

“生命的统一性”

1) 遗传物质、遗传密码

2) 转录翻译

3) 基础代谢 元.

4) 细胞结构

5) 解剖学结构

6) 祖先

生命的基本特征

1) 细胞结构

2) 秩序与组织

3) 内环境稳态

4) 新陈代谢

5) 生长发育

6) 繁殖

7) 应激与适应

8) 进化

第 1 章

新陈代谢---获得和利用能量

根据获得能量的方式,可将生物分为两大类:

1)自养生物: 利用外界的太阳能或其它热能将 CO₂ 生成有机化合物的生物, 包括所有植物和某些细菌.

2)异养生物: 自身不能利用外界的太阳能或其它热能将 CO₂ 合成为有机化合物, 只能利用现成有机化合物作为能量来源的生物, 包括所有动物和真菌, 绝大多数细菌和病毒.

什么是新陈代谢?

生物体内物质与能量的转换过程统称为新陈代谢.涉及物质的同化与异化,合成与分解,能量的捕获与释放.

新陈代谢——可控制地进行能量转移

生命可以向外界获得能量和物质, 通过新陈代谢进行能量转换, 用以合成维持生命活动所需的有机化合物和能量分子, 有控制地释放所需的能量.

自我调节:不同水平的调节行为

生态水平: 随季节气候变化的居群调节

种群水平: 阿拉斯加旅鼠为种群的延续采取集体自杀行为

个体水平: 为适应气候变化冷血动物的冬季休眠

细胞水平: 炭疽病芽胞杆菌在恶劣条件下的细胞生成芽胞

分子水平: 热激条件下,细胞合成分子伴侣蛋白保护蛋白质使其不发生变性

逆境调控: 逆境条件诱导特别的基因表达

生命的层次

生态水平>群落水平>群体水平>个体水平>器官系统水平>器官水平>组织水平>细胞水平 > 分子水平

生命科学的特征

涌现 (emergence): 部分与整体 **整体大于部分之和**

生物与环境的矛盾与统一

宏观与微观的矛盾与统一

结构与功能的矛盾与统一

进化与保守的矛盾与统一

从认识论上把握生物学

1) 生物与环境的统一----生存之道

2) 结构与功能的统一----应对之法

3) 微观与宏观的统一----内外相通

4) 进化与保守的统一----进退适宜

现代生物科学与经典生物学

经典生物学: 1) 描述性; 2) 各学科孤立.

现代生物学: 1) 注重机制; 2) 各学科之间联系; 3) 统一的基础.

DNA 双螺旋的发现为分水岭.

独立的生命都具有细胞的结构

1)细胞是一切**独立生命个体都具有**的结构单位与功能单

2)细胞是**生命生长与繁殖**的结构基础.

4)细胞是复杂结构**生物组织分化与器官发生**的基础.

4)细胞是一切生物**生理生化活性**赖以有序进行的基础.

生命可以复制,其基础是遗传

1)遗传是一切生命所具有的显著特点.

2)遗传学研究生命在世代之间如何维持不变,如何发生改变的机制.

3)一切生命可遗传的特征都以密码的形式储藏在遗传物质---DNA 序列之中.

4)生命形态发生的过程即是遗传信息解读与展现的过程.

第 2 章

自然界和生物体的元素

生物体的元素与环境中的元素其组成与含量是不同的, 不同生物种类其常量元素和微量元素组成与含量也有差异:

1) 自然界中含量最丰富的元素为氧 (O), 硅 (Si), 铝 (Al) 和铁 (F).

2) 人体中 O, C, H 和 N 占了 96%以上, 它们是核酸, 蛋白质, 糖和脂肪的主要成分.

自然界中 C, H 和 N 三种元素的总和不到总元素的 1%.

3)生物体中大约只有 25 种元素是必不可少的,可分为:

常量元素(重量百分比>0.1%): C, H, O, N, S, P, Cl,

Ca, K, Na, Mg; 微量元素(重量百分比<0.1%): Fe, Cu,

Zn, Mn, Co, Mo, Se, Cr, Ni, V, Sn, Si, I 和 F.

微量元素的生物学作用

输送常量元素---如含铁血红蛋白是球状大分子,每个分子含有 4 个铁(Fe²⁺). Fe²⁺与卟啉环络合成血红素, 血红素与珠蛋白结合成为血红蛋白单体, 血红素中的 Fe²⁺是载氧功能的活性中心.

生物催化作用---许多微量金属元素是生物体内多种酶的活性中心, 常以金属酶或金属活化酶的形式参与生物体内各种复杂的生物化学反应. 已知体内千余种酶大都含有 1 个或多个微量金属原子, 如铜、锌、锰均是过氧化物歧化酶的组分, 硒是谷胱甘肽过氧化物酶的组分等.

参与激素和维生素的作用---碘是甲状腺激素的组分. 铬是糖耐量因子的必需成分, 作为胰岛素的辅助因子起作用. 钴则是维生素 B12 的活性中心, 缺钴, 则生物体内不能合成维生素 B12.

影响核酸代谢---微量元素钴、铜、锌、镍、钒这些微量元素的失调可影响核酸的正常代谢, 对生物体的出生、生长发育及衰老过程产生深远的影响.

元素的不平衡可造成生物生长与发育障碍

1) 缺硒: 引发克山病, 大骨节病;

2) 铁积累: 血色沉着病, 由铁质代谢异常引起, 体内保留了大量的铁质, 最终造成肝硬化, 糖尿病及心脏受

损;

3)铅: 在儿童体内积累可影响大脑发育.

4)缺镁: 植物叶绿体发育受阻;

5)多铝: 红壤含有很高的铝元素, 可使植物中毒.

6)缺钙, 缺磷: 身体发育不良, 个子矮小.

生物分子的弱相互作用在生命活动中占有重要地位

生物分子之间的识别是以其构像为基础, 只有构型匹配的分子才能相互识别;

生物分子的弱相互作用在大分子的构像, 生物大分子的互作, 生理生化反应中均起到重要作用. 这是生命活动中生物分子不同于一般的化学反应的一个重要特征.

水---生命之源

1)水是一切生理生化反应必需的介质.

2)能量的转化, 如光合作用中的水解和能量的利用, 以及氧化磷酸化生成水.

3)在许多生化反应中水是底物或是产物.

4)水可维持细胞的形态结构和膨压, 调节渗透压.

5)生物体内物质的运输离不开水.

细胞生活
环境

植物通过水的蒸发从根部将营养物质输送到地上部组织.

水分子是偶极子

1.水分子中电荷分布是不对称的, 一侧显正电性, 另一侧显负电性, 从而表现出电极性, 是一个典型的偶极子.

2. 水分子之间可建立弱作用力氢键, 水中每一氧原子可与另两个水分子的氢原子形成两个氢键. 氢键作用力很弱, 常温下氢键常处于断开和重建的过程中, 从而赋予水的流动性.

3. 由于水分子具有这一特性, 它既可同蛋白质中的正电荷结合, 也可同负电荷结合. 蛋白质中每个氨基酸平均可结合 2.6 个水分子, 是蛋白质溶于水的原因.

4.水的比热, 汽化和结冰.

水分子的内聚力和粘着力

水的分子结构赋予了水分子的一些重要特性:

1, 比热较高; 2, 常温下可流动性; 3, 零度结冰; 4, 水解离质子和 -OH, pH 值

碳原子的化学特性

1) 所有生物大分子的骨架均由碳原子组成.

2) 碳原子为四价元素, 可与其它原子在最多四个方向形成 4 个强的共价键.

3) 碳原子彼此间可连接成链状或环状分子.

4) 碳原子之间形成的共价键具有很高的键能, 是光能转变为化学能的主要储存方式.

碳骨架分子的性质取决于:

- 1) 碳骨架的长度
- 2) 碳骨架的排列
- 3) 共价键的形式
- 4) 与碳骨架连接的基团

5) 是否环化

生命有机分子的种类

1) 糖类 2) 脂类 3) 蛋白质 4) 酶 5) 核酸

糖类

1) 单糖与寡糖:

生物体内最丰富和最重要的单糖为葡萄糖;

由多个相同单糖分子连接的多聚分子为寡糖.

2) 单糖

丙糖: 甘油

丁糖: 苹果酸

戊糖: 核糖

己糖: 葡萄糖, 果糖, 半乳糖等

3) 双糖: 蔗糖, 乳糖

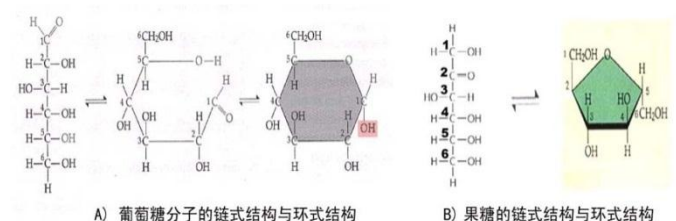
4) 醛糖与酮糖

醛糖: 第一位碳原子上连接醛基, -CHO

酮糖: 第二或第三位碳原子上连接酮基, $\text{C}=\text{O}$, 如果糖

5) 多糖: 糊精, 淀粉, 糖元和纤维素

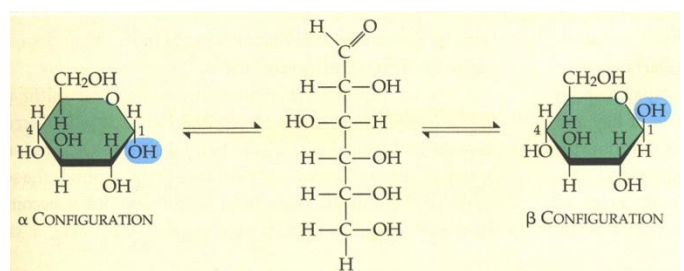
葡萄糖和果糖的链式与环式结构



A) 葡萄糖分子有两种构型, 即链式和环状. 这两种构型处于动态平衡之中, 但化学平衡的方向倾向环状构型. 环状构型中, 1位碳原子的羟基接受第5位碳羟基上的氢而成为羟基. 1位碳原子的羟基可在环的上方或下方, 这两种方式在水溶液中可以互变.

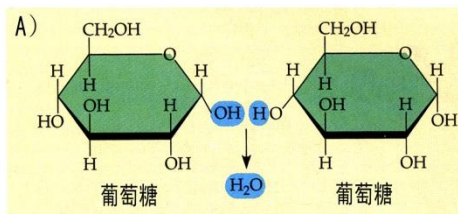
B) 果糖分子的链式结构与环式结构. 环状构型中, 2位碳原子上的酮基接受5位碳原子羟基上的氢而成为羟基.

葡萄糖的两种环式构型(α -和 β -构型)

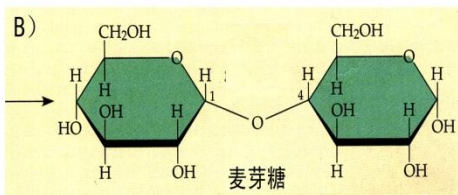


环状葡萄糖有两种构型: α -葡萄糖和 β -葡萄糖, 其区别在于连接1位碳原子的羟基所在的方位. 位于平面分子的下方称为 α -葡萄糖, 位于平面分子的上方称为 β -葡萄糖.

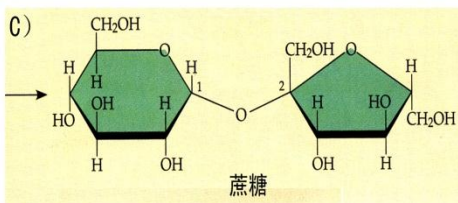
双糖



单糖分子通过糖苷连接(A)可形成双糖。

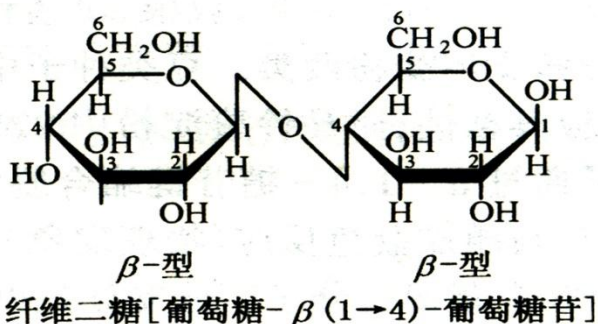


葡萄糖1位碳原子的羟基与第二个葡萄糖4位碳原子的羟基脱水反应生成麦芽糖。

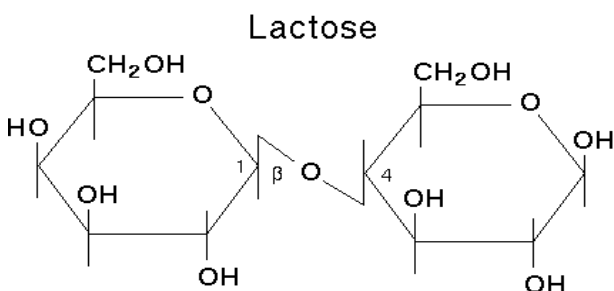


果糖也是双糖，由一个葡萄糖和一个果糖通过1-2糖苷形成。

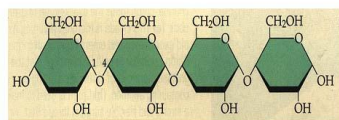
纤维二糖



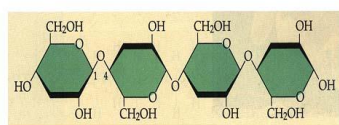
乳糖及乳糖不适症



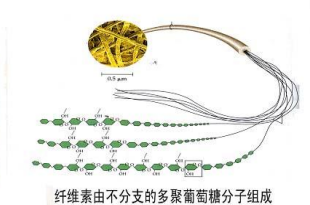
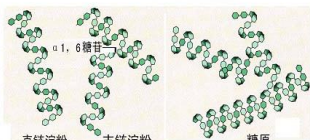
多糖—储存多糖与结构多糖



动物中的多糖为糖元，其结构与淀粉类似，但分枝较多。



纤维二糖由不分支的多聚葡萄糖分子组成



糖类分子的生物学功能

- 1) 光能转变为化学能的储存方式主要是形成葡萄糖。
- 2) 糖类分子可为生物的各种生理生化反应提供能源。
- 3) 糖类分子可形成多糖，如纤维素，它们是植物的主要结构成分。
- 4) 糖类分子可为核酸，氨基酸，脂肪，维生素等生物大分子提供碳骨架。

脂类

- 1) 脂肪
- 2) 饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸
- 3) 磷脂
- 4) 甾醇类
- 5) 萜类
- 6) 蜡

脂肪酸

脂肪酸(fatty acid)是指一端含有一个羧基的长的脂肪族碳氢链。脂肪酸是最简单的一种脂，它是许多更复杂的脂的成分。

脂肪酸在有充足氧供给的情况下，可氧化分解为CO₂和H₂O，释放大量能量，因此脂肪酸是机体主要能量来源之一。

烃链中含有双键的脂肪酸称为不饱和脂肪酸。动物脂肪含有较高比例的饱和脂肪酸，植物油含有较高比例的不饱和脂肪酸。

甘油的3个羟基与脂肪酸的羧基缩合形成酯键，这类分子为脂类。习惯上动物的脂类称为脂肪，植物的脂类称为油。

常温下脂肪可凝固，油不会凝固。

必需脂肪酸：维持哺乳动物正常生长所必需的，而动物又不能合成的脂肪酸，如亚油酸，亚麻酸。

脂肪酸种类

饱和脂肪酸的主要来源是家畜肉和乳类的脂肪，还有热带植物油(如棕榈油、椰子油等)，其主要作用是为人提供能量。

单不饱和脂肪酸主要是油酸，含单不饱和脂肪酸较多的油类为：橄榄油、芥花籽油、花生油等。它们具有降低坏的胆固醇(LDL)，提高好的胆固醇(HDL)比例的功效，所以，单不饱和脂肪酸具有预防动脉硬化的作用。

多不饱和脂肪酸主要是亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等；其中亚油酸、亚麻酸为必需脂肪酸。含多不饱和脂肪酸较多的油有：玉米油、黄豆油、葵花子油等等。

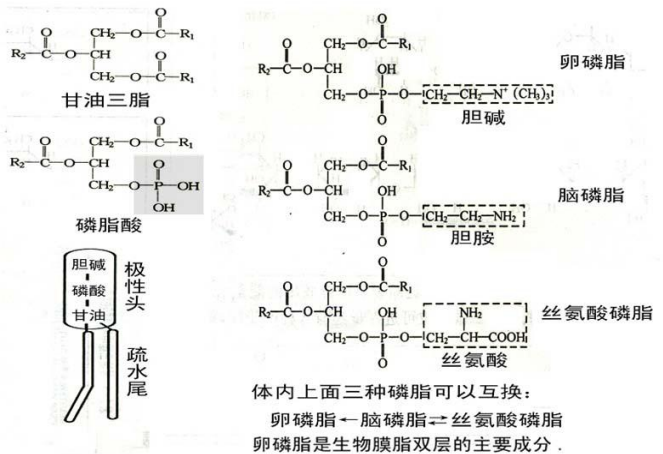
反式脂肪酸

	顺式脂肪酸	反式脂肪酸
结构式	$\text{H} \quad \text{H}$ $\diagdown \quad \diagup$ $\text{C}=\text{C}$	$\text{H} \quad \text{H}$ $\diagup \quad \diagdown$ $\text{C}=\text{C}$
结构示意图		

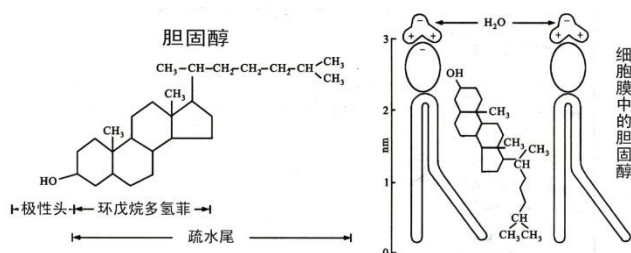
磷脂

脂类甘油中的一个羟基与磷酸或衍生物结合称为磷脂。

卵磷脂是生物膜脂双层的主要成分。

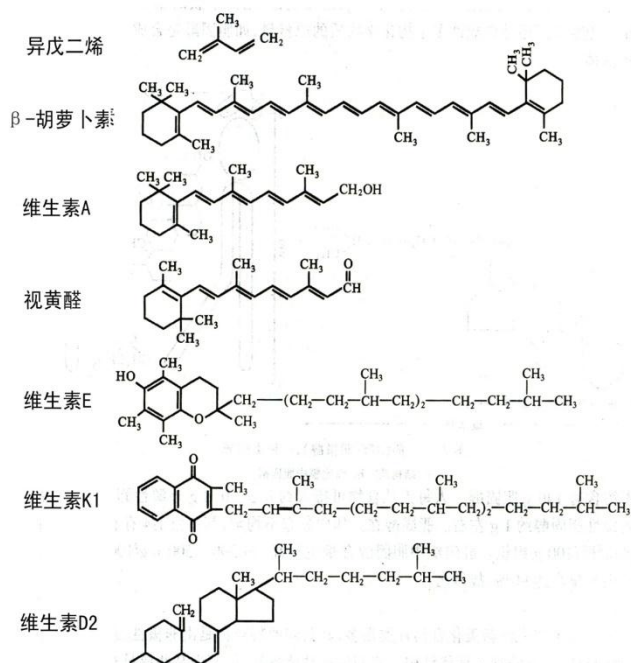


磷脂双分子层赋予细胞膜的流动性---液晶态
甾醇(或固醇)



- 1) 胆固醇不溶于水可溶于非极性溶剂，因此而归为脂类；
- 2) 胆固醇是许多生物活性分子的原材料，可合成胆固醇类激素，维生素D，胆汁酸等；
- 3) 胆固醇是细胞膜的组成成分，穿插在磷脂之间，增加膜的稳定性，阻止水溶性物质透过双层膜。

萜类（长链）



蜡

- 1) 生物蜡为饱和或不饱和高级脂肪酸（14-36 个碳原子）和高级醇（16-30 个碳原子）组成的酯，如软脂酸（16 碳酸）和 30 烷醇生成的酯是蜂 蜡的重要成分。
- 2) 植物的水果及叶片表面覆盖了天然的蜡，可防水分丧

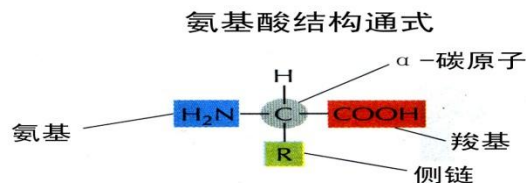
失。

3) 动物体表，羽毛及昆虫表皮均有腊质覆盖，用以抵御干燥环境的胁迫。

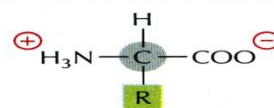
脂类分子的生物学功能

- 1) 细胞膜的组成成分。
- 2) 作为高能量的储存分子。
- 3) 作为某些激素分子的前体。
- 4) 保护性的结构成分。+ 保湿

氨基酸的结构通式



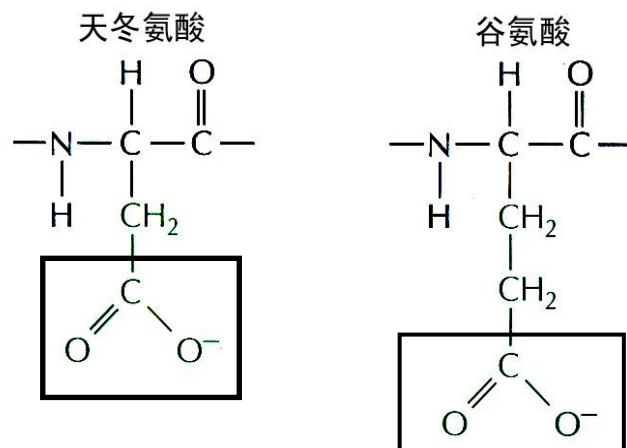
由20种不同的侧链组成20种不同的氨基酸。
在pH7时，氨基和羧基均为带电状态。



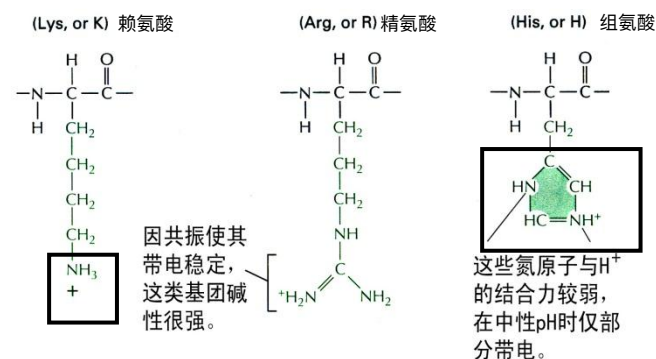
根据侧链的性质可将氨基酸分为：

酸性氨基酸；碱性氨基酸；不带电极性氨基酸；非极性氨基酸

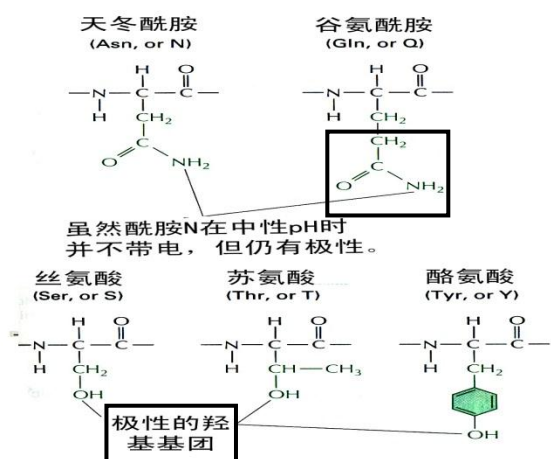
酸性氨基酸:中性溶液中分子带负电



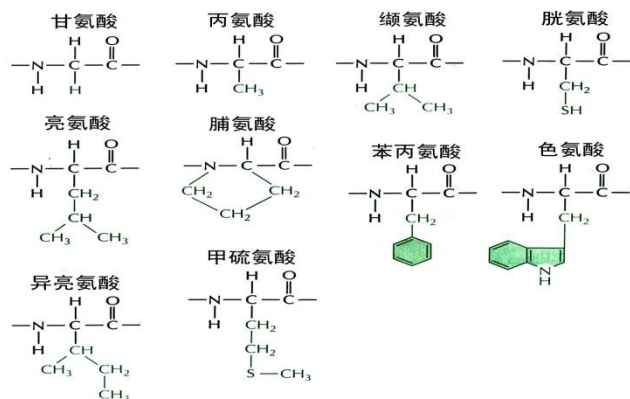
碱性氨基酸:中性溶液中分子带正电



不带电极性氨基酸



非极性氨基酸

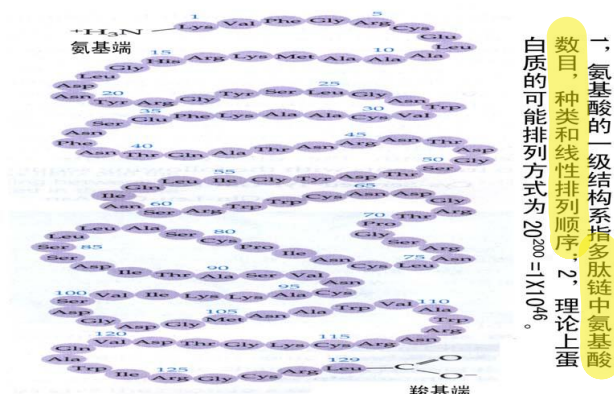


必需氨基酸

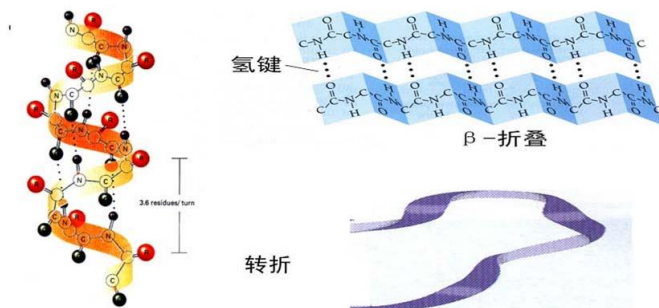
必需氨基酸 (essential amino acid): 人体 (或其它脊椎动物) 必不可少，而机体内又不能合成的，必须从食物中补充的氨基酸，称必需氨基酸。

对成人来说，这类氨基酸有 8 种，包括赖氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸、色氨酸和苯丙氨酸。对婴儿来说，组氨酸也是必需氨基酸。

蛋白质一级结构



蛋白质二级结构—α-螺旋和β-折叠



蛋白质的3种二级结构：α-螺旋，β-折叠，转折
α-螺旋每3.6个氨基酸旋转一圈。

三级结构由蛋白质的二级结构进一步折叠而成，是单条多肽链的整体构象

四级结构是蛋白质多个肽链间的相互关系

维持蛋白质高级结构的作用力

二硫键；离子键；氢键；静电作用；疏水作用；范德华力

蛋白质变性

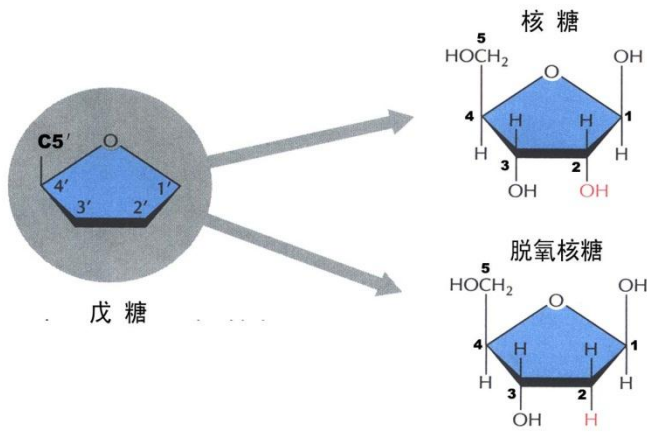
蛋白质在某些物理和化学因素作用下其特定的空间构象被破坏，从而导致其理化性质的改变和生物活性的丧失，这种现象称为蛋白质变性。

蛋白质二级结构和三级结构发生改变或遭到破坏，都是变性的结果。能使蛋白质变性的化学方法有强酸、强碱、重金属盐、尿素、乙醇、丙酮等；能使蛋白质变性的物理方法有加热、紫外线照射、剧烈振荡等。

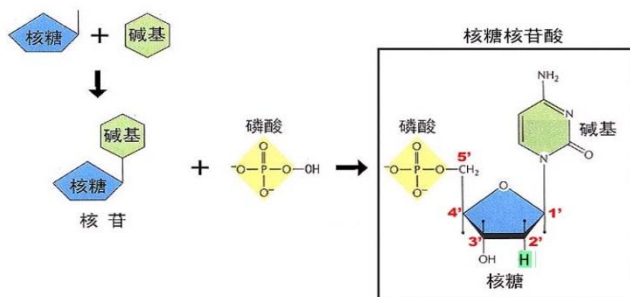
核酸的组成

	核酸	
核酸种类	DNA 脱氧核糖核酸	RNA 核糖核酸
单体	脱氧核糖核苷酸	核糖核苷酸
核糖种类	脱氧核糖	核糖
碱基	腺嘌呤 (A) 鸟嘌呤 (G) 胞嘧啶 (C) 胸腺嘧啶 (T)	腺嘌呤 (A) 鸟嘌呤 (G) 胞嘧啶 (C) 尿嘧啶 (U)
磷酸	磷酸	磷酸

核糖的结构

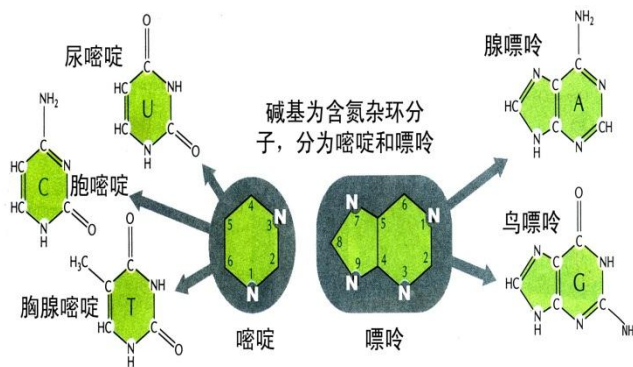


脱氧核糖核苷酸



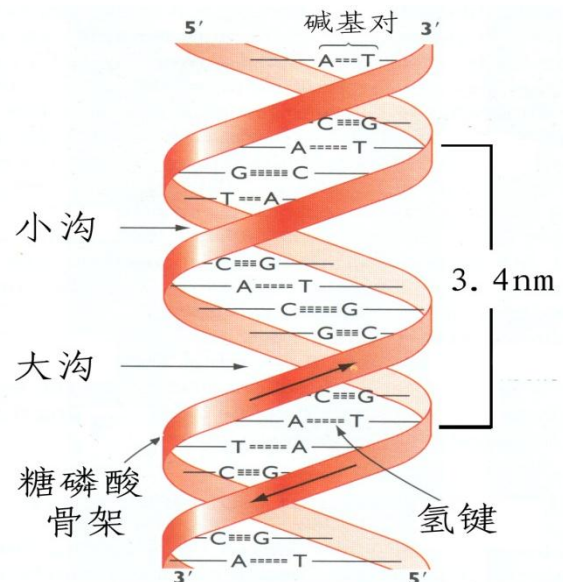
注意：脱氧核糖核苷酸的核糖在 1' 碳原子上连接的是碱基，2' 碳原子上连接的是氢原子，3' 碳原子上连接的是羟基，4' 碳原子上连接的是氢原子，5' 碳原子上连接的是磷酸基团。

碱基



注意：胞嘧啶脱去氨基即成为尿嘧啶。RNA 分子中 U 取代了 T。

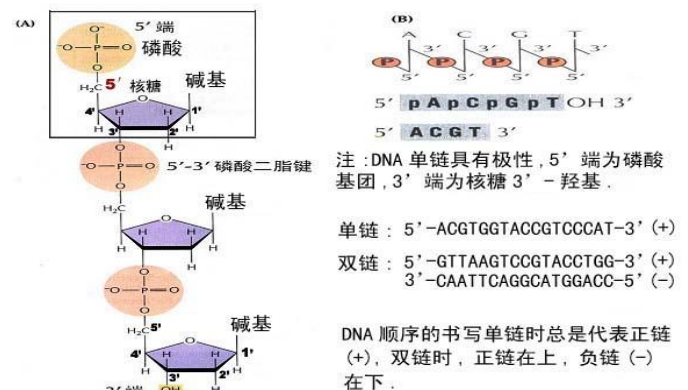
双链 DNA——脱氧核糖核酸的结构



DNA 的结构特点

- 1) DNA 由两条具有极性的互补单链组成，两条互补链走向相反。
- 2) 两条单链彼此互旋形成螺旋结构，每旋转一圈为 10.5 bp (碱基对)，天然 DNA 大多数为右旋，双螺旋中大小沟交替排列。
- 3) 碱基配对原则：A-T，C-G，A-T 配对形成 2 对氢键，C-G 配对形成 3 对氢键。
- 4) 配对碱基位于双螺旋 DNA 的内部，碱基平面与 DNA 双螺旋的纵轴垂直，产生碱基堆积力。
- 5) 脱氧核糖与磷酸连接排列在外侧构成基本骨架。

DNA 单链的极性结构



DNA 单链的极性合成

DNA 单链的极性源于单体核苷酸结构的极性。在 DNA 合成时，核苷酸 5' 端的三磷酸与前一个核苷酸 3' 端的 -OH 发生缩合反应形成磷酸二酯键，释放 2 个焦磷酸和 1 个 H₂O。

RNA 的结构特点

- 1) 生物体内几乎所有的 RNA 分子均为单链。
- 2) RNA 分子中对应于 DNA 中胸腺嘧啶 (T) 的碱基由尿嘧啶 (U) 取代。
- 3) RNA 分子也可形成双链 RNA，即可分子间配对，也可分

子内配内。配对原则与 DNA 碱基配对类似，只是 DNA 中的 A-T 配对在 RNA 中为 A-U 配对。RNA 分子内配对可形成茎环(或发夹)结构。

4)RNA 分子易于断裂，长度有限。

5)生物体内几乎没有任何双链环化 RNA 分子。

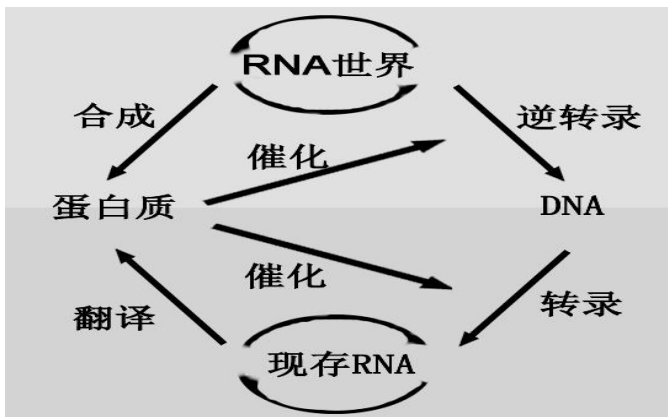
三种主要的 RNA 分子

1) tRNA: 转运 RNA, transfer RNA, 携带氨基酸。

2) rRNA: 核糖体 RNA, ribosomal RNA, 核糖体骨架。

3) mRNA: 信使 RNA, messenger RNA, 基因的转录产物, 编码蛋白质。

DNA, RNA 和蛋白质的起源关系



思考题

- 1)人体元素的组成与自然环境中的元素组成有何不同?
- 2)为什么说水分子是偶极子, 它有什么化学特性?
- 3)碳骨架分子的多样性是怎样产生的?
- 4)淀粉和纤维素在化学组成上有何异同?
- 5)几丁质与纤维素的化学组成有什么不同?
- 6)饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸有何区别? 为什么植物含有更多的不饱和脂肪酸?
- 7)动物为何含有更多的脂肪?
- 8)为什么说磷脂分子是极性分子?
- 9) 写出氨基酸的结构通式。
- 10)什么是必需氨基酸? 有哪些必需氨基酸?
- 11.叙述蛋白质的一级结构, 二级结构, 三级结构和四级结构。
12. 维持蛋白质高级结构的作用力。
13. DNA 双螺旋分子有哪些结构特征。
14. DNA 含有哪四种碱基, 它们如何配对?
15. RNA 和 DNA 的主要差别是什么?
16. 天然的 RNA 分子为什么不能形成像 DNA 这样的长链分子?
17. 细胞中有哪三类主要的 RNA 分子, 它们各有什么功能?

第 4-6 章

细胞的发现与细胞学

1) 1665 年英国人 Robert Hooke (虎克)利用自制的显微镜

首次观测到软木(栎树皮)中的小室(Cell) 结构, 并称之为细胞。

2)细胞学的创始人为德国植物学家施莱登(Schleiden, 1809) 和动物学家施旺(Schwann, 1839), 他们指出生物体是细胞的组合, 正式提出细胞学说。

细胞---生命的基本结构单位与功能单元

细胞是一切具有独立生命形式的基本结构单位,也是一切生命活动的基本功能单位。

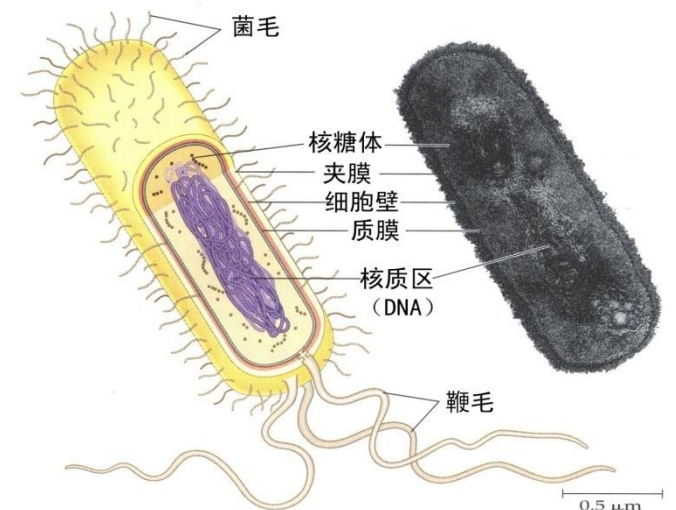
细胞的生物学功能:

生长: 通过细胞分裂产生相同的子代, 这是一种数量的增加。

发育: 通过细胞分裂和分化, 产生不同的细胞类型, 并形成不同的组织器官, 最终形成多细胞个体。

繁殖: 一切生物的繁殖, 包括无性生殖和有性生殖都必需通过细胞的分裂或分化才能实现。

原核生物细胞—细菌



细菌的细胞结构

革兰氏染色法是细菌学中广泛使用的一种鉴别染色法, 1884 年由丹麦医师、细菌学家 Christain Gram 创立。细菌先经碱性染料结晶紫染色, 而经碘液媒染后, 用酒精脱色, 在一定条件下有的细菌此色不被脱去, 有的可被脱去, 因此可把细菌分为两大类, 前者叫做革兰氏阳性菌 (G+), 后者为革兰氏阴性菌 (G-)。

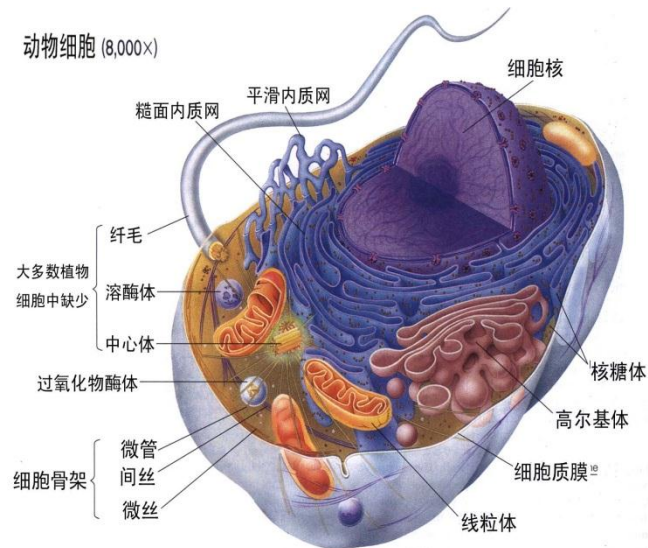
大多数革兰氏阳性菌都对青霉素敏感(结核杆菌对青霉素不敏感); 而革兰氏阴性菌则对青霉素不敏感(但奈瑟氏菌中的流行性脑膜炎双球菌和淋病双球菌对青霉素敏感), 而对链霉素、氯霉素等敏感。所以首先区分病原菌是革兰氏阳性菌还是阴性菌, 在选择抗生素方面意义重大。

革兰氏阳性菌: 细胞壁厚, 肽聚糖网状分子形成一种透性屏障。当乙醇脱色时, 肽聚糖脱水孔隙缩小, 故保留结晶紫-碘复合物在细胞膜上, 呈紫色。

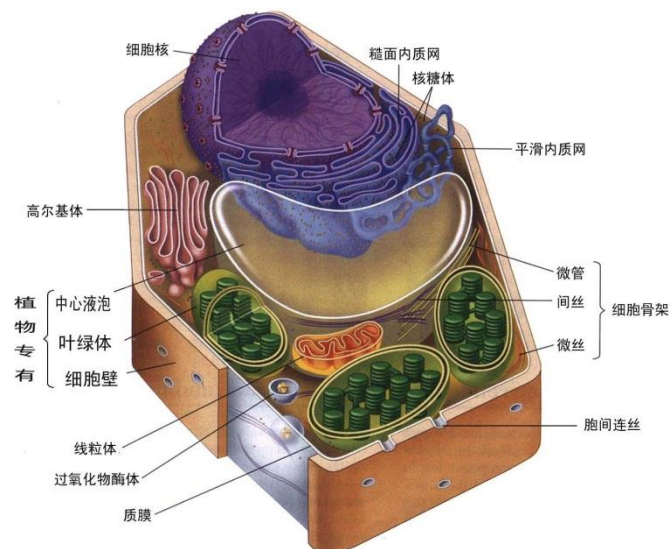
革兰氏阴性菌: 肽聚糖层薄, 交联松散, 乙醇脱色不能使其结构收缩, 脂含量高。乙醇将脂溶解, 缝隙加大,

结晶紫-碘复合物溶出细胞壁，沙黄复染后呈红色。

动物细胞



植物细胞



细胞的类型

- 1) 大小:细胞的大小与功能密切相关
- 2) 形状:圆形, 方形, 梭形, 触角形
- 3) 功能:运输---红细胞 运动---肌肉细胞 支持---骨骼细胞 储藏---块茎细胞 保护---表皮细胞 通讯---神经细胞 产能---叶肉细胞 生殖---性细胞

细胞的形态与其功能相关

肌肉细胞: 成梭形状便于收缩, 线粒体丰富, 可提供运动所需能量。

神经细胞: 狭长, 有突触, 功能是传导信号。

红细胞: 双面凹, 目的是增大表面积, 便于吸收和携带运送氧气。

皮肤细胞: 有角化层, 可以起保护作用。

精子细胞: 细长, 尾部含丰富的线粒体, 可提供精子泳动的能量。

细胞大小为何受到限制

细胞体积的增加与功能的矛盾:

- 1 体积与表面积的增加不成比例, 外部物质的输送满足不了细胞内部的要求;
- 2 体积的增加使内部物质的快速和均一分配更加困难;
- 3 细胞核对细胞质成分的调控能力受到体积的限制。

膜系统

1) 细胞膜系统包括:细胞质膜, 细胞核膜, 内质网, 高尔基体, 溶酶体, 液泡, 过氧化物酶体,线粒体,叶绿体

2) 膜系统功能: 隔离, 物质交流, 使蛋白质正确定位
生物膜的结构特点 两侧形成化学势能与电势能

1)磷脂分子是极性分子:

亲水性基团—胆碱,磷酸,甘油

疏水性或非极性--烃链

2)饱和脂肪酸和非饱和脂肪酸, 与膜的流动性有关.胆固醇, 插在脂肪酸分子之间, 建立与维持膜的结构, 阻止中性分子、离子、质子的渗透,调节膜的流动性。

4)磷脂双分子层, 亲水性极性朝外。

5)流动镶嵌模型: 蛋白质嵌入双层脂膜

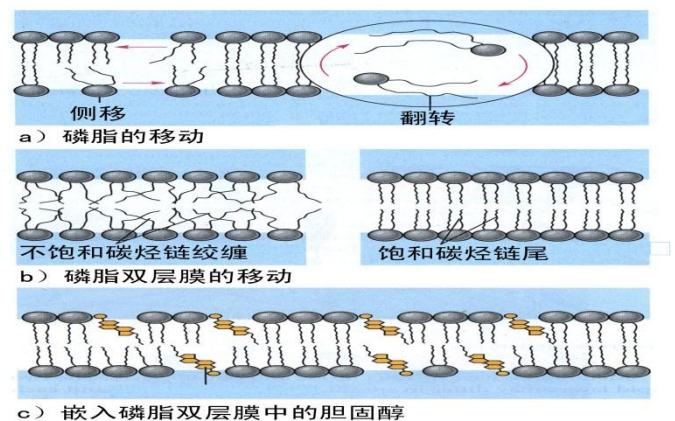
不对称性, 内外有别

动态的结构, 膜具有流动性。

生物膜的不对称性

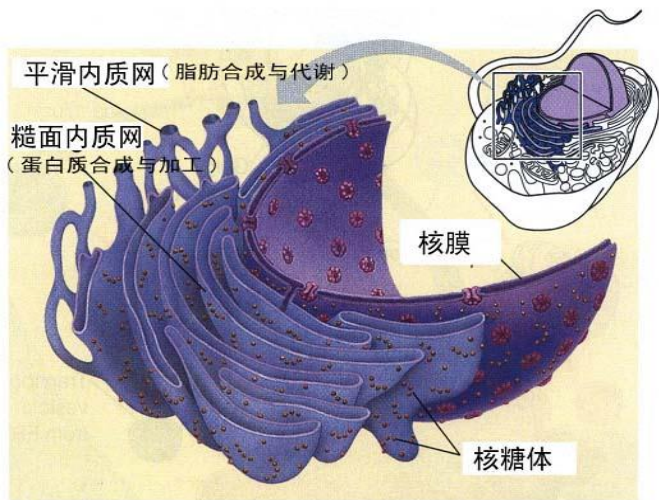
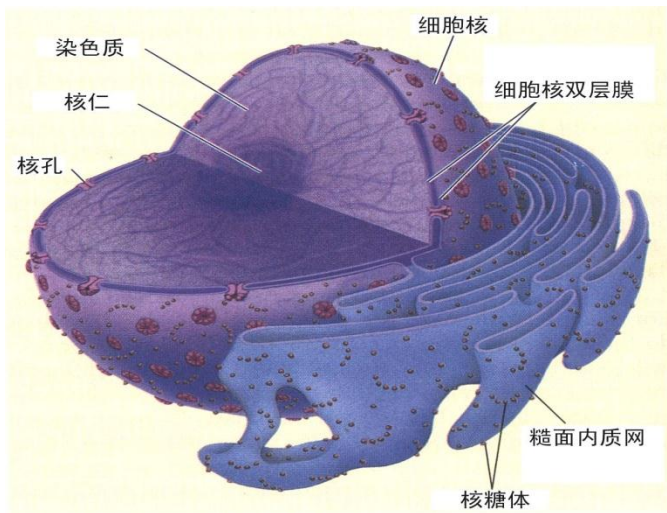
膜的不对称性主要表现在蛋白质、脂和糖等分布的不对称以及这些分子在种类与数量上的不对称性。各组分在膜两侧分布是不对称的, 从而导致膜两侧电荷数量、流动性和方向性等的差异, 这保证了膜内外物质交流与信息传递等重要生物反应的正确方向性, 是细胞生命活动高度有序性的保证

细胞膜的流动性



核膜与内质网相连

内质网是一种由单层膜组成的扁平或管状的囊体结构, 腔体之间彼此相通, 内质网也与核膜相连通。内质网按形态和功能分为糙面内质网和平滑内质网两类。



糙面内质网上有许多小颗粒,它们是合成蛋白质的核糖体,成扁平的囊状结构.平滑内质网与糙面内质相连,无核糖体附着,为管网状.

糙面内质网上附着许多颗粒状的核糖体,它是蛋白质合成的场所.糙面内质网的功能与膜蛋白质及分泌性蛋白质的合成与加工有关.

植物细胞:平滑内质网与脂肪的合成有关.油粒体由平滑内质网形成,蛋白体由糙面内质网形成.

动物肝脏细胞的内质网与解毒功能有关.

高尔基体

高尔基体是由单层膜围成的扁平囊体和小泡,囊体之间连接较少,其功能包括: 1) 将内质网合成的蛋白质进行加工、修饰、分拣与包装. 2) 高尔基体可形成**转运泡**,将加工好的蛋白质转运到细胞质外排或转运到其它细胞器. 3)在植物细胞分裂时高尔基体与**细胞板的形成和新细胞壁的形成**有关.

溶酶体的消化作用

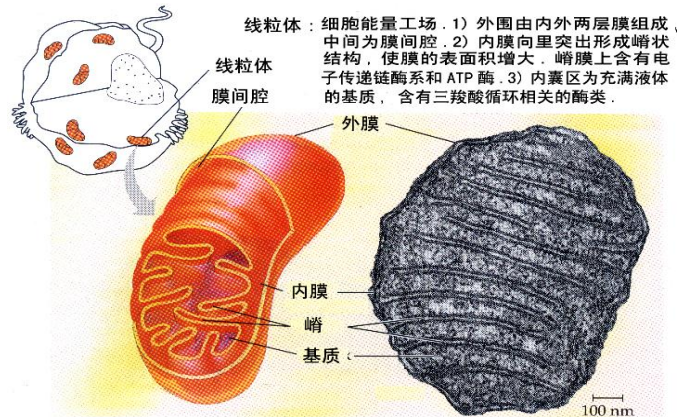
溶酶体为单层膜球状结构,是**处理与消化生物体内营养物质和细胞废弃物**的场所,含有多种水解酶和蛋白酶.溶酶体溶液的 pH 值约 5.0,细胞质基质为 pH7.0.

植物液泡

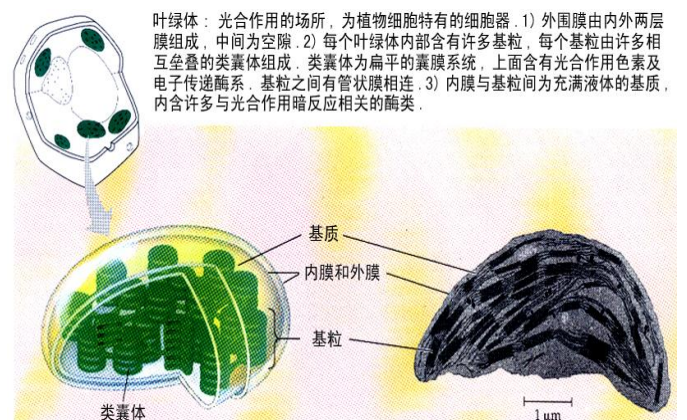
液泡主要出现在植物细胞,为单层膜围绕而成的球状结构,常常位于细胞中央,可占据细胞 50%-90%的空间.液泡内含有代谢产物如糖、氨基酸、色素、离子以及有毒化合物.液泡对**维持细胞形状,增加细胞体积,调节渗透压**有重要作用.

膜流---以高尔基体为中转站

线粒体---双层膜细胞器



叶绿体---双层膜细胞器



线粒体和叶绿体是半自主细胞器

1)线粒体和叶绿体含有**自身的遗传物质--DNA**.

2)线粒体和叶绿体可以**相对独立地复制自身的 DNA**,有**相对独立的基因转录系统和翻译系统**.含有内部的核糖体,可以合成自身编码的蛋白质.

3)线粒体和叶绿体的复制,转录和翻译系统的许多蛋白质仍由细胞核基因组编码,受细胞核调控.

4)因此线粒体和叶绿体是半自主细胞器

原核细胞与真核细胞的主要区别

代表生物	细菌, 蓝细菌	动植物, 真菌
细胞大小	1-10 μm	3-100 μm
细胞核	无	有
细胞膜	有	有
细胞器	无膜细胞器	线粒体, 叶绿体, 内质网等
细胞壁	多数有	动物无细胞壁, 其它有
染色体	部分裸露的环状DNA	有两条以上染色体
转录与翻译	转录与翻译偶联	转录与翻译在时间空间上分开
细胞质	无细胞骨架	有细胞骨架
细胞分裂	无丝分裂	有丝分裂和减数分裂

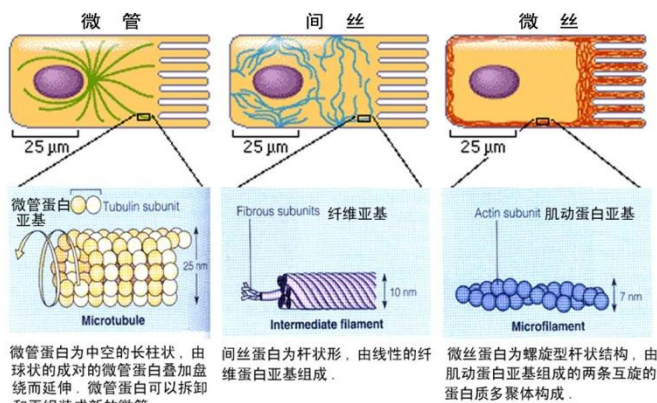
动物和植物细胞的差别

细胞成分	动物	植物
细胞壁	无	有
细胞器		
叶绿体	无	有
质体	无	有
溶酶体	有	无
液泡	无	有
中心体	有	无
胞间连丝	无	有
共有成分: 细胞核, 内质网, 高尔基体, 线粒体, 过氧化物酶体, 核糖体, 细胞骨架.		

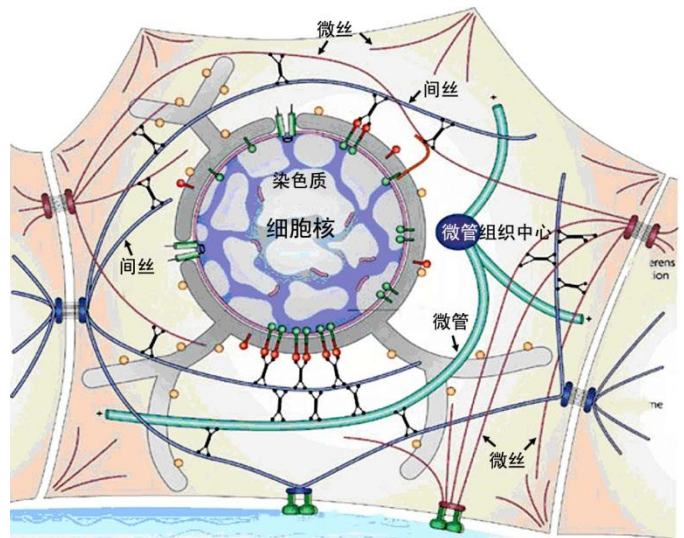
细胞骨架的功能

- 1) **微管**: 锚定细胞器, 促使细胞器移动, **1. 支架作用**(细胞形态); **2. 细胞的运动**(纤毛和细胞器); **3. 细胞分裂**(牵拉染色体); **4. 细胞内运输**(轨道); **5. 细胞壁的结构成份**.
- 2) **微丝**: 维持与改变细胞形状(如肌肉收缩), **1. 细胞内运输**(轨道); **2. 细胞质运动**(环流); **3. 细胞运动**(阿米巴); **4. 肌肉收缩**.
- 3) **间丝**: 锚定细胞核, 组成核纤层, 抗外界压力

三种骨架蛋白的结构



三种骨架蛋白的分布

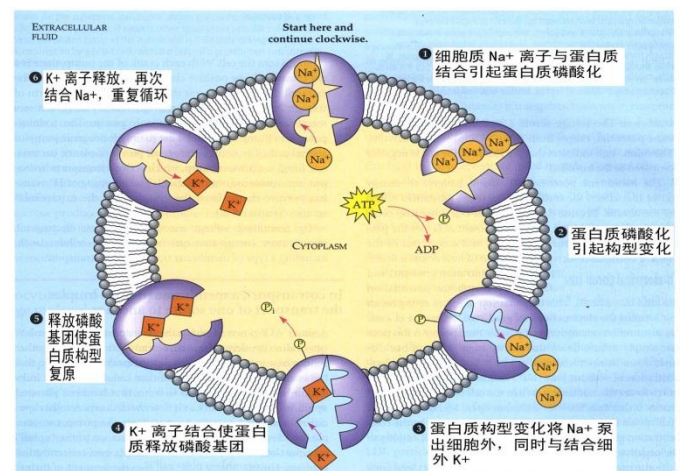


细胞物质运输有以下两种类型:

- 1) 被动运输: 简单扩散, 协助(或易化)扩散
- 2) 主动运输: 直接耗量 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 泵 质子(H^+)泵 协助(或易化)扩散

借助跨膜蛋白(通道蛋白或载体蛋白)将非亲脂性或亲水性简单有机分子或离子顺浓度梯度或电化学浓度梯度穿过细胞膜的运动, 不消耗能量. 通道蛋白仅提供进出的渠道, 本身不与渗透物质结合. 载体蛋白可与渗透物质专一性结合, 具有选择性渗透的特点.

$\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 泵—开关模型—动物细胞



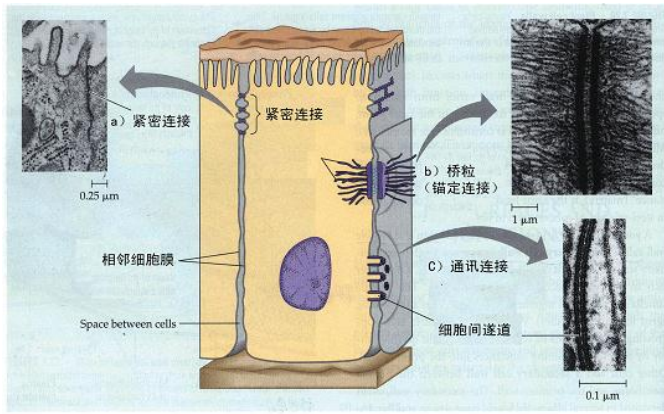
质子(H^+)泵—协同运输

质子泵(H^+)主要出现在植物和真菌等细胞: 消耗 ATP, 将质子泵出膜外, 增加膜两侧的电位差. 在质子回返膜内时做工用于运输有机化合物如小分子糖类与氨基酸, 间接耗能.

细胞识别——信息交流

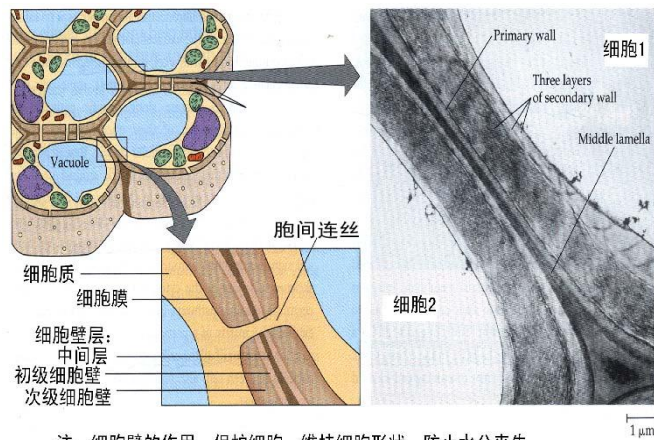
信息交流——信号传导

动物细胞之间的联系



- 注：1) 紧密连接 在相邻的细胞膜之间形成密封的粘合面，水分不能透过，例如肠道表皮细胞之间紧密相连使体液无法进入细胞间隙；
2) 桥粒 由硬性角蛋白组成的中间纤维如铆钉一样将相邻细胞与基质连接，强化细胞之间的接触，使表皮细胞层更加坚固。
3) 通讯连接 许多连接子将相邻细胞连接，建立相邻细胞质之间通道。连接子为跨膜蛋白，由6个蛋白质组成管道结构，可使盐分，糖分子，氨基酸和其它小分子通过。

植物细胞之间的联系



注：细胞壁的作用，保护细胞，维持细胞形状，防止水分丧失。
细胞壁中间层含有果胶质。

植物细胞之间有一层细胞壁阻隔，因此植物细胞之间的联系不是通过细胞壁，而是通过胞间连丝。

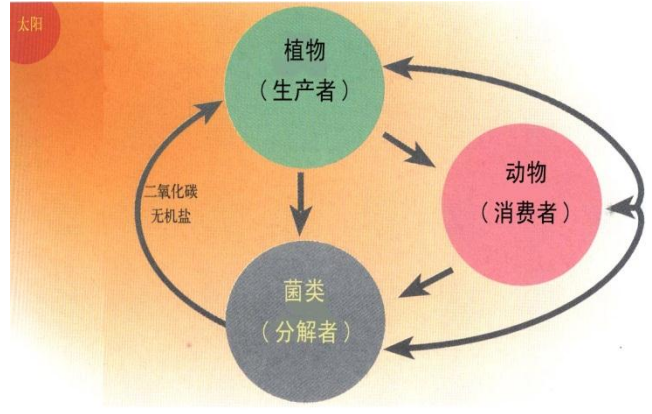
(第六章)

思考题

1. 原核生物细胞与真核生物细胞的差别？
2. 动物细胞与植物细胞的差别？
3. 双脂层膜的结构。
4. 解释流动镶嵌膜结构模型。
5. 线粒体膜和叶绿体膜的结构有何特点？
6. 平滑内质网和糙面内质网的差别。
7. 糙面内质网上合成的蛋白质是如何运送到细胞外的？
8. 简述 Na^+/K^+ 泵的开泵模型。
9. 细胞如何从外部获得生物大分子？
10. 细胞骨架包括哪些成分？它们有什么功能？
11. 动物细胞之间与植物细胞之间的联系有何不同？

第7章

地球三极生态系统---能量循环



生物能学

- 1) 生物能学研究生物整个机体与环境互作中的能量交换与利用的规律。
- 2) 变温动物 与恒温动物 两栖类与爬行动物属于变温动物，其体温随环境温度的变化而变化，环境温度每上升 10°C ，反应速率增加一倍。鸟类和哺乳动物为恒温动物，依赖体内代谢产生的热量维持体温，使其可选择更广阔的生活环境。
- 3) 体形大小与代谢速率 生物代谢速率一般与体形大小成反比，因为体形小的生物体表面积更大，相对体积而言散发更多的热量。

热力学：平衡态与非平衡态

- 1) 平衡态：系统内或系统与外界的一切不平衡势能均不存在，系统内的各点参量是均匀一致的，尤其各点温度是一致的，另外系统与外界不伴随熵流。
- 2) 非平衡态：耗散结构 (dissipative structure) 系统是开放的，远离平衡态，并与外界不断发生能量交换，即有负熵输入，系统可从无序变为有序。

耗散理论

按照耗散结构理论，一个远离平衡态的开放系统，无论是力学的、物理的、化学的、生物学的，还是社会的、经济的系统，如果不断地与外界交换物质和能量，在外界条件变化过渡到一定程度，系统内部某个参量变化过渡到一个临界值时，经过涨落系统可能发生突变，即非平衡相变或涌现。该系统由原来的混乱无序状态转变为一种在时间上、空间上或功能上的有序状态。

什么是代谢？

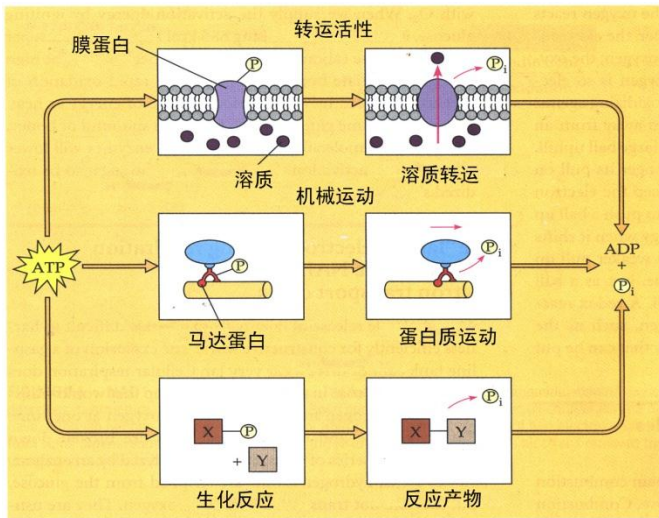
生物体内全部化学物质的转化和能量的转化过程称为代谢，涉及：

- 1) 物质转化：合成或分解即同化作用与异化作用。
- 2) 能量转化：释放或吸收

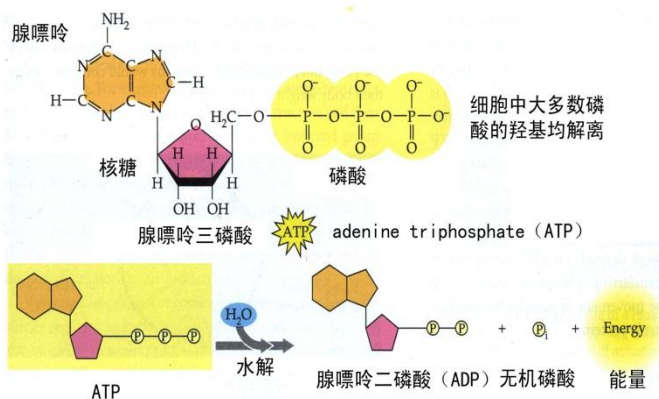
生物体要维持其生命活动，必需消耗能量。

细胞中的耗能活动——消耗 ATP

细胞中的耗能活动涉及三个主要方面：1) 膜内外的物质转运；2) 细胞内的做工——机械运动；3) 生化反应。



能量货币---ATP 的结构与功能



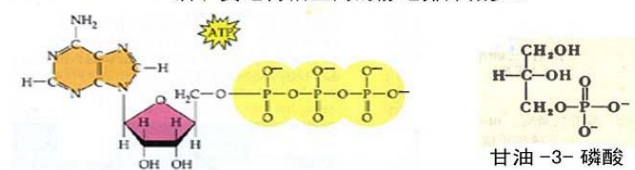
ATP 高能键的化学基础

- 1) ATP 在生物体系中的作用是自由能的主要直接供体，它不是自由能的储藏形式。
- 2) ATP 具有较高的磷酸基团转移的潜势：

$$\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ADP} + \text{P}_i + \text{H}^+ \quad \Delta G^\circ = -7.3 \text{ Kcal/mol}$$

$$\text{甘油-3-磷酸} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{甘油} + \text{P}_i \quad \Delta G^\circ = -2.2 \text{ Kcal/mol}$$
- 3) ATP 较高磷酸基团转移潜势的结构基础：

静电斥力 — 在 pH7 时，ATP 的 3 个磷酸部分约带 4 个负电荷，由于位置靠近相互排斥，但 ATP 水解为 ADP 和 P_i 后，负电荷相互间的静电排斥减少。



ATP 促使耗能反应

ATP 的产生

- 1) 光合作用可直接产生 ATP
- 2) 糖酵解和三羧酸循环过程产生 ATP
- 3) 氧化磷酸化产生 ATP

酶的定义

- 1) 酶是一类具有催化活性的蛋白质分子，它可提高反应速率，但自身并不转变成其它分子，也不改变自身的结构与活性。
- 2) RNA 也具有催化活性，但有一个特别的称呼：核酶

酶的分类

- 1) 单纯酶，仅由蛋白质成分即可催化反应的酶；
- 2) 结合蛋白酶，必需与其它成分结合才能执行催化反应，其它成分主要有两类：

辅酶—与蛋白质结合松驰的有机分子，如维生素。辅酶与酶蛋白结合疏松，可以用透析方法除去；

辅助因子—与蛋白质结合紧密的无机成分，如金属离子。辅助因子与酶蛋白结合紧密，不能通过透析将其除去。

辅酶

辅酶是一类可以将化学基团从一个酶转移到另一个酶上的有机小分子，与酶较为松散地结合，对于特定酶的活性发挥是必要的。

不同的辅酶携带的化学基团不同。

酶促反应与能障

- 1) 启动某一化学反应时存在的能量障碍称为能障。
- 2) 用于克服能障，使化学键断裂，促使化学反应进行所需要的能量称为活化能。
- 3) 酶促反应的核心是降低化学反应所需的活化能，并能在温和的常温常压条件下促使反应进行。

酶反应类别

- 1) 氧化还原类
- 2) 基团转移类
- 3) 水解类
- 4) 裂解类
- 5) 异构类
- 6) 抗体酶

酶促反应的特点

1) 底物专一性

结构专一性：只能催化特定的底物反应，涉及特定的化学键

立体异构专一性：旋光异构与几何异构（糖元与纤维素的合成与酶解）

2) 在酶活性中心发生：与底物结合，执行反应的部位为活性中心

3) 反应条件温和：常温，常压，近中性 pH 值

4) 高效率：反应速率极快，DNA 复制：800 bp/s

5) 低耗能：固定一个 N2，仅需 16ATP。

酶活性中心---青霉素的作用机制

青霉素的分子构型与细菌细胞壁的底物 D-ala-D-ala 转肽构型极其相似，因此可与糖肽转肽酶结合，占据底物的位置，阻止细胞壁的合成，使细菌因内含物渗漏而死亡

酶催化反应的高效率原因是

- 1) 提高底物在反应区间的浓度；
- 2) 使反应基团正确定位以便反应底物之间直接接触；
- 3) 通过改变反应底物的分子几何构型和电子轨道的分布降低活化能。

影响酶反应的因素

- 1) 温度
- 2) pH 值
- 3) 底物浓度
- 4) 抑制剂
- 5) 反馈抑制

生物代谢的特点

- 1) 同化作用：消耗能量将小分子合成大分子的过程

2)异化作用：将复杂的化合物分解为简单的小分子并释放能量的过程

3)生物代谢具有：**区域性，有序性，可控性**，酶促反应，动态平衡，代谢路线交叉等特点

生物代谢的特点--区域性

1)组织水平 2)细胞水平 3)亚细胞水平

生物代谢的特点--可控性

1)能量的释放和消耗是逐步发生的。

2)代谢调节：正反馈，负反馈

3)信号调节：激素，环境压力

3)发育调控：营养生长，生殖生长，衰老

生物代谢的特点--反馈调控

代谢抑制：通过生化反应的**终端产物**来抑制催化产生终端产物的代谢过程。终端产物在过剩时可与催化初始反应的酶结合，并改变其活性，由此达到抑制整个生化路线的目的。代谢抑制调控是一种代谢负调控。

代谢缺陷病

蚕豆病：葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 (G6PD)的遗传缺陷。该酶的突变型稳定性差，半衰期从 62 天减至 13 天，使血细胞抗氧化能力下降，造成红细胞破坏。

苯丙酮酸尿症：有些人因遗传基因缺陷，其**苯丙氨酸羟化酶（或辅因子）**缺乏或活性减低，苯丙氨酸主要代谢途径受阻，**血液**中游离**苯丙氨酸浓度异常升高**，次要代谢途径活跃，出现**高苯丙氨酸血症及苯丙酮酸尿症**。引起**新生儿中枢神经系统分化停滞，造成大脑的不可逆损害**



痛风症（嘌呤代谢紊乱）：血清中**尿酸水平升高**，**尿酸钠晶体沉淀从而导致关节炎症**。

尿黑酸尿症：常染色体隐性遗传病，尿黑酸氧化酶缺乏，因而由酪氨酸分解而来的尿黑酸不能进一步分解为乙酰乙酸。过多的尿黑酸由尿排出，并在空气中氧化为黑色。

思考题

1) 什么是耗散结构理论？

2) 什么是代谢，举例说明。

2) 为什么 ATP 可以作为能量交换的媒介？

3) 什么是能障？什么是活化能？酶为什么能降低反应的活化能？

4) 什么是酶促反应的专一性？它在药物设计中有何应用价值？

5) 生物体内酶促反应有哪些特点？

6) 为何酶促反应具有**高效低耗可控**的特点？

7) 请了解或解释 2 种医学上常见的代谢病。

第 8 章

细胞呼吸获取能量的特点

1)生物获取能量主要依赖于生物大分子的氧化，通过细胞的呼吸将碳水化合物分解为 CO_2 ，消耗 O_2 ，产生水分子。

2)碳水化合物氧化效率很高，释放的能量 40%储存到 ATP 分子中，其余能量以热能形式释放到环境中。

3)碳水化合物的体内氧化在近中性 pH，常温条件下进行。

4)碳水化合物氧化产生的能量是逐步释放的，燃烧释放的能量是一步生成的。

生命利用生物能量方式的转变——从无氧酵解转变为有氧呼吸

1)生命诞生的初期(38 亿年前)，地球大气中缺少氧气，充满 CO_2 ， N_2 ， H_2 ，整个处于还原状态。

2)具有光合作用的蓝细菌出现之后，大气中开始出现氧气。在 20 亿年前，大气中氧气开始积累，真核生物开始出现。氧气占现在地球大气的 21%。

3)大气中自由氧的出现对生命的进化产生了极其深远的影响，改变了生命利用生物能的方式。因为有了充足的能量，生命活动的形式发生了根本性的变化。

4)这是因为碳水化合物的氧化磷酸化大大提高了生物能的利用效率。

糖酵解特点

1)在**细胞质溶胶**中进行

2)无 O_2 参与

3)最终产物为 **2 分子丙酮酸**

4)消耗 **2 分子 ATP**

5)底物水平磷酸化产生 **4 分子 ATP**

6)产生 2 分子还原 $\text{NADH}+\text{H}^+$

丙酮酸脱羧转变为乙酰 CoA 后进入线粒体

三羧酸循环

1)三羧酸循环是需氧生物体内普遍存在的**中心代谢途径**。因为此代谢途径中有几个中间代谢物具有三个羧基，故称三羧酸循环。又因为循环由柠檬酸开始，故也称**柠檬酸循环**，也可用发现者的名字命名为 **Krebs 循环**。

2)此途径在**真核细胞的线粒体**中进行，催化每一步反应的酶均位于**线粒体基质**内。

3)循环的第一步反应是乙酰辅酶 A 的乙酰基（2 碳化合物）与草酰乙酸（4 碳化合物）缩合生成柠檬酸（6 碳化合物），后者经异构化并脱氢、脱羧生成 α -酮戊二酸（5 碳化合物），再脱氢、脱羧生成琥珀酸（4 碳化合物）。琥珀酸进一步经两次脱氢、一次水化又重新生成草酰乙

酸。草酰乙酸又可和另 1 分子乙酰辅酶 A 作用再生成柠檬酸，这样就形成了一个循环。

3) 三羧酸循环可产生底物磷酸化 ATP，同时也产生 NADH+H⁺ 和 FADH₂ 进入电子传递链生成 ATP。

三羧酸循环特点

1) 脱羧：最初草酰乙酸因参加反应而消耗，但经过循环又重新生成。所以每循环一次，净结果为 1 个乙酰基通过两次脱羧而被消耗。循环中有机酸脱羧共产生二个 CO₂，是机体中 CO₂ 的主要来源。

2) 脱氢：在三羧酸循环中，共有 4 次脱氢反应，脱下的氢原子以 NADH+H⁺ 和 FADH₂ 的形式进入呼吸链，最后传递给氧生成水，在此过程中释放的能量可以合成 ATP。

3) 分解：乙酰辅酶 A 不仅来自糖的分解，也可由脂肪酸和氨基酸的分解代谢中产生，都进入三羧酸循环彻底氧化。并且，凡是能转变成三羧酸循环中任何一种中间代谢物的物质都能通过三羧酸循环而被氧化。所以三羧酸循环实际是糖、脂、蛋白质等有机物在生物体内末端氧化的共同途径。

4) 合成：三羧酸循环是分解代谢途径，但又为一些物质的生物合成提供了前体分子。如草酰乙酸是合成天冬氨酸的前体，α-酮戊二酸是合成谷氨酸的前体。一些氨基酸还可通过此途径转化成糖。因而三羧酸循环构成了对合成代谢和分解代谢都可以通行的中心途径，故也称中心代谢途径。

一个丙酮酸脱羧后在 Krebs 循环中生成 3 个 NADH, 1 个 FADH₂ 和 1 个 ATP

三羧酸循环特点

- 1) 乙酰辅酶 A 参与；
- 2) 丙酮酸脱羧产生 1 分子 NADH+H⁺；
- 3) 三羧酸循环 2 次脱羧，产生 2 个 CO₂
- 4) 3 次 NAD⁺ 还原, 1 次 FAD⁺ 还原, 产生 3 分子 NADH+H⁺, 1 分子 FADH₂
- 5) 伴有 一次底物磷酸化，产生 1 分子 ATP
- 6) 反应在线粒体基质中进行

NADH 和 FADH₂ 的氧化

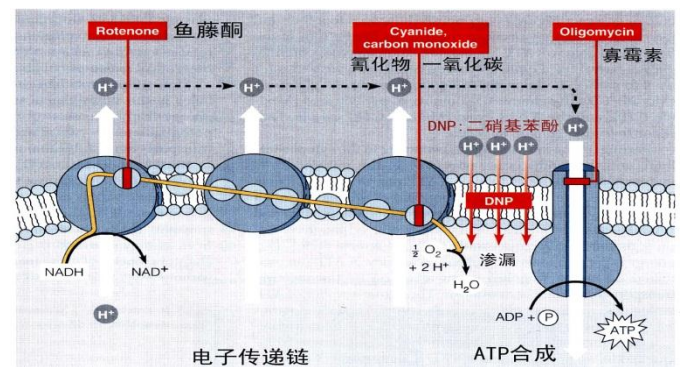
- 1) NADH 和 FADH₂ 氧化，将氢原子转移给氧化磷酸化电子传递链。
- 2) 在电子传递过程中，伴随质子的跨膜运动。
- 3) 质子跨膜运动在膜两侧产生电位差，电位差促使质子还回膜的另一侧，并将势能转变为化学能---产生 ATP。

NADH 和 FADH₂ 的电子传递

NADH 电子传递: 两个电子经过电子传递链复合物 I, III 和 IV, 将 10 个质子泵入膜间区。

FADH₂ 电子传递: 两个电子经过电子传递链复合物 III 和 IV, 将 6 个质子泵入膜间区。

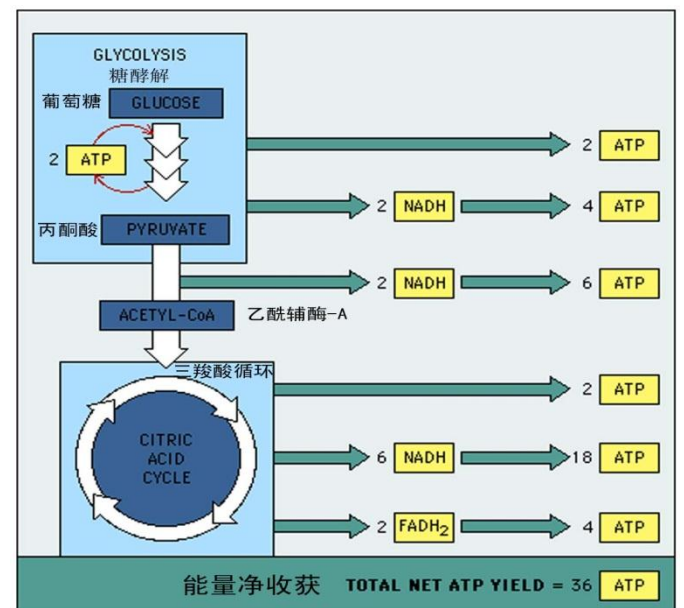
抑制氧化磷酸化的药剂



化学渗透学说

化学渗透学说由英国的米切尔提出，该学说假设能量转换和偶联机构具有以下特点：①由磷脂和蛋白多肽构成的膜对离子和质子具有选择性；②具有氧化还原电位的电子传递体不均匀地嵌合在膜内；③膜上有偶联电子传递的质子转移系统；④膜上有转移质子的 ATP 酶。在解释光合磷酸化机理时，该学说强调：光合电子传递链的电子传递会伴随膜内外两侧产生质子动力，并由质子动力推动 ATP 的合成。

1 个葡萄糖分解可生成多少 ATP?



氧化磷酸化要点

- 1) 电子传递链，电子能量转变为质子跨膜运动。
- 2) 质子跨膜运动，产生电位差。
- 3) 质子通过 ATP 酶回返线粒体基质, 伴随 ATP 生成，这一过程又称化学渗透。
- 4) 2H⁺, 2e⁻ 与 1/2 O 反应生成水分子

丙酮酸能量总帐

- 1) 当电子从 NADH 经过呼吸链传递到 O₂ 时，在三个部位即复合物 I, III 和 IV 可泵出质子。
- 2) 每对电子在呼吸链上传递时产生的质子势能下降用于合成 ATP, 到达 O₂ 时每个 NADH 传递的电子可产生 3 个 ATP. 但从 FADH₂ 转移的两个电子只产生 2 个 ATP, 因为

它只在 2 个部位(III 和 IV)泵出质子。

3) 1 分子丙酮酸氧化脱羧产生 4 分子 NADH, 1 分子 FADH₂ 和 1 分子 ATP, 总共产生:

$$4 \times 3 + 1 \times 2 + 1 = 15 \text{ ATP.}$$

1 分子葡萄糖产生 2 分子丙酮酸, 总计为 30ATP.

葡萄糖分解能量总帐—两种统计

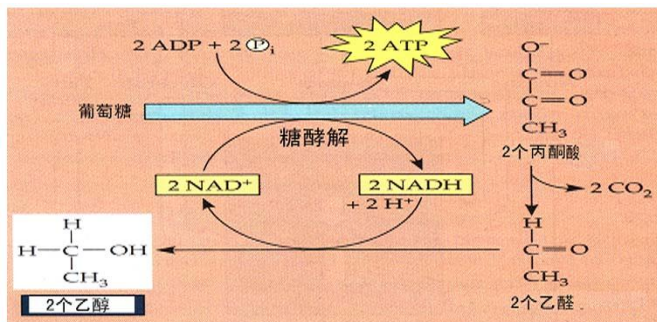
1) 理论上: 1 分子葡萄糖酵解产生 2 分子 NADH 和 2 分子 ATP, 总计 $2 \times 3 + 2 = 8 \text{ ATP}$. 加上 2 分子丙酮酸能量总帐 30ATP 共计 38 ATP. 如 NADH 进入线粒体消耗 2ATP, 则净收获 36 ATP.

2) 实际上: 由于线粒体内膜有泄漏, 有些质子会直接穿内膜进入基质, 不经过 ATP 酶, 造成能量损失; 线粒体膜常常利用质子势能梯度能量转运有机物如丙酮酸, 而不经 ATP 酶产生 ATP. 因此, 实际计算的每个 NADH 产生约 2.5 ATP; 每个 FADH 产生约 1.5 ATP. 所以 1 分子葡萄糖在真核细胞中约产生: $10 \text{ NADH} \times 2.5 \text{ ATP} + 2 \text{ FADH} \times 1.5 \text{ ATP} = 30 \text{ ATP}$.

糖酵解与氧化磷酸化效率

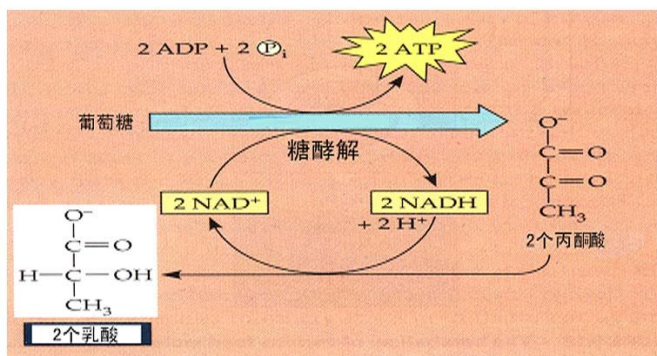
1 mol 葡萄糖产生的 ATP 相当于 1150 kJ, 而 1 mol 葡萄糖燃烧产生的能量约 2870 kJ, 即细胞通过呼吸氧化利用葡萄糖热能的效率约 40%.

无氧酵解——乙醇发酵



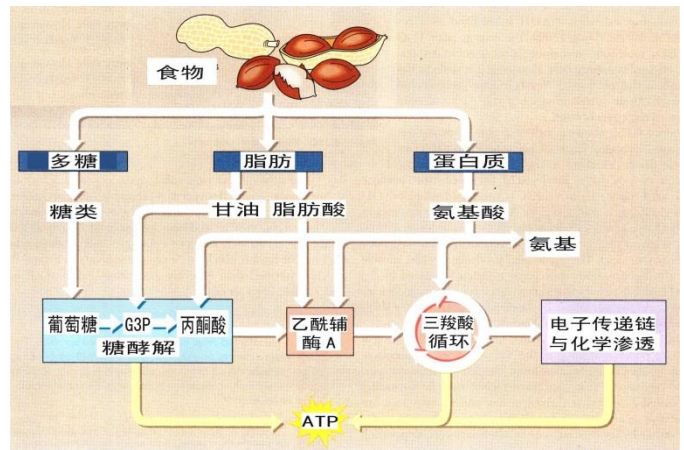
注: 乙醇发酵 丙酮酸分两步生成乙醇: 1) 丙酮酸氧化释放一个 CO₂, 并产生一个乙醛。2) 乙醛由 NADH 还原生成乙醇, 并再生 NAD⁺ 用于进一步酵解。

无氧酵解——乳酸发酵



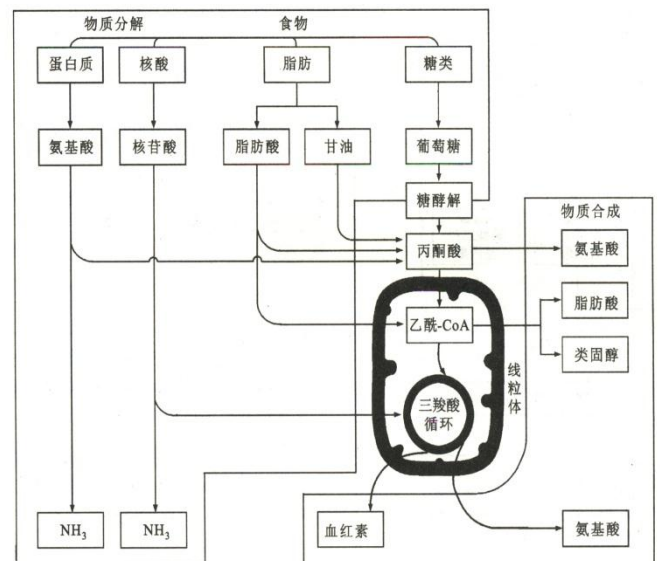
注: 乳酸发酵 丙酮酸直接由 NADH 还原生成乳酸, 不释放 CO₂。

生物大分子的氧化分解



生物大分子的合成

生物分子代谢之间的关系



思考题

1) 简述自然界的能量循环。

2) 什么是糖酵解? 它在何处进行?

3) 三羧酸循环的哪些步骤产生 ATP 和 NADH 或 FADH₂?

4) 什么是底物磷酸化?

5) 什么是氧化磷酸化? 氧化磷酸化如何产生 ATP?

5) 一分子葡萄糖在糖酵解时产生多少 ATP, 在氧化磷酸化时产生多少 ATP? 6:32

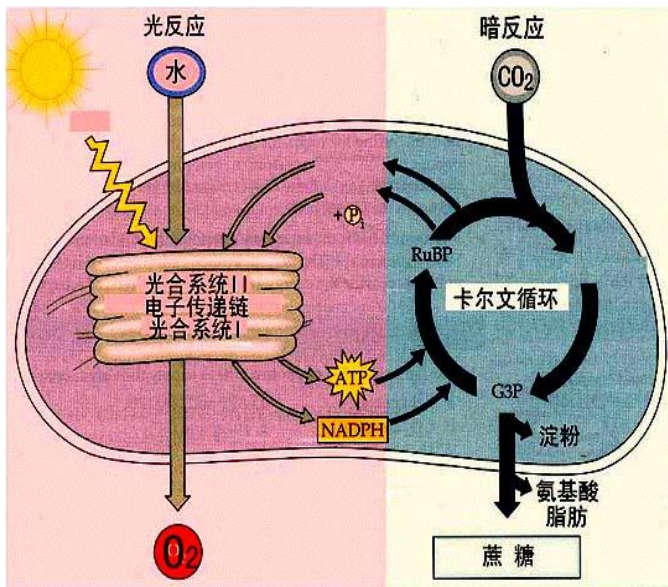
6) 无氧发酵可产生酒精, 其原理是什么?

第 9 章

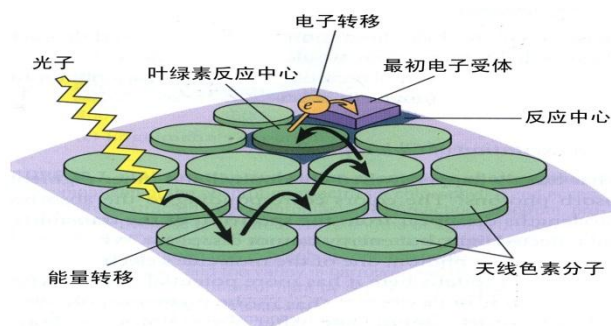
光合作用利用的太阳能

光合作用的效率在 0.5%-1.5%, 照射在植物叶片上的光能绝大部分未被利用。

光能与碳素固定



光能截获



注：光合作用系统是类囊体上截获光能的装置，每个光合作用系统都是蛋白质与其它分子的复合物。天线分子由数百个色素分子组成，当光子撞击色素分子时，能量可在色素分子之间转移，直至反应中心。到达反应中心之后，能量驱动氧化还原反应。反应中心叶绿素上的激发电子可由初级电子受体捕获。

- 1) 色素分子吸收的光能通过天线分子传递到反应中心。
- 2) 天线分子也是色素分子，吸收的光能通过电子共振的方式将能量在相邻的色素分子间传递，直至反应中心，使电子跃迁高能阶。

光合作用机制——吸能与水光解

- 1) 光合系统 II 吸收光能，反应中心叶绿素 P680 中的电子被激发进入很高的能阶，并被初始电子受体捕获。被氧化的叶绿素成为极强的氧化剂。
- 2) 光合系统 II 中的酶可从水分子中获取电子用于还原叶绿素，这一过程将水分子裂解成两个质子和一个氧原子。裂解的氧原子立即与另一个氧原子结合形成 O_2 ，这是一个放氧过程。解离的质子释放到膜间区基质。

光合作用中电子传递的之字路线——非环路光合磷酸化途径

电子传递依次经过两个光合系统，即 PSII 和 PSI，伴随两次电子势能的增高和降低：

- 1) 在光合系统 PSII 中，P680 吸收光能将电子激发达到高能阶 P680⁺，然后电子通过传递链 Pheo—PQA—PQB—Cytb6f 转移到 PSI 的 P700 色素分子。电子传递过程中势能下降，伴随质子跨膜运动。

2) 到达 PSII 系统 P700 的电子，在 PSII 反应中心又一次受光能激发跃迁到一个高能阶(P700⁺)，随后又通过 PSI 电子传递链 A0—A1—Fe—S—Fd，伴随质子跨膜运动最终将电子交给 NADP⁺，并将其还原为 NADPH。

环路光合磷酸化途径—电子传递

为了解决 ATP 和 NADPH 的比例失调，植物使用光合系统 I 进行电子循环传递，使电子再次产生 ATP 而非 NADPH。

PSI 系统电子流与质子去向

- 1) 由 PSII 系统传递的电子经 Cytb6f 复合物转移给质体蓝素(plastocyanin)。
- 2) 质体蓝素将来自 PSII 系统的电子交给 PSI 反应中心。
- 3) PSI 反应中心受光激发，电子跃迁到高能阶，留下的空缺由来自 PSII 系统的电子填补。
- 4) PSI 反应系统的电子跃迁到高能阶后，经电子传递链到达 Fd/NAD⁺ 复合体并从类囊体外膜吸收质子将 NAD⁺ 还原成 NADPH。

光合作用 PSII 和 PSI 系统位于基粒膜上

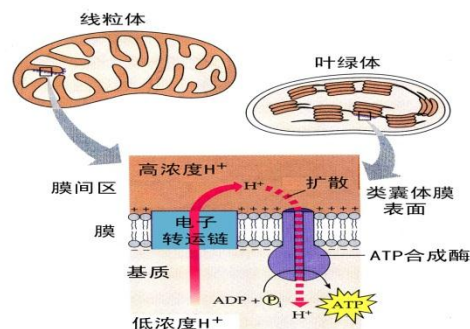
电子在光合作用 PSII 电子传递链中传送时，将类囊体外膜质子泵入膜内，形成电势能差。质子经 ATP 酶返回膜外，同时生成 ATP。电子在 PSII 电子传递链中传送时将电子交给 NADP⁺，并捕获质子生成 NADPH，释放到类囊体外。类囊体膜两侧的质子梯度

- 1) 类囊体膜两侧形成的质子梯度具有可做功的势能，它们是形成 ATP 的能量来源。
- 2) 类囊体膜两侧的质子梯度是内膜高于外膜，因此质子流动的方向是跨过 ATP 酶由内膜向外膜渗透。
- 3) 类囊体内膜质子梯度的升高主要是：1. 水裂解产生的质子释放到内膜一侧；2. 当电子在 PSII 反应中心通过 Q 循环(PQ → PQH₂)时，将类囊体外膜的质子转移到内膜。

光合作用机制——光合磷酸化

- 1) 光合系统 II 在电子转移过程中释放到叶绿体内膜腔一侧的质子在膜两侧产生了一个电位差，质子将通过 ATP 酶返回到膜间区。
- 2) 质子在通过 ATP 酶从内膜腔进入膜间区时势能降低，ATP 将质子降低的势能转变为化学能，产生 ATP。

线粒体和叶绿体的化学渗透与 ATP 合成

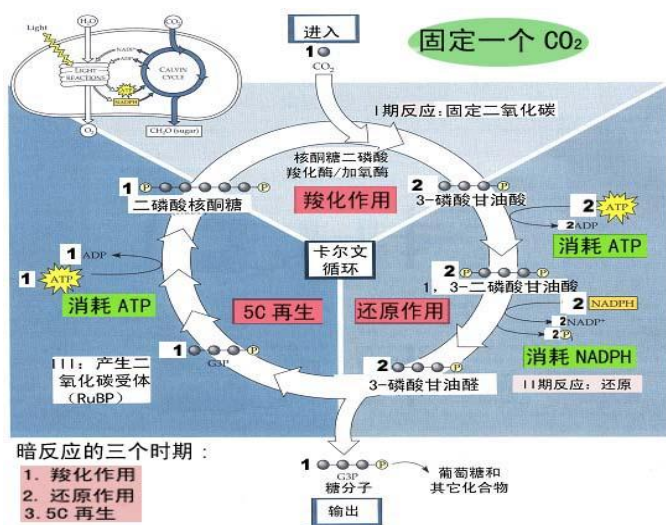


注：线粒体和叶绿体化学渗透的细节。线粒体内膜将质子从基质一侧泵入膜间区。当质子从ATP合成酶中扩散时将朝向基质一侧产生ATP。在叶绿体中，质子从类囊体腔泵入膜间区。当质子通过ATP酶回到基质一侧时，产生ATP。

光合作用机制---NADPH 和 ATP 的去向

由光合作用产生的 NADPH 将用于光合作用的暗反应, 与 ATP 一道固定 CO₂.

卡尔文循环-暗反应



注:固定一个 CO₂ 需要 3 个 ATP, 2 个 NADPH

卡尔文循环能量总帐

反应	耗能
• 6 x C ₅ + 6 x C ₁ → 12 x C ₃ -P	---
• 12 x C ₃ -P → 12 x C ₃ -2P	12 ATP
• 12 x C ₃ -2P → 12 x C ₃ -P-H	12 NADPH
• 12 x C ₃ -P-H → 6 x C ₅ + C ₆	6 ATP
合成一分子葡萄糖需要	
18 ATP + 12 NADPH	

RUBP(二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶)

1) RUBP 是一个双功能酶, 即可执行同化作用(固定 CO₂), 又可执行异化作用(氧化分解二磷酸核酮糖). 或者说 RUBP 即可结合 CO₂, 又可结合 O₂.

2) RUBP 双功能酶的活性取决于细胞内 CO₂/O₂ 之比. 在氧浓度高时, RUBP 执行氧化酶功能.

3)由于 RUBP 氧化酶的功能消耗光合作用产物,大大降低了光合作用的效率.这一特性被称为光呼吸, 光呼吸浪费的光合作用产物可达 30-40%.

光呼吸---影响光合作用效率的主要因素

光呼吸系指在 Rubisco(二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶)的氧化酶活性作用下将 1,5-二磷酸核酮糖分解为 3-磷酸甘油酸和 2-磷酸乙醇酸, 随后 2-磷酸乙醇酸又进入氧化分解产生 CO₂ 的过程.

光合作用的 C₄ 路线——旱生植物的光能利用

旱生植物为防止细胞中水份的蒸发常将气孔关闭, 由此

减少了 CO₂ 分子进入细胞的数量, 提高了细胞内 O₂/CO₂ 的比例, 不利于 CO₂ 的同化作用.为适应旱生环境, 这类植物在薄壁细胞中发展了一条 C₄ 路线. 它们先将 CO₂ 暂时固定, 然后在含叶绿素的维管束鞘细胞中释放, 以此提高 CO₂ 的浓度, 减少光呼吸, 有利于光合作用的进行.

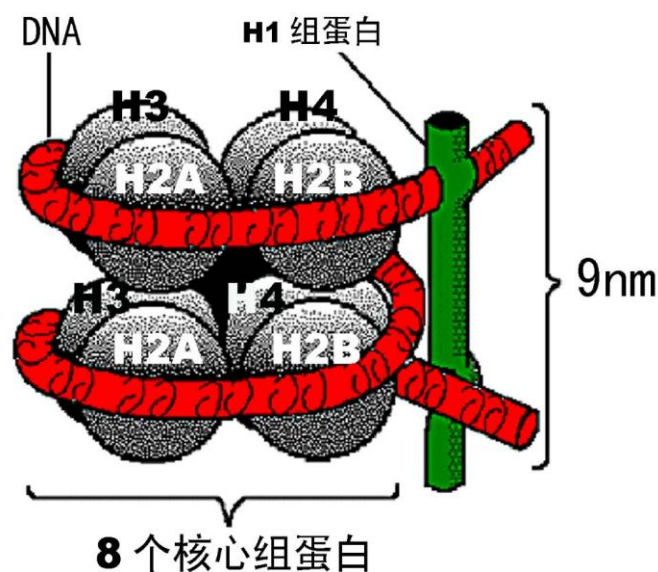
思考题

- 1)简述叶绿体的结构.
- 2)是否所有的太阳光均被叶绿体吸收, 为什么?
- 3)水分子是如何被光分解的? 水光解后的产物.
- 4)简述光合磷酸化的过程.
- 5)光合作用光反应阶段有哪些产物?
- 6)光合作用暗反应的产物是什么? 它需要哪些底物参与反应? 这些底物的来源如何?
- 7)合成一分子葡萄糖要消耗多少 ATP 和多少 NADPH 分子?

第 10 章

真核生物染色体的基本结构单元

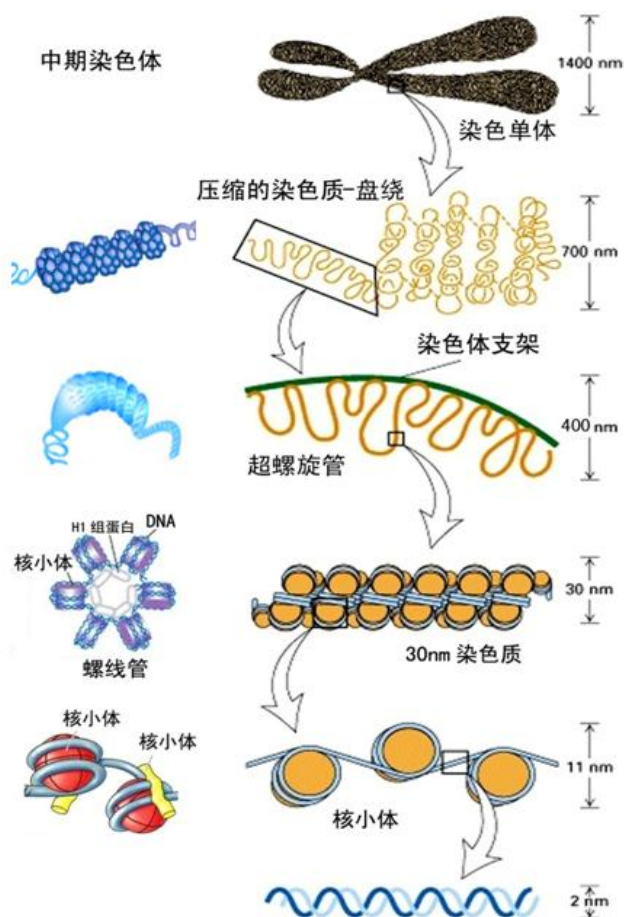
核小体



核小体由 DNA 和组蛋白构成.由 4 种组蛋白 H2A、H2B、H3 和 H4, 每一种组蛋白各二个分子, 形成一个组蛋白八聚体.约 140bp 的 DNA 分子盘绕在组蛋白八聚体外面构成核心结构, 形成一个核小体, 组蛋白 H1 则与间隔区(60bp)结合.

核小体直径约 9nm, DNA 分子在每个核小体上缠绕 1 又 3/4 圈, 长 140bp, 相邻核小体间间隔 60bp, 由组蛋白 1 与其结合. DNA 分子在核小体一级包装被压缩 5-6 倍.随后以核小体组成的念珠状线性串珠进一步依次压缩, 顺序为: 核小体→螺旋管→超螺旋管→盘绕→染色单体, 其压缩的倍数分别为 6 倍, 40 倍和 5-6 倍, 整个 DNA 被压缩约 8400 倍.人类 46 条染色单体 DNA

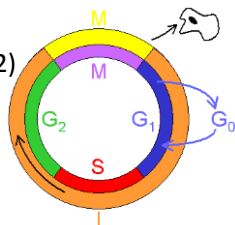
总长约 1.7 米, 染色单体总长 $200\mu\text{m}$



细胞有丝分裂周期

显微镜下观测细胞的周期, 从形态变化可分为 5 个时期:

- 1) 间期(I--G₁, S, G₂)
- 2) 前期(M)
- 3) 中期(M)
- 4) 后期(M)
- 5) 末期(M)



间期是两次细胞分裂的中间时期(I), 也是细胞分裂准备期。M 期为细胞分裂期, 可分为前期, 中期, 后期和末期。

细胞分裂间期(I 期)

细胞间期, 有时称为**静止期**, 实际上细胞内部 仍然进行活跃的生理生化反应, 只是显微镜下观测不到细胞核和染色体行为的变化。细胞间期又可细分为三个时期:

G₁ 期: 间期 1, 上一次细胞分裂结束到下一次 DNA 复制开始前;

S 期: **DNA 复制起始**, 直到染色单体形成。

G₂ 期: 间期 2, DNA 复制结束, 准备细胞分裂。

有丝分裂时期(M 期)

前期的主要事件: ①染色质凝缩, ②分裂极确立与纺锤体开始形成, ③核仁解体, ④核膜消失。前期最显著的

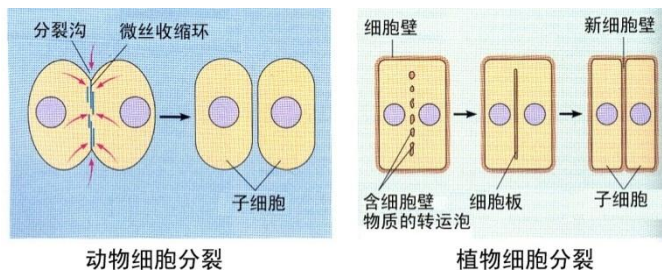
特征是染色质通过螺旋化和折叠, 变短变粗, 形成光学显微镜下可以分辨的染色体, 每条染色体包含 2 个染色单体。

中期指由核膜解体到染色体排列到赤道面这一阶段。纺锤体**微管**向细胞内部侵入, 与染色体的着丝点结合。染色体排列到赤道面上, 姊妹染色单体开始分向两极, 纵向观动物染色体呈辐射状排列。

后期姊妹染色单体分开并移向两极, 当子染色体到达两极后, 标志这一时期结束。

末期是从子染色体到达两极, 至形成两个新细胞为止的时期。末期涉及**子核的形成和胞质分裂**两个方面。

动物细胞和植物细胞分裂的差别



细胞减数分裂

减数分裂是生殖系统配子形成过程中的特殊细胞分裂, 在这一过程中**染色体复制 1 次, 但是染色体分裂 2 次**, 结果形成四个子核, 每个子核只含有单倍数的染色体, 这种分裂使得细胞的染色体数减少一半, 称为减数分裂。

减数分裂的各个时期:

第一次减数分裂

前期 I

细线期(leptotene)
偶线期(zygotene)
粗线期(pachytene)

中期 I

双线期(diplotene)
浓缩期(diakinesis)

后期 I

末期 I

间期

第二次减数分裂

前期 II

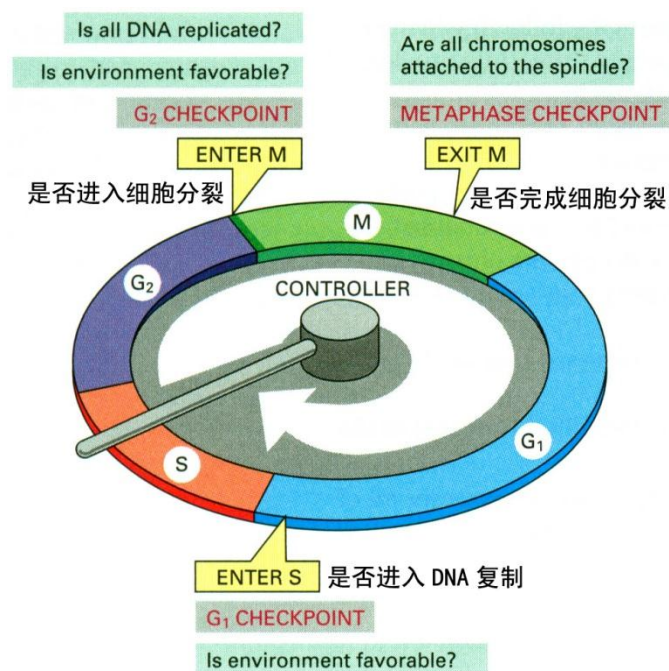
中期 II

后期 II

末期 II

真正的减数过程是在第一次减数分裂时期, 第二次分裂是染色体均等数分裂, 没有再次的**同源**染色体数减半。

细胞周期调控



有丝分裂的 G0 期

G0-G1 期 细胞周期的调节主要是通过 G0(G1)期的阻留而实现的,G0 期即指细胞处于阻留的状态。细胞通过 M 期一分为二,有的可继续分裂进行周期循环,有的转入 G0 期。G0 期是脱离细胞周期暂时停止分裂的一个阶段。但在一定适宜刺激下,又可进入周期合成 DNA 与分裂。G0 期的特点为:①在未受刺激的 G0 细胞,DNA 合成与细胞分裂的潜力仍然存在;②当 G0 细胞受到刺激而增殖时,又能合成 DNA 和进行细胞分裂。

细胞周期的调控与 MPF 有关

MPF:有丝分裂促进因子

MPF=cyclin(细胞周期蛋白) + Cdk(依赖细胞周期蛋白激酶)

Cyclin 周期性合成与降解是一个关键因素。

细胞分化的潜能

多细胞生物体由单个全能细胞(结合子或者受精卵)起源,结合子或者受精卵能够分化出各种细胞、组织,形成一个完整的个体,所以把结合子或受精卵的分化潜能称为全能性。随着分化发育的进程,细胞逐渐丧失其分化潜能。从全能性到多能性,再到专能细胞,最后失去分化潜能成为成熟定型的特化细胞。

潜能递减:全能性→多能性→专能细胞→特化细胞

干细胞

干细胞:一类具有自我更新和分化潜能的细胞,包括胚胎干细胞(ES 细胞)和成体干细胞(AS)等。

干细胞的特点:

- (1) 保持未分化或低分化特征;
- (2) 在机体中的数目、位置相对恒定;
- (3) 具有自我更新能力;
- (4) 能分裂增殖;

(5) 具有多向分化潜能,能分化成不同类型的细胞;

(6) 绝大多数干细胞处于 G0 期,需要时才进入有丝分裂周期;

(7) 两种方式分裂,可以对称分裂形成两个相同的干细胞;也可以不对称分裂形成一个相同的干细胞和一个定向分化的祖细胞。

胚胎干细胞

细胞胚胎时期分离单个细胞可获得胚胎干细胞。

多能干细胞可由囊胚内细胞团产生。囊胚是由细胞组成的囊泡结构,周围是滋养层细胞。囊泡一侧为内细胞团由内细胞团可以分离得到胚胎干细胞,体外培养可获得多能干细胞。

细胞的全能性如何实现

- 1) 体细胞是已分化的细胞。
- 2) 体细胞具有特定的遗传记忆。
- 3) 体细胞实现全能性的前提:必须消除已有的遗传记忆,回到胚性状态。
- 4) 使体细胞回归胚性状态称为脱分化。
- 5) 脱分化的体细胞基因组必需重新程序化才能进入胚胎发育过程,实现再分化。

干细胞的类别

- 1) 干细胞:具有分裂和分化潜能的细胞称为干细胞,干细胞在适合的条件下可分化形成不同类型的细胞群。
- 2) 单能干细胞:仅能分裂形成同类型的子代细胞。
- 2) 多能干细胞:仅可分化为少数不同类型的细胞,如某些胚胎干细胞可分化为肌肉细胞,神经细胞,骨骼细胞等。
- 3) 全能干细胞:可以分化所有细胞类型的细胞,如哺乳动物囊胚期细胞可分化为各种类型细胞。全能干细胞主要就是胚胎干细胞,它能分化成人体 200 多种细胞类型,形成机体的任何细胞、组织和器官。

细胞程序性死亡与损伤死亡

注:细胞凋亡与细胞死亡是两种性质不同的事件。细胞凋亡是一种程序性死亡(programmed cell death,PCD),即自主性可控性的细胞死亡。凋亡细胞其染色质缩短,核膜和细胞膜泡沫化,并出现凋亡小体,最终由邻近巨噬细胞吞噬。细胞死亡是在细胞受到机械损伤后细胞膜破裂致使内含物外泄,由此产生组织炎症。

思考题

- 1) 简述染色体核小体的结构特征。
- 2 什么是有丝分裂,什么是减数分裂?简述这两种染色体分裂的生物学意义。
- 3) 马蛔虫有 2 对中间着丝粒的染色体,请画出马蛔虫的减数分裂模式图。
- 4) 简述细胞周期的几个时期。
- 5) 什么是细胞周期的检验点,简述检验点的细胞学意义
- 6) 何为细胞的分化潜能?细胞分化的分子机理是什么?
- 7) 干细胞有什么特点?可以分哪些种类?
- 8) 简述多利羊体细胞克隆的或程。
- 9) 细胞凋亡的特点是什么?与细胞坏死有何不同

10)简述细胞凋亡的调控机理.

第 11 章

经典遗传学中有关杂交的一些基本概念:

- 1) 性状 (character) 和特征 (trait)
孟得尔将类似植物花朵颜色这类可遗传的特征称之为性状, 而不同的花色如红, 黄, 白等称之为特征。
- 2) 纯系 (true-breeding)
自交后产生的所有后代具有相同的特征, 这种个体称为纯系。
- 3) 亲代 (P generation)
用于杂交试验的纯系亲本个体。
- 4) F1 代 (F1 generation, first filial)
由亲代杂交产生的个体。
- 5) F2 代 (second generation)
F1 代自交产生的个体。
- 4) 单杂交 (monohybrid cross)
针对一个性状, 为研究其遗传规律进行的杂交。

表型和基因型

基因型: 一个生物的遗传组成, 基因型只能通过杂交子代性状的分离比推测, 或采用 DNA 分子技术检测。

表型: 1) 一个特定的个体可见性状的组成(泛指). 2) 可以检测的特定基因型的表现形式(特指), 如高和矮, 黑和白。

孟得尔定律的延伸

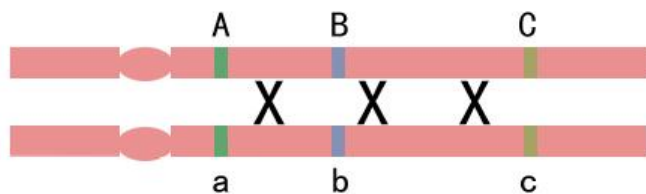
- 1) 不完全显性
- 2) 上位性
- 3) 复等位基因
- 4) 多基因性状
- 5) 基因多效性

交叉与交换

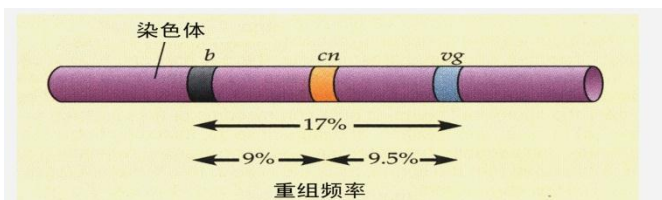
交叉: 交叉(chiasma)是细胞学术语, 指细胞减数分裂时配对的姐妹染色单体发生断裂重接, 彼此交换染色体区段的现象。

交换: 交换(cross-over)是遗传学术语, 指两条同源染色体上连锁的基因发生互换重组的事件。

遗传图距的设想



注: 位于同一染色体上的不同的等位基因之间的交换频率与其相对距离有关。相距越远的基因交换机会越大。

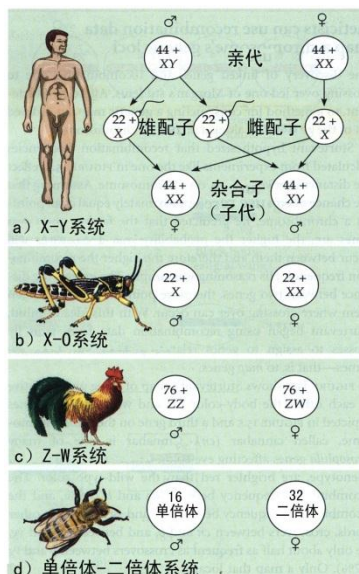


注: 采用重组率构建遗传图

- 1) 基因以直线排列的方式位于染色体上;
- 2) 假定两个遗传座位之间交换的频率与其相距的位置成正比;
- 3) 重组率表示两个基因之间的区域发生交换的频率, 一个图距单位定义为1%的交换率, 由cM表示单位;
- 4) Sturtevant构建的果蝇同一染色体三个基因: b (体色), vg (翅形) 和cn (淡红体色) 的相对位置。这种遗传图又称为连锁图 (Linkage map)。

细胞减数分裂时配对的同源染色体之间发生交叉与交换只出现在一对同源姐妹染色单体之间, 因此最大的交换率不超过 50%。

性别决定的染色体机制



注: 性别决定的染色体系统

- a) 哺乳动物和昆虫的性别决定于精子是携带X染色体还是Y染色体, X和Y称为性染色体, 其它染色体为常染色体。
- b) 蝗虫, 蟋蟀, 螳螂和某些昆虫只有一种性染色体。雌性为XX, 雄性为X0。X0表示体细胞只有一条X染色体。
- c) 鸟类, 一些鱼类和昆虫, 如蝴蝶, 蛾类的性别决定系统为Z-W。雌性为ZW, 雄性为WW。子代性别决定于母亲提供的卵细胞是携带Z还是W染色体。
- d) 大多数的蜂类和蚂蚁没有性染色体, 雌性由受精卵发育而成, 为二倍体。雄性由不受精的卵细胞发育而成, 因此为单倍体, 它们没有父亲。即孤雌生殖。

X 染色体的剂量效应

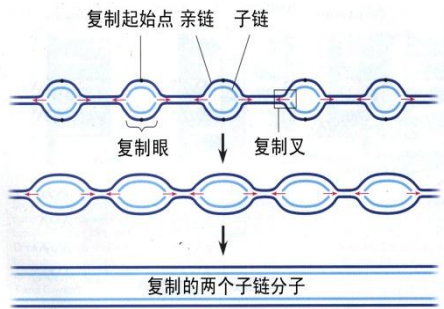
- 1) 哺乳动物雌性均含两条X染色体, 而雄性只有一条X染色体。
- 2) 如果哺乳动物两条X染色体上的基因都表达, 其表达产物将高于雄性一倍, 即发生基因剂量不平衡。
- 3) 剂量补偿 使两份基因拷贝的个体与一份基因拷贝的个体在基因表达数量上保持一致的机制。哺乳动物细胞有一条X染色体失活, 这就是剂量补偿。哪条X染色体失活是随机的, 失活的染色体为 Barr 小体。
- 4) 在性染色体数目异常的个体中(如 XXX), 只保留一条活性X染色体。

思考题

- 1) 什么是基因? 什么是基因型? 什么是表型?
- 2) 如何通过测交试验检测个体的基因型?
- 3) 请写出三对等位基因杂合体自交的分离比?
- 4) 有丝分裂与减数分裂的异同?
- 5) 为什么说基因的遗传规律与染色体在减数分裂时的行为具有平行关系?
- 6) 遗传图距是如何确定的?

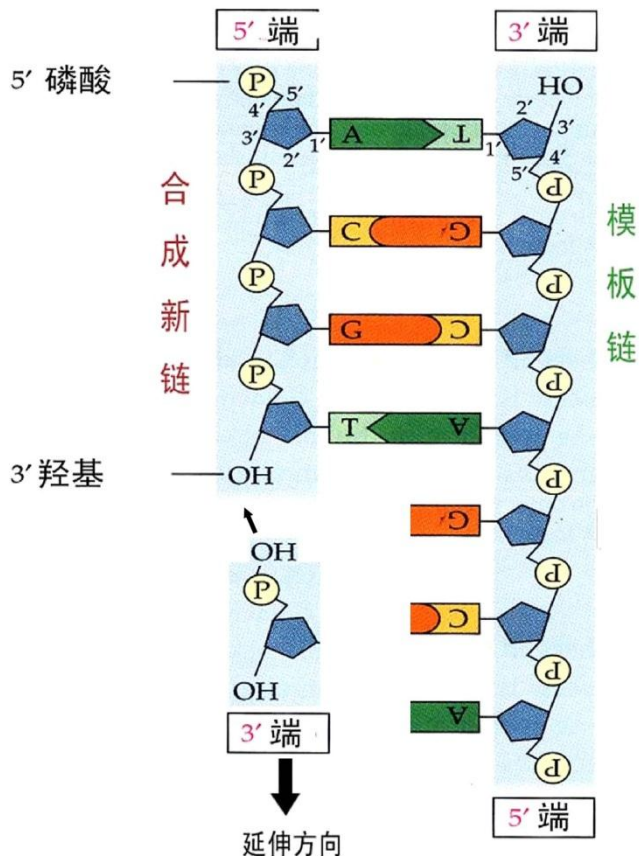
- 7) 请解释伴性遗传。
- 8) 为何哺乳动物雌性个体的毛色常常出现杂斑?
- 9) 什么是产前检测? 它对预防遗传病有何作用?

DNA 复制起始点---双向复制



注: DNA分子的复制在一个特定的位置即复制起始点开始, 双链分子在此分开形成复制眼。原核和真核染色体DNA的复制为双向复制, 前进的分叉口为复制叉。a) 复制图解, b) 复制照片。

DNA 双链的极性复制

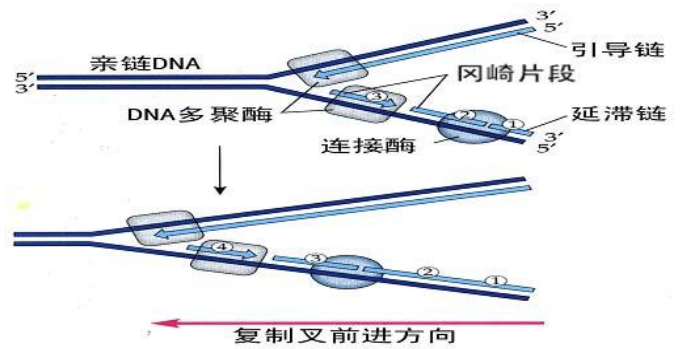


DNA 链的极性主要表现在核酸分子中核糖-磷酸骨架的排列, DNA 单链合成时只能由 5' 向 3' 方向延伸

DNA 双链的非对称性复制。

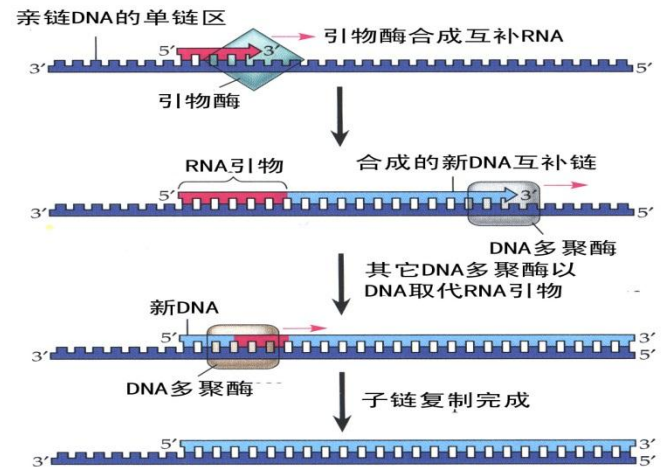
DNA 两条链的极性结构意味着, 当 DNA 双链同时复制时, 复制叉上的两条单链的复制方式是不对称的:

- 1) 引导链先复制, 延滞链后复制; 2) 引导链为连续复制, 延滞链为间断复制(冈崎模型)。



注: DNA双链的非对称性复制

DNA 复制的引物



注: DNA复制时的引物 DNA多聚酶不能直接起始DNA的复制, 它只能在已有的DNA单链3'末端添加核苷酸。引物是一段DNA复制起始位置与模板互补的RNA, 由引物酶合成, 最后被除去。

DNA 复制的特点

- 1) 半保留复制---DNA 的两条单链分别作为模板复制与之互补的单链, 遵循碱基互补的法则, 即 A:T 和 C:G 配对;
- 2) DNA 的复制具有**极性**, 只能从 5' → 3' ;
- 3) DNA 的两条单链非对称性复制; 3' 链为连续复制, 5' 链为间断复制;
- 4) DNA 的复制必需先在复制起始点合成一段**引物**。
- 5) 染色体端粒采取特殊的方法复制。

思考题

- 1) 有哪些实验证据表明 DNA 为遗传物质?
- 2) DNA 复制有哪些特点?
- 3) 请解释冈崎片段。

4) 为什么双脱氧核苷酸掺入复制的 DNA 新链中会阻止复制继续?

5) 什么是核小体?

遗传密码字典

		第二位核苷酸					
		U	C	A	G		
第一位核苷酸 (5'端)	U	UUU 苯丙氨酸 (Phe) UUC 苯丙氨酸 (Phe) UUA 亮氨酸 (Leu) UUG 亮氨酸 (Leu)	UCU 丝氨酸 (Ser) UCC 丝氨酸 (Ser) UCA 丝氨酸 (Ser) UCG 丝氨酸 (Ser)	UAU 酪氨酸 (Tyr) UAC 酪氨酸 (Tyr) UAA 终止密码 UAG 终止密码	UGU 半胱氨酸 (Cys) UGC 半胱氨酸 (Cys) UGA 终止密码 UGG 色氨酸 (Trp)	U	C
	C	CUU 亮氨酸 (Leu) CUC 亮氨酸 (Leu) CUA 亮氨酸 (Leu) CUG 亮氨酸 (Leu)	CCU 脯氨酸 (Pro) CCC 脯氨酸 (Pro) CCA 脯氨酸 (Pro) CCG 脯氨酸 (Pro)	CAU 组氨酸 (His) CAC 组氨酸 (His) CAA 谷氨酰胺 (Gln) CAG 谷氨酰胺 (Gln)	CGU 精氨酸 (Arg) CGC 精氨酸 (Arg) CGA 精氨酸 (Arg) CGG 精氨酸 (Arg)	A	G
	A	AUU 异亮氨酸 (Ile) AUC 异亮氨酸 (Ile) AUA 异亮氨酸 (Ile) AUG 起始密码	ACU 苏氨酸 (Thr) ACC 苏氨酸 (Thr) ACA 苏氨酸 (Thr) ACG 苏氨酸 (Thr)	AAU 天冬酰胺 (Asn) AAC 天冬酰胺 (Asn) AAA 赖氨酸 (Lys) AAG 赖氨酸 (Lys)	AGU 丝氨酸 (Ser) AGC 丝氨酸 (Ser) AGA 精氨酸 (Arg) AGG 精氨酸 (Arg)	A	G
	G	GUU 缬氨酸 (Val) GUC 缬氨酸 (Val) GUA 缬氨酸 (Val) GUG 缬氨酸 (Val)	GCU 丙氨酸 (Ala) GCC 丙氨酸 (Ala) GCA 丙氨酸 (Ala) GCG 丙氨酸 (Ala)	GAU 天冬氨酸 (Asp) GAC 天冬氨酸 (Asp) GAA 谷氨酸 (Glu) GAG 谷氨酸 (Glu)	GGU 甘氨酸 (Gly) GGC 甘氨酸 (Gly) GGA 甘氨酸 (Gly) GGG 甘氨酸 (Gly)	U	C

注：生物遗传密码字典 地球上的生物采用统一的遗传密码。已知遗传密码有64个，但氨基酸只有20个，因此密码有冗余，即一个氨基酸有一个以上的密码子，称为同义密码。同义密码子中的前两个碱基相同，但第3个碱基不同，称为摇摆碱基。64个密码子中，有一个起始密码，为AUG（ ），三个终止密码（ ），分别为UAA、UGA和UAG。起始密码指令翻译开始位置，编码甲硫氨酸。终止密码指令翻译停止，不编码氨基酸。

遗传密码字典的特点

- 1)通用：所有生物采用同一套密码字典。
- 2)兼并：数个密码子编码同一个氨基酸。
- 3)摇摆：密码子的第3个碱基可选择不同碱基配对。
- 4)偏爱：摇摆密码子的使用频率不同。
- 5)偏离：在不同场合同一密码子含义不同。
- 6)扩展：现已发现第21、第22个氨基酸密码。

mRNA—翻译的模板

- 1)任何一个 mRNA 都有一个起译密码子和一个终止密码子。
- 2)有些 mRNA 可以发生移码翻译，即在 mRNA 的某个密码子位置前移或后退一个碱基改变后续码框的排列次序，使一个 mRNA 编码两个不同的蛋白质。

真核生物 mRNA 的翻译有四个场所：

1. 细胞质溶胶中 (细胞核基因)；
2. 糙面内质网上 (细胞核基因)；
3. 线粒体中 (线粒体基因组基因)；
4. 叶绿体中 (叶绿体基因组基因)。

遗传信息流—中心法则



生物学的中心法则即遗传信息流的方向是由 DNA→RNA→蛋白质。一些 RNA 病毒可以 RNA 为模板复制 RNA，然后由 RNA 合成蛋白质。另一些 RNA 病毒可以 RNA 为模板合成 DNA。

思考题

- 1) 有哪些密码子的破译方法？
- 2) ACGG 重复单元组成的 mRNA 可翻译成几种多肽？请

写出其氨基酸序列组成。

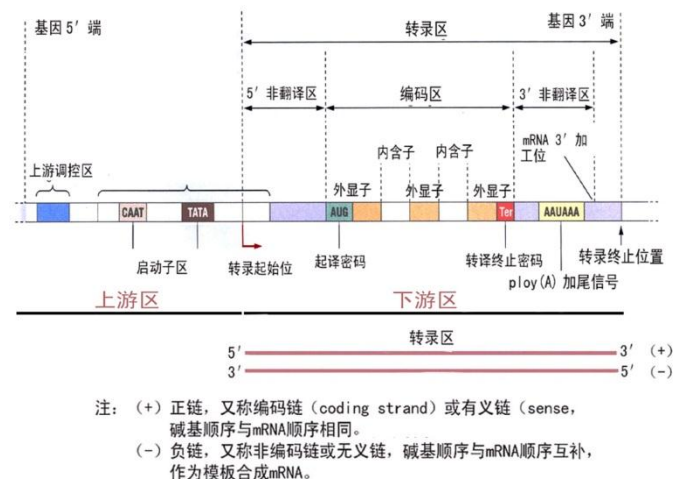
- 2) 密码子的组成特点？
- 3) 蛋白质翻译时密码子是如何被识别的？
- 4) 什么原因产生密码子的摇摆？
- 5) 翻译在什么密码子开始，在什么密码子终止？
- 6) 图解中心法则。逆转录的发现是否改变了中心法则？

基因的定义

经典遗传学：决定表型性状的独立的遗传单位。

分子遗传学：组成一个完整转录单元的 DNA 顺序。

基因的结构



以转录起始点为分界线，在其 5' 端的顺序称为基因的上游区，在其 3' 端的顺序称为基因的下游区。

- 1) 基因的上游区含有控制基因表达调控的顺序，通常将这些顺序称之为顺式元件。
- 2) 基因的转录区包含：

外显子：在转录加工后输出细胞核的顺序，含编码 mRNA 的顺序。

内含子：在转录加工后被切除的顺序，非编码顺序。

5' - 和 3' - 非翻译区：不编码氨基酸

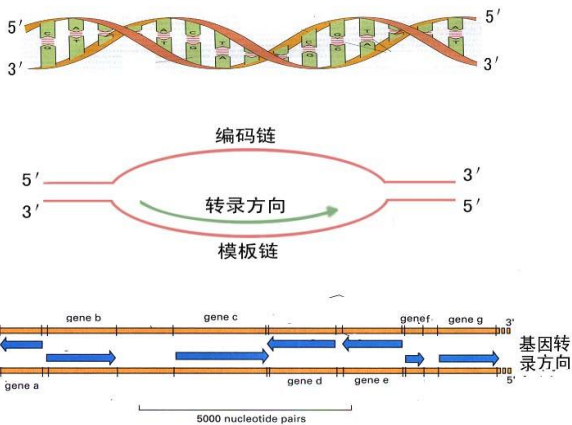
- 3) mRNA 的顺序组成：

5' 非翻译区：可调控翻译起始

3' 非翻译区：可调控翻译终止

多肽链编码区：密码子组成区，或称开放读框，open reading frame, ORF

转录时以负链(-)或无义链为模板，按碱基配对法则合成与编码链或正链(+)顺序相同的 RNA。



- 1) 编码链又称为正义链 (sense strand), 互补链又称为反义链 (non-sense strand)
- 2) 编码链的编码方向为 5' → 3', 即由正链编码, 负链无编码功能。

基因的转录起始调控

与基因上游区顺式因子结合的**蛋白质**又称为**反式因子**, 绝大多数为转录因子, 控制基因的转录起始。

启动子---安装转录装置的平台

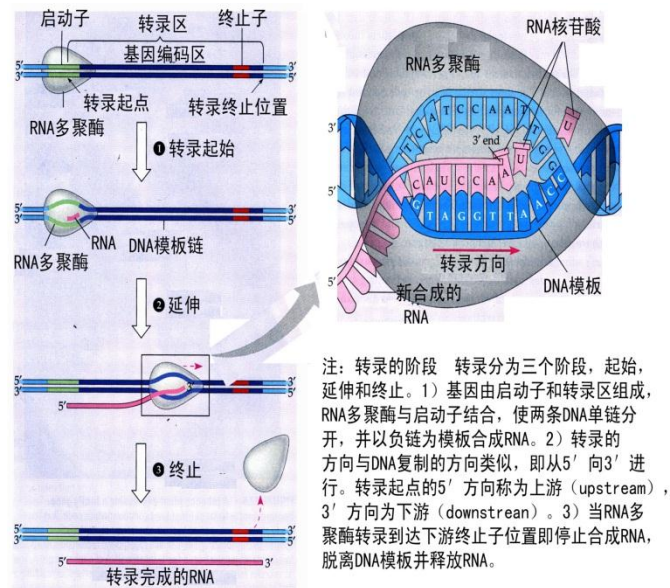
- 1) 核心启动子的顺序为-TATA-
- 2) 为 RNA 多聚酶的结合提供平台
- 3) 确定转录的方向
- 4) 规定转录起始点

什么是增强子

真核生物启动子并**不能单独行使转录起始功能**, 它必须借助增强子的帮助。增强子可以定义为**距离转录起始点较远的与转录激活有关的 DNA 顺序**。

真核生物的增强子由许多可以和转录调控蛋白特异结合的短序列 DNA 组成, 通常称为**顺式元件**。增强子可以决定基因何时何处表达以及表达水平。

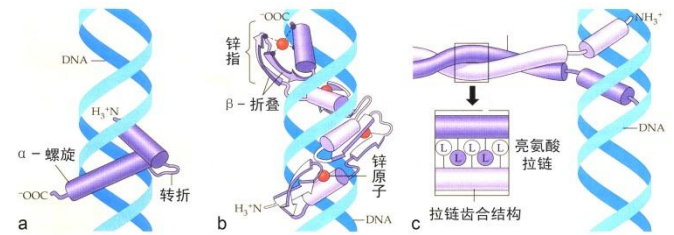
转录的起始与延伸



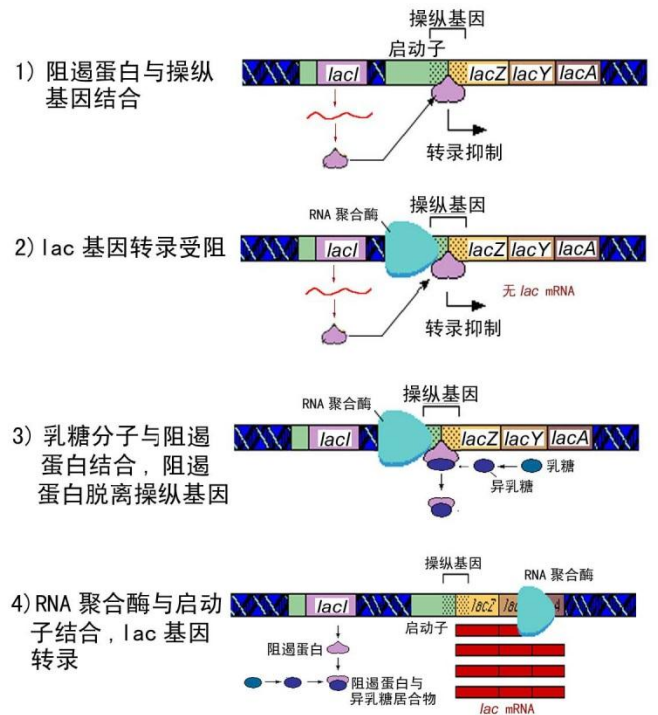
转录因子与调控元件

转录因子 图中所列为 3 种常见的转录因子: 螺旋-转-螺旋蛋白 (a), 锌指蛋白 (b) 和亮氨酸拉链蛋白 (c)。

每种转录因子蛋白都能嵌入 DNA 双链的沟槽中, 与特定的 DNA 序列结合, 启动基因的表达。



原核基因表达调控——操纵子模型

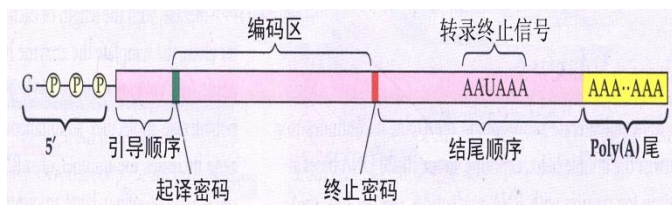


当培养基中含有葡萄糖时,抑制蛋白质与 *lac* 操纵子中的操纵基因结合,阻止转录.当培养基中无葡萄糖而含有乳糖时,乳糖与抑制蛋白结合,解除抑制,基因转录。

基因转录产物的加工

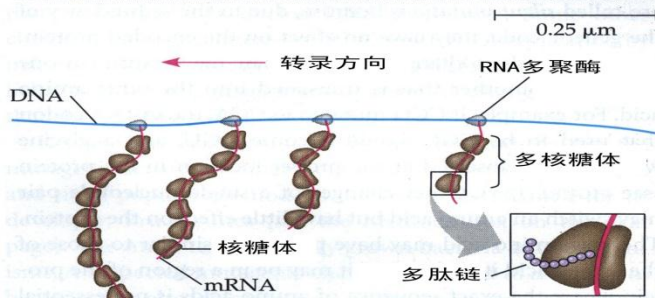
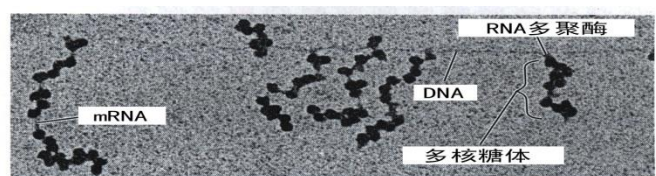
- 1) 真核细胞中编码基因转录的初级产物称为前体 mRNA (pre-mRNA)。
- 2) 前体 mRNA 必需经过加工转变为成熟的 mRNA 才能输出细胞核。
- 3) **前体 mRNA 的加工** 包括:

- 1) 5' -端加帽
- 2) 3' -端加尾
- 3) 切除不编码的内含子, 将相邻的外显子彼此连接。



注：RNA加工 转录的前体mRNA在输出细胞核之前必须加工，前体mRNA的两端需要修饰。加帽：转录后立即在5'端添加三磷酸鸟苷酸。加尾：将前体mRNA 3'结尾顺序AAUAAA的下游切除，添加一段长约200个腺苷酸的尾巴。两端修饰有助于保护RNA的降解及输出细胞核。

细菌中转录与翻译是偶联的同步进行



注：细菌中转录和翻译偶联 细菌细胞没有核膜，转录和翻译在同一空间进行。在转录后mRNA立即开始翻译，多个核糖体先后附着到mRNA分子上，形成多核糖体翻译图景。

DNA 甲基化与转录调控

DNA 的甲基化提供了碱基排列之外的结构信息，可促使基因关闭。DNA 双螺旋环绕着核小体蛋白复合体，甲基化 DNA 可被调控蛋白识别导致核小体压缩，阻止转录。这类调控又称为表观遗传。

基因突变的类型

1) 碱基代换 又称点突变，碱基改变包括：

转换：一种嘌呤转变为另一种嘌呤，

A→G 或 G→A

颠换：一种嘧啶转变为另一种嘌呤，或者

相反，如 C→A 或 A→T 等。

2) 核苷酸插入或缺失突变

基因突变的效应—碱基代换

1) 同义突变：不改变氨基酸顺序的碱基代换，又称沉默突变

2) 错义突变：使氨基酸密码子发生改变的碱基代换

3) 无义突变：产生终止密码的突变，使翻译提前终止，产生残缺蛋白质

4) 连读突变：终止密码变为有义密码，产生延伸的多肽链

插入或缺失突变

不影响密码子读框的插入或缺失突变：

这类突变插入或缺失的碱基数目为 3 的倍数，不影响后续密码子的读框，但会增加或减少突变区域氨基酸的数目。

影响密码子读框的插入或缺失突变：

这类突变插入或缺失的碱基数目与密码子碱基数不成倍数，使后续密码子的读框发生改变，又称为移码突变。

细胞癌变的分子机制

- 1) 细胞癌变的关键是细胞分裂的失控。
- 2) 癌变可由多种原因引起，最终都是破坏控制细胞分裂基因的正常功能。
- 3) 癌变通常发生在必需不断更新的组织细胞，由于频繁复制可积累突变。
- 4) 导致癌变的内外因素，如接触致癌化合物引起DNA 突变。

癌基因

致癌基因(oncogene)：

因突变或高水平表达而引起靶细胞转变为肿瘤细胞的基因。

原癌基因 (Proto-Oncogenes)：

细胞中具有正常的功能，但在其突变或增强表达时能促进细胞分裂并有致癌作用的基因。

肿瘤与癌症的区别

肿瘤可分为良性肿瘤和恶性肿瘤两大类，肿瘤与癌症是不同的两个概念，良性肿瘤和恶性肿瘤的区别是相对的。肿瘤有恶性和良性之分，恶性肿瘤就是癌症。更确切地说，上皮组织的恶性肿瘤，才是癌症，其他组织的恶性肿瘤叫做肉瘤。肿瘤(良性) 是可控制的，而癌症是不可控制的。

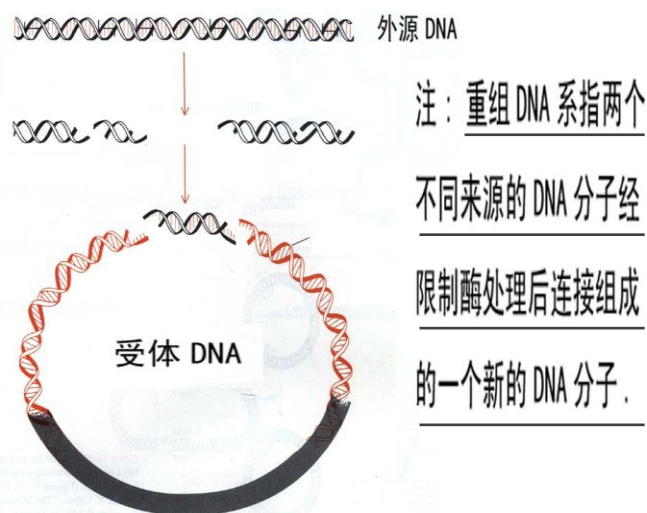
良性肿瘤一般生长缓慢，生长方式大多为膨胀性生长，有包膜，与周围正常组织分界清楚。

恶性肿瘤大都生长较快，一般无包膜，边界不清，肿块固定，与周围组织粘连而不能移动。

思考题

- 1) 真核生物基因的结构。
- 2) 原核生物与真核生物基因表达模式的主要差别？
- 3) 前体 mRNA 必需经过哪些加工才能输出细胞核？
- 4) 核苷酸的插入可引起哪些突变？是否所有的插入突变都会引起密码子的移码？
- 5) 简述乳糖操纵子表达调控的机制？
- 6) 癌症为什么大多发生在持续分裂的组织与细胞？不良的生活习惯为何容易诱发癌症，举例说明？

什么是重组 DNA



分子刀-DNA 限制性内切酶

限制性内切酶是一类在原核生物中发现的可以识别特定的 DNA 碱基顺序并将其切开的酶。

限制性核酸内切酶的特点

- 1) 限制性核酸内切酶仅在原核生物中发现。
- 2) 限制性核酸内切酶识别的碱基顺序长度不等，可从 4 碱基对到数十碱基对。大多数常用的限制酶识别的碱基对长度为 4-6 个碱基对。
- 3) 限制性核酸内切酶切割 DNA 的方式可以是 5' 突出单链或 3' 突出单链，也可以是平端酶切。
- 4) 大多数 II 型限制性核酸内切酶识别的碱基顺序都有回文对称的特点，即旋转 180°，识别顺序重叠。产生的突出末端称为粘性末端。平端切口不产生突出单链末端。
- 5) 细菌中的限制核酸内切酶可以将外源的 DNA 切割，但不酶切自身的 DNA。因为细菌基因组 DNA 可以甲基化，使限制酶不能识别而得以保护。

有三种类型限制性内切酶

目前已知有三种限制性内切酶：

- 1) I 型限制性内切酶：一类兼有限制性内切酶和修饰酶活性的蛋白复合体，可催化宿主 DNA 的甲基化。它们在识别位点约 1000bp 以外的任何位置切割 DNA 链，不产生确定的限制片段和明确的条带。
- 2) II 型限制性内切酶：在识别位点之中或临近的确定位点特异地切开 DNA 链。它们产生确定的限制片段和条带，因此是三类限制性内切酶中唯一用于 DNA 分析和克隆的酶。
- 3) III 型限制性内切酶：兼有限制和修饰两种功能的酶，可催化宿主 DNA 的甲基化。它们在识别位点之外 25-27 bp 的位置切开 DNA 链，并且要求识别位点是反向重复序列，如 Bcl I, CGANNNNNNTGC；它们很少能产生完全切割的片段，因而不具备实用价值。

什么是克隆

- 1) 来自同一亲本无性繁殖的完全相同的后代。
- 2) 来自同一细胞无性繁殖产生的完全相同的子代细胞。
- 3) 同一 DNA 分子经细菌或病毒扩增产生的序列完全相同的 DNA 群体。

定义：通过无性方式产生的遗传组成相同的后代(DNA, 细胞, 个体)。

DNA 分子克隆载体

一种可以将插入 DNA 片段进行扩增的质粒 DNA，含有可在原核或真核细胞中复制所必需的元件。

大肠杆菌质粒 DNA

- 1) 大肠杆菌细胞中含有游离于染色体外并且可以独立复制的遗传物质—质粒 DNA。
- 2) 质粒 DNA 一般是小分子环状 DNA 分子。
- 3) 大肠杆菌细胞中的质粒 DNA 通常有很多个拷贝，因此可以用来扩增外源的 DNA 片段。
- 4) 质粒 DNA 可以提取出来进行体外操作，构建重组 DNA 分子。
- 5) 提取和纯化的质粒 DNA 可以用来转化大肠杆菌细胞，并可在宿主菌中进行多拷贝复制。

DNA 克隆载体的必需部件

- 1) DNA 复制起始点
- 2) 质粒载体选择标记
- 3) 多克隆位点

质粒 DNA 复制起始点与拷贝数

- 1) DNA 克隆载体必须在宿主菌细胞中复制才能进行扩增，因此克隆载体均含有可被宿主菌识别的复制起始点。
- 2) 不同的细菌 DNA 复制起始点具有种属专一性，因此可在甲种细菌中复制的克隆载体不一定能在乙种细菌中复制。
- 3) 可在多种宿主菌中复制的克隆载体称为穿梭载体，它们含有广宿主复制起始点。

4) 复制起始点决定细胞中拷贝数的多少：

松弛型质粒：一个细胞中可以复制数十个质粒拷贝，这种质粒为松弛型，常用于质粒扩增。

严谨型质粒：一个细胞中只允许一个或数个质粒拷贝，这种质粒为严谨型，基因工程中很少采用这类质粒。

克隆载体选择标记

- 1) 质粒选择标记，这类标记可使质粒 DNA 在选择压力下保留在细胞中。
- 2) 插入子选择标记，根据筛选标记的表型可以判断外源 DNA 是否已插入到克隆载体中。

多克隆位点

1. 所有克隆载体都有多克隆位点，它们是外源 DNA 插入的位置。多克隆位点由一段特别的碱基顺序组成，它们可以由不同的限制酶切开。含有相同接头的外源 DNA 可通过互补接头插入到载体的多克隆位点中。

2. 采用多克隆位点的目的是为了便于不同顺序的外源

DNA 整合到载体中。

3. 当外源 DNA 顺序中没有合适的酶切位点时, 可以合成匹配的接头整合到载体中。

DNA 分子杂交—Southern 分析

1. DNA 双螺旋的两条单链是按碱基互补配对(A/T 和 C/G)的原则形成的。在高于 95C(或酸碱条件)下, DNA 两条双链会彼此分开形成单链, 这一过程称为 DNA 变性或解链。当温度下降到 70C 或 75C 以下时, 两条单链又会按碱基互补配对的原则重新形成双链, 这一过程称为复性。

2. 当两条同源 DNA 分子的碱基顺序具有 80%以上的一致性时, 这两条同源 DNA 的单链在 65 0C 条件下能形成杂交双链。分子遗传学实验中常用这种方法筛选含目标基因的阳性克隆。

3. 根据 DNA 分子变性和复性的原理, 可以采用分子杂交的方法检测样品中是否含有顺序一致的核酸分子。如果检测的对象是 DNA, 这种杂交称为 Southern 杂交, 如果检测的对象是 RNA 分子, 这种杂交称为 northern 杂交。

DNA 探针及分子杂交

1. DNA 探针是指一段用来检测或鉴定目标 DNA 是否具有同源或相同顺序的 DNA 分子。用作探针的 DNA 片段在与样品(DNA 或 RNA) 杂交前:

1) 需采用同位素或荧光化合物进行标记, 以便在杂交反应后显示与目标 DNA 杂交的信号。

2) 探针必需变性成为单链才能用于克隆杂交。

2. 基因文库的克隆转移到杂交膜上后, 必需将细胞裂解使其释放 DNA, 还要进一步将克隆的 DNA 变性使其成为单链状态。

如何使双链 DNA 变性为单链?

1) 加热: 将 DNA 样品置于 95C 的溶液。

2) 酸处理: 将 DNA 样品置于 0.1 N(或 0.2N)的 HCl 溶液。

3) 碱处理: 将 DNA 样品置于 0.2 N(或 0.4N)的 NaOH 溶液。

注: 1. 加热, 酸碱处理均可破坏双链 DNA 配对碱基之间的氢键, 使单链游离。2. 常用的杂交膜含有特别的化学基团, 可将 DNA 固定在杂交膜上, 使其所在杂交膜上的位置不变。

基因文库: 一组插入到克隆载体中足以覆盖基因组所有基因的 DNA 片段, 可进行复制与扩增。

表达基因文库(cDNA 库)的构建

1) 基因组中的基因在不同组织细胞中并不是全部同时表达的, 比如眼睛组织细胞中表达的基因与大脑组织细胞中表达的基因各不相同。为了知道大脑与眼睛中表达基因的差别, 可以构建专门的组织特异性 cDNA 文库。

2) 从特定组织中分离纯化 mRNA, 然后利用逆转录酶合成与 mRNA 分子互补的 DNA, 这个与 mRNA 互补的 DNA 称为 cDNA(complementary DNA)。cDNA 只含外显子顺序,

没有内含子顺序。

3) 将 cDNA 插入到载体中获得的克隆群体则称为 cDNA 文库。

PCR 技术

1) 什么是 PCR? PCR 的全称为多聚酶链式反应, 系指一种在体外通过酶的催化反应扩增 DNA 分子的技术。

3) PCR 技术主要利用高温耐热 DNA 多聚酶的特性, 使模板 DNA 在高温下变性, 然后与扩增引物复性并在 DNA 多聚酶的作用下进行 DNA 复制。这一过程可在试管中反复进行, 每扩增一次, DNA 分子的数量增加一倍。经多轮扩增反应后, 扩增的 DNA 分子可从数个模板增加到数百万个。

PCR 技术在现代分子生物学研究中的应用:

1. 直接从基因组 DNA 中扩增和克隆基因。
2. 检测样品中是否含有特定碱基顺序的 DNA。
3. 古 DNA 样品的扩增。
4. 绘制 DNA 指纹图。
5. 遗传病的检测。
6. 传染性病毒的检测。
7. 将特定的碱基引入 DNA 顺序中进行定向突变。
8. 检测与比较基因在不同组织的差异表达。

两种指纹

1) 广义的 DNA 指纹泛指所有能够进行个体识别的 DNA 多态性 (片段)的组成。狭义的 DNA 指纹系杰弗瑞斯最初提出的建立在限制性酶切和探针(Southern)杂交基础上的 DNA 多态性图谱(分析技术)。

2) DNA 多态性系指同一种群的不同个体在同源染色体的相同位点 DNA 顺序组成的差异。

3) 1985 年, 杰弗瑞斯及其同事采用血红蛋白基因第一内含子中的短串联重复序列作为探针在低严谨条件下杂交得到了包含十几条条带的杂交图谱, 不同个体杂交图谱上条带的位置差别很大, 就象人的指纹一样, 于是杰弗瑞斯就把它称为 DNA 指纹。

DNA 芯片

DNA 芯片是在很小的几何尺度的表面积上, 装配高度密集的固定的单链或可变性双链 DNA, 同时检测和研究不同生物细胞 DNA 的特性, 以及它们之间的相互作用, 获得生命微观活动规律的一项分子生物学技术。它的本质是进行生物信号的平行分析, 利用微点阵(microarray)技术将成千上万的 DNA 信息集中到一小片固相基质上, 在尽量小的空间范围内, 以尽量快的速度完成样品的遗传信息分析。

植物转基因的导入有三种方法

生物介导: 农杆菌感染法

物理方法: 直接导入, 基因枪法

化学方法: 直接导入, 脱去细胞壁的原生质体在 PEG 和 CaCl₂ 的介导下由细胞直接摄取外源 DNA。

农杆菌介导的基因转移有如下步骤

1. 植物受伤, 伤口分泌有机化合物—酚类物质.
2. 酚类物质吸引农杆菌趋向伤口.
3. 农杆菌接触细胞, 将 T-DNA (转移 DNA) 切离,
4. T-DNA 通过跨膜隧道进入细胞质, 并穿过核膜进入细胞核.
5. 进入细胞核的 T-DNA 整合到宿主细胞的染色体上.
6. 转基因表达.

基因治疗

1) 基因治疗是一种分子遗传学技术, 系指将外源的正常基因导入靶细胞, 以纠正或补偿因基因缺陷和基因异常引起的遗传疾病.

2) SCID(重症组合免疫缺陷症)是基因治疗的一个成功范例.

3) 基因治疗需要借助转基因表达载体将外源基因导入缺陷细胞, 通过基因表达纠正或补偿因基因缺陷.

基因治疗载体——无毒逆转录病毒

基因治疗的问题

反复

1) 以腺病毒为载体, 必需反复注射, 导致病毒蛋白基因反复表达, 引起严重免疫炎症反应.

2) 不能有效控制导入的野生型基因按正常需要表达.

3) 整合到染色体上的目的基因常常发生沉默或被抑制.

4) 外源基因有时会插入基因内部引起突变.

5) 导入的逆转录载体含有启动子, 可能引起插入位置附近基因的异常表达.

思考题

1) 什么是重组 DNA? p25

2) 什么是限制性内切酶?

3) 克隆载体包括哪些基本的结构元件, 简述 DNA 克隆的过程?

4) 质粒载体中含有哪些标记基因? 其作用是什么?

5) 如何构建来自人体血细胞的基因文库?

6) 什么是 cDNA, 如何克隆 cDNA?

7) 在进行 Southern 杂交时为何要将 DNA 变性?

8) 如何从基因文库中筛选已知部分碱基顺序的基因?

9) 简述 PCR 原理.

1) 转基因对生态有哪些可能的影响?

2) 转基因有可能通过哪些途径向其它物种转移?

3) 利用改造的逆转录病毒作为基因治疗载体存在哪些潜在的危险?

人类基因组的测序与解读

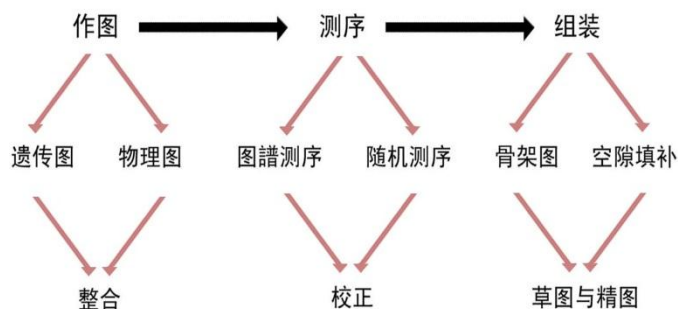
1) 遗传图与物理图

2) 人类基因组的测序与序列组装

3) 人类基因组草图与完成图

4) 人类基因组序列解读

基因组的测序路线



遗传图与物理图

1) 遗传作图 采用遗传学分析方法将基因或其它 DNA 顺序标定在染色体上构建连锁图。这一方法包括杂交实验, 家系分析。遗传图距单位为厘摩(cM), 每单位厘摩定义为 1%交换率。

2) 物理作图 采用分子生物学技术直接将 DNA 分子标记、基因或克隆标定在基因组实际位置。物理图的距离依作图方法而异, 如辐射杂种作图的计算单位为厘镭, 限制性片段作图与克隆作图的图距为 DNA 的分子长度, 即碱基对。

基因组路标

染色体上的基因和 DNA 顺序均可作为路标, 路标具有物理属性, 他们由特定的 DNA 顺序组成。路标位于染色体上的位置是固定的, 唯一的, 不会更改的, 因而提供了作图的依据

遗传作图标记

1) 第一代分子标记, 单一顺序多态性:

2) 第二代分子标记, 重复顺序多态性:

3) 第三代分子标记, 单核苷酸多态性:

基因组测序计划的重要技术

1) 大分子 DNA 分离技术---脉冲交变电场电泳

2) 大分子 DNA 克隆技术---YAC, BAC, PAC 等人工染色体

3) 大规模 DNA 测序技术---毛细管电泳

4) 超级计算机用于 DNA 序列的组装

鸟枪法测序与序列组装——由下至上的测序

温故而知新

生命的化学基础（元素；水分；无机盐；碳水化合物）
生物大分子（核酸；蛋白质；多糖；脂类）
生命基本单位—细胞结构与功能
细胞器与细胞核，染色体等
生命基础代谢（能量与物质代谢）
生命的遗传物质—基因

第一章 生物界

双名法

林奈于 1735 年出版“自然系统”(System Nature) 这一名著，在前人经验的基础上，建立新的动、植物的分类系统，并制订一个统一的生物命名法，即**双名法**。

Ginkgo biloba L.

属名 种加词 人名

用拉丁文定名，如用其他文字，需先把它们拉丁化。
书写成斜体字，如手写时则在下面划一横线，以示区别。
林奈不相信生物进化，他认为物种不会改变，物种彼此之间不存在系统的关系，因而他的分类系统不可能反映各种生物在进化上的地位——**人为的分类系统**。

达尔文(Darwin, 1809~1882)在 1859 年发表《物种起源》，创立进化论。

分类学不仅局限于鉴定物种，而且还须研究动物种间亲缘关系及整个生物界系统发育的演化过程，

分类学的概念从**静止状态的创造论转变为动态的进化论**。

海格尔(Haeckel, 1834~1919)创造“**进化树**”

20 世纪 40 年代赫胥黎(Huxley)在他的《新系统学》中，以**种群分类概念代替模式分类概念**。

细胞分类

应用细胞学特征进行物种分类称为细胞分类学。
较多的是**核型分析**，如染色体的数目、形态和大小，染色体的类别，染色体着丝粒的位置及其臂长，染色体的带型(染色体经染色在一定部位显示出不同的横带)等特征。

生化分类

蛋白电泳分析:分子生物学家发现，两个物种的蛋白质大分子长链的氨基酸排列相同部分愈多，它们的差异就愈少，其亲缘关系也愈近。

将待检物种的体液进行聚丙烯酰胺凝胶电泳或等电点聚焦电泳，用溴酚蓝等蛋白质染色剂染色，得出条带电泳图。

抗体抗原:反应一种动物的抗血清(抗体)除和本种动物血清(抗原)发生强沉淀反应外，对其他亲缘关系较近的动物血清也可发生程度不同的弱反应。

反应强度的不同说明动物的亲缘关系的远近不同。

生物大分子比较:细胞色素 C 是一个具有 104~112 个氨

基酸的多肽分子。从进化上看，细胞色素 C 是很保守分子。据估计，它的氨基酸顺序每 200 万年才发生 1% 的改变。

不同生物的细胞色素 C 中氨基酸的组成和顺序反映这些生物之间的亲缘关系。

四、生物的分界



五界分类系统	特征	类群	代表生物	作用
原核生物界	无细胞核，无细胞器，微小的单细胞生物	古细菌、细菌、蓝细菌等	大肠杆菌、螺旋藻	有机物的降解；自养或异养；致病等
原生生物界	真核细胞，单细胞或多细胞群体，大部分生活在水里	原生动物类、真核藻类、黏菌	草履虫、小球藻	海洋或湖泊中的原初生产者
真菌界	真核细胞，无叶绿素，不能光合作用，行腐食营养	霉菌、子囊菌、担子菌	青霉、木耳、猴头菇	降解有机物，致病，作物病害，制药，食品等
植物界	真核、多细胞，具有根、茎、叶和繁殖器官的分化，光合自养	苔藓植物、蕨类植物、裸子植物、被子植物等	各种植物	吸收二氧化碳，放出氧气；与人类食住行关系密切
动物界	真核、多细胞、异养、无细胞壁，大多数组织和器官发达，能运动	海绵动物、腔肠动物、环节动物、软体动物、节肢动物、脊索动物等	各种动物	吸收氧气，放出二氧化碳；有的是高蛋白食物的主要来源

生物界的主要类群

一、病毒

依赖宿主体内进行自我复制的颗粒状活性物质，直径为 10~300 nm

(一) 病毒结构

每一病毒颗粒都是由

一个**核酸芯子**和

一个蛋白质外衣，即**衣壳(capsid)**所组成

核酸芯子只含一个 DNA 分子或 RNA 分子，**不会两种分子同时存在于一种病毒颗粒中**。

2. 真核细胞病毒

它们为螺旋形(杆状)，多角形。无尾管、尾丝等结构

(三) 病毒病

烟草花叶病

家畜的口蹄疫、牛痘、狂犬病、

禽类的劳氏肉瘤、

人的天花、流感、麻疹、肝炎、肺炎等

(四) 类病毒

类病毒没有蛋白质外壳，它只是一个由 300 多个核苷酸构成的单链环状或线状 RNA 分子。

柑橘裂皮症、黄瓜白果病等。菲律宾椰子树 cadang-cadang

朊粒-朊病毒

只含蛋白质而无核酸的分子。朊粒(prions)能侵入寄主细胞，在寄主细胞中繁殖，引起寄主中枢神经系统病变，使寄主死亡。

例如羊的摩擦症(scrapie)，患羊的一个症状是摩擦皮肤，发病很慢，最后死亡。

二、原核生物

原核细胞与真核细胞基本特征的比较

特征	原核细胞	真核细胞
细胞核	无(多数鞭毛)	有
核膜	无	有
核糖体	由一个环状 DNA 分子和核糖蛋白组成，DNA 不与核膜结合	2 个核膜层以上，核膜层由核膜 DNA 与核蛋白组成
核仁	无	有
线粒体	无	有
内质网	无	有
高尔基体	无	有
溶酶体	无	有
细胞壁	70S(包括 80S 和 30S 的大小亚单位)	80S(包括 60S 和 40S 的大小亚单位)
光合作用结构	蓝藻含有叶绿素 a 的膜结构，能进行光合作用	植物叶绿体含有叶绿素 a 和 b
细胞 DNA	环状 DNA，细胞 DNA	线粒体 DNA，叶绿体 DNA
细胞分裂	二分裂(包括有丝分裂和减数分裂)	有丝分裂(包括有丝分裂和减数分裂)
细胞增殖	无	有
细胞增殖(分裂)方式	无丝分裂(二分裂)	有丝分裂(有丝分裂)

(一) 细菌

1. 细菌形态结构

球，杆，螺旋

细菌没有细胞核，没有线粒体等细胞器，只有一个环状的 DNA 分子。

细菌都有细胞壁。细胞壁不含纤维素，主要成分是含乙酰胞壁酸的肽聚糖。

胞壁酸是细菌壁的特有成分。青霉素有抑制肽聚糖生成的作用，所以能杀菌。

2. 细菌繁殖

细菌以二分裂的方式繁殖，分裂能力异常强大。条件适宜每 20min 可分裂一次。

多种细菌在环境不良时能产生孢子，以渡过不良环境。孢子有外孢子和内孢子之分。内孢子是在细菌内形成的孢子。多数细菌都能产生内孢子。

杆菌中的内生孢子，有外衣包裹用高压灭菌使温度增加到 120℃，大多细菌的孢子就可被杀死。(20~30 min)

3. 细菌营养

除吞噬营养外，生物界的其他各种营养方式在细菌中都存在。

少数细菌是自养：能通过光合作用直接摄取日光能，有些细菌通过无机化合物如 NH₃，H₂S 等的氧化而获取能量(化能合成作用)。

大多数细菌是异养，即腐食性。

- 1) 光合细菌：凡能进行光合作用的细菌都是光合细菌。分为产氧光合细菌和不产氧光合细菌
- 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，并利用取得的能将 CO₂ 还原成糖类。
- 3) 异养细菌：绝大多数细菌都是化能异养，简称异养细菌。异养细菌必须摄取有机物。食物腐烂就是由于异养细菌生于其中造成。寄生于动物和植物体内的细菌依靠动、植物体的有机物作为食物及能源，也属异养细菌。

4. 细菌呼吸

多数细菌是需氧，无线粒体，依细胞色素传递电子。如各种常见传染病的病菌，结核杆菌等。

有些细菌是厌氧。如破伤风杆菌、厌氧性球菌、梭状芽胞杆菌等。

5. 人体细菌

(1) 共栖细菌

有些肠道细菌，能合成多种 B 族维生素和维生素 E、K(互利共生)。此外，这些细菌的存在还起着防止或排斥外来有害细菌入侵的作用。

(2) 致病细菌

鼠疫、炭疽病、霍乱、猩红热、破伤风、结核、伤寒、细菌性肺炎等。

6. 植物细菌病

如苹果、梨的火疫病，病原是一种杆菌。使树枯萎，如被火烧。

(二) 蓝藻门

蓝藻有单细胞，也有多细胞长丝状(如头发菜)。

蓝藻细胞没有核，只有一个环状双链 DNA 分子。

蓝藻含藻蓝素、藻红素与类胡萝卜素。

(三) 粘菌

粘菌生长在阴湿土壤、木块、腐朽植物体、粪便等上面，细胞没有壁，单核或多核。

粘菌：是一团象变形虫样运动的细胞质。吸收死亡的有机体、细菌和孢子。

三、原生生物(原生动物与藻类)

(一) 藻类

金藻

硅藻 二氧化硅外壳

甲藻 纤维素外壳

赤潮：有时海洋中藻类或其他浮游生物的大量繁殖，集中于海面，使大面积海水变成红色、绿色、黄色或灰褐色，即是赤潮。

红藻 日光照入水中时，只有短波如蓝紫光能透入深水。藻红素吸收这些短波光能的效率远比叶绿素高，因此红藻能在深水中生活。

褐藻 海带

巨藻

绿藻 绿藻为单细胞，或多细胞。叶绿体含叶绿素 a、b 和类胡萝卜素。这和高等植物一样，其他藻类都不含或只含少量叶绿素 b。绿藻储藏的营养物是**淀粉**和**油类**，这也和高等植物一样。

(二) 原生动物

鞭毛虫纲：以**鞭毛**为运动胞器。约 2000 种，如钟罩虫、绿**眼虫**、原海绵虫、变形鞭毛虫、利什曼虫、**锥体虫**、**毛滴虫**、**披发虫**、幅球虫等。

肉足虫纲：以**伪足**作运动胞器。约 8000 种。**大变形虫**、表壳虫、球房虫、太阳虫等。

纤毛纲(Ciliata)：以**纤毛**作运动胞器，超过 6000 种。如**草履虫**、**栉毛虫**、四膜虫等。

四、古细菌

四、古核生物(古细菌)

	对氧的需求	嗜热/嗜盐	营养方式
Cutting-edge (产)甲烷细菌	厌氧	—	H ₂ ;需有机碳源
(极端)嗜热细菌	厌氧	嗜热	—SH化能自养
(极端)嗜盐细菌	—	嗜盐	光合作用

生活在极端环境中(高温、高盐、高压、极端酸和碱的)古细菌(Archaeobacteria)，在生理、生化及分子机制方面与真细菌之间存在着巨大的差异。

(1) **细胞壁的成分与真核细胞一样**，而非由含壁酸的肽聚糖构成，因此抑制壁酸合成的链霉素，抑制肽聚糖前体合成的环丝氨酸，抑制肽聚糖合成的青霉素与万古霉素等对真细菌类有强的抑制生长作用，而对古细菌与真核细胞却无作用。

(2)DNA 与基因结构：古细菌 DNA 中有**重复序列**的存在。此外，多数古核细胞的基因组中存在**内含子**。

(3) 有类似真核细胞的核糖体：多数古细菌类的核糖体较真细菌有增大趋势，含有 60 种以上蛋白，介于真核细胞(70~84)与真细菌(55)之间。

(4) 5S rRNA：根据对 5S rRNA 的分子进化分析，认为古细菌与真核生物同属一类，而真细菌却与之差距甚远。5S rRNA 二级结构的研究也说明很多古细菌与真核生物相似。

极端环境下的生命

最高温度极限为 113 ℃；

最低的 pH 达到 0.8；

最高的 NaCl 浓度达到 5.2M

五、真菌界

真菌和细菌一样，是自然界中强大的有机物分解者。它

们以动、植物尸体、枯木烂叶为食物源，也可侵入活的生物体内摄取营养。

低等真菌：霉菌与酵母菌等

高等真菌：菌丝缠绕而成组织体，木耳与蘑菇等。

真菌一大特点：分解木质素、纤维素和其他有机质，有利于物质的循环。

其他

造成霉烂与变质

中毒与美味食用菌

制药、酿酒、食品、造纸、皮革与化工等

地衣

地衣是**真菌和绿藻(或蓝藻)**的共生体，两者的密切结合使地衣表现为单一的植物体。

真菌依靠藻类获取所需营养物，藻类得到真菌的保护、细胞中的水分不致过度蒸发。

六、植物界

苔藓植物门

苔藓植物是过渡性的陆生植物。它们**没有维管组织**，因此植株矮小。**精子具有鞭毛**，必须在水中游泳才能到达卵子，只能生长在**潮湿多水**的地方。

苔藓植物的生活史中有一个**原丝体**阶段。原丝体和丝状绿藻很相像，因此植物学家推断，苔藓植物可能从丝状绿藻进化而来。

配子体世代发达，孢子体退化

维管植物门

1. 蕨类植物

蕨类的**孢子体发达，配子体不发达**，能独立生活。

配子体的精子器和颈卵器与苔藓植物相似，**精子有鞭毛**，要在水中游往颈卵管。

蕨类生活空中的一个重要环节—受精仍**离不开水**。

2. 种子植物

种子植物适应于陆地生活的特性：

种子中有充足养分，可保证幼胚萌发所需；

种子植物的风媒和虫媒等传粉方式适于在**干燥**环境中完成受精作用；

结构简单的**配子体存在于孢子体内**而得到孢子体的保护。

(1)裸子植物

孢子体发达，多数为高大的乔木

有性生殖在**胚珠**中进行而发育成为种子

由于胚珠及种子裸露(**没有子房**)，**没有真正的花和果实**，而称为裸子植物

苏铁、银杏

松柏纲：包括松、杉、柏

紫杉纲：包括罗汉松、三尖杉、紫杉

买麻藤纲：包括**麻黄、买麻藤、百岁兰**

(2)被子植物

被子植物又称**开花植物**；
地球上**最有优势植物**，生活的约有**22 万种**；
孢子体高度发育与分化，具有典型的**根、茎、叶、花、果实和种子**；
胚珠发育为种子；**子房发育为果实**。胚珠包在子房中，而不是裸露在外；
配子体更退化。**雄配子体(花粉粒和花粉管)只有 3 个核**，**雌配子体只有 8 个核**。**裸子植物的雌配子体一般可有上千个细胞**；
传粉方式多样化，如**风媒、虫媒、水媒**等。有**柱头**专门接受花粉；
双受精，胚乳是三倍性。一个精子与卵细胞结合形成受精卵，发育成胚；精子与两个极核结合形成三倍体初生胚乳核，进而发育成胚乳。

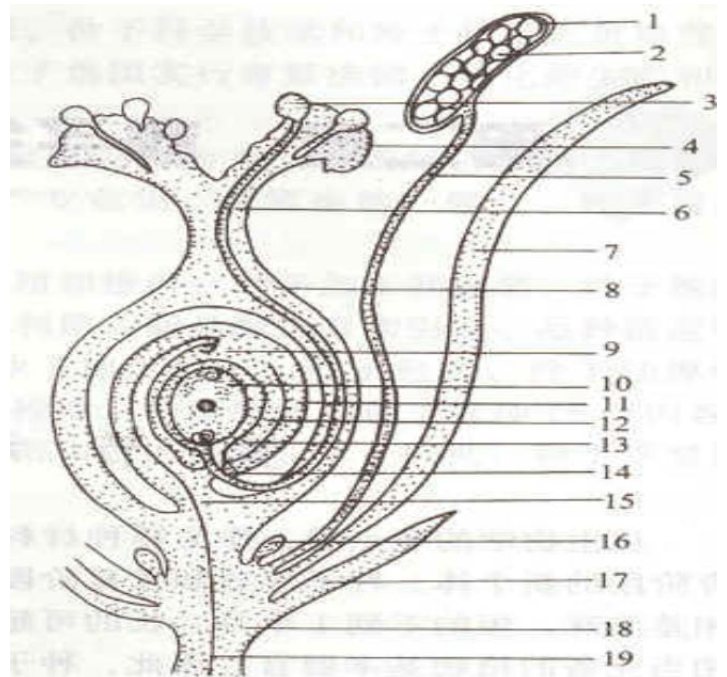
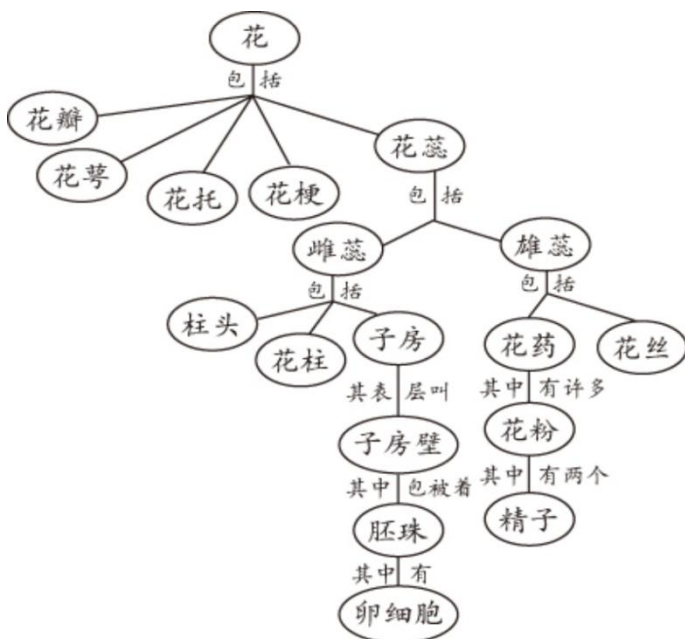
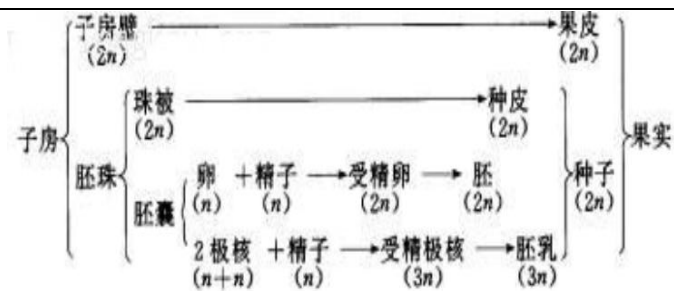


图 2-1 被子植物花器的纵剖面
(双子叶植物)

1. 花药 2. 未成熟花粉粒 3. 已萌发花粉粒
4. 柱头 5. 花丝 6. 花柱 7. 花瓣 8. 花粉管
9. 合点 10. 胚囊 11. 珠心 12. 内珠被
13. 外珠被 14. 珠孔 15. 珠柄 16. 蜜腺
17. 萼片 18. 花柄 19. 维管束

单子叶植物与双子叶植物的区别

是种子的胚发育成二片子叶还是发育成一片子叶，二片子叶称为双子叶植物，一片子叶称为单子叶植物。
在整个被子植物中，双子叶植物的种类占总数的 **4/5**，
双子叶植物除了**几乎所有的乔木**以外，还有许多**果类、瓜类、纤维类、油类植物**，以及许多**蔬菜**；
单子叶植物中则有大量的**粮食植物**，如**水稻、玉米、大麦、小麦、高粱、蝴蝶兰**等。

七、动物界

海绵动物门

以海绵为代表

囊状个体呈辐射对称

鞭毛摆动引起水流通过海绵体

水流动完成个体的摄食、呼吸、排泄与繁殖

细胞与组织分化简单—**无口、消化腔和神经系统**等

腔肠动物门

以水螅（淡水），水母和珊瑚（海水）为代表

个体为辐射对称

触手（带有毒针）具有捕食与防卫功能

体腔即其消化道，故称腔肠动物

消化腔的开口具有**摄食与排泄**双功能

具有原始的神经系统—**神经网**

水母

单个珊瑚虫为**圆筒形**，多个组成树枝状

外胚层分泌石灰质，组成外骨骼

珊瑚聚集成珊瑚礁，进而成为岛屿（西沙群岛与南沙群岛）

扁形动物门

纽虫门

线形动物门

轮虫门

软体动物门

环节动物门

以蚯蚓、蚂蟥、沙蚕为代表

身体最先出现分节现象

三胚层、两侧对称、具真体腔动物

缢虫门

节肢动物门

动物界中最大的一门，大于 100 万种*

以虾、蟹、蜘蛛和昆虫为代表

身体分节，可分为头、胸、腹等部位*

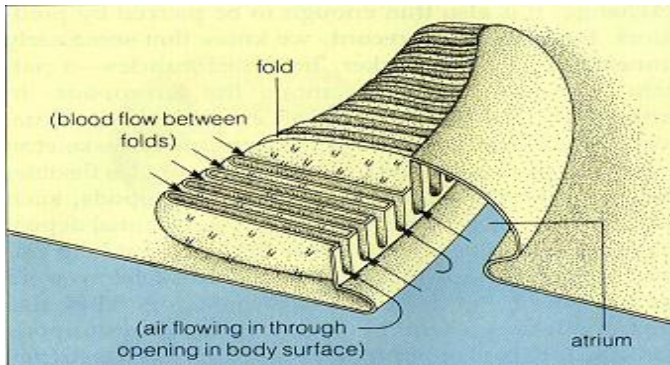
一般每个体节上都有着一对分节的附肢，又叫节肢*

节肢的运动极其灵活，主要用于爬行和游泳

有感觉器官与口等

呼吸器官为鳃（水生）和气管或书肺（陆生）*

书肺*：又称“肺囊”，蜘蛛、蝎一类动物特有的呼吸器官。在蜘蛛腹部前方两侧，有一对或多对囊状结构，叫气室，气室中有 15~20 个薄片，由体壁褶皱重叠而成，像书的书页，因而叫“书肺”。



帚虫门

外肛动物门

腕足动物门

棘皮动物门

以海星、海胆、海参为代表的海产动物*

身体表面有许多棘状突起*

身体不分节，形状多样，有星形、球形、圆筒形或树枝状的分支等。

具有运动、取食、感觉、呼吸和造穴功能

体内有复杂的“水管系统”，末端形成管足*

脊索动物门

脊索*：某些动物所特有的原始骨骼称为脊索。位于动

物身体的中轴、消化管的背侧，有支撑动物身体的功能，脊索较脊柱（硬骨质）非常柔弱。

半索动物亚门

尾索动物亚门

头索动物亚门

文昌鱼

脊椎动物亚门

具有脊椎*

神经管分化为脊髓*

脑、眼与口集中于头部*

呼吸器官发展为鳃或肺

心脏、肾脏和生殖系统进一步完善

鱼纲

外形有鳍和鳞

冷血动物（不能自己调节温度）

以鳃来呼吸

靠鳍和尾部的摆动游动（尾；胸鳍及腹鳍；背鳍及臀鳍）

两栖纲

两栖类动物约有 2000 多种

以大鲵（俗称“娃娃鱼”）及蛙类为代表

兼有水生（鳃）与陆生（肺）；

幼体水生，而成体陆生（潮湿）；

生殖于水中产卵或精子

爬行纲

爬行动物在中生代很繁盛，几乎遍布全球，恐龙为代表。

现存种类约 5000 多种。

以蜥蜴、蛇、龟、鳖、鳄鱼等为代表

多生活在陆地，为变温动物（夏天于阴凉地方栖身；冬天于日光下取暖或冬眠）

爬行动物体表有鳞皮或骨板，可防止体内水分散失

体内受精与发育（羊水）

分为头、颈、躯干、四肢和尾部。颈部较发达，可以灵活转动，增加捕食能力

心脏渐分两心室、循环系统、感觉器官等完善

鸟纲

鸟类种类很多，现存种数约为 8600 种，中国鸟类约 1100 种

以猫头鹰、孔雀、啄木鸟及家禽为代表*

有翅膀、羽毛、有硬的嘴巴

羽毛除有协助飞翔功能外，可减少体热散发，有保温作用，为恒温动物*

无牙齿，靠砂囊帮助消化*

心脏有两个心房和两个心室，动脉血和静脉血被分隔开，为飞翔提供更充足的氧气和能量

肺延伸出许多气囊，除协助呼吸外，还可减轻体重利于飞行

视力非常锐利*

卵生*

适于飞翔的特征:

翅膀与羽毛

胸肌发达

躯体呈流线型, 减少飞行阻力

坚硬而轻, 空腔内贮有空气, 可增加浮力, 减轻体重
肺较发达, 与许多气囊相通, 气囊遍布全身内脏、肌肉之间和骨髓腔里, 能贮藏空气, 辅助呼吸并增加浮力
肠道短小, 不积存粪便, 减轻体重

哺乳纲

脊椎动物亚门中最高等的类群*

身体一般分头、颈、躯干、尾(或无)和四肢等5个部分

体腔分胸腔和腹腔两个部分;

哺乳体表有毛, 有保温作用, 为恒温动物*

出现口腔咀嚼和消化; 捕食的能力提高, 对进食质量要求高

生殖类型三类: 1 卵生(鸭嘴兽和针鼹); 2 有育儿袋(袋鼠与无尾袋熊); 3 胎生(人等)(蝙蝠)*

具有高度发达的神经系统, 能协调复杂的机能活动和适应多变的环境

第二章 生物的整体性

一、生物体结构的整体性

二、多细胞生物体结构的整体性

(一) 组织

生物体的组织是由许多基本结构相同的细胞和细胞间质, 按一定规律组合而成, 并具有相似的生理功能。

1、植物组织

(1) 分生组织: 能不断地分裂生长, 并分化成永久组织。
如根尖, 茎尖分生组织和多年生植物根、茎内部环绕中轴的分生组织。

分生组织不断分裂, 使植物不断加高长粗。

分生区: 顶端细胞构成, 细胞小, 细胞质浓, 细胞核大, 细胞分裂能力强

(2) 永久组织: 具有特殊的结构和功能, 细胞停止分裂。

表皮组织: 保护植株, 防止过分失水和寄生物侵入。

薄壁组织: 植物体比例最大, 被称为基本组织。

如叶肉组织(栅栏组织, 海绵组织), 光合作用在此进行; 包括通气组织等。

机械组织: 厚角和厚壁组织。厚壁分为纤维(支撑植株)和石细胞。

输导组织: 运送水分的导管和运送营养物质的筛管。

维管组织: 木质部——由导管、管胞、薄壁细胞等多种细胞构成的复合输导组织(水分和矿物质) 韧皮部——由筛管、筛胞、伴胞和薄壁细胞等多种细胞构成的复合输导组织(有机营养成分)

分泌组织: 如分泌细胞, 能分泌有毒物质或蛋白酶。

2、动物组织

(1) 上皮组织: 由上皮细胞密集排列而成, 体表、消化道和呼吸道内表面和器官的外表面。具有保护、分泌的功能。

(2) 结缔组织: 细胞种类很多。具有支持、保护、连接和营养等功能。

疏松结缔组织(血液等)

(3) 肌肉组织: 由肌细胞和纤维构成。分布骨骼、心脏和消化道。收缩与舒张的功能。



(4) 神经组织: 由神经细胞和胶质细胞组成。分布大脑和脊髓。产生和传导兴奋。

(二) 器官和系统:

1、多细胞生物的器官(organs)

器官是多细胞生物体内由多种不同组织联合构成的结构单位。具有一定的形态特征, 能行使一种或几种生理功能的机体构造。

2、多细胞生物的系统(system)

多细胞生物体内由许多器官联合起来, 共同完成某种连续的基本生理功能, 这些器官组成一个系统。

(1) 高等植物的器官系统

营养系统包括根, 茎, 叶三部分。

对于高等植物来说根是一个系统, 称根系(root system), 主要行使吸收水分和无机盐的功能。

植物的茎及其分枝, 是植株的支持体, 有运输各种物质, 制造和储存营养物的功能。

生殖系统: 植株的生殖器官的集合。

裸子植物的生殖器官包括雌球果(由大孢子叶和大孢子囊构成的)和雄球果(由小孢子叶和小孢子囊构成);

被子植物的生殖器官主要是构造复杂的花, 典型的花由花柄、花托、花被(花萼和花冠)、雄蕊和雌蕊构成。

完全的十二大系统出现在较高等的动物中, 它们包括消化、呼吸、排泄、循环、皮肤、生殖、骨骼、肌肉、神经、淋巴、免疫与内分泌系统)

消化系统：包括口腔、食道、胃、肠和肛门，分泌消化腺的肝、胰、唾液腺以及各种胃腺和肠腺；

二、生物体功能的整体性

三、生物体与环境的整体性

地球上全部生物与周围的理化环境组成生物圈。在生物圈的水平上，生物体与环境是一个整体。

二、生物体与生物环境的整体性

生物体与周围的生物环境，即与其周围的生物之间的关系，是一个“食与被食”的关系。生物体的生存与周围的其他生物关系密切，从而成为一个整体。

名词解释：组织、器官、系统（了解）

动物与植物组织、器官或系统的代表及特点（清楚）

第三章 生殖和发育

生物能够生生不息，一代一代增殖大量的个体——这是生物和非生物的根本差别之一，也是仅次于新陈代谢的生物的根本特征。

生物个体数目代代增加即是繁殖

第一节 生殖方式

一、无性生殖

由生物个体的营养细胞或营养体的一部分，直接生成或经过孢子而产生出两个以上能独立生活子体的方式为无性生殖。

无性生殖时传种细胞没有性别之分。

（二）无性生殖分类

1. 分裂生殖

以细胞分裂的方式将一个母体平均分裂为体积、形状和结构相同的两个新个体。

2. 出芽生殖

是分裂生殖的变相方式。由母体长出的新个体，形状与母体相同，大小不同。

3. 营养生殖

它是以植物体的营养器官（根，茎，叶）形成新个体的繁殖。

4. 无性孢子繁殖

母体先产生一个负责生殖的器官—孢子囊，囊中产生许多孢子细胞。孢子囊成熟时孢子细胞脱离母体散出，在合适条件下，发育成新个体。

5. 再生

机体某些部分组织或器官受到创伤或损伤时，具有修复能力称再生能力。

（三）无性生殖的特点

1. 无两性的结合，遗传性与亲本相同，有利于保持亲本的优良性状。

2. 不经过胚胎发育阶段，生长发育过程较短，有利于种族的繁衍。

二、有性生殖

有性生殖是生物界传种接代的基本方法。

5

无变态

卵一孵化出来就有具有成虫的形态，只是比成虫小，生殖器官发育不成熟，至成虫时期还要继续蜕皮，逐渐成熟，也称表变态

渐变态

幼虫的生活习性和成虫一样，形态和成虫相似，只是翅未长成，生殖器官未成熟。幼虫蜕皮几次，翅生成，即为成虫。

卵——若虫——成虫

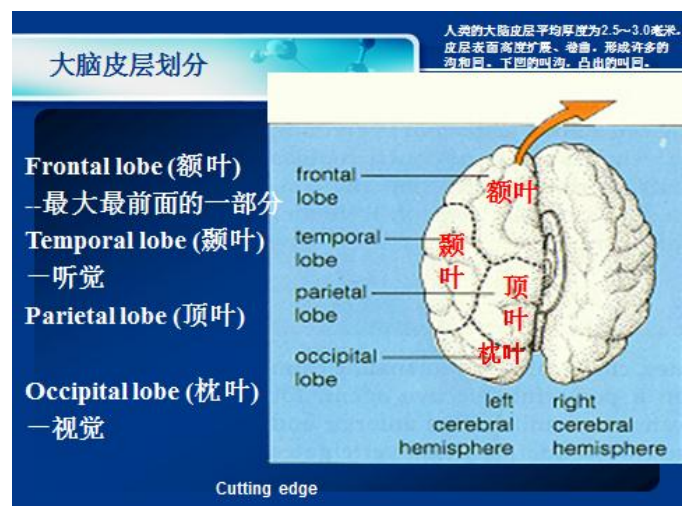
半变态

水中产卵，幼虫在水中生活，幼虫与成虫生活习性不同，形态和成虫有很大差别。因此幼虫称稚虫(naiad)。如蜻蜓

卵——稚虫——成虫



第四章



BunnyJiang 留名