不同程度的木质化。

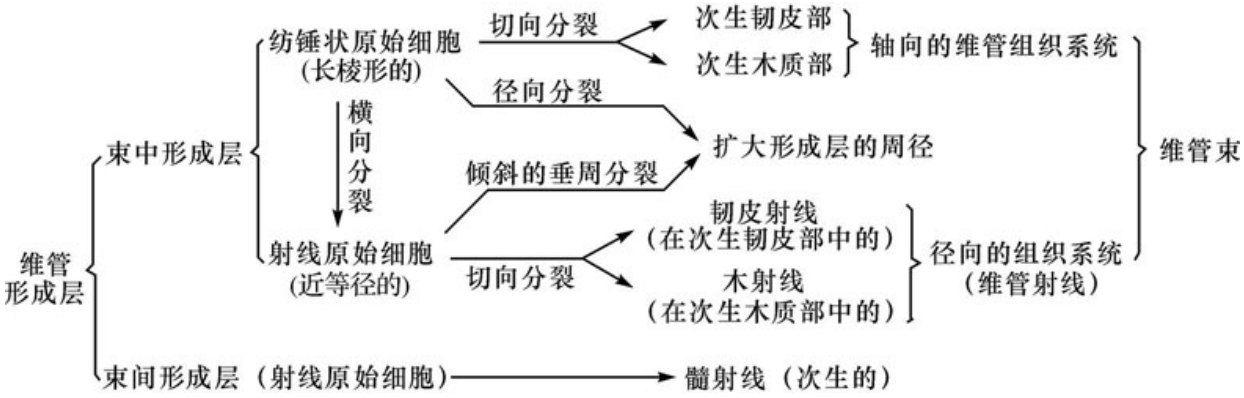


图6-2-28　维管形成层的活动与其衍生的次生组织的关系图解

在多年生木本植物茎的次生木质部中，可以见到许多同心圆环，这就是年轮（图6-2-29）。年轮的产生是形成层每年季节性活动的结果。在有四季气候变化的温带和亚热带，春季形成层活动旺盛，形成的木质部细胞孔径大而壁薄，纤维的数目少，材质疏松，称为早材或春材；由夏季转到冬季，形成层活动逐渐减弱，所产生的次生木质部细胞体积小，导管孔径小且数目少，而纤维的数目则比较多，材质致密，这个时期形成的木质部称为晚材或夏材。早材和晚材共同构成一个生长层，即一个年轮，代表着一年中形成的次生木质部。同一年的早材与晚材的变化是逐渐过渡的，没有明显的界限，但经过冬季的休眠，前一年的晚材和后一年的早材之间形成了明显的界限，叫年轮线。没有季节性变化的热带地区，没有年轮产生。

在正常情况下，年轮每年形成一轮，但在有些植物中一年内可以形成几个年轮，称假年轮，如柑橘属植物，另外环境条件的不正常如干旱、虫害也会导致假年轮的产生。

（3）次生韧皮部　次生韧皮部的组成成分与初生韧皮部基本相同，主要是筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞。有些植物还夹有纤维和石细胞，有的分布有分泌组织或贮藏组织。

在次生韧皮部形成时，束中形成层的射线原始细胞向外产生韧皮射线，与木射线通过射线原始细胞相通连，两者合称维管射线。由于维管射线只存在于次生结构中，故称之为次生射线；而髓射线在茎的初生结构中就已产生，故称之为初生射线，其实髓射线也有次生生长。射线起横向运输的作用，还兼有贮藏作用。

（4）木栓形成层的产生和活动

①木栓形成层的产生　维管形成层活动的结果使次生维管组织不断增加从而使茎增粗，而表皮作为初生保护组织一般不能分裂以适应这种增粗，不久便被内部生长产生的压力挤破，失去保护作用，这时

外围的皮层或表皮细胞恢复分裂机能，形成木栓形成层，产生次生保护组织以适应内部生长。

多数植物茎的木栓形成层首次是由紧靠表皮的皮层细胞恢复分裂能力而形成的，如杨树、榆树等，但也有直接从表皮产生的，如柳树、苹果等；此外，还有起源于初生韧皮部中的薄壁细胞，如葡萄、石榴等。

②木栓形成层的活动　茎与根一样，其木栓形成层有一定的寿命，其活动的结果都是产生木栓层和栓内层，并与木栓形成层共同组成周皮。最初形成的木栓形成层其活动期限一般只有几个月，当茎继续增粗时，在原有的周皮失去作用前其内部又产生新的木栓形成层，依次向内形成，位置不断内移，最后则在次生韧皮部中产生。

③皮孔和树皮　皮孔是周皮上的通气结构，常在气孔下发生。由于周皮的形成，木栓层以外的组织因缺乏营养和水分而死亡，构成了树干外面看到的树皮。另一种树皮的含义是指生产上由树干上剥下来的皮，分离的位置在维管形成层，包括了次生韧皮部、皮层、周皮及其以外的一切死细胞。

2．裸子植物茎的结构特点（与双子叶植物茎比较）

（1）类同于双子叶植物茎　裸子植物茎的初生结构都包括表皮、皮层和维管柱三部分，由形成层产生并进行次生生长，可以逐年不断地形成次生结构而使茎加粗，并有显著年轮，因而也有早材和晚材、边材和心材之分。

（2）裸子植物茎的结构特点

①韧皮部由筛胞、韧皮薄壁细胞和韧皮射线组成。无筛管和伴胞；韧皮纤维和石细胞的有无或多少与植物种类有关。

②木质部主要由管胞、木薄壁细胞和木射线所组成。除少数种类如麻黄属和买麻藤属具有导管外，一般没有导管。裸子植物没有典型的木纤维，管胞兼具支持的作用；由于木质部主要由管胞组成，因此在木材结构上比较均匀。

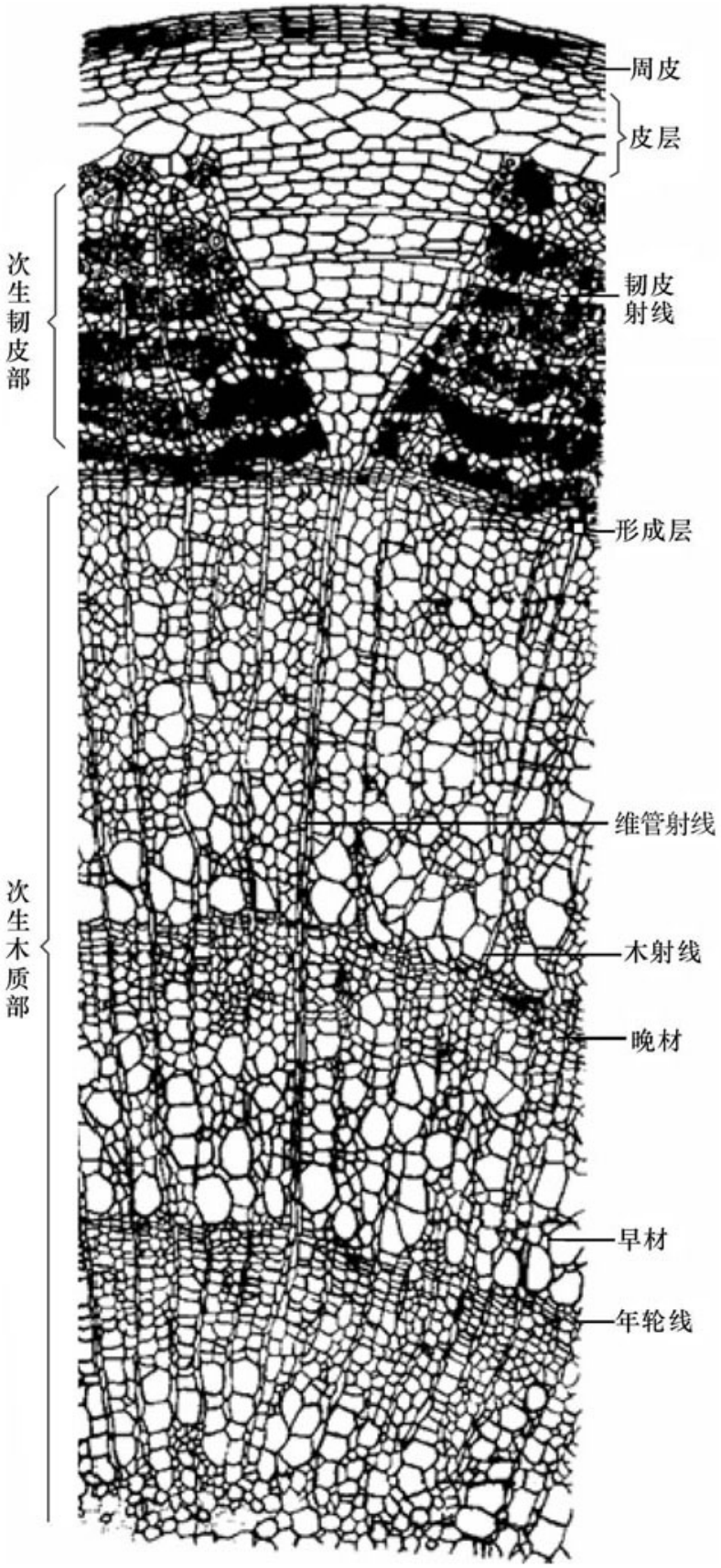

周皮
皮层
次生韧皮部
韧皮射线
形成层
维管射线
次生木质部
木射线
晚材
早材
年轮线

图6-2-29　椴树三年生茎横切面

③有树脂道的种类在茎的皮层、韧皮部、木质部和髓中分布有树脂道。这是双子叶植物茎所没有的。

3．单子叶植物茎的特点　单子叶植物茎和双子叶植物茎有很多不同，大多数单子叶植物茎只有伸长生长和初生结构，所以整个茎的构造比双子叶植物简单。现以禾本科植物为代表说明单子叶植物茎的结构特点（图6-2-30）。

（1）表皮　在禾本科植物茎的最外方为表皮，是一层生活细胞，排列整齐，由长形细胞和短细胞纵向相间排列；长形细胞是角质化的表皮细胞，短细胞包括栓质细胞和硅质细胞，其间有气孔器分布；单子叶植物表皮细胞为终生保护组织，没有周皮形成。

（2）基本组织　表皮以内为基本组织，主要为薄壁细胞，在靠近表皮处常有几层厚壁组织，起支持作用。

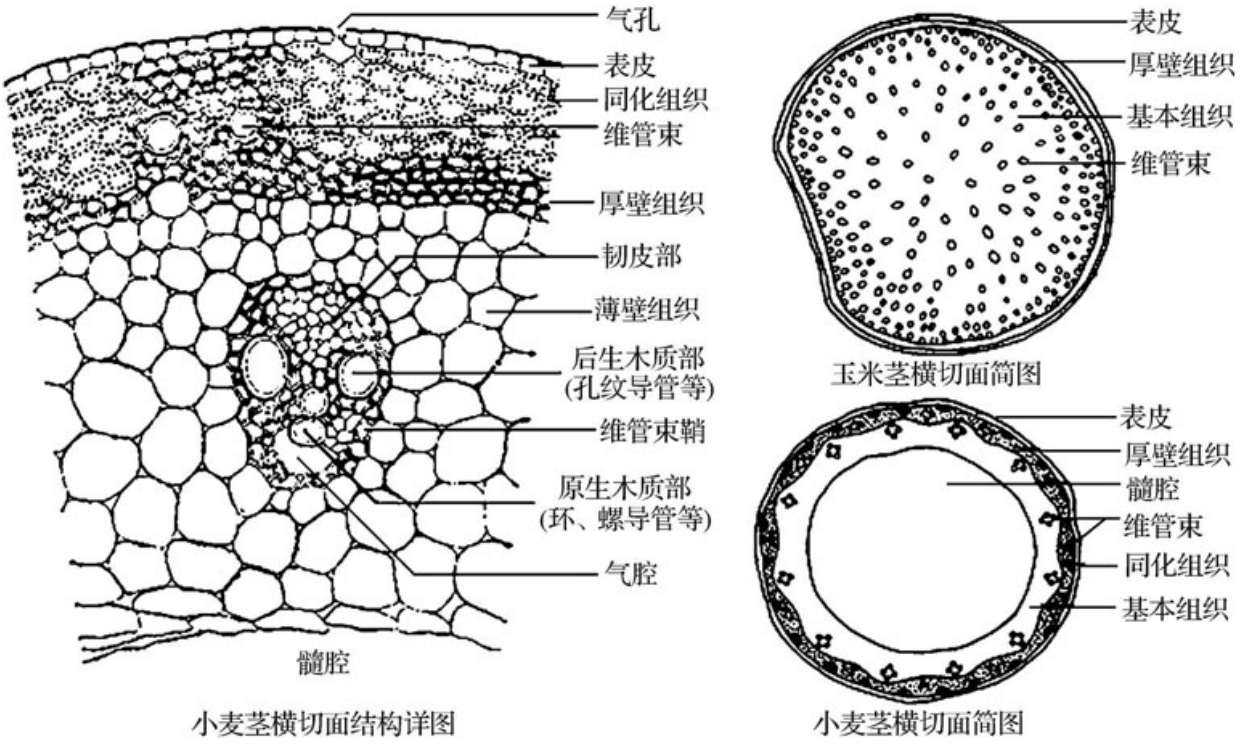


图6-2-30　禾本科植物茎横切面结构图

（3）维管束　维管束分散在基本组织中或呈二轮分布在基本组织外侧周围，为外韧有限维管束。维管束在横切面上为卵圆形，外围有一圈厚壁组织，叫维管束鞘。韧皮部中的细胞排列整齐，可以看到多边形的筛管和长方形的伴胞。在韧皮部的外侧，有一条被挤毁的模糊结构，是原生韧皮部。木质部呈V形分布，主要由3～5个导管组成。V

字形的尖端部分由1～3个孔径较小的环纹或螺纹导管组成，为原生木质部部分。在茎的生长过程中原生木质部导管常被拉坏，留下一个空腔称气腔，气腔中常残留有环纹或螺纹导管的加厚壁。在V字形的两侧各有一个孔径较大的孔纹导管，为后生木质部部分。

禾本科植物的维管束常星散分布在薄壁细胞中，因此皮层和髓、髓射线之间的分界不清楚或不存在。有些禾本科植物的维管束成二轮排列，位于周围的薄壁组织中，中央部分中空而形成髓腔，如小麦、水稻的茎。

少数热带或亚热带的单子叶植物有次生生长和次生结构，但其形成层的产生和活动与双子叶植物显著不同：形成层一般都在初生维管组织的外方产生，并形成次生维管束，其排列方式因不同植物有异。如龙血树形成层由初生维管束外方的薄壁组织发生，形成周木维管束。有次生生长的还有棕榈、丝兰等。

（五）茎的变态

1．地上茎的变态（图6-2-31）常见的有：叶状枝、茎卷须、枝刺与皮刺、肉质茎等。枝刺与茎之间有维管束相连；皮刺是茎表皮外突物，没有维管束与茎相连。如仙人掌、莴苣具有肉质茎。

2．地下茎的变态（图6-2-32）常见的有：根状茎、块茎、球茎和鳞茎。具有根状茎的植物常见的有竹类、莲、芦苇。从发生上看，块茎是植物基部的腋芽伸入地下形成的分支，达一定的长度后先端膨大，贮藏养料，形成块茎，如马铃薯、菊芋和甘露子等；球茎多数是地下匍匐枝末端膨大而成，故顶芽明显，如荸荠、芋和慈姑等。鳞茎呈扁平或圆盘状，节间极度缩短，节上生有肉质化的鳞片状叶，叶腋可生腋芽，如洋葱、水仙、百合和大蒜等。

综上所述，茎的功能主要表现为：运输、支持、贮藏和繁殖功能。

三、叶

（一）叶的形态

1．叶的组成　植物的叶一般由叶片、叶柄和托叶三部分组成（图6-2-33）。叶柄具有输导和支持的作用。具有叶片、叶柄和托叶三部分的叶，叫完全叶，如梨、桃和月季等。仅具其一或其二的叶，为不完全叶。

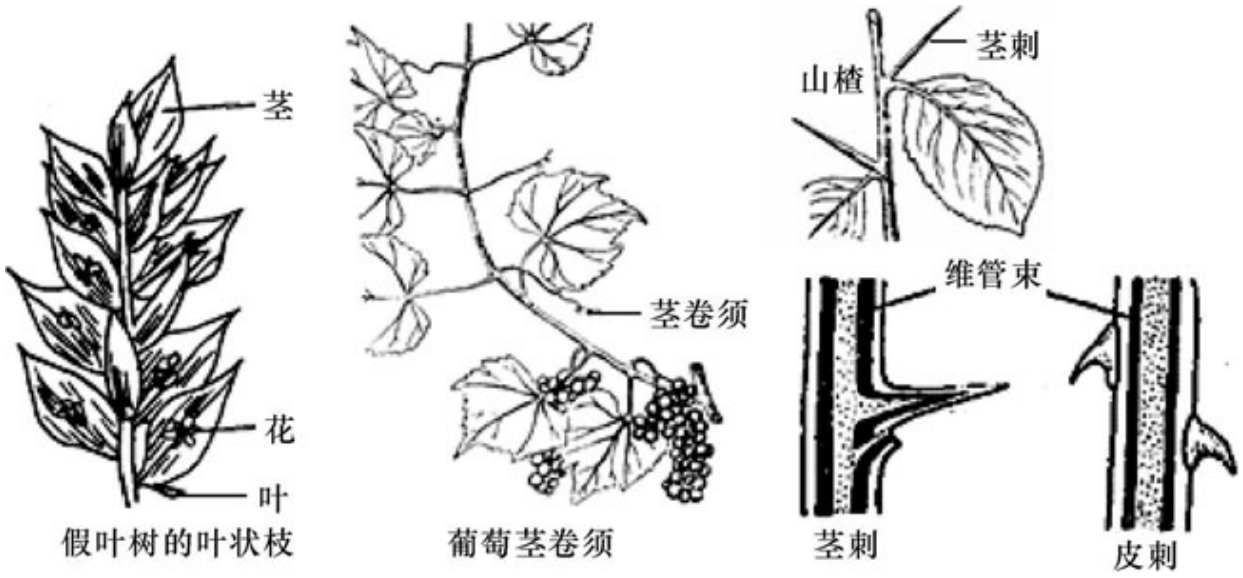


图6-2-31　四种地上茎的变态

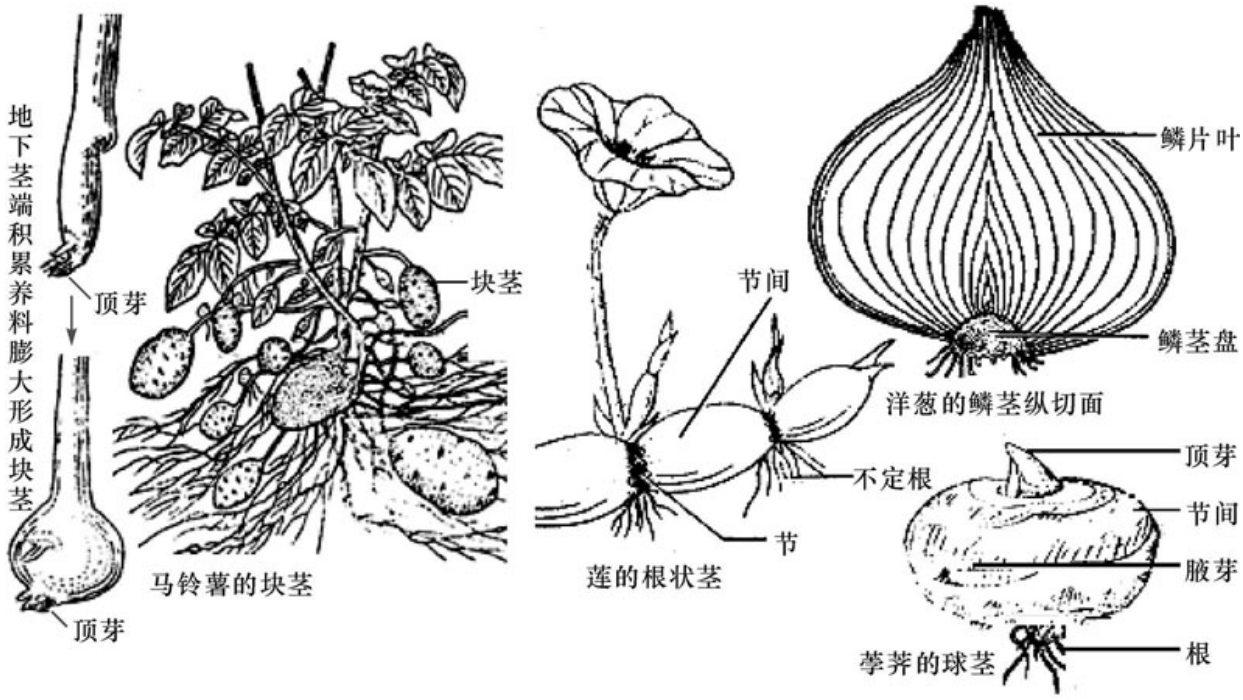


图6-2-32　四种地下茎的变态

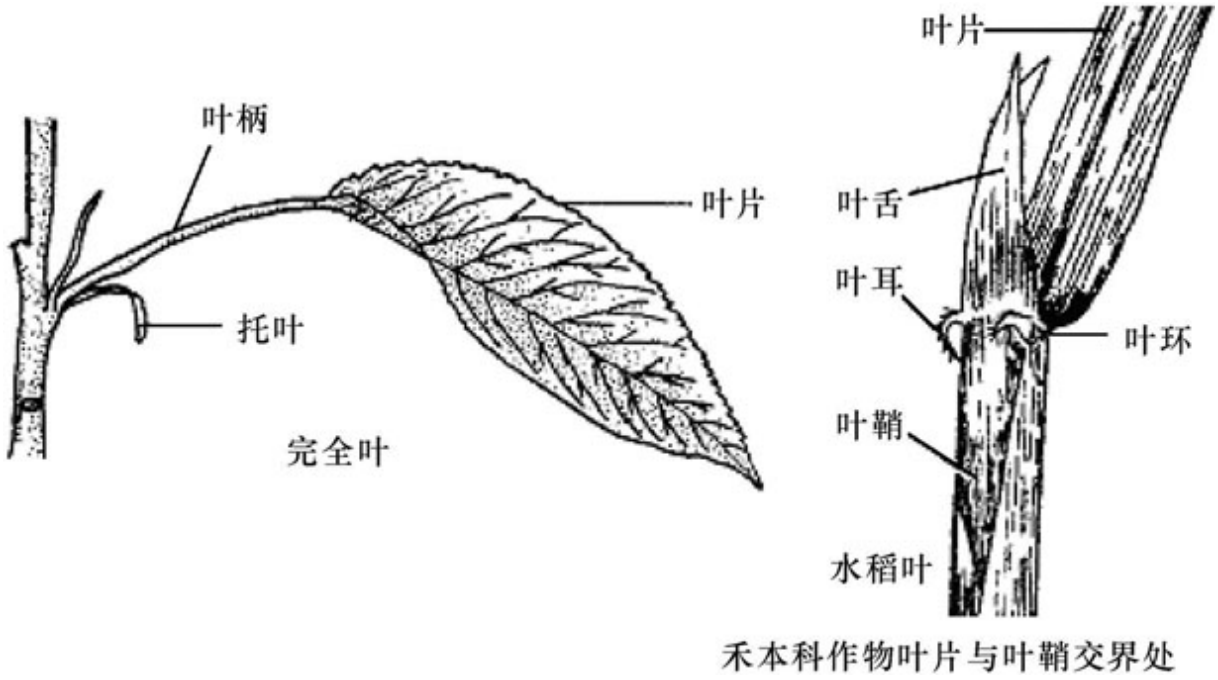
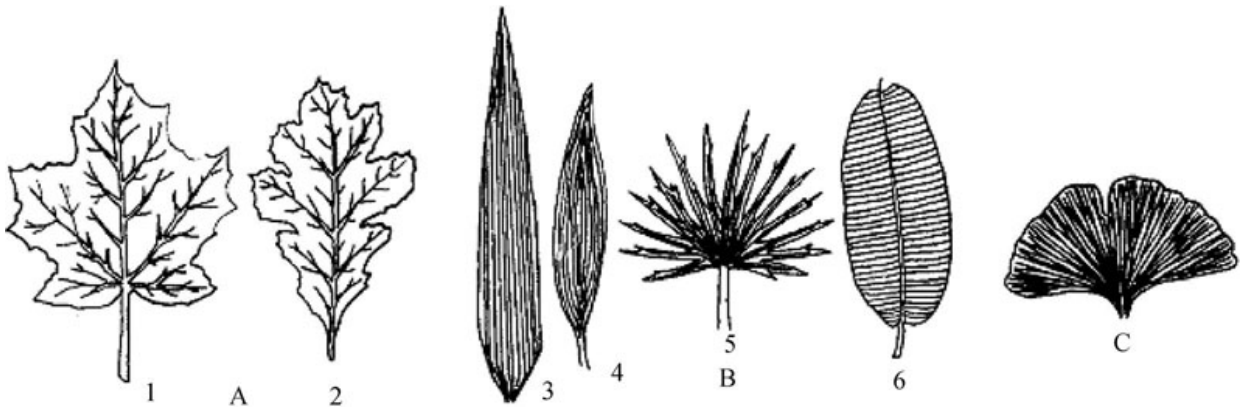


图6-2-33　叶的组成

此外，禾本科植物等单子叶植物的叶，从外形上仅能区分为叶片和叶鞘两部分，为无柄叶。一般叶片呈带状，扁平；而叶鞘往往包围着茎，保护茎上的幼芽和居间分生组织，并有增强茎的机械支持力的功能。在叶片和叶鞘交界处的内侧常生有很小的膜状突起物，叫叶舌，能防止雨水和异物进入叶鞘的筒内。在叶舌两侧，有由叶片基部边缘处伸出的两片耳状的小突起，叫叶耳。叶耳和叶舌的有无、形状、大小和色泽等，可以作为鉴别禾本科植物的依据。

2．叶的形态　叶的大小不同，大者如王莲、芭蕉，直径可达1～2.5m；小者如柏树和柽柳的鳞叶，仅有数毫米长。因此叶的大小和形状在不同种类的植物中有很大的不同，但对一种植物而言是比较稳定的特征，可以作为鉴别植物的依据。叶的形状各异，通常指的是叶片的形状，包括叶尖、叶基、叶缘的形态特点，甚至于叶脉的分布情况等，可作为植物种类的识别指标。



A．网状脉序（1、2）　B．平行脉序（3～6）　C．叉状脉序

1．掌状脉序　2．羽状脉序　3．直出脉　4．弧形脉　5．射出脉　6．侧出脉

图6-2-34　叶脉的类型



图6-2-35　复叶的类型

3．叶脉　叶脉是贯穿在叶内的维管组织及外围的机械组织，叶脉在叶片中分布的形式叫脉序，主要有网状脉序和平行脉序两大类（图6-2-34）。网状脉序具有明显的主脉和侧脉之分，侧脉再经多级分支，在叶片内连接成网状。网状脉序可根据中脉分出侧脉的方式不同而分为羽状脉序和掌状脉序（图6-2-34A）。平行脉序是各条叶脉近于平行，主脉与侧脉间有细脉相连，是单子叶植物叶脉的特征（图6-2-34B）。裸子植物银杏的叶脉为二叉分支式（图6-2-34C），可有多级分支，称叉状脉序，是一种比较原始的脉序，此种脉序在蕨类植物中多见，而在种子植物中少见。

4．单叶和复叶　一个叶柄上只生一个叶片的叶称单叶，如桃、李、柳等。而一个叶柄上生有两个或两个以上叶片的叶称复叶（图6-2-35），如槐、月季等。复叶的叶柄称为总叶柄或叶轴，总叶柄上着生许多的叶叫做小叶，每一小叶的叶柄叫小叶柄。根据复叶中小叶的数量和排列方式的不同，将其分为单身复叶、三出复叶、掌状复叶和羽状复叶。

5．叶序和叶镶嵌　叶序是植物叶在茎上的排列方式，有三种基本类型：即互生、对生和轮生（图6-2-36）。还有一些植物，其节间极度缩短，使叶片簇生于短枝上，称簇生叶序，如银杏和落叶松等植物短枝上的叶。叶在茎上的排列方式，不论是互生、对生还是轮生，相邻两个节上的叶片都决不会重叠，它们总是利用叶柄长短变化或以一定的角度彼此相互错开排列，结果使同一枝上的叶以镶嵌状态排列而不会重叠，这种现象称为叶镶嵌。叶镶嵌使茎上的叶片不遮蔽，利于光能的充分吸收和利用，同时也使茎上的负载平衡。

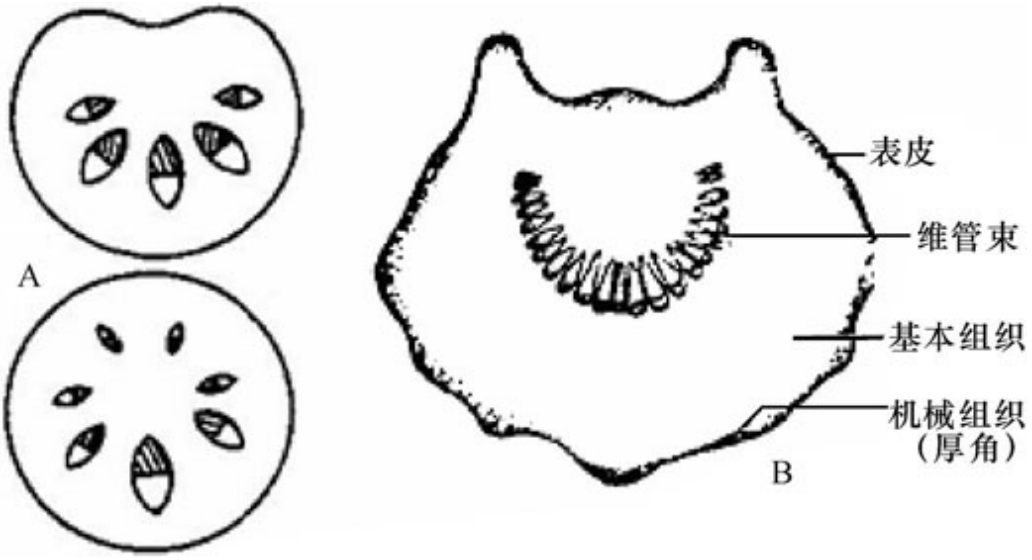


图6-2-36　叶序的类型

（二）叶的解剖结构

1．被子植物叶的一般结构

（1）叶柄的结构　叶柄的结构与茎类似，它相当于茎维管束的一部分，通过叶迹与茎的维管组织相联系，其基本结构比茎简单，有表皮、基本组织和维管组织三部分所组成（图6-2-37）。叶柄的最外层为表皮层，有气孔器；表皮以内大部分是薄壁组织，紧贴表皮之下为数层厚角组织，内含叶绿体。维管束成半圆形、开口朝上或圆形分布在薄壁组织中，但后者靠近上方的维管束更小。维管束的结构与幼茎中的维管束相似，木质部在近轴面，韧皮部在远轴面，两者之间有形成层，但活动有限；每一维管束外常有厚壁组织分布。



A．叶柄的两种类型（黑色为木质部）　B．桃叶柄横切面轮廓图

图6-2-37　叶柄的横切面

（2）叶片的结构　被子植物的叶片为绿色扁平体，成水平方向伸展，所以上下两面受光不同。通常被子植物叶由表皮、叶肉和叶脉三部分构成（图6-2-38）。

①表皮　表皮覆盖着整个叶片，由表皮细胞、气孔器、排水器和表皮毛组成。表皮细胞是一层生活的细胞，不含叶绿体；在横切面上，表皮细胞的形状十分规则，呈扁的长方形，外切向壁比较厚，并覆盖有角质膜，角质膜的厚薄因植物种类和环境条件不同而变化，即旱生的厚，湿生的薄，水生的基本没有。表皮细胞一般为一层，但少数植物的表皮细胞为多层结构，称为复表皮，如夹竹桃叶表皮为2～3层，而印度橡皮树的叶表皮为3～4层。

气孔器通常由两个半月形的保卫细胞组成（图6-2-39），两个保卫细胞之间的裂生胞间隙称为气孔，它们是叶片与外界环境之间气体交换的孔道。有些植物如甘薯在保卫细胞之外还有副卫细胞。保卫细胞的壁在靠近气孔的部分增厚，而相对的一方较薄。保卫细胞有叶绿体和不同份量的淀粉粒，这与气孔自动调节有关。一般上表皮的气孔器数量比下表皮的少，有些植物在上表皮甚至没有气孔器分布，近叶尖和叶缘的气孔器分布较密；一般植株的上部叶气孔较下部叶为多。气孔器的类型、数目与分布及表皮毛的多少与形态因植物种类不同而有差别。气孔器的数目和分布还与植物的生态环境有关。如苹果叶的气孔器仅在下表皮分布，睡莲叶（浮水植物）的气孔器仅在上表皮分布，眼子菜叶（沉水植物）则没有气孔器存在。

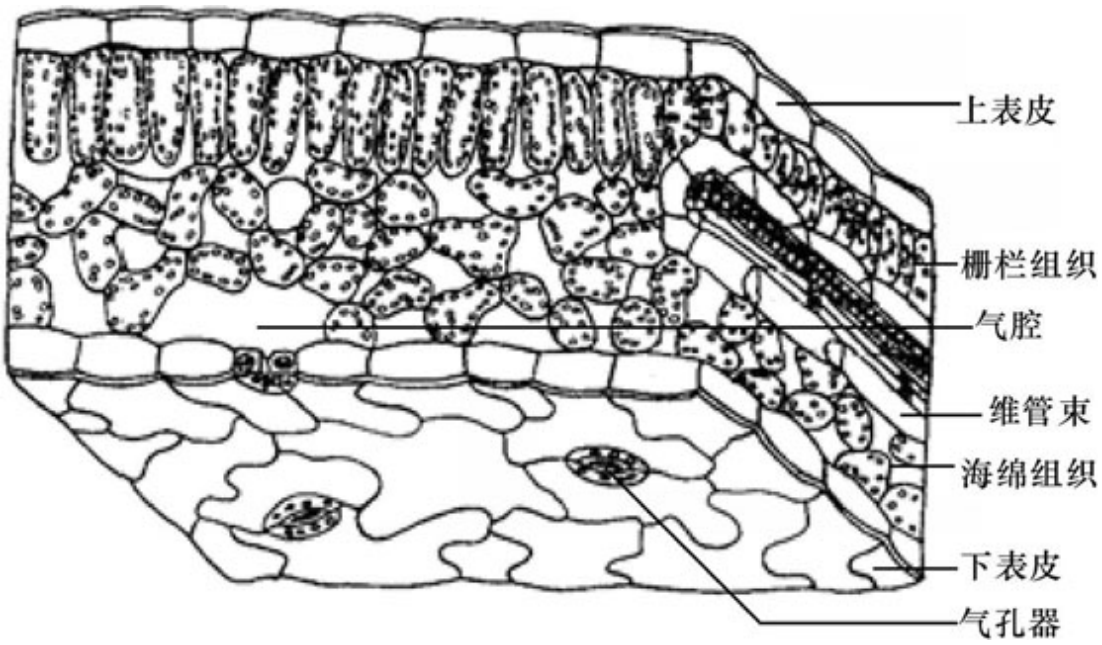


图6-2-38　叶片的结构

许多植物的叶尖和叶缘有一种排出液体的结构，称为排水器。它的构造主要由水孔和通水组织构成。水孔与气孔相似，但没有自动调节开闭的能力。排水器里面，有排列疏松的一群小细胞，与脉梢的管胞相通，这是通水组织。

②叶肉　上、下表皮层以内的绿色同化组织是叶肉，其细胞内富含叶绿体，是叶进行光合作用的场所。如图6-2-38，在上表皮之下的叶肉细胞为长柱形，垂直于叶片表面，排列整齐而紧密如栅栏状，称为栅栏组织，通常1～3层（这与阳生还是阴生有关）。在栅栏组织下方，靠近下表皮的叶肉细胞形状不规则，排列疏松，细胞间隙大而多，称为海绵组织。海绵组织细胞所含叶绿体比栅栏组织细胞的少，又具有胞间隙。这样的叶称为异面叶，为大多数被子植物所具有。有些植物的叶在茎上基本呈直立状态，两面受光情况差异不大，叶肉组织中没有明显的栅栏组织和海绵组织的分化，从外形上也看不出上、下两面的区别，这种叶叫等面叶，如水稻、玉米等的叶（图6-2-40，41）。

③叶脉　叶脉是叶片中的维管束，各级叶脉的结构并不相同。主脉和大的侧脉结构比较复杂，包含有一至数个维管束，包埋在基本组织中。木质部在近轴面，韧皮部在远轴面，两者间常具有形成层；不过形成层活动有限，只产生少量的次生结构。在维管束的上、下两侧，常有厚壁组织和厚角组织分布，这些机械组织在叶背面特别发达，突出于叶外，形成肋。大型叶脉不断分支，形成次级侧脉。叶脉

越分越细，结构也越来越简单，中小型叶脉一般包埋在叶肉组织中，形成层消失，薄壁组织形成的维管束鞘包围着木质部和韧皮部，并可以一直延伸到叶脉末端。到了末梢，木质部和韧皮部成分逐渐简单，最后木质部只有短的管胞，韧皮部只有短而窄的筛管分子，甚至于韧皮部消失。

2．裸子植物的叶　裸子植物的叶以松柏类作为代表，其叶为针形，为两针一束、三针一束或五针一束，生长在短枝上，前者横切面为半圆形，后两者横切面为三角形。松针叶的结构可分为表皮、下皮层、叶肉组织和维管组织四部分（图6-2-40）。表皮是一层厚壁的表皮细胞，壁强烈木质化，外面覆盖有较厚的角质膜；气孔纵行排列，保卫细胞下陷到下皮层中，其上方有副卫细胞拱盖着，保卫细胞和副卫细胞的壁均有不均匀加厚并木质化。下皮层是一至多层木质化的厚壁组织。叶肉组织中没有海绵组织和栅栏组织的分化，细胞排列紧密，其细胞壁内陷，形成皱褶，叶绿体多沿皱褶排列。叶肉组织中常有树脂道分布。叶肉组织以内有明显的内皮层，细胞内含有淀粉粒，细胞壁可增厚并木质化。在内皮层以内为维管组织，有一到两个维管束。

松柏类叶的外形和解剖结构都具有旱生叶的特点，与其顺利度过低温和干旱的冬季环境相一致。

3．禾本科植物的叶　禾本科植物的叶片和一般双子叶植物叶的结构一致，有表皮、叶肉和叶脉三部分构成（图6-2-41，42）。

（1）表皮　禾本科植物叶片的表皮由表皮细胞、泡状细胞和气孔器有规律地排列而形成（图6-2-42、43）。

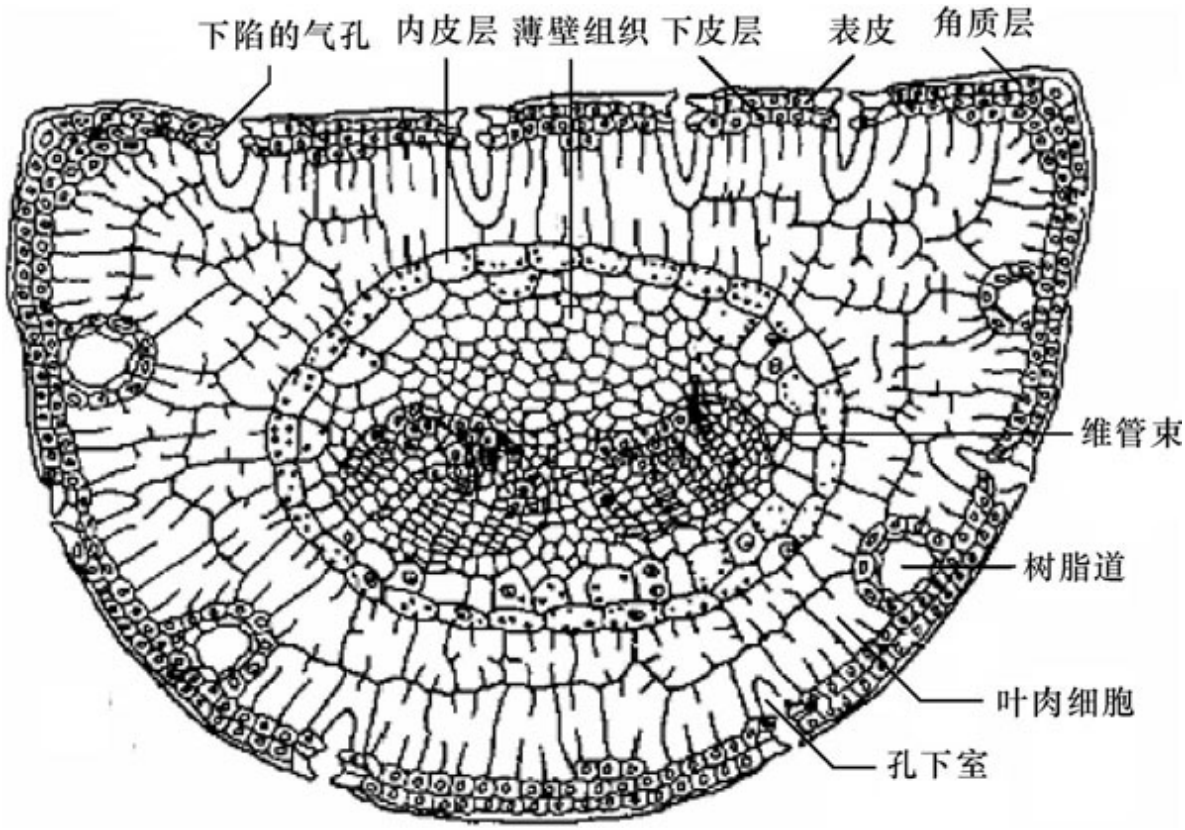


图6-2-40　马尾松叶横切面

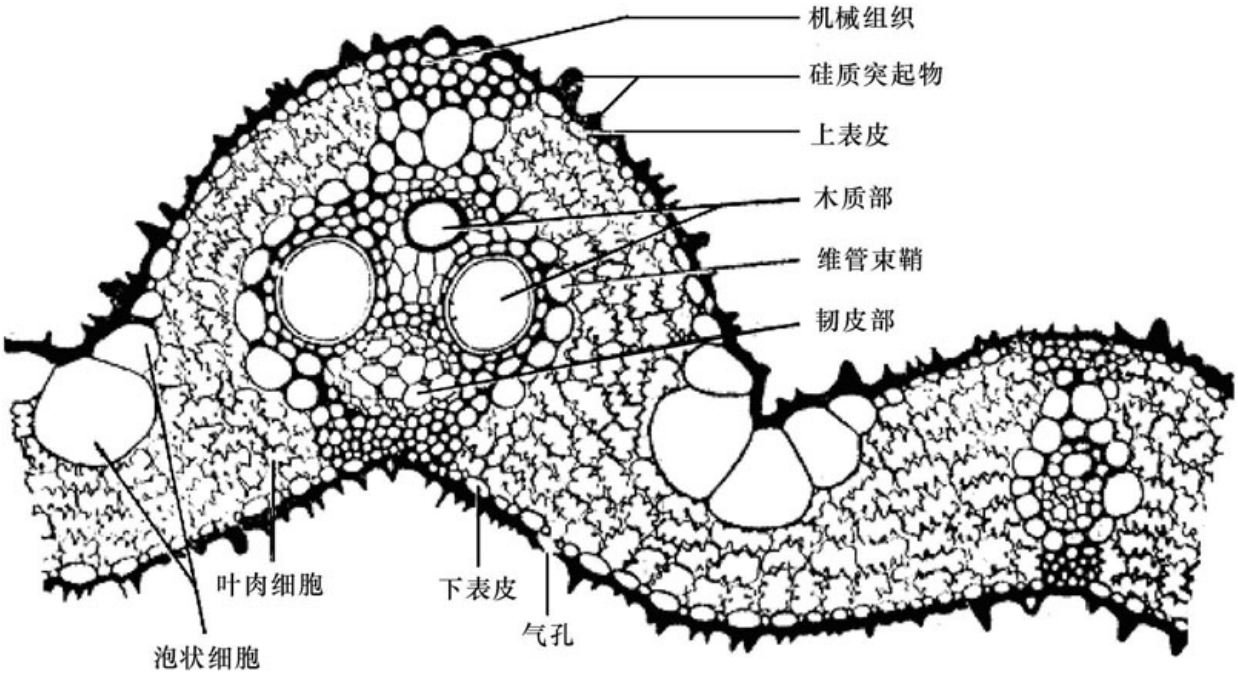


图6-2-41　水稻叶片横切面（局部）

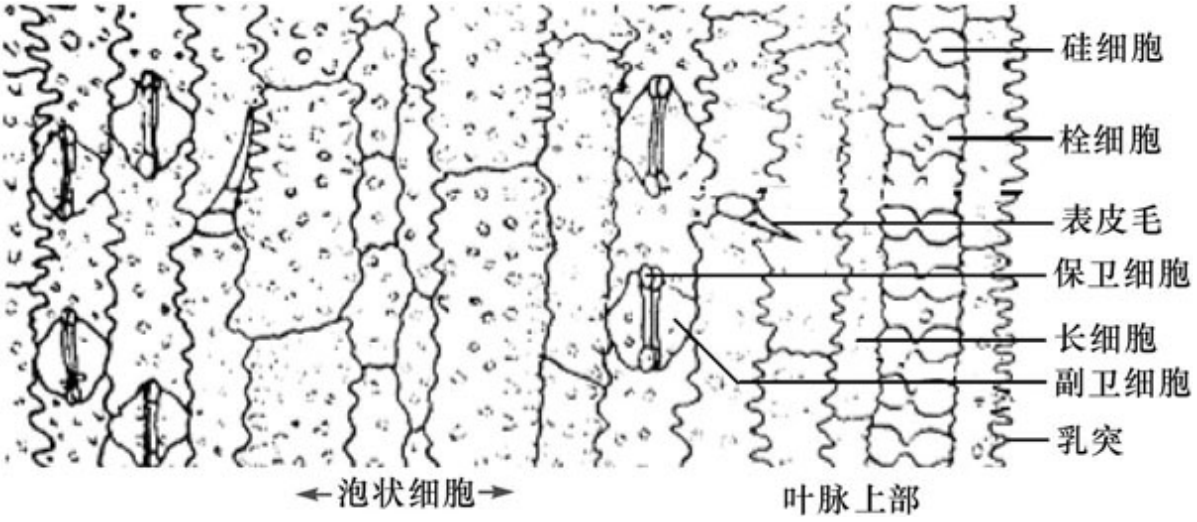


图6-2-42　水稻叶的上表皮

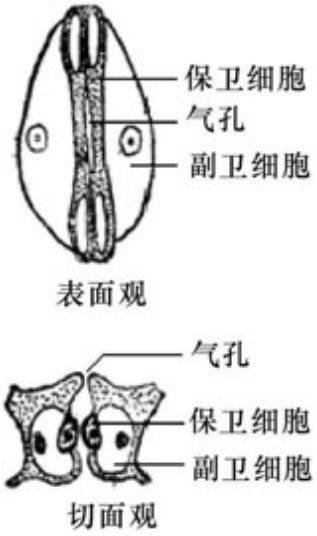
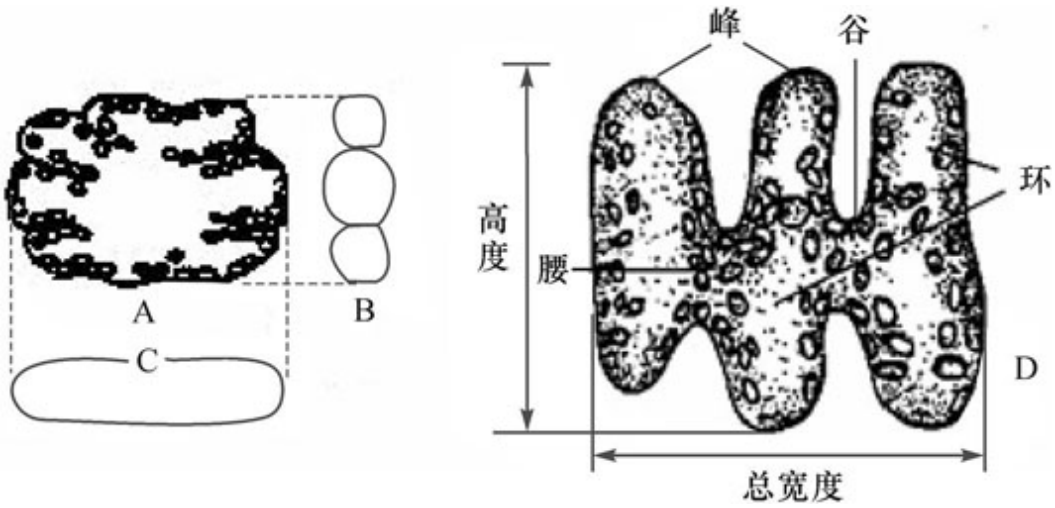


图6-2-43　水稻的气孔器

①表皮细胞　表皮细胞一层，形状比较规则，往往沿着叶片的长轴成行排列，通常由长、短两种类型的细胞构成，这点与其茎表皮一致。长细胞为长方形，长径与叶的长轴方向一致，外壁角质化并含有硅质。短细胞为正方形或稍扁，插在长细胞之间；短细胞可分为硅质细胞和栓质细胞两种类型，两者可成对分布或单独存在；硅质细胞除壁硅质化外，细胞内充满一个硅质块；栓质细胞壁栓质化。

②泡状细胞　在上表皮中还分布有一种大型细胞，称为泡状细胞，其壁比较薄，有较大的液泡，常几个细胞排列在一起，从横切面上看略呈扇形，通常分布在两个维管束之间的上表皮中，它与叶片的卷曲和开张有关，因此也称为运动细胞。



A～C．水稻叶肉细胞形态　D．小麦一个叶肉细胞

（A．横剖面　B．平行于叶表皮的纵切面　C．与叶表成直角的纵切面）

图6-2-44　禾本科植物叶肉细胞形态

③气孔器　禾本科植物叶的上、下表皮上有纵行排列的气孔器。与一般被子植物不同，禾本科植物气孔器的保卫细胞成哑铃形，中部狭窄，壁厚，两端壁薄膨大成球状，含有叶绿体，气孔的开闭是保卫细胞两端球状部分胀缩的结果。每个保卫细胞一侧有一个副卫细胞，因此禾本科的气孔器由两个保卫细胞、两个副卫细胞和气孔构成。气孔器的分布在脉间区域与叶脉相平行。一般上、下表皮的气孔数目相近。

（2）叶肉　叶肉组织由均一的薄壁细胞构成，为等面叶。在气孔的内方有较大的胞间隙，形成孔下室。叶肉细胞的形状随植物种类和叶在茎上的位置而变化，形态多样（图6-2-41、44）。

（3）叶脉　叶内的维管束平行排列，中脉明显粗大，与茎内的维管束结构相似。在中脉和较大维管束的上下两侧有发达的厚壁组织与表皮细胞相连，增加了机械支持力。维管束均有一至两层细胞包围，形成维管束鞘。在水稻、小麦等C_3植物中（图6-2-41），维管束鞘由两层细胞构成，内层细胞壁厚而不含叶绿体，细胞较小；外层细胞壁薄而大，叶绿体与叶肉细胞相比小而少甚至无。在玉米、甘蔗等C_4植物中（图6-2-45），维管束鞘仅由一层较大的薄壁细胞组成，含有大的叶绿体，叶绿体中有大量的片层结构但没有或仅有少量基粒，它积累淀粉的能力远远超过叶肉细胞中的叶绿体。C_4植物维管束鞘与外侧相邻的一圈叶肉细胞组成“花环”状结构，在C_3植物中则没有这种结

构。到目前为止，发现的C_4植物只属于草本被子植物，且单子叶植物中的C_4植物种类与双子叶C_4植物种类之比为5：1。

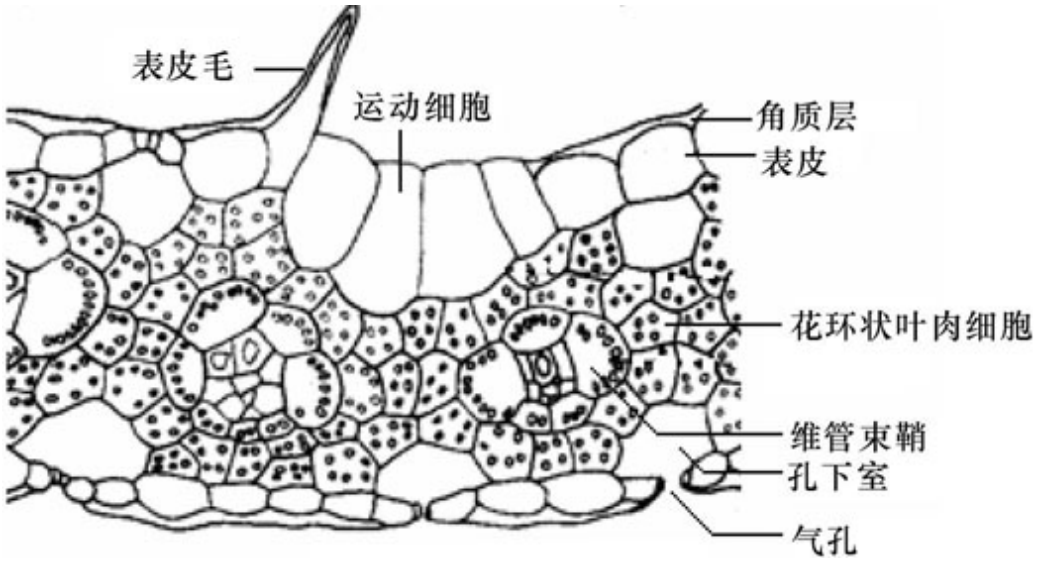


图6-2-45　玉米叶片横切面

（三）叶对不同生境的适应

1．旱生与水生植物的叶

（1）旱生植物叶　一般具有保持水分和防止蒸腾的明显特征，通常向着两个不同的方向发展。一类是对减少蒸腾的适应：叶小而厚；表皮细胞外壁增厚，角质层也厚，甚至于形成复表皮；气孔下陷或局限在气孔窝内；表皮常密生表皮毛；栅栏组织层次多，甚至于上下两面均有分布；机械组织和输导组织发达，如夹竹桃等的叶（图6-2-46）。另一种类型是贮水能力强：如马齿苋、景天和芦荟等，它们的共同特征是叶肥厚多汁，在叶肉内有发达的薄壁组织，即贮水组织（图6-2-46），贮存了大量的水分，以此适应旱生的环境。

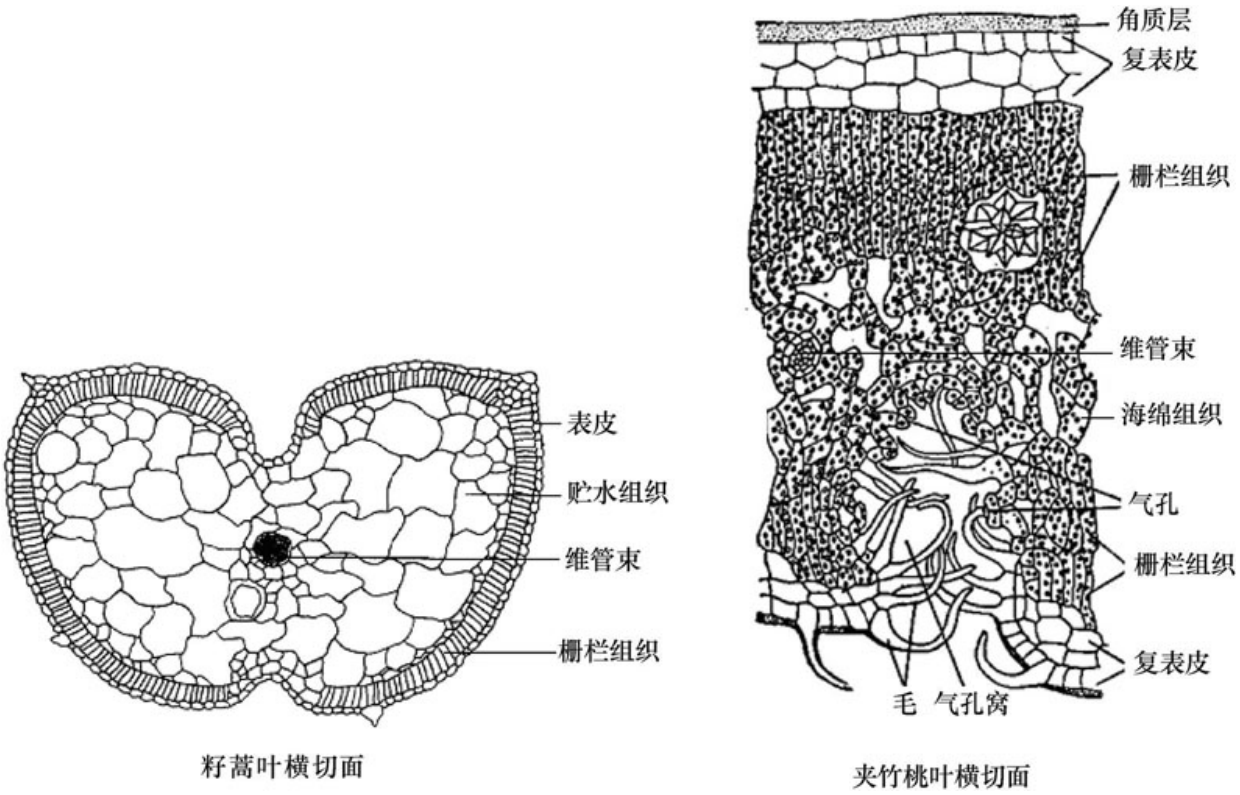


图6-2-46　旱生叶的结构

（2）水生植物叶　由于水生植物是部分或完全生活在水中的植物，环境中水分充足，但气体明显不足。对于沉水植物和浮水植物的叶而言，除胞间隙发达或海绵组织所占比例较大外，与一般中生植物叶结构差不多，浮水叶仅在上表皮有少量气孔。但对于沉水叶来说，由于光照强度显然也不够，因此叶的结构和旱生植物不同。沉水叶一般形小甚至细裂成丝状，以增加与水的接触和气体的吸收面；表皮细胞壁薄，角质膜薄或没有角质膜，也无气孔和表皮毛，但表皮细胞具叶绿体，所以吸收、气体交换和光合作用均由表皮细胞进行；叶肉组织不发达，层次少，无栅栏组织和海绵组织的分化；胞间隙特别发达，形成通气组织；导管和机械组织极端退化，如眼子菜等（图6-2-47）。

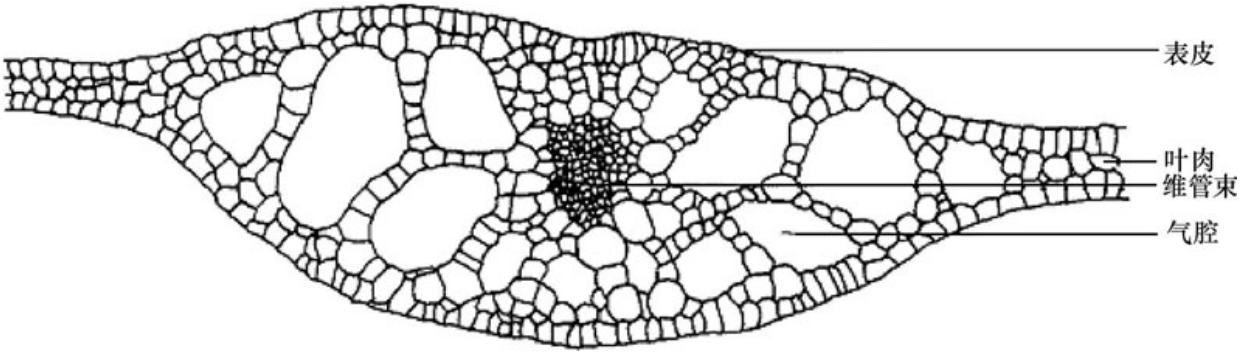


图6-2-47　眼子菜叶的横切面

2．阳生与阴生植物的叶　阳生植物的叶倾向于旱生叶的特征（图6-2-48）。一般阴生植物叶片构造特征与阳生植物相反：叶片大而薄，角质层薄，单位面积上气孔数目少；栅栏组织不发达，只有一层；海绵组织发达，占了叶肉的大部分，有发达的胞间隙；细胞中叶绿体大而少，叶绿素含量多，尤其是叶绿素b的含量更高（以便能更好地吸收林下的蓝紫光），有时表皮细胞也有叶绿体；机械组织不发达，叶脉稀疏（图6-2-48）。这些特点均有利于光的吸收和利用，因而能适应光线不足的要求。

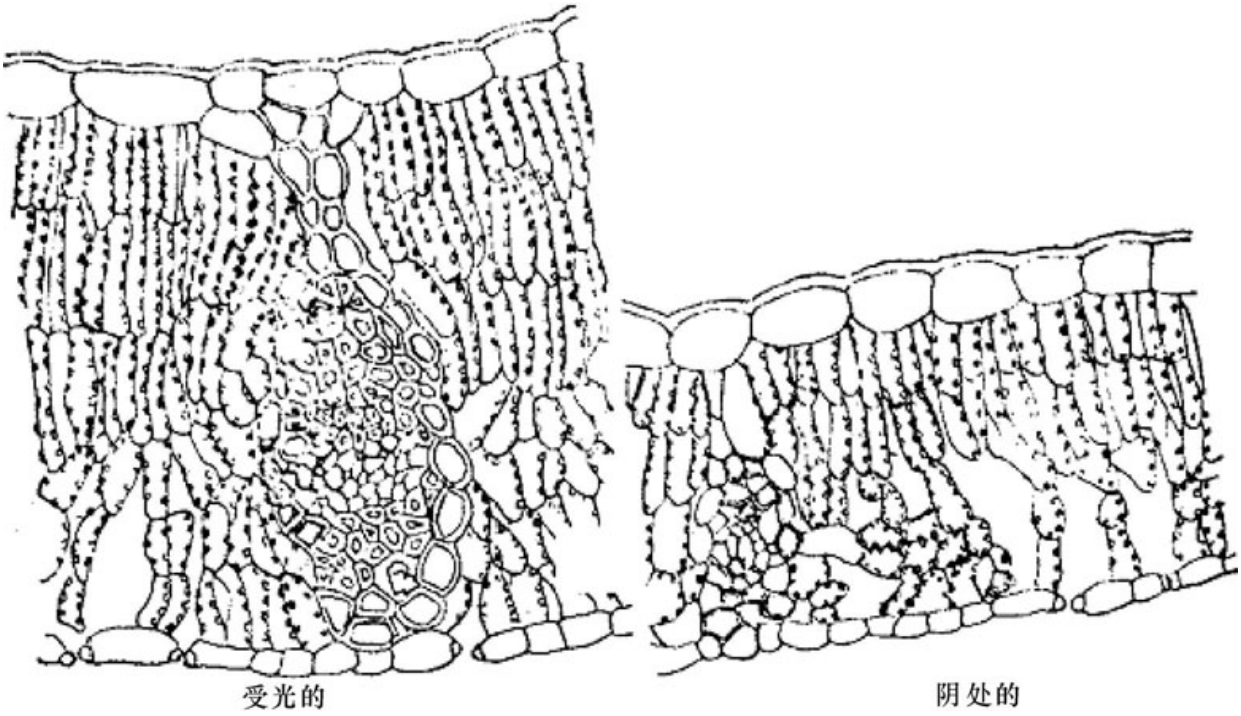


图6-2-48　栎树叶片在向阳和荫蔽条件下的解剖结构

（五）落叶与离层

1．叶的寿命和落叶　叶有一定的寿命，生活期终结时，叶便枯死脱落。叶生活期的长短在各种植物中是不同的。一般植物的叶，生活期为一个生长季。草本植物的叶随植株死亡，但依然残留在植株上。落叶树春天新叶展开，秋季脱落死亡；落叶是植物减少蒸腾和营养消耗、度过不良环境的一种适应。常绿树四季常青，叶子也脱落，但不是同时进行，不断有新叶产生老叶脱落，叶的寿命一般较长，可生活多年，衰老的叶脱落，但就全树而言，终年常绿。

2．叶的衰老和离层的产生　随着秋季的来临，气温持续下降，尤其是日照的渐渐缩短，①叶子的细胞中首先发生各种生理生化上的变化：叶中的许多物质分解被运回到茎中；叶绿素被破坏而不能重新合成，光合作用停止，而叶黄素和胡萝卜素不易被破坏，同时由于花青素的形成，使叶片由原来的绿色逐渐变为黄色或红色。②与此同时靠近叶柄基部的某些细胞有细胞学和组织学上的变化：这个区域的薄壁细胞分裂产生数层小型细胞，构成离区（图6-2-49）；离区中的1～2层细胞的呼吸加快，纤维素酶和果胶酶等的大量合成、分泌和活性的提高，大量降解细胞壁中的纤维素和果胶，致使细胞间相互分离，只有维管束还连在一起，这个区域称为离层。离层细胞的支持力量非常脆弱，这时叶片也已枯萎，稍受外力，叶便从此处断裂而脱落。叶脱落后，离层下面的细胞壁和胞间隙中均有木栓质形成，构成保护层。花、果的脱落过程与落叶类似。

日照等的外界因素变化是通过生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯等激素的产生来完成离层的形成和落叶落花落果的。其中，前两者有抑制作用，而后三者有促进作用。

（六）叶的变态

主要有苞片、总苞、叶刺、叶卷须、鳞叶和捕虫叶等（图6-2-50）。生于花下的变态叶称苞片；数目多而聚生在花序基部的苞片总称为总苞。叶刺都着生于叶或托叶的位置上，叶腋处有叶芽，叶芽可发育为侧枝。有些植物的叶片完全退化，而叶柄变为扁平的叶状体，代行叶的功能，称为叶状柄。叶的功能特化或退化成鳞片状，称鳞叶，如荸荠的鳞叶是膜质的，洋葱内部的鳞片是肉质的。捕虫叶特化成囊状（狸藻）、盘状（茅膏菜）和瓶状（猪笼草），利于捕食小虫，同时仍具叶绿体，既能进行光合作用又能消化分解动物性食物，这类植物多生活于缺氮的环境中。

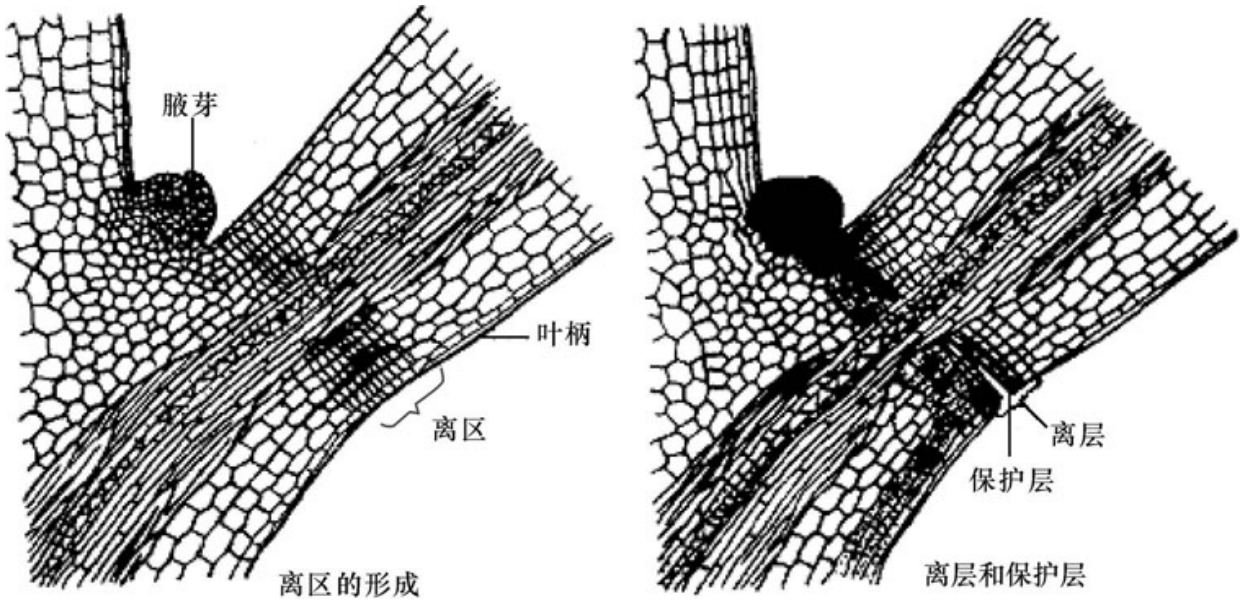


图6-2-49　离区的离层和保护层结构示意图

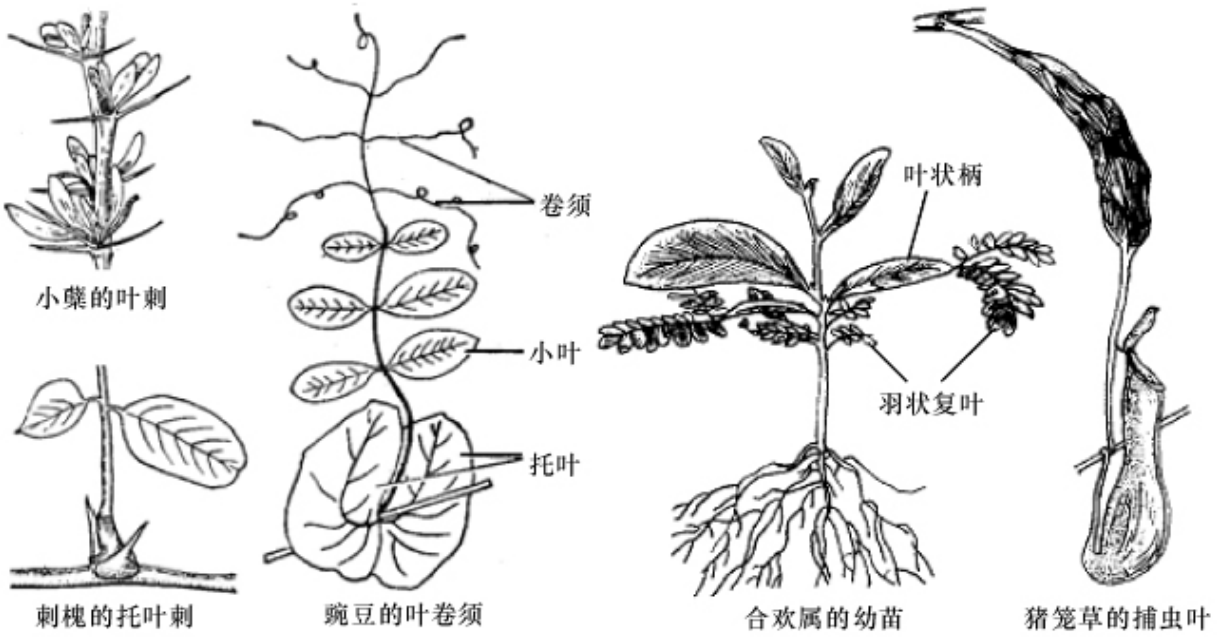


图6-2-50　叶变态的几种类型

变态是植物的营养器官在适应不同的环境和功能时，形态和结构上发生的可以遗传的变化。在变态器官中，一般将器官功能不同而来源相同的，称为同源器官，如枝刺、根状茎、块茎和茎卷须等为同源器官；而来源不同但功能相同的，称为同功器官，如块根与块茎，虽然从来源上看，前者为根，后者为茎，但均有贮藏的功能。

综上所述，植物体的各营养器官之间的结构是相互联系的。虽然根、茎、叶的结构不同，但其表皮、皮层和维管组织共同构成了一个统一的整体，彼此互相联系。根、茎、叶的表皮形成了表面的保护体系，表皮之下是皮层，其联系简单；而维管组织的联系则较为复杂。

【例题解析】

例1　在多年生木本茎的结构中，什么射线是完全的次生结构？（　　）

A．髓射线和维管射线

B．只有髓射线

C．只有维管射线

D．只有木射线

E．只有韧皮射线

解析　多年生木本茎的初生结构中就有了初生髓射线，但没有木射线和韧皮射线；后来束间形成层切向分裂又产生了次生的髓射线，束中形成层的纺锤状原始细胞切向分裂并分化产生了次生木质部和次生韧皮部，束中形成层的射线原始细胞切向分裂并分化产生了木射线和韧皮射线，木射线和韧皮射线共同构成了维管射线。

答案　C

例2　苗（枝条）与茎的区别是（　　）

A．苗是生长有叶和芽的茎

B．苗的节间比茎的长

C．苗的节间比茎的短

D．苗上无叶痕

解析　植物的营养器官包括根、茎、叶三个部分。顶芽和侧芽都由幼叶、叶原基和芽原基共同构成。因此，茎不包括叶、侧芽和顶芽。枝条包括叶、芽和茎。

答案　A

例3　以下是对植物叶片结构的叙述，其中正确的是（　　）

A．气孔运动中，保卫细胞失水收缩，使气孔张开

B．被子植物叶片的叶肉组织都是由栅栏组织和海绵组织组成的

C．叶片中的叶肉组织，依形状的不同分为栅栏组织和海绵组织

D．水生植物叶片一般都具有发达的贮水组织

解析　气孔运动中，保卫细胞失水收缩，使气孔关闭。在被子植物中，异面叶的叶肉组织才有两种不同形态类型的细胞，即栅栏组织和海绵组织的细胞；如果是等面叶，其叶肉组织就没有分化出栅栏组

织和海绵组织。具有发达贮水组织的叶片是旱生植物的叶片，而不是水生植物的叶片。

答案　C

例4　一棵树茎高3m，在距离地面2m处作一标记。两年后这棵树长到5m高，这时标记距地面应是（　　）

A．4m

B．3m

C．3～4m

D．2m

解析　树的长长靠的是顶端分生组织细胞的分裂和伸长。这棵茎高3m的树，在距地面2m处的茎中只有维管形成层和木栓形成层才有分裂能力，然而这两种形成层细胞只能进行切向和茎向分裂而使茎长粗，没有横向分裂就不能让树长高。因此，这棵树茎的长高靠的是茎顶端分生组织细胞的分裂和分化。

答案　D

例5　植物在正常次生生长过程中细胞会发生的活动是（　　）（多选题）

A．细胞分裂

B．细胞分化

C．细胞脱分化

D．细胞的程序性死亡

E．细胞的质壁分离

解析　木栓形成层来自于皮层、维管束鞘甚至是次生韧皮部薄壁细胞的脱分化；维管形成层来自于初生木质部和初生韧皮部之间原形成层细胞，次生分生组织通过细胞分裂和分化才能形成次生结构，导致次生生长；细胞发生程序性死亡产生导管或纤维。

答案　ABCD

例6　扦插葡萄枝条成活后，其根最终由种子的胚的什么部位细胞分裂分化而来（　　）

A．胚根

B．胚轴

C．胚芽

D．子叶

解析　扦插葡萄枝条成活后长出的根直接来自于枝条，而枝条来自于种子胚中的胚芽发育形成。

答案　C

例7　种子植物根的次生生长与根尖分生区的哪部分有间接关系（　　）（多选题）

A．原表皮

B．基本组织

C．原形成层

D．不活动中心

解析　根尖分生区的初生分生组织通过细胞的分裂和分化直接形成根的初生结构。其中，初生分生组织的原表皮发育成根的表皮，基本组织发育成根的皮层，原形成层发育成根的中柱。不活动中心不属于分生区，通常不分裂，是细胞分裂素合成的地方。引起次生生长的是次生分生组织分裂分化的结果，其中，木栓形成层来自于皮层、中柱鞘甚至是初生韧皮部薄壁组织细胞的脱分化，维管形成层来自于中柱中初生韧皮部和初生木质部之间的薄壁细胞恢复分裂能力形成，因此种子植物根的次生生长与根尖分生区中的基本组织和原形成层有间接关系。

答案　BC

【针对训练】

（一）单选题

1．菟丝子属于下列哪一种根（　　）

A．寄生根

B．攀援根

C．板状根

D．支柱根

2．形成层径向分裂产生的细胞是（　　）

A．发育成次生木质部

B．发育成次生韧皮部

C．发育成次生维管组织

D．使形成层周径扩大

3．胞间连丝存在于（　　）

A．动物上皮细胞之间

B．植物薄壁组织细胞之间

C．蓝藻群体细胞之间

D．四联球菌各细胞之间

4．榕树的支柱根又可称为（　　）

A．侧根

B．定根
C．不定根
D．须根
5．水生被子植物茎的结构特征是（　　）
A．表皮形成根毛
B．机械组织发达
C．通气组织发达
D．木质部发达
6．组成双子叶植物维管束的部分有（　　）
①表皮；②皮层；③木栓层；④韧皮部；⑤木质部；⑥形成层；⑦髓
A．②③④
B．④⑤⑥
C．⑤⑥⑦
D．①
7．植物矮小，根系发达，叶小而厚，叶表皮细胞壁厚，气孔深陷，栅栏组织层次多，此类植物可能为（　　）
A．水生植物
B．旱生植物
C．阴生植物
D．以上都不对
8．在植物体内，筛管和环纹导管的最底端分布于根尖的（　　）
A．成熟区
B．伸长区
C．分生区
D．根冠
9．松树叶结构特点之一是（　　）
A．栅栏组织和海绵组织有明显分化
B．通气组织发达
C．叶内具有内皮层
D．表皮层无气孔
10．落叶植物叶离层的产生是由于（　　）
A．气候逐渐变冷
B．日照逐渐变短
C．土壤中缺乏水分
D．空气变干燥

11．旱生植物体的结构特征不表现在（　　）
A．叶片变小或退化
B．茎肉质化
C．表皮细胞角质层加厚
D．叶片上缺少气孔
12．根与茎皮层结构的主要区别是（　　）
A．根皮层的薄壁组织细胞壁薄
B．茎皮层薄壁组织的细胞壁薄
C．根皮层的薄壁组织细胞间隙大
D．根具有明显的内皮层
13．植物根上的侧根是由哪里产生的（　　）
A．表皮
B．皮层
C．中柱鞘
D．髓
14．根尖从根毛及表皮细胞吸收的水分及无机盐，通过以下哪种途径运到植物体地上部分是最合理的（　　）
A．表皮→皮层→内皮层→中柱鞘→原生木质部→后生木质部
B．表皮→皮层→内皮层→中柱鞘→初生木质部→次生木质部
C．表皮→皮层→内皮层→中柱鞘→后生木质部→原生木质部
D．表皮→皮层→内皮层→中柱鞘→后生木质部→初生木质部
15．甲种植物根系特别发达，生长速度快，叶面多绒毛，气孔下陷形成气孔腔，气孔腔内有许多细长的毛。乙种植物具浅根，无根毛，体内通气组织发达。假定：（1）为湿生植物；（2）为中生植物；（3）为旱生植物。请指出下面哪项判断是正确的（　　）
A．甲（1），乙（2）
B．甲（3），乙（1）
C．甲（2），乙（1）
D．甲（1），乙（3）
16．菌根是_____在植物体上形成的，两者是一种_____关系（　　）
A．细菌；寄生
B．真菌；互利共生
C．真菌；附生
D．根瘤菌；互惠共生

17．观察植物有丝分裂过程应选择下列哪一种材料最适宜（　　）

A．叶的上表皮

B．茎的木质部

C．皮层

D．根尖

18．根据射线的细胞排列的形状，判断哪个是切向切面（　　）

A．多个射线细胞排成直线，多个直射线成放射状

B．多个射线细胞排成纺锤状（或梭形）

C．射线细胞为多列长方形，多个细胞横叠着颇似砖墙

D．射线细胞无规律排列

19．玉米茎的维管束散生在基本组织中，但维管束鞘内的维管系统排列的顺序是一定的，看下列哪组由茎中心向外排列的顺序正确（　　）

A．原生木质部→后生木质部→原生韧皮部→后生韧皮部

B．原生木质部→后生木质部→后生韧皮部→原生韧皮部

C．后生木质部→原生木质部→后生韧皮部→原生韧皮部

D．后生木质部→原生木质部→原生韧皮部→后生韧皮部

20．下列四种植物中根或茎的次生生长为正常次生生长（　　）

A．朱蕉茎

B．白薯肉质根

C．洋槐茎

D．甜菜肉质根

21．被子植物茎中的初生维管束来源于（　　）

A．维管形成层

B．木栓形成层

C．原形成层

D．三生形成层

22．气孔主要分布于叶片上表皮的植物一般生存的环境是（　　）

A．旱生

B．水生

C．阴生

D．阳生

23．以下是对植物根的叙述，其中正确的是（　　）

A．根尖生长最快的部位不是植物体中细胞分裂最旺盛的部位

B．根只具有吸收和支持的功能
C．组成种子植物的所有细胞都是活的
D．根与茎的初生结构差异非常大
24．表皮细胞没有角质层的叶片一定是（　　）
A．旱生的
B．阴生的
C．水生的
D．沉水生的
25．以下结构中，其结构水平属于细胞的是（　　）
A．气孔
B．叶绿体
C．角质层
D．导管分子
26．蚕豆叶的下表皮细胞特点是（　　）
①细胞不规则，彼此嵌合着　②细胞长方形，排列紧密　③细胞内含有叶绿体，呈现绿色　④细胞无色透明　⑤细胞间分布有许多对保卫细胞
A．①②③④⑤
B．①③⑤
C．①④⑤
D．②④⑤
27．能进行光合作用的是（　　）
A．保卫细胞
B．叶片表皮细胞
C．茎表皮细胞
D．韧皮纤维
28．下列具有新陈代谢的细胞是（　　）
A．韧皮纤维
B．木纤维
C．导管
D．筛管
29．下列属于不完全叶的是（　　）
A．由托叶、叶柄和叶片组成的叶
B．由叶柄和叶片组成的叶
C．由一片托叶、一个叶柄和叶片组成的叶
D．由一个叶柄、两个托叶和叶片组成的叶

30．在下列结构中，含有叶绿体最多的细胞是（　　）
A．叶脉鞘细胞
B．栅栏组织细胞
C．海绵组织细胞
D．茎的皮层细胞
31．保卫细胞的主要作用是（　　）
A．制造有机物
B．控制气孔开关
C．保护
D．输导
32．在茎的结构中，含有叶绿体的主要部位是（　　）
A．表皮
B．皮层
C．中柱鞘
D．周皮
33．茎的木栓形成层一般可产生于（　　）
A．叶表皮的皮层细胞依次到中柱鞘
B．皮层和中柱鞘
C．近表皮的皮层细胞依次到次生韧皮部的薄壁细胞
D．中柱鞘
34．叶片中不含有叶绿体的细胞一定位于（　　）
A．气孔器
B．维管束鞘
C．表皮
D．贮水组织
35．旱生、中生和水生植物的特点，哪部分的结构区别最为明显（　　）
A．根
B．茎
C．叶
D．根、茎、叶的表皮
36．由叶腋枝条顶端发育成的变态结构是（　　）
A．根状茎
B．块茎
C．鳞茎
D．球茎

37．生有茎卷须的是（　　）
A．南瓜
B．豌豆
C．红薯
D．花生
38．在根的初生结构中，每一个细胞都是由什么直接分裂和分化而来的（　　）
A．分生区的初生分生组织
B．分生区的次生分生组织
C．伸长区细胞
D．根毛区的形成层细胞
39．生活在不易见光部分的叶，其结构特点是（　　）
A．叶宽、薄，栅栏组织不发达，海绵组织发达，叶绿体大，色素多
B．叶宽、薄，栅栏组织不发达，海绵组织发达，叶绿体小，色素少
C．叶小、厚，叶肉细胞发达
D．叶小、厚，叶肉细胞发达
40．在叶芽结构中，幼叶最终来自于顶端分生组织的（　　）
A．原套
B．叶原基
C．芽轴
D．原表皮
41．豆角的茎属于（　　）
A．直立茎
B．缠绕茎
C．匍匐茎
D．攀援茎
42．移栽幼苗时，根应带土是为了（　　）
A．带来水和无机盐
B．避免损伤生长点
C．免伤导管
D．避免损伤根毛和幼根
43．多年生双子叶植物茎产生年轮的主要外界原因是（　　）
A．气温和降雨量的季节性变化
B．光照强弱的季节性变化

C．纬度和土壤性质
D．经度和纬度的地理位置
44．年轮出现在茎的（　　）
A．树皮
B．韧皮部
C．次生木质部
D．中柱
45．叶的主要功能是（　　）
A．光合作用，呼吸作用
B．光合作用，蒸腾作用
C．蒸腾作用，呼吸作用
D．光合作用，呼吸作用和蒸腾作用
46．年轮形成的界限位于（　　）
A．第一年春材与第一年秋材之间
B．第一年晚材与第二年早材之间
C．第一年秋材与第二年秋材之间
D．第一年早材与第二年早材之间
47．平时我们所指的木材，主要是指木本植物茎的（　　）
A．木质部
B．韧皮部
C．髓
D．形成层
48．以下有关植物营养器官的描述中，正确的是（　　）
A．一片不完全叶一定缺少叶柄
B．大多数双子叶植物的叶具有网状脉
C．每一片完整的复叶都是有顶芽的
D．茎上着生叶的部位叫做节间
49．绿色植物体中不含有叶绿体的细胞是（　　）
A．叶柄的皮层
B．嫩茎的皮层
C．叶柄的维管束
D．老叶的叶肉
50．木本植物茎中，具有长距离运输有机物作用的结构位于（　　）
A．髓
B．木质部

C．形成层
D．树皮
51．吃甘蔗吐出的渣主要是（　　）
A．髓的细胞壁
B．维管束
C．薄壁细胞的壁
D．表皮细胞的壁
52．下列各种植物的食用部分属于球茎是（　　）
A．白萝卜
B．芋头
C．马铃薯
D．洋葱
53．大豆叶脉末端的维管组织一定具有（　　）
A．导管
B．管胞
C．筛管
D．筛胞
54．根瘤菌共生于豆科植物根的（　　）
A．根毛
B．周皮
C．皮层
D．中柱
55．一侧枝有一个果实、三片叶和两个侧芽等，这侧枝是由什么发育而来的（　　）
A．花芽
B．叶芽
C．混合芽
D．不一定
56．植物根的功能是把植物固定在土壤中，并且从土壤中通常吸收（　　）
A．水分和无机盐
B．水分和有机养料
C．水分、无机盐和有机养料
D．无机盐和有机养料
57．根的什么部位失去了吸收功能，但加强了输导水分和无机盐的功能（　　）

A．根毛区
B．伸长区
C．生长点
D．根毛区以上
58．有感应地心引力并引起根向地性生长的根尖结构是（　　）
A．成熟区
B．伸长区
C．分生区
D．根冠
59．在侧根的发生上，侧根原基发生在根的（　　）
A．伸长区
B．根毛区
C．成熟区以上的区域
D．根的次生结构区域
60．在下列情况中，哪种情况能使根系入土深，扩展范围大（　　）
A．深耕地，但只在土表施肥浇水
B．经常在土表松土，少施肥和浇水
C．深耕地，在深层施肥并浇较多水
D．常在土表松土、施肥和浇大量的水
61．人们在河堤、山坡、沙地上造林种草，其目的是为了（　　）
A．利用根系来固堤保持水土
B．美化环境
C．降低温度，增加降雨量
D．增加木材、牧草
62．植物体的根能够不断伸长，这是由于（　　）
A．根冠和生长点细胞不断分裂
B．生长点细胞的不断分裂，尤其是伸长区细胞的不断伸长
C．生长点、伸长区和成熟区细胞不断分裂和生长
D．伸长区细胞不断伸长，尤其是根尖细胞的不断分裂
63．根尖结构中，根冠细胞组成的组织类型是什么组织（　　）
A．保护组织
B．营养组织
C．分裂组织
D．机械组织

64．生长在岩石上的一片干地衣和生长在地里的一株萎蔫的棉花，一场阵雨后，两者的吸水方式（　　）

A．都是吸胀作用

B．分别是吸胀作用和渗透作用

C．都是渗透作用

D．分别是渗透作用和吸胀作用

65．气孔主要分布于叶片上表皮的植物一般生存的环境是（　　）

A．旱生

B．水生

C．阴生

D．阳生

66．禾本科植物根的内皮层细胞在发育后期常五面增厚，只有哪项是薄的（　　）

A．横壁

B．径向壁

C．内切向壁

D．外切向壁

67．形成层通过径向分裂产生（　　）

A．次生木质部

B．次生韧皮部

C．次生维管组织

D．使周径扩大

68．根部形成层产生过程中，首先开始于（　　）

A．初生韧皮部内方的薄壁细胞

B．初生木质部脊处的中柱鞘细胞

C．初生韧皮部外方的薄壁细胞

D．原生木质部细胞

69．在木材的哪个面上可以看到射线在茎中的长度和高度（　　）

A．横切面

B．径向切

C．切向切

D．任意切

70．茎的维管形成层可以细分为束中形成层与束间形成层，从它们在植物体中所处的位置以及来源性质上看，两者（　　）

A．均为侧生分生组织和次生分生组织
B．均为侧生分生组织，但束中形成层属次生分生组织，束间形成层属初生分生组织
C．并非侧生分生组织，而是次生分生组织
D．均为侧生分生组织，束中形成层具有初生分生组织的性质，束间形成层却是典型的次生分生组织
71．橡胶树的乳汁管和漆树的漆汁道都分布于（　　）
A．皮层
B．次生韧皮部
C．初生韧皮部
D．次生木质部
72．禾本科植物茎维管束中的维管束鞘为（　　）
A．薄壁组织
B．厚壁组织
C．厚角组织
D．基本组织
73．禾本科植物茎维管束中的气隙（气腔）是遭破坏了的（　　）
A．原生韧皮部
B．原生木质部
C．后生木质部
D．次生木质部
74．在根茎过渡区，后生木质部的位置（相对于原生木质部）是（　　）
A．由内方移向外方
B．由中央移向侧面
C．由外方移向内方
D．不变
75．水稻叶上、下表皮的主要区别在于（　　）
A．气孔数量多少
B．表皮细胞形状
C．有无硅质细胞
D．有无泡状细胞
（二）多选题
1．以下有关根的初生结构中，正确的是（　　）
A．具有凯氏带的内皮层中一定有通道细胞

B．中柱的韧皮部和木质部是相间排列的
C．单子叶植物根的木质部一般是多原型的
D．中柱鞘细胞可以脱分化成为形成层，还能产生侧根、不定根和不定芽
2．下列有关种子植物根的结构中，其横切面上的结构特点是（　　）
A．维管射线存在于根毛区
B．形成层存在于根的初生结构和次生结构之间
C．维管形成层刚发生时是断断续续的，未成环
D．圆环状形成层出现在外有周皮的根的区域
3．在种子植物根的次生生长中，木栓形成层可由什么细胞脱分化形成（　　）
A．表皮
B．皮层
C．维管束鞘
D．次生韧皮部薄壁
E．韧皮射线
4．植物根的细胞可合成什么供地上部分利用（　　）
A．氨基酸
B．植物激素
C．植物碱
D．糖类
5．在根的下列结构中，可以直接引起根长粗的是（　　）
A．根尖生长点
B．根的维管形成层
C．根的木栓形成层
D．中柱鞘细胞
6．下列关于菌根的叙述中正确的是（　　）
A．某些真菌的菌丝进入根的皮层中，形成菌根
B．菌根具有吸收功能，有的还胜过根毛的作用
C．菌根有消化纤维素的能力，从而使其寄主植物可以更好地利用埋在土中的植物遗体
D．菌根有内生菌根和外生菌根之分
7．属于旱生植物叶片的结构特点是（　　）
A．保护组织衰退
B．叶脉稠密

C．气孔陷入表皮平面之下
D．栅栏组织很发达
8．以下关于芽的叙述中，正确的是（　　）
A．叶芽和花芽可由混合芽发育而来
B．茎的维管束不一定来源于叶芽芽轴细胞的分化
C．植物的顶芽一定是混合芽
D．侧芽一定是叶芽
9．茎具有次生生长的植物一般都属于（　　）
A．单子叶植物
B．双子叶草本植物
C．双子叶木本植物
D．裸子植物
10．一根枝条可以通过以下哪个特征来判断年龄（　　）
A．叶痕的数目
B．芽鳞痕的数目
C．年轮的数目
D．束痕的数目
11．在保卫细胞中，与气孔开关有关的结构是（　　）
A．线粒体
B．叶绿体
C．核糖体
D．淀粉粒
12．与吐水有关的叶片结构是（　　）
A．气孔
B．水孔
C．表皮毛
D．通水组织
13．根的中柱鞘可以直接形成下列哪些植物的结构或部位（　　）
A．维管形成层、木质部
B．韧皮部、侧根
C．侧根、不定根和不定芽
D．维管形成层、木栓形成层
14．“植物体的组织可以分成表皮、基本组织和维管组织”这一概念适用于（　　）
A．类植物与苔藓植物

B．被子植物与裸子植物
C．类植物与种子植物
D．各类高等植物
15．一般说根和茎的初生结构有许多不同之处，下面哪些不同之处的说法是正确的（　　）
A．维管束的排列方式不同
B．韧皮部的发育方式不同
C．木质部的发育方式不同
D．内皮层是否明显
16．旱生植物体可能具有的特征是（　　）
A．叶片变小或退化
B．茎肉质化
C．表皮细胞的角质加厚
D．叶片上缺少气孔
17．哪个气候带的多年生双子叶植物茎有年轮（　　）
A．热带
B．亚热带
C．温带
D．寒带
18．具有支持和输导作用的结构或器官是（　　）
A．叶柄
B．叶脉
C．托叶
D．主根和侧根
19．旱生植物如夹竹桃叶片的特征是（　　）
A．表皮为复层表皮
B．栅栏组织细胞为一层
C．表皮具有气孔窝
D．叶脉结构简单
20．泡状细胞不会存在于（　　）
A．禾本科植物叶的上表皮
B．单子叶植物叶的下表皮
C．双子叶植物叶的上表皮
D．双子叶植物叶的下表皮
21．下列说法中，正确的是（　　）
A．等面叶的叶肉无栅栏组织和海绵组织的区别

B．叶内中脉的韧皮部靠近下表皮
C．会落叶的树叫落叶树，不会落叶的树叫常绿树
D．单叶的叶柄和复叶的小叶柄基部均有腋芽

【参考答案】

（一）单选题

1．A　2．D　3．B　4．C　5．C　6．B　7．B　8．B　9．C　10．B　11．D　12．D　13．C　14．A　15．B　16．B　17．D　18．B　19．B　20．C　21．C　22．B　23．A　24．D　25．D　26．C　27．A　28．D　29．B　30．B　31．B　32．B　33．C　34．D　35．C　36．B　37．A　38．A　39．A　40．A　41．B　42．D　43．A　44．C　45．B　46．B　47．A　48．B　49．C　50．D　51．B　52．B　53．B　54．C　55．C　56．A　57．D　58．D　59．B　60．C　61．A　62．B　63．A　64．B　65．B　66．D　67．D　68．A　69．B　70．D　71．B　72．B　73．B　74．A　75．D

（二）多选题

1．BCD　2．CD　3．BCDE　4．ABC　5．BC　6．ABCD　7．BCD　8．AB　9．CD　10．BC　11．BD　12．BD　13．CD　14．BC　15．ACD　16．ABC　17．BC　18．AB　19．AC　20．BCD　21．AB

第3讲　植物的生殖器官

（温州中学　苏宏鑫）

【知识梳理】

一、花

在低等植物中，生殖结构简单，多是单个细胞；在高等植物中，生殖结构由多个细胞组成。在被子植物中生殖结构最为复杂，出现了花。被子植物营养生长至一定阶段，在光照、温度因素达到一定要求时，就能转入生殖生长阶段，一部分或全部茎的顶端分生组织不再形成叶原基和芽原基，转而形成花原基或花序原基（图6-3-1），这时的芽就称为花芽。花芽形成花的各个部分，在花的生长发育过程中产生大、小孢子并分别发育形成雌、雄配子体，产生雌、雄配子，经有性

生殖过程，产生果实与种子。被子植物的有性与无性过程均发生在花中。

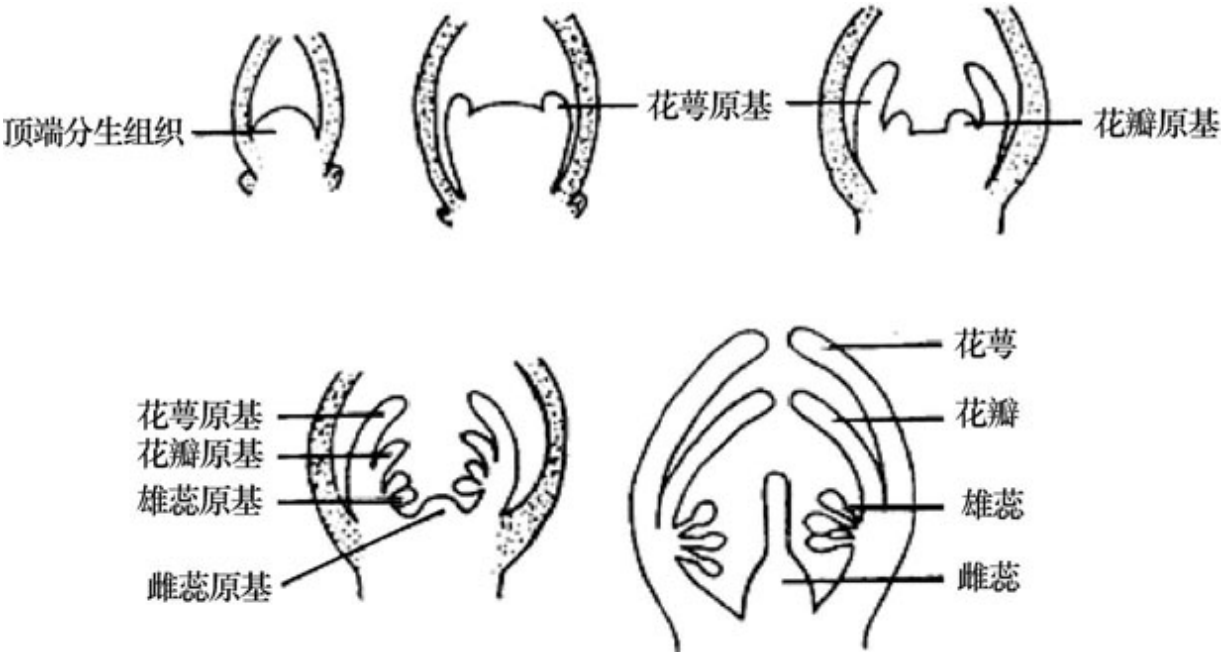


图6-3-1　梅（Prunus mume）的花芽分化图解

（一）花的组成与基本结构

德国的哲学家和博物学家歌德（Goethe）最早提出植物一切器官共同性的观点和多种植物器官统一性的观点，认为花是适应于繁殖功能、节间极其缩短的变态枝。一朵完整的花可以分成四个部分（图6-3-2）：花柄、花托、花被和花蕊。花蕊包括雄蕊群和雌蕊群。

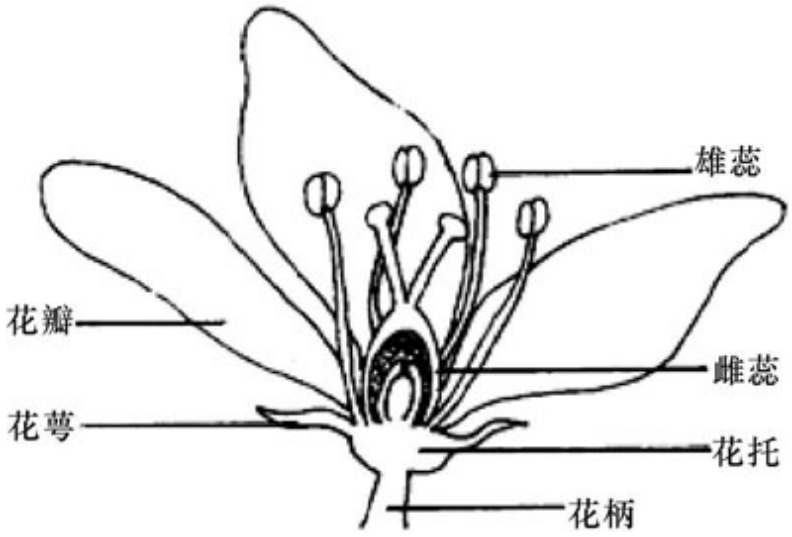


图6-3-2　花的结构

1．花柄和花托　花柄（花梗）是着生花的小枝。花柄的顶端部分为花托，花的其他部分按一定方式着生于花托上。较原始的花托为柱状，花的各部分螺旋排列其上，如玉兰。随植物的演化，在不同植物群中花托呈现不同的形状，在多数种类中，花托缩短，在某些种类中花托凹陷呈杯状甚至呈筒状（图6-3-3）。

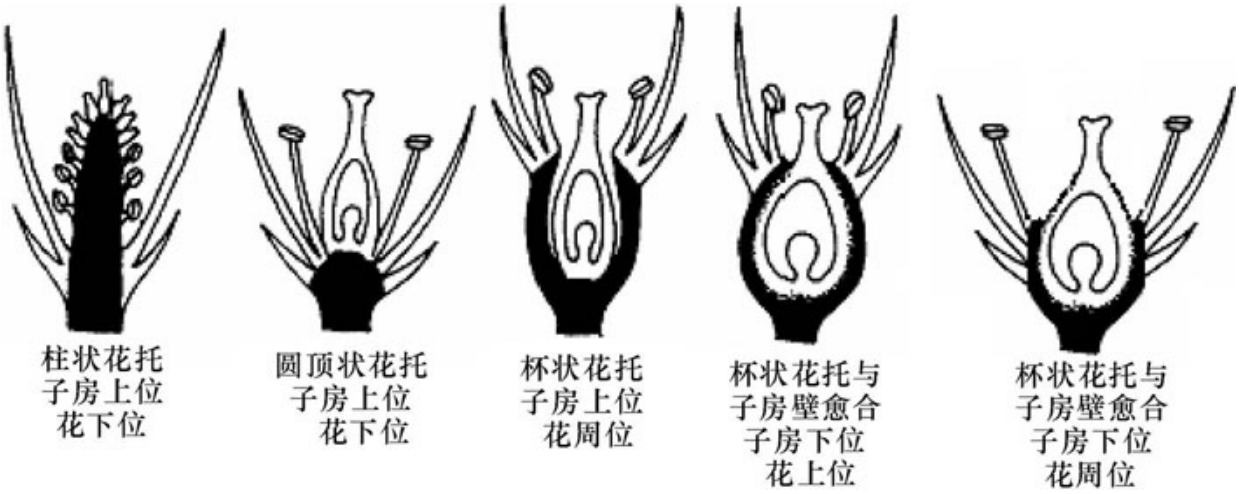


图6-3-3　几种不同形状的花托及子房与花的位置

2．花被　花被着生于花托边缘或外围，有保护作用，有些植物的花被还有助于传送花粉。很多植物的花被分化成内外两轮，称两被花。外轮花被多为绿色，称花萼，由多片萼片组成；内轮花被多有鲜艳的颜色，称花冠，由多片花瓣组成。有些植物的花被没有分化成两部分，称同被花，如百合属的花。有些植物的花被仅存一轮，另一轮退化，为单被花。有的植物无花被，如桦属的花，称为无被花。也有些植物的花有数轮花瓣，称为重瓣花，如月季花。

（1）花萼　花萼的各萼片之间有的分离，称为离萼，如油菜；有的彼此联合则称为合萼，如棉。合萼的基部为萼筒，上端的分离部分为萼裂片。如果花萼的各萼片排成两轮，外轮的称为副萼。有的植物花萼在果实成熟后仍然存在不脱落，这种花萼称为宿存萼，如茄、柿等。

（2）花冠类型　由于花瓣的离合，花冠筒的长短，花冠裂片的形状和深浅等不同，形成各种类型的花冠，常见的花冠有如图6-3-4所示的八种。蝶形花冠的花瓣五片，排列成蝶形，最上一瓣叫旗瓣；两侧的两瓣叫翼瓣，为旗瓣所覆盖，且常较旗瓣小；最下两瓣位于翼瓣之间，其下缘常稍合生，叫龙骨瓣。

筒状、漏斗状、钟状、轮状以及十字形花冠，各花瓣的形状、大小基本一致，常为辐射对称。唇形、舌状和蝶形花冠，各花瓣的形状、大小不一致，常呈两侧对称，也有些植物的花是不对称的，如美人蕉的花。

（3）花瓣与萼片或其裂片的排列方式　花瓣与萼片或其裂片在花芽中的排列方式，因植物种类的不同而有所不同。常见的有下列几种（图6-3-5）。

3．雄蕊群　雄蕊群是一朵花中雄蕊的总称，由多数或一定数目的雄蕊组成。多数植物的雄蕊可分化成花药与花丝两部分，如图6-3-6所示。

（1）花药着生方式　花丝上着生花药，花药在花丝上着生的方式可有多种。花丝顶端直接与花药基部相连的称为底着药；花药背部全部贴生于花丝上的称为背着花或贴着药；花药背部的点着生在花丝顶端的称为丁字形着药；花药朝向雌蕊一面生长的称为内向药，相反为外向药。

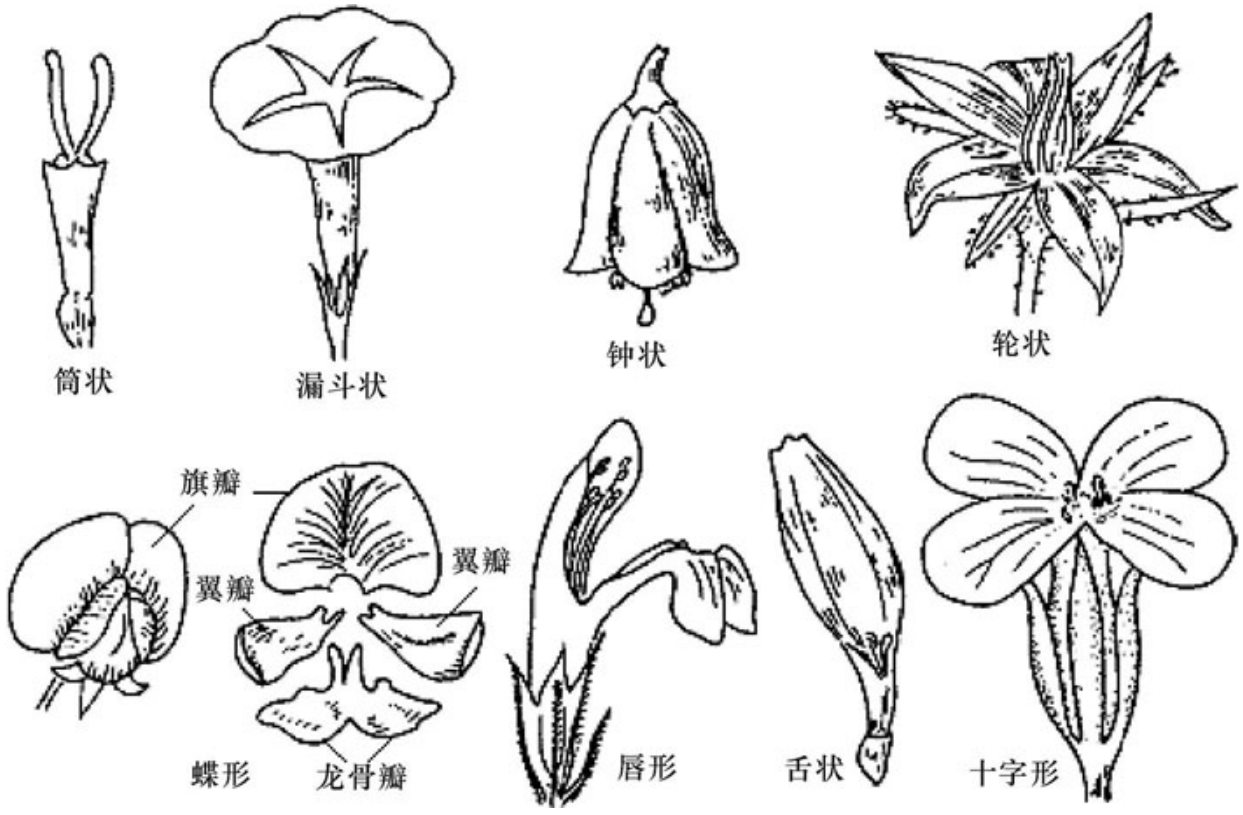


图6-3-4　花冠类型



图6-3-5　花瓣片排列方式

（2）花药的开裂方式　花药即花粉囊，其内产生花粉，花药相当于裸子植物的小孢子囊。花粉成熟时花药开裂，花粉散出。不同植物花药开裂方式也有所不同。有的花粉囊上部裂开一孔，也有的花粉囊上裂出一瓣片。

（3）雄蕊群的类型　雄蕊常随植物的种类不同而不同，其主要的类型如图6-3-6所示。一朵花中的花丝连合成一体的雄蕊群称为单体雄蕊。一朵花中的10枚雄蕊，有9枚花丝连合，一枚单生，形成二束的雄蕊群称为二体雄蕊。一朵花中的雄蕊的花丝连合成若干束的雄蕊群称为多体雄蕊。花药合生，花丝分离的雄蕊群称为聚药雄蕊。雄蕊4枚，2枚长、2枚短构成二强雄蕊。雄蕊6枚，4枚长、2枚短的雄蕊群称为四强雄蕊。

4．雌蕊群　雌蕊群指一朵花中雌蕊的总称。一朵花中，可有一或多枚雌蕊。

（1）心皮　雌蕊可由一或多个单位构成，组成雌蕊的单位称心皮，是具生殖作用的变态叶（图6-3-7）。在一花中仅由一个心皮组成的，称单雌蕊；多数植物雌蕊群有多个心皮，其中有的植物的多个心皮彼此分离，称离生单雌蕊（也属单雌蕊）；有的植物仅一枚雌蕊，但雌蕊由多心皮联合形成，称合生雌蕊（复雌蕊）。在不同植物中，合生雌蕊心皮的联合程度不同（图6-3-8）。在离生雌蕊中，每一心皮两侧的边缘愈合，而在合生雌蕊中，不同心皮的两侧边缘愈合。心皮边缘愈合之处的缝线称腹缝，心皮中肋处称为背缝。

（2）雌蕊的结构　雌蕊一般可分为柱头、花柱和子房三部分（图6-3-8A）。

①柱头　柱头位于雌蕊的顶端，多有一定的膨大或扩展，是接受花粉的部位。柱头表皮细胞呈乳突状、毛状或其他形状，柱头有湿型和干型两类。湿型柱头在传粉时表面有柱头分泌液，含有水分、糖类、脂类、酚类、激素和酶等，可黏附花粉，并为花粉萌发提供水分和其他物质，如棉属、烟草等植物的柱头。干型柱头表面无分泌液，

其表面亲水的蛋白质表膜能从膜下的角质层中断处吸取水分，如小麦、水稻等植物的柱头。

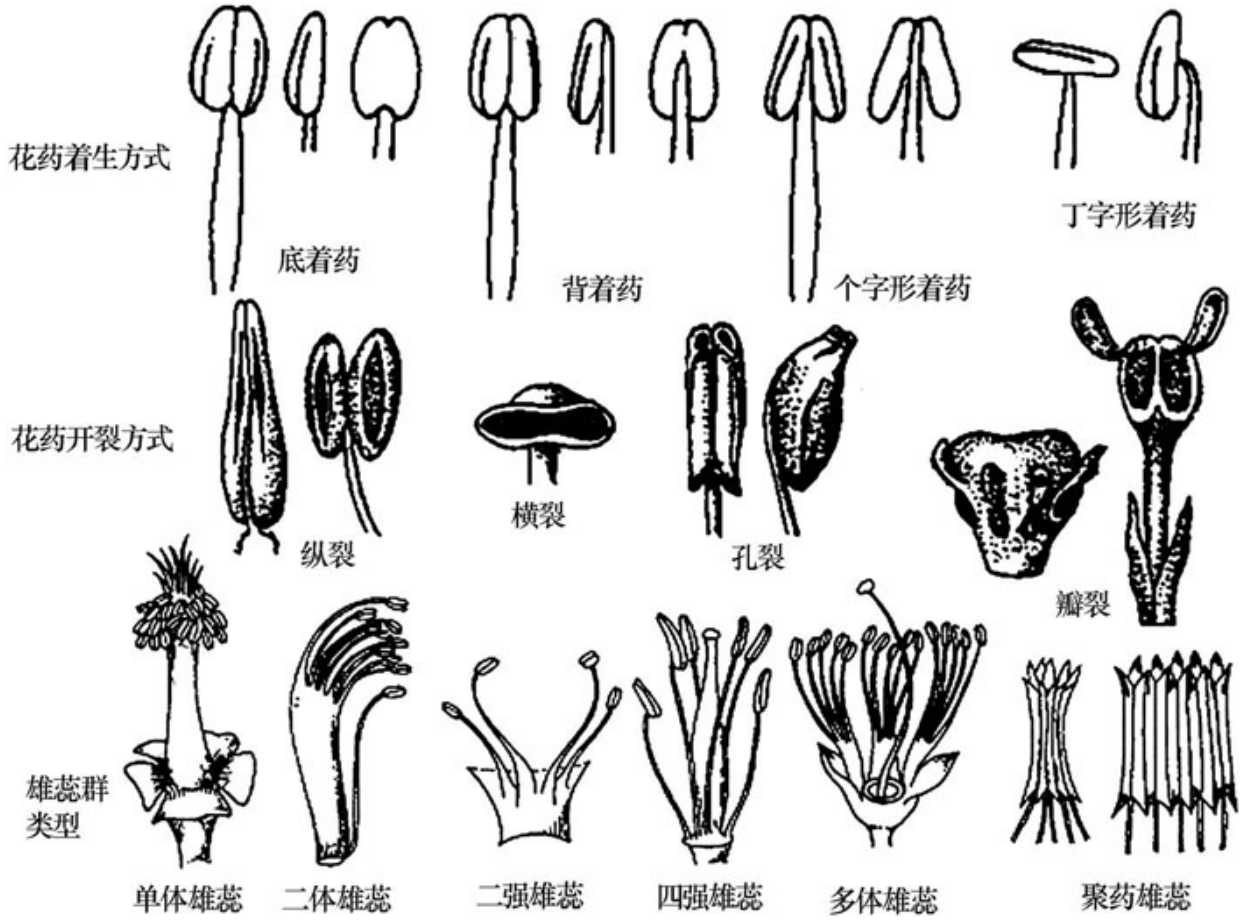
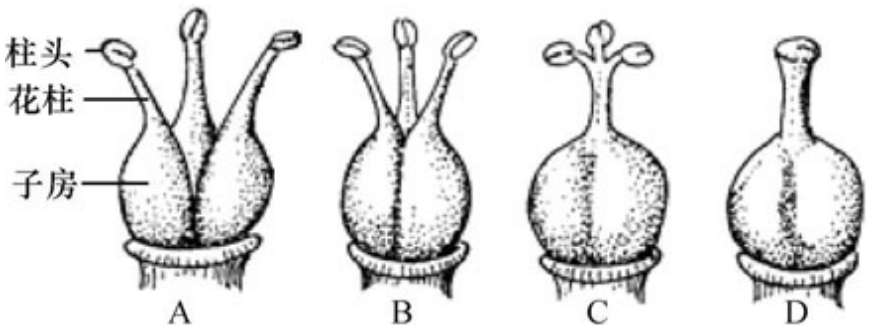


图6-3-6　花药着生方式和雄蕊群类型



图6-3-7　心皮



A．离生单雌蕊　B、C、D．不同程度合生的复雌蕊

图6-3-8　离生单雌蕊和复雌蕊

②花柱　花柱是连接柱头与子房的部分，分为空心的与实心的两类。空心花柱中空，中央是花柱道，实心花柱中央是引导组织，花粉管穿过引导组织进入子房。

③子房　子房是雌蕊基部膨大的部分，着生于花托上；子房内中空部分称子房室，不同植物子房室的数目有所不同，离生雌蕊的子房仅一室，合生雌蕊的子房可有一室或多室，多室的子房其子房室的数目与心皮的数目相同，这是因为这类合生雌蕊的心皮边缘愈合后向内卷入，在中央汇集形成一中轴。合生雌蕊一室的子房有两种情况：多个心皮仅在边缘愈合（图6-3-7）；多室子房的纵隔膜消失，留下一中央轴。

子房室内心皮腹缝线处或中轴处着生胚珠，胚珠为一卵形结构。子房室中胚珠数目因种而异，为一至多个。

④胎座及其类型　胚珠着生处的肉质突起称为胎座。胎座因心皮的数目和心皮连接的情况有不同类型（图6-3-9）。离生单雌蕊的子房是边缘胎座式；合生雌蕊类型中，多室子房的是中轴胎座式；心皮边缘愈合形成1室子房的为侧膜胎座式；多室子房纵隔消失，胚珠生于中央轴上的是特立中央胎座式；此外还有顶生胎座式与基底胎座式；而睡莲的胎座是一种原始的胎座类型——全面胎座式，胚珠生在隔膜的各个面。

以上各结构都具备的花是完全花，如桃；缺其中一或两种结构的为不完全花。如杨属的花是无被花，花萼、花冠皆无；铁线莲仅有花萼，缺少花冠，为单被花；一朵花中雌蕊和雄蕊都有的为两性花；缺少一种花蕊的为单性花，其中仅有雄蕊的为雄花，仅具雌蕊的为雌花，如黄瓜；有花被而无花蕊的为无性花或中性花，如向日葵花盘的边花。雌花与雄花生于同一植株的，为雌雄同株，如黄瓜；雌花与雄

花生于不同植株的为雌雄异株，如杨属。两性花与单性花共同生于一植株上的为杂性同株，如柿。

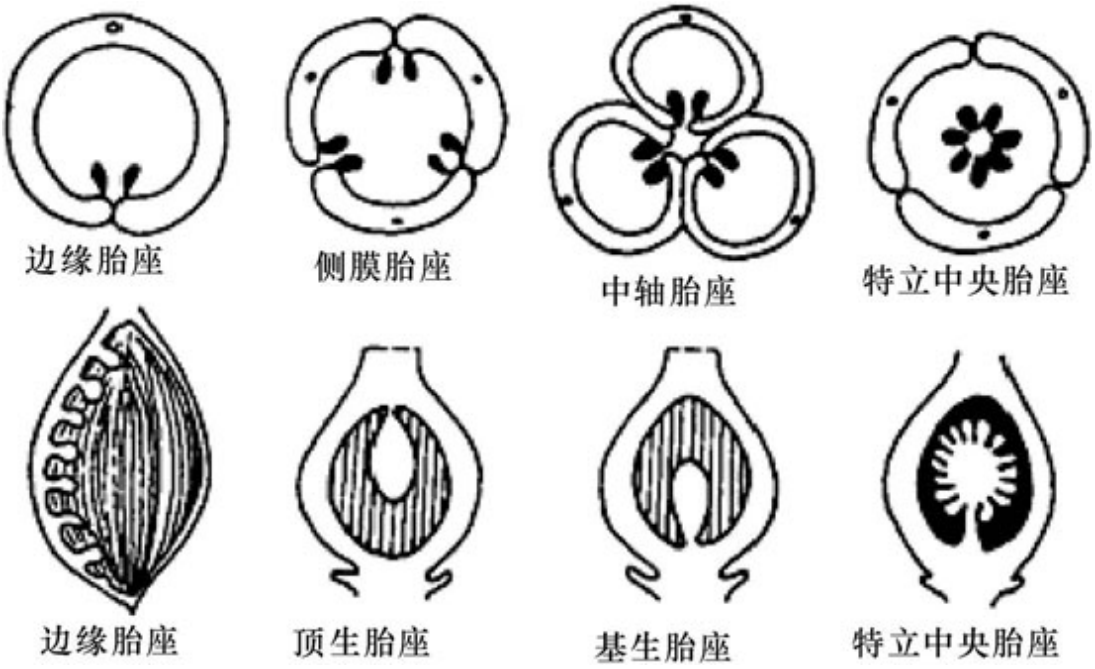


图6-3-9　胎座的类型

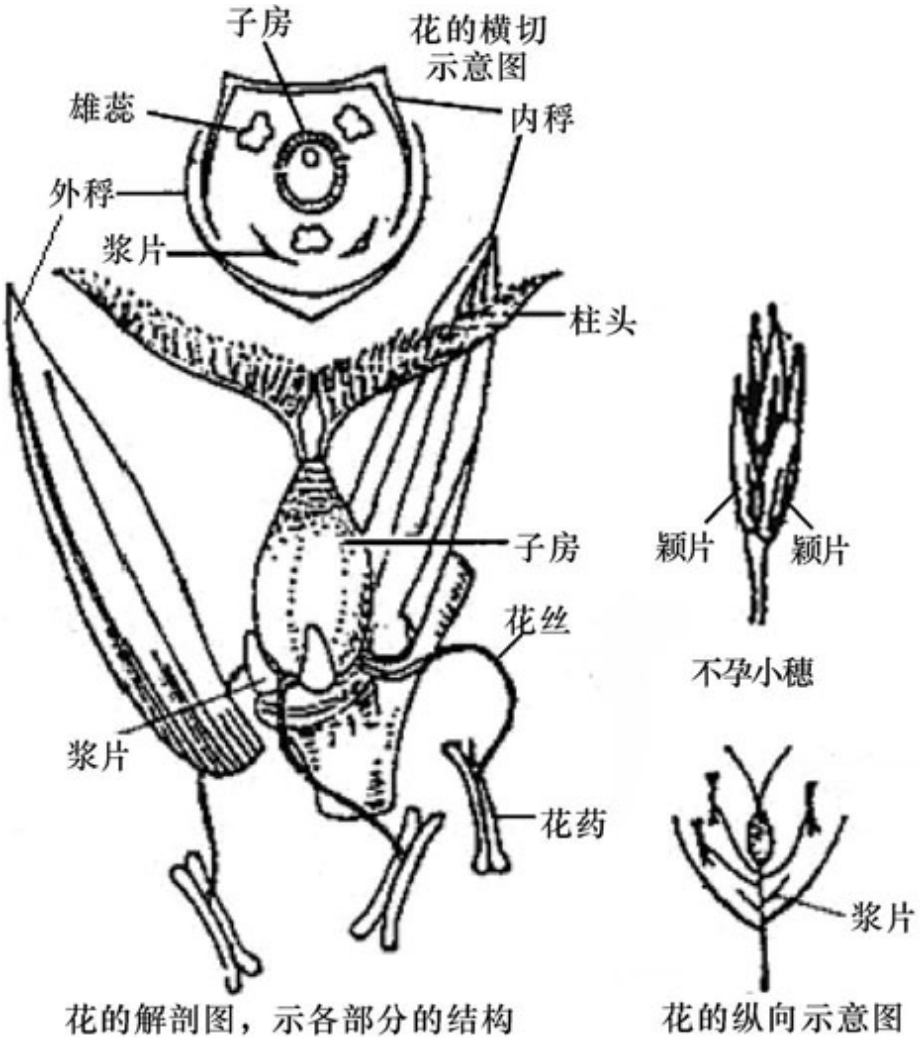


图6-3-10　禾本科植物花的结构

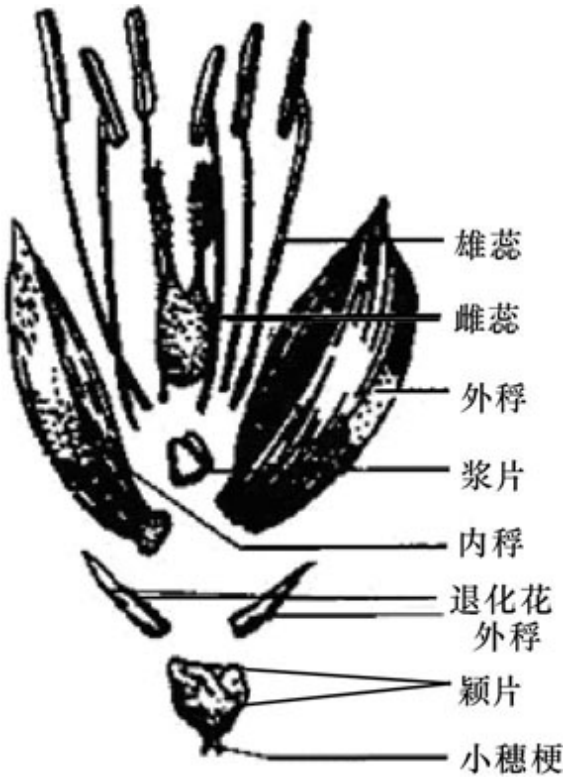


图6-3-11　水稻小穗的组成

⑤禾本科植物花的结构　禾本科植物的花在形态和结构上比较特殊，与一般的花不同。现以小麦为例来加以说明。

小麦的花穗是一个复总状花序（图6-3-14）。每一个小穗为一基部有2片坚硬的颖片，称外颖和内颖。颖片之内有几朵小花，一般基部的2或3朵能正常发育、结实，称为能育花；上部的几朵为结构不完全的不育花。每朵能育花的外面有2片鳞片状的稃片包住，外面的一片称外稃，是花基部的苞片；里面的一片称内稃。有的小麦品种外稃的中脉明显延长成芒。内稃基部内侧的两侧各有一个小的囊状突起，称为浆片。内稃和浆片是由花被退化而成的。开花时，浆片吸水膨胀，使内、外稃张开，露出花药和柱头。花的中央有3个雄蕊和1个雌蕊。雄蕊花丝较长，花药较大；雌蕊具有2个羽毛状柱头，花柱不显著，子房一室。不育花只有内外稃，没有花蕊（图6-3-10）。水稻的花基本和小麦花相同，主要区别是水稻花有6个蕊，且颖片上有硬毛（图6-3-11）。

（二）花各部分结构的多样性及其演化

在每一种植物中，花的形态是相对固定的。植物在长期的系统演化过程中花的形态不断演化，在被子植物的不同类群中，花的形态有较大的变异，因而花部特征可作为被子植物分类的主要依据之一。从

各类被子植物花各部分的形态结构特点中，可看到存在着以下的演化趋势：

1．花部数目的变化　花部数目的变化是从多而无定数到少而有定数。玉兰等较原始的被子植物，雄蕊和雌蕊多而无定数；在大多数被子植物中，花被、雄蕊、雌蕊数目减少，稳定在3数（多为单子叶植物）、4数和5数（多为双子叶植物），或为3、4、5的倍数。花被相对稳定的数目称花基数。花部的数目在演化中趋向于退化减少，如紫丁香为4数花，仅有2枚雄蕊，另2枚在演化中退化消失。

2．排列方式的变化　在较原始的被子植物中花部呈螺旋状排列，如玉兰，其花部螺旋排列于柱状花托上；在多数植物中花部呈轮状排列，花部呈轮状排列的花托多呈平顶状，如白菜。

3．对称性的变化　花部在花托上排列，会形成一定的对称面。通过花的中心能作出多个对称面的，为辐射对称，这种花也称为整齐花，如桃、石竹。如果通过中心只能作出一个对称面，为两侧对称，这种花也称为不整齐花，如兰科植物的花（图6-3-12）。



图6-3-12　花的对称性

4．子房位置的变化　如图6-3-3所示，原始类型的花托为柱状，在演化中渐成为圆顶状或平顶状，子房着生在花托上，仅底部与花托相连，这种情况称为子房上位。有些植物的花托在演化中进一步中央凹陷，形成凹顶状即杯状，这种凹陷的程度在不同植物中是有所不同的：在月季等蔷薇科植物中，花托凹陷虽很深，子房着生在花托底

部，仅子房底部与花托相连，子房壁与花托并不愈合，仍属子房上位。如果凹陷的花托包围子房壁并与之愈合，仅留花柱和柱头露在花托外，这种情况为子房下位，如苹果等。子房壁下半部与花托愈合，花萼、花冠及雄蕊生于子房上半部的周围，为子房半下位（又称子房中位），如虎耳草等。由于下陷花托与子房壁的愈合，下位及半下位子房较好地受到保护。

相对于子房位置，花的位置也有上位花、下位花和周位花等。

花各部分的演化是多方面的。在一种植物中，花的演化趋势并不一定是同步的，如苹果，其花萼、花冠离生，雄蕊多数，是原始的表现，而其子房下位又是进步的特征。此外在栽培植物中花各部分的相互转变也很常见，很多重瓣花的雄蕊减少，花瓣增多，在芍药中可观察到有些花瓣上有残存的花药。

（三）花序

有些被子植物的花是单生花，即一朵花单生于枝顶，如玉兰、桃，更多被子植物的花是多朵花按一定规律排列在一总花柄上，称为花序，总花柄称为花序轴或花轴。每一花的花柄或花序轴基部生有苞片。有的苞片密集在一起形成总苞，如向日葵。花序有多种，可归为无限花序和有限花序两类。

1．无限花序　无限花序的特点是在开花期间其花序轴可继续生长，不断产生新的苞片与花芽，开花的顺序是花序轴基部的花或边缘的花先开，顶部花或中间的花后开。

无限花序有多种形式，是根据其花序轴的变化，每一朵花的花柄的有无，是否单性花等划分的，表6-3-1和图6-3-13中归纳了常见的几种无限花序。

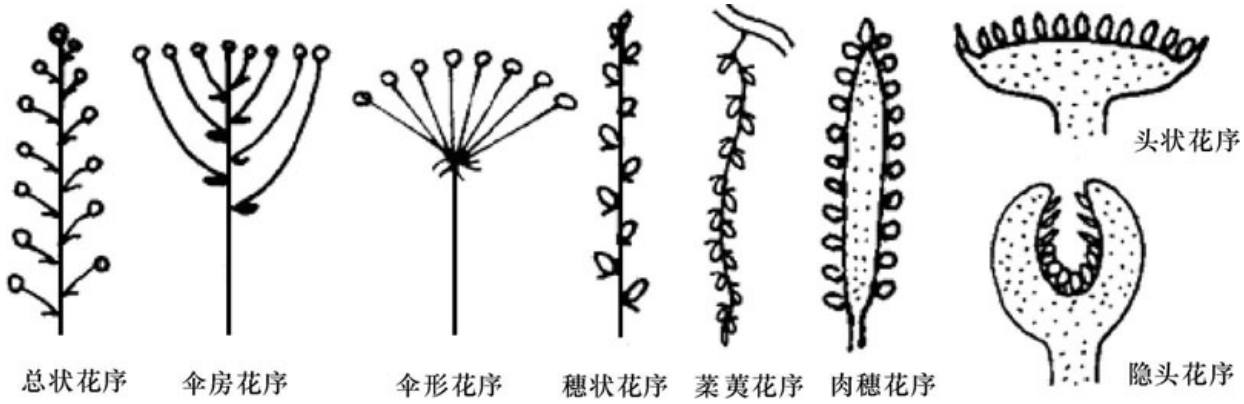


图6-3-13　几种常见简单的无限花序模式图

表6-3-1　几种常见的简单无限花序

花序名称	花序轴	花柄	花	代表种类
总状花序	花轴较长	较长	两性花	油菜
伞房花序	花轴较长	上层花柄短，下层花柄长	两性花，各花排列于一平面上	苹果，梨
伞形花序	花轴短缩，大部分花生在花轴顶端	花柄等长	两性花，各花排列呈圆顶形，开花顺序由外向内	人参
穗状花序	花轴直立，较长	无花柄	两性花	车前
柔荑花序	柔软下垂或直立，花后整个花序一起脱落	无，或具短柄	单性花，无花被或具花被	杨、柳的雌、雄花序，栗的雄花序
肉穗花序	肥厚、肉质化，粗短	无花柄	单性花，有的具一大型苞片，称佛焰苞	玉米（无佛焰苞），半夏（具佛焰苞）
头状花序	极度缩短膨大，扁平，苞叶常集成总苞	无花柄	多两性花	向日葵
隐头花序	膨大而呈凹陷状	无花柄	单性花生于凹陷的花序轴内壁上，雄花在上，雌花在下	无花果

以上所列花序都是花序轴不分枝的简单花序；还有一些无限花序的花轴有分枝，每一分枝也是以上所述的一种无限花序，这类花序为复合花序。常见的复合花序有圆锥花序（复总状花序），即花轴分枝上生有总状花序，如紫丁香、水稻等；复穗状花序，其花轴分枝1或2次，每一小枝为一穗状花序，称小穗，如小麦，大麦等；复伞形花序，花轴呈伞形分枝，如胡萝卜、茴香、芹菜等伞形科植物；还有复伞房花序、复头状花序等（图6-3-14）。

2．有限花序　有限花序也称聚伞花序，不同于无限花序的是有限花序的花轴顶端的花先开放，花轴顶端不再向上产生新的花芽，而是由顶花下部分形成新的花芽，因而有限花序的花开放顺序是从上向下或从内向外。有限花序可分为以下几种类型（图6-3-15）。

单歧聚伞花序主轴顶端先生一花，其下形成一侧枝，在枝端又生一花，如此反复，形成一合轴分枝的花序轴。二歧聚伞花序也称歧伞花序，是主轴顶端花下分出两个分枝，如此反复分枝。多歧聚伞花序主轴顶花下分出3数以上的分枝，各分枝又形成一小的聚伞花序，如泽漆（因花梗短而密集而称密伞花序），益母草（花无梗，数层对生而称轮伞花序）等。



图6-3-14　常见的几种复合花序

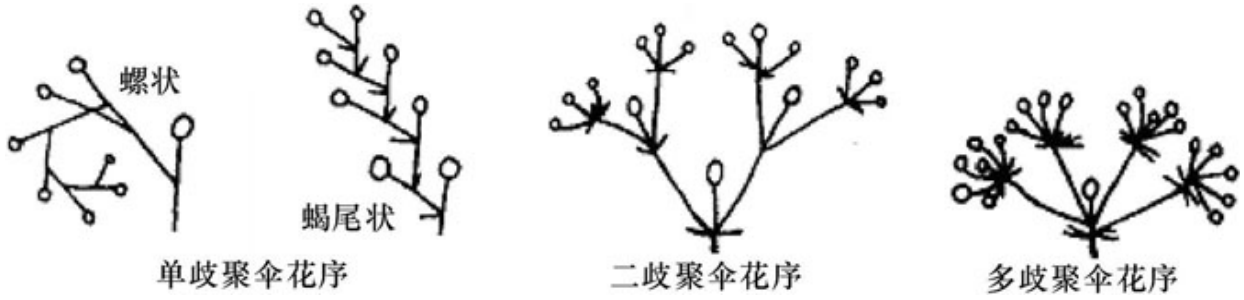


图6-3-15　聚伞花序

二、果实

（一）果实的结构

由子房发育而成的果实称为真果，如水稻、小麦、玉米、棉花、花生、柑橘、桃、茶的果实。有些植物的果实，除子房参与以外，果实的大部分却是由花托、花被、花丝，甚至是整个花序参与发育而成的，如苹果、瓜类、草莓、菠萝等的果实，这类果实称为假果。

1．真果的结构　真果的结构比较单纯，外为果皮，内含种子。果皮是由子房壁发育而成，可分为外果皮、中果皮和内果皮三层，如图6-3-16，17所示。

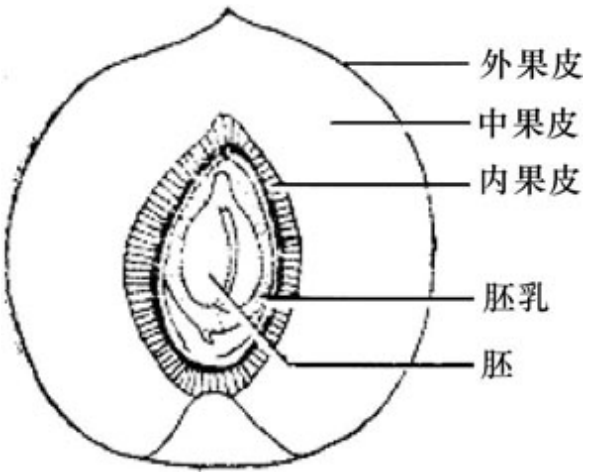


图6-3-16　桃果实的纵切面

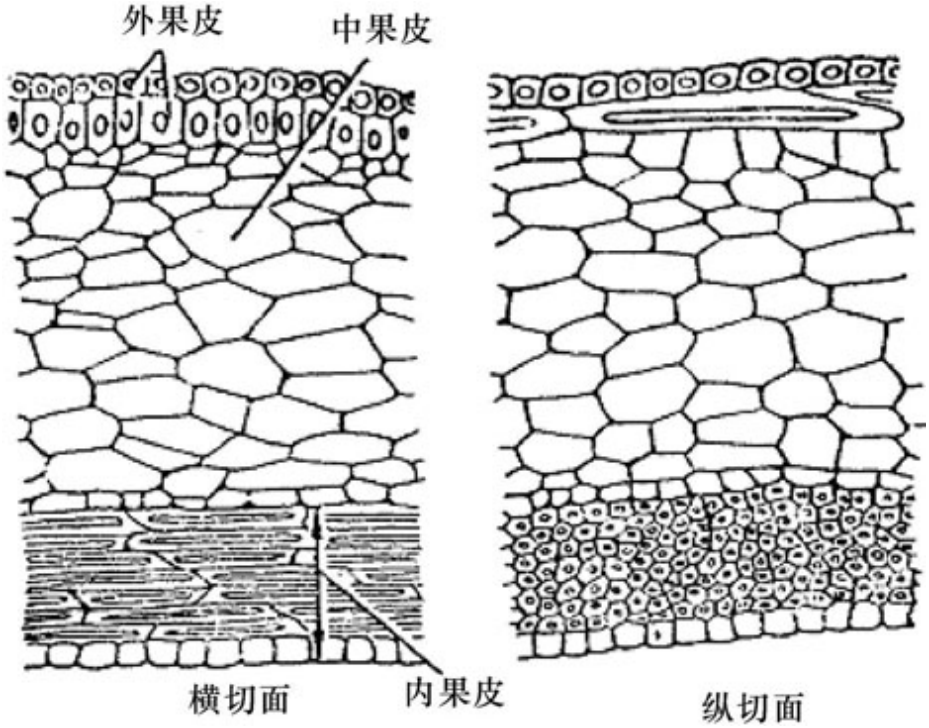


图6-3-17　大豆荚果的果皮

（1）外果皮　外果皮有时是指果实的表皮，如水稻、豌豆、巢菜等；有时是指表皮与某些邻近的组织，如大豆、桃等。外果皮上常有气孔、角质、蜡被、表皮毛等。

（2）中果皮　中果皮在结构上的变化很大，有时是由许多富有营养的薄壁细胞组成，成为果实中的肉质可食部分，如桃、杏、李等；有时在薄壁组织中还含有厚壁组织；有些植物，如荔枝、花生、蚕豆

等，果实成熟时，中果皮常变干收缩，成为腊质或革质，或为疏松的纤维状，维管束多分布于中果皮。

（3）内果皮　内果皮的变化也很大，有的内果皮里面生出很多大而多汁的毛，像柑橘、柚子的果实，供食用的主要就是内果皮上的多细胞的表皮毛；有的坚硬如石，含有大量的石细胞，如桃、李、椰子等；有的在果实成熟时，细胞分离成浆状，如葡萄。

为明确真果的结构，现再举例说明如下：

①桃果实的结构　桃是由一个心皮的子房发育而成的果实。果皮明显地分为外、中、内三层。外果皮为一层表皮和数层厚角组织构成；中果皮为大型的薄壁细胞及维管束构成，肉质，是食用的主要部分；内果皮坚硬，是由许多木栓化的石细胞构成，内含有一颗种子（图6-3-16）。

②大豆荚果的结构　外果皮为表皮与表皮下的厚壁细胞组成；中果皮为薄壁组织；内果皮则为几列厚壁细胞。荚果有两条开裂线，一条在心皮边缘连合处即腹缝处，另一条沿着中央维管束即背缝线。果皮内含有数枚种子（图6-3-17）。

（3）小麦颖果的结构　第一节中已介绍了水稻颖果的结构。小麦颖果与水稻的颖果相似，颖果的果皮较薄，与种皮愈合，是含有单粒种子的果实（图6-3-18）。因此，不能把颖果与种子混为一谈。

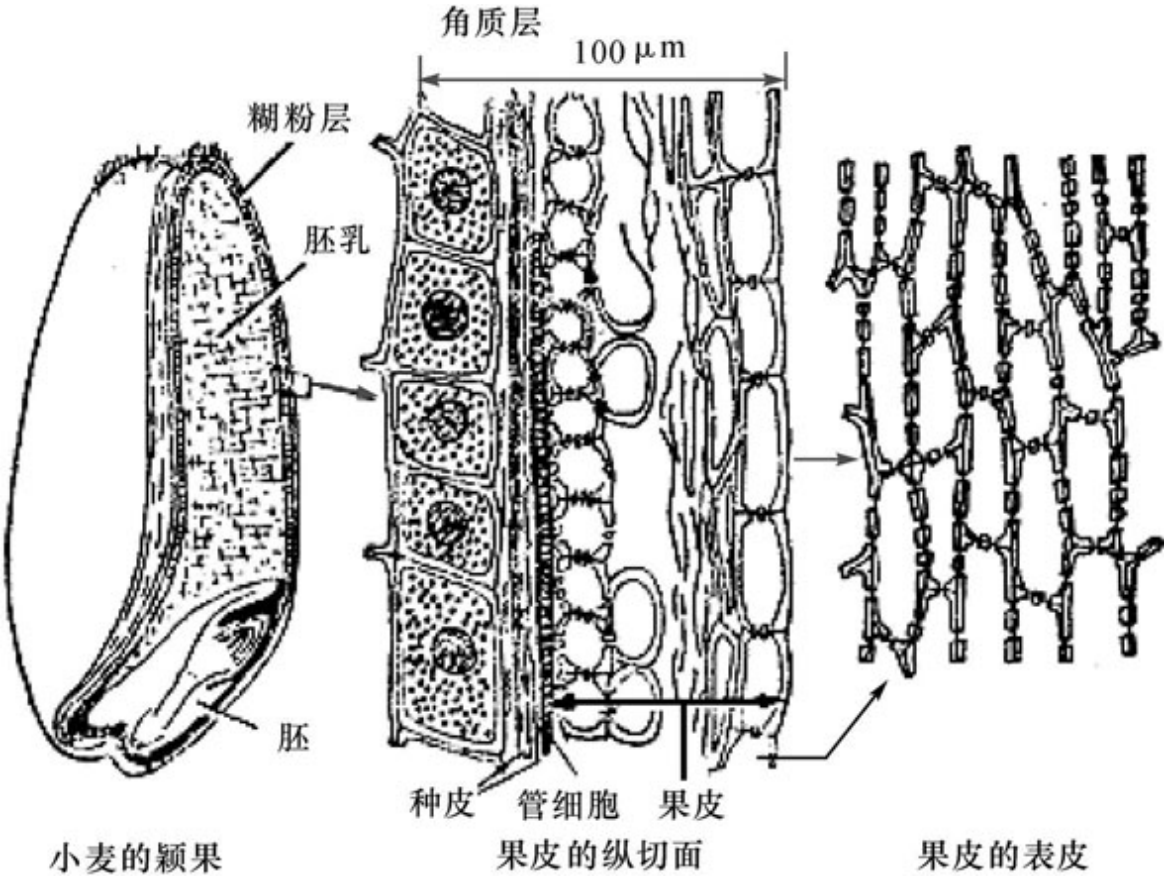


图6-3-18　小麦的果皮

2．假果的结构　假果的构造比较复杂，除由子房发育成果皮以外，还有其他部分参与果实的形成。例如梨、苹果的食用部分，主要是花筒发育而成，外层有一些花托组织，由子房发育而成的部分很少，位于果实中央。外、中、内三层果皮仍能区分，内果皮以内为种子（图6-3-19）。花至果实和种子的发育关系归纳为图6-3-20所示。

（二）果实的类型

1．根据花与果实的结构分类

（1）以发育成果实的是一朵花还是花序为依据　由一朵花发育而来的是单果或聚合果，由整个花序一同发育形成一个果实，称为聚花果，也称复果，菠萝、无花果、桑的果实都是聚花果（图6-3-21）。一朵花中仅有一枚雌蕊的，无论其花的雌蕊是单心皮构成的还是多心皮合生的，所形成的果实都称为单果。一朵花中具有多枚离生雌蕊的，每一雌蕊形成一小果，一朵花内有多枚小果聚合而成，称聚合果，例如草莓、牡丹、八角等（图6-3-22）。

（2）以果皮的来源为依据　可根据是否有子房以外的结构参与果实的形成，将果实分为真果和假果两大类。草莓由花托参与形成的聚

合果，菠萝由花序轴参与形成的聚花果，还有单果中的瓠果和梨果都属于假果。

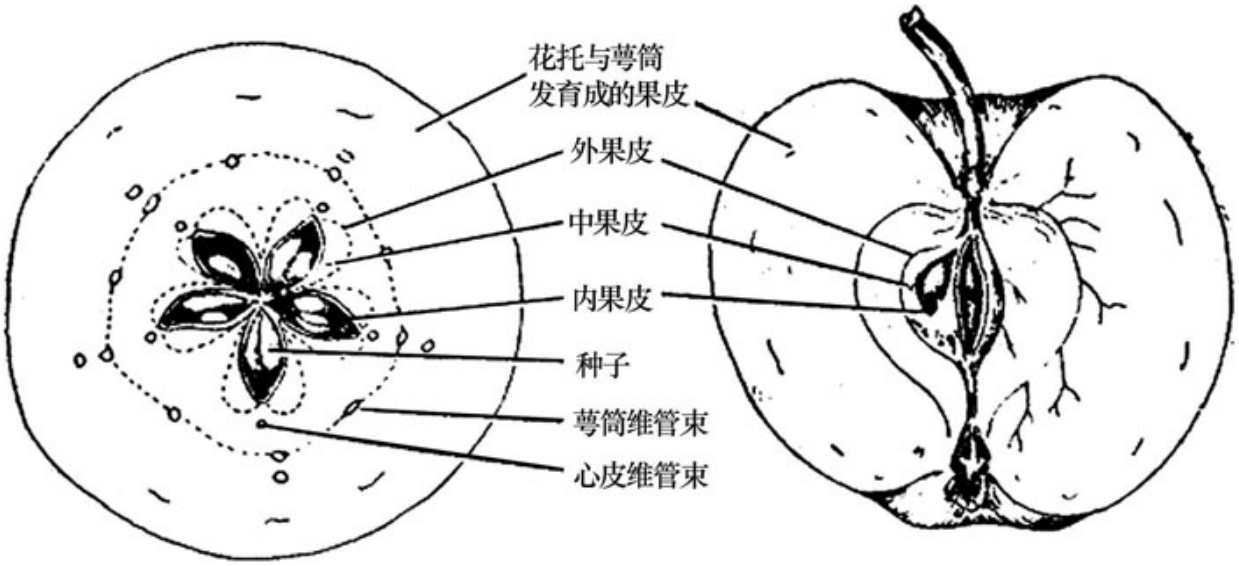


图6-3-19　苹果果实的纵切面及横切面

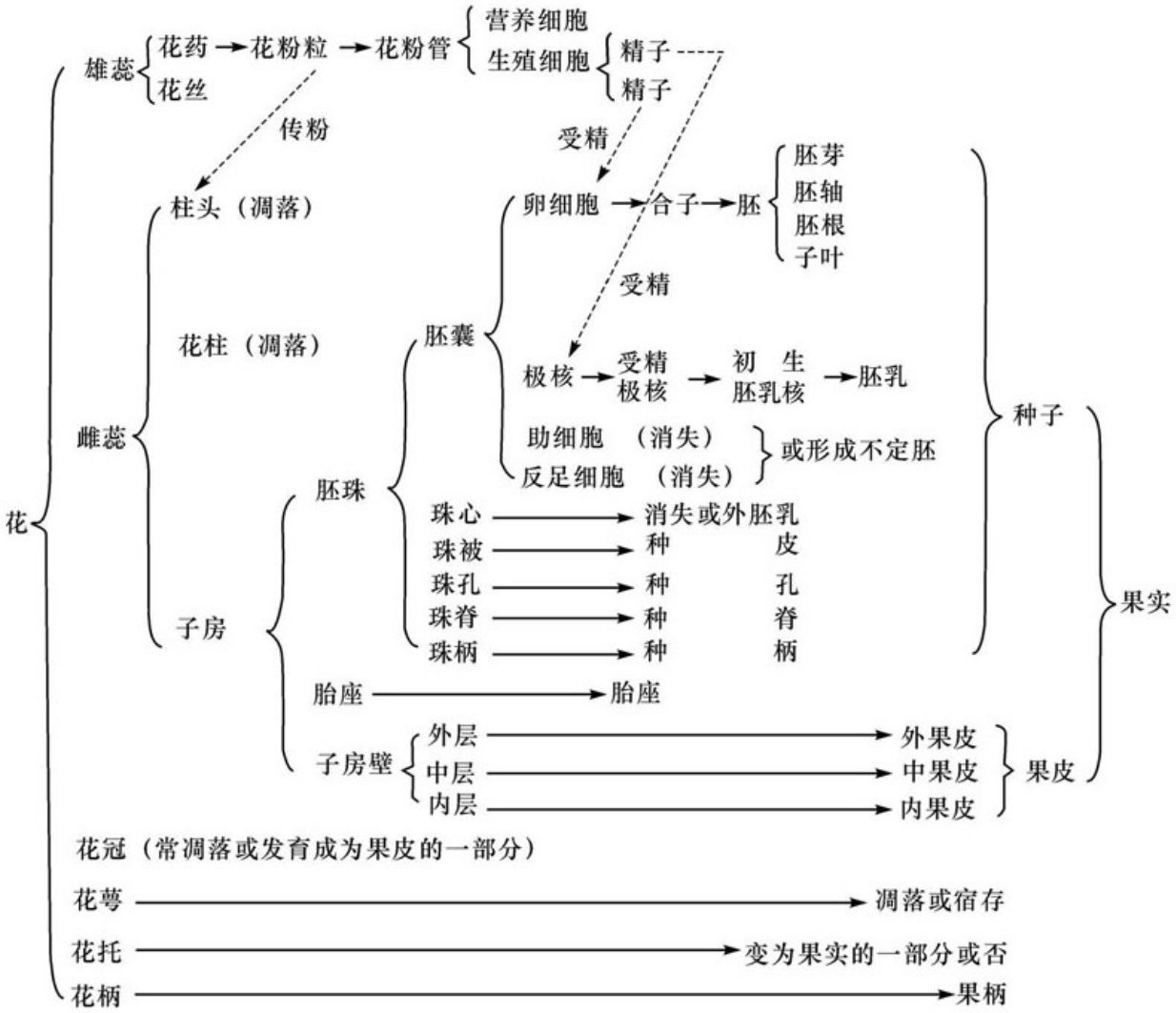


图6-3-20　花至果实及种子的发育关系

葫芦科植物的果实属于瓠果，如南瓜、黄瓜、冬瓜等。这类植物的花有三个心皮，子房下位，花托与子房共同参与果实的发育，花托与外果皮之间区分明显。南瓜和冬瓜的可食部分为中果皮和内果皮，在西瓜中可食部分主要为肉质化的胎座。

梨果为子房下位的花所形成，下陷花托与心皮愈合，在形成果实时，花托部分膨大成为肉质的可食部分。花托、外果皮和中果皮之间无明显界限且都肉质，内果皮细胞木质化、壁厚、较硬。苹果、梨等的果实是典型的梨果（图6-3-19）。也有学者认为梨果的“花托”部分是花萼、花被与雄蕊基部合生成的结构，将其称为花筒。

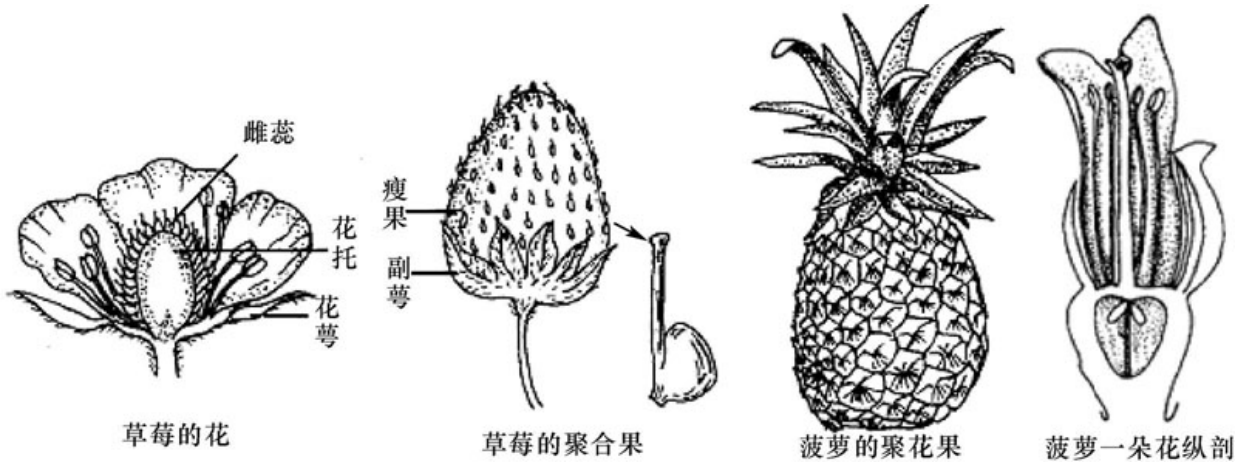


图6-3-21　聚合果与聚花果

2．根据果实成熟时果皮的性质分类　以果实成熟时果皮的性质，分为肉果和干果，肉果和干果又各分为几种类型。

（1）肉果　肉果为成熟时果皮肉质化，常肥厚多汁的果实。根据果皮的来源与性质，肉果可分为浆果、核果和梨果。也有的按5类划分：浆果、柑果、瓠果、核果和梨果。

浆果的果皮除最外层以外都肉质化，通常由多心皮的雌蕊发育而来，含数枚种子。葡萄、番茄和柿子等都属浆果。在番茄中，除中果皮与内果皮肉质化外，胎座也肉质化。

柑橘类的果实也是一种浆果，特称柑果或橙果，是由多心皮具中轴胎座的子房发育而成。其外果皮为革质，中果皮髓质，内果皮膜质，分为数室，室内生有多个汁囊，汁囊来自于子房内壁的毛茸，为可食部分。橘、柚、柠檬等的果实都是柑果。橘的中果皮退化，仅余维管束，即所谓橘络，故其外果皮易于剥离。柑、柚等的中果皮不呈退化状态，外果皮不易剥离。瓠果也属浆果。

核果一般由单心皮的雌蕊发育形成，内有一枚种子。成熟的核果果皮明显分为三层：外果皮膜质，中果皮肉质多汁，内果皮木质化、坚硬。桃、杏、梅等果实都属核果。

（2）干果　对此类果实发育中的生理变化研究很少。随果实的发育成熟，果皮渐变干燥、变硬。根据成熟时果皮是否开裂分为裂果与闭果两类，每类又有多种不同类型。

①裂果　裂果的果实成熟后果皮裂开，散出种子。根据雌蕊中心皮数目、开裂方式，又分为以下类型：荚果、蓇葖果、蒴果和角果。荚果由单心皮子房发育形成，成熟的果实多数开裂，其开裂方式是沿心皮背缝与腹缝同时开裂，大豆、豌豆等属此类果实（图6-3-22）。

蓇葖果由单心皮的雌蕊或离生心皮雌蕊发育形成，成熟时沿心皮背缝或腹缝纵向开裂，牡丹、八角、梧桐等是沿腹缝开裂的，玉兰是沿背缝开裂的；蓇葖果是原始类型的果实（图6-3-22）。蒴果由合生心皮的子房发育形成的果实；子房一室或多室，每室多粒种子；成熟果实具多种开裂方式；沿心皮背缝纵裂的为室背开裂，如棉、紫花地丁；沿心皮腹缝开裂的为室间开裂，如烟草、秋水仙等；果实成熟时子房各室上方裂开形成小孔的称孔裂，如罂粟属；果实成熟时沿心皮周围裂开的称周裂，如马齿苋（图6-3-23）。角果由两心皮的雌蕊发育形成；侧膜胎座，由心皮边缘子房室内生出一隔膜称假隔膜，将子房分成2室；成熟时果实沿2条腹缝裂开，2片心皮脱落，种子附在假隔膜上；十字花科的植物具有角果，角果的长与宽之比相近的为短角果，如荠菜；长宽之比较大的称长角果，如白菜、萝卜（图6-3-24）。

②闭果　闭果果实成熟后不开裂，由一心皮或多心皮雌蕊形成，通常含1枚种子。闭果主要有瘦果、翅果、坚果和颖果四种类型（图6-3-25）。瘦果由1或数心皮形成的小型闭果，种子1枚，果皮坚硬。果皮与种皮易于分离，如白头翁1心皮，向日葵2心皮，荞麦3心皮。翅果与瘦果本质相同，其果皮延展成翅状，有利于随风传播，如榔、枫杨、白蜡树。坚果果皮木质坚硬，种子1枚，如栎属、栗属、榛属等；栗等壳斗科植物的坚果包在由花序发育形成的总苞中。颖果是种子成熟时果皮与种皮愈合的果实，如玉米、小麦、水稻等禾本科植物的果实。

（三）果实和种子对传播的适应

1．以果实自身的机械力量散布种子　一些干果成熟时借开裂时所产生的机械力量使种子散布。如大豆、油菜、凤仙花、喷瓜等。这类植物的种子散布的范围往往仅限于植株附近。



图6-3-22　几种荚果和蓇葖果

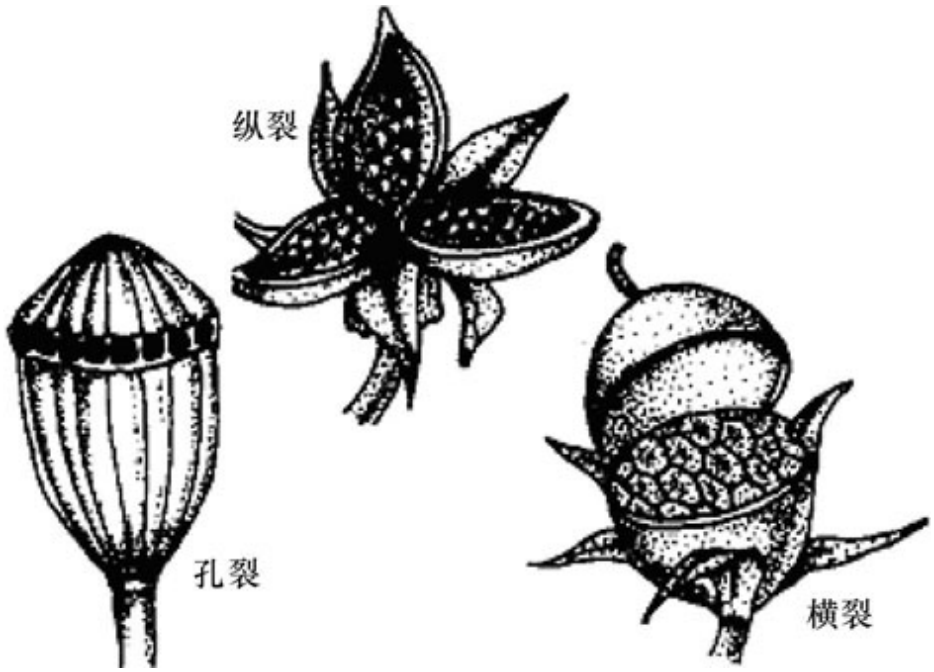


图6-3-23　蒴果及其开裂方式

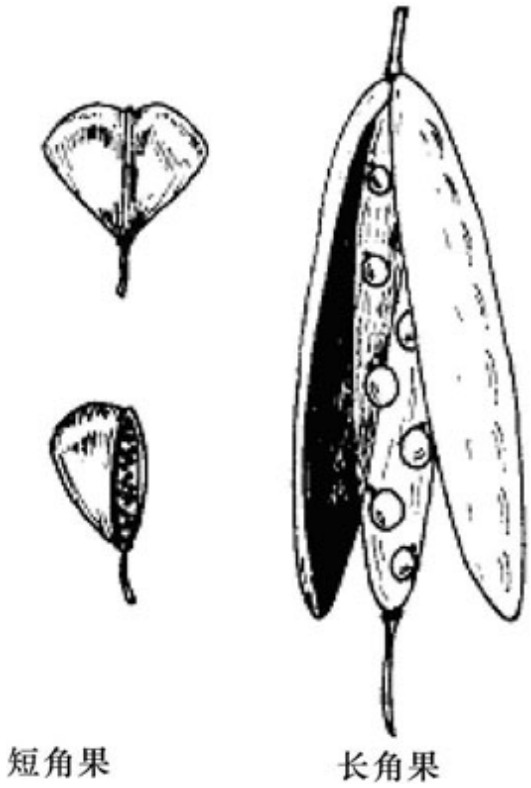


图6-3-24　角果

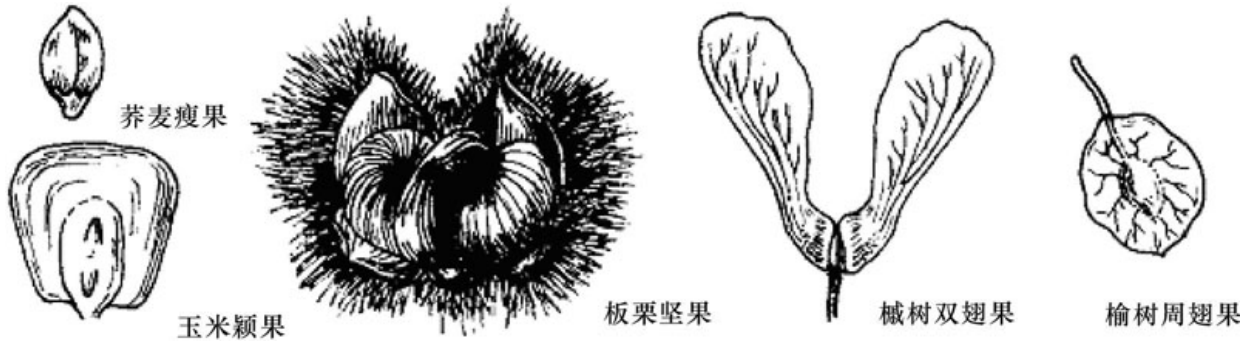


图6-3-25　几种闭果

2．适应人及动物的传播　松鼠、星鸦等动物有贮藏食物的习性，将一些坚果或种子埋于地下，这些种子一部分被它们食用，还有一部分种子被它们遗忘，留存土中，萌发生长。一些植物的果实与种子外表生有刺毛、倒钩刺或有黏液，能附在人的衣服上或动物的皮毛上，借此传向远方，如鬼针草、苍耳等具刺毛的植物和丹参等能分泌黏液的植物。一些植物的肉果是鸟等动物的食物，被动物吞食后，种子未被消化，随动物的粪便排出而传播。这些方式的传播距离往往较远。

3．适应风力的传播　这类植物的种子或果实往往小而轻，常生有毛、翅或其他有利于风力传送的构造。这些毛或翅等结构可为果皮、

种皮、花柱、花萼等结构特化形成。如槭等果皮形成的翅，垂柳等的胎座毛，白头翁果实上宿存的羽毛状花柱，蒲公英果实上的降落伞状的冠毛。这类传播方式能使种子或果实长距离地传播。

4．适应水力的传播　有些水生或沼生植物的果实与种子可借水力传送。莲蓬是莲的花托，质轻，能漂浮，随水流传送其中的果实。热带海岸边多椰林分布，这与椰子的果实传播行为有关，椰子的核果中果皮纤维质，疏松质轻，能在水上漂浮；其内果皮坚硬，可抵御海水的侵蚀；果内的椰汁为液体的胚乳，能使椰子在咸水环境中也能萌发。

三、种子

种子是种子植物所特有的结构。种子植物在地球上如此繁茂，可以说与种子的存在密切相关。休眠的种子度过严寒和干旱等不良环境的极佳方法。同时种子还有一些适应传播的机制与环境及动物相配合，使植物能够在新的分布地定居下来。种子是母体为子代幼体储备足够营养物质的一种结构，极有利于幼苗的成长。

（一）种子的形态和构造

虽然种子在形态上的变化如此之大，但基本结构却是一致的，一般由胚、胚乳和种皮三部分组成（图6-3-26，27），有些种子具有外胚乳或假种皮。

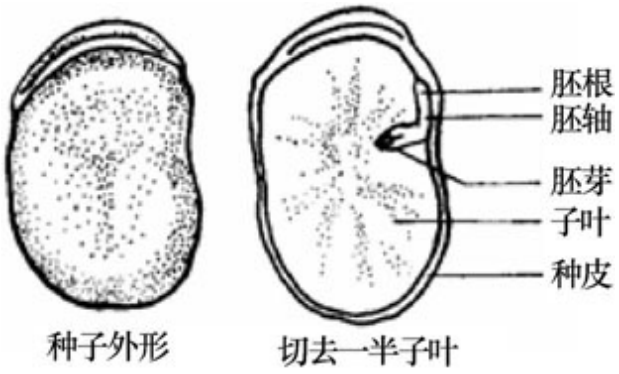


图6-3-26　蚕豆种子的结构

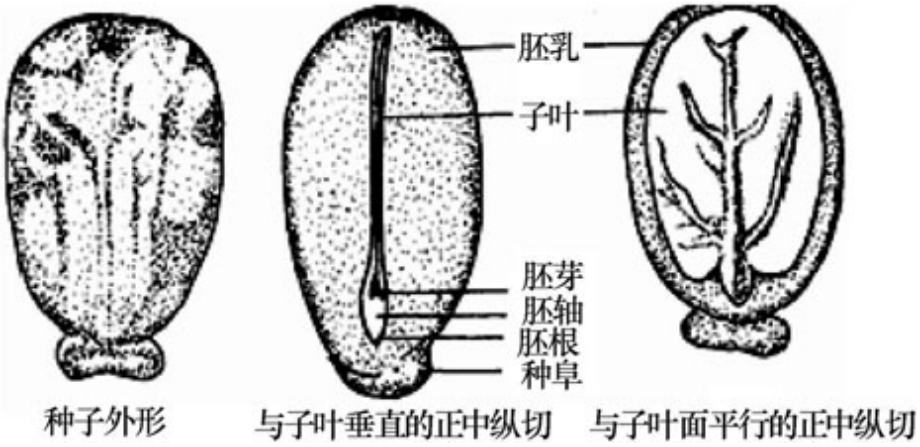


图6-3-27　蓖麻种子的结构

1．胚　是构成种子的最重要部分，是新一代植物体的幼体，为多细胞结构，全部细胞均为胚性细胞，植物器官的形态发生从胚开始。

种子内的胚由胚根、胚轴、胚芽和子叶四部分组成，其作用归纳为图6-3-28。胚根由根端生长点和根冠组成。胚芽由茎端生长点和幼叶组成。连接胚根和胚芽的轴状结构为胚轴，胚轴极短；通常将子叶到第一片真叶之间的部分称之为上胚轴，子叶到根之间的部分称为下胚轴。子叶可以认为是植物最早的叶子，也是子叶出土型幼苗的植株一生中最早能进行光合作用的器官。被子植物的种子中有一片子叶的，也有两片子叶的，以此为标准将被子植物分为单子叶植物和双子叶植物两大类。在裸子植物的种子中，子叶的数目变化较大，大多种类为两片或两片以上。

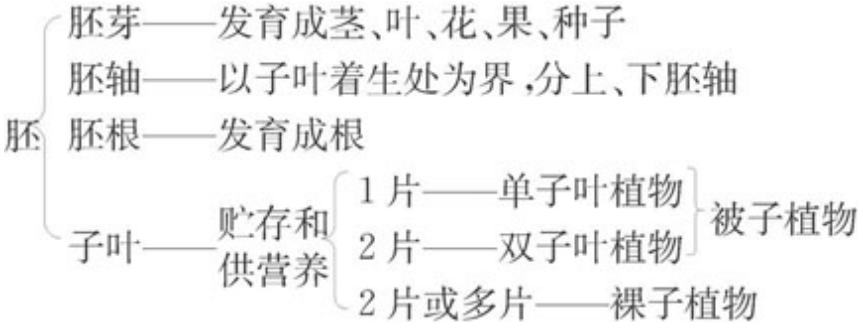


图6-3-28　胚的结构与作用图解

2．胚乳　胚乳位于种皮和胚之间，是种子中营养物质贮藏的场所，也供种子萌发时利用。有些植物在种子生长发育过程中，胚乳的养料被胚吸收，转入子叶中贮存，所以成熟时，种子中不存在胚乳，却有肥大的子叶。

种子中的胚乳或子叶含有丰富的营养物质，主要是糖类、脂类和蛋白质，亦有少量的无机盐和维生素。这些化合物在种子中的相对数量随植物种类不同，变化很大。

少数植物种子在形成过程中，胚珠中的一部分珠心组织保留下来，在种子中形成类似胚乳的营养组织，称外胚乳，外胚乳与胚乳来源不同，功能相同。胚乳的类型和作用可归纳为图6-3-29。

需要指出的是，裸子植物种子中的胚乳由雌配子体发育而来，为单倍体。被子植物种子中的胚乳是由受精极核发育而来，为三倍体或多倍体。

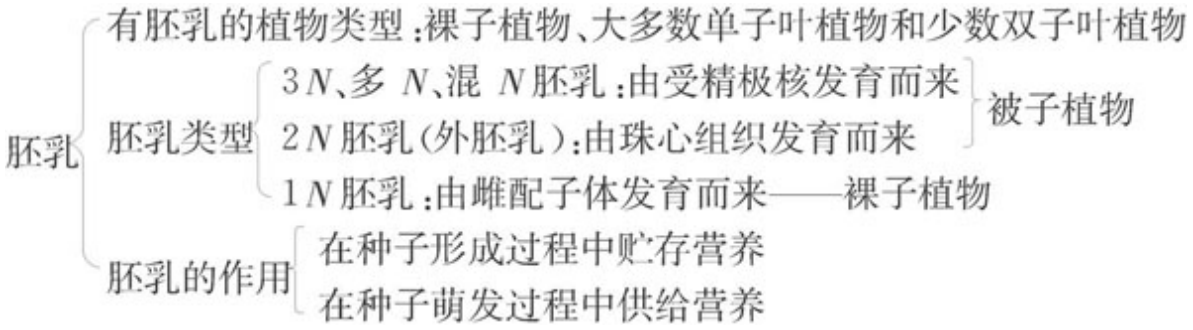


图6-3-29　胚乳的类型和作用图解

3．种皮　种皮是包被在种子最外面的结构，具有保护功能，可以保护种子内的胚，避免水分的丧失、机械损伤和病虫害的侵入，有些植物的种皮还与控制萌发的机制有关。多数植物种类的种子成熟时，种皮细胞均已死亡；但也有一些植物具有肉质的种皮，如玉兰的外珠被发育成朱红色的肉质外种皮，裸子植物如银杏、苏铁等许多种类都具有肉质种皮。有些植物的种皮外面还有假种皮，它是由珠柄和胎座等组织发育而成，如荔枝和龙眼的假种皮包于种皮之外，白色肉质可食，番木瓜和苦瓜的种子外也有假种皮。

成熟种子的种皮上一般还有种脐、种孔和种脊等结构。种脐是种子成熟后从果皮上脱离时留下的痕迹。种脐的一端边缘有一种孔，其实是原来胚珠时期的珠孔，种子萌发时通过种孔吸水，突破种皮的胚根从种孔处伸出。种脐的另一端，如果存在略为突起的部分就是种脊，是胚珠发育时进入种子的维管束在此分布。种脐和种孔是植物种子都具有的构造，而种脊、种阜等则不是每种植物都具有，这与胚珠的类型有关，如由直生胚珠发育的种子不具种脊。

（二）种子的类型

根据种子成熟后是否具有胚乳，将种子分为以下两种类型（图6-3-30）。

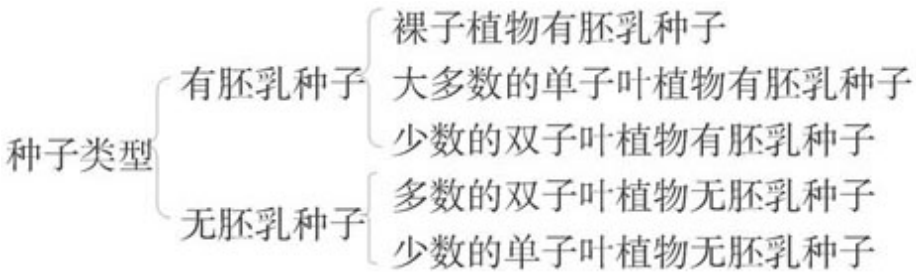


图6-3-30　种子的类型图解

1．有胚乳种子　有胚乳种子在种子成熟后具有胚乳，胚乳一般都占据了种子的大部分，胚相对较小。大多数单子叶植物和部分双子叶植物以及裸子植物的种子都是有胚乳的，如蓖麻、芍药、小麦、水稻和松等。

（1）裸子植物有胚乳种子　裸子植物种子都具胚乳。种皮有两层，外种皮坚硬，由木栓化和木质化细胞组成；内种皮膜质。胚乳发达，包在胚的外围。胚为白色棒状，具有胚根、胚轴、胚芽和子叶4个部分。胚轴上轮生多枚子叶。

（2）单子叶有胚乳种子　小麦、玉米等禾本科植物的种子（图6-3-31）均具有胚乳，但它们的种皮与果皮愈合不易分离，这种果实称颖果，不会有游离的种子。其胚乳由薄壁细胞组成，占据了种子的大部分体积。蛋白质常集中分布在种皮之下的一层胚乳细胞中，这层胚乳细胞称糊粉层，含有较多的蛋白质和一些脂肪，在种子萌发时还能产生大量的α-淀粉酶以水解胚乳中的淀粉；其余的胚乳细胞富含淀粉。胚芽由顶端的生长点和周围的幼叶构成，幼叶外有胚芽鞘。胚根由根端的生长点和根冠构成，根冠外包有胚根鞘。胚芽和胚根由胚轴上下连接，胚轴上连有一片子叶，由于子叶呈盾状包围着胚芽、胚轴和胚根部分，故亦称为盾片。位于胚乳邻近的一面，盾片有一层排列整齐的细胞，称上皮细胞。当种子萌发时，上皮细胞也可以分泌一些水解酶，使胚乳中的贮藏物质水解，由上皮细胞吸收并转运到胚的生长部分。有些禾本科植物如玉米、水稻的种子中，在胚轴的另一侧还有一片薄膜状的突起，称为外胚叶，有人认为是退化的子叶，亦有人认为是胚根鞘的延伸。

（3）双子叶有胚乳种子　双子叶植物中，有胚乳的种子如蓖麻，种子椭圆形，侧扁；剥去坚硬的种皮可见白色的胚乳，胚乳细胞中富含脂类和蛋白质，可见到大量的糊粉粒；胚被包埋在胚乳的中央，子叶两片，很薄，有明显的脉纹；胚芽夹在两片子叶中间，与胚轴相连；胚轴的另一端是胚根，胚根裸露，正对着种孔（图6-3-26）。

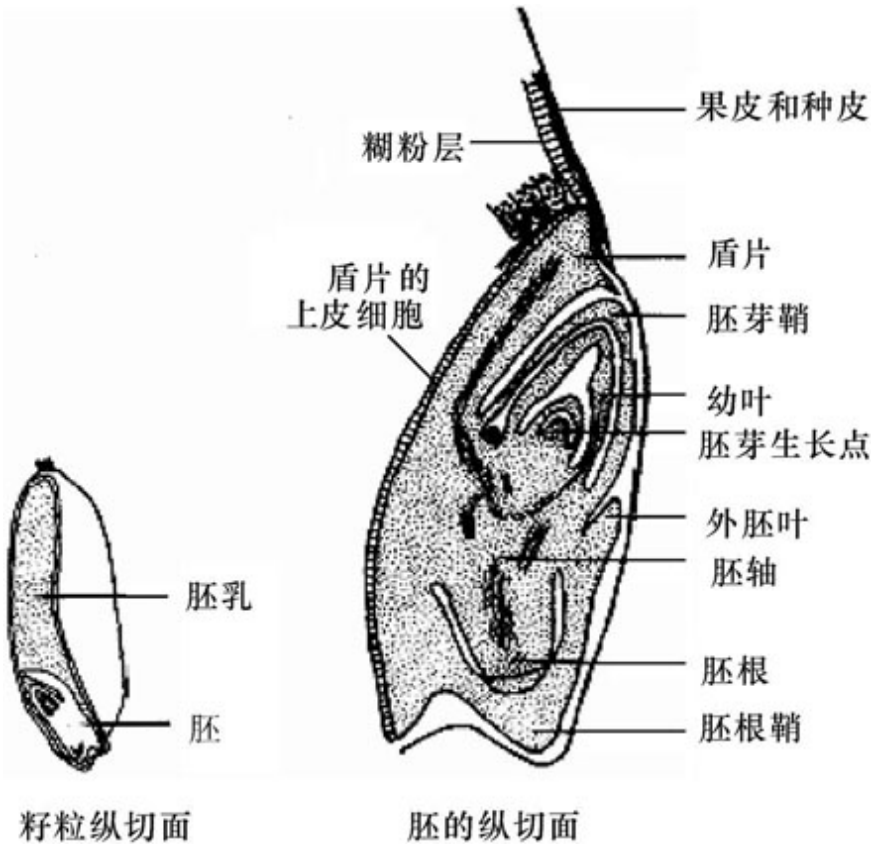


图6-3-31　小麦种子结构

2．无胚乳种子　无胚乳种子在种子成熟时缺乏胚乳，因此这类种子仅由种皮和胚两部分组成。如落花生、蚕豆等多数双子叶植物种子和慈菇、泽泻等少数单子叶植物的种子。

单子叶无胚乳种子结构仅由一片子叶构成，子叶基部包着胚芽，下连胚轴和胚根。

根据上述几种类型的种子，可将其基本结构总结如图6-3-32所示。

种子
- 种皮——包在外面的保护结构(禾本科植物种子的种皮与果皮愈合不易分开)
- 胚
  - 胚芽——生长点和幼叶组成(禾本科植物胚芽外包有胚芽鞘)
  - 胚轴——连接胚根和胚芽的短轴(也与子叶相连,分上胚轴和下胚轴)
  - 胚根——生长点和根冠组成(禾本科植物胚根外包有胚根鞘)
  - 子叶——一枚,两枚或多枚(禾本科植物种子的子叶称盾片)
- 胚乳——种皮内的贮藏组织。有胚乳的种子其胚乳发达;无胚乳种子的胚乳养料早期被胚吸收,贮藏在子叶中。有些植物种子具有外胚乳结构。

图6-3-32　种子结构图解

【例题解析】

例1　桃、葱、松的子叶数分别应该是（　　）

①1片　②2片　③多片

A．①②③

B．②①③

C．③②①

D．②③①

解析　双子叶植物种子的胚具2片子叶，单子叶植物种子的胚具1片子叶，裸子植物种子的胚具子叶为2至多片。桃、葱、松分别属于双子叶、单子叶和裸子植物。

答案　B

例2　以下各农产品中，人们食用果实的是（　　）

A．花生仁

B．绿豆

C．玉米

D．甘薯

解析　花生仁属于胚；绿豆属于种子；玉米外表是果皮，内含一粒种子，果皮与种皮不易分开，属于颖果；甘薯属于块根。

答案　C

例3　开花而无花冠的植物有以下的（　　）

A．高粱

B．棉花

C．白菜

D．向日葵

解析　禾本科植物的花被演变成了内稃和浆片，不以花冠的形式存在；棉花属于锦葵科，白菜属于十字花科，向日葵属于菊科，开花时均有显著的花冠。

答案　A

例4　一个花芽的哪个部分直接发育成一朵花的雄蕊（　　）（多选题）

A．原套

B．原表皮

C．基本分生组织

D．原形成层

解析　花是一个节间极其缩短的变态枝条，各种花被和花蕊都来自于叶的变态，叶都是外起源的，直接来自于初生分生组织。原套属于原分生组织。

答案　BCD

例5　以下是有关子房位置与果实类型的描述，其中正确的是（　　）（多选题）

A．上位子房一定发育成真果

B．下位子房一定发育成假果

C．聚合果一定是由上位子房发育来的

D．假果一定是由下位子房发育来的

解析　完全由子房单独发育而成的果实就是真果，由子房和其他结构共同发育甚至没有子房参与发育而成的果实就是假果。上位子房的子房壁是独立的，子房独立发育成的果实就是真果。发育成聚合果的花具有离生多心皮的雌蕊，只由心皮单独发育而成的果实就属于真果（如八角），由花托和心皮共同发育成的果实就属于假果（如草莓）。下位子房的子房壁是与花托愈合在一起发育成果实的。由花托发育成的果实（如草莓），或是由花序轴发育成的果实（如菠萝）也都属于假果。

答案　ABC

【针对训练】

（一）单选题

1．在花的结构中，花的最主要部位是（　　）

A．花梗

B．花托

C．花被

D．花蕊

2．荚果什么种类的子房为单室复子房（　　）

A．边缘胎座

B．侧膜胎座

C．中轴胎座

D．边缘胎座或特立中央胎座

3．下列植物中，子房下位的是（　　）

A．苹果和南瓜

B．冬瓜和白菜

C．梨和向日葵

D．棉花和大豆

4．沿腹缝和背缝两面开裂的单心皮干果称（　　）

A．荚果

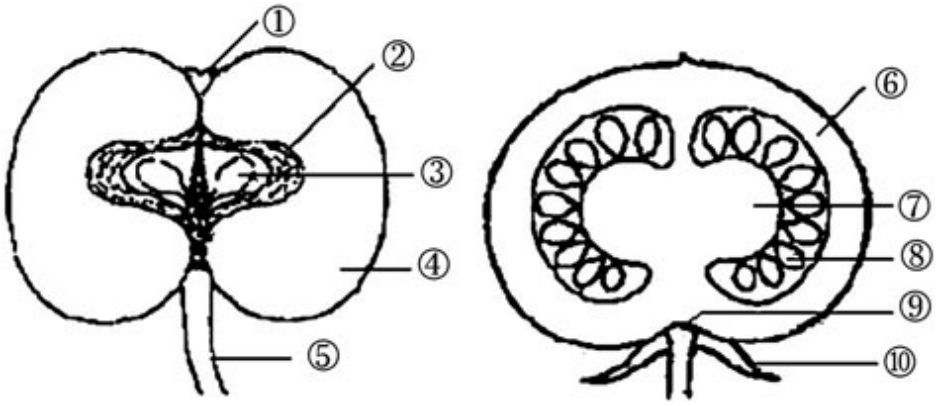
B．蒴荚果
C．蒴果
D．角果
5．一个豆荚中的种子粒数取决于（　　）
A．花中雌蕊的数目
B．雌蕊中心皮的数目
C．子房中胚珠的数目
D．胚囊中卵细胞的数目
6．下列哪一种花是一个花序，由许多朵花构成（　　）
A．菊花
B．桃花
C．油菜花
D．南瓜花
7．玉米和高粱的穗状花序组成及分类单位为（　　）
A．花
B．小穗
C．雄花
D．雌花
8．以下属于雌、雄异株的植物是（　　）
A．南瓜、冬瓜
B．油菜、大豆
C．柳、杨、菠菜
D．马尾松、杉树
9．具有复总状花序的植物是（　　）
A．水稻
B．小麦、高粱
C．向日葵、菊花
D．葱、棉花、白菜
10．玉米的雌花属于（　　）
A．两性花
B．单生花
C．总状花序
D．穗状花序
E．单性花
11．扁豆、大豆的果实属于（　　）
A．荚果

B．角果
C．瘦果
D．假果
12．下列说法中正确的是（　　）
①二体雄蕊就是指一朵花中只有两个离生的雄蕊。②子房的心皮数目一定等于子房室数。③水稻和小麦的小穗，实际上代表一朵小花，其中的颖片、稃片和浆片均由花被演变而来。④由3个心皮组成的复雌蕊有6条腹缝线。⑤有些植物不产生花这种器官，但也能结出果实来，如无花果。
A．①③⑤正确
B．②⑤正确
C．④⑤错误
D．①②③④⑤错误
13．下列在植物学上能称为种子的是（　　）
A．玉米籽粒
B．高粱籽粒
C．向日葵籽粒
D．花生仁
14．中轴胎座类型的子房一定是（　　）
A．单心皮
B．离生心皮
C．多心皮多室
D．多心皮一室
15．花粉外壁的最主要成分是（　　）
A．胼胝质
B．纤维素
C．果胶质
D．孢粉素
16．南瓜的胎座属（　　）
A．中轴胎座
B．侧膜胎座
C．边缘胎座
D．特立中央胎座
17．一种果实小而轻，表面生有大量较长的毛。这种种子在自然界中适应哪种方式传播（　　）
A．以果实自身的机械力量

B．人及动物
C．风力
D．水力
18．下列花序中，花的开放次序由上向下的是（　　）
A．聚伞花序
B．头状花序
C．穗状花序
D．伞房花序
19．柑橘果实的食用部分是（　　）
A．内果皮
B．内果皮壁上的肉质腺毛（汁囊）
C．种皮上的肉质腺毛（汁囊）
D．发达的胎座
20．下列哪一种类型的花托是最原始的（　　）
A．杯状
B．圆顶状
C．柱状
D．杯状花托与子房壁愈合
21．兰科植物的花被片分内、外二轮，每轮三枚，内轮中的一枚特化，形态及分类学中称（　　）
A．下唇
B．蕊喙
C．唇瓣
D．合蕊柱
22．向日葵的果实是由哪类子房发育而来的（　　）
A，具1心皮、1室、1胚珠的下位子房
B．具2心皮、1室、1胚珠的下位子房
C．具2心皮、1室、1胚珠的上位子房
D．具1心皮、1室、1胚珠的上位子房
23．植物根和茎的初生结构不同，但根和茎的维管束又是连在一起的，这个连接的部位是下面的哪个部位（　　）
A．上胚轴
B．中胚轴
C．下胚轴
D．胚根
24．鉴定植物细胞后含物，通常的方法是（　　）

A．用碘液鉴定蛋白质和脂肪
B．用苏丹III鉴定蛋白质和脂肪
C．用碘液鉴定蛋白质和淀粉
D．用苏丹III鉴定脂肪和淀粉

25～28题见下图（表示不同果实类型）：



第25～28题图

25．图中代码①表示（　　）
A．萼片残余
B．花托
C．种子
D．胎座

26．图中表示种子是（　　）
A．②
B．⑧
C．③⑧
D．⑦

27．图中表示花托（　　）
A．⑥
B．④⑨
C．⑤
D．④

28．图中⑦表示（　　）
A．花梗
B．花托
C．种子
D．胎座

29．在果实的形成过程中，苹果的果肉大部分是由下列哪一部分发育而成的（　　）

A．子房

B．胚珠

C．花托

D．胚

30．蔷薇科中的苹果是由什么部分发育形成的，是什么果（　　）

A．子房上位的单雌蕊，核果

B．子房下位的单雌蕊，梨果

C．子房上位的复雌蕊，核果

D．子房下位的复雌蕊，梨果

31．花生、油菜、芝麻的种子含油分较多。这些油类物质主要位于（　　）

A．胚芽中

B．胚乳中

C．子叶中

D．种皮中

32．下列各项中，不是所有种子萌发都必须的外界条件是（　　）

A．阳光

B．水分

C．温度

D．空气

33．玉米种子构造的各部分中最重要的是（　　）

A．胚乳

B．胚

C．种皮

D．果实

34．形成蒴果的雌蕊具有的胎座类型是（　　）

A．边缘胎座、中轴胎座与特立中央胎座

B．顶生胎座、侧膜胎座与特立中央胎座

C．中轴胎座、特立中央胎座与侧膜胎座

D．边缘胎座、侧膜胎座与基生胎座

35．下列关于种子的说法中，正确的是（　　）

①农民贮藏的种子，其细胞内应该没有自由水。②提高温度可增加反应物的碰撞机会，因而温度越高越能促进种子萌发。③种子吸收水分，可增加胚细胞的自由水，提高新陈代谢速率，同时促进子叶或胚乳细胞大分子有机物的水解，进而为胚根、胚芽和胚轴供给营养。④在贮藏种子时要保证适度的干燥和低温，以减少有机物的呼吸消耗而延长寿命。

A．②③

B．①④

C．③④

D．①③

36．小麦种子萌发期间，种子内部矛盾运动非常激烈，首先是物质转化，然后为形态变化；试问在小麦萌发过程中的变化是（　　）

A．胚乳与胚中的物质以合成为主，重量不断增加

B．胚乳与胚中的物质以分解为主，重量不断减少

C．胚乳的物质以分解为主，形态由大变小；胚中的物质以合成为主，重量不断增加

D．胚乳的物质以合成为主，形态由大变小；胚中的物质以分解为主，重量不断减少

37．一般来说被子植物双受精时，分别与两个精子结合的雌配子体细胞是（　　）

A．卵细胞与助细胞

B．卵细胞与中央细胞

C．助细胞与中央细胞

D．中央细胞与反足细胞

38．小麦种子萌发时，能对胚乳内贮藏的物质加以分解和转运的结构是（　　）

A．糊粉层

B．盾片

C．上皮细胞

D．外胚叶

39．禾本科植物小穗中的浆片相当于（　　）

A．花被

B．小苞片

C．苞片

D．总苞

40．水稻和小麦等禾本科植物拔节、抽穗时，茎迅速长高，这是借助下列哪种组织的活动（　　）

A．顶端分生组织

B．侧生分生组织

C．居间分生组织

D．次生分生组织

41．大豆、油菜、蓖麻等植物的种子，在萌发形成幼苗时，子叶出土的原因是（　　）

A．胚芽伸长

B．胚根伸长

C．上胚轴伸长

D．下胚轴伸长

42．以下果实中食用部分主要是胎座的是（　　）

A．西瓜

B．南瓜

C．香蕉

D．葡萄

（二）多选题

1．西瓜的果实属于（　　）

A．复果

B．肉果

C．单果

D．瓠果

E．浆果

F．假果

2．下列关于植物结构进化发展的叙述中，正确是（　　）

A．植物子叶数目进化趋势是由多数到少数

B．两性花比单性花更进化

C．植物花的各部分由合生向离生发展的趋势

D．维管植物是植物界中进化水平高等的类群

3．以下被子植物的花中更适应虫媒传粉的是（　　）

A．花小，密集成圆锥花序，杯状花托内有蜜腺

B．花小，花被绿色，花粉粒轻而干燥

C．花小，无花被，单性花，无蜜腺，花粉粒小而干燥

D．花两侧对称，雌雄蕊愈合成合蕊柱，花粉粒形成花粉块

4．以下有关种子结构的叙述中，正确的是（　　）

A．胚芽由茎端生长点和幼叶组成
B．被子植物种子的子叶有一或两片
C．子叶是植物最早的叶子
D．子叶到第一片真叶之间的轴称为下胚轴
5．以下有关胚乳的叙述中，正确的是（　　）
A．裸子植物胚乳由雌配子体发育而来
B．外胚乳是由一部分珠心组织发育而来的
C．胚芽鞘和胚根鞘是单子叶植物种子特有的结构
D．单子叶植物都有胚乳
E．小麦种子的蛋白质主要集中于糊粉层以内的胚乳细胞中
6．下列关于种子的叙述中，错误的是（　　）
A．任何种子的胚都具有胚芽、胚轴、胚根和子叶等四个部分
B．一粒种子都具有种皮、胚和胚乳等三个部分的结构
C．单子叶植物种子的最重要部分是胚乳
D．一粒种子是由一个受精卵发育而来的
7．垂柳的雄花是（　　）
A．无被花
B．单性花
C．不完全花
D．单生花
8．属于假果的植物有（　　）
A．枣
B．苹果
C．西瓜
D．草莓
E．樱桃
9．风媒花通常具有哪些特征（　　）
A．无鲜艳的颜色
B．无芳香的气味
C．花粉粒较大而多
D．花粉粒较小而多
E．柱头常呈羽毛状
10．下列植物的果实为聚合果的有（　　）
A．无花果
B．草莓
C．菠萝

D．莲蓬

【参考答案】

（一）单选题

1．D　2．A　3．A　4．A　5．C　6．A　7．B　8．C　9．A　10．E　11．A　12．D　13．D　14．C　15．D　16．B　17．C　18．A　19．B　20．C　21．C　22．B　23．B　24．C　25．A　26．C　27．B　28．D　29．C　30．D　31．C　32．A　33．B　34．C　35．C　36．C　37．B　38．C　39．A　40．C　41．D　42．A

（二）多选题

1．BCDEF　2．AD　3．AD　4．ABC　5．AB　6．BCD　7．ABC　8．BCD　9．ABDE　10．BD

第4讲　低等植物分类

（杭州学军中学　余林）

【知识梳理】

一、植物的分类

植物界分为18个门，其中低等门类共14个，其余4个门类为高等类群。具体如表6-4-1所示：

表6-4-1　植物界的分门

<table>
<tr><td rowspan="18">植物界</td><td rowspan="12">孢子植物或隐花植物
*繁殖过程中能产生孢子</td><td>1. 裸藻门</td><td rowspan="10">藻类植物</td><td rowspan="14">低等植物
（无胚植物或原植体植物）
*有性生殖器官单细胞</td></tr>
<tr><td>2. 绿藻门</td></tr>
<tr><td>3. 轮藻门</td></tr>
<tr><td>4. 金藻门</td></tr>
<tr><td>5. 甲藻门</td></tr>
<tr><td>6. 褐藻门</td></tr>
<tr><td>7. 红藻门</td></tr>
<tr><td>8. 蓝藻门</td></tr>
<tr><td>9. 黄藻门</td></tr>
<tr><td>10. 硅藻门</td></tr>
<tr><td>11. 细菌门</td><td rowspan="3">菌类植物</td></tr>
<tr><td>12. 黏菌门</td></tr>
<tr><td>种子植物或显花植物</td><td>13. 真菌门</td></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td>14. 地衣门</td><td>地衣植物</td></tr>
<tr><td>15. 苔藓植物门</td><td rowspan="4">维管植物
颈卵器植物</td><td rowspan="4">高等植物
（有胚植物或茎叶体植物）
*有性生殖器官多细胞</td></tr>
<tr><td>16. 蕨类植物门</td></tr>
<tr><td>17. 裸子植物门</td></tr>
<tr><td>18. 被子植物门</td></tr>
</table>

二、低等植物的主要类群

（一）藻类植物

1．藻类的特征

藻类植物为植物界原始的、低等的类群，是一群含有叶绿素，光合自养的、无胚的原植体植物。其特征主要为：

（1）植物体为原植体：即没有真正的根、茎、叶的分化；多为单细胞、群体、丝状体、叶状体和管状体等。仅少数高等类型具初步的组织分化和类似根、茎、叶的构造，但它们的基本构造和功能则与高等植物有本质的不同。

（2）生殖器官多为单细胞结构：虽然有些高等藻类的生殖器官是由多个细胞组成（某些褐藻）的，但它们的每个细胞都能生育，而形成孢子或配子，其生殖结构周围没有不育细胞构成的保护层。

（3）合子不发育为胚：合子（非受精卵）不在性器官中发育为多细胞的胚，所以藻类也称之为无胚植物。

（4）含有叶绿素等各种光合色素，为自养植物：这一特征是藻类和高等植物相同之处，同时也是它们与异养的菌类的内在区别。尽管有极少数藻类营异养或暂时异养的生活，但仍可根据它们的细胞结构和贮藏的营养物质与菌类加以区分。

藻类植物依据真细胞核的结构又可分为原核及真核藻类，其主要特征见表6-4-2及表6-4-3。

表6-4-2　原核藻类的主要特征比较

门	形态特征	结构	色素	繁殖	代表种类	经济价值
原绿藻门	单细胞		叶绿素 a，叶绿素 b		原绿藻	
蓝藻门	·单细胞、非丝状群体、丝状群体等多种类型 ·不具鞭毛	1.细胞壁：黏肽（肽葡聚糖） 2.原核 3.无载色体等细胞器，色素分散于周质中。色素质（周质）中有由膜形成的类囊体，分散游离在色素质中，色素质遍布核糖体 4.贮藏物质：蓝藻淀粉	1.叶绿素 a 2.β胡萝卜素 3.黄胡萝卜素 4.蓝藻黄素、蓝藻叶黄素（蓝藻特有） 5.藻胆素（藻蓝蛋白、藻红蛋白）	1. 营养：①蓝藻无有性生殖，主要通过细胞直接分裂的方法进行繁殖 ②丝状体类型可断裂繁殖。断裂的丝状体称为藻殖段（被两个双凹死细胞隔开的一段） 2. 无性：内生、外生、厚壁孢子	蓝藻 色球藻 管孢藻 颤藻 念珠藻（地木耳、发菜） 鱼腥藻*	1.食用（发菜） 2.固氮（多有异形胞）

*满江红鱼腥藻，为一种著名的固氮蓝藻，它和一水生蕨类植物满江红（又叫红萍或绿萍）共生在一起（叶中），为水稻田的速生绿肥植物。

表6-4-3　真核藻类的主要特征比较

门	形态特征	光合作用	细胞	繁殖	代表植物	补充
裸藻门	·绝大多数单细胞 ·多为1条或2条茸鞭型鞭毛,由胞口外伸。能自由游动	1.色素: 叶绿素a, 叶绿素b, β胡萝卜素 2.产物: 裸藻淀粉(遇碘不变色)	1.中核(有纺锤丝但不与染色体相连,以环沟分裂) 2.无细胞壁,有的具有囊壳 3.眼点、感光点 4.载色体(有绿色和无色两种类型,只有绿色种类有载色体及色素) 5.储蓄泡 6.伸缩泡	细胞纵分裂	眼虫 裸藻	1.大多数分布在淡水中 2.常生长在有机质丰富的水体中,腐生(吞食)为主 3.可作为水质污染的指示植物 4.形成水华 5.眼点≠感光点
甲藻门	多数单细胞	1.色素: 叶绿素a, 叶绿素c, β胡萝卜素 叶黄素 2.产物: 淀粉、油	1.中核 2.有或无细胞壁 3.囊状体(渗透) 4.有或无横纵沟	细胞纵分裂		1.水华产生原因 2.产生甲藻毒素 3.古生代油地层中有化石

续表

门	形态特征	光合作用	细胞	繁殖	代表植物	补充
硅藻门	①单细胞(主) ②群体 ·营养细胞无鞭毛,精子具有9+2结构的茸鞭型鞭毛	1.色素: 叶绿素a, 叶绿素c, α胡萝卜素, β胡萝卜素, 叶黄素 2.产物: 金藻昆布糖(β-1,3-葡聚糖)、脂肪	1.由2个硅质套合的半片组成(上壳、下壳、壳面、环带) 2.运动是通过壳缝处原生质流动	1.营养: 裂殖 2.有性: 复大孢子($2N$)*	羽纹硅藻 披针桥穹藻 直链藻	
绿藻门	①单细胞 ②群体 ③丝状体 ④叶状体等 ·多为2、4条顶生等长,尾鞭型鞭毛	1.色素: 叶绿素a, 叶绿素b, β胡萝卜素, 叶黄素 2.产物: 淀粉(植物淀粉)	1.细胞壁 外:果胶 内:纤维素 2.高等有液泡	1.营养:断裂 2.无性: 游动孢子(同衣藻,无壁) 静孢子 似亲孢子 厚壁孢子 3.有性: 同配、异配、卵配(石莼)、接合(水绵)	1.绿藻纲:具鞭毛能游动的细胞(或营养体),有性生殖为同配、异配和卵配 2.接合藻纲:无具鞭毛能游动的细胞,有性生殖为接合生殖 * 衣藻、团藻、小球藻、丝藻、石莼、水绵、轮藻	1.高等植物起源 2.多生活于淡水
红藻门	·极少数单细胞,绝大多数多细胞,丝状,叶状,枝叶状 ·藻体无鞭毛 ·有髓	1.色素: 叶绿素a, 叶绿素d, β胡萝卜素, 藻胆素, 叶黄素 2.产物: 红藻淀粉	细胞壁 外:藻胶 内:纤维素	1.营养:裂殖(低等) 2.无性: 单孢子(n) 四分孢子(n) 壳孢子(n) 3.有性:卵式 4.孢子生殖:一般雌雄异株 5.单细胞生殖器: 雄性器官:精子囊(不动精子) 雌性器官:果胞	* 紫菜、江蓠、石花菜、蜈蚣藻、多管藻	1.果胞上有受精丝,果胞中只含一个卵。果胞受精后,立即进行减数分裂,产生果孢子;有些红藻果胞受精后,不经过减数分裂,发育成果孢子体,果孢子体是二倍的,不能独立生活,寄生在配子体上 2.多海产

续表

门	形态特征	光合作用	细胞	繁殖	代表植物	补充
褐藻门	·均为多细胞丝状，叶状，管状，有一定的组织分化(类似根茎叶) ·营养体不具鞭毛 ·生殖细胞侧生两条不等长的鞭毛，一条向前，较长，茸鞭型，一条短的向后，尾鞭型	1.色素：叶绿素a，叶绿素c，β胡萝卜素，墨角藻黄素，叶黄素 2.产物：褐藻淀粉，甘露醇，碘，脂肪，维生素	1.细胞壁外：藻胶酸、褐藻糖胶 内：纤维素 2.高等的有类似根、茎、叶分化 3.表皮：载色体 皮层：机械 髓：喇叭丝(类筛管)	1.营养：藻体断裂或长出繁殖小枝 2.无性：(墨角藻目无)单倍体、二倍体的游动孢子和单倍体的静孢子 3.有性：同配、异配和卵式生殖	*水云、海带、裙带菜、巨藻、鹿角菜、马尾藻	1.生活史多样 同形世代交替(水云) 异形世代交替(海带) 配子减数分裂(鹿角菜) 2.多海产，海底森林的主要成分

2．藻类的繁殖

（1）营养繁殖：植物营养体的某一部分和母体分离（有时不立即分离），而直接形成新个体的繁殖方法。

（2）无性繁殖：植物体产生的生殖细胞可以不经过有性结合直接发育成新个体。

（3）有性生殖：通过两性细胞结合成合子再形成新个体。

3．藻类的生活史类型

（1）合子减数分裂：减数分裂在合子萌发前进行，无真正的二倍体植株，只有n/2n两种核相的核相交替，没有世代交替，如：衣藻、团藻（图6-4-1）。

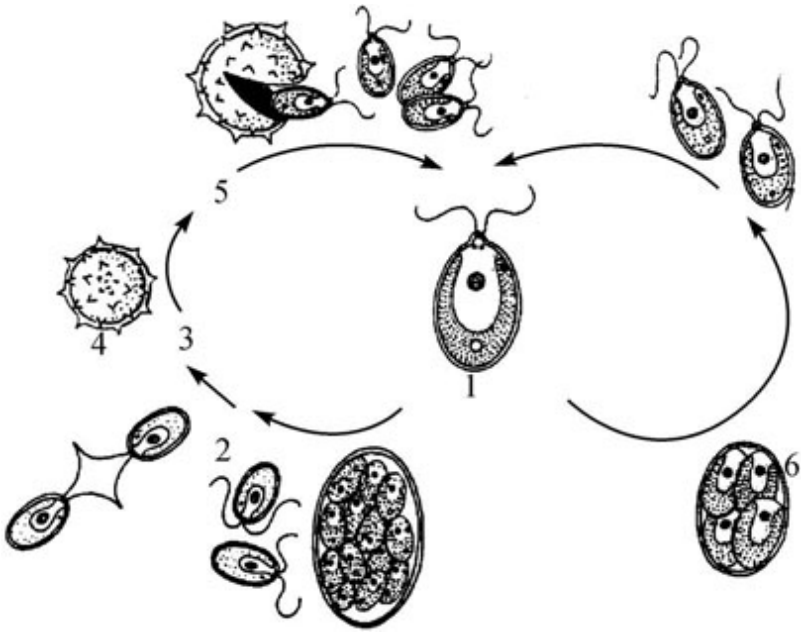


图6-4-1　衣藻生活史

1．营养细胞；2．配子；3．受精作用；4．合子；5．减数分裂；6．孢子囊；7．游动孢子

（2）配子减数分裂：减数分裂在配子产生时进行，无真正的单倍体植株，只有n/2n两种核相的核相交替，没有世代交替，如：褐藻门鹿角菜。

（3）孢子减数分裂：减数分裂在孢子形成时进行，生活史中出现两种植物体——孢子体（2n）：产生孢子；配子体（n）：产生配子（n），雌雄配子分别由两种植物体发生。

4．藻类世代交替

植物体细胞内染色体为二倍的称为孢子体阶段（无性世代）；单倍的称为配子体阶段（有性世代）。藻类生活史中，两个世代交替进行，植物通过孢子体产生孢子行无性生殖，以配子体行有性生殖。包括以下两种类型的世代交替：

（1）同形世代交替：配子体和孢子体在形态结构上完全相同，如绿藻门石莼（图6-4-2）。



图6-4-2　石莼生活史

1．孢子体；2．孢子囊；3．减数分裂；4．孢子；5．孢子萌发；6．-配子体；7．+配子体；8．-配子囊；9．+配子囊；10．-配子；11．+配子；12．受精作用；13．合子；14．合子（2n）萌发

（2）异形世代交替：配子体占优势：苔藓；孢子体占优势：褐藻门海带（图6-4-3）；蕨类植物孢子体和配子体都能存活。

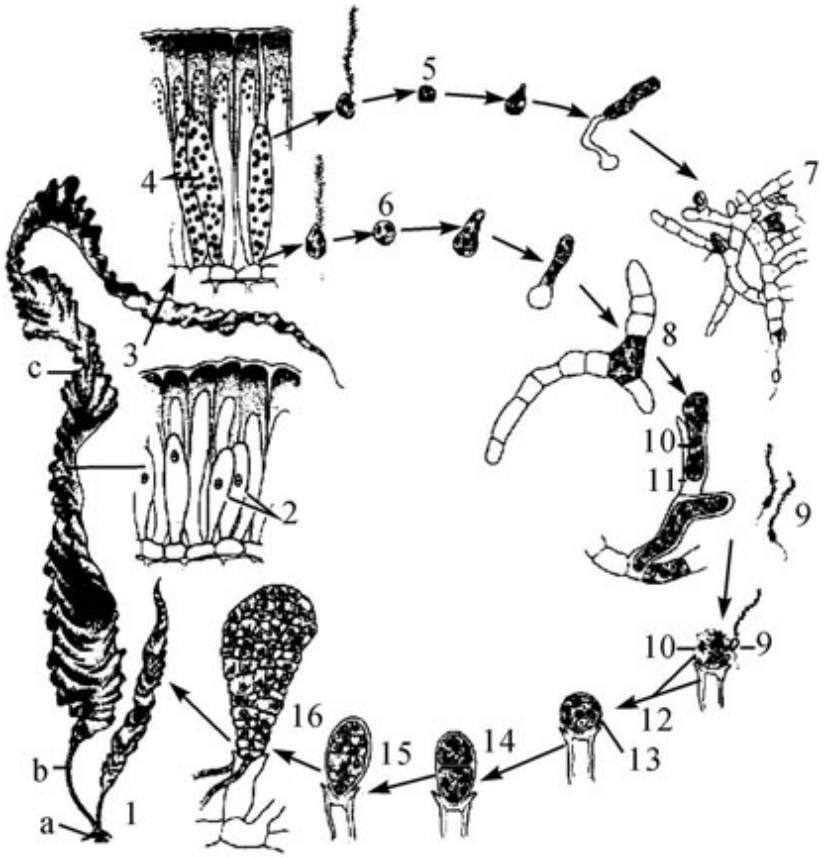


图6-4-3　海带生活史

1．孢子体；2．未成熟的孢子囊；3．减数分裂；4．成熟的孢子囊；5．雄孢子；6．雌孢子；7．雄配子体；8．雌配子体；9．精子；10．卵；11．卵囊；12．受精作用；13～16．合子萌发

5．藻类的孢子类型

藻类的繁殖过程中产生孢子，孢子的类型有：

（1）游动孢子：有鞭毛、能运动，适应于水环境（绿藻门、红藻门、褐藻门）（图6-4-4）。

（2）静孢子（不动孢子）：不具鞭毛、不能运动，小而轻，靠风传播（绿藻门、红藻门、褐藻门）（图6-4-5）。



图6-4-4　游动孢子

（3）厚壁孢子：由普通营养细胞的壁增厚而产生，且含有丰富的营养物质，能度过不良时期，如绿藻门中丝藻的厚壁孢子（图6-4-6）。

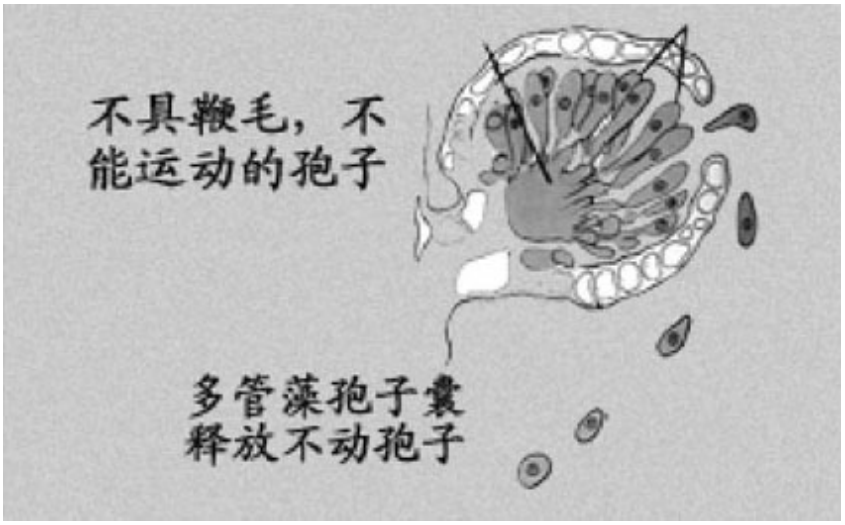


图6-4-5　静孢子

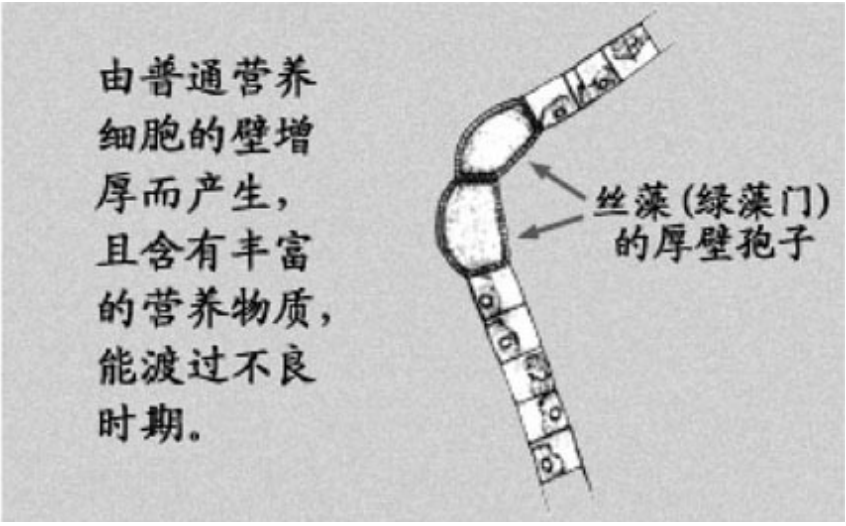


图6-4-6　厚壁孢子

6．藻类的演化关系

（1）细胞及植物体演化

①单细胞→多细胞。

②原核→中核→真核。

③细胞质不具细胞器→具细胞器。

④藻体细胞不分化→分化有各种特殊机能。

（2）繁殖及生活史演化

①营养繁殖→无性生殖→有性生殖。

②同配→异配→卵配。

③合子减数分裂→配子减数分裂→孢子减数分裂。

④核相交替→世代交替。

⑤同型世代交替→异型世代交替。

（二）菌类植物

真核菌类是一类不含光合作用色素，大多营寄生或腐生，异养的原植体植物。

1．黏菌门

介于动物和植物之间的一类生物。其主要特征是：

（1）营养体（2N）：裸露的原生质体，多核，无叶绿素，能作变形虫式运动，吞食固体食物，与原生动物的变形虫很相似。

（2）繁殖体（N）：具纤维素细胞壁的孢子。

（3）

发网菌：营养体（$2N$）→小原生质团（N）→游动细胞（有壁）→变形细胞

两两配合↓　　↓

合子

2．真菌门

（1）真菌基本结构

①营养体：少数单细胞；多数多细胞丝状体菌丝。

②菌丝体：组成一个菌体的全部菌丝。

③子实体：高级的种类，菌丝体常形成定形的子实体，其中有肉质的，如伞菌、猴头（图6-4-4）；木质的，如灵芝；胶质的，如银耳、木耳；但酵母、青霉、禾柄锈菌无子实体。

④菌丝：有隔菌丝和无隔菌丝，无隔菌多核，有隔菌丝1～2核。

⑤菌丝组织体（某些真菌在环境条件不良或繁殖的时候，菌丝互相密结，菌丝体变态形成）：一类为根状菌索，即菌丝缠绕成绳索状（天麻与密环菌共生在体外有一环环的纹）（可生长）；其次是子座，即容纳子实体的褥座，是从营养阶段到繁殖阶段的一种过渡形式（子囊果、担子果）；最后一种为菌核，即菌丝缠绕密结成核状体（茯苓）。

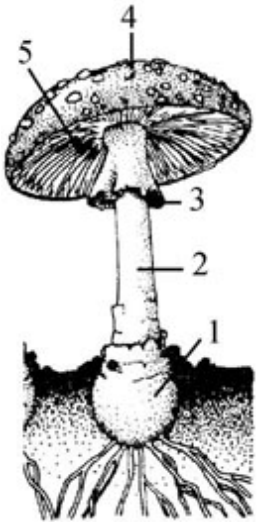


图6-4-7　伞菌的外形和菌褶的结构

1．菌托；2．菌柄；3．菌环；4．菌盖；5．菌褶

（2）细胞构造

细胞壁主要成分为真菌几丁质；鞭毛菌细胞壁主要成分为纤维素。

（3）营养方式

无光合色素，营寄生和腐生生活，异养植物。借助高的渗透压来吸收养料。贮藏物为油滴、肝糖和蛋白质等。

（4）繁殖方式

①营养繁殖：细胞分裂；形成营养孢子：芽孢子、厚壁孢子、节孢子。

②无性生殖：产生各种类型的无性孢子：游动孢子，孢囊孢子（静孢子），分生孢子。

③有性生殖：同配、异配、卵式生殖。有性孢子：卵孢子（2n），接合孢子（2n），子囊孢子（n），担孢子（n）。

（5）生活史

真菌门的生活史是从孢子萌发开始，孢子在适宜的条件下便萌发成芽管，再继续生长形成新的菌丝体，一个生长季节里可以产生无性孢子若干代，产生菌丝体若干代，这是生活史中的无性阶段。真菌在生长后期，开始有性生殖阶段，从菌丝上发生配子囊，产生配子，一般先经过质配形成双核阶段，再经过核配形成合子（图6-4-8）。

通常双相核的细胞是一个合子而不是一个营养体，只有核相交替，而没有世代交替现象。

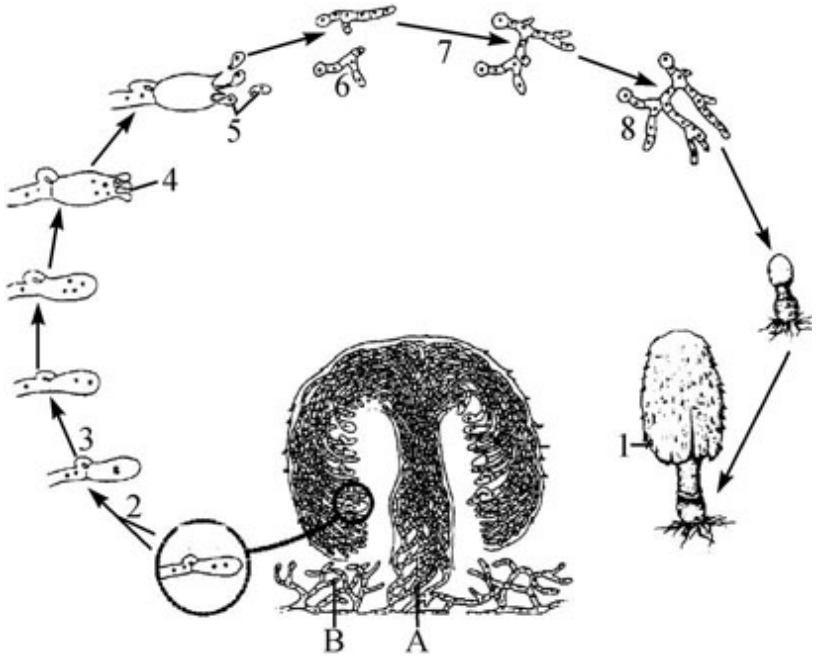


图6-4-8　蘑菇生活史

1．子实体；A．单核菌丝（n）；B．双核菌丝（n＋n）；2．核融合；3．减数分裂；4．担子；5．担孢子（n）；6．担孢子萌发成单核菌丝（n）；7．

胞质融合；8．双核菌丝（n＋n）

（6）分类及形态特征

真菌的分类及主要形态特征见表6-4-4。

表6-4-4　真菌的分类及主要形态特征

	鞭毛菌纲	接合菌纲
形态结构	无隔多核的菌丝组成(只在繁殖时期繁殖器官的基部产生横隔,把繁殖器官隔成 1 个典型的细胞)	菌丝无隔
细胞壁	有的为几丁质,有的为纤维素,有的二者兼有	几丁质和壳聚糖
无性生殖	·产生游动孢子 ·无性孢子具鞭毛 ·层出形成:孢子囊成熟后,游动孢子顺序从囊孔中游出,此后在旧孢子囊的基部再生出第二个孢子囊,如此,孢子囊重复产生三四次,顺序一个套一个(水霉属)	·产生不动的孢囊孢子 ·无性孢子不具鞭毛(是鞭毛菌类向无鞭毛类演变出来的类群,也是从水生向陆生发展的一个过渡类群)
有性生殖	同配,异配,卵式 卵孢子 ·双游现象:水霉属有两种游动孢子。初生孢子游动不久,鞭毛收缩,变成球形的静孢子,静孢子萌发变成一个具有侧生鞭毛的肾形游动孢子,称次生孢子	接合孢子
子实体	不形成	不形成
营养方式	腐生、寄生	腐生
分类	水霉	根霉,毛霉,面包霉 (酒曲是根霉、毛霉,把淀粉变成葡萄糖)
	子囊菌纲	担子菌纲
形态结构	少数原始种类为单细胞(酵母菌),绝大多数为具隔菌丝组成的菌丝体,可形成菌丝组织体	全为有隔菌丝组成的菌丝体,而且有初生、次生菌丝、三生菌丝之分 ·初生菌丝体 ,由担孢子形成,细胞单核,生活史中生命周期很短 ·次生菌丝体,由单核菌丝或性孢子接合形成,细胞双核,又称双核菌丝体,次生菌丝体是主要营养体,可形成菌丝组织体。存在锁状联合现象,生活史中生命周期很长 ·三生菌丝体,由次生菌丝形成子实体,称担子果,是双核菌丝的一种特化的结构
细胞壁	主要为几丁质,也有的具纤维素	几丁质
无性生殖	无性生殖较发达,主要产生分生孢子,还有粉孢子(节孢子)、厚壁孢子	发达,或不发达,有的可产生粉孢子(节孢子)、分生孢子。
有性生殖	配子囊接触交配、体配,质配与核配相隔进行,有性孢子为子囊孢子(n)	全为体配,质配与核配在时间和空间上相隔很久,有性孢子为担子外产生的担孢子(n)
子实体	其子实体又叫子囊果,主要有子囊壳、闭囊壳和子囊盘三种类型	形态结构更复杂,其子实体又叫担子果
营养方式	腐生	腐生、寄生
分类	火丝菌、酵母菌、青霉菌、麦角菌、虫草属	银耳、木耳、猴头、蘑菇

需要特别指出的是，有一类称为半知菌的真菌，其绝大部分都是有隔菌丝体，菌丝体发达，为单倍体。只以分生孢子进行无性生殖，有性生殖阶段尚未发现。为了分类上的需要，人为地将这类真菌归纳为一亚门。实际上，半知菌大多是子囊菌纲的无性阶段，少数是担子菌纲的无性阶段。多为栽培植物和森林病原菌，如水稻纹枯病菌，还有是引起人类和动物皮肤病的病原菌等。

（三）地衣植物

地衣是藻类和真菌共生的复合体。通常是一种真菌一种藻类。各种地衣体中的真菌或藻类都是固定的。地衣耐寒和耐旱性强（高山带、冻土带和南北极），为先锋植物。

1．特征：植株矮小，生活于阴湿环境中；配子体为叶状体或拟茎叶体；异型世代交替，配子体占优势，孢子体劣势，寄生于配子体上；生殖器官为多细胞：精子器与颈卵器，为颈卵器植物；精子具鞭毛，受精离不开水；孢子萌发形成原丝体，原丝体上生成配子体；不形成种子。大部分地衣是喜光性植物，要求空气新鲜。

2．结构功能

真菌：多子囊菌，少担子菌；吸收水，无机盐。

藻类：绿藻、蓝藻；光合作用，制造有机物；吸收水，无机盐。

3．基本类型

（1）状地衣：茶渍衣、文字衣

（2）叶状地衣：地卷衣、石耳

（3）枝状地衣：松萝、石蕊

4．繁殖

（1）营养繁殖：最常见的是营养繁殖，如地衣体的断裂，每个裂片都可发育为新个体。有的地衣表面有几根菌丝缠绕数个藻细胞所组成的粉芽，也可进行繁殖。

（2）无性生殖：藻类和真菌分别进行繁殖。

（3）有性生殖：有性生殖是参与共生的真菌独立进行的，子囊菌产生子囊孢子，担子菌产生担孢子。但子囊孢子散出后萌发形成的菌丝，如不能得到所要求共生的藻类，就会因得不到有机养料而死亡。

5．用途：香水、染料、抗菌（地衣酸）、药用。

【例题解析】

例1　下列关于藻类的叙述中，正确的是（　　）

A．藻类的叶状体具有原始的输导组织

B．绿藻类含有与一般绿色植物相同的叶绿素，也被认为是陆生植物的原始祖先

C．紫菜属于红藻类，可以在淡水中大量培养

D．蓝藻的叶绿素存在于叶绿体内

解析　输导组织是高等植物中具有的组织，是适应体内长距离运输需要的产物。藻类植物中没有输导组织。绿藻类植物所含的色素类型与高等植物是相同的，故人们认为绿藻类是陆生植物的原始祖先。红藻类的植物生活在海洋中，故不能在淡水中生存。蓝藻门的植物属于原核生物，没有叶绿体等细胞器的分化，故叶绿素不可能存在于叶绿体内。

答案　B

例2　下列真菌孢子中，具二倍体的孢子有（　　）（多选题）

A．担孢子

B．接合孢子

C．卵孢子

D．子囊孢子

解析　担子菌亚门在有性生殖过程中形成双相的担子，担子经减数分裂后产生4个单相的担孢子，因此单孢子是单核相（单倍体）的。接合孢子是接合亚菌门在进行有性生殖时，由2个配子囊结合成1个具多核的二倍体孢子。鞭毛菌亚门水霉属的水霉进行有性生殖时，由精囊内的精核与卵囊内的卵结合，形成二倍体的合子，称为卵孢子，故卵孢子是二倍体的。子囊菌亚门在进行有性生殖时形成子囊，合子在子囊内进行减数分裂，产生子囊孢子，因此子囊孢子是单倍体。

答案　BC

例3　下列植物中，哪一类植物能首先成功地移植到一个新形成的火山岛上（　　）

A．厥类

B．地衣

C．地钱

D．绿藻

解析　地衣被誉为植物界的先锋植物，它能分泌地衣酸，腐蚀岩石，通过风化作用，使岩石表面变为土壤。地衣对不良环境条件，如高温、干旱、严寒等具有很强的抵抗能力，因此它能生活在其他植物不能生活的陆地环境中，如新形成的火山岛上。

答案　B

【针对训练】（1—7单选，8—10多选）

1．划分高等植物和低等植物的界限是（　　）

A．有无高大的乔木

B．能否产生种子

C．有否根、茎、叶、花、果实、种子

D．生殖过程中是否出现胚

2．在植物界的各大类群中：①绿藻植物；②地衣植物；③苔藓植物；④蕨类植物；⑤裸子植物；⑥被子植物，其中在生活史中能够形成胚并产生颈卵器的植物类群有（　　）

A．①②③

B．②③④

C．③④⑤

D．④⑤⑥

3．1945年夏，一架横渡太平洋的客机不幸中途失事，乘客纷纷跳伞落在一荒芜人迹的孤岛上。得生者从浅海中捞取藻类植物充饥而得以生还。想想他们最可能吃的是下列的什么藻类？（　　）

A．小球藻和衣藻

B．衣藻和硅藻

C．水绵和衣藻

D．海带和紫菜

4．具备下列哪一项的植物，才能算是真正的陆生植物（　　）

A．具有发达的根系

B．具有发达的输导组织

C．胚受到母体保护

D．受精过程中出现了花粉管

5．金鱼藻属于（　　）

A．蓝藻植物

B．绿藻植物

C．藻类植物

D．被子植物

6．地球上90%的光合作用由（　　）进行

A．藻类植物

B．苔藓植物

C．蕨类植物

D．种子植物

7．琼脂是从哪种植物中提取的（　　）
A．海带
B．紫菜
C．石花菜
D．裙带菜
8．下列植物中可提取叶绿素c的是（　　）
A．甲藻
B．硅藻
C．黄丝藻
D．鹿角藻
E．石花菜
F．裙带菜
G．紫菜
H．多管藻
9．下列植物中，无性生殖产生分生孢子的有（　　）
A．霜霉
B．根霉
C．青霉
D．曲霉
E．母菌
F．猴头菌
G．黑粉菌
H．白粉菌
10．下列植物中，植物体为单倍体的有（　　）
A．硅藻
B．鹿角菜
C．丝藻
D．轮藻

【参考答案】

1．D　2．C　3．D　4．D　5．D　6．A　7．C　8．ABDF　9．ACDH　10．CD

第5讲　高等植物分类

（杭州学军中学　余林）

【知识梳理】

一、苔藓植物

这是一类结构比较简单的高等植物。一般生于阴湿地方，是植物从水生到陆生过渡形式的代表。比较低级的种类其植物体为扁平的叶状体；比较高级的种类其植物体有茎、叶、体的分化，可是都还没有真正的根。吸收水分和无机盐是植物体的功能，由一些表皮细胞突出物形成的假根来完成。它们没有维管束那样真正的输导组织。

主要特征：

1．植物体大多有类似茎、叶的分化，但并不是真正的茎和叶，具假根；

2．生殖器官为多细胞结构，有多细胞的保护壁层；

3．受精卵发育为胚；

4．绝大多数生活在阴湿的陆地上；

5．为非维管植物；

6．配子体占优势，孢子体不能离开配子体独立生活。

（1）配子体

苔藓植物的配子体为小型绿色自养的单倍体植物体。外型分为两大类：

①扁平的叶状体，有背腹之分，常无组织分化，具单细胞假根。

②茎、叶分化的茎叶体，无明显的组织分化或具有组织分化而无真正的维管束。茎分化为表皮细胞和薄壁细胞或表皮、皮层薄壁细胞。叶由一层细胞组成，无叶脉，大多在相当于主脉的位置上有一条中肋，中肋由一群纵向伸长的厚壁细胞组成，主要起支持作用。

（2）孢子体

孢子体形态简单，有孢蒴、蒴柄和基足组成。孢蒴结构复杂，是产生孢子的器官，生于蒴柄的顶端，幼嫩时绿色或棕红色。由蒴盖、蒴壶和蒴苔组成。蒴盖是孢蒴顶部圆碟状的盖。蒴壶结构复杂，外为表皮，内侧为数层细胞的蒴壁。其内为含叶绿体的细胞和很多气室，气室为数层细胞组成的外孢囊，再内为一层孢原组织，孢子即由此产生。蒴盖和蒴壶的连接处为数层细胞构成的环带。蒴壶下面为蒴苔，表面有较多的不能关闭的气孔。

孢蒴成熟时，环带常在干燥的条件下自行卷落，蒴盖也脱落，这种方式称为盖裂。蒴齿对大气的干湿度敏感，干燥时，蒴齿尖端向上

方翘起，潮湿时齿片又微向下弯，这种变化可从齿片边缘带出一些孢子散出。孢子囊中不形成孢子，而形成长形细胞的细胞，特化为弹丝，蒴壁具螺旋状加厚，在受到干、湿条件的影响下，可发生扭曲弹动，有助于孢子的散出。孢子萌发产生原丝体，每个原丝体上又可产生胞芽，由此发育成新的配子体。

（3）生殖器官

苔藓植物的有性生殖器官为多细胞的，雄性生殖器官为精子器。棒状球形，外有一层不育的细胞组成的精子器壁。内部的精原细胞各自发育成长形弯曲并且具两条鞭毛的精子。

雌性生殖器官为颈卵器，为长颈烧瓶状，由细长的颈部和腹部组成。颈部为一层细胞围成，中央有一条沟称为颈沟，内有一列颈沟细胞。腹部内有一个腹沟细胞和一个卵细胞，颈沟成为精子进入颈卵器腹部的通道。

（4）有性生殖和胚的形成

苔藓植物的有性生殖为卵式生殖。但在受精时精子须在有水的条件下游至颈卵器，并从颈沟进入，与腹部的卵结合。多精卵不经休眠期即进行分化。在颈卵器内形成多细胞的二倍体结构，即为胚。所以苔藓植物为有胚植物。

二、蕨类植物

1．主要特征

蕨类植物有根、茎、叶的分化，并有维管系统，既是高等的孢子植物，又是原始的维管植物。

配子体和孢子体皆能独立生活，而且孢子体占优势。我们经常见到的蕨类植物都是孢子体，并有明显的世代交替。配子体产生颈卵器和精子器；孢子体产生孢子束。

蕨类植物是进化水平最高的孢子植物。它们和苔藓植物最大的区别为孢子体内有了维管组织的分化，而且在形态上具有了真正的根、茎、叶。蕨类植物与种子植物总称为维管植物。但它们不产生种子。蕨类植物的有性器官为精子器与颈卵器，和苔藓、裸子植物统称为颈卵器植物。它在生活史上有独特的特征。

2．孢子体

（1）形态和营养器官

蕨类植物孢子体发达，常为多年生草本，个别为木本。根常为不定根。茎有地上的气生茎和地下的根状茎。蕨类植物大多仅具根状茎。蕨类植物的叶分为小型叶和大型叶。小型叶原始，仅具1条叶脉，

无叶柄，无叶隙。大型叶为进步类型的叶，特点为叶脉具分支，形成各种脉序，具叶柄和叶隙。仅高等植物（真蕨类）为大型叶。蕨的叶在形态上分为单叶和复叶。从功能上可分为营养叶和孢子叶，前者为不育叶，能进行光合作用制造营养物质。后者为能育叶，可产生孢子囊和孢子进行繁殖，有些没有营养叶和孢子叶之分，同一叶既可以进行营养也可以进行繁殖，称为同型叶或称一型叶。另有些种类的叶具有两种不同功能的叶，即营养叶和产生孢子的叶，称为异型叶。

（2）维管组织和中柱

蕨类植物的维管组织分化程度不高，由木质部和韧皮部组成。木质部的分子多由环纹螺纹或梯纹管胞以及韧皮薄壁细胞组成，但无伴胞，现存的蕨类大多无形成层，所以没次生结构。蕨的中柱类型是多种多样的，主要有原生中柱、管状中柱、网状中柱和具节中柱。

（3）孢子囊和孢子

孢子囊是蕨类植物孢子体上产生孢子的多细胞无性生殖器官。孢子囊常成孢子囊群，也有2～3个聚生，或单生于孢子叶的叶腋，孢子叶再密集于孢子体分枝的顶端形成球状或穗状，如伏地卷柏。

蕨类植物的孢子为孢子母细胞减数分裂而形成的单细胞结构，其形状、大小和结构因种类而异。一般为同型孢子，大孢子萌发产生雌配子体，小孢子萌发产生雄配子体。还不能完全适应陆生环境，一般生活在沟谷和阴湿环境中。

3．配子体

（1）形态和营养方式

蕨类植物的配子体又称为原叶体，是由单倍体的孢子直接萌发产生的，配子体均很微小，生活时期短，无根茎叶的分化，具单细胞假根。从营养方式分为两类：一类为不含叶绿素，埋生土中，与真菌共生，依靠共生的真菌获取营养，如松叶蕨类，其配子体长约几毫米，直径仅0.5～2mm，褐色，柱状，长二叉分枝，具假根，特别是体内有断续的维管组织。石松类植物中也有和真菌共生的配子体。另一种类型为绿色，光合自养的配子体，可以独立生活，楔叶类和真蕨类的配子体为此类型。楔叶类的绿色配子体通常被描述为垫状，具许多直立的叶状条片。真蕨类的配子体大多为心形的叶状体。

4．生活史

蕨类植物的生活史均具世代交替，孢子减数分裂。但和苔藓植物相比又有所不同，蕨类植物是孢子体发达的异形世代交替，配子体虽微小，但大多可独立生活。

三、裸子植物

裸子植物是介于蕨类植物和被子植物之间的一类维管植物。它和苔藓、蕨类植物相同之处为都具有颈卵器，最大特征为产生种子，但种子裸露没有被果皮包被，因此称裸子植物。

1．主要特征

（1）孢子体发达

裸子植物均为木本植物，大多为单轴分枝的高大乔木，有强大的根系，维管系统发达，具形成层和次生生长，木质部大多只有管胞，而韧皮部只有筛胞而无筛管和伴胞。

叶为针形、条形或鳞形，极少数是扁平的阔叶。叶表皮有较厚的角质层和下陷气孔，气孔排列成浅色的气孔带，更适应陆生环境。

（2）具胚珠，形成种子

胚珠为种子植物特有的结构，由珠心和珠被组成，珠心相当于蕨类植物的大孢子囊，珠被为珠心外的保护结构，在裸子植物中常为单层。胚珠裸露，不为大孢子叶所形成的心皮所包被。胚珠成熟后形成种子。种子由胚、种皮和胚乳组成，胚乳来自雌配子体。种子的产生具有重要意义，种皮对胚有很好的保护作用，使胚免受外界环境的损伤，大大延长种子的寿命，胚乳又为胚萌发阶段。

（3）形成球花

裸子植物的孢子叶大多聚合成球果状球花。小孢子叶球又称雄球花，由小孢子叶（雄蕊）聚合而成，每个小孢子叶下有小孢子囊（花粉囊）内有多个小孢子母细胞（花粉母细胞），经减数分裂产生小孢子。再由小孢子发育成雄配子体（花粉粒），花粉粒为单沟型，有时具气囊，3沟孔或多沟孔。大孢子叶球又称为雌球花，由大孢子叶（心皮）丛生或聚生而成。大孢子叶的腹面近轴面生有一至多个裸露的胚珠，球心（大孢子囊）中的一个大孢子母细胞经减数分裂产生4个大孢子，仅远离珠孔端的1个大孢子发育成雌配子体。

（4）配子体进一步退化寄生在孢子体上

雄配子体是由小孢子发育成的花粉粒，多数种类仅由4个细胞组成：2个退化的原叶细胞，1个生殖细胞和1个管细胞。雌配子体由大孢子发育而来，在近珠孔端产生2至多个颈卵器，但结构简单，埋藏于胚囊中，仅有2—4个颈细胞露在外面，颈卵器内有1个卵细胞和1个腹沟细胞，无颈沟细胞，比蕨类植物颈卵器更加退化。雌、雄配子均无独立生活能力，完全寄生在孢子体上。

（5）形成花粉管，受精作用不再受水的限制

裸子植物的雄配子即花粉粒，通常由风力传播，经珠孔直接进到胚珠，在珠心上萌发，形成花粉管，进入胚囊，将由生殖细胞所产生的2个精子直接送到颈卵器内，其中1个具有功能的精子和卵细胞结合，完成受精作用，因此受精不再受水的限制。

（6）具多胚现象

裸子植物具多胚现象，一个为简单多胚现象，即由一个雌配子体上的几个或多个颈卵器的卵细胞同时受精，各自发育成1个胚，形成多个胚。另一种是裂生多胚现象，即由1个受精卵，在发育过程中胚原细胞分裂为几个胚。

综上所述，裸子植物孢子体进一步组织分化，具有发达的维管系统和根系，特别是产生种子和花粉管，受精完全摆脱了水的限制，使它更能适应陆生环境和繁衍后代，因此，在中生代裸子植物迅速发展并取代蕨类植物在陆地上占优势，成为进化史的一个里程碑。

四、被子植物

被子植物是植物界最高一级的一类植物。最主要的特征是，种子或胚珠包被在果实或心皮中。果实在成熟前，对种子起保护作用，种子成熟后，则以各种方式散布种子，或继续保护种子。它们的孢子体占绝对优势，而又高度分化。木质部中有导管和纤维；韧皮部中有筛管和伴胞。它们的雄雌配子体，则进一步分别简化为成熟的花粉粒和成熟的胚囊。这是对陆生生活的高度适应，是进化的表现。同时双受精作用和3N胚乳的出现，为被子植物所特有，就更有利于其种族的繁衍。因而被子植物的种类最多，占植物界的一半以上。它们的用途大而广，如全部农作物、果树、蔬菜等都是被子植物。许多轻工业、建筑、医药等原料，也取自被子植物。被子植物是人类衣、食、住、行和社会建设不可缺少的资源。

【例题解析】

例1　在裸子植物中，（　　）已没有颈卵器，它们被称为“没有颈卵器的颈卵器植物”。

A．松科和柏科

B．麻黄科和红豆杉科

C．买麻藤科和百岁兰科

D．苏铁科和银杏科

解析　买麻藤科植物的雌配子体在受精前始终处于自由核状态，到受精时分化出1～3个游离核，在其周围形成细胞质，近似于被子植

物的卵核，而不形成颈卵器。百岁兰科的植物也没有颈卵器，其受精作用是由雌配子体的顶部向上生出的管状突起和珠心中向下生长的花粉管相遇而进行的。

答案　C

例2　苔藓植物与藻类植物在下列哪项特征上是相同的（　　）

A．合子离开母体发育

B．有胚

C．受精作用在水中进行

D．孢子离不开配子体

解析　本题A项，大多数藻类可以进行营养生殖和无性繁殖，并不进行有性生殖形成合子。而苔藓植物，合子分裂形成胚后，在颈卵器内发育成孢子体，孢子体发育时需要从配子体上吸取营养，所以它的合子不能离开母体发育。B项，藻类植物的合子不发育成多细胞的胚，从苔藓植物开始才有了胚的出现。D项，这种说法对苔藓植物是合适的，但不符合藻类植物的特点。

答案　C

例3　苔藓植物在进化过程中成为一盲支是因为（　　）

A．它们无真正的根

B．它们的维管组织发育不良

C．在生活史中配子体占优势

D．有性生殖依靠水

解析　苔藓植物有明显的世代交替，配子体占优势，孢子体寄生在配子体上，这一点是与其他陆生高等植物的最大区别。又由于苔藓植物的配子体构造简单，没有真正的根和疏导组织，在陆地上难以进一步适应和发展，所以成为一进化的盲支。ABD叙述不正确，沿着苔藓植物的进化方向可以进化为有根植物、维管组织发达的植物和有性生殖脱离水的植物。

答案　C

例4　银杏所结“白果”是银杏的（　　）

A．果实

B．种子

C．胚珠

D．胚乳

解析　由于裸子植物的珠被外无子房壁包被，因而不形成果实。银杏的种子近球形，成熟时黄色；胚乳肉质，可食及入药。

答案　B

例5　裸子植物比蕨类植物进化的最显著特征是（　　）

A．有维管束

B．能产生种子

C．没有孢子产生

D．植物体高大

解析　裸子植物在植物界中的地位，介于蕨类植物和被子植物之间。它保留着颈卵器、具有维管束等蕨类植物具有的特征，又能产生种子。

答案　B

例6　被子植物在近代地球植物区系中占优势是由于（　　）

A．具有发育良好的组织，进行高度安全的新陈代谢

B．它们具有产生种子的器官

C．它们具有C_3和C_4光合作用

D．ABC都对

解析　从植物体的营养生长来看，被子植物的适应类型多，能够在各种不同的生存环境中与外界环境相适应。如在干旱环境中的仙人掌，具有根系发达、茎适于储存水分、叶片能够防止水分蒸发等特征，使之进行新陈代谢是高度安全的。被子植物的雌蕊是产生种子的器官，由心皮组成，包括子房、花柱和柱头。胚珠得到子房的保护，发育成种子。

答案　D

【针对训练】

1．苔藓植物的孢子体的营养方式为（　　）

A．自养

B．腐生

C．寄生或半寄生

D．腐生和寄生

2．下列特征中，苔藓植物生活史中所具有的特点为（　　）（多选题）

A．配子体发达，孢子体寄生在配子体上的异形世代交替

B．孢子体发达，配子体寄生在孢子体上的异形世代交替

C．具原丝体阶段

D．有胚的出现

E．居间减数分裂

3．下列结构中，不属于苔类配子体世代（染色体为n）的是（　　）（多选题）
A．二分叉的叶状体
B．孢子
C．蒴苞
D．受精卵
E．弹丝
F．假蒴苞
G．颈卵器
H．雌器托
I．胞芽
J．原丝体
4．地钱的下列结构中，属于孢子体世代（染色体为2n）的是（　　）
A．胞芽
B．孢蒴
C．假根
D．精子器
5．苔藓植物的孢蒴又称（　　）
A．配子囊
B．孢子囊
C．卵囊
D．精子囊
6．苔藓植物的生活史中，减数分裂发生在（　　）
A．合子分裂产生胚时
B．产生精子、卵细胞时
C．原丝体发育成配子体时
D．产生孢子时
7．下列结构中，不属于藓类孢子体世代的是（　　）
A．蒴盖
B．蒴齿
C．蒴柄
D．蒴帽
8．下列该类中柱类型中，最原始的中柱类型是（　　）
A．具节中柱
B．原生中柱

C．管状中柱
D．网状中往
9．下列各大植物的组合中，苔藓植物属于（　　）
A．孢子植物　高等植物　有胚植物　隐花植物　维管植物
B．孢子植物低等植物　羊齿植物　颈卵器植物　维管植物
C．羊齿植物　颈卵器植物　有胚植物　隐花植物　维管植物
D．孢子植物　高等植物　有胚植物　隐花植物　颈卵器植物
10．从栽木耳的木头上采摘下来的新鲜木耳，其菌丝是（　　）
A．单核菌丝体
B．双核菌丝体
C．多核菌丝体
D．无隔菌丝体
11．异形世代是指在植物的生活史中，下列哪项在形态构造上显著不同（　　）
A．孢子囊和配子囊
B．孢子体和配子体
C．孢子和配子
D．精子和卵细胞
12．下列特征中，蕨类植物不同于苔藓植物的是（　　）（多选题）
A．孢子体远比配子体发达
B．孢子体和配子体均能独立生活
C．具较原始的维管组织
D．具原丝体阶段
E．除少数原始类群外都产生了真根，且多为不定根
13．下列各大类植物中，生活史一般不具世代交替的为（　　）
A．藻类
B．菌类
C．苔藓植物
D．蕨类植物
14．松柏纲植物的可育大孢子叶又可称为（　　）
A．种鳞
B．珠鳞
C．珠托
D．苞鳞
15．裸子植物的雌配子体是（　　）

A．成熟胚囊
B．珠心
C．珠心和胚乳
D．胚乳和颈卵器
16．松属植物生活史中，精子是直接由下列哪项分裂产生的（　　）
A．小孢子
B．生殖细胞
C．体细胞
D．柄细胞
17．裸子植物的胚乳是（　　）
A．孢子体世代，核相为2N
B．配子体世代，核相为3N
C．孢子体世代，核相为2N
D．配子体世代，核相为N
18．下列各种果实类型中，最原始的类型是（　　）
A．聚花果
B．聚合果
C．真果
D．假果
19．下列各种输导组织特征中，哪种性状最为进化（　　）
A．具网纹、孔纹导管
B．具环纹、螺旋导管
C．无导管而具管胞
D．无伴胞
20．木兰科各种原始特征中，哪一特征最为突出（　　）
A．木本
B．单叶
C．虫媒花
D．雌蕊多数、离生、螺旋状排列于伸长的花托上
21．枫杨的坚果具翅，翅由下列哪项发育而来（　　）
A．种皮
B．果皮
C．花被
D．苞片
22．杨柳科植物的花为裸花，这是指（　　）

A．子房裸露，不被毛
B．无苞片，故花裸露
C．无花被，因而雌、雄蕊裸露
D．先花后叶花序裸露
23．假蝶形花冠与蝶形花冠主要区别在于下列哪项不同（　　）
A．花瓣数目
B．花瓣形态
C．花瓣排列方式
D．花瓣色彩
24．一品红为大戟属的一观赏植物。其最引人注目的是（　　）
A．花瓣
B．苞片
C．花序
D．茎上部叶
25．柑橘属常见种的鉴别特征之一是（　　）
A．有无茎刺
B．是否具单身复叶
C．花有无花盘
D．叶轴翅有无或宽窄
26．花被在花芽中排列方式为各片边线相接，但不相互覆盖，如葡萄科，此为何种排列方式（　　）
A．镊合状
B．旋转状
C．覆瓦状
D．覆瓦状
27．泡桐属植物花中雌蕊为二心皮二室，故应具（　　）
A．侧膜胎座
B．边缘胎座
C．中轴胎座
D．特立中央胎座
28．禾本科植物小穗中小花的花被为（　　）
A．苞片
B．浆片
C．稃片
D．颖片
29．竹亚科植物普通叶脱落时，留在茎上的部分是（　　）

A．箨舌
B．箨耳和叶鞘
C．叶鞘
D．叶柄
30．兰科植物花中最独特的结构是（　　）
A．唇瓣
B．合蕊柱
C．花粉块
D．蜜腺
31．在下列关于花的叙述中选出代表进化意义的特征（　　）
①心皮离生　②心皮合生　③辐射对称　④两侧对称　⑤大型花　⑥小型花　⑦两性花　⑧单性花　⑨风媒花　⑩虫媒花
A．①③⑤⑦⑨
B．②④⑤⑧⑨
C．②④⑥⑧⑩
D．①④⑥⑧⑨

【参考答案】

1．C　2．ACDE　3．DE　4．B　5．B　6．D　7．D　8．B　9．D　10．B　11．B　12．ABCE　13．B　14．B　15．D　16．C　17．D　18．B　19．A　20．D　21．D　22．C　23．C　24．D　25．D　26．A　27．C　28．B　29．C　30．B　31．C

第6讲　无脊椎动物

（宁波效实中学　范少迎）

【知识梳理】

一、动物的基本组织

一般可以根据构造和功能的差别将动物组织分为4类，即上皮组织、结缔组织、肌肉组织和神经组织。

（一）上皮组织

细胞的排列比较紧密，形状规则，具有极性，细胞间质少。上皮组织主要行使保护、分泌、吸收和排泄等功能。根据结构特点又可分为：

1．单层扁平上皮：为一层扁平状细胞构成，细胞呈多边形、边缘有锯齿状波纹。如覆盖于心脏、血管、淋巴管腔内面的上皮，薄而光滑，有利于物质的交换和减少液体流动时的阻力；如覆盖于胸膜、腹膜、心包膜的上皮，细胞较小，规则似六角形，薄而湿润光滑，便于内脏活动。另外还有肾小囊壁层、肺泡壁上皮等有利于物质交换的上皮。

2．单层立方上皮：一层立方形细胞组成，如肾小管、甲状腺滤泡上皮，有分泌和吸收功能。

3．单层柱状上皮：一层棱柱形细胞组成，其游离端常具纤毛、微绒毛，分布于胃、肠、子宫、输卵管的内腔面。

4．假复层纤毛柱状上皮：主要为柱状上皮组成，一层细胞。但高度不等，核位置参差不齐，似有多层细胞，其游离端常具有纤毛。主要分布于呼吸道内表面。具有保护、分泌功能。

5．复层扁平上皮：主要分布于皮肤的表皮、口腔、食道、阴道黏膜，有保护作用。

6．复层柱状上皮：主要分布于眼睑结膜、尿道海绵体的黏膜，有保护作用。

7．变移上皮：主要分布于肾盂、肾盏、输尿管、膀胱的内腔面，随器官收缩而变化。

（二）结缔组织

由细胞和大量的细胞间质组成，起支持、连接、营养、防御、保护作用。结缔组织是机体内分布最广、形状最复杂的组织，如皮肤表皮以下的真皮、真皮下面的疏松结缔组织、脂肪组织、血液、肌腱、韧带、软骨和骨等。它的特点是细胞少，细胞间质多，细胞间质内含丰富的纤维和无定形的基质。

（三）肌肉组织

由肌细胞（肌纤维）组成，均含有肌原纤维。具收缩功能，能完成各种运动。包括骨骼肌、心肌和平滑肌三种。

1．骨骼肌：含有大量有横纹的肌原纤维和发达的肌管系统，多核，肌浆中含有肌红蛋白，含肌红蛋白较多的是红肌纤维，较少的是白肌纤维。红肌收缩慢而持久，白肌收缩快而有力，但易疲劳。肌原纤维可见暗带（A）、明带（I），暗带的中部色淡叫H线。明带的中部色深叫Z线。肌原纤维中在两个Z线中间的一段叫做肌节，一个肌节包括1/2I带＋A带＋1/2I带，它是组成骨骼肌纤维的结构单位和功能单位。

2．心肌：心肌纤维有分支、核是单个的，同骨骼肌一样也有横纹，但是不如骨骼肌明显。心肌细胞有两类：工作细胞（心房和心室的一般细胞）和特殊分化了的心肌细胞（窦房结、房室交界区、房室束和浦肯野纤维等），即心脏起搏传导系统的心肌细胞。

3．平滑肌：肌细胞呈梭形，只有一个核，没有横纹。一般构成内脏器官管壁的肌肉层。平滑肌收缩慢、比较持久，不易疲劳。

（四）神经组织

神经组织是神经系统的主要构成部分。它的组织结构包括神经元和神经胶质细胞。神经元是传导兴奋的单位。神经胶质细胞有支持、保护、营养和修补的作用。

神经元分细胞体和突起两部分。神经元外都有神经膜包围，有接受刺激和传导神经冲动的功能。胞体内有细胞质和细胞核，是神经元的营养代谢中心。胞体内的粗面内质网又称尼氏体，与蛋白质合成有关。

神经元的突起分树突和轴突。树突把冲动传向细胞体，轴突把冲动从细胞体传出。每个神经元有树突一到几个，轴突一个。树突分枝多，能增加接触面。轴突分枝少。轴突和长树突总称神经纤维。有的神经纤维表面有一层节段性的髓鞘，叫有髓神经纤维。有的神经纤维外面没有髓鞘，叫无髓神经纤维。有髓纤维传导速度快，无髓纤维传导速度慢。

神经元根据神经细胞突起的多少，可分为单极神经元、假单极神经元、双极神经元和多极神经元等。根据功能不同，又可分为感觉神经元、运动神经元和中间神经元。

二、原生动物门（单细胞真核生物）

（一）原生动物门的主要特征

绝大多数由单细胞构成，少数种类是单细胞合成的群体。在五界分类系统中，常将原生动物单独归属于原生生物界。它主要有以下特征：

1．体形微小，大小一般在几微米到几十微米之间。

2．一般由单细胞构成，有些种类是群体性的。单细胞的原生动物整个身体就是一个细胞，作为完整有机体，它们同多细胞动物一样，有各种生命功能，诸如应激性、运动、呼吸、摄食、消化、排泄以及生殖等。单细胞的原生动物当然不可能有细胞间的分化，而是出现细胞内分化，由细胞质分化出各种细胞器来实现相应的生命功能。例如用来运动的有鞭毛、纤毛、伪足，摄食的有胞口、胞咽，防卫的有刺

丝泡，调节体内渗透压的有伸缩泡等。有些原生动物是群体性的，但一般组成群体的细胞之间并不分化，各个个体保持自己的独立性。

3．形态结构和生理功能在现有各类动物中是最简单、最原始的，反映了动物界最早祖先类型的特点。从原生动物可以推测地球上最早的动物祖先的面目。现在生存的各类原生动物，是经历了千百年进化而演变成的现代种。因此，不可把现在的原生动物看作是其他各类动物的原始祖先。

4．具有3种营养方式：（1）植物性营养，又称光合营养，如绿眼虫等；（2）动物性营养，又称吞噬营养，如变形虫、草履虫等；（3）渗透性营养，又称腐生营养，如孢子虫、疟原虫等。

5．当遇到不良条件时，它们形成包囊，把自己同不良的外界环境隔开，同时新陈代谢的水平降得很低，处于休眠状态。等到有合适的环境条件，又会长出相应的结构，恢复正常的生活。

另外，原生动物的适应性很强，它们能生存在各种自然条件下，如淡水、咸水、温泉、冰雪以至于植物的浆液，动物和人类的血液、淋巴液和体液等。

（二）原生动物的分类及代表动物

1．鞭毛纲

（1）代表动物：眼虫

（2）主要特征：一般以鞭毛为运动器，通常1～4条或6～8条，少数种类具有较多的鞭毛。营养方式多种多样，有光合营养、渗透营养、吞噬营养等。其生殖方式中，无性生殖主要为纵二裂（绿眼虫），出芽（夜光虫）；有性生殖主要有同配生殖（盘藻虫），异配生殖（团藻虫）。在环境不良时，一般能形成包囊。

（3）主要类群

①植鞭亚纲：一般具色素体，能进行光合作用。无色素体的种类，其结构也与有色素体种类相似，只是在进化过程中失去了色素体。自由生活在海水或淡水中，种类多，形状各异，单体或群体。绿眼虫即属此亚纲。本亚纲生物在“植物界”中属于裸藻门、绿藻门、甲藻门等。

②动鞭亚纲：一般无色素体，不能自己制造食物，异养，自由生活或寄生。本亚纲的代表动物有利什曼原虫和锥虫。利什曼原虫虫体很小，寄生于人体的有三种，我国流行的是杜氏利什曼原虫，它能引起黑热病，故也叫黑热病原虫。其生活史分为两个阶段，寄生在人或狗体内的巨噬细胞中，称为无鞭毛体。无鞭毛体以巨噬细胞为食，长大后不断分裂（二分裂）。当繁殖到一定数量时，巨噬细胞破裂，无

鞭毛体出来又侵入其他巨噬细胞。如此引起大量巨噬细胞破坏死亡，故患者肝、脾肿大，造成贫血而死亡，死亡率可达90%以上，为我国五大寄生虫病之一。另一阶段寄生在白蛉子体内，当吸血昆虫白蛉子叮人时，无鞭毛体即进入其消化道内，并发育为前鞭毛体。当白蛉子再叮人时，就将原虫注入其他人体内，故黑热病主要是通过白蛉子传染的。

锥虫寄生于脊椎动物血液中，鞭毛由体后基体发出，沿虫体向前与细胞质拉成一波动膜，其运动就靠鞭毛和波动膜的摆动来完成。因波动膜适于在黏稠度较大的环境中运动，故其广泛分布于脊椎动物血液中。侵入脑和脊髓中使人得昏睡病，是流行于非洲的严重寄生虫病，其传播媒介为舌蝇（俗称采采蝇）。

2．肉足纲

（1）代表动物：痢疾内变形虫

（2）主要特征：运动器伪足为临时性的细胞质突起，也有摄食作用；细胞质常分为外质和内质，外质是质膜之下无颗粒、均质透明的一层；外质之内是内质，内质流动，具颗粒，有细胞核、伸缩泡、食物泡等。内质可分为两部分，处在外层相对固态的称为凝胶质，在其内部呈液态的称为溶胶质。这种结构特点与它的变形运动相适应，通过变形运动，它能够完成胞吐和胞吞；生殖为二分裂或形成包囊。

3．孢子纲

（1）代表动物：间日疟原虫。间日疟原虫有人和按蚊两个寄主，生活史复杂（如图6-6-1所示），有世代交替现象。无性世代在人体内，有性世代在某些雌按蚊体内进行，借这些雌按蚊传播。

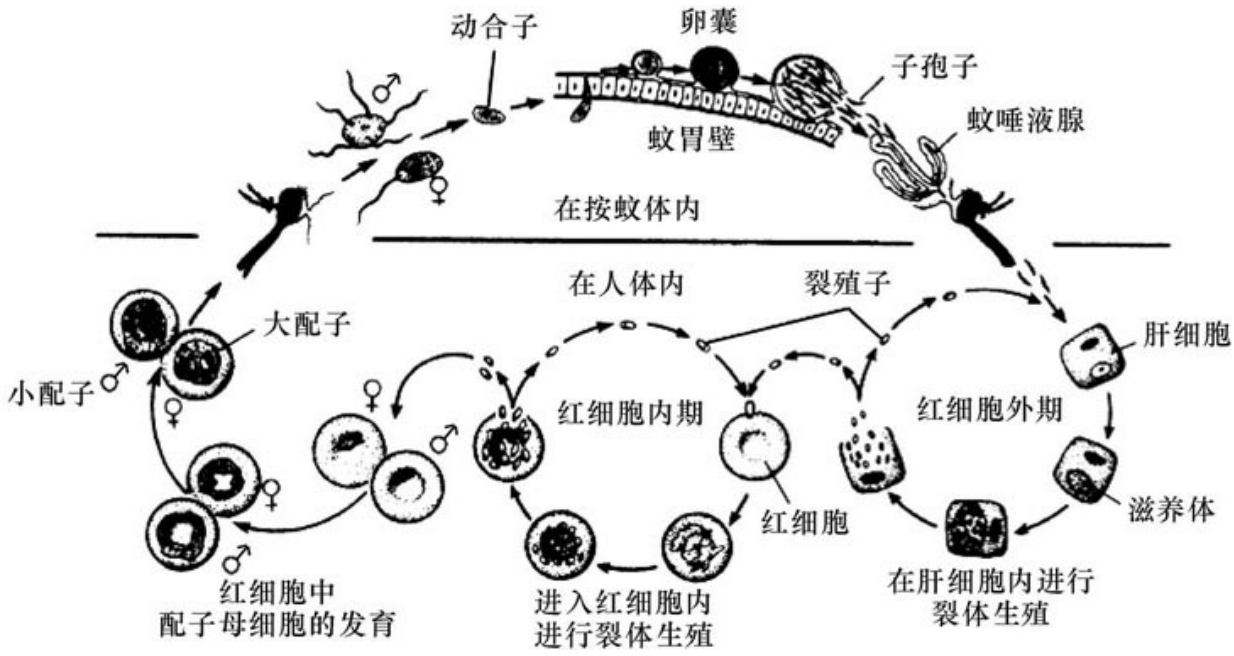


图6-6-1　间日疟原虫生活史

裂体生殖：在人体内进行。当传染了疟原虫的雌按蚊吸人血时，疟原虫的子孢子即随蚊唾液进入人体血液中。半小时后进人肝细胞进行裂体生殖，形成数万圆形裂殖子，侵入红细胞后继续裂体生殖，发育成戒指形的小滋养体（环状体），其长大后发育成大滋养体，并继续分裂成16个核时，停止分裂，此时称裂殖体。子核分裂最终形成16个裂殖子，充斥红细胞内使细胞破裂，裂殖子散入血浆，各自侵入其他红细胞再次裂体生殖。当每次红细胞大量破裂，裂殖子及疟色素等代谢产物进入血液时，患者先寒后热盗汗，此过程在间日疟48h一次，三日疟需72h，恶性疟需36—48h。

配子生殖：部分进入红细胞的裂殖子发育为大、小配子母细胞，被吸入蚊胃后先分别发育为大、小配子，并在蚊胃中融合为合子。如未被蚊吸去，则停止发育的大、小配子母细胞在1～2个月内被白细胞吞噬或变性。

孢子生殖：合子形成几小时后，在蚊胃基膜与上皮细胞之间发育为圆形的卵囊。其核和胞质经多次分裂，形成数万子孢子。子孢子成熟后逸出散入血腔中，并进入唾液腺。在蚊叮人时，子孢子又进入另一人体，进行下一周期。

疟原虫对人危害很大，能大量破坏红细胞，造成贫血，使人肝脾肿大，并能损害脑组织，严重影响人的健康，甚至造成死亡。

（2）主要特征：本纲动物都是寄生种类，无运动器或只在生活史一定阶段有，异养，生活史复杂，有世代交替现象。无性世代在脊椎动物（或人）体内，有性世代在无脊椎动物体内。有些种类在同一寄主体内进行。先是无性的裂体生殖，再是有性的配子生殖，最后是无性的孢子生殖。

4．纤毛纲

（1）代表动物：大草履虫

（2）主要特征：一般体表终生具纤毛，并以纤毛运动。纤毛的结构与鞭毛相同，但较短，数量也较多，运动时节律性强。纤毛可成排分散存在，也可由多数纤毛黏合成小膜，排列在口的边缘，称小膜带；也可由一单排纤毛黏合形成波动膜；还可成簇黏合成束称棘毛。纤毛虫是所有原生动物中结构最复杂的：具表膜下纤毛系统，细胞核一般分为大、小核，多具摄食的胞器。无性生殖为横二分裂，有性生殖为接合生殖。

危害人体健康的原生动物病原体，常见的见表6-6-1。

表6-6-1　危害人体健康的原生动物病原体

原生动物病原体	纲	寄生部位	引起疾病	症状	传播媒介
痢疾内变形虫	肉足虫纲	肠道	痢疾	大便血多脓少	经口
利什曼原虫	鞭毛虫纲	巨噬细胞	黑热病	肝脾肿大、发烧	白蛉
锥虫	鞭毛虫纲	脑、脊髓	昏睡病	昏睡、致死	舌蝇（采采蝇）
间日疟原虫	孢子虫纲	红细胞	疟疾	先寒后热盗汗	雌按蚊

*危害人体健康的五大寄生虫病：①利什曼原虫——黑热病；②间日疟原虫——疟疾；③日本血吸虫——血吸虫病；④十二指肠钩虫——钩虫病；⑤斑氏丝虫（马来丝虫）——丝虫病。

三、多孔动物门（侧生动物）

（一）多孔动物门的主要特征

1．体型多数不对称，少数种类有一定的形状和辐射对称，多数种类不规则生长，形成扁的、圆的、树枝状不对称。

2．没有器官系统和明确的组织　海绵动物体壁基本由两层细胞构成，外层称皮层，内层称胃层，两层之间为中胶层。胃层在单沟系海绵为领细胞层，每个领细胞有一透明领围绕着一条鞭毛。鞭毛的摆动引起水流通过海绵体，水流中的食物颗粒先附着在领上，再进入细胞质形成食物泡，在领细胞内消化或将食物传给变形细胞消化，残渣由

变形细胞排到流出的水流中。海绵动物的细胞分化较多，身体的各种机能是由独立细胞完成的，没有消化腔，食物在细胞内消化。无神经系统，故一般认为其只是处在细胞水平的多细胞动物。

3．具水沟系　水沟系是海绵动物体内水流所经过的途径，是其特有结构，它对固着生活很有意义。按其结构和进化程度可分为三种基本类型：单沟型、双沟型和复沟型。

4．生殖和发育　海绵动物的生殖分为无性和有性两种方式，无性生殖又分出芽和形成芽球两种。有性生殖过程中有特有的逆转现象，精卵结合形成的受精卵经卵裂形成囊胚，动物极的小细胞向囊胚腔内生出鞭毛，植物极的大细胞从中间开一口子，接着囊胚的小细胞由开口处倒翻出来，使小细胞具鞭毛的一侧翻到表面，此时的胚胎称为两囊幼虫。幼虫从母体出水孔随水流逸出，具鞭毛的小细胞内陷形成内层，大细胞在外边形成外层细胞，这与其他多细胞动物的原肠胚形成相反（其他多细胞动物的植物极大细胞内陷成为内胚层，动物极小细胞在外面形成外胚层），因此称为逆转。幼虫游动后不久即固着发育成成体。

（二）多孔动物门的分类

现在已知的海绵动物约有1万种，依其骨骼的特点可分为3个纲。

1．钙质海绵纲：钙质骨针，简单的水沟系，较小的体形，多浅海生活，如白枝海绵和毛壶等。

2．六放海绵纲：六放形矽质骨针，复沟型，鞭毛室大，体形较大，深海生活，如偕老同穴、拂子介等。

3．寻常海绵纲：矽质骨针（非六放）或海绵质纤维，复沟型，鞭毛室小，不规则体型，海产或淡水产，如浴海绵、针海绵等。

四、腔肠动物门（辐射对称动物）

（一）主要特征

1．辐射对称　辐射对称是指通过身体的中轴可以有两个以上的切面把身体分成两个相等的部分。是一种原始的对称形式。在此基础上有些种类已发展为两辐对称，如海葵等，这是介于辐射对称和两侧对称之间的对称形式，即通过身体的中央轴，只有两个切面可以把身体分为两个相等的部分。

2．两胚层及原始的消化腔　这两层细胞是胚胎发育到原肠胚时期所形成的外胚层和内胚层。中胶层是内、外胚层细胞的分泌物所形成的非细胞结构。腔肠动物体内的空腔，是胚胎时期的原肠腔，相当于高等动物的消化道，有消化的功能，可以进行细胞外消化和细胞内消

化，还能将消化后的营养物质输送到身体各个部分去，所以又叫做消化循环腔或消化腔。消化腔有个开口，就是腔肠动物的口，通向体外，是原肠胚时期所形成的原口。腔肠动物有口无肛门，它的口既是摄食的口，又是消化后的食物残渣排出的地方。

3．细胞与组织分化　腔肠动物不仅分化出具各种不同形态功能的细胞，而且也分化出原始的组织。主要是上皮组织的分化，不但构成了个体的内外表面，还分化出了感觉细胞、消化细胞等。而且在上皮细胞内还含有肌原纤维，使其兼有上皮和肌肉的功能，故又称为上皮肌肉细胞，简称皮肌细胞。皮肌细胞中间有特殊的刺细胞，故腔肠动物门又称刺细胞动物门。

4．原始的神经系统——神经网　由各种类型的神经细胞构成弥散型的网状神经系统，无神经中枢、传导无方向性、传导速度慢（比人的神经传导慢1000倍），可看成是原始的神经组织。

5．水螅型或水母型　这是腔肠动物基本的体型。水螅型圆筒状，口向上，中胶层较薄，有的有石灰质骨骼，出芽生殖，为无性世代，适应固着生活。水母型圆盘状，口向下，中胶层较厚，进行有性生殖，为有性世代，适应漂浮生活。若将水母型向上翻，使其口向上方，就可看出水螅型和水母型的基本结构是一样的，只是水母型较扁平。

6．生殖和世代交替　腔肠动物的生殖有无性的，也有有性的。无性生殖多为出芽生殖，有时芽体长成后仍不脱离母体而构成复杂的群体；有性生殖为异配生殖，多数种类雌雄异体。许多海产种类在个体发育至原肠胚期时，出现体表长满纤毛的能游动的浮浪幼虫，浮浪幼虫游动一段时间后，沉入海底，附着在固体物上，再发育成新的个体。另外有些种类生活史中有明显的无性世代（水螅体）和有性世代（水母体）交替出现的世交代替现象。

（二）分类

腔肠动物分为水螅纲，钵水母纲，珊瑚纲三个纲。

1．水螅纲：绝大多数生活在海洋里，少数生活在淡水里。有单体或群体的类型。生活史上多数有水螅型和水母型两个阶段，即有世代交替现象。生殖细胞来源于外胚层。如水螅、薮枝螅、桃花水母、僧帽水母等等。

2．钵水母纲：这个纲的种类全部生活在海洋里，且多数是大、中型水母。生活史上有水螅型和水母型的世代交替现象。其中水母型发达，中胶层厚，结构复杂，而水螅型非常退化，常常以幼虫形式出

现，小而不明显。生殖细胞来源于内胚层。如海蜇、海月水母和霞水母等。

3．珊瑚纲：本纲全部生活在海洋里。生活史上只有水螅型。大多数有发达的石灰质骨骼，并且组成群体。生殖细胞来源于内胚层。如海葵、柳珊瑚等。

（三）代表性的腔肠动物——水螅

水螅属于水螅纲，有很多种，分布比较广泛。

（1）外形　身体呈圆筒形，前端的正中是口，口的四周有5～10条细长、中空的触手。身体后端是封闭的，叫做基盘。基盘能分泌黏液，使水螅能附着在水草上。水螅身体的四周常常有一个或几个由无性生殖产生的小水螅芽体。在夏季和秋季，还能看到水螅体上的有性生殖器官——精巢和卵巢。精巢多数长在触手下方不远处，呈锥形。卵巢则多数长在近基盘处，呈卵圆形。

（2）结构　水螅身体的内部是一空腔叫消化循环腔。消化循环腔与触手的中空部分相通，并由口与外界相通（如图6-6-2所示）。

水螅的体壁由外胚层、中胶层和内胚层构成。身体由内、外两层细胞组成，中间夹着中胶层。外层细胞来源于外胚层，细胞层较薄，排列整齐，分化成六种细胞：①外皮肌细胞：细胞基部的肌原纤维纵向排列，细胞收缩使身体和触手缩短；②感觉细胞：细胞小，有感觉毛，基部与神经细胞相连；③神经细胞：分布在外胚层基部，神经细胞向四周伸出突起相互连结成神经网；④腺细胞：全身分布，口的周围和基盘处较多，能分泌黏液；⑤间细胞：散布在外层细胞之间，是一种小型的未分化细胞，能分化成刺细胞和生殖细胞等；⑥刺细胞：腔肠动物所特有的一种攻击和防御性细胞，遍布整个外层。内层细胞来源于内胚层，细胞层较厚，以内皮肌细胞为主。内皮肌细胞：细胞基部的肌原纤维横向排列，细胞收缩使身体和触手伸长变细。部分细胞顶端长有鞭毛，其摆动能使消化腔内形成水流。部分细胞顶端能伸出伪足吞噬食物颗粒，进行细胞内消化。内皮肌细胞具收缩和营养双重功能，也称为消化细胞。其他还有腺细胞、感觉细胞和间细胞。

（3）消化　水螅以小型的甲壳动物（水蚤和剑水蚤等）、昆虫的幼虫、蠕虫和其他一些小动物为食。食物在消化腔中被腺细胞分泌的消化液消化，这种消化方式叫细胞外消化。消化后形成的微小食物颗粒，被内皮肌细胞伸出的伪足裹入细胞内，进行细胞内消化。不能消化的食物残渣仍由口排出体外。

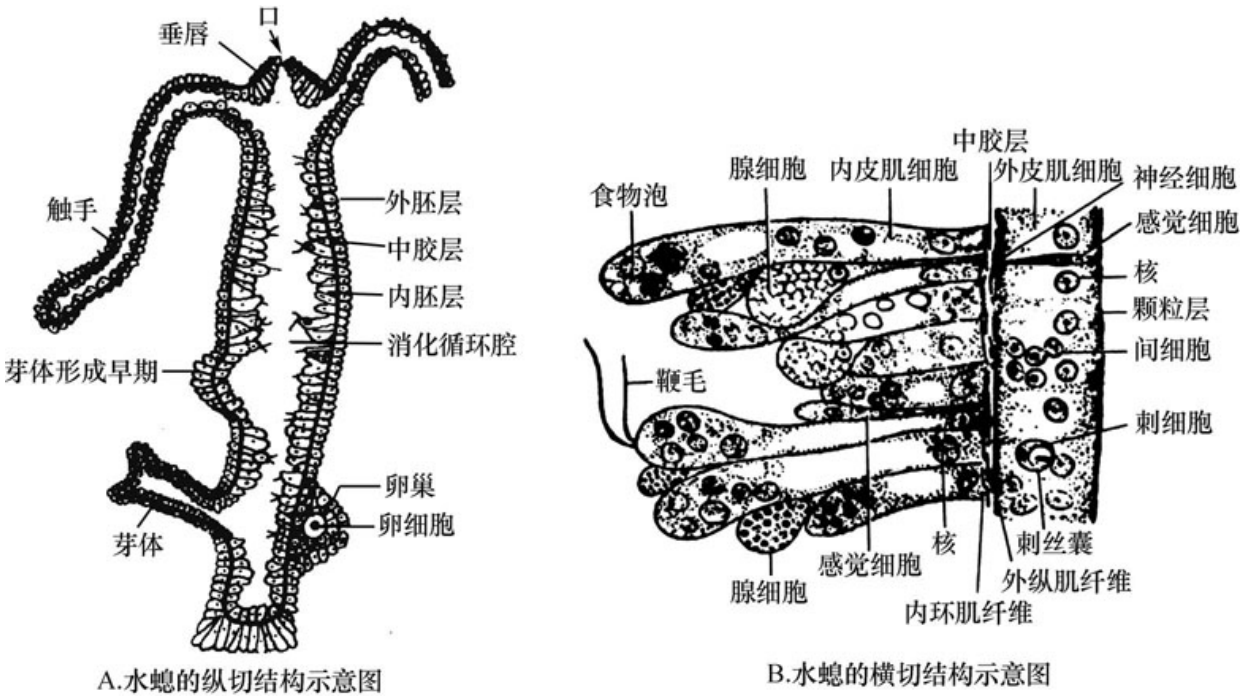


图6-6-2　水螅的纵切和横切结构

（4）呼吸和排泄　水螅无专门的呼吸器官。呼吸作用是直接由体壁上的细胞，通过细胞膜的渗透、扩散作用和周围的水进行气体交换，吸收水中的溶解氧，排出二氧化碳。消化腔里的内胚层细胞与体表的外胚层细胞一样，都能进行呼吸，因为消化腔里的水是不断流动的，也含有溶解的氧。水螅也无专门的排泄器官，新陈代谢的废物由体壁细胞排到身体周围和消化腔的水里。

（5）反射和运动　水螅身体上有由感觉细胞和神经细胞所组成的神经网。它能够感受来自身体外部和内部的刺激，并将刺激迅速向四周扩散到全身，以协调全身，作出相应的反应。主要的反应方式是全身性收缩和移动位置。水螅的运动方式多为借助于触手和身体弯曲而进行的翻跟斗式的运动和尺蠖状运动。

（6）生殖　水螅有无性生殖和有性生殖两种生殖方式。无性生殖表现为出芽生殖。有性生殖是在秋后环境条件不良时发生的。大部分种类的水螅是雌雄异体，少数为雌雄同体。卵巢常长在基盘的附近，精巢则长在触手下不远的地方。精、卵成熟后，结合形成受精卵，受精卵经过分裂形成一个有内、外两个胚层的原肠胚胚胎。胚胎经过一个较长的休眠期，到春末环境转好后，发育长成一个新水螅个体。

五、扁形动物门（三胚层无体腔动物）

（一）主要特征

1．两侧对称　这种体制对进化意义很大，因为通过身体的中央轴，只有一个切面将动物体分成左右相等的两部分。使身体有了明显的背腹、前后、左右之分，这是动物体由水中漂浮转向水底爬行生活的结果。由于在水底爬行运动由不定向变为定向，使神经系统和感觉器官向体前端集中，进而导致动物的身体进一步分化。前端司感觉，后端司排遗，背部司保护，腹部司运动。使动物对外界刺激的反应更灵敏、准确。因此，两侧对称是动物由水生进化到陆生的基本条件之一。

2．中胚层的形成　中胚层产生于内、外胚层之间。一方面减轻了内、外胚层的负担，引起一系列组织、器官、系统的分化，使扁形动物达到了器官系统水平。另一方面加强了新陈代谢。如中胚层形成发达的肌肉组织，强化了动物的运动机能和动物在空间位移的速度，这样动物体在单位时间里所接受的外界刺激量明显增加，致使动物的感觉器官相应得到进一步的发展。捕食效率高，营养状况好，从而促进了消化系统和排泄系统的形成。此外，中胚层形成的实质组织具有储存养料和水分的机能，动物体耐干旱和饥饿。因此中胚层的出现也是动物由水生进化到陆生的基本条件之一。

3．皮肤肌肉囊　由外胚层形成的表皮和中胚层形成的肌肉紧贴在一起，形成包裹全身的体壁，称为皮肤肌肉囊。其内由实质组织充填，体内所有器官都包埋在其中，具保护和运动机能，加上两侧对称，使动物能更快更有效地摄食，利于动物的生存和发展。

4．消化系统　自由生活的种类为不完善消化系统，有口无肛门，肠是由内胚层形成的盲管。营寄生的种类，消化管退化（吸虫纲）或完全消失（绦虫纲）。

5．排泄系统　扁形动物中除无肠目外均具有原肾管，即来源于外胚层的由焰细胞、排泄管和排泄孔等组成的具有排泄功能的管状系统。排泄管具许多分支，每一小分支末端即是焰细胞，其为伸入实质中的盲管状细胞，主要功能是调节体内水分代谢，同时排出一些代谢废物。

6．神经系统　扁形动物已出现原始的中枢神经系统，即梯形神经系统，其由前端的“脑”和由脑向后分出的若干纵神经索，以及纵神经索之间连接的横神经组成。

7．生殖系统　大多数雌雄同体。由于中胚层的出现，形成了产生雌雄性生殖细胞的固定的生殖腺和一定的生殖导管（如输卵管，输精管等），以及一系列附属腺（如前列腺，卵黄腺等）。这些管和腺使

在中胚层产生的生殖细胞可以通到体外，同时也出现了交配和体内受精现象，这也是动物由水生到陆生的基本条件之

8．生活方式　扁形动物中一类营自由生活（涡虫纲），可在水中、潮湿的土壤中游泳或爬行，捕捉小动物为食；另一类营寄生生活（吸虫纲，绦虫纲），寄生在其他动物的体表或体内，摄取该动物的营养（又可分外寄生和内寄生），且生活史复杂，并有更换宿主的现象。

（二）扁形动物的分类及代表动物

扁形动物可分为下面3个纲。

1．涡虫纲　体不分节，体表有纤毛，上皮细胞内有杆状体，营自由生活，具不完全消化系统。纤毛和皮肤肌肉囊强化了运动机能；杆状体有利于捕食和防御；感官和神经系统发达，对外界环境变化反应迅速。本纲的重要代表——三角真涡虫（如图6-6-3所示）。

生境与外形：三角真涡虫生活在清澈溪流中的石块或其他物体下面，喜欢弱光。身体扁平而细长、柔软。背面稍隆起，腹面密生纤毛。身体前端呈三角形，前端的背面有两个黑色的眼点，两侧各有一个耳状的突起，叫做耳突。口位于腹面近三分之一的腹中线上。咽部常从口中伸出呈一长吻状。

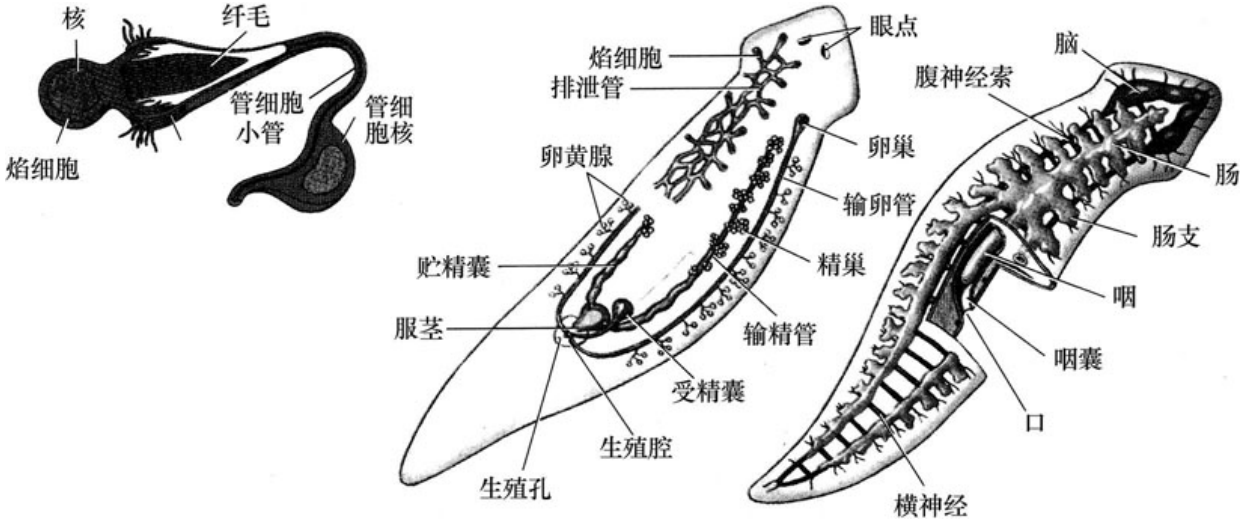


图6-6-3　涡虫内部器官模式图

体壁：涡虫的体壁又叫皮肤肌肉囊，它有保护和运动的功能。皮肌囊在结构上包括外胚层起源的单层表皮、基膜和中胚层起源的肌肉。涡虫利用肌肉的收缩和腹面表皮细胞上纤毛的划动，能够做游泳状的爬行运动。涡虫无体腔，各种器官都埋藏在间质里。

消化：消化系统由口、咽和肠道组成。肌肉质的咽可以从口中伸出或翻出来成长吻状，肠道分成3条大支，涡虫没有肛门。涡虫可以长期耐受饥饿，原因是它能够吸收自己体内的间质细胞和各种器官作为营养。

呼吸和排泄：涡虫没有专门的呼吸器官，靠体表的体壁细胞直接跟外界进行气体交换来呼吸的。排泄和渗透压的调节是依靠原肾管系统，原肾管是由焰细胞、排泄管和排泄孔组成的。焰细胞是盲管状的，顶端有一束纤毛，依靠纤毛的摆动，周围间质中的代谢废物和水分流入排泄管，再经虫体背面体表的许多排泄孔排出体外。

神经和感觉：涡虫的神经系统是梯状神经系统，前端是一对脑神经节，由脑神经节向后伸出两条粗大的腹神经索，每条腹神经索分出许多分支伸向全身，在两条腹神经索之间有横向神经分支相互连接。感觉器官主要有眼点和耳突。眼点结构比较简单，由杯状的色素细胞层和视觉细胞构成，因为没有晶体结构，所以眼点不能形成物像，只能感受光线的强弱。耳突上富有感觉细胞，能感觉味觉和嗅觉。触觉主要是表皮层里的感受细胞感受。

生殖：涡虫有无性生殖和有性生殖两种生殖方式。无性生殖是横分裂。有性生殖比较复杂，属于雌雄同体，异体受精。

再生：再生就是生物体的一部分被截除或破坏后，再重新生成的现象。涡虫的再生能力很强，即使把一条涡虫切成几段，每一段都能长成完整的小涡虫。再生可以分成两种类型：一种叫生理再生，指生物体在正常生命活动过程中所发生的再生，例如人体皮肤表层的脱落及其重新生成；另一类叫补偿再生，指的是因损伤而引起的再生。如上述的涡虫的再生就是属于后一种。

2．吸虫纲　体不分节，体表无纤毛，消化道简单，具吸盘，营寄生生活，运动机能退化，无一般的上皮细胞，有具小刺的皮层，神经感官退化，有吸附器，可固着于寄生组织上。日本血吸虫就是本纲的重要代表种类。

日本血吸虫，可引起血吸虫病，该病在热带与亚热带地区流行很广，其成虫寄生在人和其他哺乳动物的门静脉及肠系膜静脉内，患者肝、脾肿大，腹水，成人丧失劳动力，儿童发育不正常，可引起侏儒症，妇女不能生育，甚至丧失生命。

日本血吸虫成虫雌雄异体，常合抱在一起，雄虫粗短，乳白色，体表光滑，口吸盘和腹吸盘各一个，腹吸盘后虫体两侧向腹侧内褶成抱雌沟。雌虫较细长，暗黑色，前端细小，后端粗圆。虫卵椭圆形，淡黄色，其一侧有一小刺，排出的虫卵已发育到毛蚴阶段。交配在肠

系膜的小静脉管内进行，雌虫产卵后，虫卵顺血流进入肝内或肠壁，成熟后其毛蚴分泌酶溶解肠黏膜，使虫卵进入肠腔，与粪便一起排出体外，入水后毛蚴孵出，钻进钉螺体内发育，经母胞蚴和子胞蚴而发育为尾部分叉的尾蚴。尾蚴入水中游泳，当接触人、畜皮肤或黏膜时，借其头腺分泌物的溶解作用和本身机械作用侵入皮肤，脱去尾部发育为童虫。童虫侵入毛细血管或毛细淋巴管，随血液循环达门静脉，发育为成虫。未达门静脉系统的一般不能发育为成虫。

3．绦虫纲　体分节片，无纤毛和杆状体，体内寄生，雌雄同体，带状，由许多节片组成。生殖器官高度发达。每一成熟节片均有两性生殖器官，消化道消失，渗透营养，具有很强的抗宿主消化酶消化能力，本纲重要代表为猪带绦虫。

猪带绦虫一生均可寄生于人体，分布很广，成虫白色带状，全长2～4m，有700～1000个节片。分为头节、颈部和节片3部分。头节圆球形，前端中央为顶突，顶突上有25～50个小沟，分内外两轮排列。顶突下有4个圆形的吸盘。这些都是适应寄生生活的附着器官。颈部细与头节无明显界限，下部为生长区，以横裂法产生节片。节片愈靠近颈部愈小，反之愈宽大老熟。依节片内生殖器官的成熟情况可分为未成熟节片、成熟节片和孕卵节片3种。未成熟节片宽大于长，内部结构尚未发育；成熟节片近于方形，内有雌雄生殖器官，每节有精巢150～200个，卵巢一个；孕卵节片长方形被子宫充塞，其他器官萎缩，甚至消失。营养物质靠体表吸收宿主肠内营养，并转化为糖储于实质中，排泄器官属原肾管型。

猪带绦虫生活史复杂，人是其唯一终宿主，中间宿主为猪或人。成虫寄生于人的小肠内，以头节的小沟和吸盘附着于肠黏膜上。虫体末端节片逐节或逐段脱落，节片内的虫卵随节片的破坏散落于粪便中，虫卵在外可活数周，当孕卵节片或虫卵被中间宿主（猪）吞食后，在其小肠内膜被消化液溶解，六钩蚴孵出后以其小钩钻入肠壁，经血流或淋巴带至全身各部，在肌肉中经60～70天发育为囊尾蚴。其为卵圆形，乳白色，半透明的囊泡，头节凹陷在泡内，内有小沟及吸盘。这种具囊尾蚴的肉俗称“米粒肉”或“豆肉”。如被人误食，囊尾蚴又未被杀死，可在十二指肠内将头节翻出，借小沟及吸盘附着于肠壁，经2～3个月后发育为成虫，成虫寿命可达25年以上。

猪带绦虫病可引起患者消化不良，腹痛、腹泻、失眠、乏力、头痛，儿童影响发育，若侵入脑部，可引起癫痫，阵发性昏迷或循环呼吸紊乱。加强猪的饲养管理，不吃未煮熟的猪肉，避免粪便污染等，是杜绝此病的关键。

六、原腔动物（具有假体腔的动物）

（一）主要特征

原腔动物又称假体腔动物，是几类动物的总称，包括线虫动物门、线形动物门、轮虫动物门等7个门类。尽管各门之间在形态结构上差异较大，但有许多共同的特征。

1．多数种类无明显的头部，两侧对称，身体不分节。

2．体表具有角质膜和环纹（假分节），寄生种类的角质膜特别发达，以抵抗寄主消化酶的消化作用。

3．角质膜之下的表皮层为一层合胞体，细胞之间的界限不清，但通常细胞或细胞核的数目恒定。

4．体壁与消化管之间出现了原体腔，这种体腔无体腔膜包围，不属于真正的体腔，它相当于胚胎发育时期的囊胚腔，故称假体腔。又由于它在动物演化过程中出现的最早，又称初生体腔。原体腔的出现较扁形动物中胚层产生的实质有明显的进步意义，它为体内各器官系统的发展和活动提供了空间，提高了营养物质的运转、维持体内水分平衡和新陈代谢的能力。此外，腔内充满的体腔液，可对体壁肌肉产生一定的反压，以维持虫体的形状，辅助动物身体的运动。

5．出现了发育完整的消化系统。身体前端有口，后端分化出了肛门。寄生种类由于适应寄生生活，消化管变得简单，呈一条直管，如蛔虫。自由生活的种类消化管较发达，咽囊内分化出了咀嚼器，如轮虫。

6．排泄系统均为外胚层演化而来的原肾管型。寄生种类的原肾细胞退化为无纤毛的单一管型或腺型。

7．原腔动物无循环系统和专门的呼吸器官，寄生种类营厌氧呼吸，自由生活的种类靠体表呼吸。

（二）分类

原腔动物的种类比较庞杂，已记载的原腔动物约有18000种。由于它们的形态、结构差异较大，亲缘关系也不很密切，目前动物学家把它们设立为7个门，即线形动物门、线虫动物门、轮虫动物门、腹毛动物门、动吻动物门、棘头动物门和内肛动物门。其中与人类关系密切和经济意义较大的类群是线虫动物门和轮虫动物门。

1．轮虫动物门：轮虫的种类约有1500多种，它们多数生活于淡水中，以单细胞的水生动、植物及有机碎屑为食。轮虫身体分为头、躯干和足（尾）三部分。头部具一轮盘，也称头冠。轮盘上有1～2圈纤毛，纤毛有节奏地摆动，有助于游泳和摄食。躯干部具角质的皮壳，又称为兜甲，其下为合胞体的表皮层，表皮层下为成束的肌肉。足的

末端有趾，内有黏液腺或称足腺，能分泌黏性物质，借以附着在其他物体上。

2．线虫动物门：线虫动物门是原腔动物中种类最多的一类动物，已记录的约有15000种。它们分布广泛，种群数量很多，生活方式多样。自由生活的种类广布于海洋、淡水及土壤中，还有许多种类寄生于动、植物体内。它们的主要特征表现在：

（1）绝大多数线虫的身体呈细长的圆柱形。

（2）线虫的体壁具有发达的角质层。角质层下为合胞体的表皮层。肌肉层仅有较厚的纵肌层，而无环肌层。因此，线虫类只能摆动，不能伸缩运动。

（3）消化道分为前肠、中肠和后肠。前肠和后肠是由外胚层内陷形成的，内壁具角质层中肠由来源于内胚层的一层细胞构成。线虫的消化道和假体腔构成了“管中套管”的排列方式。

（4）自由生活的种类靠体表进行呼吸，寄生的种类进行厌氧呼吸。

（5）线虫的排泄系统完全没有纤毛，有两种类型：一种是腺型，一种是管型。通常是由一个原肾细胞演变而来的。因此，均属于原肾型。

（6）线虫的神经系统是圆筒状神经系统，所有神经都嵌在表皮中。感觉器官不发达。

（7）绝大多数的线虫雌雄异体，进行两性生殖，少数种类进行孤雌生殖。生殖腺管状，螺旋型卵裂，直接或间接发育，幼虫有蜕皮现象。

（三）线虫动物门的代表——人蛔虫

外形：身体呈细长的圆筒形，两头略尖，乳白色或淡粉红色。雌雄异体。雄虫短而细，身体后端向腹侧面多曲状弯起；雌虫长而粗，后端伸直不弯曲。

体壁和体腔：体壁由角质膜、表皮层和肌肉层所组成（如图6-6-4所示）。蛔虫的体壁和消化管道之间的空腔是它的原体腔，里面充满了体腔液，能输送营养物质，又使虫体内部维持一定的压力，使身体有一定的形状。

消化：蛔虫寄生在人体小肠内，以人体肠内半消化的食物为食，所以它的消化系统结构很简单，由口、咽、肠、肛门组成，也没有特殊的消化腺。

呼吸和排泄：蛔虫没有专门的呼吸器官，长期适应在小肠等氧气较少的环境中营寄生生活，进行厌氧呼吸。蛔虫的排泄系统属于原肾

型。

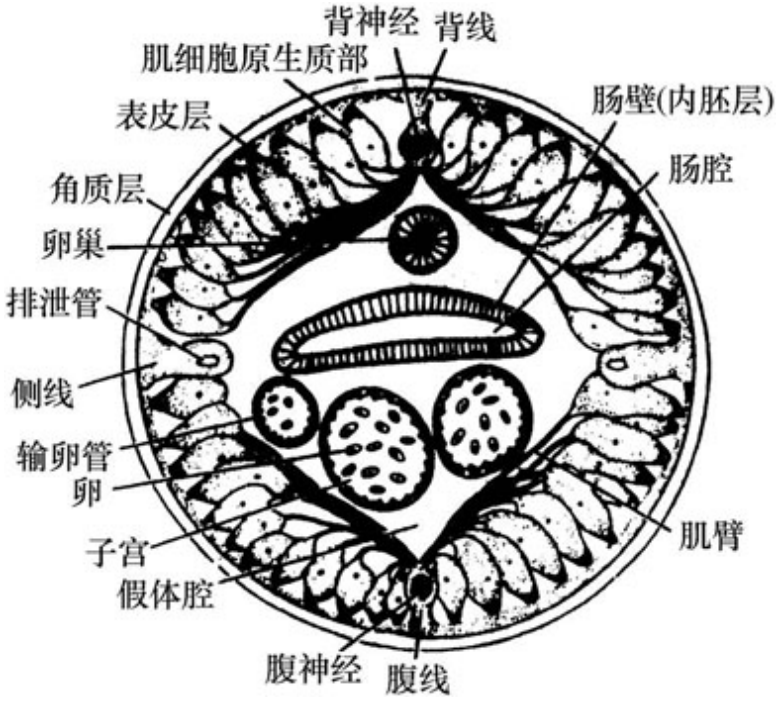


图6-6-4　蛔虫的横切面

神经和感觉：蛔虫的咽头周围有一个围咽神经环，从它向前后发出六条纵向神经，六条神经之间都有横向的神经相连合，使整个神经系统呈圆筒状。蛔虫前端三个唇片上的乳突和雄虫泄殖腔孔前后的生殖孔突，都是感觉器官，有一定的感觉作用。

生殖系统：蛔虫的生殖系统为长管型。雌性生殖系统为双管型，由卵巢、输卵管、子宫、阴道、生殖孔组成。雄性生殖系统为单管型，由精巢、输精管、储精囊和射精管组成。

几种重要的寄生线虫见表6-6-2。

表6-6-2　几种重要的寄生线虫

	感染虫态	传播途径	寄生部位	病症
蛔虫	胚胎卵	经口感染	小肠	营养不良、发育不良
蛲虫	受精卵	经口感染	大肠	贫血、消瘦、肛门瘙痒
钩虫	感染蚴	经皮肤感染	小肠	严重贫血、异嗜症
血丝虫	感染蚴	接触感染	淋巴系统	乳糜尿、象皮肿

七、环节动物门（分节的真体腔原口动物）

（一）主要特征

1．身体分节　环节动物最突出的特征之一，是身体由前向后分成许多相似而又重复排列的部分，称为体节，这种现象称为分节现象，它是在胚胎发育过程中，由中胚层发育而成的。因此，分节不单表现在体表，而且内部器官（如循环、排泄、生殖、神经等）也按体节排列。环节动物分节的特点，是进化到高等无脊椎动物的标志。但环节动物的分节，除前二节和最后一节外，其余体节基本相同，故称同律分节，还是一种比较原始的分节现象。分节现象对加强身体同环境的适应、强化运动机制以及增强新陈代谢等有着重大的意义。至于分节现象的起源问题，一般认为可能来源于低等蠕虫（如涡虫、纽虫）的假分节现象。

2．真体腔的发生　真体腔的出现在动物进化上具有重大的意义。环节动物在胚胎发育过程中，原肠后期中胚层细胞最先形成两条中胚层带，突入囊胚腔，后来每一条中胚层带中央裂开成体腔囊，并逐渐扩大，最终其内侧与内胚层结合形成肠壁（即消化管壁），其外侧与外胚层结合，形成体壁。中央的腔则为体腔，是由中胚层所形成的体腔膜所包围的，由于这种体腔是由中胚层带裂开形成的，所以称为裂体腔，或者称为真体腔。又因在发生上，比原体腔来得迟，故又称次生体腔。环节动物的体腔，由隔膜分割为若干和体节相一致的小室，彼此经孔道相通，各小室经排泄孔与体外相通。体腔内除有循环、排泄、生殖、神经等内脏器官外，还充满了体腔液。体腔液与循环系统共同完成体内运输的机能。

3．闭管式循环系统　在动物界发展过程中，纽形动物开始出现了循环系统，但却十分简单和原始，血的流动主要依赖身体的运动，而无一定的方向。环节动物则出现了完善的循环系统，且多数种类为闭管式循环。即血液从心脏流出，从一条血管流入另一条血管，中间由微血管网连接，血液始终不离开血管进入组织间隙。但是也有的种类为开管式循环（如蛭类）。环节动物主要靠血管壁的收缩和扩张，有规律地搏动来推动血流循环。

环节动物闭管式循环系统的形成，与真体腔的产生有密切关系。胚胎发生时，由于真体腔扩大，原体腔（即囊胚腔）被排挤而成为背、腹血管的内腔和血管弧或称“心脏”。

环节动物的血浆中具血色素，有携带氧的功能。但血细胞不含血色素，此点与脊椎动物不同。

在蛭类中，真体腔被中胚层形成的葡萄状组织所填充，因而体腔相应缩小，变成无肌肉壁的血窦，血管消失。这与其他环节动物截然

不同。

4．排泄系统　环节动物具有按体节排列的后肾管，它起源于中胚层。在较原始的种类中，仍保留着原肾管，但是焰细胞已被有管细胞所代替。典型的后肾管是一条两端开口迂回盘曲的管子，一端为开口于前一节体腔的多细胞纤毛漏斗，叫肾口；另一端为开口于该体节腹面外侧的体壁，叫排泄孔（或肾孔）。后肾管具有排泄代谢废物及平衡体内渗透压的功能，有的还是生殖细胞排出的通道。

5．神经系统　环节动物的神经系统比低等蠕虫的梯形神经系统更为发达而集中，发展成链状神经系统。

此外，环节动物由于适应不同的生活环境，海生种类（如沙蚕）出现了疣足和刚毛，司运动和呼吸；陆生寡毛类，疣足退化，刚毛着生于体壁，为运动器官。在发生上，多数为直接发育。但有些海生种类具担轮幼虫期。

（二）分类

目前已知的环节动物约30000种，分布于海水、淡水、陆地等多种环境中，少数营寄生生活，根据运动器官的特征，把环节动物分成3个纲：

1．多毛纲。几乎全是海产，以疣足和着生在上面的刚毛为主要运动器官，常见的动物如沙蚕。

2．寡毛纲。大部分是陆生种类，主要是各种蚯蚓，仅少部分生活在淡水中，以着生在体壁上的刚毛为运动器官。我国常见的种类如环毛蚓。

3．蛭纲。大多数生活在淡水中，少数生活在海水中和陆地上，在温湿地区比较多见。大部分行暂时性的外寄生并以吸取宿主的血液和体液为营养。常见的是水蛭。

（三）代表动物——环毛蚓

1．外部形态：环毛蚓身体圆而细长，整个身体除前端第一节和最后的一、二节外，每个体节都有一圈刚毛。身体前面部分一般比后面部分肥大。身体前面部分的肉质突起叫口前叶，有掘土、感受触觉和帮助摄食的功能，口前叶的下方是口腔。成熟的环毛蚓的体表上，可看到几个与生殖有关的结构：在6/7、7/8、8/9有三对受精囊孔；在第14～16体节，形成环带；在第14节中央，有一个雌性生殖孔；在第18节的两侧，有一对雄性生殖孔。另外，从11和12节间沟起一直到身体后端（除性成熟时环带外），沿背中线位置都有背孔。蚯蚓能从背孔流出体腔液，以滋润身体表面。

2．内部结构

体壁和体腔：体壁包括五部分，最外层是角质层，向内是表皮层、环肌层、纵肌层和体腔膜（如图6-6-5所示）。

体腔是体壁和肠壁之间的一个大的空隙，是容有生殖器官、排泄器官、血管和神经索等结构并充满体腔液的空腔。体腔把蚯蚓的消化道和体壁彼此分隔开来，在任何情况下，消化道肌肉的活动都不受身体活动的影响。内脏器官浸润在体腔液中，各器官的联系得到加强，体腔液实际上起了物质交换、排泄等作用。

消化：蚯蚓的消化系统包括口腔、咽、食道、砂囊、胃、肠和肛门等。砂囊是肌肉质的，能研磨食物。咽、胃、肠有分泌和消化功能（图6-6-6）。

循环：环毛蚓有高度发达的闭管式循环系统。它包括四个收缩性的心脏及一些血管，如背血管、腹血管、神经下血管以及各种分支血管和毛细血管。血液循环对营养物质的供应、废物的收集和运输、养分的交换和呼吸作用有直接关系。

神经和感觉：环节动物的神经系统呈链状，由一对咽上神经节通过围咽神经与咽下神经节相连，咽下神经节连着一条腹神经索。腹神经索上有许多神经节，每个神经节都发出神经伸入到体壁和各器官。由于穴居生活，感觉器官不发达。它主要是通过体壁上的某些感觉细胞来感受刺激。

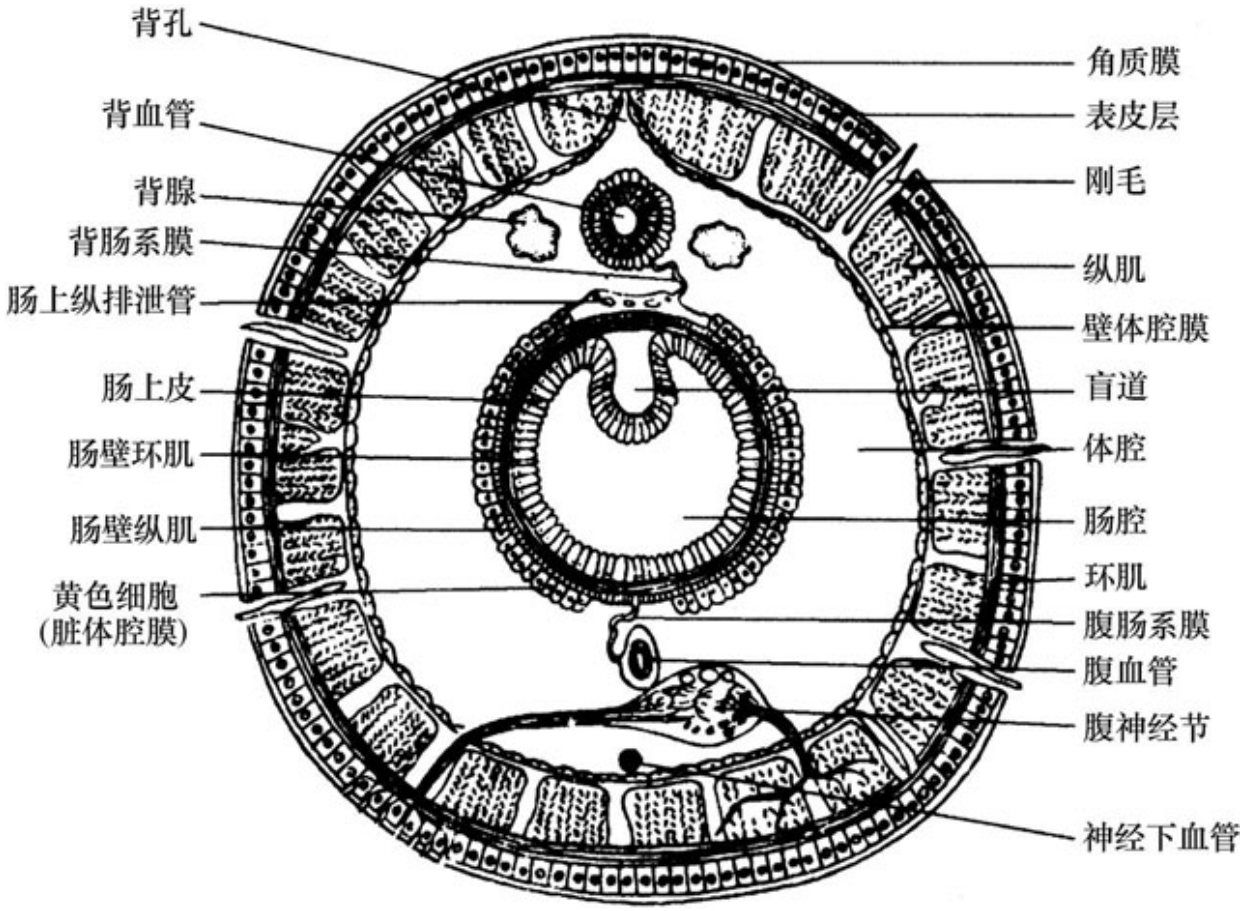


图6-6-5　环毛蚓体中部横切

排泄：环毛蚓排泄系统的基本单位是小肾管。小肾管几乎纵横于全身，根据所处的位置，可分为体壁小肾管、咽头小肾管、隔膜小肾管。这些小肾管都起源于中胚层细胞，它们的特征是两端开口（开口于体腔的为肾口，另一端为肾孔），这样的肾管叫后肾管。

生殖：环毛蚓是雌雄同体的动物，要通过异体受精来繁殖后代。

八、软体动物门（真体腔不分节的动物）

（一）软体动物门的主要特征

身体柔软不分节或假分节，通常由头、足、内脏团、外套膜和贝壳等几部分构成；除瓣鳃纲外，口腔内有颚片、齿舌；神经系统包括神经节、神经索和围绕食管的神经环；体腔退化为围心腔等；多间接发育，发育经担轮幼虫期和面盘幼虫期。

1．有贝壳和外套膜　贝壳是一种保护器官，它的主要成分是碳酸钙，还有少量的壳质素和其他的有机物。外套膜是软体动物身体背侧皮肤褶襞向下伸展而形成的特殊膜性结构，它通常向下包裹整个内脏

团和足部。外套膜是重要的功能器官，表皮层的分泌物形成贝壳；另外还跟许多重要的生理活动相联系。

2．躯体可分成头、足和内脏团三个部分　头部在身体前端，有口、触角和眼等器官。足部在身体腹面，一般处于内脏团之下，是富有肌肉的结构。内脏团一般在足背部，是心脏等各种内部器官所在的地方。

3．真体腔极度退化　结果只残留围心腔、生殖腔和排泄器官的内腔。因为真体腔不发达，使组织之间流动的血液不受血管壁包围，而处于组织间的不规则空隙中，这样的组织间的空隙叫做血窦。血窦的形成，使软体动物血液循环途径变为：心脏→动脉→血窦→静脉→心脏。可见，血窦也参与到循环系统之中，这就产生了开管式循环。

4．生殖和发育　雌雄同体，不均等螺旋卵裂。个体发育有担轮幼虫和面盘幼虫两期幼虫。淡水蚌类有特殊的钩介幼虫。

5．出现专职的呼吸器官鳃　水生种类用鳃呼吸，鳃为外套腔内面的上皮伸展形成。

（二）分类

按体制是否对称、贝壳、鳃、运动器官等特征，把软体动物分成7个纲。

1．无板纲　是软体动物中的原始类型，似蠕虫，没有贝壳。全部为海产，如龙女簪。

2．多板纲　左右对称，有 8 块板状的贝壳。海产，大多数种类生活在潮间带和水线下数米的深度，如石鳖。

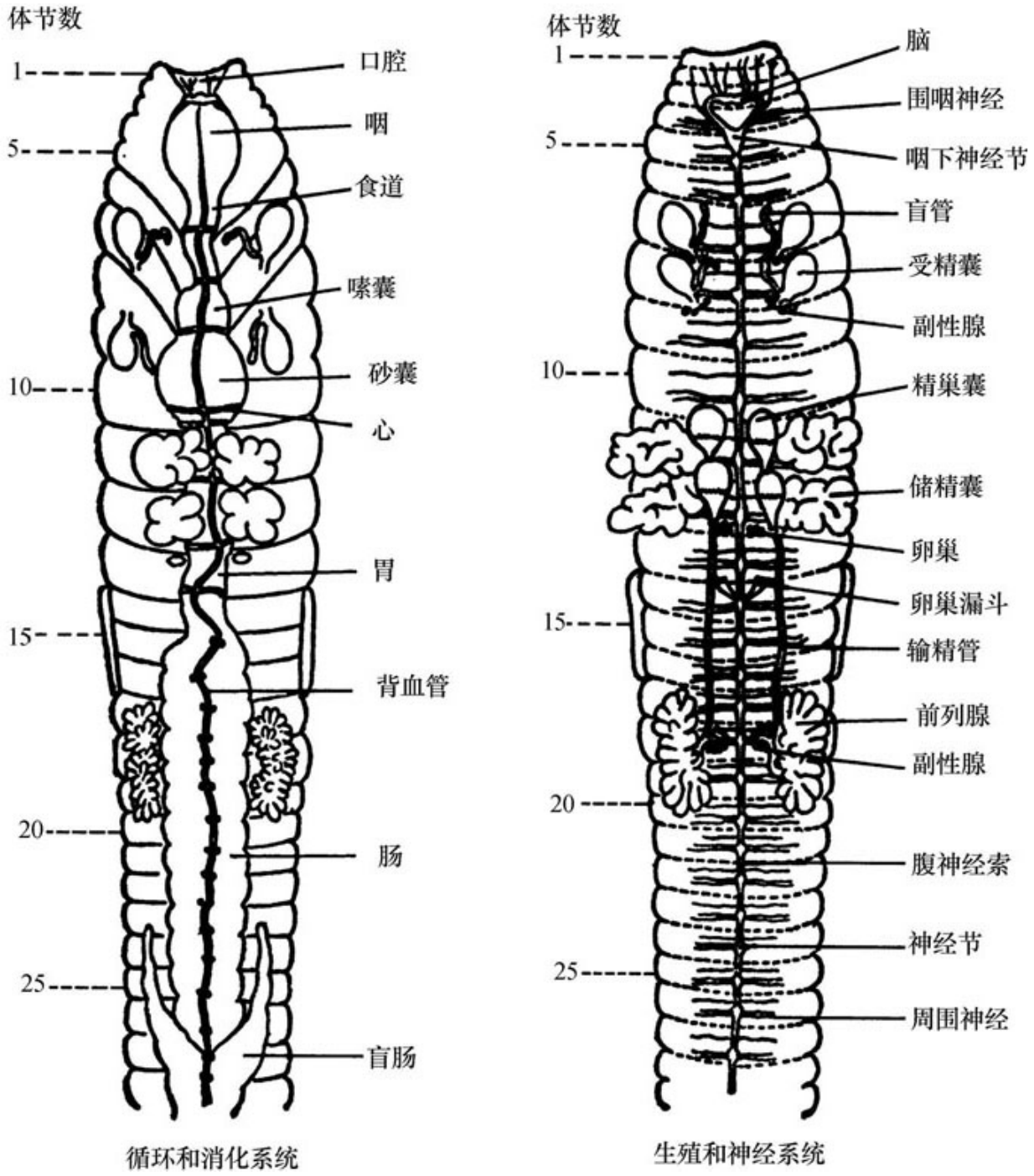


图6-6-6　蚯蚓内部结构

3．单板纲　有一个帽状的贝壳，并且某些器官有较明显的分节现象。以前只发现这类动物的化石种，后来在深海相继发现了8个现在生活的种，取名叫“新蝶贝”。

4．瓣鳃纲　鳃一般呈瓣状，有两个贝壳，且头部退化，又叫双壳类或无头类。常见的如河蚌。

5．掘足纲　这类动物有一个两端开口且呈角状的贝壳，足圆柱形，在海底生活，常见的如角贝。

6．腹足纲　这类动物常有一个螺旋形的贝壳，内脏团在发生中经过扭曲造成了左右不对称。足部发达，呈块状，如蜗牛。

7．头足纲　大部分的种类外壳退化，有内壳，头部和足部都很发达，足部特化形成腕，全部为海产，常见的如乌贼。

（三）代表性的软体动物——河蚌

1．生活环境与外部形态　河蚌属于软体动物瓣鳃纲，为淡水底栖的种类。体型侧扁，外包左右两瓣相同的贝壳。贝壳间以韧带连合在一起；壳的前端钝圆，后端较尖；壳背面稍前方有一突出的小区，叫壳顶，是贝壳最初形成的部分；壳的表面有许多以壳顶为中心的环形的生长线，能反映河蚌生长的年龄。在贝壳的内部是柔软的身体，它包括外套膜、鳃、足和内脏团等部分。

2．外套膜　外套膜由内、外表皮细胞和中间的结缔组织及少数肌纤维组成。在自然条件下，当沙粒或小虫等异物侵入外套膜与贝壳之间时，刺激该外套膜，上皮组织增生，并陷入结缔组织内形成包围异物的珍珠囊，分泌的珍珠质沉积在异物上，成为自然珍珠。

3．消化系统　消化系统由口、唇瓣、食道、胃、肠、肛门和消化腺等组成。肠壁无肌肉，不能蠕动。肠道无消化腺，只能吸收已消化的营养物质。河蚌不能主动捕食，依靠水流带入微小的有机颗粒、小形动物和藻类为食物（图6-6-7）。

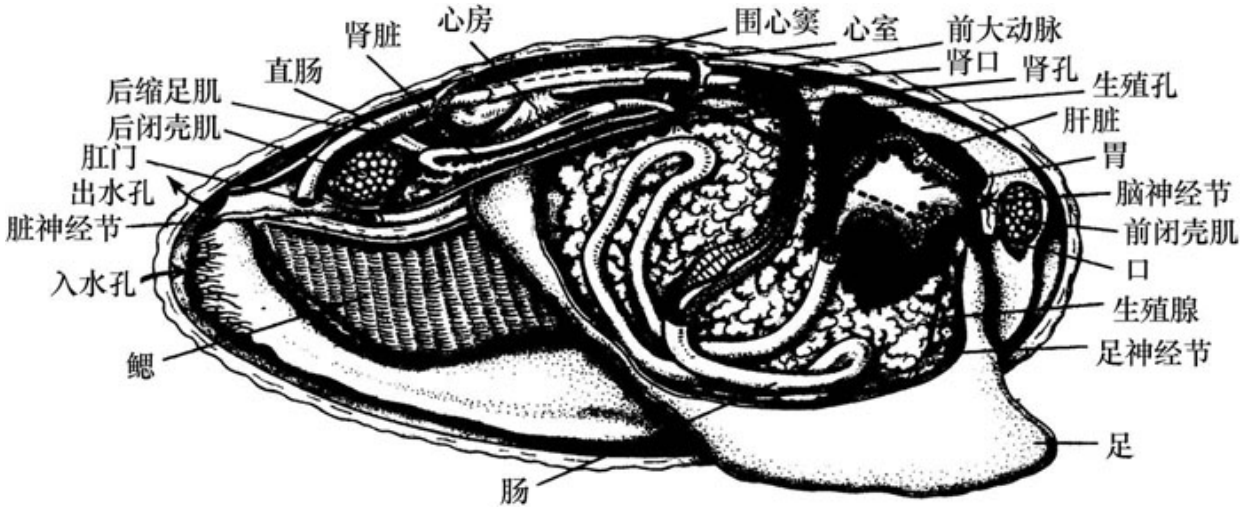


图6-6-7　河蚌内部结构

4．呼吸系统　河蚌以瓣鳃为呼吸器官。瓣鳃是河蚌对底埋生活的适应结果，其功能是滤食和呼吸。瓣鳃由内鳃和外鳃组成。每片鳃由

两片鳃小瓣构成，鳃小瓣由鳃丝和丝间隔构成。

5．循环系统　河蚌为开管式循环系统，由心脏、血管和血窦组成。心脏：位于围心腔内，具一心室，二心房。

6．排泄系统　由两部分组成：（1）肾脏，位于围心腔的两侧，分腺体部和管状部。腺体部（肾体）：为海绵状厚壁组织，黑褐色，以有纤毛的肾口与围心腔相通。肾通过肾口接受围心腔里的排泄物，也能接受从流经肾体的血液中渗出的排泄废物，进入膀胱部。管状部（膀胱）：为薄壁的管状物，位于肾脏背面，管腔内有纤毛，膀胱以肾孔开口于鳃上腔。（2）围心腺（凯伯尔氏腺），位于围心腔前端，为赤褐色分支状腺体。围心腺内有丰富的毛细血管，排泄物从血管中渗出，聚集在围心腔内，再经肾脏排出体外。

7．神经系统　为分散中心式神经系统。由腹神经节、足神经节和脏神经节三对神经节组成，神经节之间由神经相连。

8．繁殖和发育　河蚌进行有性生殖，受精卵在外鳃的鳃水管内发育为钩介幼虫。性成熟雌体的外鳃在生殖季节肥大发达称为育儿囊。钩介幼虫用其倒钩及足丝附着在经过的鱼体上，幼虫钻入鱼体皮肤或鳃内，作临时性的寄生，其寄生部位分泌黏液将它包围，幼虫在里面寄生，发育为幼蚌。

九、节肢动物门（身体分节有附肢的原口动物）

（一）主要特征

1．身体分部，附肢分节。节肢动物的身体像环节动物一样由许多体节组成，但环节动物基本为同律分节，而节肢动物的身体分节已发展到异律分节。节肢动物的身体分化为头、胸、腹三部分。身体各部分的功能也出现了相应的分化。头部主要功能是感觉和摄食，胸部为运动的中心，腹部主要司生殖及代谢。附肢分节是节肢动物的又一个关键性的进化特征，它增强了身体运动的灵活性，扩大了运动和分布的范围。

2．具有几丁质的外骨骼。外骨骼可分为内表皮、外表皮、上表皮三层，具有支持和保护的功能，并且参与节肢动物的运动。由于外骨骼不能随身体的长大而生长，所以节肢动物在个体发育中会出现蜕皮现象。蜕皮受多种激素控制，如昆虫的胸腺能分泌蜕皮素促进蜕皮，昆虫的咽侧腺能分泌保幼激素抑制蜕皮。蜕皮主要发生在幼虫期，两次蜕皮之间的生长期称为龄期。

3．具有横纹肌。节肢动物的肌肉与体壁之间不形成连续的肌肉层，而是发展为分离的肌肉束，两端着生在外骨骼上。在节肢动物以

前的动物肌肉都是平滑肌，从节肢动物开始形成横纹肌，肌原纤维多，伸缩力强，从而获得高度发达的运动机能。

4．呼吸系统多样性。节肢动物呼吸器官形式多样，随着不同的生态类群而有一系列变化：（1）体壁：低等的小型甲壳动物，如水蚤。（2）鳃：水生甲壳动物在足的基部由体壁向外突起薄膜状的结构，充满毛细血管。如虾、蟹等。（3）书鳃：由足基部体壁向外突起折叠成书页状，有血管分布，为水生种类鲎的呼吸器官。（4）书肺：由体壁向内凹陷折叠成书页状，为陆生的节肢动物蜘蛛、蝎的呼吸器官。（5）气管：由体壁内陷形成分支的管状结构，为陆生节肢动物昆虫、蜈蚣等的呼吸器官。气管上无毛细血管分布，可直接将O_2输送到组织细胞，同时组织细胞产生的CO_2也直接进入气管，经气门排出体外，因此气管是动物界高效的呼吸器官。

5．具混合体腔和开管式循环系统。节肢动物的体腔在发育早期也形成中胚层的体腔囊，但在继续发育的过程中，不扩展为广阔的真体腔，而是退化为生殖管腔、排泄管腔和围心腔。在以后的发育过程中，围心腔壁消失，使体壁和消化道之间的初生体腔与围心腔的次生体腔相混合，形成混合体腔，其中充满血液，这种空腔称为血窦。血液循环为开管式循环，血液经心脏→动脉→血腔→心孔→心脏，心脏能自主搏动，血流有一定方向，血液只起运输养料的作用。开管式循环是节肢动物生存的适应性之一，由于血压低，血流慢，因此可避免因附肢折断而引起大量失血。

6．具两种类型的排泄器官。（1）与后肾管同源的腺体：由后肾管演变而来，如甲壳纲的触角腺；蛛形纲的基节腺。（2）马氏管型：昆虫（外胚层来源）、蜘蛛（中胚层来源）等以马氏管为排泄器官。马氏管是由消化道中、后肠交界处的肠壁向外突起形成的管状结构。它直接浸浴在血液中，能吸收大量尿酸等含氮废物，送入后肠后，经肛门排出体外。

7．神经系统发达。神经节愈合，脑分为前、中、后脑三部分，由三对神经节愈合形成。咽下神经节也由三对神经节愈合形成。

（二）节肢动物门分类

节肢动物是动物界最大的类群。现存的节肢动物主要包括肢口纲、昆虫纲、甲壳纲、蛛形纲和多足纲等类别。

1．肢口纲　身体分为头胸部和腹部，两者之间有关节。尾部末节延长为尾剑。头胸部无触角，具盾甲，其背面有单眼、复眼各一对。头胸部有6对附肢，其中一对螯肢，另有5对步足。足围口而生。以书鳃为呼吸器官。常见种类有鲎等。

2．甲壳纲　身体通常分为头胸部和腹部两部分，附肢基本上为双肢型。它们多以附肢或体壁外突形成的鳃为呼吸器官。小型种类通过体表呼吸，低等甲壳类以颚腺为排泄器官，高等种类幼虫期以颚腺排泄，成虫以触角腺排泄。两种腺体均由体腔形成。发育为间接发育，卵孵化为无节幼虫，经多次蜕皮，增加体节数。这个纲常见种类有虾、蟹和水蚤等。

3．蛛形纲　身体一般分为头胸部和腹部两部分或各部分愈合。头胸部有附肢6对，依次为螯肢、须肢和4对步足，腹部附肢退化。由于适应陆地生活，以书肺或气管呼吸。蛛形纲动物的排泄器官为基节腺或马氏管，马氏管为内胚层来源的盲管，位于中、后肠交界处，游离于体腔中，收集代谢产物排入后肠。蛛形纲重要的种类有大腹圆蛛、红蜘蛛、钳蝎、疥螨等。

4．多足纲　多足纲的动物都是陆栖的节肢动物。身体分头部和躯干部。躯干部不分胸和腹部，但体节十分明显。每节有足一对或两对。身体与足间有关节。头部只有一对触角，单眼若干对。 口器由一对大颚，一对或两对小颚组成。这一纲的动物分布广，种类不很多，发育无变态。常见的有蜈蚣、马陆、蚰蜒等。

5．昆虫纲　昆虫纲是动物界第一大纲，其主要特征是身体分为头、胸和腹三部分，胸部具有三对足，大部分种类具2对翅。

（三）昆虫纲分类的主要依据

昆虫种类繁多，主要以触角、口器、足、翅和变态等为依据。

1．触角　是昆虫的感觉器官，有嗅觉和触觉作用。昆虫的触角是分节的，由三节组成，基部的是柄节，中间是梗节，其余的称鞭节（如图6-6-8所示）。



图6-6-8　触角的结构

鞭节大多变化成各种不同的形状，是昆虫分类的重要依据之一。触角主要有丝状（如蝗虫）、刚毛状（如蜻蜓）、念珠状（如白蚁）、棒状（如蝶类）、膝状（如蜜蜂）、羽毛状（如蛾类雄虫）、鳃状（如金龟子）、环毛状（如蚊）、具芒状（如蝇）等类型（如图6-6-9所示）。

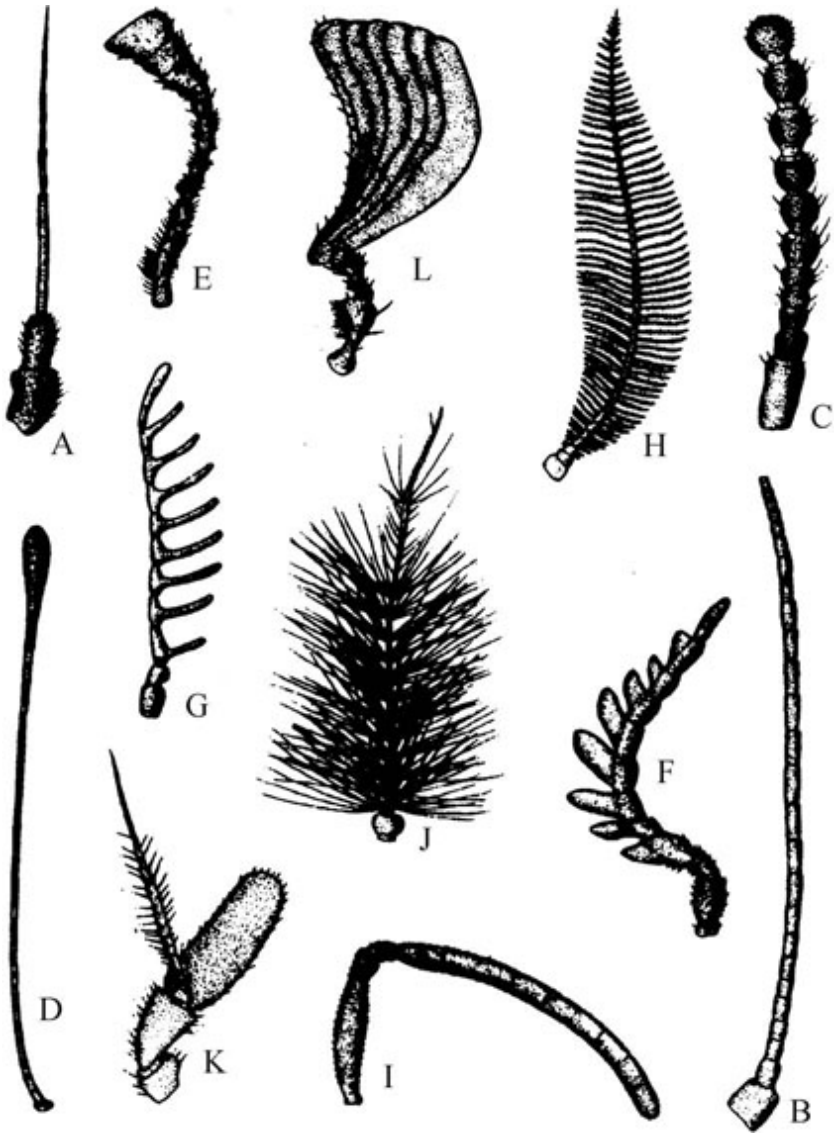


图6-6-9　昆虫触角的基本类型

A．刚毛状；B．丝状；C．念珠状；D．棍棒状；E．锤状；F．锯齿状；G．栉齿状；H．羽毛状；I．膝状；J．环毛状；K．具芒状；L．鳃片状

2．口器　各种昆虫因食性和取食方式的不同，口器的结构有各种不同的类型：取食固体食物的是咀嚼式；兼食固体和液体两种食物的是嚼吸式；取食植物或动物组织内液体的是刺吸式；吸食暴露在物体表面的液体物质的是虹吸式和舐吸式。

3．足　昆虫成虫的足一般分为六节。由基部向末端依次称为基节、转节、腿节、胫节、跗节和前跗节（如图6-6-10所示）。



图6-6-10　昆虫胸足的基本构造

由于适应不同的生活环境和生活方式，昆虫的足有以下几种类型：蜚蠊的足细长，适于疾走，叫步行足；蝗虫的后足腿节膨大，胫节多刺，能作有力的跳跃，叫跳跃足；龙虱的足扁平如桨，后缘有长毛，适于游泳，叫游泳足；螳螂的前足腿节与胫节能合抱，适于捕捉，叫捕捉足；蝼蛄的前足粗短，末端如铲，用作开掘，叫开掘足；蜜蜂的后足多毛，具有复杂的结构，便于采集和携带花粉，叫携粉足（如图6-6-11所示）。

4．翅　昆虫是无脊椎动物中唯一能飞翔的动物。昆虫的翅不仅扩大了它们的活动和分布范围，也加快了昆虫活动的速度，便于它们觅食、求偶、寻找产卵和越冬、越夏的场所，以及逃避敌害，对其生活十分有利。昆虫翅的形态结构变化很大。如蝗虫的前翅革质、半透明，翅脉非常明显，叫复翅；蝽类成虫的前翅近基部的一半坚硬骨化成革质或角质，端部的一半为膜质，叫半鞘翅；蜂、蝉类等许多昆虫的翅薄膜状，叫膜翅；步行虫等甲虫的前翅全部骨质化，翅脉不明显或无脉纹，用来保护膜质的后翅，叫鞘翅；蝶、蛾类昆虫有膜质的翅，上面覆生着鳞片，叫鳞翅；蚊蝇等双翅目昆虫有正常的膜质前翅，但是后翅却退化成专起平衡作用的小翅

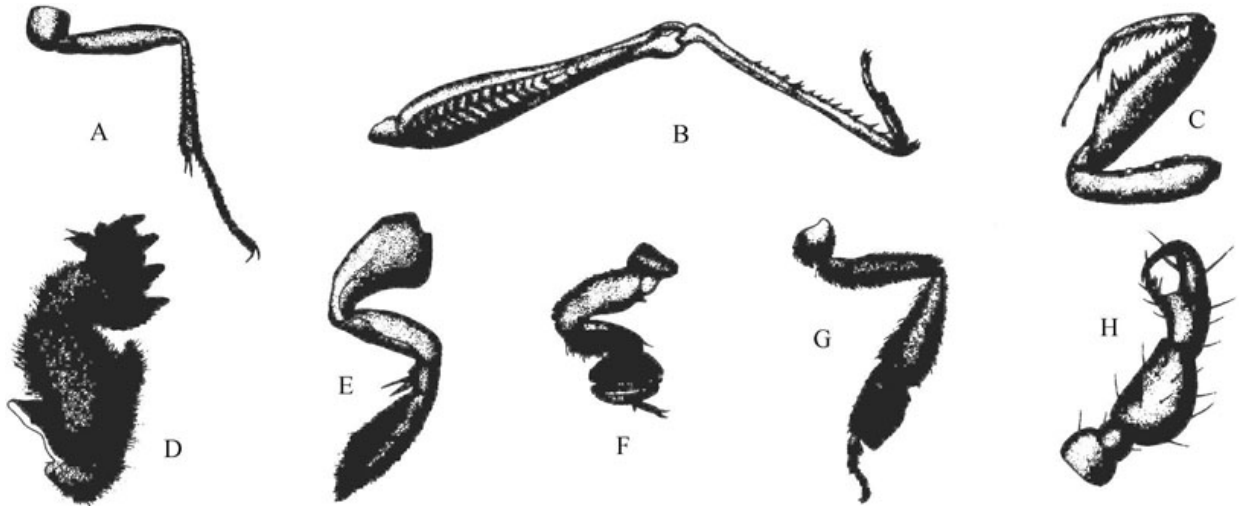


图6-6-11　昆虫胸足的基本类型

A．步行足；B．跳跃足；C．捕捉足；D．开掘足；E．游泳足；F．抱握足；G．携粉足；H．攀援足型棒状结构，叫平衡棒。

（四）昆虫纲的分类

1．无翅亚纲

（1）弹尾目　多生活在潮湿的土壤及腐殖质之间。无翅，不变态，腹部6节，触角4节；口器咀嚼式；缺复眼而具集合眼；缺马氏管。如跳虫等。

（2）缨尾目　多生活于石块及落叶之下的潮湿环境中或抽屉、衣箱内。体壁柔弱，有时被鳞片；口器咀嚼式；触角细长；复眼发达或退化，多数无单眼；腹部11节，尾须2～3条，如衣鱼等。

2．有翅亚纲

（1）直翅目　大、中型昆虫。头属下口式；单眼2～3个；口器为标准的咀嚼式；前翅狭小，革质，后翅宽大，膜质，能折叠藏于前翅之下，腹部常具尾须及产卵器；发音器及听觉器官发达；发音以左右翅相摩擦或以后足腿节内侧刮擦前翅而成；变态为渐变态。如蝗虫、蝼蛄、油葫芦等。

（2）半翅目　前翅基半部角质、端半部膜质，后翅膜质，休息时折叠藏于前翅之下；刺吸式口器；口器着生在头部的前端，不用时置于头、胸部的腹面；触角4或5节；具复眼，单眼2个或无；前胸背板发达，中胸有发达的小盾片；身体腹面有臭腺开口，能分泌挥发性油；发育为渐变态。如二星蝽、绿盲蝽和猎蝽等。

（3）同翅目　口器刺吸式，着生于头的后方。除介壳虫及蚜虫的雌虫外，都具翅，且休息时置于背上呈屋脊型。触角短，呈刚毛状或丝状。体部常有分泌腺，能分泌蜡质的粉末或其他物质，可保护虫体。同翅目常见种类有稻叶蝉、褐飞虱、介壳虫、蚜虫、白蜡虫等。

（4）脉翅目　口器咀嚼式；触角细长，丝状、念珠状、栉状或棒状；单眼3个或无；前胸短小；翅膜质，前后翅大小和形状相似，脉纹网状；跗节5节。完全变态，卵常具柄，幼虫胸足三对，行动活泼，肉食性，成虫亦为肉食性，故为重要的害虫天敌，捕食多种粮棉害虫。如中华草蛉、大草蛉等。

（5）鳞翅目　体表及膜质翅上都被有鳞片及毛。口器为虹吸式；复眼发达，单眼2个或无。完全变态，幼虫是毛虫型。大都是植食性的，危害多种农作物。鳞翅目常分为两个亚目，即蝶亚目和蛾亚目。

（6）鞘翅目　口器咀嚼式；触角10节或11节，形状变化极大，有丝状、锯齿状、锤状、膝状、鳃片状等；没有单眼；前翅角质而坚硬，后翅膜质；中胸小盾片三角形，露于体表；腹部末数节常退化，缩在体内。本目重要的种类有金龟子、星天牛、沟叩头虫、黄守瓜和瓢虫等。

（7）膜翅目　体壁坚硬；头能活动；复眼大；单眼3个；触角丝状、锤状或膝状；口器一般为咀嚼式，仅蜜蜂科为嚼吸式；前翅大、后翅小，皆为膜翅，透明或半透明。常见的种类有姬蜂、松毛虫、赤眼蜂、蜜蜂等。

（8）双翅目　成虫都只有一对发达的膜质翅，脉相简单；后翅退化成平衡棒；复眼很大，几占头的大部分，雄性有的左右互相连接；单眼3个；触角有丝状（蚊类）、念珠状（瘦蚊）或具芒状（蝇类）；口器刺吸式或舐吸式；完全变态，绝大多数幼虫的头部完全退化，缩在前胸内，身体柔软。

触手冠动物（原口动物与后口动物之间的过渡类群）：

包括帚虫动物、外肛动物（又称苔藓动物）及腕足动物三类。它们的许多特征与原口动物相似，又有一些后口动物的典型特征，是介于原口动物和后口动物的中间过渡类型。

十、棘皮动物门（无脊椎后口动物）

（一）主要特征

1．次生性辐射对称

棘皮动物成体基本上都属于辐射对称，而且主要是五辐对称。所谓五辐对称，即通过动物体口面至反口面的中轴，可做五个对称面把动物体分成基本互相对称的两部分。但棘皮动物的幼虫却是两侧对称的，可见成体的辐射对称是次生性的。棘皮动物是动物界中唯一的一类幼虫是两侧对称，成体却是辐射对称的动物。

2．具内骨骼

棘皮动物石灰质的骨骼与其他无脊椎动物由表皮形成的外骨骼不同，是由中胚层形成的，因此是内骨骼。内骨骼包埋于体壁中，其外有纤毛上皮覆盖，其下是纤毛体腔上皮。但往往形成棘或刺突出体表，故称棘皮动物。

3．体腔、水管系统与围血系统（图6-6-12）

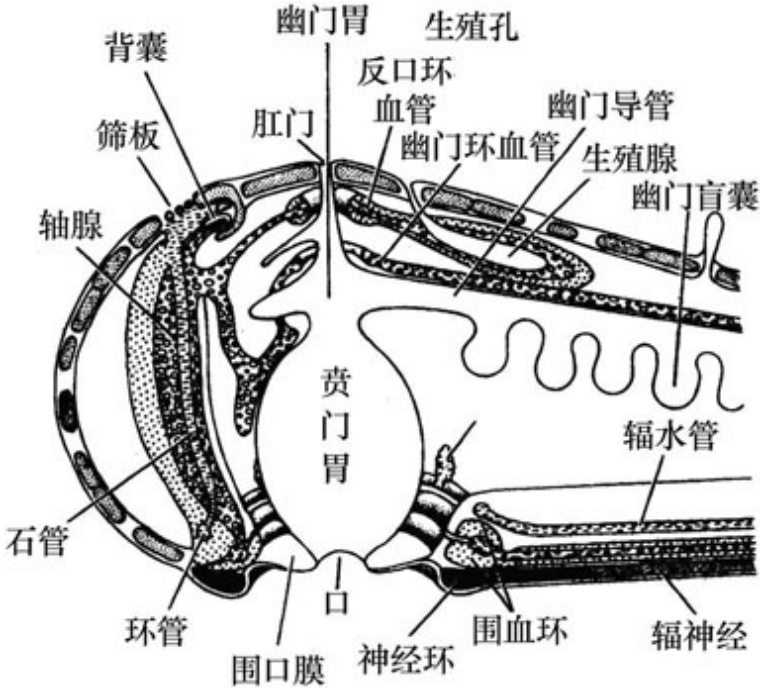


图6-6-12　过海星腕和体盘的纵切

棘皮动物有极其发达的次生体腔，可分为三部分：（1）围脏腔，包围消化系统及生殖器官，十分宽阔，内有类似淋巴的体腔液，其中有具吞噬作用的变形细胞和海水。（2）水管系统，是棘皮动物所特有的管道系统（图6-6-13）。它通过筛板和体外海水或围脏腔中的体腔液相通。筛板上有许多小孔，通过其下一条钙质石管和围绕口的环管相连，从环管再分出5条辐管，辐管上又分出许多成对的侧管，侧管末端与管足相连，两者之间有瓣膜。管足圆筒形，具肌肉壁，基部膨大成坛，末端穿过体壁骨板间伸出体外。坛收缩时可将水压入管足使其伸长；相反，坛若扩张，水回流其中，则管足缩短收回。管足末端有吸盘的种类可吸附在固体物上，借此运动，如海星。管足除运动外，一般还有呼吸和排泄的功能。（3）围血系统，棘皮动物的循环系统除海胆和海参较明显外，其他种类均较退化，由一些微小的管道或血窦组成，其外往往由一相应的管状体腔包围着，这套管腔就是围血系统，又常称为围血窦。它位于水管系统的下方，有环围血窦、辐围血窦，排列和水管系统完全相同。

4．后口动物

在胚胎发育过程中，棘皮动物的口不像以前各类动物那样起源于原口（胚孔），而是在原肠的后期，在胚孔相对的一端，内、外两胚层逐渐靠拢紧贴，最后穿孔，成为幼虫的口。胚孔则变为幼虫的肛门。这种在胚胎发育过程中胚体另行形成的口称为后口。像这样形成

口的动物称后口动物。此外，后口动物和原口动物主要的区别还有以肠腔法形成体腔，受精卵行辐射卵裂。

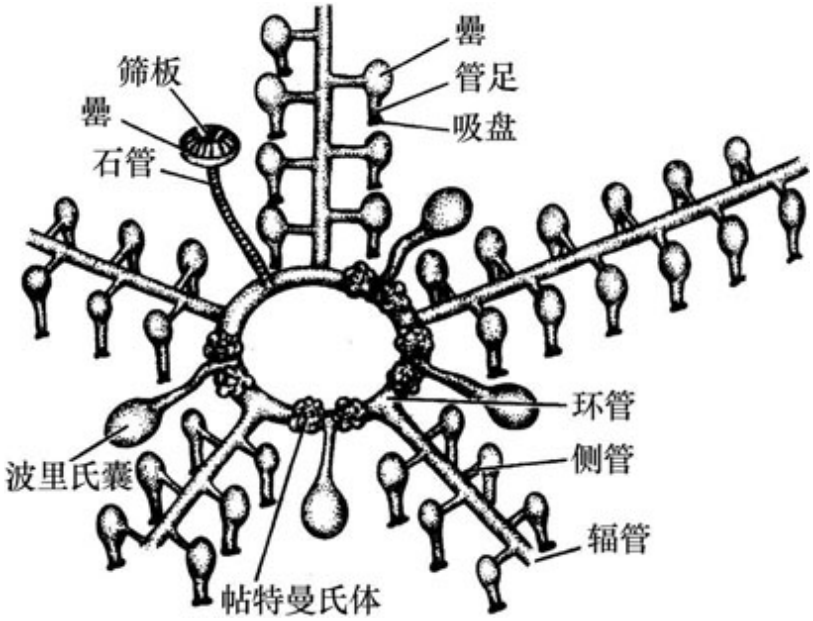


图6-6-13　海参水管系统

（二）分类

1．海星纲　身体为星形或五角形，腕数皆为5或5的倍数，各腕与体盘无明显的分界。如海盘车、海燕等。

2．蛇尾纲　体盘与各腕区分极为明显，腕细长无步带沟。如阳遂足、刺蛇尾等。

3．海胆纲　五腕翻向反口面，而且相互愈合，表面骨板互相嵌合成壳。如马粪海胆、中华釜海胆等。

4．海百合纲　体为杯状，有5腕，但腕从基部即分枝，故似有腕10条，腕形似触手，并作羽状分枝。如海百合、海羊齿等。

【例题解析】

例1　日本血吸虫是人的重要寄生虫，寄生虫的中间寄主有：①钉螺；②猪，寄生虫的侵入方式有；③食入；④皮肤钻入。日本血吸虫的中间寄主和侵入方式是（　　）

A．①③

B．①④

C．②③

D．②④

解析　日本血吸虫寄生于人体或哺乳动物的门静脉及肠系膜静脉内。交配后产卵，虫卵顺血流进入肝，逐渐成熟，经肠壁穿入肠腔随粪便排出体外。从卵内孵出毛蚴，遇到钉螺即侵入螺体，进行无性繁殖，形成母胞蚴，破裂后释放出多个子胞蚴；子胞蚴成熟后不断放出尾蚴，尾蚴接触人、兽皮肤，借其头腺分泌物的溶解作用及本身的机械伸缩作用侵入皮肤，而后侵入小静脉和淋巴管，在体内移行，到达肝门静脉。

答案　B

例2　绦虫可以造成寄主营养不良、机械损害以及化学危害，对人类危害最严重的绦虫是（　　）

A．猪绦虫

B．牛绦虫

C．禽类绦虫

D．细粒棘球绦虫

解析　细粒棘球绦虫的幼虫棘球蚴分单性棘球蚴和多房性棘球蚴两种。多房性棘球蚴能在人体内恶性增殖，极容易转移到其他组织，特别是肺和脑，危害性大。

答案　D

例3　下列哪一组动物不是假体腔动物（　　）

A．腹毛动物门和内肛动物门

B．腔肠动物门和扁形动物门

C．棘头动物门和内肛动物门

D．动吻动物门和轮形动物门

解析　假体腔动物有线虫动物门、轮形动物门、腹毛动物门、棘头动物门、线形动物门、动吻动物门、内腔动物门。

答案　B

例4　动物原始分节现象发生在（　　）

A．节肢动物

B．环节动物

C．软体动物

D．线虫动物E．原生动物

解析　线虫动物开始出现原始体节。对于多细胞、二胚层、三胚层、两侧对称、假体腔、真体腔、体节、后口等最早在哪类动物中出现应予以记忆。

答案　D

例5　海洋中生活的环节动物在发育过程中多有一个幼虫期，称为（　　）

A．担轮幼虫

B．两囊幼虫

C．羽腕幼虫

D．浮浪幼虫

解析　常见幼虫有（基本为海产种类）：海绵动物的两囊幼虫；腔肠动物的浮浪幼虫；扁形动物的牟勒氏幼虫；纽形动物的帽状幼虫；环节动物的担轮幼虫；软体动物头、腹足类的担轮幼虫和海产种类面盘幼虫，淡水蚌类的钩介幼虫；昆虫有多种幼虫；棘皮动物的羽腕幼虫等。

答案　A

例6　下列关于贮精囊和纳精囊的叙述中，错误的是（　　）

A．贮精囊是自体精子贮精和发育的器官，纳精囊主要接受异体精子

B．纳精囊是自体精子贮精和发育的器官，贮精囊主要接受异体精子

C．贮精囊和纳精囊是贮存精子的不同器官的名称

D．每条环毛蚓都同时具有这两种器官

解析　可以根据字面的意思解决这道题，AB相互排斥，必然有一个错误。蚯蚓在受精时将贮精囊贮存的精子注入另一条蚯蚓的纳精囊，纳精囊向黏液管中排放精子，精卵在黏液管完成受精。

答案　B

例7　河蚌的贝壳是由外套膜分泌形成的，其中贝壳的角质层和棱柱层是由外套膜的边缘分泌形成的，珍珠层则是由整个外套膜分泌形成的。因此，随着动物的生长（　　）

A．角质层、棱柱层和珍珠层不断加厚

B．角质层、棱柱层和珍珠层的厚度不再发生变化

C．角质层和棱柱层的厚度不发生变化，珍珠层不断加厚

D．角质层和棱柱层不断加厚，珍珠层不发生变化

解析　随着河蚌的生长，外套膜不断生长，边沿不断外移，不断形成新的角质层和棱柱层，而珍珠层则不断分泌加厚。

答案　C

例8　对于河蚌来说，下列哪个选项与其生活方式关系最密切？（　　）

A．肛门开口在出水管附近

B．肠管穿过心脏

C．由于外套膜和鳃上纤毛的摆动而使水流在外套腔中流动

D．有血窦存在

解析　外套膜和鳃上纤毛的摆动而使水流在外套腔中流动，这个结构使河蚌能从水流中获取食物和氧气，同时雄河蚌的精子也可以通过水流进入雌河蚌的体内，解决了河蚌取食、呼吸和生殖的问题。这些特点与它的生活方式关系最密切。

答案　C

例9　（06年全国联赛）很多昆虫的发育中存在变态现象，渐变态昆虫的发育符合（　　）

A．无蛹期，生活习性与成虫一样

B．有蛹期，生活习性与成虫一样

C．有蛹期，生活习性与成虫不一样

D．无蛹期，生活习性与成虫不一样

解析　直翅目、螳螂目、蜚蠊目、革翅目、等翅目等昆虫的幼虫在体形、生境、食性等方面与成虫非常相似，这样的不完全变态称为渐变态。发育过程中无蛹期，幼虫期昆虫通称若虫。

答案　A

例10　下列动物中分别属于腔肠动物和棘皮动物的是（　　）

A．拂子介和海鳃

B．海鸡冠和海羊齿

C．拂子介和海羊齿

D．海鸡冠和海鳃

解析　拂子介属于多孔动物；海鳃、海鸡冠属于腔肠动物门珊瑚纲；海羊齿、海星、海胆、海百合、海参等属于棘皮动物。

答案　B

例11　节肢动物是动物界最大的一个门类，其生活方式有游泳、爬行、固着、飞行等。下列节肢动物中，生活方式与上述一一对应的是（　　）

A．水蚤、寄居蟹、卤虫、蜜蜂

B．沼虾、龙虾、卤虫、天牛

C．水蚤、蚤、藤壶、普通卷甲虫

D．磷虾、螯虾、藤壶、蜻蜓

解析　水蚤、沼虾、磷虾在水中游泳，龙虾、蚤、螯虾、普通卷甲虫（俗称西瓜虫）爬行生活，藤壶固着生活，卤虫（又称丰年虫）底栖生活，蜜蜂、天牛、蜻蜓飞行生活。

答案　D

例12　变态类型是昆虫分类的依据之一，不同类型昆虫在变态不同时期的名称存在差异。若虫是下列哪类变态类型的幼虫（　　）

A．无变态

B．渐变态

C．半变态

D．完全变态

解析　无变态指幼虫与成虫除身体较小和性器官未成熟外，其他无差别，常见于衣鱼等低等昆虫；不完全变态分渐变态和半变态两种，渐变态中幼虫（若虫）与成虫除翅逐渐成长和性器官逐渐成熟外，其他没有明显差别；半变态中幼虫（锥虫）与成虫在外形和生活习性上都不同；完全变态经历卵、幼虫、蛹、成虫阶段，不出现若虫。

答案　B

例13　在遇到食物比较丰富的时候，许多动物可以尽量多地将食物放入口内；而这些食物常常不能被立即在体内消化，而是被暂时贮存起来。以下结构中，不属于这类可以贮存食物的结构是（　　）

A．蜘蛛的中肠

B．仓鼠的颊囊

C．草履虫的食物泡

D．原鸡的嗉囊

解析　草履虫的食物泡仅仅是为了消化食物而形成的，其结构特点不适于贮存食物。

答案　C

例14　蛾类的复眼在光线很暗的情况下也可以成像的重要原因之一是（　　）

A．有角膜晶体

B．色素细胞结构特殊

C．晶锥结构特殊

D．视杆结构特殊

解析　蛾类复眼中的色素细胞，当光线弱时，色素细胞收缩，这样通过每个小眼进入的光线，除直射的光线可以到达视杆外，光线还可以通过折射进入其他小眼，使附近的每个小眼内的视杆都可以感受相邻几个小眼折射的光线，斜射的光线也可以被感受，这样在光线微弱时，物体也能成像。

答案　B

例15　昆虫羽化后体壁要经历硬化过程，这种硬化过程是什么物质的变化过程（　　）

A．蛋白质

B．多糖

C．脂类

D．其他物质钙化

解析　昆虫外骨骼主要由几丁质和蛋白质组成，昆虫体壁变硬主要和蛋白质鞣化有关，和几丁质关系不大。

答案　A

例16　将4只雄蚕蛾分别作如下处理后，观察其对雌蚕蛾的反应，最迟钝的应是（　　）

A．剪去触角者

B．遮盖单眼者

C．遮盖复眼者

D．封闭口器者

解析　雄蚕蛾靠触角去感受雌蚕蛾释放的性外激素，并能逆着性外激素的浓度梯度找到雌蚕蛾。

答案　A

例17　不靠血液把氧气运往全身各处的动物有（　　）

①水螅　②涡虫　③蚯蚓　④蝗虫　⑤河蚌　⑥鱼

A．①、⑤和⑥

B．②、③和⑥

C．①、②和④

D．②、④和⑤

解析　水螅和涡虫不具备循环系统；蝗虫靠气管把氧气运往全身各处；蚯蚓闭管式循环，通过血液传送氧气；河蚌开管式循环，循环系统由心脏、血管、血窦及血液组成，也是通过血液传送氧气。

答案　C

例18　节肢动物是开管式循环，以下关于其血腔的描述中，正确的是（　　）

A．充满血液的初生体腔

B．充满血液的组织间隙

C．充满血液的围心腔

D．充满血液的初生体腔与次生体腔相混合的腔

解析　节肢动物是开管式循环，具有混合体腔，血腔是充满血液的初生体腔与次生体腔相混合的腔。

答案　D

【针对训练】

（一）单选题

1．下列有关草履虫接合生殖开始阶段的叙述中，正确的是（　　）

A．小核和大核都分裂两次

B．小核分裂两次，大核逐渐消失

C．小核消失，大核分裂两次

D．小核分裂两次，大核维持不变

2．下列有关疟原虫的生活史的叙述中，错误的是（　　）

A．疟原虫是在人体的肝细胞和红细胞中发育的

B．疟原虫的有性世代中，减数分裂和受精作用是在雌性按蚊体内进行的

C．雌按蚊叮咬人时，将合子随唾液送入人的血液

D．孢子生殖的过程是在雌按蚊体内进行的

3．绿眼虫在运动中有趋光性，其中能感受光线的结构是（　　）

A．眼点

B．储蓄泡

C．靠近眼点近鞭毛基部的膨大

D．副淀粉粒

4．下列有关原生动物的生殖方式的叙述中，错误的是（　　）

A．无性生殖方式主要是分裂生殖

B．原生动物也有有性生殖的方式，主要是接合生殖和配子生殖

C．原生动物分裂生殖的细胞分裂方式是无丝分裂

D．原生动物分裂生殖的细胞分裂方式为有丝分裂

5．涡虫的肌肉系统是下列何种结构发育而来的（　　）

A．外胚层

B．中胚层

C．内胚层

D．中胶层

6．腔肠动物出现了组织和胚层的分化，以下各组结构中，水螅所具有的一组结构是（　　）

A．皮肌细胞、神经细胞、腺细胞、骨针

B．皮肌细胞、神经细胞、间细胞、刺细胞

C．肌细胞、腺细胞、间细胞、骨针

D．肌细胞、腺细胞、间细胞、刺细胞

7．下列与寄生在人体内的寄生虫无关的特点是（　　）

A．体表有发达的角质层

B．感觉、运动器官退化

C．生殖器官发达

D．消化系统发达

8．涡虫的梯状神经系统较水螅网状系统高等进化，主要表现在（　　）

A．传导速度快

B．传导冲动的速度慢，且不集中

C．冲动的传导速度较快，并且更趋向于集中

D．梯状神经系统是由中胚层发育而来的

9．许多动物具有发达的消化盲囊，以下动物中，无消化盲囊或消化盲囊不发达的动物是（　　）

A．海盘车

B．蜘蛛

C．海葵

D．医蛭

10．在腔肠动物的身体结构中，不具细胞结构的一层结构是（　　）

A．外胚层

B．内胚层

C．中胶层

D．触手

11．水螅在秋末冬初，环境条件不利时，生殖方式主要是（　　）

A．出芽生殖

B．孢子生殖

C．卵式生殖

D．分裂生殖

12．下列不属于腔肠动物门的动物是（　　）

A．海绵

B．海蜇

C．珊瑚

D．海葵

13．腹足纲动物在系统发生中有扭转现象发生，导致内脏器官位置发生改变，一些器官甚至消失，其中扭成“8”字的两条神经连索是（　　）

A．脑侧神经连索

B．侧足神经连索

C．脑足神经连索

D．连接侧、脏神经节的神经连索

14．蜘蛛排泄废物的器官为马氏管，这种器官起源于（　　）

A．体壁

B．前肠

C．中肠

D．后肠

15．在进化过程中，专司呼吸的呼吸器官首先出现在（　　）

A．环节动物

B．软体动物

C．节肢动物

D．线形动物

16．下列生物中属于雌雄同体，异体受精的是（　　）

A．蛔虫

B．猪肉绦虫

C．蚯蚓

D．蝗虫

17．血液循环可分为开管式和闭管式循环，其中开管式循环的血液循环途径是（　　）

A．静脉—心脏—动脉—毛细血管一静脉

B．静脉—心脏—动脉—血窦—静脉

C．动脉—血腔内微血管—静脉—心脏—动脉

D．动脉—血窦内微血管—静脉—心脏—动脉

18．无齿蚌的育儿囊指的是（　　）

A．外套腔

B．外鳃瓣的鳃腔

C．围心腔

D．内鳃瓣的鳃腔

19．无脊椎动物的进化历程是“原生动物→腔肠动物→*→线形动物→环节动物→……”其中的“*”是下列哪一类动物（　　）

A．扁形动物

B．节肢动物
C．软体动物
D．棘皮动物
20．下列哪组动物不可以都在淡水湖泊中生存（　　）
A．水螅纲动物、鞭毛纲动物、头索动物、双壳纲动物
B．甲壳动物、纤毛纲动物、蛭纲动物、两栖动物
C．腹足纲动物、寡毛纲动物、蛛形纲动物、海绵动物
D．线虫动物、轮虫动物、肉足虫纲动物、涡虫纲动物
21．蜗牛的呼吸器官是（　　）
A．鳃
B．肺
C．皮鳃
D．由密布血管的外套膜当作肺进行呼吸
22．从蝗虫的发育过程来看，体腔属于（　　）
A．原体腔
B．次生体腔
C．混合体腔
D．真体腔
23．下列昆虫的口器属于咀嚼式口器的是（　　）
A．苍蝇和蚊子
B．蜜蜂和蝗虫
C．蝗虫和蝉
D．菜粉蝶的幼虫和油葫芦
24．在我国民间有“大灾之后有大疫”的说法，指在洪涝灾害之后往往会有大面积的传染病发生，你认为下列的解释中最正确的是（　　）
A．洪涝灾害后，因为有大面积积水，人们经常赤足下地，可能被血吸虫幼虫感染
B．洪涝灾害后，由于地面多沼泽，为寄生虫寄主的大量繁殖提供了很好的条件
C．洪水可以把原来分布于某处的寄生虫或其寄主扩散到更大面积
D．洪水过后，人们的抵抗力降低，变成易感人群
25．蚯蚓的环带与下列哪项有关（　　）
A．营养
B．运动
C．防御

D．生殖

26．动物由水生进化到陆生的基本条件是（　　）

①身体两侧对称　②组织器官分化　③中胚层形成　④神经系统发展

A．①②

B．①③

C．②③

D．③④

27．真体腔和原体腔的主要区别是（　　）

A．真体腔是中胚层出现后形成的，原体腔是二胚层动物所特有

B．真体腔具有肠壁肌肉层和体腔膜

C．原体腔相当于囊胚腔，真体腔相当于原肠腔

D．真体腔是在体壁中胚层与肠壁之间的空腔，原体腔是在体壁中胚层和脏壁中胚层之间的空腔

28．蛔虫的中间宿主是（　　）

A．钉螺

B．猪

C．昆虫

D．没有中间宿主

29．在进化过程中，真体腔首先出现于（　　）

A．腔肠动物

B．线形动物

C．环节动物

D．节肢动物

30．蚯蚓的运动器官是（　　）

A．纤毛

B．鞭毛

C．刚毛

D．疣足

31．蚯蚓暴露于干燥空气中，见到阳光，很快就会死亡，其原因是

A．体内失水过多（　　）

B．蚯蚓是厌氧型的，接触到氧气后，无氧呼吸受到抑制而死亡

C．体表失水、干燥影响呼吸而窒息死亡

D．体内废物不能及时排出

32．在蚯蚓的循环系统中，血液流动的方向是（　　）

A．背血管→心脏→腹血管
B．腹血管→心脏→背血管
C．心脏→背血管→腹血管
D．背血管→腹血管→心脏
33．同种昆虫之间的信息联系是通过释放信息激素来实现的，那么，在昆虫身上感受信息激素的化学感受器位于（　　）
A．头部
B．鼻孔
C．触角
D．单眼
34．蝗虫的听器位于（　　）
A．头部两侧
B．复眼后侧
C．第一腹节的两侧
D．尾部
35．栉蚕属原气管纲，具有较为原始的特征，下面哪一项不是其特征（　　）
A．体具环纹而不分节
B．神经系统为梯形
C．呼吸器官为气管
D．排泄器官为马氏管
36．无脊椎动物中唯一具有软骨的一个纲是（　　）
A．海星纲
B．头足纲
C．昆虫纲
D．多足纲
37．蜗牛的眼有一对，着生在（　　）
A．头部
B．头部的前一对触角上
C．头部的后一对触角上
D．外套膜顶端
38．蜗牛爬过的地方总是留有一条黏液的痕迹，是（　　）
A．由外套膜分泌的黏液
B．腹足中的足腺分泌的黏液
C．口腔中的唾液
D．尾腺分泌的黏液

39．消灭蝇和蚊的最有效办法是（　　）

A．喷农药

B．点蚊香

C．控制和清除孳生的场所

D．消灭幼虫

40．我们在观察草履虫的运动时，由于草履虫的运动速度过快而影响观察，所以在观察时要限制其运动速度，采取的办法不可取的是（　　）

A．在载玻片上的草履虫培养液滴上放少量棉花纤维

B．用吸水纸从载玻片的边缘吸取一些水

C．用新鲜的蛋清加等量的水混合均匀后滴入载玻片的草履虫培养液

D．在培养液中放少许冰块

41．许多动物的个体发育中要经历特殊的幼虫期，下列组合哪组正确（　　）

Ⅰ．腔肠动物　　Ⅱ．扁形动物　　Ⅲ．环节动物　　Ⅳ．软体动物

a．担轮幼虫　　b．牟勒氏幼虫　　c．面盘幼虫　　d．浮浪细虫

A．Ⅰa、Ⅱb、Ⅲc、Ⅳd

B．Ⅰb、Ⅱc、Ⅲd、Ⅳa

C．Ⅰd、Ⅱb、Ⅲa、Ⅳc

D．Ⅰd、Ⅱa、Ⅲc、Ⅳb

42．蝗虫的气门分布在何处（　　）

A．头部和胸部，共8对

B．腹部，共10对

C．胸部和腹部，共10对

D．头部，1对

43．节肢动物血液的颜色是无色或淡蓝色的原因是（　　）

A．血液中无血细胞

B．血液中血浆和血细胞中无血红蛋白，血清只有血清蛋白，能携带O_2

C．血细胞中有血红蛋白，但不是红色的

D．节肢动物没有血液，只有体腔液

44．蝗虫和对虾的呼吸器官分别是（　　）

A．鳃、鳃

B．气管、鳃
C．气管、气管
D．鳃、气管
45．下列不属于昆虫纲动物特点的是（　　）
A．身体分为头、胸、腹三部分
B．头部有触角一对，复眼一对，口器一个
C．身体分为头胸部和腹部
D．胸部有三对步足，一般有翅两对
46．下列不被用来制作毒品的物质是（　　）
A．桃仁
B．乙醚
C．醋酸乙烷
D．樟脑丸
47．在制作昆虫标本时，针插的部位有严格的要求，对于鳞翅目昆虫和膜翅目昆虫针应插在（　　）
A．中胸正中央
B．中胸中央偏右一些
C．右面鞘翅的左上角
D．前胸基部上方的右侧
48．下列属于后口动物的是（　　）
A．昆虫
B．蚯蚓
C．棘皮动物
D．软体动物
49．具芒状触角的鞭节为（　　）
A．一节
B．二节
C．若干小节
D．呈丝状
50．乌贼的循环系统属于（　　）
A．开管式循环
B．闭管式循环
C．开管式和闭管式的混合形式
D．没有循环系统
51．在蜜蜂的工蜂身上，用于攻击“敌人”的武器主要是（　　）

A．触角
B．花粉刷
C．口器
D．腹部末端的螫针
52．蟋蟀、蚜虫、菜粉蝶、蝇、蜜蜂的口器依次是（　　）
A．刺吸式、刺吸式、虹吸式、虹吸式、嚼吸式
B．咀嚼式、刺吸式、虹吸式、舐吸式、嚼吸式
C．咀嚼式、虹吸式、刺吸式、舐吸式、虹吸式
D．吸嚼式、刺吸式、虹吸式、舐吸式、虹吸式
53．血吸虫患者往往要通过检查虫卵来确诊，检查虫卵的材料是（　　）
A．患者痰液
B．患者的大便
C．穿刺患者肝脏而得到的肝组织
D．以上三者都是
54．下列动物属于雌雄异体的一组是（　　）
A．涡虫、蛔虫、钩虫
B．猪肉绦虫、血吸虫、钩虫
C．血吸虫、蛔虫、钩虫
D．猪肉绦虫、涡虫、血吸虫
55．某农业技术员在棉田中检查发现，棉叶向叶背面卷曲，这可能是由哪种害虫所致（　　）
A．天牛
B．螟虫
C．棉蝗
D．蚜虫
56．餐桌上所食海蜇皮是哪一部分（　　）
A．口腕
B．外伞部
C．体前端
D．胃丝
57．与偕老同穴共栖的是（　　）
A．寄居蟹
B．俪虾
C．海葵
D．绿藻

58．凯伯尔氏器是指（　　）
A．河蚌的围心腔
B．河蚌的肾
C．河蚌胃与肠交界处的晶杆
D．河蚌的肝脏
59．下列昆虫的成虫中，寿命最短的是（　　）
A．蜉蝣
B．豆娘
C．红娘华
D．草蜻蛉
60．水螅在消化腔中进行的消化方式是（　　）
A．体外消化
B．细胞外消化
C．细胞内消化
D．细胞内和细胞外消化
61．涡虫的结构有：①耳突；②口；③眼点；④咽。关于这些结构的功能，正确的是（　　）
感光　味觉　嗅觉　排遗
A．③　④　④　②
B．①　②　④　②
C．③　①　①　②
D．③　②　②　②
62．水肺（呼吸树）是下列哪种动物的呼吸器官（　　）
A．海参
B．蜉蝣的幼虫
C．紫海胆
D．海星
63．雄乌贼的茎化腕为第几对腕（　　）
A．左第4对
B．右第5对
C．左第5对
D．右第3对
64．下列哪种动物无消化系统（　　）
A．肺吸虫
B．蛔虫
C．猪肉绦虫

D．蚯蚓

65．入海的河口生态系统中发现一种草履虫，观察得知其伸缩泡在原生活环境中每分钟约收缩20次。这种草履虫在淡水中也可以存活一段时间。请根据所学知识推断该草履虫在淡水中伸缩泡每分钟收缩的次数（　　）

A．大于20次，因为草履虫处在更高渗透压的环境中

B．大于20次，因为草履虫处在更低渗透压的环境中

C．小于20次，因为草履虫处在更高渗透压的环境中

D．小于20次，因为草履虫处在更低渗透压的环境中

66．下列动物类群中最早起传粉作用的动物是（　　）

A．白蚁

B．甲虫

C．蝴蝶

D．蜜蜂

67．蚯蚓的受精囊是（　　）

A．卵细胞受精的场所

B．储存自体精子的场所

C．储存自体卵细胞的场所

D．储存异体精子的场所

68．下列哪种动物发育过程为半变态（　　）

A．蜻蜓

B．苍蝇

C．蝴蝶

D．蜜蜂

69．蜂王居住在（　　）

A．较小的六角形的蜂室内

B．位于巢穴中间的囊状蜂室内

C．较大的六角形的蜂室内

D．位于巢穴边缘不规则的囊状蜂室内

70．海胆具有复杂的咀嚼器，称为（　　）

A．帖窦曼氏体

B．亚里士多德提灯

C．居维尔氏器

D．鲍雅诺氏器

71．用针轻触水螅身体某一点，能引起它产生全身性反应，可以说明（　　）

A．水螅有感觉细胞
B．水螅有神经系统
C．水螅的神经传导不定向
D．水螅感觉细胞分散分布
72．蝗虫咀嚼式口器的结构中，适应于切嚼食物的是（　　）
A．上唇和下唇
B．一对上颚
C．一对下颚
D．舌
73．人蛔虫是人体的一种主要寄生虫，寄生在人体内，给人体造成很大的危害，下列症状哪项不可能是由蛔虫引起的（　　）
A．营养不良
B．肠道阻塞
C．肺穿孔
D．橡皮肿
74．昆虫的卵裂属于（　　）
A．等裂
B．不等裂
C．盘裂
D．表面卵裂
75．甲壳动物的蜕皮现象发生在哪个阶段（　　）
A．早期幼虫阶段
B．幼虫阶段
C．幼虫和成虫阶段
D．成虫阶段
76．鳌虾（喇蛄）用以平衡的器官是（　　）
A．爪
B．耳
C．触角的平衡囊
D．眼柄
77．三叶虫属于（　　）
A．环节动物
B．节肢动物
C．棘皮动物
D．软体动物
78．下列哪一类无脊椎动物具有最复杂的体表结构（　　）

A．节肢动物
B．海绵动物
C．原生动物
D．刺胞动物
79．昆虫身体的各部分都由体壁包围着，通常成虫的体壁都是比较硬的，其硬化的原因是（　　）
A．几丁质含量较多
B．几丁质和蛋白质的牢固结合
C．蛋白质的鞣化
D．有一蜡质层
80．广泛分布于热带和亚热带海域的珊瑚礁和珊瑚岛，是由大量珊瑚骨骼堆积而成。试问它是由珊瑚螅型体的哪部分结构分泌的（　　）
A．外胚层细胞
B．内胚层细胞
C．外胚层和内胚层细胞共同分泌
D．和内胚层细胞共生的虫黄藻分泌的
81．环节动物（蛭纲除外）有了由纵血管、环血管和微血管组成的完整的闭管式循环系统，血液始终在血管中流动，试问循环系统的纵血管、环血管是哪部分结构演化来的（　　）
A．外胚层上皮细胞内陷形成的
B．部分中胚层细胞分化而来
C．假体腔演化而来
D．外胚层形成纵血管，中胚层形成环血管
82．以下动物类群中哪类与其他三类体腔性质不同（　　）
A．外肛动物
B．螠虫动物
C．腹毛动物
D．内肛动物
83．昆虫的卵为（　　）
A．卵黄均匀分布的少黄卵
B．卵黄不均匀分布的少黄卵
C．卵黄集中在植物极的多黄卵
D．卵黄集中在卵中部的多黄卵
84．节肢动物的循环系统的复杂程度与下列哪种因素密切相关（　　）

A．开管或闭管循环
B．动物的大小
C．混合体腔的大小
D．呼吸系统的分散与集中
85．有“活化石”之称的动物是（　　）
A．红螺，唐冠螺
B．唐冠螺，鹦鹉螺
C．新蝶贝，鹦鹉螺
D．新蝶贝，唐冠螺
（二）多选题
1．以下哪些属于结缔组织（　　）
A．脂肪
B．血液
C．淋巴液
D．硬骨
2．下列不属于血液传染病（虫媒传染病）的是（　　）
A．血吸虫病
B．疟疾
C．黑热病
D．丝虫病
E．狂犬病
F．绦虫病
3．下列说法中正确的是（　　）
A．海绵通过水沟系获得食物、氧气并排出废物
B．河蚌通过水流系统只能完成呼吸和摄食两项功能
C．海星主要通过水管系统完成呼吸和排泄
D．水母通过口、胃壁和辐管及环管完成消化循环过程
4．下列有关疾病与传播媒介对应错误的是（　　）
A．黑热病——白蛉子
B．疟疾——按蚊
C．丝虫病——伊蚊
D．肝片吸虫——钉螺
E．日本血吸虫——锥实螺
5．间日疟原虫的生活史中出现的繁殖方式有（　　）
A．二分裂
B．孢子生殖

C．有性生殖
D．裂体生殖
6．黑热病和昏睡病分别由下列哪两种动物引起（　　）
A．日本血吸虫
B．披发虫
C．利什曼原虫
D．锥虫
7．下列关于扁虫（扁形动物门涡虫纲）的叙述中，错误的是（　　）
A．无循环系统，身体以扩散的形式得到营养和氧气
B．有一个心脏，闭管式循环
C．开管式循环
D．因无器官故不具循环系统
8．以下哪些动物不能生活在长江中下游的湖泊中（　　）
A．鞭毛虫、寡毛类
B．线虫、轮虫
C．薮枝螅、轮虫
D．柱头虫、石鳖
9．有的寄生虫在完成整个生活史的过程中，必须更换另一个寄主或多次更换寄主。这种现象的生物学意义是（　　）
A．使寄生虫获得更多的生存机会
B．使寄主受害程度降低
C．使寄生虫的后代成活率提高
D．这是寄生生活的一种进步
E．这是寄主自然选择的结果
10．无齿蚌有4个发达的鳃瓣，这些鳃瓣的作用是（　　）
A．呼吸
B．辅助摄食
C．完成受精和幼体发育
D．运动
11．软体动物外套膜的功能是（　　）
A．形成出水管和入水管
B．分泌物质形成贝壳
C．作运动器官
D．包裹整个柔软身体

12．因适应于快速游泳的生活方式，头足类的感觉器官很发达，以下结构中属于乌贼感觉器官的结构有（　　）

A．眼

B．平衡囊

C．触手囊

D．嗅检器

13．下列昆虫与翅的类型对应正确的是（　　）

A．二化螟——鳞翅

B．天牛——膜翅

C．蜜蜂——复翅

D．椿象——半鞘翅

E．蟋蟀——直翅

F．石蛾——毛翅

G．蓟马——缨翅

14．下列有关昆虫口器与食性等的叙述中，不正确的是（　　）

A．适于取食花蜜的口器类型是虹吸式和刺吸式口器

B．咀嚼式口器是原始类型的口器

C．嚼吸式口器昆虫对植物造成的危害大于刺吸式口器

D．刺吸式口器和咀嚼式口器的昆虫均不适宜于传粉

15．下列昆虫与足的类型对应正确的是（　　）

A．步行足——瓢虫

B．开掘足——蝼蛄的前足

C．携粉足——蜜蜂的前足

D．捕捉足——螳螂的前足

E．游泳足——龙虱的前足

F．攀援足——虱

16．下列关于线虫的叙述中，正确的是（　　）

A．所有的线虫均为寄生性动物

B．小麦线虫在小麦子房中发育为成虫

C．人体内寄生的少量蛔虫可以自净

D．人体感染了蛔虫卵，其发育过程始终在消化道内

17．许多昆虫能利用声音来传递信息。为了达到通讯目的，启动者必须发出声音，接收者必须有听器。不同的昆虫发音机制不同。下列连线中正确的是（　　）

A．蟋蟀——双翅震动

B．蚊——双翅摩擦

C．白蚁兵蚁——撞击物体
D．蝉——鼓膜震动
E．大尖头蜢——同侧的前翅和后足摩擦
F．天牛——头胸之间的摩擦
18．昆虫与其他一些节肢动物类群相同的特征是（　　）
A．发育过程有变态
B．气管呼吸
C．有三对步足
D．适宜陆生
19．下列说法中不正确的是（　　）
A．中药中蝉蜕是蝉的蛹壳
B．蛲虫主要寄生在人体肛门附近，容易在儿童之间传播
C．从蝗虫的发育来看，扑灭蝗虫的最佳时期是挖掘销毁受精卵
D．原生动物中，孢子虫纲的所有种类其生活史中至少有一个时期营寄生生活
20．昆虫区别于其他所有节肢动物的特征是（　　）
A．多数具翅
B．有三对胸足
C．气管系统呼吸
D．马氏管排泄
21．下列有关棘皮动物的神经系统的描述中，正确的是（　　）
A．具有三个神经中枢，全部由外胚层形成
B．外神经系统起源于内胚层
C．下神经系统与内神经系统起源于中胚层
D．三个中枢神经系统与水管系平行
22．可以在土壤中生存的有哪些动物（　　）
A．腹足动物、甲壳动物、蛛形动物、环节动物、线虫动物
B．甲壳动物、线形动物、瓣鳃动物、扁形动物、半索动物
C．甲壳动物、蛛形纲动物、线形动物、软体动物、扁形动物
D．尾索动物、扁形动物、线虫动物、腕足动物、蛛形动物
23．将一只雌蛾用玻璃皿罩住，玻璃皿外放一只同种雄蛾，雄蛾无任何反应，打开玻璃皿后雄蛾躁动不安，本实验能够说明（　　）
A．雌蛾能产生性外激素
B．性外激素是一种挥发性物质
C．该雌蛾还未发生交尾
D．该雌蛾的性腺还没有发育成熟

24．原口动物与后口动物的区别为（　　）
A．有体腔膜
B．骨骼不是中胚层发育
C．螺旋卵裂
D．没有鳃裂
25．以下哪些特征是棘皮动物与其他无脊椎动物都不同的（　　）
A．次生辐射对称
B．体腔形成的水管系统
C．骨骼均由中胚层发生
D．胚孔成为成体的口

【参考答案】

（一）单选题

1．B　2．C　3．C　4．C　5．B　6．B　7．D　8．C　9．C　10．C　11．C　12．A　13．D　14．C　15．B　16．C　17．B　18．B　19．A　20．A　21．D　22．C　23．D　24．B　25．D　26．B　27．B　28．D　29．C　30．C　31．C　32．A　33．C　34．C　35．D　36．B　37．C　38．B　39．C　40．D　41．C　42．C　43．B　44．B　45．C　46．D　47．A　48．C　49．A　50．B　51．D　52．B　53．B　54．C　55．D　56．B　57．B　58．A　59．A　60．B　61．C　62．A　63．C　64．C　65．B　66．B　67．D　68．A　69．D　70．B　71．C　72．B　73．D　74．D　75．C　76．C　77．B　78．A　79．C　80．A　81．C　82．A　83．D　84．D　85．C

（二）多选题

1．ABCD　2．AEF　3．AD　4．CDE　5．BCD　6．CD　7．BCD　8．CD　9．ABD　10．ABC　11．ABCD　12．AB　13．ADEFG　14．AD　15．ABDF　16．BC　17．CDEF　18．ABD　19．ABC　20．AB　21．BCD　22．AC　23．ABC　24．BC　25．ABC

第7讲　脊椎动物

（宁波效实中学　范少迎）

【知识梳理】

一、脊索动物的三大主要特征（图6-7-1）

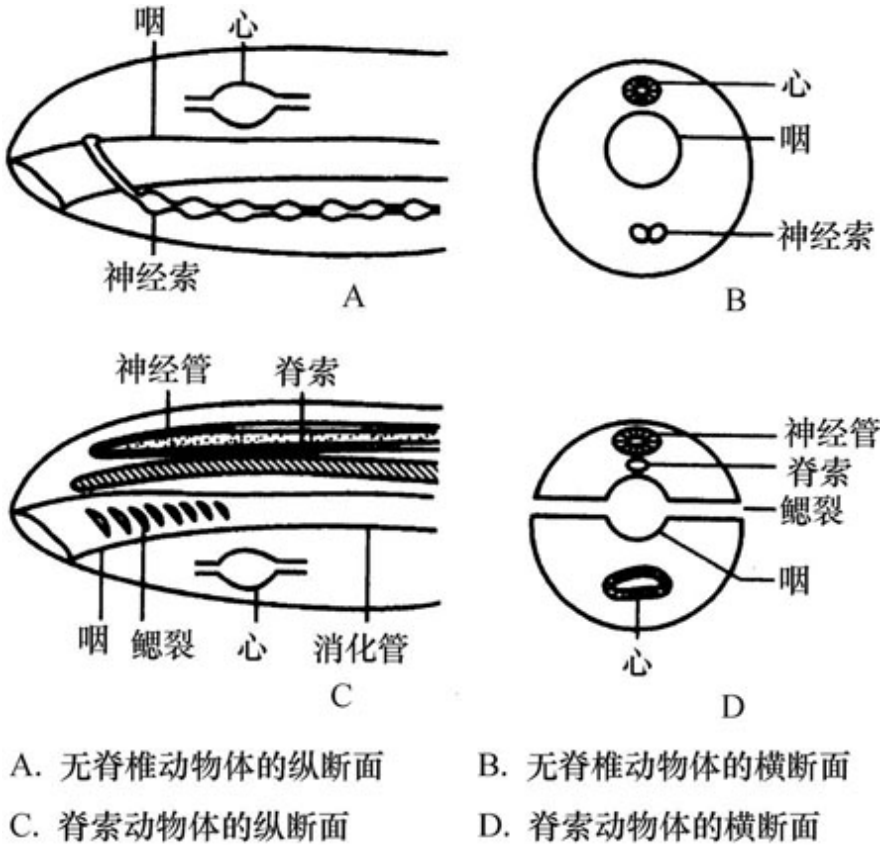


图6-7-1　脊索动物与无脊椎动物构造模式比较图

1．脊索

脊索位于消化管背面，在胚胎发育过程中由原肠背侧的一部分细胞离开肠管而形成，能起骨骼的基本作用。低等脊索动物终生具有脊索；有的类群中，脊索则仅见于幼体。高等脊索动物只在胚胎期间出现脊索，成长时被分节的脊柱所取代。

2．背神经管

非脊索动物神经系统的中枢部分呈索状，位于消化管的腹面。脊索动物神经系统的中枢部分呈管状，位于身体的背中线上，脊索（或脊柱）就在它的下面。背神经管由外胚层下陷卷褶所形成，在高等类群中分化为脑和脊髓两部分。

3．咽鳃裂

位于消化管前端的两侧壁上，左右成对的裂孔直接或间接与外界相通，称为咽鳃裂。它是一种呼吸器官，在低等类群中终生存在，在

高等类群则只见于某些幼体和胚胎时期，随后完全消失。

二、脊索动物门分类概况

依据形态结构、生活习性和胚胎发育等特点，一般将脊索动物门分为尾索动物、头索动物和脊椎动物三个亚门。

（一）尾索动物亚门

1．主要特征

（1）全部海产，身体包在胶质或近似植物纤维成分的被囊中。

（2）幼体时期尾部具脊索和神经管，少数终生有尾。成体无尾者体形袋状或桶状，有单体和群体两个类型。鳃裂终生存在。

（3）少数有尾种类营漂浮或自由生活，多数无尾种类幼体自由生活，成体固着生活。

（4）一般雌雄同体，异体受精。生殖方式有无性生殖（出芽生殖）和有性生殖，有世代交替现象。

（5）发育过程中出现逆行变态。即幼体经变态发育成为成体的过程中失去了一些重要结构，身体变得更简单了，这种变态叫逆行变态（图6-7-2）。

2．代表动物：海鞘（图6-7-3）

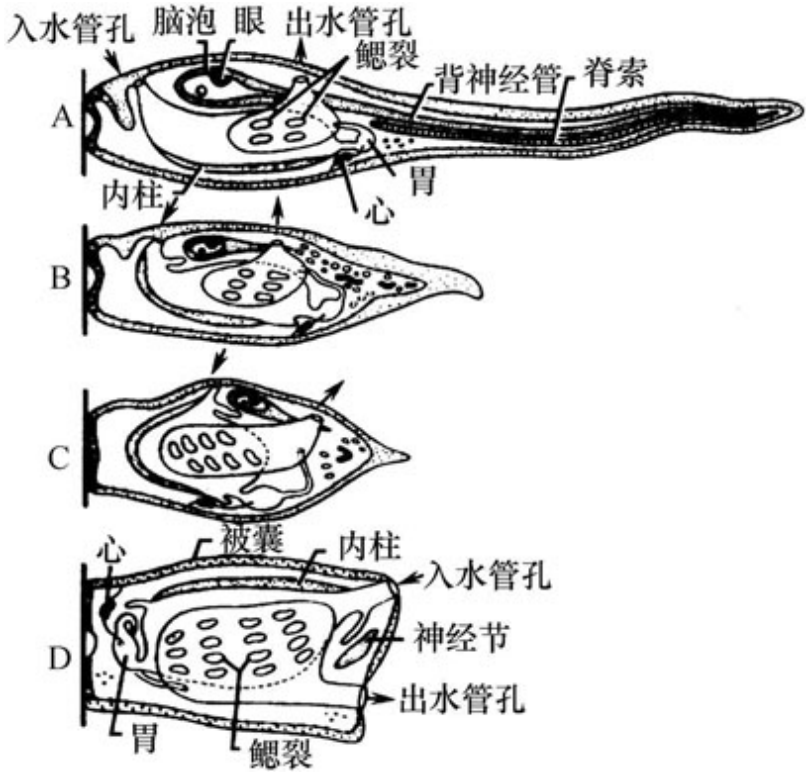


图6-7-2　海鞘幼体（A）和变态过程（B→D）

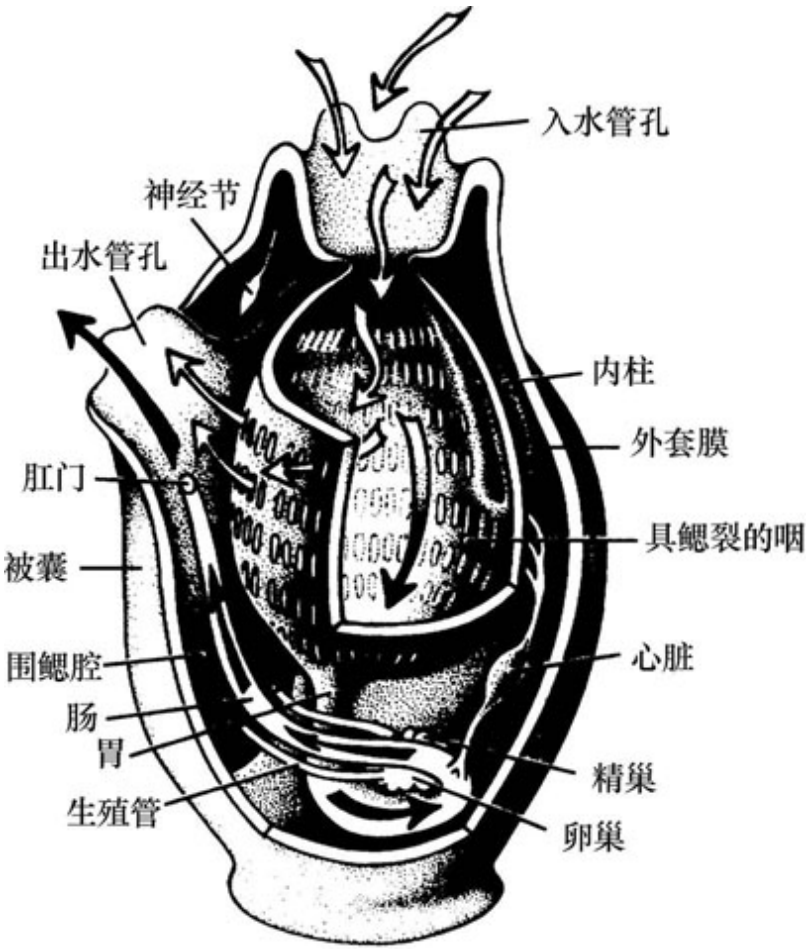


图6-7-3　海鞘的内部结构

（二）头索动物亚门

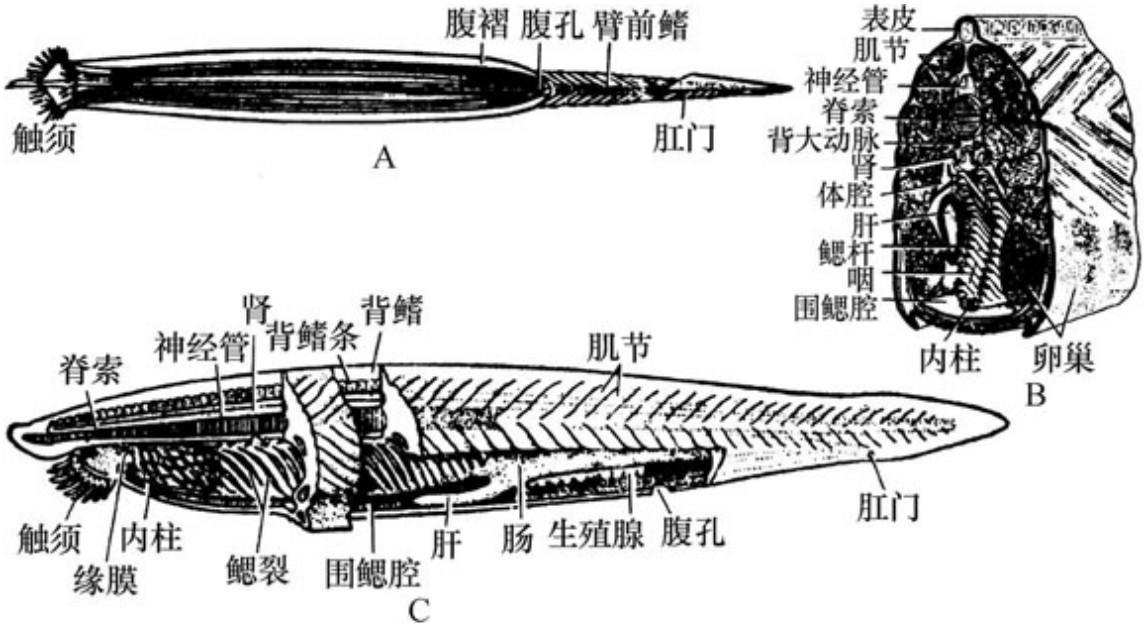
1．主要特征：结构简单，但终生保留脊索动物的三大特征，在动物系统进化上占十分重要的位置。脊索纵贯全身，超过背神经管伸达躯体的最前端，故称为头索动物。中空的背神经管位于脊索之上，前端稍膨大形成脑泡。在咽的两侧有7对以上的咽鳃裂。

头索动物是典型的桥梁动物，除终生具有脊索动物的三个主要特征外，还具有：（1）与脊椎动物相似的特征：具肌节、有奇鳍、肛后尾、闭管式循环系统，其胚胎发育和三个胚层的分化也与脊椎动物相似。（2）比脊椎动物原始的特征：无头、无骨骼、无心脏，排泄器官为肾管。（3）比无脊椎动物进化的特征：躯体两侧有一对腹褶，为脊椎动物成对附肢的雏形。

2．代表动物：文昌鱼（图6-7-4）

产于我国厦门、烟台等地，长4～5cm，两端尖，无偶鳍而有奇鳍，游泳能力差，半栖息于沙中。形体结构特征：（1）形如小鱼，体

侧扁。无头、无鳞、无偶鳍，有背鳍、尾鳍和臀鳍。（2）在腹部两侧有一对腹褶。在腹面有腹孔（围鳃腔孔）和肛门两个孔。（3）躯体两侧有许多“＜”形肌节。（4）脊索纵贯全身，直达神经管的头部，但无明显头部，故又称无头类。（5）中枢神经系统由脑泡、脊髓组成。（6）消化道中肠为一条直管，肠管前端有一盲囊称为肝盲囊，相当于肝脏。（7）闭管式循环，但无心脏，以腹血管搏动代替心脏功能。



A. 全形腹面　B.过咽部横切　C.全形侧面及部分纵剖面

图6-7-4　文昌鱼外形及内部结构

（三）脊椎动物亚门

脊椎动物是脊索动物门中数量最多、结构最复杂、进化地位最高的一大类群。依据外形及内部特征可分为6个纲：圆口纲、鱼纲、两栖纲、爬行纲、鸟纲和哺乳纲。它们除了具有脊索动物的三大特征外还具有以下特点：

1．出现了明显的头部。神经管出现分化，前端形成脑，后部形成脊髓。感觉器官向前端集中，形成“头”而称有头类。加强了动物对外界刺激的感应能力。

2．绝大多数种类中，脊索只出现在发育早期，以后为脊柱所代替。脊柱由脊椎骨连接而成，保护脊髓。前端形成头骨保护脑。

3．低等水生种类用鳃呼吸，陆生种类及次生水生种类成体用肺呼吸，鳃裂只在胚胎时期出现。

4．除圆口类外都具有上下颌，以支持口部，加强主动摄食和消化的能力。

5．具有完善的循环系统，出现能收缩的心脏，高等类群动、静脉血完全分开，使机体氧供应充足，保持高的代谢活动，体温恒定。

6．构造复杂的肾脏代替了肾管，提高了代谢废物的排泄能力。

7．除圆口类外，都具有成对的附肢作为运动器官。一些种类因生活环境、生活方式的改变，失去了一对（或全部）附肢，但在其身体上还不同程度地保留着附肢的痕迹。

三、圆口纲

（一）圆口纲的主要特征

1．具吸附性、不能开闭的口漏斗，没有上、下颌，是脊椎动物进化史中第一阶段的代表。

2．没有成对的附肢：没有偶鳍，只有奇鳍，是脊椎动物中唯一没有成对附肢的动物。

3．终生保留脊索：没有真正的脊椎骨，在脊索上方及神经管的两侧只有一些软骨小弧片，是脊椎的雏形。

4．脑的发达程度低。

5．具有特殊的呼吸器官——鳃囊，鳃位于鳃囊，囊壁为由内胚层来源的褶皱状鳃丝，其上面有丰富的毛细血管，可进行气体交换。

（二）代表动物——七鳃鳗（图6-7-5）

七鳃鳗是体外寄生的种类，形如鳗鱼。头部两侧有一对眼睛，眼后有七个鳃孔，故称七鳃鳗。口漏斗在头部前端腹面，口漏斗内有许多具齿骨板，四周边缘有乳状突起，可吸附在鱼体上。口位于口漏斗的底部，口内的舌上有角质齿，可从口腔底部伸出，锉破鱼皮后吸食寄主的血液和柔软组织。

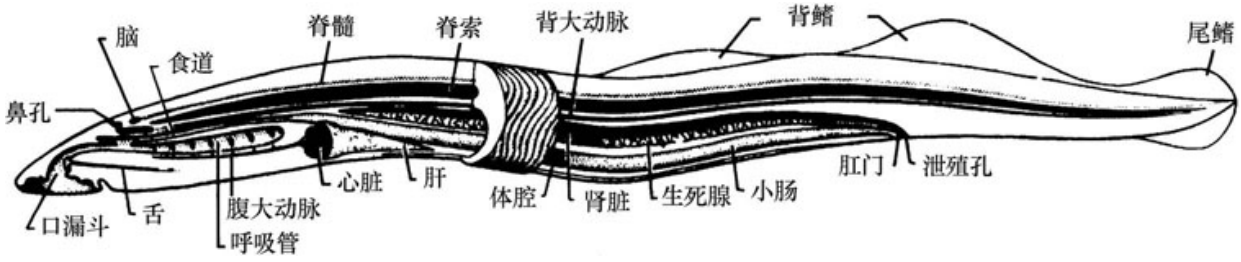


图6-7-5　七鳃鳗成体解剖

四、鱼纲

（一）鱼纲的主要特征

1．有上、下颌

出现上、下颌是动物在取食方面由被动变主动的一次形态革命，扩大了利用食物资源的范围。

2．成对的附肢（胸、腹鳍）和发达的尾部

尾部是使身体向前的主要运动器官，兼有舵的作用。偶鳍保持躯体平衡和行进转向、拐弯等动作。奇鳍中的背鳍和臀鳍能使身体稳定而有利于运动，尾鳍和尾柄组成尾。陆生动物四肢由偶鳍改造发展而来。

3．以脊柱代替脊索

作为支持躯体中轴的脊索被一系列脊椎骨构成的脊柱所代替，从而加强了支持身体、保护脊髓的机能。鱼类脊椎骨的特点：（1）无颈椎，脊椎骨和头骨相连，头不能转动。（2）脊柱分化程度低，只分为体椎和尾椎。（3）有肋骨，无胸骨。（4）体椎全为双凹型。（5）在相邻两椎体间的空隙和椎体中央小管内尚留有残余的脊索。

4．终生以鳃呼吸

5．循环系统为单循环

心脏由静脉窦、一心房、一心室组成。心脏内含缺氧血。

6．具有特殊的感觉器官——侧线器官

侧线是由许多单独侧线器官组成的一条管状结构。侧线器官在鳞片上以小孔向外开口，基部与感觉神经相连，能感受水的低频振动，以此来判断水流方向、水波动态及周围环境的变化。

7．皮肤有丰富的黏液腺，大多数种类有鳞片

鱼类皮肤黏液腺的功能：能分泌大量黏液，使体表润滑，以减少水的摩擦；形成一层隔离膜，使皮肤减少对水分的渗透，以维持体内渗透压的平衡。

鳞片可分成三类（图6-7-6）：

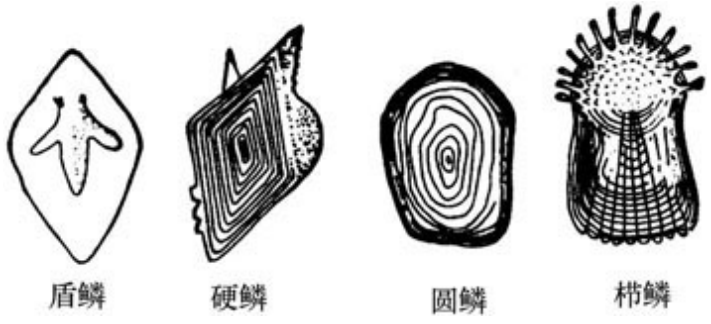


图6-7-6　鱼鳞的类型

①盾鳞：由菱形的骨质基板和隆起的圆锥形棘组成。为软骨鱼所特有。

②硬鳞：为斜方形骨板，原始硬骨鱼所特有，如中华鲟。

③骨鳞：为圆形鳞片。根据其后缘的形状可分为圆鳞和栉鳞。前者后缘光滑，如鲫鱼的圆鳞；后者后缘有锯齿状突起，如鲈鱼的栉鳞。

（二）鱼类躯体结构概述（图6-7-7）

1．体形　鱼类的形态多样，生活在不同水域中的鱼类其体形就有不同的适应性，可分成4类：纺锤形、侧扁形、平扁形、棍棒形。

2．身体部分　不论何种体形，其躯体都分为头、躯干和尾三部分。

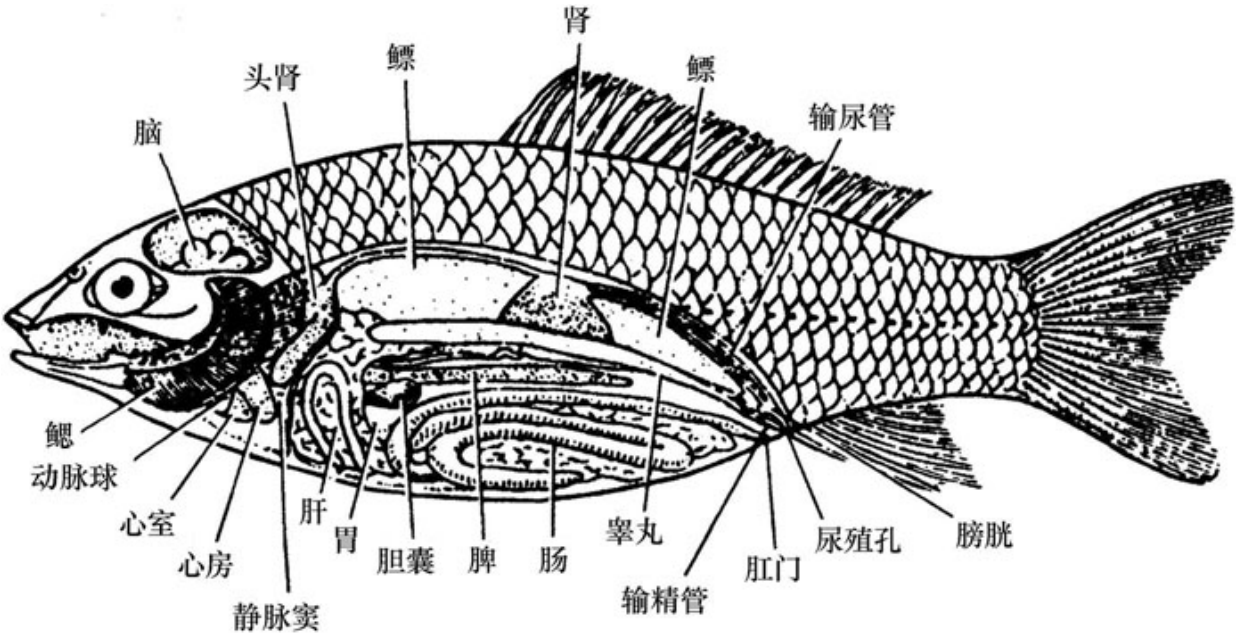


图6-7-7　鲤鱼的内脏

尾部又可根据尾椎和尾鳍的形状分为三种类型：原尾型、歪尾型、正尾型。

3．消化系统（1）不具唾液腺。（2）软骨鱼有形态固定的肝脏和胰脏。硬骨鱼肝脏和胰脏混合在一起，无固定形状，呈散状分布，统称为肝胰脏。（3）鱼类消化道的长短因食性不同而有很大差异。肉食性鱼类的胃、肠分化明显，肠管较短；草食性鱼类的胃、肠分化不明显，肠管较长。

4．呼吸系统　以鳃呼吸，咽部有5个鳃裂。鳃由鳃弓（着生鳃丝和鳃耙的骨架）、鳃耙（为滤食器官）和鳃丝（二列，组成鳃片，上面有丰富的毛细血管，为气体交换的场所）组成。软骨鱼：鳃裂直接开口体壁，二鳃片间有鳃间隔相连。硬骨鱼：鳃裂开口在鳃腔内，鳃

间隔退化消失，鳃腔外覆有鳃盖骨，以一总的鳃孔向外开口。大多数硬骨鱼有鳔，鳔在原始鱼类（总鳍鱼、肺鱼）有呼吸功能，在大多数鱼类是调节身体比重，控制沉浮的器官。

5．循环系统　（1）单循环，血液从静脉窦→心房→心室→动脉球→入鳃动脉→鳃微血管网气体交换。（2）心脏小，重量不到体重的1%。（3）血量少，血液循环速度慢。以上特点都是鱼类对代谢水平较低的水生生活的适应。

6．排泄系统　鱼类以中肾为排泄器官，排泄物为氨和尿素。生活在不同水环境中的鱼有不同的排泄机制：

（1）硬骨鱼类（表6-7-1）

表6-7-1　硬骨鱼的排泄系统

	体内含盐量	水环境含盐量	肾小体
淡水硬骨鱼	7％	＜2%	肾小体发达
海水硬骨鱼	7％	＞20%	肾小体退化，鳃上有泌盐细胞

（2）软骨鱼类：血液中有高浓度的尿素（20%～25%），体液浓度高于水的盐浓度，肾小体发达。

7．生殖系统　大多数雌雄异体，生殖腺通常成对。黄鳝雌雄同体，有性逆转现象，即性腺从胚胎期一直到性成熟都是卵巢，只产生卵子，经第一次繁殖后，卵巢内部发生了改变，而逐渐转变成精巢呈现出雄性特征。软骨鱼类一般为体内受精，行卵生、卵胎生或胎生，多数硬骨鱼为体外受精。

（三）鱼类的洄游

洄游是鱼类的一种周期性、定向性和群集性的迁徙运动。鱼类依靠洄游来寻找它在生活的某一时期所需要的特定环境。

1．生殖洄游　鱼类生殖腺发育成熟的一定时期内，沿着一定的路线寻找产卵场所。有如下几种情况：（1）由深海游向浅海和近海产卵称为近海洄游，如大、小黄鱼。（2）由海洋游向江河称为溯河洄游，如鲥鱼、大马哈鱼等。（3）由江河向海洋称为降河洄游，如鳗鲡。

2．索饵洄游　鱼类以寻找食物为主所作的洄游。其路线、方向和时间受饵料生物波动的影响较大，不像生殖洄游那么稳定。

3．越冬洄游　鱼类为寻求适宜水温所作的洄游。

（四）鱼纲的分类（图6-7-8）

鱼是脊椎动物中最大的类群，几乎分布于地球上所有水域。按骨骼性质划分为：软骨鱼类和硬骨鱼类。见表6-7-2。

表6-7-2　鱼纲的分类

	软骨鱼类	硬骨鱼类
骨骼	都是软骨	有软骨和硬骨
鳞片	都为盾鳞	有硬鳞或骨鳞
鳃	鳃裂直接开口体壁，无鳃盖，有鳃间隔	不直接开口体壁，有鳃盖，鳃间隔退化
口	口在头的腹面	口在头的前端
鳔	无鳔	大多有鳔
尾型	歪尾型	正尾型

1．软骨鱼类

骨均软骨，生活于海洋中，种类较少，如鲨，其鳍为鱼翅，皮可制革，肝含油量高，可制鱼肝油。分为板鳃亚纲和全头亚纲两个亚纲。

（1）板鳃亚纲

①鲨形总目：体呈梭形，鳃孔侧位，又称侧孔总目，胸鳍与头侧不愈合。背鳍背位，歪尾型。

②鳃形总目：体形扁平，鳃孔腹位，又称下孔总目，胸鳍前部与头侧相连。背鳍位于尾上，无臀鳍，尾鳍或有或无。

（2）全头亚纲：体表光滑或偶有盾鳞，有膜质鳃盖。最常见的是银鲛科的黑线银鲛。

2．硬骨鱼类

骨大部分为硬骨，包括大多鱼类，如中华鲟、青草鳞鲴四大家鱼、大小黄鱼、带鱼等。分为内鼻孔亚纲和辐鳍亚纲两个亚纲。

（1）内鼻孔亚纲：口腔内有内鼻孔。分总鳍总目和肺鱼总目。

（2）辐鳍亚纲：无内鼻孔。体被硬鳞、圆鳞或栉鳞，或裸露无鳞。占鱼类的90%。分9个总目，我国有以下8个总目：

①硬鳞总目：除具有硬骨鱼类的主要特征外，还保留有一些原始性状，如体被硬鳞质的菱形硬鳞，歪形尾，如中华鲟。

②鲱形总目：腹鳍腹位，鳍条不少于6枚，圆鳞。胸鳍基部接近腹缘，如鲥鱼。

③鳗鲡总目：体呈鳗形，腹鳍腹位或缺，背鳍及臀鳍的基底长，与尾鳍相连，个体发育有变态。

④鲤形总目：腹鳍腹位，鳔有管与食道相通，有韦伯氏器。

⑤银汉鱼总目：体被圆鳞，腹鳍腹位，鳍条5～9枚，背鳍与臀鳍对生。

⑥鲑鲈总目：体被圆鳞或皮肤裸露，腹鳍胸位或喉位，背鳍1～3个，臀鳍1～2个。

⑦鲈形总目：体被栉鳞偶有骨板或皮肤裸露，胸鳍胸位或喉位，鳍常有鳍棘。

⑧鳔鱼总目：体粗短，平扁或侧扁，皮肤裸露，有小刺或小骨板，腹鳍胸位或喉位。

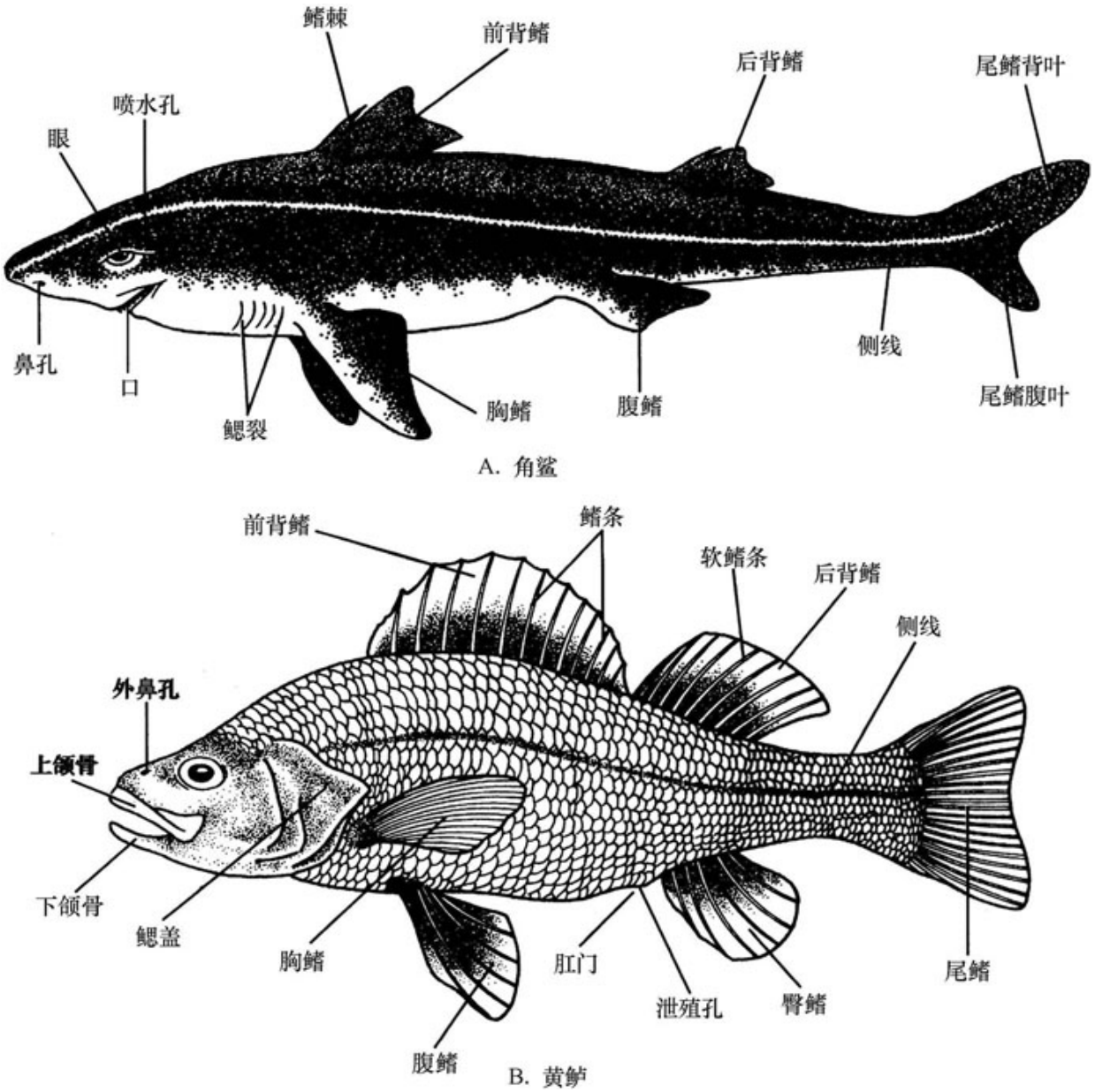


图6-7-8　鱼的外形

五、两栖纲

（一）两栖纲的主要特征

变温；幼体以鳃呼吸，成体以肺呼吸，辅以皮肤呼吸；皮肤多腺体和色素细胞，轻微角质化；具典型的五指（趾）型四肢；出现颈椎和荐椎的分化；心房出现分隔，为不完全双循环；出现中耳和在空气中传导声波的耳柱骨，具犁鼻器；体外受精，体外发育，幼体经变态转为成体。由于水、陆环境的巨大反差，两栖类的几乎每一个器官系统的形态结构都得到了深刻的演变，以初步适应陆地生活，既有一些典型的陆生脊椎动物的特征，又保留了水生脊椎动物的基本特征。

（二）两栖纲的躯体结构概述

1．外形　体形分蠕虫型、蝾螈型和蛙型。身体分为头、躯干、尾和四肢四个部分。

2．发育中有变态现象（表6-7-3）

表6-7-3　两栖类变态现象

	幼体	成体
生境	水生	陆生
呼吸器官	以鳃呼吸	以肺呼吸
侧线器官	具侧线器官	侧线器官退化
附肢	无五趾型附肢	有五趾型附肢
心脏	一心房、一心室	二心房、一心室
循环系统	单循环	不完全的双循环

3．呼吸系统有一对薄壁的囊状肺；不具支气管，口腔通过喉头室与肺相连；进行特殊的咽式呼吸；皮肤和口腔黏膜具有辅助呼吸作用。

4．循环系统　心脏由静脉窦、二心房、一心室和动脉圆锥组成；两栖类虽然既有体循环，又有肺循环，但由于心室不分隔，在心室中多氧血和缺氧血有混合现象，属于不完全的双循环；由于皮肤有辅助呼吸功能，在回静脉窦的静脉血中含有来自肺静脉的多氧血。

5．皮肤

裸露无鳞片，轻微角质化，表皮内有丰富的皮肤腺，如黏胞腺、毒腺，分泌黏液，使皮肤保持湿润，所以其皮肤有辅助呼吸的重要功能。

6．骨骼系统（图6-7-9）

（1）五趾型附肢

与鱼鳍的单支点不同，五趾型附肢是多支点，四肢骨中有愈合现象（如桡骨和尺骨愈合为桡尺骨）。

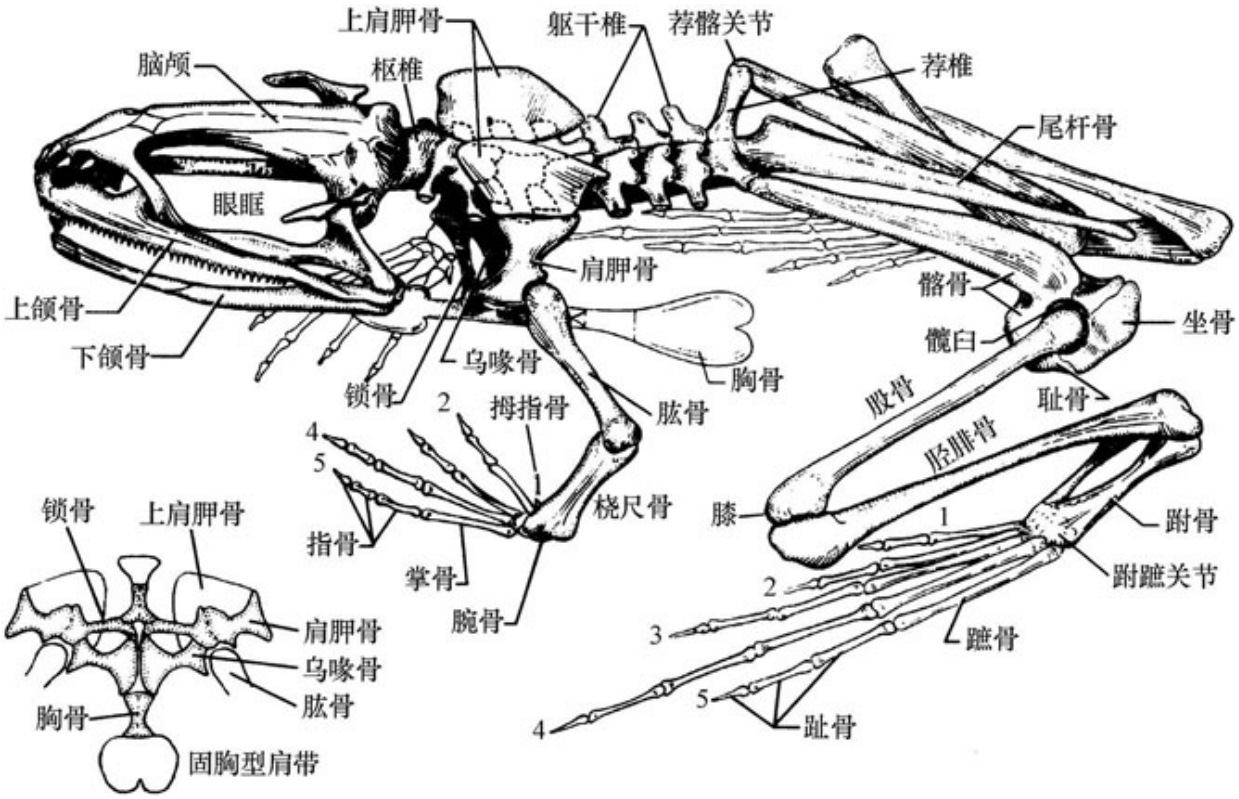


图6-7-9

（2）骨骼加固、分化

具1节颈椎，头骨与脊椎连接处有两个枕髁，脊椎分成四部分：颈椎、躯椎、荐椎、尾椎。有颈椎和荐椎是陆生脊椎动物的特征。颈椎：一块，由一对关节窝与枕髁形成关节。躯椎：双凹型，椎弓具前、后关节突。荐椎：一块，与腰带髂骨连接。尾椎：愈合形成棒状的尾杆骨。头骨：脱离了肩带，骨片愈合。肩带：不再与头骨愈合，肩带加固，由乌喙骨、肩胛骨、上乌喙骨、锁骨组成。腰带：形成髋臼，与股骨形成髋关节，由髂骨、坐骨、耻骨组成，并与荐椎相连形成关节以支撑体重。胸骨：仅在陆生四足类中开始出现。

7．排泄器官　幼体为前肾，成体为中肾。

8．神经系统与感官的发展　大脑分化成两个半球，具原脑皮（为大脑皮层的雏形），有10对脑神经；脑的五部分分化不高，仍处于同一平面上；大脑顶部开始出现原脑皮（神经物质）；中脑仍是神经系统的最高中枢；已具发育完备的植物性神经系统。

感觉器官的完善：（1）听觉：除内耳外，出现中耳。鼓膜位于皮肤表面。（2）视觉：角膜凸出，晶体稍扁平，晶体距角膜较远，适于

远视。具泪腺，下眼睑可活动，以湿润眼球。（3）嗅觉：出现内鼻孔、嗅黏膜。（4）侧线：水生幼体具侧线。

9．生殖　卵生，体外受精，不具钙质的卵壳。

（三）两栖纲动物的分类

由于两栖类对陆地生活适应的不完善，其分布有很大的局限，成为脊椎动物中种类数量最少，分布区最窄的类群，仅分布于淡水和潮湿环境中。大多为有益动物，可消灭农田害虫，有些种类可食用，如青蛙，有的可药用，如蟾蜍耳后腺分泌物制成蟾酥，具强心、解毒、消热功效。共分三目：无尾目、有尾目、无足目。

1．无尾目

种类最多的一类。成体无尾，具尾杆骨，有胸骨，无肋骨，四肢发达，善跳跃，如蛙等。

2．有尾目

具长尾，终生存在，发达。有分离的尾椎骨，有胸骨和肋骨。中国大鲵是现存最大的两栖动物。

3．无足目

原始，地下穴居，四肢退化，尾极短，有肋骨，无胸骨。我国仅有一种即版纳鱼螈。

两栖纲目的比较见表6-7-4。

表6-7-4　两栖纲目比较

	四肢	尾巴	胸骨	肋骨	代表动物
无足目	退化	极短	无	有	鱼螈
无尾目	有	无	有	无	青蛙
有尾目	有	长	有	有	大鲵 、蝾螈

六、爬行纲

（一）爬行纲动物的主要特征

1．出现羊膜卵（图6-7-10）

从爬行动物开始，形成羊膜卵，它具有一些特殊结构：石灰质或纤维质的卵膜（内壳膜、外壳膜、卵壳），卵壳坚硬，能防止卵变形、机械损伤和病原体侵入；卵壳上有气孔，可保证胚胎发育所需的气体交换。

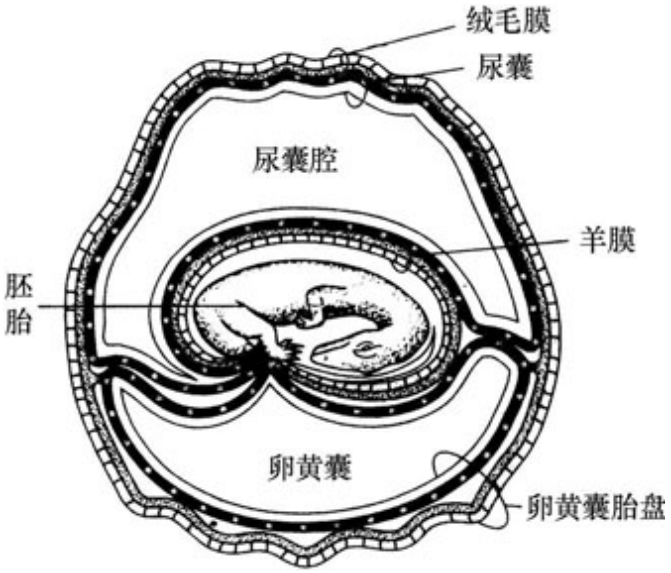


图6-7-10　羊膜卵结构

（1）羊膜卵的结构：在胚胎发育中形成羊膜、尿囊。

羊膜：在胚胎发育形成原肠后，胚胎周围的表层胚膜向上、下两个方向发生皱折并不断扩大，向上的皱折从底部包上去，最后两侧边缘愈合，内层包住胚胎形成羊膜。

羊膜腔：羊膜围住的腔为羊膜腔，里面充满羊水，胚胎悬浮于羊水中。

绒毛膜：向上折叠的外层胚膜成为绒毛膜（浆膜）。

尿囊：在胚胎消化道的后端形成的囊状突起，是胚胎的排泄和呼吸器官。

卵黄囊：胚膜的向下折叠愈合后内层形成卵黄囊，包住卵黄。

（2）羊膜卵的出现在动物进化上的意义：羊膜卵可以产在陆地上并在陆地上孵化；体内受精，受精无需借助水作为介质；胚胎悬浮在羊水中，使胚胎在自身的水域中发育，环境更稳定，既避免了陆地干燥的威胁，又减少振动，以防机械损伤；羊膜卵的出现是脊椎动物演化史上的一个飞跃。羊膜卵的出现解除了脊椎动物个体发育中对水的依赖，使脊椎动物完全陆生成为可能，使陆生脊椎动物能向陆地的各种不同栖息环境发展。

2．体形多样化

（1）爬行动物躯体分成五部分：头、颈、躯干、四肢和尾。

（2）为适应不同的生活环境，爬行动物的体形向多样化发展，可分成三种类型，即①龟鳖型：五部分化明显，躯体扁平，尾长短于体

长；②蜥蜴型：五部分化明显，尾长长于体长；③蛇型：五部分化不明显，四肢退化，尾长短于体长。

3．体被骨质鳞片或骨板

皮肤干燥，缺乏皮肤腺，表皮高度角质化，在表面产生角质鳞片，防止水分蒸发。爬行动物的皮肤衍生物有两类：一类为由表皮细胞骨化而成的角质鳞，另一类为由真皮衍生成的骨板。

4．骨骼和肌肉系统

骨化程度较高，硬骨比重大，趾端具爪，适于爬行；脊椎骨分化为陆生脊椎动物典型的五个区域：颈椎、胸椎、腰椎、荐椎、尾椎。躯椎分化为胸椎和腰椎，颈椎数目增多，荐椎增至2枚。第1、2节颈椎特化为寰椎和枢椎，与枕髁形成可动连接。

（1）四肢骨结构和运动特点：具有典型的五趾（指）型四肢，四肢骨与中轴骨呈横向直角关系，不能将身体抬离地面，运动时以爬行为主要方式。

（2）头骨特点：头骨具单一枕髁，并有颞窝形成。颞窝为头颅两眼眶后面的凹陷，是咬肌着生的部位。作用是增大咬肌附着面积，增强咀嚼能力。出现次生腭，次生腭使口腔和鼻腔分隔，内鼻孔后移，使呼吸通畅，效率提高，在吞食大型食物时可正常呼吸。鳄类有完整的次生腭，鼻腔和口腔完全分隔。

（3）开始具有胸廓，胸廓是羊膜动物所特有。爬行动物在颈椎、胸椎和腰椎两侧都有肋骨。胸椎、肋骨与胸骨形成胸廓，可保护内脏和加强呼吸作用。

（4）脊柱进一步分化为颈椎、胸椎、腰椎、荐椎、尾椎（图6-7-11）。①椎体：低等种类为双凹型，其余后凹或前凹。②颈椎：数目加多，第一为环（寰）椎、第二为枢椎，颈椎数目不定。环椎孔被一韧带分为上、下两部，上部通过脊髓，下部容纳齿突。③荐椎：2块，加强承重，横突发达，通过腰带关节使后肢承受体重的机能加强。

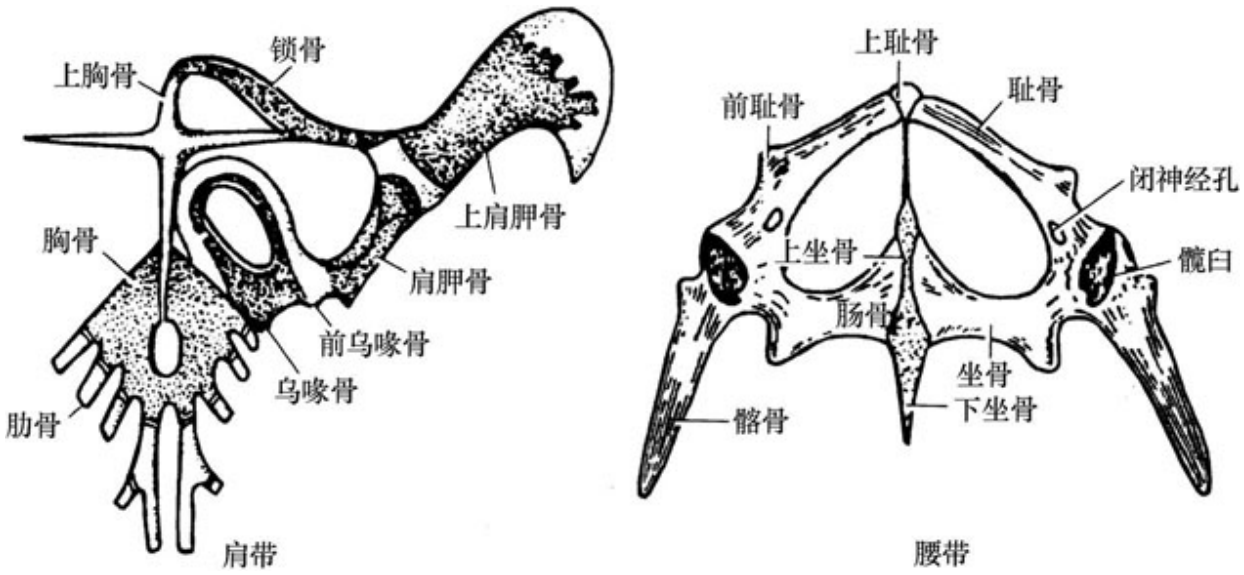


图6-7-11　蜥蜴的肩带和腰带

（5）肩带与两栖类基本相同，腰带骨间出现孔洞。耻骨和坐骨之间出现耻坐孔，减轻腰带重量，不影响承重能力。

（6）肌肉系统：躯干肌复杂化，肋间肌和皮肤肌出现。肋间肌（包括肋间外肌和肋间内肌）的运动牵引肋骨改变胸廓容积以完成呼吸动作。皮肤肌连接角质鳞片，其收缩可牵引鳞片辅助爬行，蛇类尤其发达。

5．消化系统

（1）具齿，出现牙齿，是重要的消化器官。脊椎动物的牙齿根据其着生部位可分3种类型：①端生齿，着生在颌骨的端面，是最原始的类型；②侧生齿，着生在颌骨的边缘内侧，如蜥蜴和蛇；③槽生齿，着生在颌骨上的齿槽内，最为牢固（图6-7-16）。

（2）具发达的口腔腺，能润湿食物，帮助吞咽。毒蛇的口腔腺特化为毒腺。

（3）大、小肠交界处开始出现盲肠，与纤维素消化有关。

（4）次生腭的出现使消化道和呼吸道分开。

（5）口腔和咽明显分化，食道延长。

6．呼吸系统

（1）肺呈海绵状，肺内壁具有较两栖类复杂的分隔，与空气交换面积扩大，有气管、支气管。

（2）进行咽式呼吸和胸式呼吸。

（3）次生性水生种类在咽和泄殖腔壁上都有丰富的毛细血管，可进行辅助呼吸。

7．循环系统

（1）心脏由二心房、一心室和退化的静脉窦组成，心室具有不完全的分隔，仍属于不完全的双循环。爬行动物中的高等类群鳄类，心室隔膜仅留一个孔，已基本属于完全的双循环。

（2）动脉圆锥消失，分化为肺动脉和左、右两根体动脉弓。

8．排泄系统

后肾完全失去体腔联系，以血管收集废物，后肾管输尿，排泄产物为尿酸。爬行类中的蜥蜴和龟鳖类具有尿囊，基部扩大形成的膀胱，在干旱地区的种类膀胱具有吸收水分的功能。许多种类在鼻部或眼部附近具有盐腺，能排出浓度很高的盐溶液。

9．神经系统

（1）大脑明显分为两半球纹状体，表层出现神经细胞集中的新脑皮，由于纹状体增大而使大脑体积增大，脑神经12对。

（2）延脑发达，在脑和脊髓之间形成弧度弯曲，称为颈弯曲，是高等脊椎动物的特征性标志。

（3）感觉器官：①内耳发达，鼓膜形成雏形的外耳道，有利于收集陆上声波。②具犁鼻器，是蛇和蜥蜴特有的化学感受器，位于口腔顶部。鳄与龟鳖类犁鼻器退化。③腹亚科的有红外线感受器——颊窝。

10．生殖

体内受精，卵生（羊膜卵，少数卵胎生，将卵产于温暖潮湿、阳光充足的地方；或有营巢习性，如多数毒蛇和一些蜥蜴类）。雄性泄殖腔壁具有可膨大伸出的交配器。

（二）爬行纲动物的分类

现存爬行类约5700种，分属4个目。

1．喙头目：是爬行纲中最古老的类群之一，大多生存在中生代。主要特征是嘴长似鸟喙，顶眼发达，端生齿，无鼓膜、鼓室；雄性无交配器官。现今仅残存一种喙头蜥（楔齿蜥）。它的外形和大蜥蜴相似，长可达75cm。其分布只限于新西兰东北部一些小岛上，被喻为“活化石”。

2．龟鳖目：是爬行纲中最为特化的一类，它的身体宽短，以硬壳保护身体。壳的内层为骨质板，外层为角质甲（如龟）或为软的表皮（如鳖）。一般营水栖生活（淡水或海水），少数营陆地生活，但产卵都在陆上，常见的种类有龟、鳖和海龟等。

3．有鳞目：这是现代爬行动物中数量最大、种类最多的一个目，分为蜥蜴亚目和蛇亚目。

蜥蜴亚目：大多数种类的前后肢都发达，眼发达有可动眼睑；具外耳道。例如石龙子、壁虎。非洲和马达加斯加岛产的避役，它的皮肤能随环境的变化而迅速变色，俗称变色龙。

蛇亚目：是较为特化的一支，适于用腹部爬行，体呈圆筒形，无四肢和胸骨（仅蟒蛇有后肢的残余），腰带可能存留，但肩带不一定存在。蛇能吞食比它自己身体还要粗的大型食物，其原因是构成上下颌的骨骼间都是能动的关节，这是蛇类具有的结构特点。肋骨的腹端支持腹鳞，靠脊柱的左右弯曲和皮下肌的作用而使肋骨移动，腹鳞也随之运动，蛇体就能以腹部贴地面而爬行。

4．鳄目：在爬行纲中结构最为高等。头骨骼具有特化的双颞窝，方骨不可动，槽生齿。四肢健壮，趾间具蹼。耻骨退化。尾侧扁。泄殖腔孔纵裂，雄体具单个交配器。我国特产的扬子鳄，是鳄类中较小型者，体长约2m，吻短而钝，属于纯吻鳄。鳄类和恐龙有共同的祖先，是恐龙的近亲。因此，在科学研究上有较高的价值。扬子鳄是世界公认的濒危种和禁运种，为我国的珍贵动物。

七、鸟纲

（一）鸟纲的主要特征

1．外形：体表被覆羽毛，具有流线型的外廓，以减小飞行阻力。羽毛是鸟类特有的皮肤衍生物，属表皮角质化的产物，与爬行类角质鳞同源，在进化过程中角质鳞片加大、变轻，沉入真皮，并由真皮提供营养。鸟类的羽毛有三种类型：正羽、绒羽、纤羽（毛羽）（图6-7-12）。

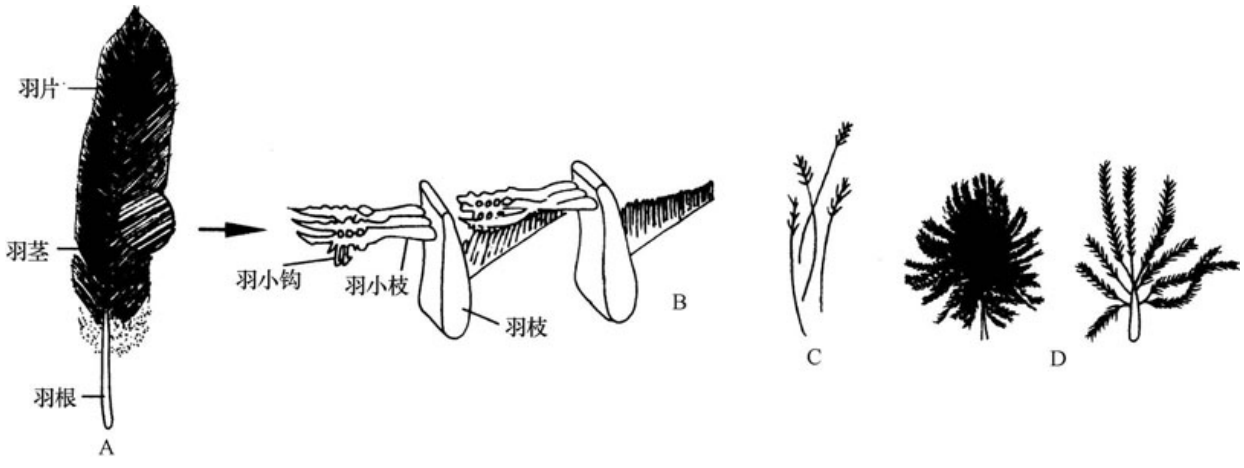


图6-7-12　鸟类的羽毛类型

A．正羽　B．正羽的羽枝、羽小枝　C．绒羽　D．纤羽

（1）正羽：被覆在体表的大型羽片。正羽的结构：羽小枝上有钩和槽，相邻羽小枝的钩槽相连，使羽片编织成结实而富有弹性的薄片。根据着生部位可分为下面两种：①飞羽：着生在翅膀上的正羽，飞翔作用。②尾羽：着生在尾部的正羽，相当于舵，起平衡作用。

（2）绒羽：密生在正羽下面，羽柄短，顶端发出细长的丝状羽枝，羽小枝上无钩、槽。

（3）纤羽：又称毛羽，夹在其他羽毛之间。

2．皮肤：皮肤薄而轻，缺乏皮肤腺。体被羽，羽毛是保护身体的第一道防线，皮肤的保护功能相对减弱。薄而松软的皮肤有利于皮肤的活动和肌肉的收缩。唯一的皮肤腺是皮脂腺，能分泌油脂，润泽羽毛。具有多种表皮衍生物，羽毛和角质喙是鸟类特有的皮肤衍生物。后肢趾端的爪和表面的角质鳞片均为皮肤衍生物。为减少飞行时羽毛间的摩擦，不使肌肉收缩受到限制，羽毛着生在体表的一定区域。羽区：有羽毛着生的区域。裸区：各羽区之间不着生羽毛的区域。不会飞翔的鸟类无裸区。

3．骨骼气质骨：即中空并充以空气的骨骼。骨骼充气，轻而坚固（气质骨），以减轻体重（图6-7-13）。

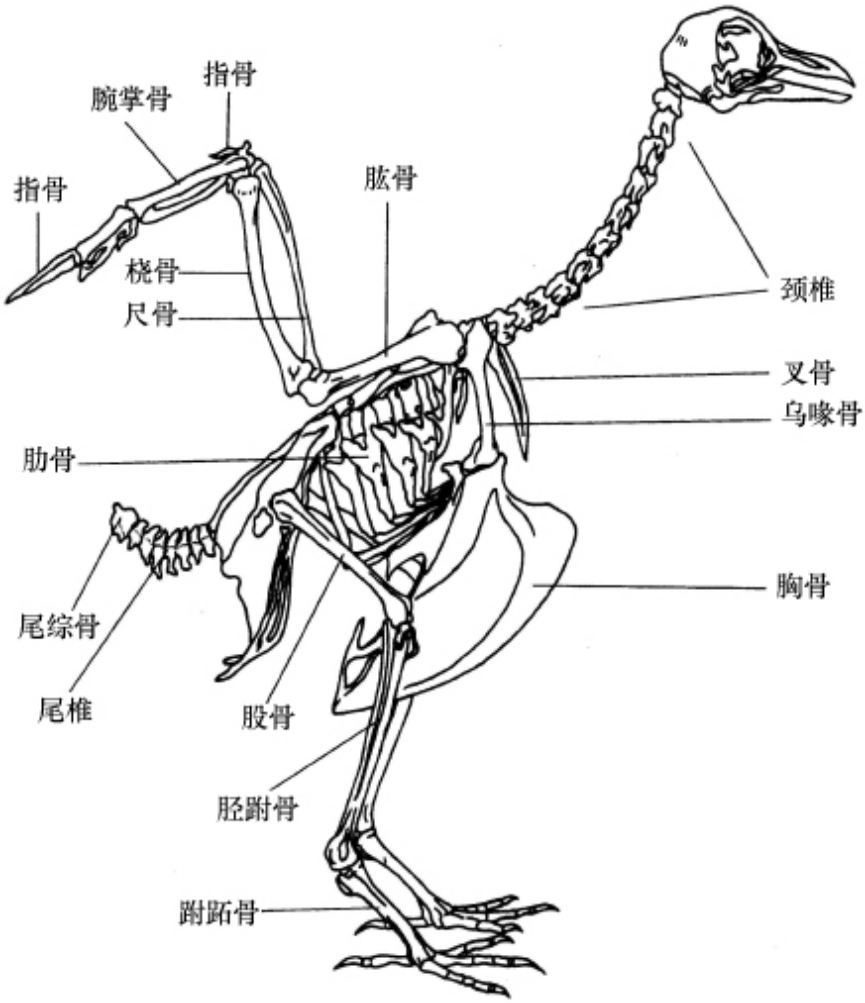


图6-7-13　家鸽的骨骼

（1）骨骼有愈合现象，以增加牢固度。①头骨：愈合成一个完整的头颅和大的眼窝，枕骨大孔移向腹面。②综荐骨：最后一个胸椎与腰椎、荐椎及一部分尾椎愈合而成，与组成腰带的骨骼（髂骨、坐骨、耻骨）愈合成开放性的骨盆，成为后肢强有力的支柱，以适应后肢支持体重。③尾综骨：最后几节尾骨愈合而成，以支撑大型尾羽，在飞行中保持平衡。④胫跗骨和跗跖骨：腓骨退化，后肢的胫骨和部分跗骨愈合成胫跗骨，部分跗骨和部分跖骨愈合成跗跖骨并延长，在鸟类起飞和降落时增加缓冲力。

（2）部分骨骼特化　①胸骨在腹中线处隆起特化成龙骨突，以扩大胸肌的附着面。失去飞翔能力的走禽无龙骨突，如鸵鸟。②前肢骨片多愈合或消失，仅留2、3、4指，指端无爪特化成翼。③上、下颌骨极度前伸，特化成鸟喙。④具V型锁骨。肩带中左右锁骨在腹中线愈合

成V字型，又称叉骨，为鸟类所特有。叉骨具弹性，当鸟类扇翅时避免左右乌喙骨的碰撞以保护内脏。

4．肌肉：与飞翔有关的胸大肌、胸小肌特别发达，约占体重的1/5。背部肌肉退化，因胸部、腰部脊椎骨愈合不能活动，使背部肌肉退化。皮下肌肉发达，皮下肌肉收缩可控制羽毛的运动。

5．消化系统：（1）没有牙齿，减轻体重；（2）直肠短，不贮存粪便；（3）消化能力特别强：①具嗉囊贮存食物；②胃分两部分：腺胃能分泌消化液，肌胃具厚肌肉壁，黏膜表面是一层角质膜，内含砂粒，起磨碎及消化食物。

6．呼吸系统：鸟类具有独特的肺和气囊而构成高效的呼吸器官。鸟类肺体积不大，但接触气体面积比人肺约大10倍（图6-7-14）。

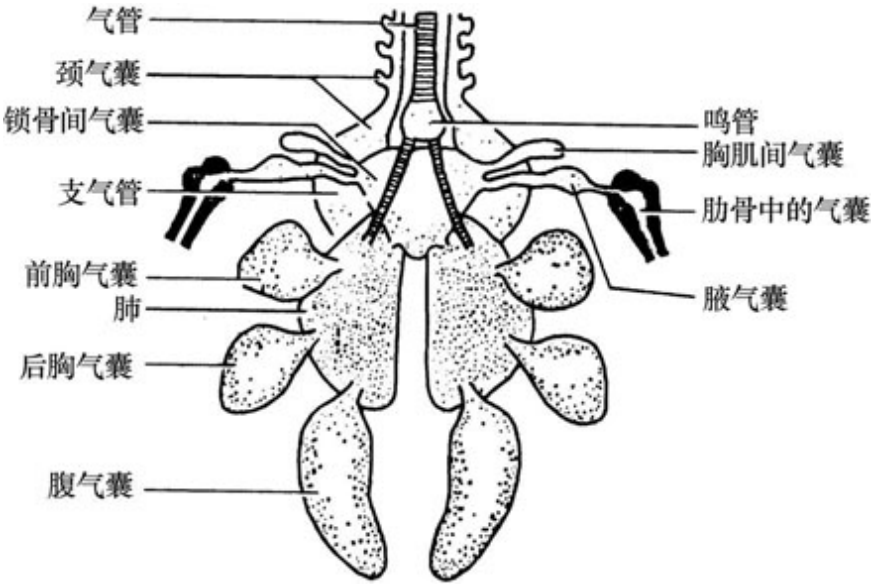


图6-7-14　家鸽的呼吸系统

（1）肺是由各级支气管组成的彼此互相吻合的网状管道系统。气管→支气管→肺。进入肺后支气管通过中支气管（初级支气管）到达肺的后部，与后气囊相连。中支气管在肺内分支出几组次级支气管（背、侧、腹支气管）。次级支气管再分支形成平行的副支气管（三级支气管）。副支气管分出许多微支气管。微支气管为毛细血管所包围，是气体交换的场所。

（2）肺部有9个气囊：①前气囊：锁间气囊1个；颈气囊1对；前胸气囊1对。②后气囊：后胸气囊1对；腹气囊1对。气囊的功能：参与双重呼吸；减轻体重，增加浮力；增加体内压力，减少肌肉及内脏器官之间的摩擦；调节体温。

（3）进行双重呼吸，即在吸气及呼气时肺内均能进行气体交换。

（4）具有鸣管。鸟类的发声器官是位于气管和支气管交界处的鸣管，而不在喉头处。鸣管由中央舌状突（半月膜）、侧壁上的鸣膜和鸣肌组成。鸣肌的收缩可调节鸣膜的紧张程度而发出不同鸣叫。鸣禽的鸣肌发达，可多达5～9对。

7．循环系统

（1）心脏分为四腔：二心房，二心室，为完全的双循环。

（2）静脉窦完全消失与右心房合并，左体动脉弓退化。

（3）心脏大，重量约占体重的0.4%～1.5%，在脊椎动物中占首位，是同等体重哺乳类心脏的1.4～2倍。

（4）心跳速率快，血压高，血液循环速度快。

以上的结构和功能保证鸟类高水平的新陈代谢正常进行。

8．泄殖系统：（1）排泄物为尿酸，可以固体状态排出。（2）不具膀胱，不贮存尿液。（3）多数种类无交配器，雌、雄鸟以泄殖腔孔相对以达到交配目的。输精管通入泄殖腔。（4）雄鸟具1对精巢，雌鸟右侧卵巢及输卵管退化。（5）输卵管不仅是生殖细胞的输出管道，其不同部位有着不同的功能：①蛋白质分泌部：管壁细胞能分泌蛋白质，形成蛋白；②峡部：形成内壳膜和外壳膜；③子宫：分泌物质形成蛋壳。

9．神经系统：（1）大脑纹状体高度发达而使大脑体积增大，是鸟类的智慧中枢，使鸟类具有复杂的本能活动和学习能力。（2）小脑发达，与鸟类飞翔时运动的协调和平衡有关。（3）中脑视叶发达，因嗅觉退化，其大脑嗅叶也退化。

10．感觉器官

（1）视觉发达，为适应快速飞行时的定向要求，有一系列适应性的变化。结构上的变化：①具瞬膜，为眼睑内侧的能开闭的半透明膜，其功能为在飞行中眼睑张开时，可防止异物伤害眼球。②具巩膜骨，为巩膜前面的一组小骨片组成的环，其功能为防止眼球变形。③具栉膜，为眼球后眼房内的一种含丰富色素和毛细血管的梳状结构，其功能为供给视网膜氧气和营养，调节眼球内部压力，使鸟类增加对移动物体的识别能力。④特殊的双调节机制，不仅能调节眼球晶状体的凸度，还能调节角膜的凸度和改变晶状体和视网膜之间的距离，这种眼球的调节方式称为双重调节。

（2）听觉有了雏形的外耳。

（3）嗅觉退化。

（二）鸟纲的分类

1．平胸总目

主要特征是后肢强大，胸扁平，无龙骨突，不具飞翔能力；羽毛分布全身，无羽区及裸区之分，羽枝不具羽小钩，因而不形成羽片。常见种类有鸵鸟等。

2．企鹅总目

潜水生活的中、大型鸟类，具有一系列适应潜水生活的特征。前肢鳍状，适于划水。具鳞片状羽毛（羽轴短而定，羽片窄），均匀分布于体表。尾短，腿短而移至躯体后方，趾间具蹼，适应游泳生活。在陆上行走时躯体近于直立，左右摇摆。皮下脂肪发达，有利于在寒冷地区及水中保持体温。骨骼沉重而不充气。胸骨具有发达的龙骨突起，这与前划水有关。游泳快速。该目分布限在南半球。代表为王企鹅。

3．突胸总目

通常翼发达，善于飞翔，龙骨突发达，最后4～6枚尾椎愈合为一块尾综骨。一般具有充气性骨骼，正羽发达，构成羽片，体表有羽区、裸区之分。雄鸟绝大多数不具交配器官。

该总目的鸟类种类繁多，为了研究方便，可以从两个方面来讨论它们的类群。

一个方面是根据生态类型分为游禽、涉禽、鹑鸡、鸠鸽、攀禽、猛禽和鸣禽七个生态类型。

游禽：喙扁阔或尖长，腿短而具蹼，翼强大或退化。

涉禽：喙细而长，脚和趾均很长，蹼不发达，翼强大。

鹑鸡：啄短而强，足和爪强健，翼短圆。

鸠鸽：喙短、基部具蜡膜，足短健，翼发达。

攀禽：喙强直，足短健、对趾型，翼较发达。

猛禽：喙强大呈钩状，足强大有力，爪锐钩曲，翼强大善飞。

鸣禽：喙外形不一，足短细，翼较发达。

另一个方面是根据形态结构特点分成若干个目来进行研究。以下介绍一些常见的目。

鹈形目：四趾向前，趾间具全蹼；嘴端成钩状，具发达的喉囊，雏鸟属于晚成鸟，游禽类，如鸬鹚等。

鹤形目：颈长、喙长、腿长，趾三前一后，四趾在同一平面上，幼鸟属晚成鸟，涉禽类，常见种类有白鹭等等。

雁形目：嘴扁平，具加厚的嘴甲，边缘具栉状突起；腿短后移，趾三前一后，前趾间具蹼，雄性翼上常具翼镜；雄鸟具交配器；雏鸟为早成鸟，游禽类。常见种类有天鹅、绿头鸭。

隼形目：嘴具利钩，爪发达，飞翔力强；视觉敏锐，猛禽类，雏鸟为晚成鸟。常见种类有鸢、红隼、金雕等。

鸡形目：体结实；喙短，为圆锥形；翅短圆，善走；雄鸟头顶有肉冠，羽色鲜艳；繁殖期行为复杂，鹑鸡类，幼鸟属早成鸟。如褐马鸡、红腹锦鸡等。

鹤形目：喙长，颈长和腿长，趾三前一后，趾间蹼不发达，后趾着生位置较高．与其他三趾不在同一平面上，幼鸟为早成鸟，涉禽类。常见种类有丹顶鹤、灰鹤等。

鸽形目：嘴短、具蜡膜；四趾位于同一平面上，足短健、善走；嗉囊发达，雏鸟为晚成鸟或早成鸟，鸠鸽类。常见种类有原鸽、毛腿沙鸡等。

鸮形目：嘴爪强大而钩曲；头大，眼大向前，眼周羽毛形成面盘；耳孔大，具耳羽，听觉敏锐；外趾能后转成对趾型，以利于攀援；幼鸟属晚成鸟，属猛禽类。主要种类有长耳鸮、短耳鸮等。

䴕形目：嘴呈锥状，适于啄木；舌长具角质小钩；趾两前两后；幼鸟属晚成鸟，攀禽类。常见种类如斑啄木鸟等。

雀形目：鸣管及鸣骨发达；足趾三前一后，在一个平面上，适于营巢，幼鸟属晚成鸟，鸣禽类。常见种类有云雀、家燕等。

八、哺乳纲

（一）哺乳纲的特征

1．哺乳动物的进化特征

（1）有高度发达的神经系统和感觉器官，能协调复杂的机能活动和适应多变的环境条件。

（2）出现口腔咀嚼和消化，大大提高了摄食的能力。

（3）胎生、哺乳保证了后代有较高的成活率。

（4）具有高而恒定的体温（约为25℃～37℃），减少了对环境的依赖性。

（5）具有在陆上快速运动的能力。

2．哺乳类的一般特征

（1）皮肤及其衍生物

皮肤由表皮、真皮和皮下组织构成。表皮又分为角质层和生发层。真皮由致密结缔组织构成，韧性强。哺乳动物皮肤的衍生物主要属表皮衍生的角质结构，如毛、爪、蹄和各种皮肤腺（如汗腺、皮脂腺等）。

毛是哺乳动物所特有的，可分为粗毛、绒毛和触毛三种类型。粗毛长而稀少，有毛向，耐摩擦，起着保护作用。绒毛细短而密，覆盖于皮肤上，造成一层不流动的空气层，起保暖作用。触毛长而硬，在嘴边，有触觉作用。哺乳动物一般每年换毛两次：春季和秋季换毛。换毛是哺乳动物对季节变化后的适应。

乳腺是哺乳动物所特有的，是一种管状腺与泡状腺复合的腺体，也可以认为是特化的汗腺。

（2）骨骼系统（图6-7-15）

总的来说，哺乳动物的骨骼相比鸟类的已有明显的发展，支持、保护和运动功能进一步完善。如肘关节方向向后，膝关节向前，提高了支撑和运动的能力。头骨全部骨化，骨片数目减少并且愈合，可以增加坚固性。具有2个枕骨髁与颈椎相连接。椎体为双平型，增强了脊柱的负重能力。颈椎7枚，以长颈而闻名的长颈鹿也不例外。

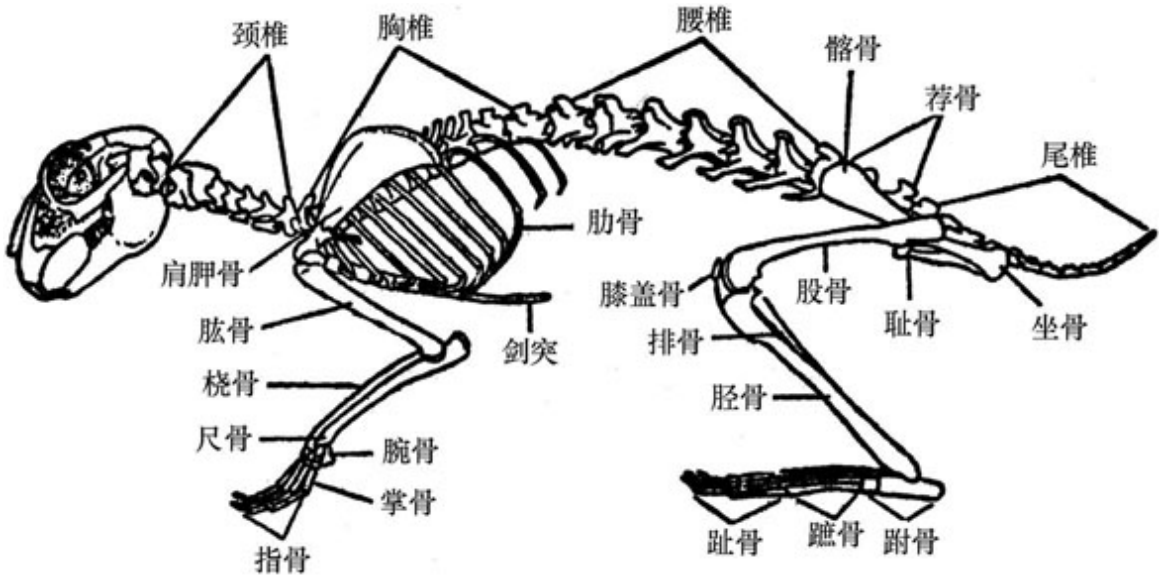


图6-7-15　家兔的骨骼

（3）肌肉

肌肉主要特点表现在四肢肌肉强大，以适应快速奔跑。此外，皮肤肌发达，咀嚼肌强大。具有特殊的膈肌，能将体腔分隔为胸腔与腹腔。在神经系统的调节下发生运动改变胸腔容积，是呼吸运动的重要组成部分。

（4）呼吸系统

哺乳动物的呼吸系统十分发达，由呼吸道和肺两部分组成。空气经呼吸道而进入肺。肺为海绵状，由很多微细支气管和肺泡组成。肺泡数量特别多，呼吸面积非常大。

（5）循环系统

心脏由左心房、右心房、左心室和右心室组成。具有左体动脉弓。左房室间有二尖瓣，右房室间有三尖瓣，瓣膜的存在可防止血液倒流。哺乳动物成熟的红细胞中没有细胞核。

（6）消化系统

哺乳类消化系统，在进化过程中有了很大的变化，表现在消化管分化程度较高，消化腺较发达，消化酶多样化，同时出现了口腔消化。哺乳动物的牙齿分为门齿（切牙）、犬齿（尖牙）和臼齿（磨牙）（图6-7-16），齿型和齿数是哺乳动物分类的依据之一。大多数哺乳动物无泄殖腔，具有肉质唇。

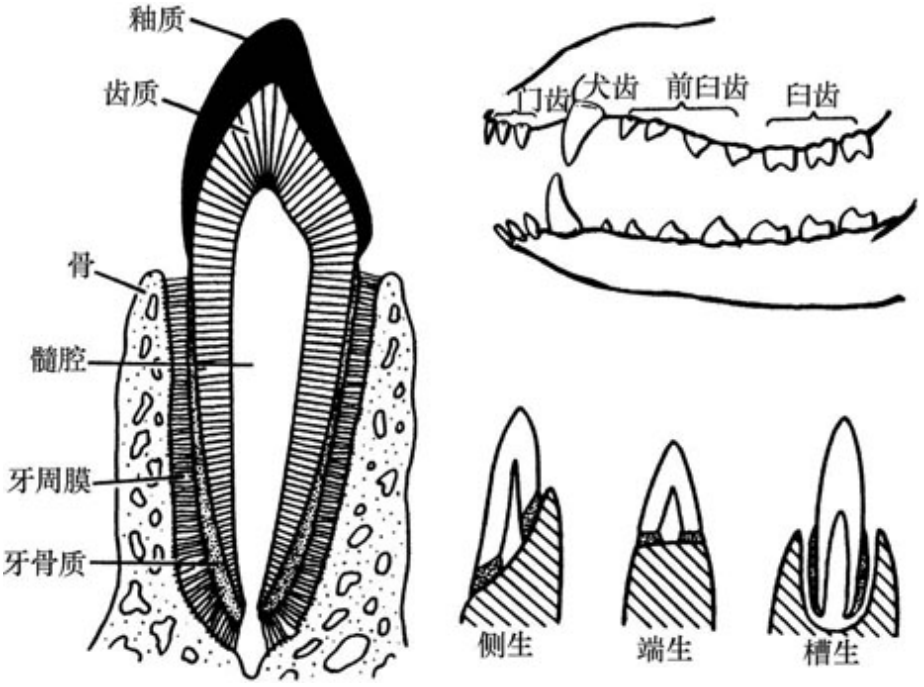


图6-7-16　牙齿的结构

（7）胎生、哺乳

哺乳动物一般具胎盘。如兔胚胎的卵黄囊中含卵黄很少，对供给胚胎发育的营养所起的作用不大。尿囊膜发达，和绒毛膜愈合在一起，其上产生许多分枝的突起，称为绒毛。尿囊膜、绒毛膜与母体子宫壁的结缔组织相连共同形成了胎盘。

胎儿借胎盘和母体联系并取得营养。产出的幼儿以母体的乳汁哺育。胎生方式对哺乳类的生存和发展提供了广阔的前景，为胚胎提供了保护、营养以及稳定的恒温条件，使外界环境对胚胎发育的不利影响降低到最小程度。

（8）神经和感觉

哺乳动物具有高度发达的神经系统，能够有效地协调体内环境的统一并对复杂的外界条件的变化迅速作出反应。神经系统也是伴随着躯体结构、功能和行为的复杂化而发展的。哺乳类神经系统主要表现在大脑和小脑体积增大、神经细胞聚集、皮层加厚。表面出现了皱褶（沟和回）。

哺乳类的感觉器官十分发达，主要表现在嗅觉和听觉的高度灵敏。

（二）哺乳纲分类概述

哺乳纲分为原兽亚纲、后兽亚纲和真兽亚纲三个亚纲。

1．原兽亚纲

主要特征是卵生，产多黄卵，雌兽尚具孵卵行为。无乳腺，无乳头。肩带与爬行类相似。有泄殖腔，大脑皮层不发达，无胼胝体，雄性不具交配器官。这类动物分布于澳洲及其岛屿，代表类群主要有鸭嘴兽、针鼹。

2．后兽亚纲

主要特征是胎生，幼仔发育不良，需在雌兽腹部的育儿袋中发育，泄殖腔趋于退化，肩带表现有高等哺乳类的特征。具有乳腺，异型齿。分布于澳洲及南美洲草原地带。典型代表有大袋鼠。

3．真兽亚纲

主要特征是具有真正的胎盘，不具泄殖腔。肩带为单一的肩胛骨，乳腺充分发育，具乳头。大脑皮层发达，有胼胝体。异型齿，体温恒定在37℃左右。现存哺乳类中的绝大多数种类属此。现就重要代表简述如下：

食虫目：个体较小，吻部细尖，适于食虫。四肢短小，指（趾）端具爪，体被刺毛或硬刺。夜行性。如刺猬。

翼手目：前肢特化具延长的指骨，有薄而柔韧的翼膜。后肢短小具长钩爪。胸骨具胸骨突起。夜行性。代表种类有蝙蝠。

兔形目：上颌有两对门齿，门齿前后线均具珐琅质。无犬牙，上唇具唇裂。代表动物如野兔。

啮齿目：体中小型。上下颌各具一对牙，仅前面被有珐琅质，终生生长。无犬牙，嚼肌发达。主要种类有松鼠、旱獭。

食肉目：门牙小，犬牙强大而锐利，上颌前臼齿和下颌第一臼齿特化为裂齿。指（趾）端常具利爪，脑及感官发达。常见的种类有狼、虎、狮。

长鼻目：具长鼻，鼻端有指突，能取食。具五指（趾）。上门牙发达，突出唇外，臼齿咀嚼面多行横棱。植食性。主要种类有亚洲象、非洲象。

奇蹄目：主要以第三指（趾）负重，其余各指（趾）退化或消失，指（趾）端具蹄，有利于奔跑。门牙发达，胃简单。主要种类有马、犀牛。

偶蹄目：第三、四指（趾）同等发育，其余各指（趾）退化。具偶蹄。尾短。主要种类有猪、牛。

灵长目：拇指（趾）多能与其他指（趾）相对，锁骨发达。指（趾）端多具指甲。大脑半球高度发达。两眼前视，雌兽有月经。主要种类如懒猴、猕猴、黑猩猩等。

【例题解析】

例1　脊索的形成是在以下哪个发育时期形成的（　　）

A．胚期

B．原肠胚期

C．神经胚期

D．其后的器官形成期

解析　原肠胚发育到最后，向外的开口——胚孔缩小。在胚胎的背面开始出现两条互相平行的隆起。这两条隆起逐渐联合起来，即形成神经管。胚胎发育的这一时期为神经胚期。在神经胚期，除形成神经管外，还要形成脊索和体腔。这个过程可在蛙胚神经褶晚期横切片上观察到。

答案　C

例2　下列有5种动物，即：a．金枪鱼；b．鲟鱼；c．澳洲肺鱼：d．银鲛；e．弓鳍鱼。按上述名称顺序，它们所属的正确类群依次是（　　）

A．全骨鱼类；肉鳍鱼类；软骨硬鳞鱼类；软骨鱼类；真骨鱼类

B．软骨硬鳞鱼类；软骨鱼类；全骨鱼类；肉鳍鱼类；真骨鱼类

C．真骨鱼类；软骨硬鳞鱼类；肉鳍鱼类；软骨鱼类；全骨鱼类

D．软骨鱼类；真骨鱼类；肉鳍鱼类；软骨硬鳞鱼类；全骨鱼类

解析　鱼类分为硬骨鱼类和软骨鱼类。其中只有银鲛为软骨鱼。硬骨鱼纲分为辐鳍亚纲和肉鳍亚纲，辐鳍亚纲：软骨硬鳞鱼次亚纲（原始的辐鳍鱼类如鲟鱼）、全骨鱼次亚纲（中间型的辐鳍鱼类如弓鳍鱼）和真骨鱼次亚纲（进步的辐鳍鱼类如金枪鱼）；肉鳍亚纲具肉叶状的鳍，呼吸空气，包括总鳍目和肺鱼目。

答案　C

例3　下列关于四足类锁骨的说法中，正确的是（　　）

A．锁骨是前肢骨的一部分，把肩胛骨连到胸骨上

B．锁骨是肩带的一部分，与胸椎直接关节

C．锁骨是前肢骨的一部分，把前肢骨连到肩胛骨上

D．锁骨是肩带的一部分，不与脊柱直接相关节

解析　肩带的主要骨块为肩胛骨、锁骨、乌喙骨；四足类的肩带不与头骨和脊柱相连，乌喙骨在哺乳类退化。

答案　D

例4　下列哪一组动物均有内鼻孔（　　）

A．蛙、龟、鸵鸟、肺鱼

B．七鳃鳗、狗、猫、石龙子

C．草鱼、陆龟、鸭嘴兽、文鸟

D．文昌鱼、蟾蜍、肺鱼、鲤鱼

解析　内鼻孔与口腔相连。文昌鱼、圆口类和鱼类没有内鼻孔，直到两栖类才出现内鼻孔，肺鱼比较特殊，有内鼻孔。

答案　A

例5　下列哪一组动物具有后肾（　　）

A．鳐鱼、鲤鱼、中国大鲵

B．鲸鱼、鲨鱼、狗

C．麻雀、扬子鳄、家兔

D．鲨鱼、麻雀、鸭嘴兽

解析　爬行动物以上的羊膜动物，成体的肾为后肾；鱼类和两栖类胚胎期以后的排泄器官为中肾。

答案　C

例6　胎盘是由母体子宫内膜与胎儿的下列哪部分结合而成（　　）

A．绒毛膜

B．尿囊

C．绒毛膜与尿囊

D．羊膜

解析　胎盘是由胎儿的绒毛膜和尿囊，与母体子宫壁内膜结合起来形成的。

答案　C

例7　鸟类呼吸时新鲜空气通过肺部的方向是（　　）

A．吸气时新鲜空气从头方到尾方穿过肺，呼气时是从尾方到头方穿过肺

B．吸气和呼气时新鲜空气均从头方到尾方穿过肺

C．吸气和呼气时新鲜空气均从尾方到头方穿过肺

D．吸气时新鲜空气从头方到尾方穿过肺，呼气时是从尾方到头方不通过肺

解析　鸟类具有独特的双重呼吸，在呼气和吸气时均有前后气囊的参与。在吸气时一部分新鲜空气经初级支气管直接进入后气囊储存，另一部分空气最终进入肺的微支气管进行气体交换。呼气中废气经前气囊排出的同时，储存在后气囊中的新鲜空气再一次进入肺内进行气体交换。因此，鸟类无论在吸气或呼气时均有新鲜空气进入肺部进行交换。这种呼吸方式称为双重呼吸。

答案　C

例8　尿酸是以下哪些动物的主要排泄物（　　）

A．哺乳类、鸟类、甲壳类

B．爬行类、昆虫、哺乳类

C．鸟类、寡毛类、昆虫

D．爬行类、昆虫、鸟类

解析　昆虫。陆生软体动物（如蜗牛）的含氮废物和爬行类、鸟类一样，主要是尿酸，这是生物趋同进化的一个实例。甲壳类的含氧废物主要是氨。寡毛类的蚯蚓含氮废物既含氨，又含尿素，同时还含少量尿酸。

答案　D

例9　下列关于鸟类分类中对趾足的说法中，正确的是（　　）

A．对趾足是鸟的第一、第二趾向前，第三、第四趾向后

B．对趾足是鸟的第二、第三趾向前，第一、第四趾向后

C．对趾足是鸟的第三、第四趾向前，第一、第二趾向后

D．对趾足是鸟的第一、第四趾向前，第二、第三趾向后

解析　对趾足是鸟足型的一种。这种足型的特点是第一与第四两趾向后、第二与第三两趾向前，故又称等趾足。这种足型适于攀援树木。一般把这类鸟称为攀禽，如啄木鸟等。

答案　B

例10　下列哪一组器官均为中胚层衍生物（　　）

A．脑下垂体前叶，脊髓，小肠，肺

B．脊索，腹直肌，红细胞，睾丸

C．耳咽管，甲状腺，消化道内壁黏膜，胰脏

D．胆囊，直肠末端，肝脏，消化道表面浆膜

解析　内胚层形成消化腺和消化道、呼吸道的内表皮；外胚层形成神经、感官和外表皮等体表结构；其余为中胚层形成。A选项中的脑下垂体前叶和脊髓隶属神经系统，是外胚层衍生物，小肠是消化道的一部分，肺是呼吸上皮，两者都是内胚层衍生物。C选项中的甲状腺分化自咽部，是外胚层衍生物。而咽管、消化道内壁黏膜和胰脏是内胚层衍生物。

答案　B

例11　下列哪一组腺体或腺细胞没有导管（　　）

A．哈氏腺，前列腺，眶下腺，胸腺

B．颌下腺，甲状旁腺，尿道球腺

C．泪腺，甲状腺，鱼类精巢，鱼类卵巢

D．哺乳类卵巢，睾丸间质细胞，胰岛，甲状腺

解析　内分泌腺没有导管。A选项中的哈氏腺属于眼窝腺。眶下腺（兔类特有）和B选项中的颌下腺均属于唾液腺。这些腺体和前列腺、尿道球腺、泪腺都是外分泌腺，都有导管。鱼类的精巢和卵巢能输送生殖细胞，最后汇入输精管和输卵管，却有导管。但是哺乳类卵巢能分泌雌激素，不与输卵管相连，是内分泌腺；睾丸间质细胞分泌雄激素和甲状腺胰岛同属于内分泌腺，无导管。

答案　D

例12　哺乳动物新出现的奇静脉及半奇静脉，相当于低等四足动物退化的后主静脉前段。请问奇静脉和半奇静脉位于胸廓的位置是（　　）

A．奇静脉和半奇静脉都位于胸廓的左侧

B．奇静脉和半奇静脉都位于胸廓的右侧

C．奇静脉位于胸廓的左侧，半奇静脉位于胸廓的右侧

D．奇静脉位于胸廓的右侧，半奇静脉位于胸廓的左侧

解析　奇静脉是指由哺乳类胎儿的右主静脉发育而成的静脉。在成体中随着一部分主静脉的退化而发生变化，即奇静脉沿脊柱上行，然后斜行并从脊柱的右侧伸出，再上行与大静脉汇合。与奇静脉相对的是半奇静脉，它原来是胎儿的左主静脉，在第七至第八胸椎前与奇静脉汇合。

答案　D

例13　脊椎动物中新脑皮最早出现于（　　）

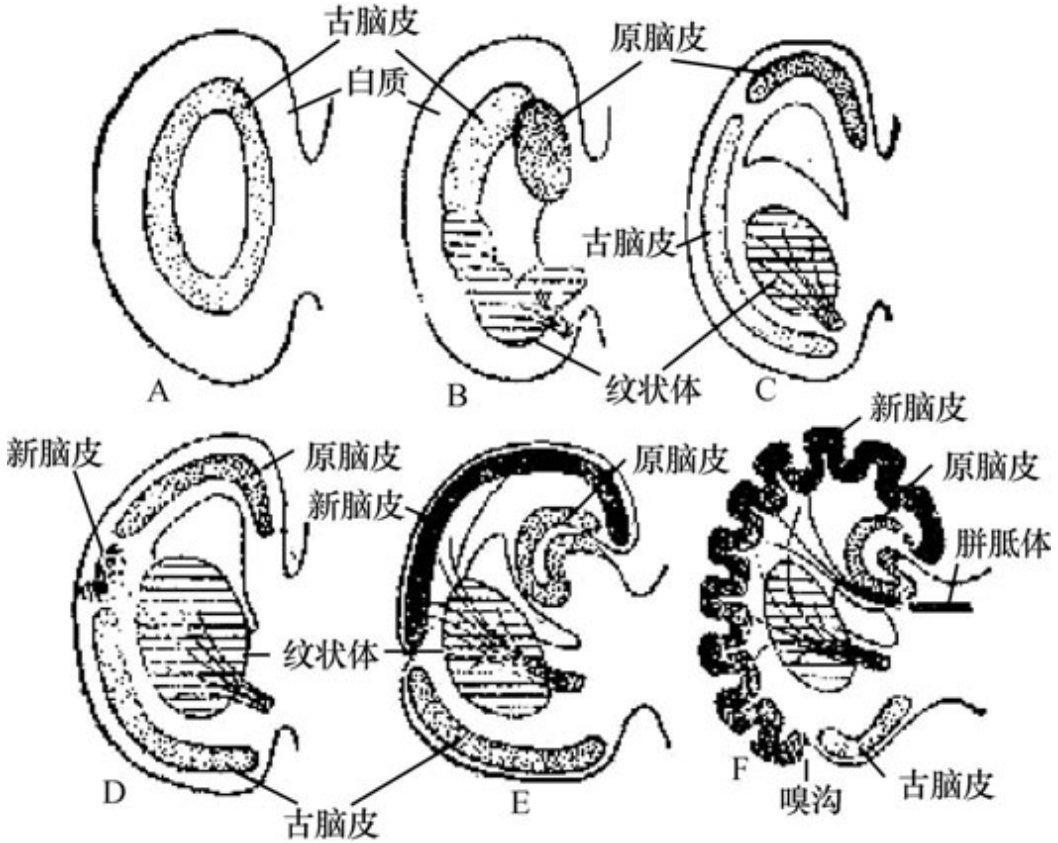
A．两栖类

B．爬行类

C．鸟类

D．哺乳类

解析　脑皮或称大脑皮层。在系统进化中，脑皮可以分为3个阶段：古脑皮、原脑皮和新脑皮。古脑皮在鱼类中开始出现，是指原始类型的脑皮，灰质位于内部靠近脑室处，白质包在灰质之外。原脑皮出现于肺鱼和两栖类，这一阶段的灰质分为3部：位于脑顶部外侧的为古脑皮；新出现的原脑皮位于脑顶部内侧，神经细胞已开始由内部向表面移动，原脑皮和古脑皮皆是和嗅觉相联系；第三部分为位于腹侧的纹状体。新脑皮自爬行类开始出现，到哺乳类得到高度发展，神经元数量大增，排列在表层且层次分明，它们在半球内以联络纤维错综复杂地相互联系，又通过胼胝体在两半球之间联系，并有上行与下行的纤维与脑干各部分相通，形成一个强大的高级神经活动的中枢。较高等的种类，大脑表面形成沟、回，使表面积大为扩大。原有的古脑皮、原脑皮、纹状体皆退居次要地位成为大脑的低级中枢。古脑皮被推挤到腹面成为梨状叶，以嗅沟与新皮层为界；原脑皮则突向侧脑室中成为海马。



脑皮在各纲的演变

A．原始阶段；B．两栖类；C．原始爬行类；D．高等爬行类；E．原始哺乳类；F．高等哺乳类

答案　B

例14　下列哪一组都是表皮衍生物（　　）

A．汗腺、鹿角、指甲

B．圆鳞、栉鳞、鸟羽

C．角质鳞、犀角、指甲

D．乳腺、羚羊角、盾鳞

解析　汗腺等皮肤腺是表皮的衍生物；爪、蹄、指甲是表皮的衍生物；鹿角是实角，为真皮骨化物；犀牛角是毛特化产物，毛是表皮的衍生物；羚羊属牛科，羚羊角为实角（牛角），是头骨的特化物；圆鳞、栉鳞属骨鳞，仅见于硬骨鱼类，是真皮的衍生物；角质鳞表皮角质化的产物，是表皮的衍生物；鸟羽，分正羽、绒羽、纤羽等，表皮角质化的产物，属表皮衍生物；乳腺为腺上皮组成（表皮为上皮组织），可称为表皮衍生物。盾鳞由表皮与真皮共同形成，是板鳃软骨鱼类所独有的特征，由菱形的基板和附生在基板上的鳞棘（棘突）组成。基板和棘突都是由真皮形成的骨质板构成的，从基板到棘突，中央有1条管腔，内含结缔组织、血管和神经，并在基板上有孔通于真皮。棘突向体后伸出，它的外面覆有1层由表皮形成的釉质。从盾鳞的结构和来源看，都和高等脊椎动物的牙齿相似，两者是同源器官，故盾鳞又称“皮齿”。

答案　C

例15　下丘脑是（　　）

A．中脑的一部分

B．前脑的一部分

C．后脑的一部分

D．菱脑的一部分

解析　大脑包括前脑、中脑、菱脑，前脑可分成端脑（大脑）和间脑，下丘脑属于间脑。

答案　B

例16　蜂鸟心脏的跳动频率（　　）

A．较鸵鸟心脏的跳动频率高

B．较鸵鸟心脏的跳动频率低

C．等于鸵鸟心脏的跳动频率

D．蜂鸟心脏跳动频率无法测定

解析　蜂鸟由于个体小，新陈代谢速率比较快，血液循环快，所以心跳频率较高。

答案　A

例17　牛的食物何处进行初步消化后逆呕到口腔中重新咀嚼（　　）

A．瘤胃和网胃内

B．瘤胃和皱胃内

C．瓣胃和网胃内

D．瓣胃和皱胃内

解析　食草动物中的反刍类的胃由四室组成：瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃。前三个胃室为食道的变形，皱胃为胃本体，具腺上皮，能分泌胃液。反刍过程是：食物进入瘤胃后，在微生物（细菌、纤毛虫、真菌）作用下，发酵分解。存于瘤胃中的粗糙食物上浮，刺激瘤胃前庭和食道沟，引起逆呕反射，将粗糙食物逆行经食道入口再行咀嚼。咀嚼后的细碎和比重较大的食物再经瘤胃与网胃的底部，达于皱胃。反刍过程可反复进行，直至食物充分分解。

答案　A

【针对训练】

（一）单选题

1．脊椎动物的口腔和食道的上皮组织是（　　）

A．单层柱状上皮

B．单层立方上皮

C．单层扁平上皮

D．复层扁平上皮

2．陆生脊椎动物的肺，从来源和位置来说，它起源于（　　）

A．外胚层

B．中胚层

C．内胚层

D．不能确定

3．鸟类的特化特征为（　　）

A．多具有龙骨突，具气囊与肺相通

B．体温高而恒定，无皮肤腺

C．具气囊与肺相通，无皮肤腺

D．多具有龙骨突，体温高而恒定

4．大马哈鱼在秋季由海里游到黑龙江、松花江、图们江去产卵，这种现象称为（　　）

A．生殖洄游

B．季节洄游

C．索饵洄游

D．溯河洄游

5．下列对于脊椎动物形态结构的表述中，正确的是（　　）

A．侧线器官是水生鱼类所特有的

B．内鼻孔出现于鱼类

C．跗间关节始见于爬行动物

D．槽生齿是哺乳类特有的

6．在鱼类养殖业中，下列属于混合放养所依据的原理是（　　）

A．不同的鱼洄游规律是不同的

B．不同的鱼栖息水层和食性的不同

C．不同的鱼生殖季节不同

D．不同的鱼对氧气的需要量不同

7．下列脊椎动物中，不具有内鼻孔的动物是（　　）

A．鱼

B．蛙

C．蛇

D．鸟

8．指出下列动物和其特征的正确关系（　　）

A．鲤鱼——不喝水、排泄尿素

B．鸽——主动排盐、排泄氨

C．鲸——不喝水、排泄尿素

D．鼠——主动排盐、排泄氨

9．两栖类的头骨与哪一结构相连（　　）

A．双枕髁

B．单枕髁

C．寰椎

D．枢椎

10．两栖类成体的心脏是由哪些部分构成的（　　）

A．静脉窦、心房、心室

B．动脉圆锥、静脉窦、心房、心室

C．动脉圆锥、心房、心室

D．心房、心室

11．下列描述中哪一个是不正确的（　　）
A．鱼的鳞片是表皮鳞
B．人的毛是表皮衍生物
C．牛角起源于表皮
D．蛇的鳞片是表皮鳞
12．在狗的头骨中，由前颌骨、上颌骨和腭骨构成了（　　）
A．初生颌
B．次生颌
C．初生腭
D．次生腭
13．在鱼的血液循环中，流经心脏的血是（　　）
A．全部是动脉血
B．全部是静脉血
C．左边部分是动脉血，右边部分是静脉血
D．右边部分是动脉血，左边部分是静脉血
14．以下哪些都是表皮衍生物形成的（　　）
A．乳腺、指甲、毛
B．圆鳞、栉鳞、鸟羽
C．汗腺、鹿角、指甲
D．角质鳞、盾鳞、牛角
15．胸廓是动物进化过程中的进步性特征，第一次出现在（　　）
A．两栖类
B．爬行类
C．鸟类
D．哺乳类
16．蛇和鸟类的膀胱属于（　　）
A．泄殖腔膀胱
B．尿囊膀胱
C．管状膀胱
D．以上都不是
17．鸟类的颈椎属于（　　）
A．双凹型椎体
B．前凹型椎体
C．后凹型椎体
D．异凹型椎体

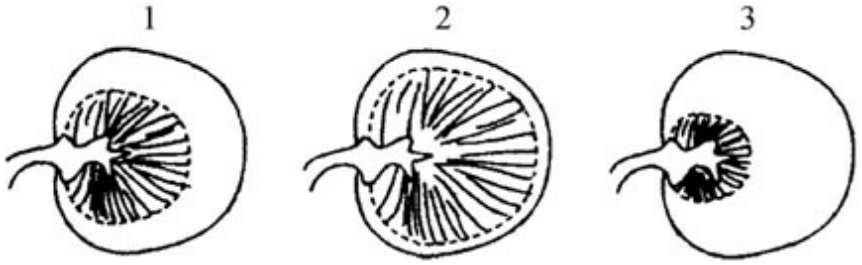
18．下列动物中，是胎生但不具真正胎盘的动物是（　　）
A．针鼹
B．豪猪
C．鸭嘴兽
D．袋鼠
19．鸟类和哺乳类中最大的目分别是（　　）
A．雁形目、食虫目
B．鸻形目、啮齿目
C．鸡形目、兔形目
D．雀形目、啮齿目
20．大脑的胼胝体首先出现于（　　）
A．两栖类
B．爬行类
C．鸟类
D．哺乳类
21．下列关于4种动物尾巴的功能的叙述中，正确的是（　　）
A．避役的尾巴可攀树
B．袋鼠的尾巴是重型武器
C．鳄鱼的尾巴能支撑身体
D．黄鼠狼的尾巴会发出警告气味
22．下列动物中哪种动物的尾部肌肉最发达（　　）
A．鲤
B．蛙
C．鸽
D．兔
23．通过消化道小肠吸收的营养，输送到肝脏的血管是（　　）
A．肝静脉
B．肝动脉
C．肝门静脉
D．肾门静脉
24．引起鸟类迁徙的原因很多，目前普遍认为对鸟类的迁徙活动影响最大的非生物因素是（　　）
A．食物
B．光照
C．气候
D．植被外貌

25．在白天捕食，夜间迁徙的鸟类，其迁徙的定向依靠（　　）
A．太阳和月亮的位置
B．星辰的位置
C．训练和记忆
D．地形地貌
26．羊膜动物的脑神经有（　　）
A．10对
B．11对
C．12对
D．13对
27．下列哪一项不属于鸟的羽毛的主要功能（　　）
A．保持体温形成隔热层，也可调节体温
B．构成飞翔器官的一部分如飞羽等
C．使外廓更呈流线型，减少飞翔时的阻力，并有保护皮肤的作用
D．有利于保持体内的水分
28．羊膜卵（如蛇蛋、鸡蛋）在胚胎发育过程中的呼吸和排泄器官分别是（　　）
A．肺和肾
B．鳃和前肾
C．尿囊和尿囊
D．鳃和尿囊
29．高等动物的周围神经系统包括（　　）
A．脊髓、脑神经、自主神经系统
B．自主神经系统、脑神经、脊神经
C．脑、脊神经、交感神经
D．脑、脊神经、交感神经、副交感神经
30．下列属于卵生动物的是（　　）
A．蝎子
B．灰星鲨
C．袋鼠
D．针鼹
31．大象的两颗大牙相当于人类的（　　）
A．门齿
B．犬齿
C．前臼齿
D．后臼齿

32．哺乳动物中肠的基本结构从外到内依次为（　　）
A．黏膜层、黏膜下层、肌肉层、浆膜
B．浆膜、黏膜下层、肌肉层、黏膜层
C．肌肉层、黏膜层、黏膜下层、浆膜
D．浆膜、肌肉层、黏膜下层、黏膜层
33．哺乳动物的乳腺是下列哪种腺体的特化（　　）
A．皮脂腺
B．汗腺
C．味腺
D．臭腺
34．A、B、C、D四个试管中分别盛有四种不同类群动物的尿液，根据分析结果，属于鸟类尿液的是（　　）
A．氨84%，尿素6%～7%，尿酸5%
B．尿素84%，尿酸60%～7%，氨5%
C．尿酸84%，氨6%～7%，尿素5%
D．氨84%，尿酸5%，尿素6%～7%
35．鱼、鸟和哺乳动物三类动物中，视力好坏的关系是（　　）
A．鱼＞鸟＞哺乳动物
B．鸟＞哺乳动物＞鱼
C．哺乳动物＞鱼＞鸟
D．鸟＞鱼＞哺乳动物
36．哺乳动物的牙齿和爬行动物的牙齿的主要区别是（　　）
A．着生位置不同
B．结构不同
C．功能不同
D．齿型的分化程度不同
37．哺乳类下颌的构成是（　　）
A．齿骨和隅骨
B．齿骨、隅骨和关节骨
C．齿骨、隅骨和方骨
D．齿骨
38．下列哪些生物与发育过程中可见的胚外膜的关系是正确的（　　）
A．鱼——羊膜
B．蛙——尿囊
C．爬行类——卵黄囊

D．蛙——绒毛膜

39．下图是3种不同动物狸鼠、棕鼠和袋鼠的肾切面图，其皮层和髓区的大小按真实肾的皮层和髓区大小比例而画出。



狸鼠生活在淡水中，从不缺水喝；棕鼠可以在几天内不喝水；袋鼠生活在沙漠中，可以很长时间不喝水。问：与上图肾的排序匹配的一组动物是（　　）

A．棕鼠、狸鼠、袋鼠

B．袋鼠、棕鼠、狸鼠

C．棕鼠、袋鼠、狸鼠

D．袋鼠、狸鼠、棕鼠

40．下列动物中，小肠相对最长且最弯曲的是（　　）

A．野猪

B．家兔

C．山羊

D．野马

41．我国有俗称“金鸡”“银鸡”“铜鸡”的3种鸟类，它们分别是（　　）

A．红腹锦鸡、白腹锦鸡、白鹇

B．红腹锦鸡、白鹇、白腹锦鸡

C．红腹锦鸡、原鸡、白鹇

D．褐马鸡、白鹇、原鸡

42．犀牛有几个负重的趾（　　）

A．1个

B．2个

C．3个

D．4个

43．在支撑脊椎动物身体的中轴骨骼中，哪种动物还能找到残存脊索的结构（　　）

A．鲟

B．青蛙

C．蛇
D．鸡
44．下列哪一项与鸟巢抚育后代无关（　　）
A．鸟卵不会随便滚散，可以集中起来孵化
B．帮助雏鸟和亲鸟维持恒定的体温
C．能保护卵、雏鸟和亲鸟免遭天敌的伤害
D．有利于亲鸟外出捕食
45．下列哪种动物的臼齿最发达（　　）
A．家鼠
B．猿
C．虎
D．牛
46．下列哪一类动物的肺中，既没有肺泡也没有弹性（　　）
A．鹰
B．猪
C．人
D．鳄鱼
47．大脑的新脑皮是脊椎动物神经系统发展到高级阶段出现的，它是从下列哪类动物开始出现的（　　）
A．两栖纲
B．爬行纲
C．鸟纲
D．哺乳纲
48．下列有关哺乳动物角的说法中，不正确的是（　　）
A．洞角不分叉，终年不更换
B．犀牛角是毛的特化产物
C．实角是真皮骨化的产物
D．长成后的鹿角可作为贵重的中药——鹿茸
E．长颈鹿的角同鹿角并不相同
49．覆盖在家鸽背部外面的一片片羽毛属于（　　）
A．正羽
B．绒羽
C．纤羽
D．飞羽
50．牙齿在脊椎动物中是普遍存在的，哺乳动物发展到了高级阶段，它们的牙齿属于（　　）

A．同型齿
B．异型齿
C．多出齿
D．侧生齿
51．滋补药蛤士蟆油是哪种蛙蟾的干燥的输卵管（　　）
A．泽蛙
B．中国林蛙
C．斑腿树蛙
D．黑眶蟾蜍
52．以造巢著名的织布鸟、缝叶莺所造的巢和猫头鹰的巢分别属于（　　）
A．编织巢和洞巢
B．编织巢和地面巢
C．洞巢和洞巢
D．水面浮巢和地面巢
53．动物的消化分机械消化和化学消化，下列哪类动物同时在口腔中进行这两种消化（　　）
A．鱼纲
B．两栖纲
C．爬行纲
D．哺乳纲
54．两栖类脑的最高级的整合中枢所在部位是（　　）
A．间脑
B．小脑
C．中脑
D．大脑
55．下列哪种生物中，卵黄囊最小（　　）
A．青蛙
B．猫
C．针鼹
D．乌龟
E．鲤鱼
56．不少食草兽类与其食性和取食行为相适应，消化系统出现了复胃，牛羊具有4室，哪部分属真正的胃（　　）
A．瘤胃
B．网胃

C．瓣胃
D．皱胃
57．大多数海产鱼类不能在淡水中生存，下列哪一项解释比较合理（　　）
A．水的比重太低，海产鱼不能适应
B．氧的浓度较低
C．不能维持体内水分的平衡
D．缺少适于它们食用的动植物
58．以下哪种动物不具声囊（　　）
A．东方铃蟾
B．花背蟾蜍
C．中国雨蛙
D．金线蛙
59．动物头部的骨骼是靠枕骨髁与颈椎相连接的，人类具有2个枕踝，哪类动物与人类一样具2个枕髁（　　）
A．鱼类
B．两栖类
C．爬行类
D．鸟类
60．下列哪一类动物的拇指（趾）与其他指（趾）相对握（　　）
A．食虫目，如刺猬
B．灵长目，如猴、人等
C．啮齿目，如松鼠
D．翼手目，如蝙蝠
61．下列哪一组肌肉是哺乳动物所特有的（　　）
A．膈肌和咀嚼肌
B．动眼肌和舌肌
C．肱二头肌和肱三头肌
D．股二头肌和腓肠肌
62．下列哪一种鸟属于早成鸟（　　）
A．家鸽
B．鸡
C．啄木鸟
D．黄鹂

63．在鸟类的进化过程中，下列哪一点不是气囊所具有的对环境的适应意义（　　）

A．参与完成双重呼吸

B．减轻身体的比重，减少肌肉之间的摩擦

C．发散飞翔时产生的大量热量的作用

D．减少体内水分的散失

64．下列关于鸟类的双重呼吸的叙述中，不正确的是（　　）

A．双重呼吸提高了气体交换的效率

B．每呼吸一次空气两次经过肺

C．肺和气囊是进行气体交换的场所

D．双重呼吸是鸟类特有的呼吸方式

65．鸟类的右房室瓣为（　　）

A．三尖瓣

B．半月瓣

C．肌质瓣

D．二尖瓣

66．下列哪一种鸟的尾脂腺特别发达（　　）

A．鸭

B．鸡

C．猫头鹰

D．翠鸟

67．下列哪种动物的气管最长（　　）

A．象

B．猿

C．虎

D．长颈鹿

68．以下是鸵鸟、企鹅、绿头鸭和猫头鹰这几种鸟的羽毛特点，其中判断正确的是（　　）

①羽枝不具小钩，因而不构成羽片　②正羽下密生绒羽　③羽轴宽短，羽片狭窄的鳞片状羽毛　④羽毛轻松柔软，因而活动时无声

A．①—鸵鸟，②—企鹅，③—绿头鸭，④—猫头鹰

B．①—鸵鸟，②—绿头鸭，③—企鹅，④—猫头鹰

C．①—猫头鹰，②—企鹅，③—鸵鸟，④—绿头鸭

D．①—企鹅，②—猫头鹰，③—绿头鸭，④—鸵鸟

69．两栖类能在陆地生活，因它们具有哪些特征（　　）

A．鳃退化，石灰质卵膜，有变态

B．眼睑，鼓膜，肺呼吸与四肢等
C．皮肤腺，硬骨，四肢为五趾（指）型
D．眼睑能上下活动，口裂宽，无颈
70．在下列哺乳动物中属于同一目的动物是（　　）
A．斑马和河马
B．犀牛和野牛
C．江豚和海豚
D．鼢鼠和鼹鼠
（二）多选题
1．下列哪些动物是真正的鱼（　　）
A．鲨鱼
B．娃娃鱼
C．章鱼
D．柔鱼
E．鳄鱼
F．鳗鱼
G．鲸鱼
H．文昌鱼
I．鲍鱼
J．海马
K．鲸鱼
L．海龙
2．下列关于鱼鳔的叙述中，正确的是（　　）
A．鱼鳔是鱼类的沉浮器官，可以随时调节身体比重
B．鱼鳔在发生上来自于消化器官
C．所有有鳔类的鳔都有一根鳔管与消化管通连
D．肺鱼可在夏眠时用鳔进行呼吸
3．下列关于鱼鳔的叙述中，正确的是（　　）
A．游速很快的鱼均无鳔
B．终年生活在海底的鱼无鳔
C．无鳔是一种次生现象
D．鳔是鱼类实现升降运动的器官
4．下列对于鸟类的叙述中，正确的是（　　）
A．具尾脂腺及其他皮肤腺
B．具异凹椎骨
C．吸气和呼气时均能进行气体交换

D．心脏仅三个腔，为不完全的双循环
E．绝大多数雌鸟仅左侧卵巢和输卵管发达
5．鸟类与爬行动物共同的特征为（　　）
A．皮肤干燥、具表皮角质层产物、单枕髁、卵裂形式为盘裂
B．皮肤干燥、具表皮角质层产物、体温恒定、卵裂形式为盘裂
C．缺乏皮肤腺、具表皮角质层产物、双枕髁、卵裂形式为螺旋卵裂
D．缺乏皮肤腺、单枕髁、卵裂形式为盘裂、双循环
6．下列关于鸟类的说法中正确的是（　　）
A．鸟类出现了四室的心脏，是完全的双循环
B．感官中视觉最发达
C．鸟类间脑底部十分发达，特称纹状体
D．其心跳频率比哺乳类高得多
E．尾肠系膜静脉是鸟类所特有
7．下列关于爬行类说法中不正确的是（　　）
A．杯龙类是原始的爬行动物，由它分化出恐龙类
B．蜥蜴目是爬行动物最多的一个类群
C．爬行类的顶眼来自松果体
D．“鸟蜥共栖”的“蜥”是指鬣蜥
E．奎科蝮亚科的颊窝和蛇类唇窝具红外线感受器
8．以下哪些是错误的（　　）
A．脊椎动物的胃液pH1.5～2.5，含胃蛋白酶，无脊椎动物胃蛋白酶存在碱性环境下
B．脊椎动物的胃液pH3.5～4.5，含胃蛋白酶，无脊椎动物胃蛋白酶存在酸性环境下
C．脊椎动物的胃液pH1.5～2.5，哺乳动物含凝乳酶，无脊椎动物消化液中也存在凝乳酶
D．脊椎动物的胃液pH3.5～4.5，含凝乳酶，无脊椎动物没有凝乳酶
9．蝾螈和蜥蜴在外形上的主要区别是（　　）
A．是否有鼓膜
B．是否有颈部
C．是否有鳞片
D．是否有爪
10．在分类上不正确的是（　　）
A．猫头鹰——鸮形目

B．蜂鸟——雨燕目
C．毛腿沙鸡——鸡形目
D．鹭——鹤形目
E．翠鸟——雀形目
F．夜莺——夜鹰目
11．下列哪些组合是正确的（　　）
A．鳄——槽生齿、双枕髁、合颞窝
B．鸟类——单枕髁、附间关节、双颞窝
C．中轴骨——胸骨、锁骨、肩胛骨
D．人类——合颞窝、结肠、双枕髁
12．下列有关鸟类嗉囊的说法中，正确的是（　　）
A．能储存和软化食物
B．雌鸽的嗉囊能分泌鸽乳
C．食鱼鸟类以嗉囊内的食糜喂雏
D．可分泌黏液和消化液
E．所有的鸟类都有嗉囊
13．大脑不具有胼胝体的动物有（　　）
A．鸭嘴兽
B．袋熊
C．鼩鼱
D．蝙蝠
E．鹦鹉
14．判断下列关于鸟的鸣叫叙述中，正确的是（　　）
A．鸟的鸣叫声多种多样，没有种的特异性
B．八哥能仿效人言，主要是有与人相似的舌
C．许多种鸟有效鸣的能力，可以学习其他一些动物的鸣声
D．鸟类在繁殖期的鸣声往往比其他时期丰富多变
15．下列对于哺乳动物子宫的叙述中，正确的是（　　）
Ⅰ　双体子宫　Ⅱ　分隔子宫　Ⅲ　双角子宫　Ⅳ　单子宫
A．狗Ⅱ
B．猪Ⅱ
C．猩猩Ⅳ
D．兔Ⅰ
16．下面说法中错误的是（　　）
A．背神经管是脊索动物的神经系统的中枢部分，它是由外胚层形成的

B．依胚胎发育中有无羊膜的出现将鱼类、圆口类归为无羊膜类，其他的脊椎动物归为羊膜类

C．除哺乳类外的脊椎动物属于恒温动物

D．脊索动物起源于半索动物

E．柄海鞘的血管无动脉和静脉之分，血液也无固定的流动方向

F．鱼类中最多的一目和一科分别是鲈形目和鲤科

17．下列有关哺乳类说法中不正确的是（　　）

A．仅雌性哺乳动物具有乳头

B．哺乳类的表皮特别厚，是制革的好材料

C．肾门静脉消失

D．大多数胚胎的血管与母体直接相连，向母体索取养料

E．哺乳类外形最显著的特点是体外被毛

18．下列属于国家一类保护动物的是（　　）

A．鳄蜥

B．大熊猫

C．亚洲象

D．野牛

E．羚羊

【参考答案】

（一）单选题

1．D　2．C　3．A　4．A　5．C　6．B　7．A　8．C　9．C　10．A　11．A　12．D　13．B　14．A　15．B　16．D　17．D　18．D　19．D　20．D　21．A　22．A　23．C　24．B　25．B　26．C　27．D　28．C　29．B　30．D　31．A　32．D　33．B　34．C　35．B　36．D　37．D　38．C　39．C　40．C　41．B　42．C　43．A　44．D　45．D　46．A　47．B　48．D　49．A　50．B　51．B　52．A　53．D　54．C　55．B　56．D　57．C　58．A　59．B　60．B　61．A　62．B　63．D　64．C　65．C　66．A　67．D　68．B　69．B　70．C

（二）多选题

1．AFJL　2．BD　3．ABC　4．BCE　5．AD　6．ABDE　7．CD　8．BCD　9．CD　10．CD　11．BD　12．ABC　13．ABE　14．CD　15．ABCD　16．BCD　17．ABD　18．ABCDE