



## 第二章 生物的化学组成

### 第一节 原子与分子

—生命的化学基础

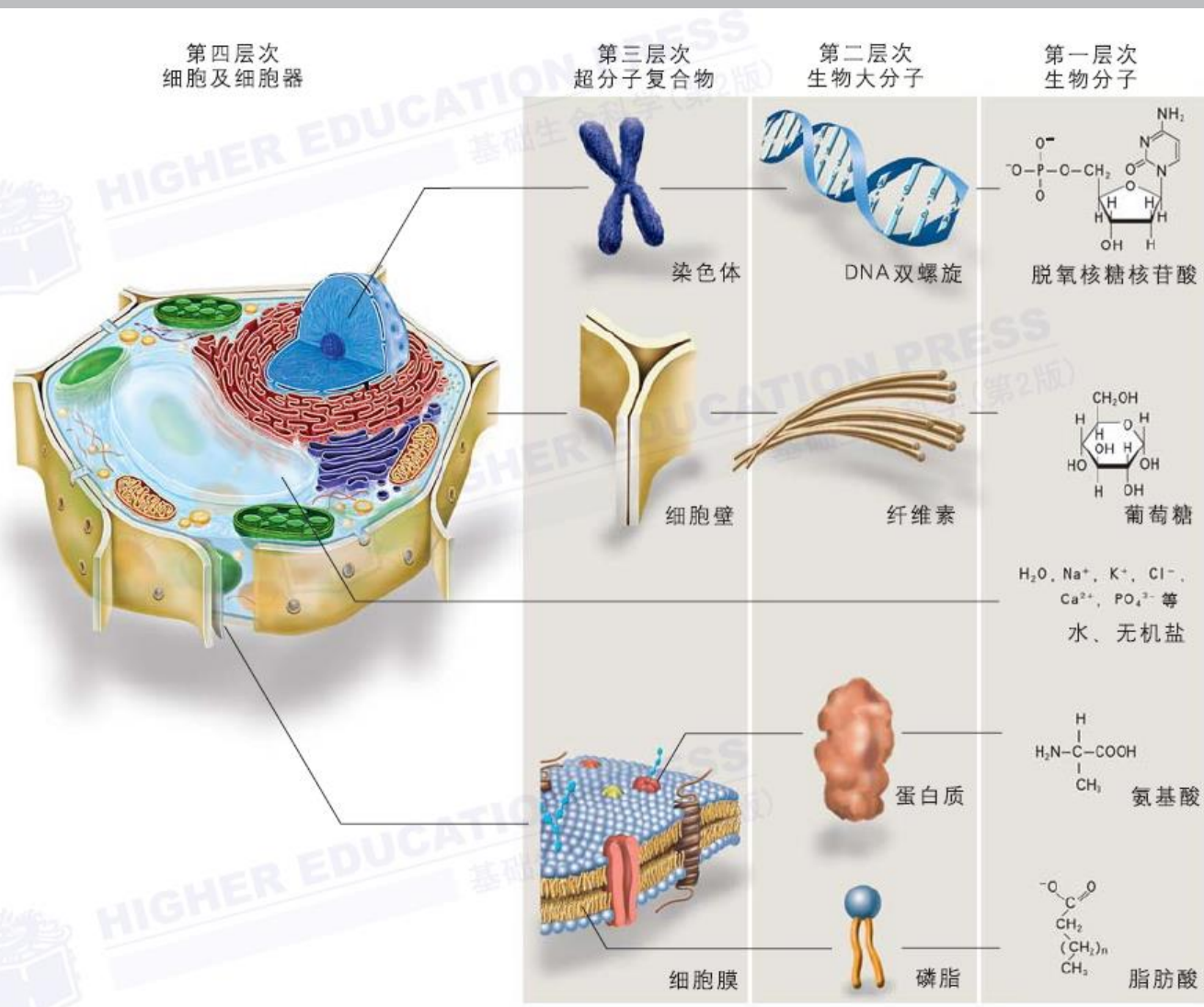
### 第二节 糖类

### 第三节 脂质

### 第四节 蛋白质

### 第五节 核酸

# 第一节 原子与分子——生命的化学基础

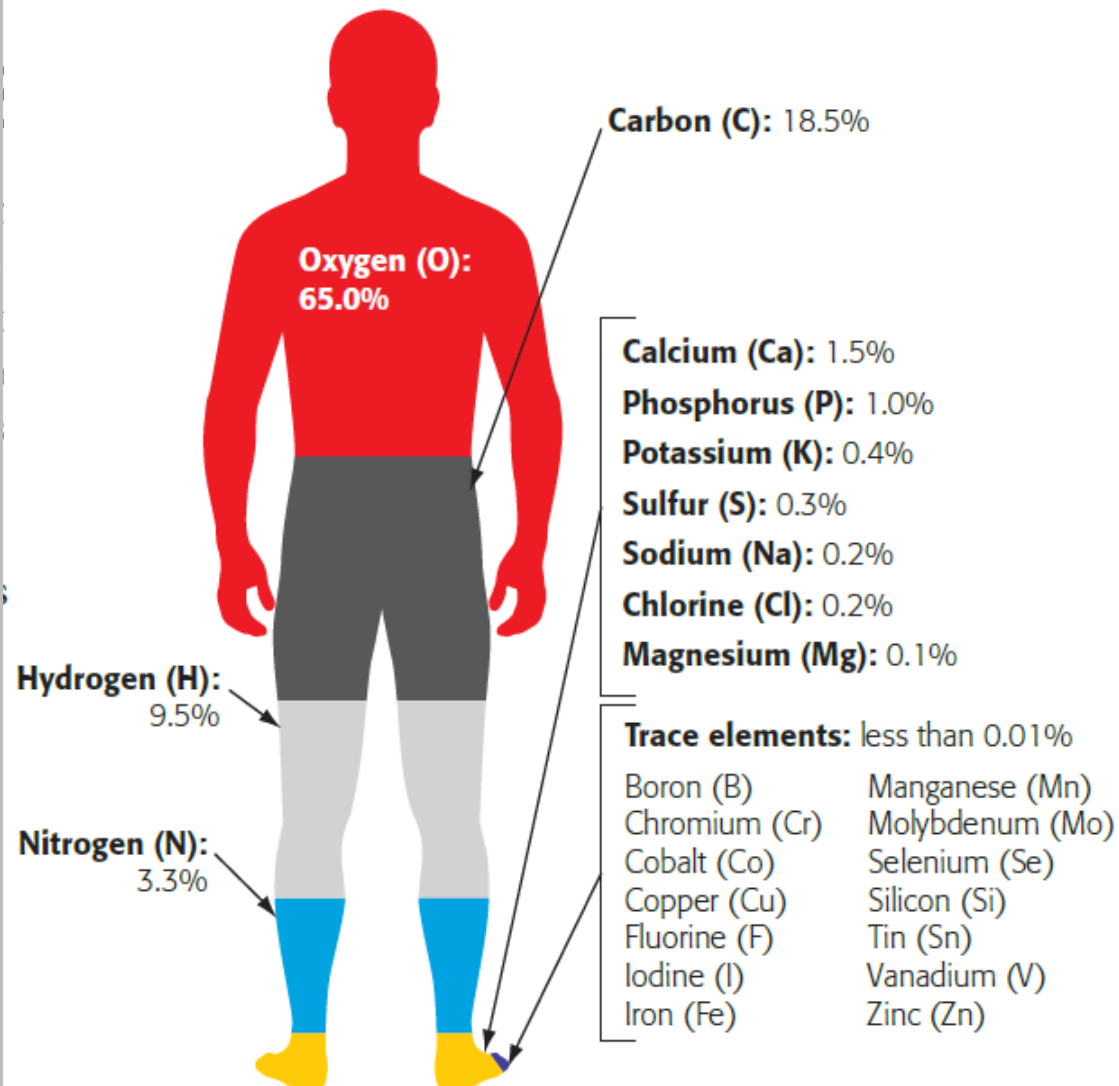


与其他物质一样，  
细胞乃至生命也是由原子组成的

# 一、组成细胞及生物体的主要元素及作用

组成细胞及生物体的主要元素包括C、H、O、N、P、S、Ca等，以上7种元素约占生物体的99.35%，其中C、H、O、N 4种元素约占96%。

你身体里的元素值多少钱？



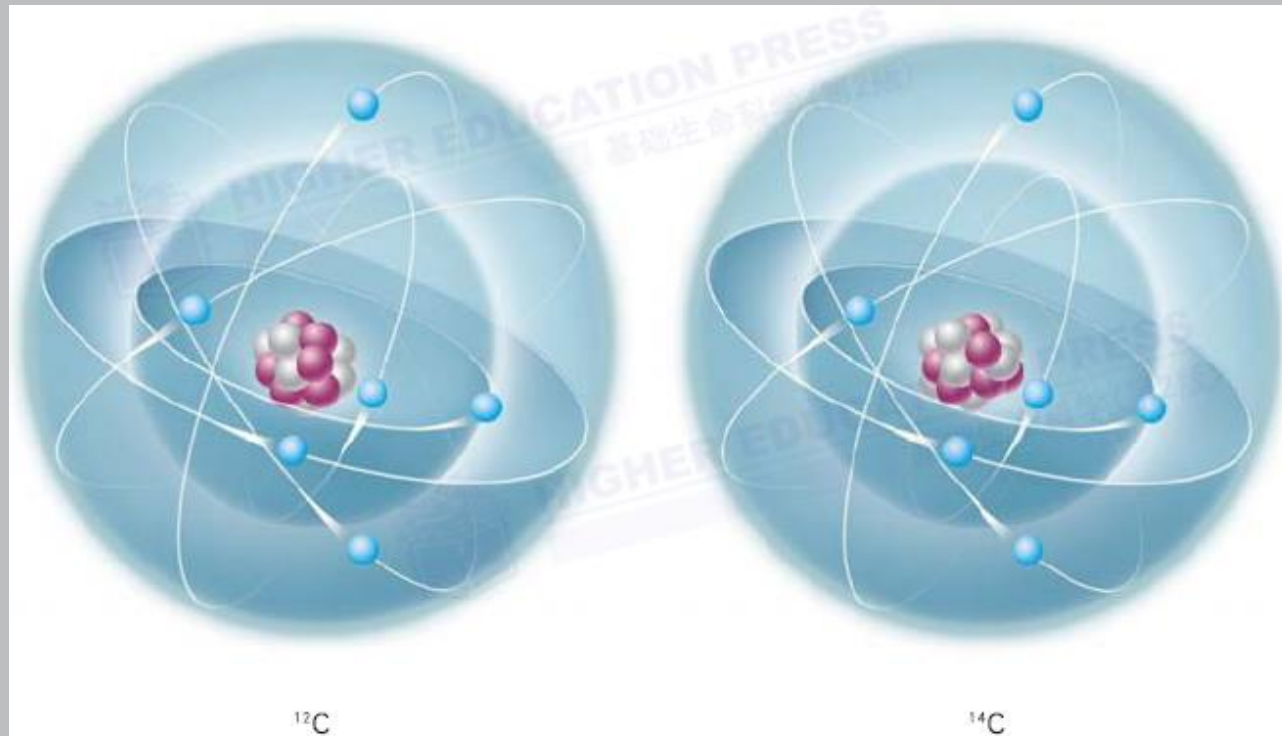
## 二、原子的结构与性质

原子由原子核和核外电子组成。

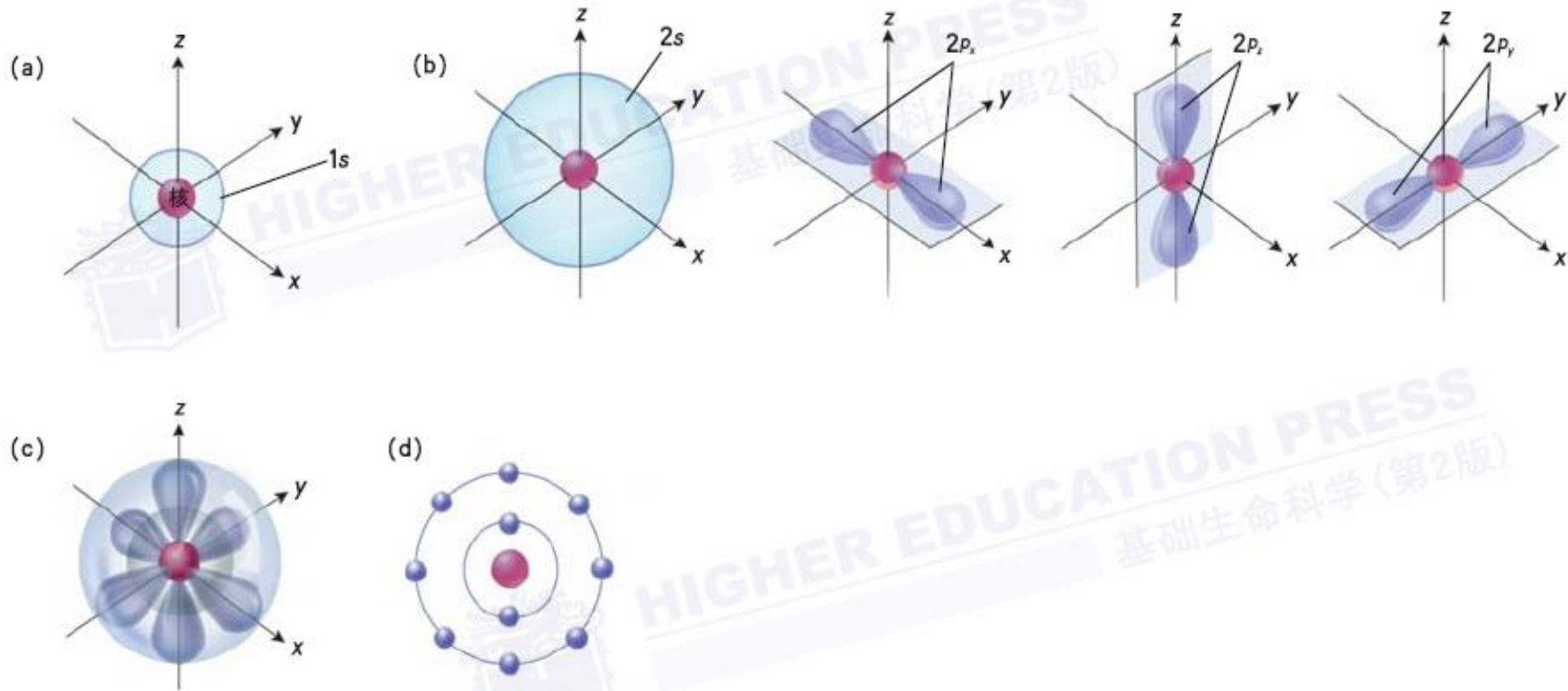
原子核由带正电荷的质子和不带电荷的中子组成。

元素是具有相同核电荷数的同一类原子的总称。

具有相同质子数而不同质量数（即不同中子数）的原子互为同位素。



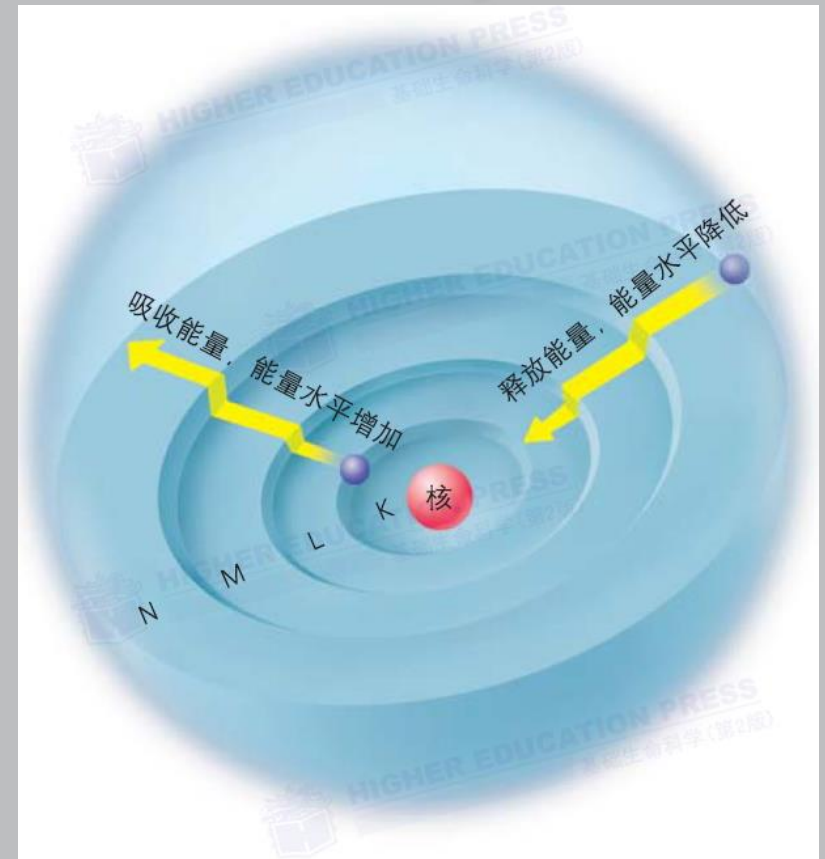
原子的化学性质很大程度上取决于核外电子的分布和运动状态。电子在核外空间运动的特征区域称为原子轨道。



## 原子轨道



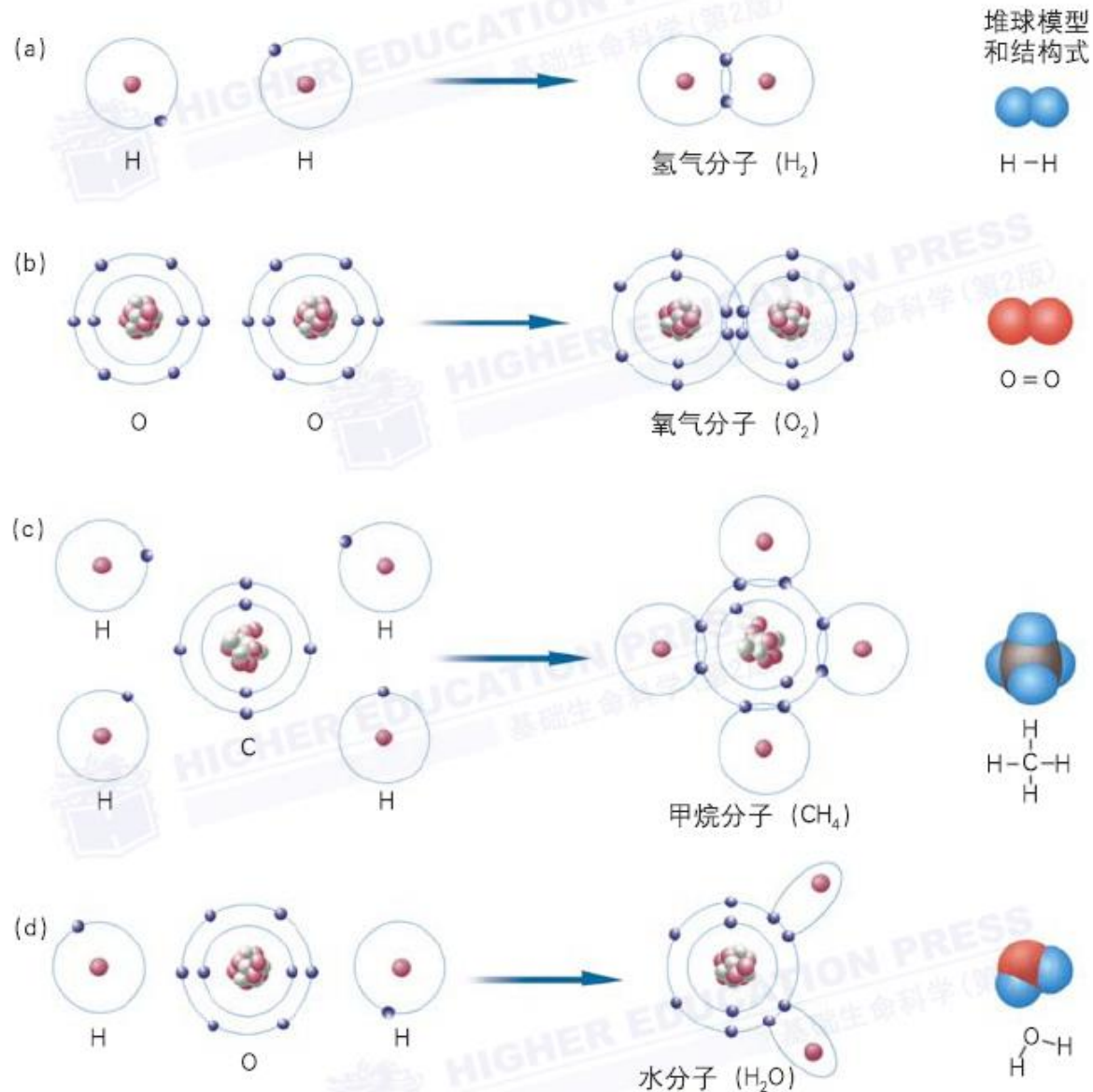
- 所有的原子都具有可以做功的能量。
- 氧化与还原：在细胞内的生物化学反应过程中，高能电子可以从一个原子或化合物向另一个原子或化合物转移，失去电子被称为氧化，得到电子被称为还原。

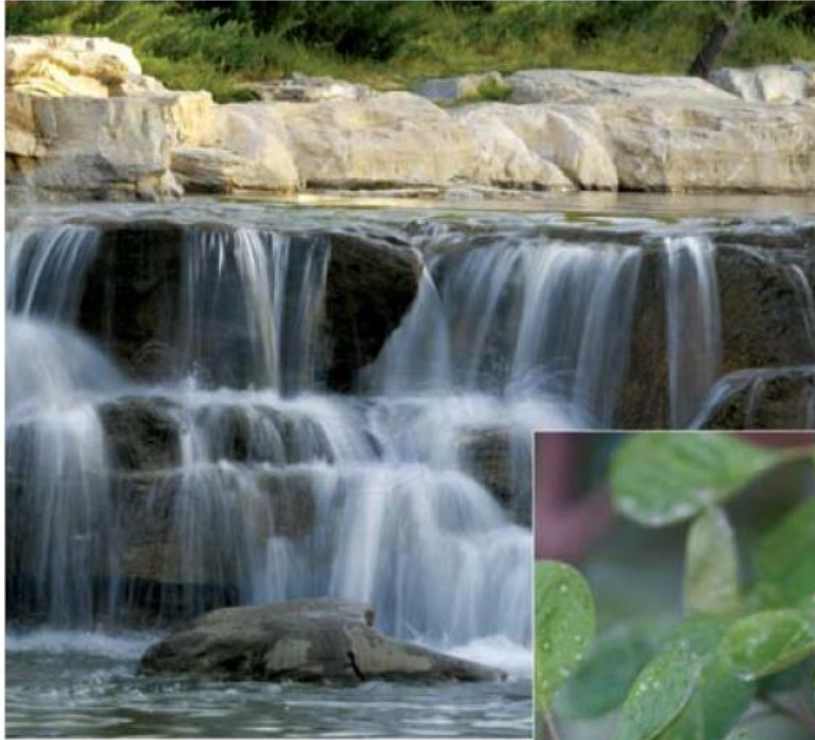


原子的能量水平

# 三、化学键和水分子的性质

- 化学键
- 键能
- 共价键
- 离子键
- 极性
- 非极性





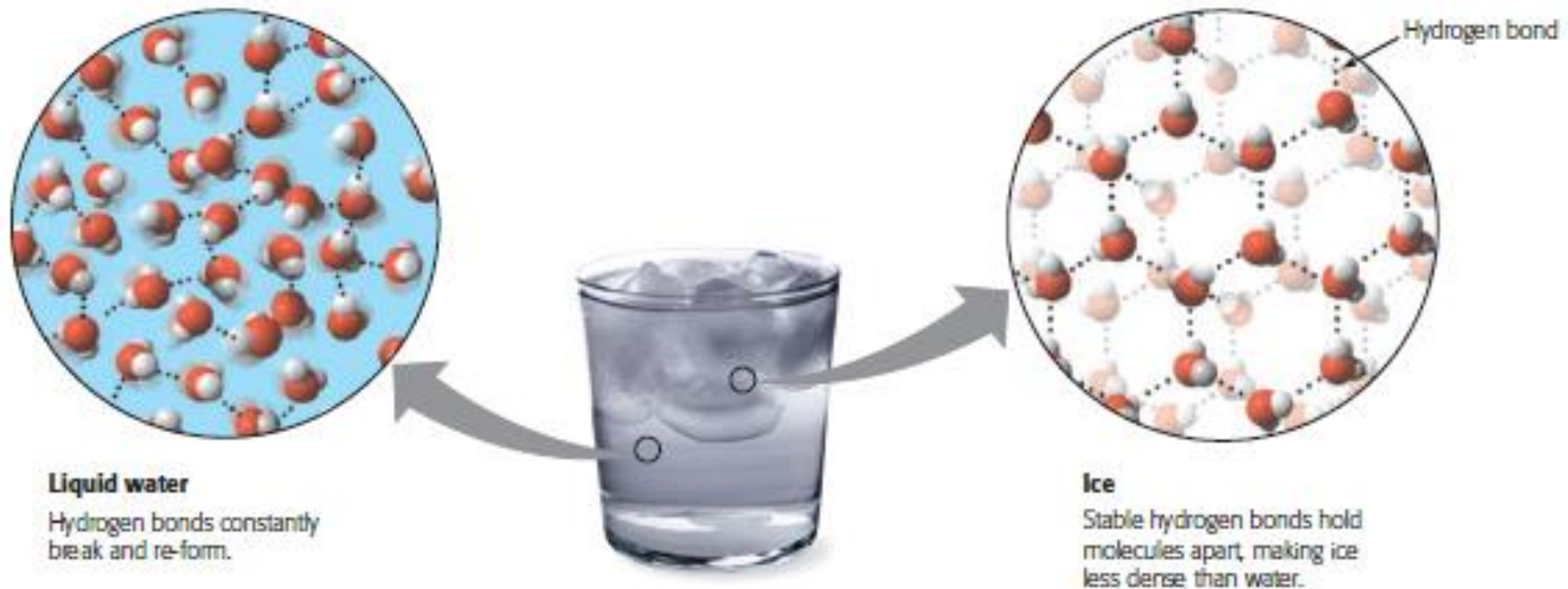
水是生命之源

水是极性分子吗？

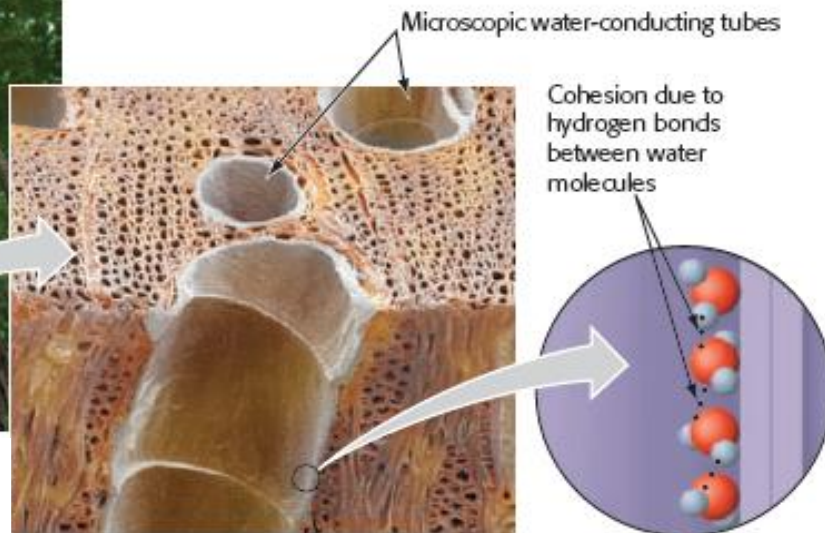
没有水就没有生命



- 水分子间可以形成氢键。氢键促使形成毛细管作用，并具有重要的生物学意义。
- 在细胞中，还存在其他各种氢键。

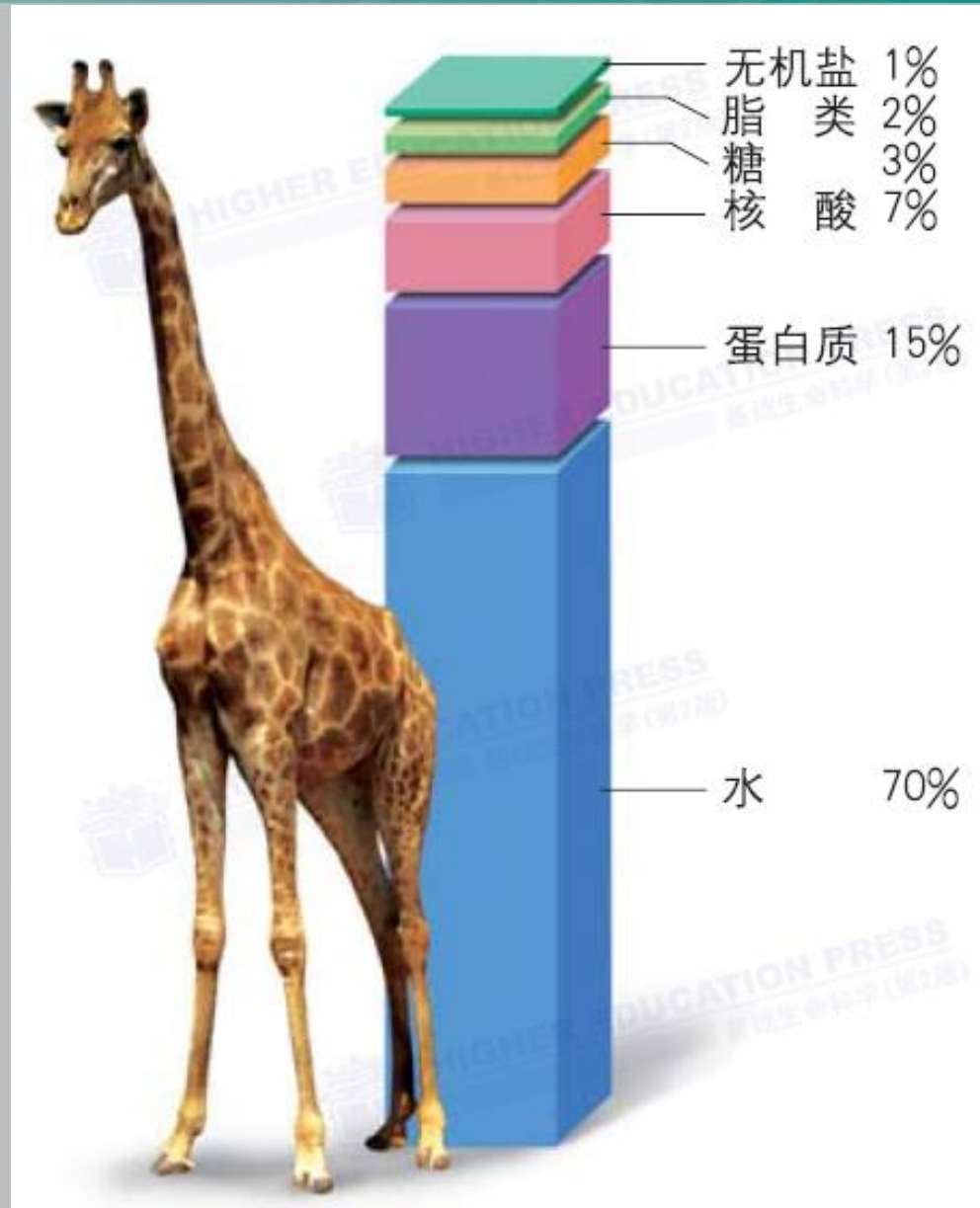


水分子间可以形成氢键



## 四、有机化合物的碳骨架与功能基团

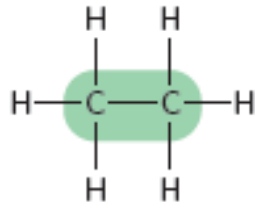
- 不同的生物体，其分子组成大体相同。
- 生物体主要由蛋白质、核酸、脂质、糖类、无机盐和水组成。



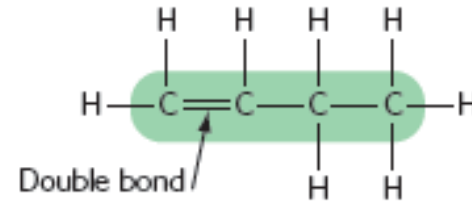
生物体的一般化学组成

■ 碳原子之间及与其他原子间以共价键等形式相结合，可以形成大量化学性质与相对分子质量不同的生物分子。

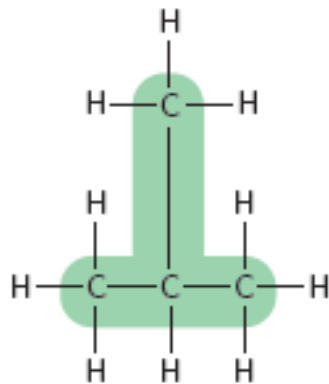
■ 碳骨架结构排列和长短决定了有机化合物的基本性质。



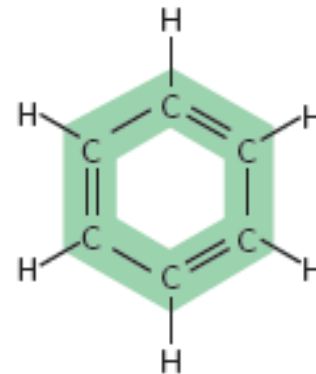
Carbon skeletons vary in length



Carbon skeletons may have double bonds, which can vary in location



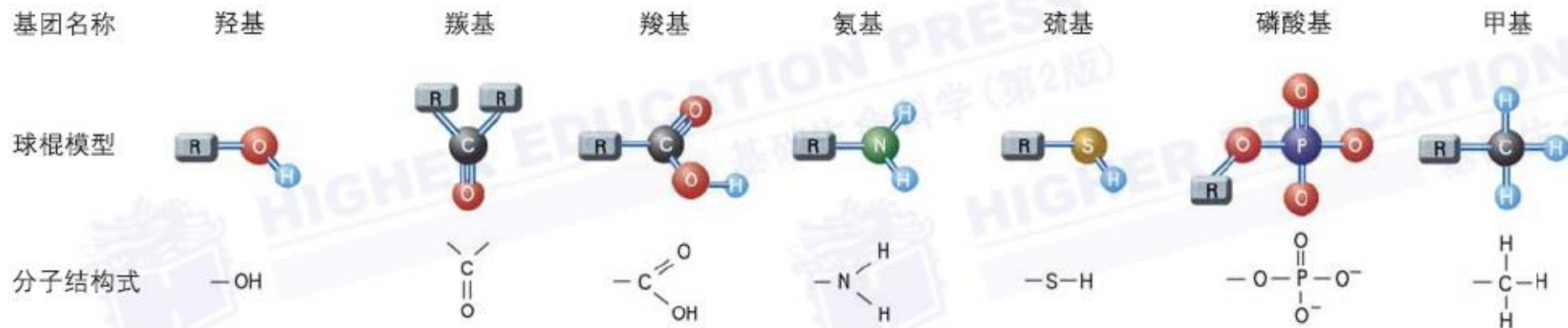
Carbon skeletons may be unbranched or branched



Carbon skeletons may be arranged in rings



■ 有机化合物的性质还取决于与碳骨架相连接的某些含氧、氮、硫、磷的原子团（又称为功能基团）。

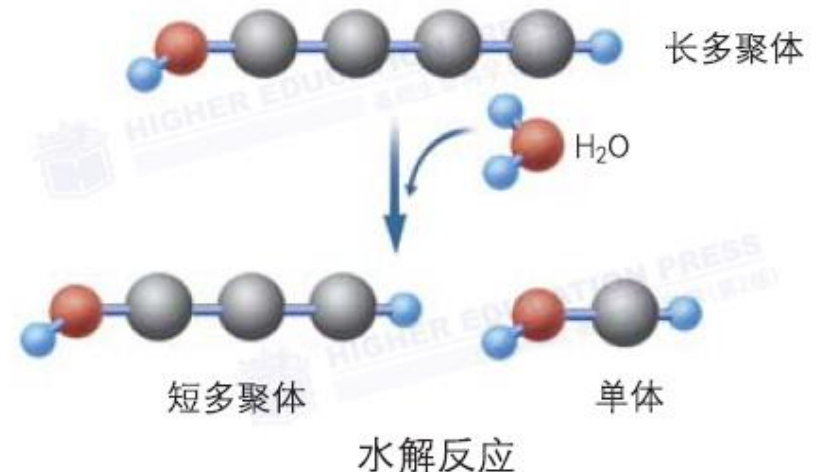
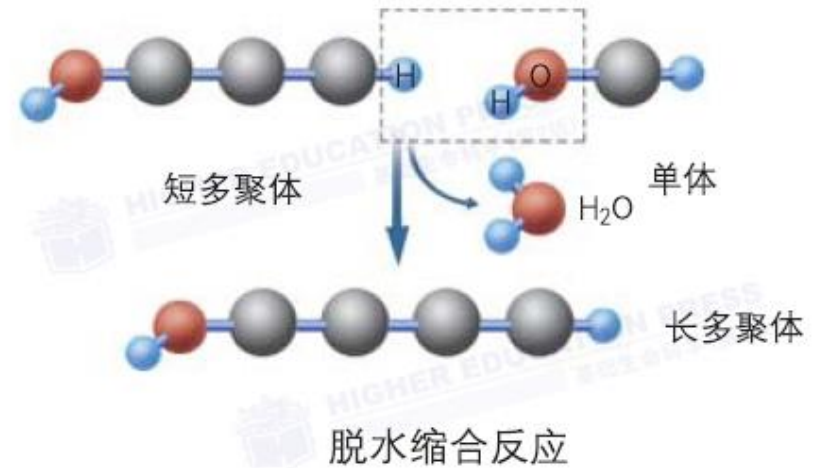


有机化合物地性质还取决于功能基因

■ 蛋白质、核酸、脂质和糖类等生物大分子是由一些含有功能基团的彼此相同或相近的单体聚合而成的。

■ 脱水缩合反应。

■ 水解反应。



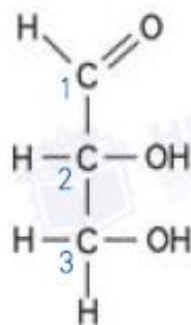
脱水缩合反应 水解反应

## 第二节 糖类

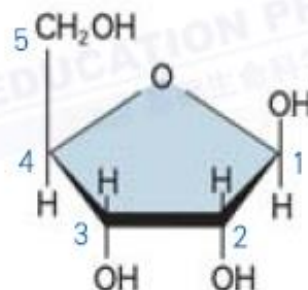
- 糖类广布于生物细胞中，所有生物细胞皆含核糖。
- 糖类是多羟醛或多羟酮及其缩合物和某些衍生物的总称。
- 糖是生物代谢过程的重要中间代谢物，糖类是细胞重要的结构成分，可构成纤维素、淀粉、核酸和糖蛋白等重要生物大分子，糖类又是生命活动的主要能源。
- 糖类包括小分子的单糖、寡糖和由单糖构成的大分子多糖。

# 一、单糖

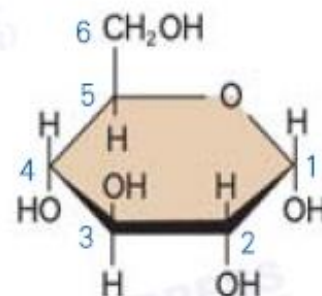
- 单糖的主要碳骨架可以从3个碳到7个碳。
- 重要的单糖包括葡萄糖、果糖、半乳糖、核糖和脱氧核糖等。



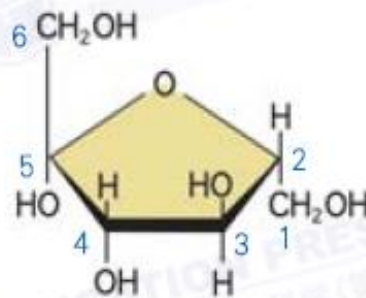
甘油醛



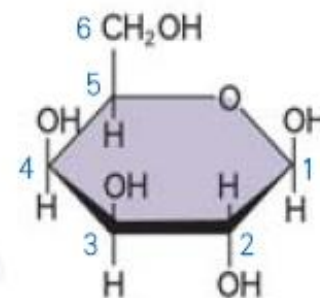
核糖



葡萄糖



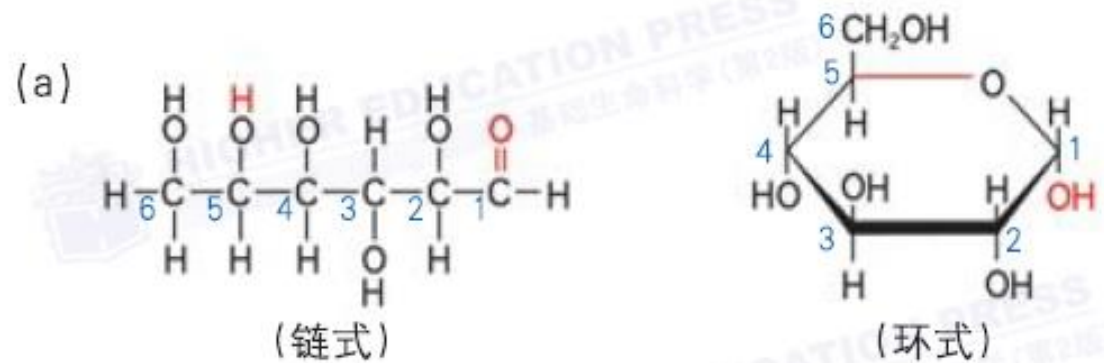
果糖



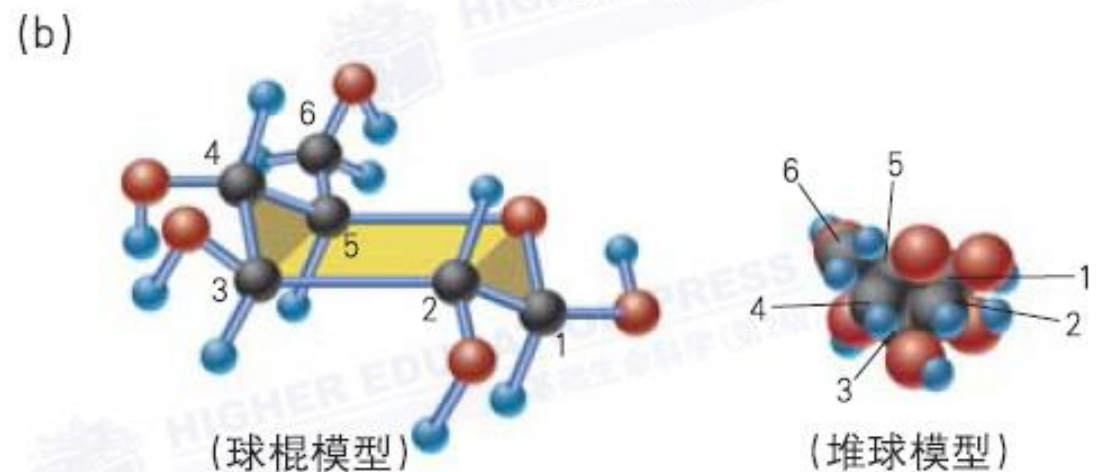
半乳糖



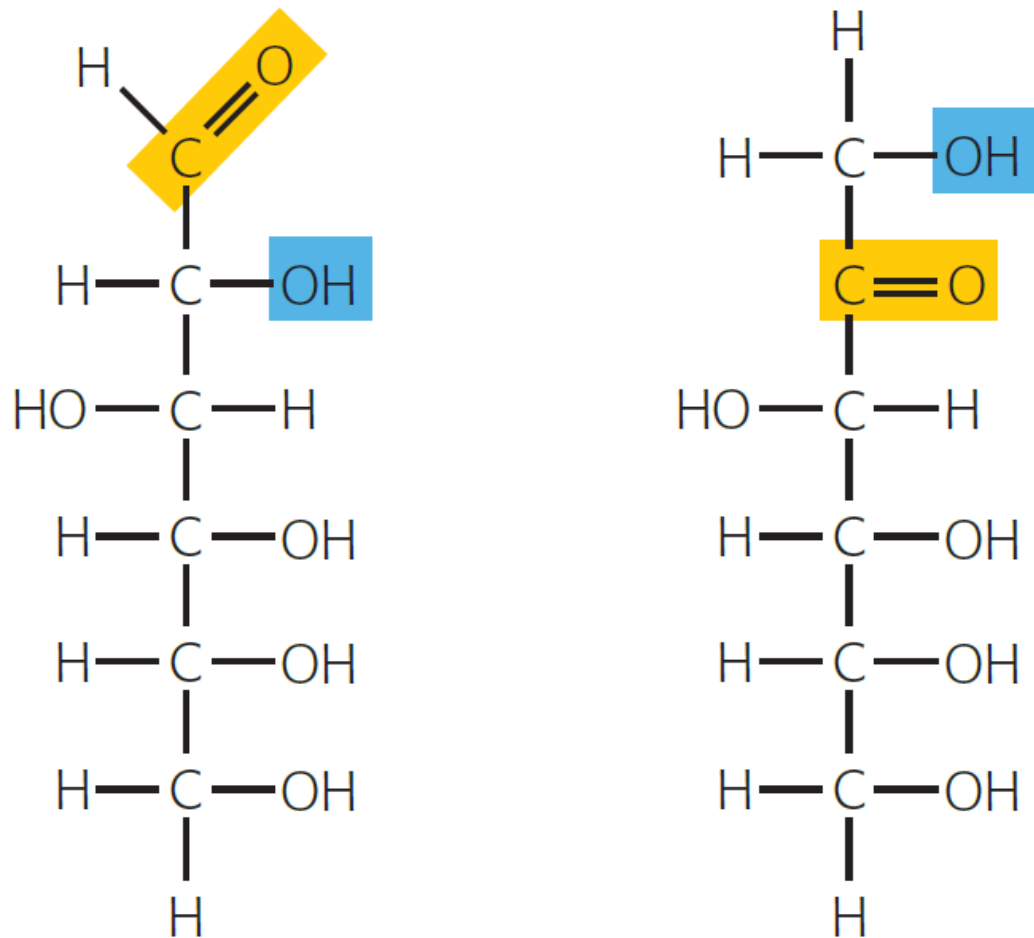
葡萄糖成环结  
构和三维立体  
构型。



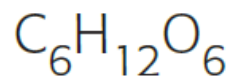
葡萄糖结构式



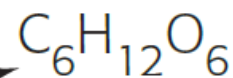
葡萄糖空间结构



**Glucose**



**Fructose**



**Isomers**

(same formula, different arrangements)

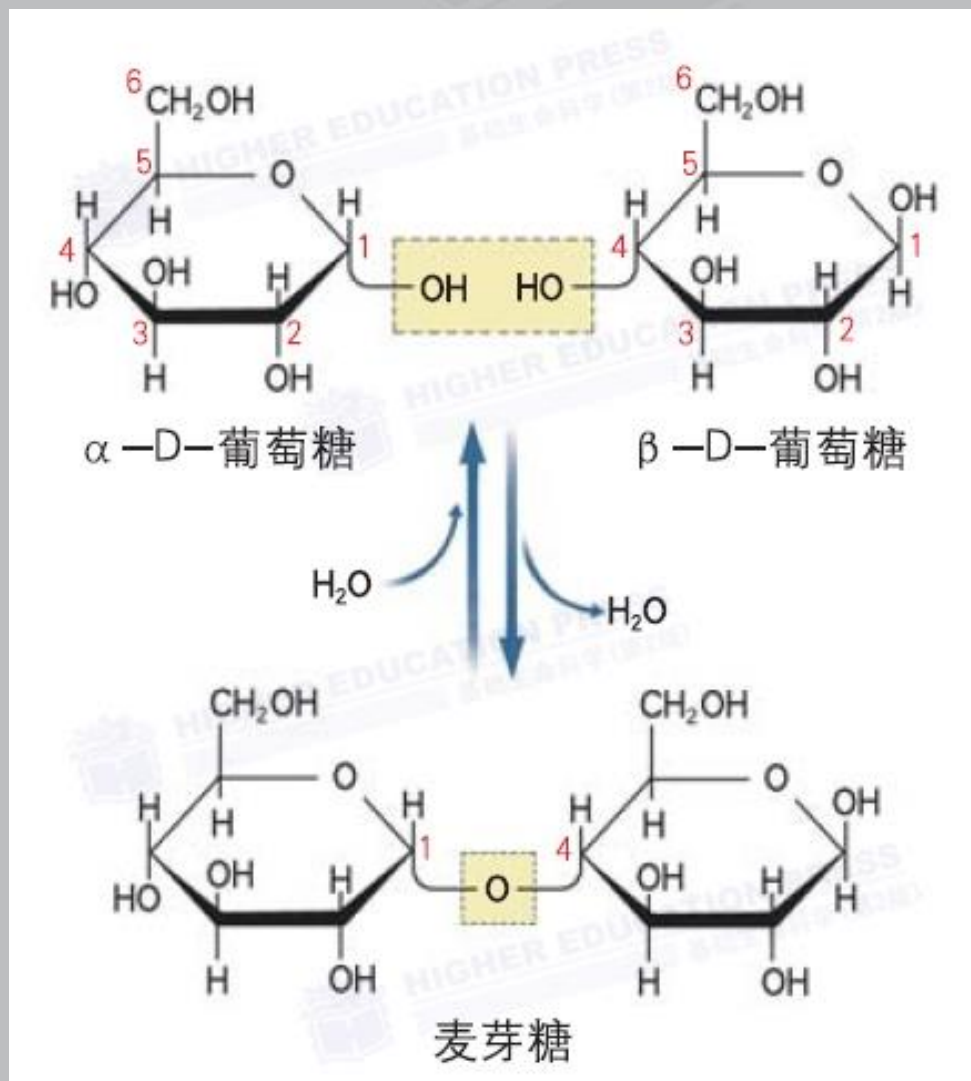
## 二、二糖

■ 两分子的单糖经过脱水缩合作用形成以**糖苷键**连接的二糖。

■ 麦芽糖由两分子葡萄糖单体脱水缩合形成。

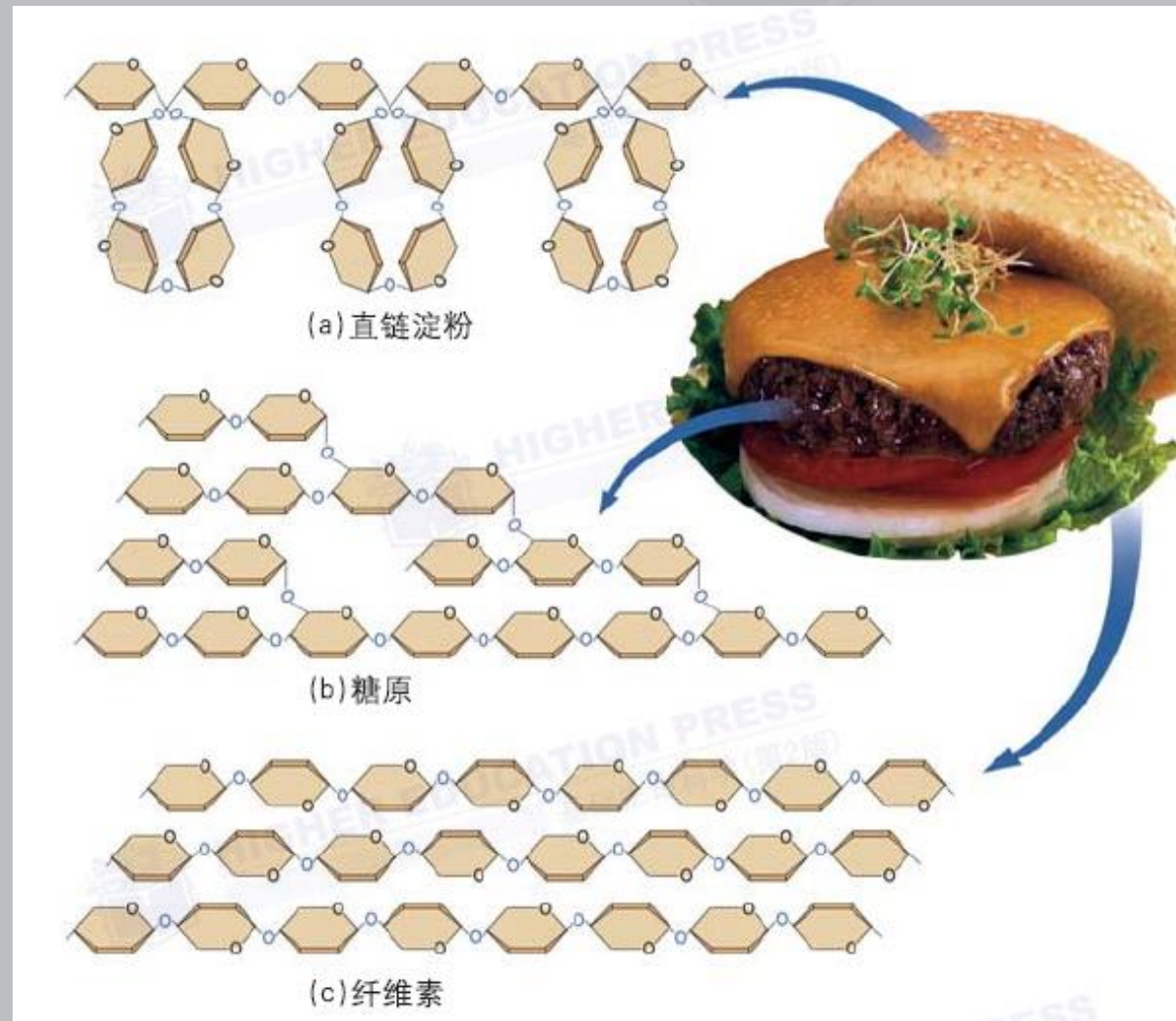
■ 蔗糖由一分子葡萄糖和一分子果糖缩合形成。

■ 乳糖由一分子葡萄糖和一分子半乳糖缩合而成。



### 三、多糖

多糖一般是几百个或几千个单糖脱水缩合形成的多聚体。





一些多糖是生物细胞的营养贮存成分，在细胞中可以被分解成单糖以维持相关代谢的进行。

许多多糖是保护和构建细胞、保持细胞和生物体形状的重要生物大分子成分。



琼脂凝胶培养基上的细菌菌落

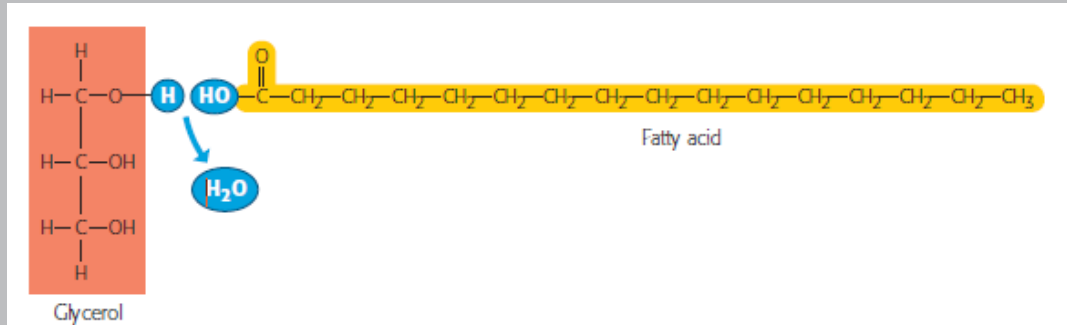
## 第三节 脂质

### 一、脂质的组成和功能

- 脂质主要是由碳原子和氢原子通过共价键结合形成的非极性化合物，具有疏水性，即脂质不溶于水，可溶于非极性溶剂。
- 脂质分子含C、H、O 3种元素，但H:O远大于2，有些脂含P和N，各种脂质分子的结构可以差异很大。
- 脂质是生物膜的主要成分，脂肪氧化时产生的能量大约是糖氧化时的2倍。
- 生物表面的保护层/保持体温/生物活性物质。

# 中性脂肪(动物—fat)和油(植物—oil)

由甘油和脂肪酸经过脱水缩合形成的脂质。



为什么油和脂肪具有不同的熔点？

## Saturated Fats

(unhealthy fats found primarily in meat and full-fat dairy products; solid at room temperature)



## Unsaturated Fats

(fats found primarily in fish and plants; usually liquid at room temperature)



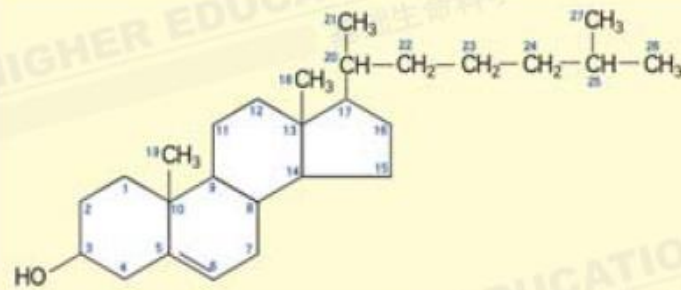




### 三、其他类型的脂类

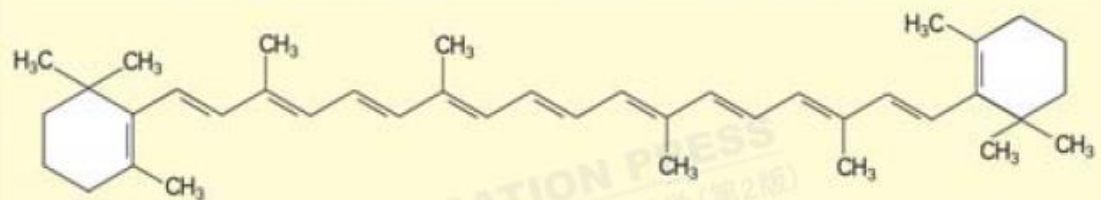
常见其他类型的脂质包括类固醇、糖脂、多异戊二烯类、部分脂溶性维生素等。

(a)



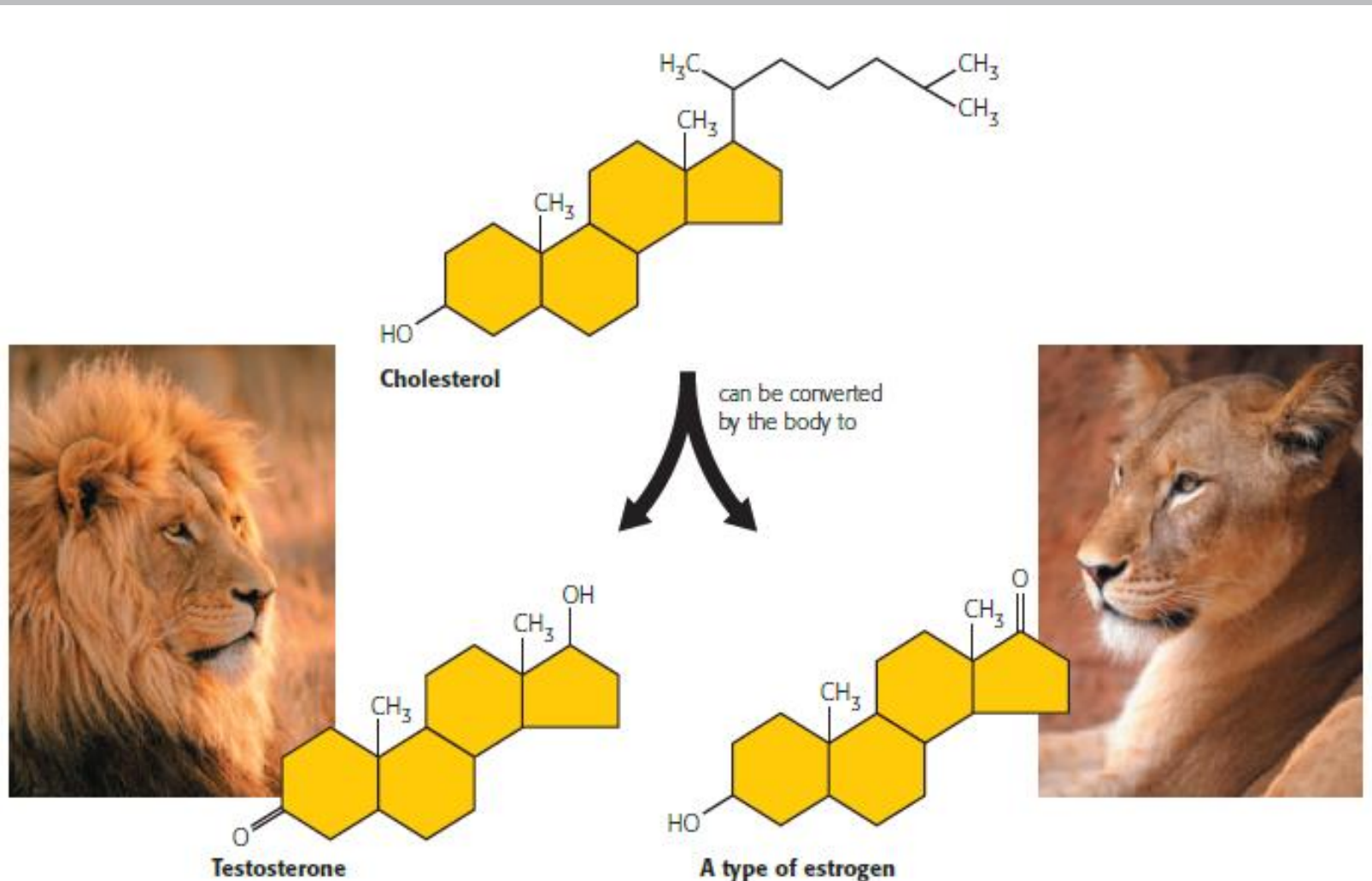
胆固醇分子

(b)



β-胡萝卜素分子

# 固醇类激素



# 第四节 蛋白质

## 一、蛋白质的主要种类和功能

结构蛋白、伸缩蛋白、贮存蛋白、保护蛋白、运输蛋白、激素蛋白、信号蛋白、酶

**Structural Proteins**  
(provide support)



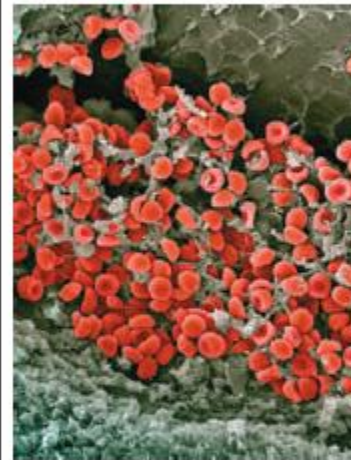
**Storage Proteins**  
(provide amino acids for growth)



**Contractile Proteins**  
(help movement)



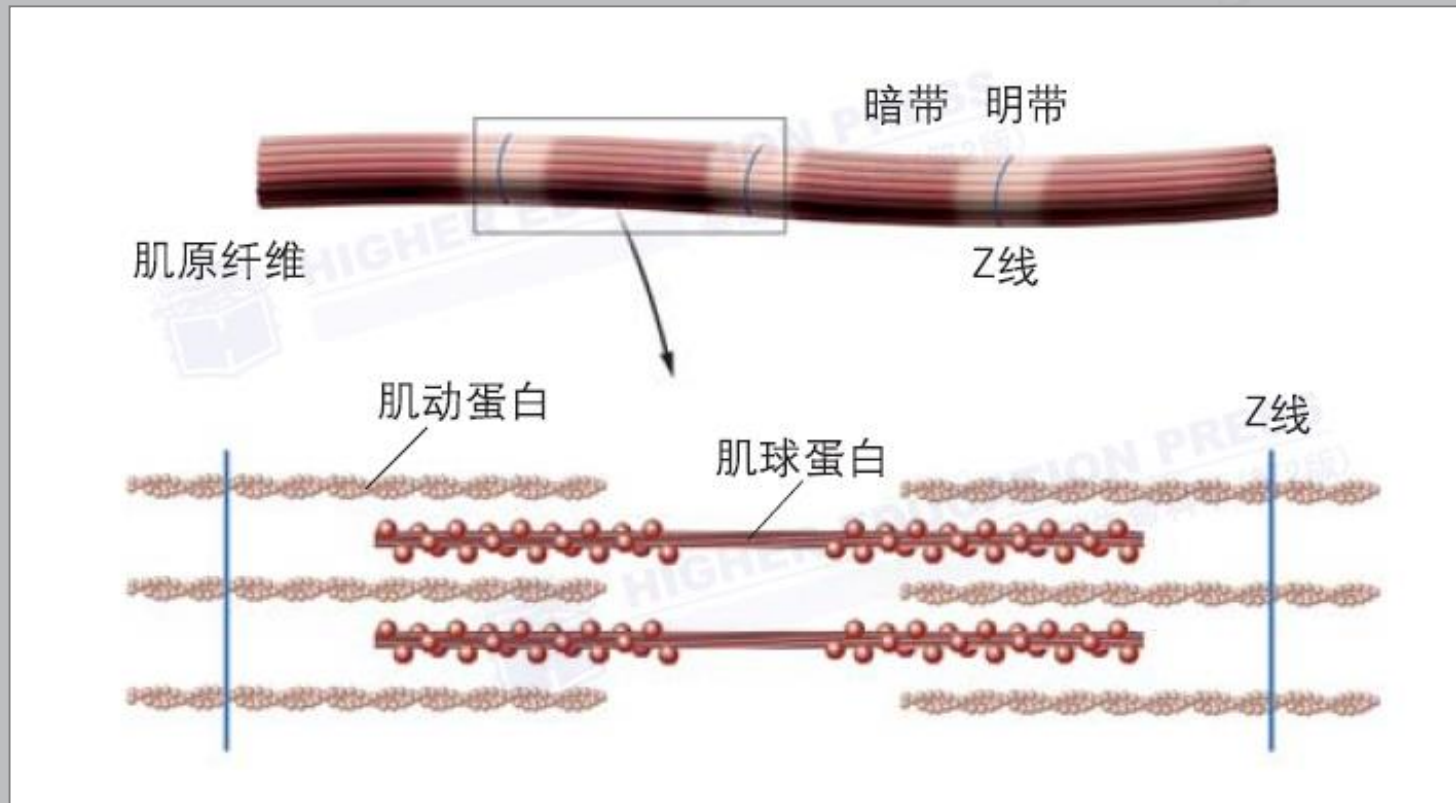
**Transport Proteins**  
(help transport substances)



**Enzymes**  
(help chemical reactions)

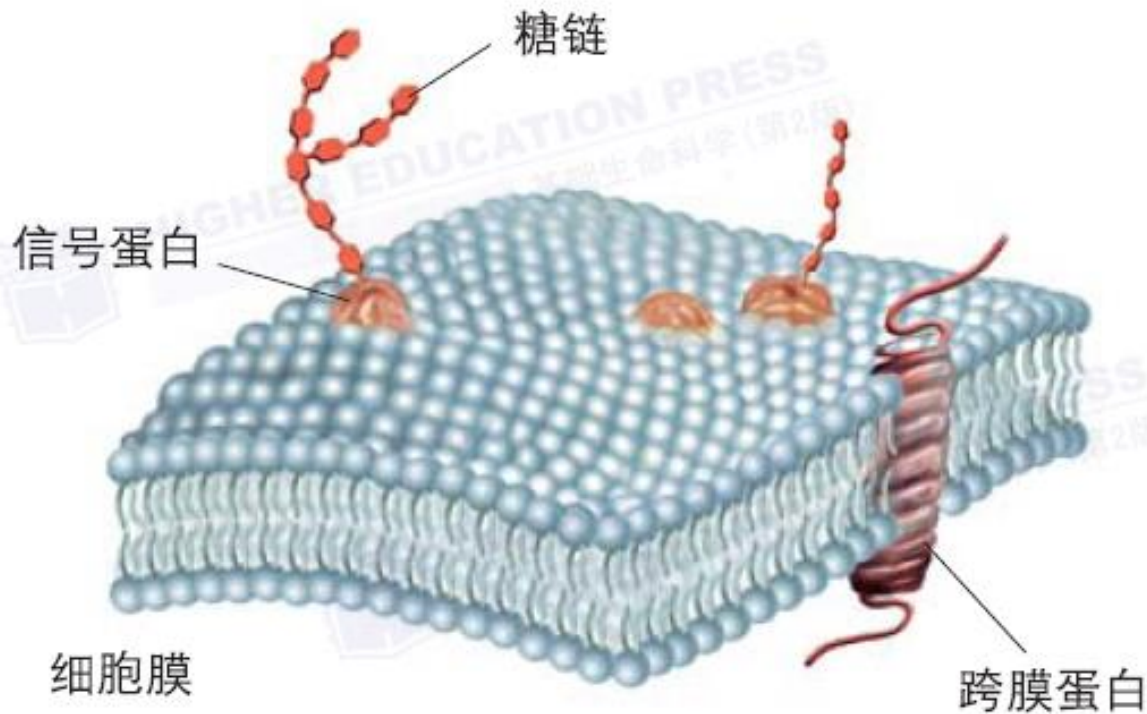


伸缩蛋白与结构蛋白可共同完成肌肉的运动。





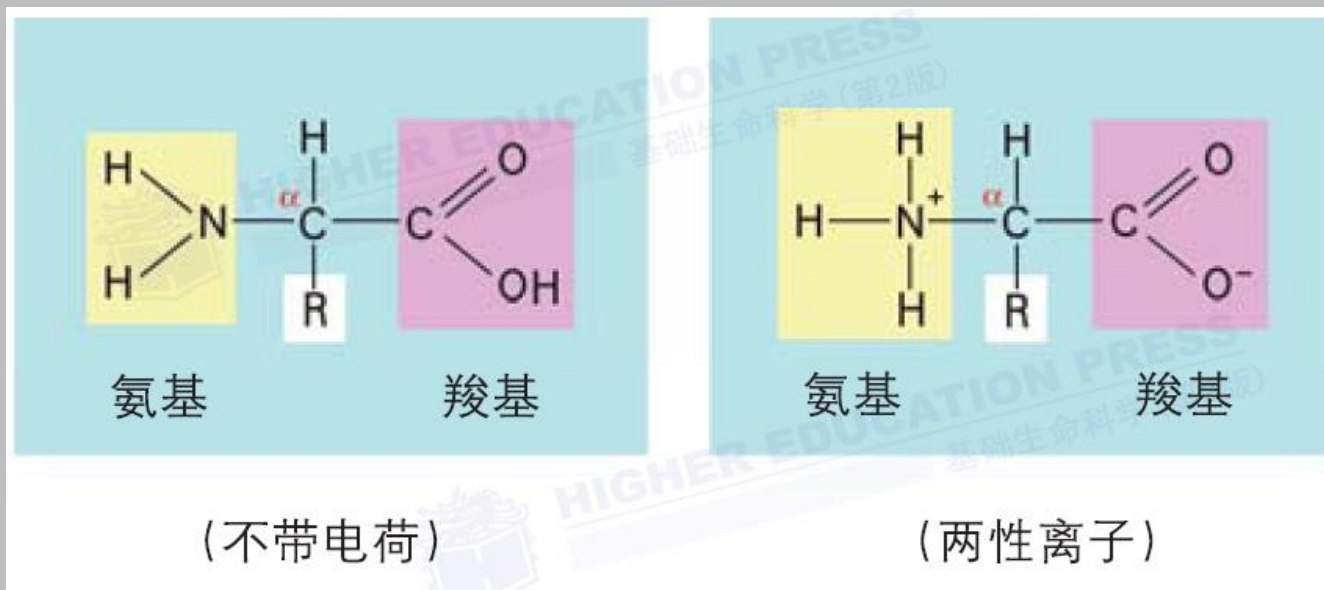
某些蛋白具有信号的功能，可在细胞内和细胞间进行信号传递，协调和控制相关代谢和生命活动。





## 二、蛋白质是由20种氨基酸组成的生物大分子

- 在氨基酸分子中，与功能基团（一个羧基和一个氨基）以共价键相连接的中心碳原子称为 $\alpha$ 碳原子。
- 与 $\alpha$ 碳原子共价键相连的还包括一个氢原子和一个以字母R表示的化学基团，R基是连接着其他功能基团的一个碳或一个碳以上的碳链（甘氨酸例外）。



# 生物体中的20种氨基酸

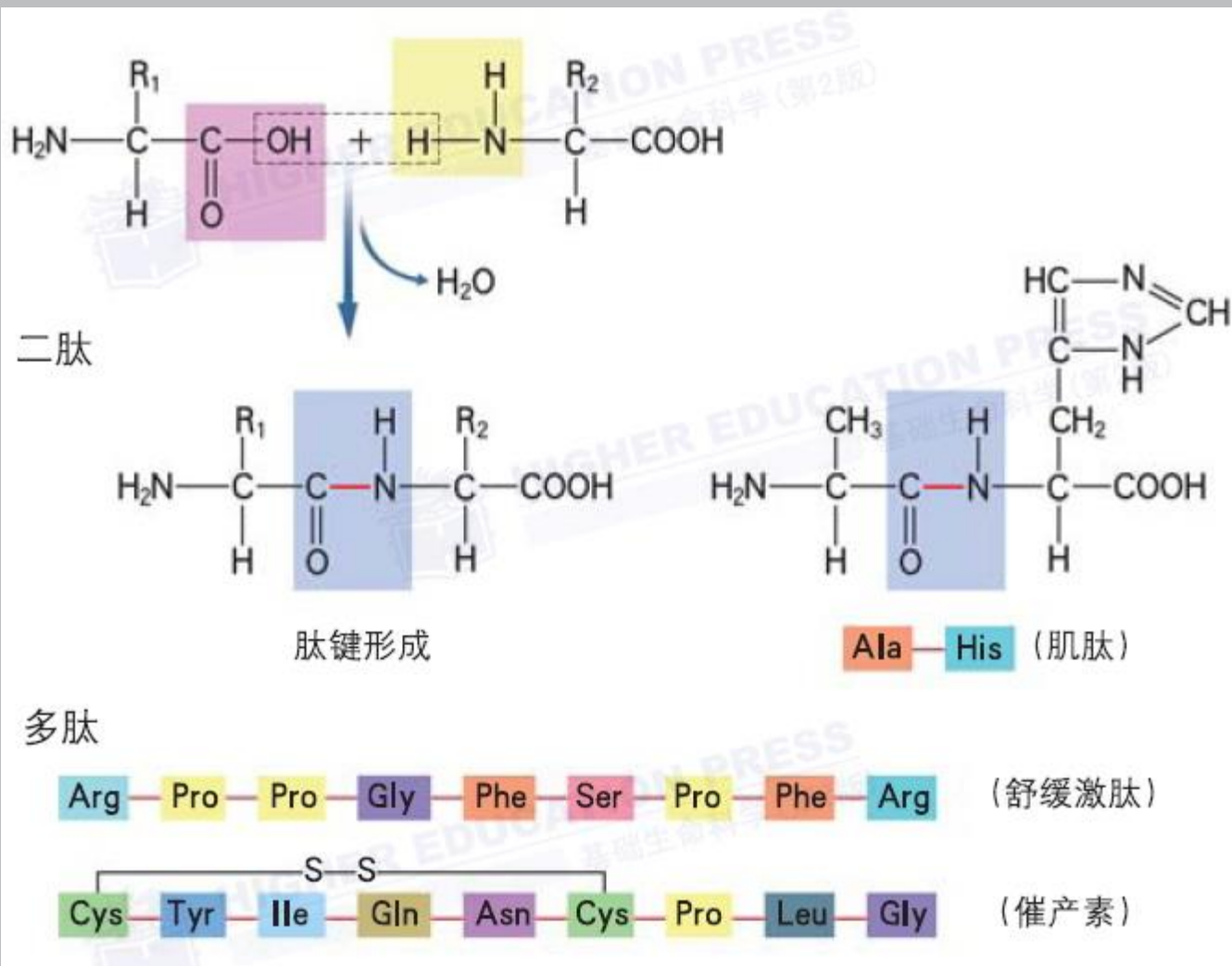
- 不同氨基酸其R基各不相同。
- R基的结构决定了20种氨基酸的特殊性质。

<p>甘氨酸 (Gly)</p>	<p>丙氨酸 (Ala)</p>	<p>缬氨酸 (Val)</p>	<p>亮氨酸 (Leu)</p>
<p>异亮氨酸 (Ile)</p>	<p>脯氨酸 (Pro)</p>	<p>苯丙氨酸 (Phe)</p>	<p>酪氨酸 (Tyr)</p>
<p>色氨酸 (Trp)</p>	<p>甲硫氨酸 (Met)</p>	<p>半胱氨酸 (Cys)</p>	<p>丝氨酸 (Ser)</p>
<p>苏氨酸 (Thr)</p>	<p>天冬氨酸 (Asp)</p>	<p>谷氨酸 (Glu)</p>	<p>组氨酸 (His)</p>
<p>赖氨酸 (Lys)</p>	<p>精氨酸 (Arg)</p>	<p>天冬酰胺 (Asn)</p>	<p>谷氨酰胺 (Gln)</p>

■ 一个氨基酸的 $\alpha$ 氨基与另一个氨基酸的 $\alpha$ 羧基脱水缩合，形成**肽键**并生成**二肽**化合物。

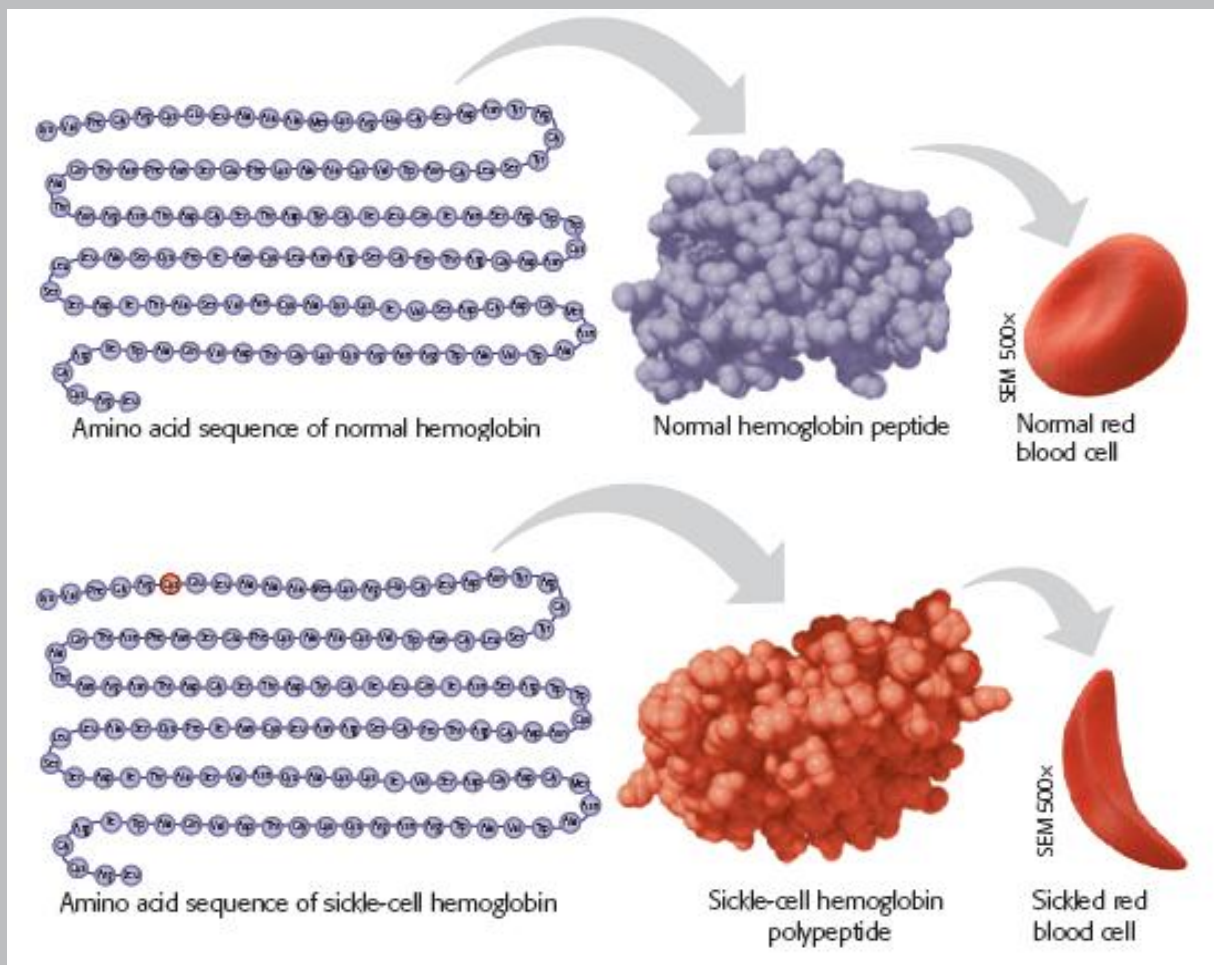
■ 不同数目的氨基酸以肽键顺序相连形成**多肽**，每条多肽链是形成蛋白质分子的亚单位。

二肽和多肽



### 三、蛋白质结构与功能的关系

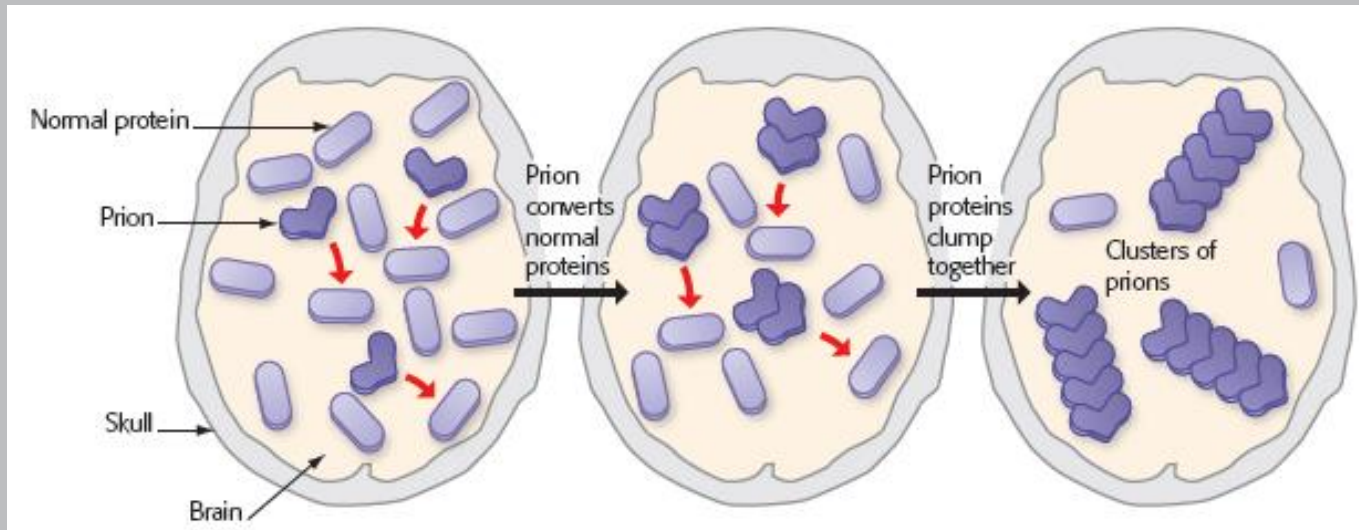
- 蛋白质的特定构象即蛋白质的三维空间结构和形态对于蛋白质的功能起决定性的作用。





### 三、蛋白质结构与功能的关系

■ 蛋白质变性（构象发生变化）使得其特定的功能立即丧失。



疯牛病



笑死病



动物阮病毒在几种动物都可以造成致命的体重减轻



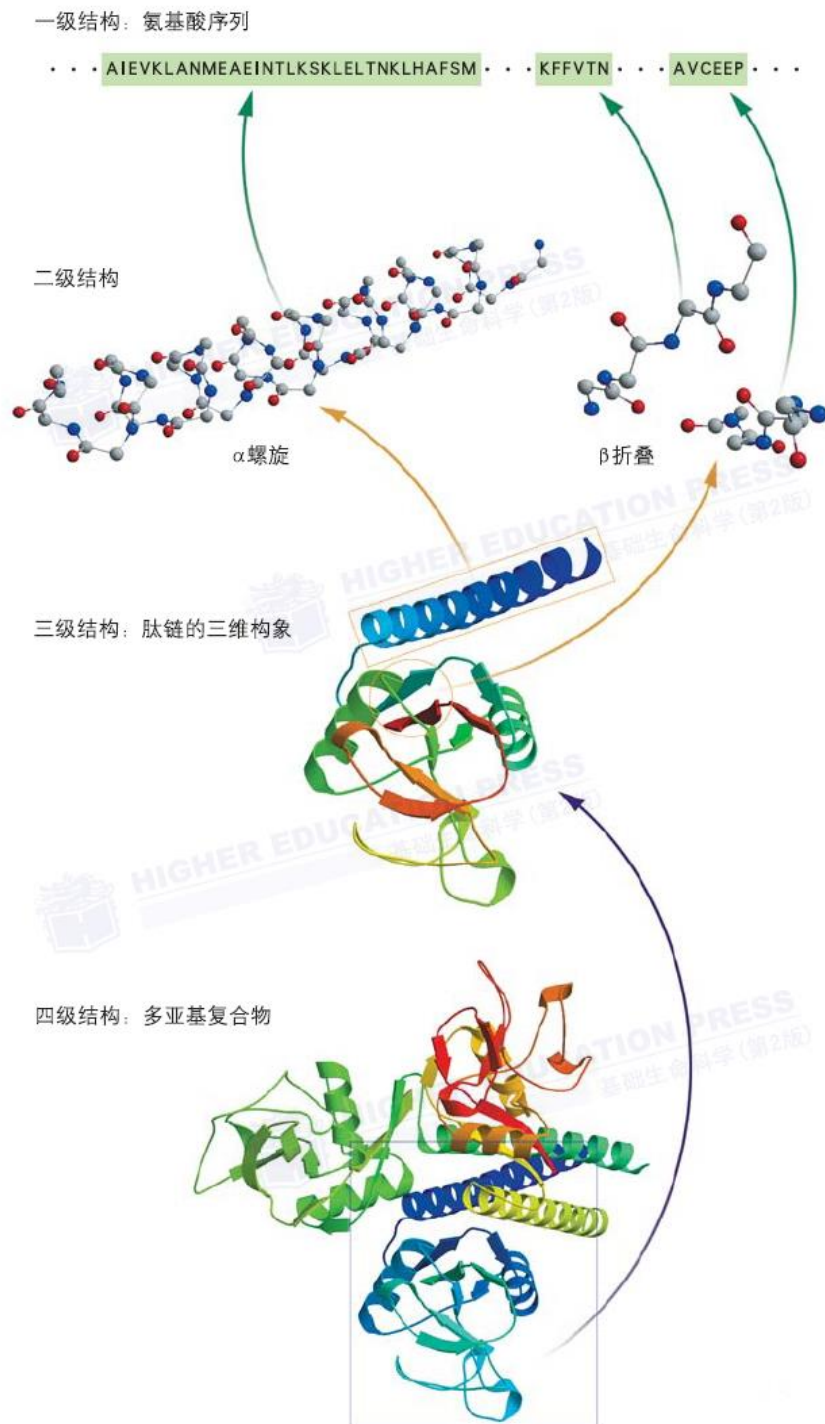
## 四、蛋白质的四级结构

一级结构

二级结构

三级结构

四级结构



## 一级结构

- 蛋白质的一级结构又称为初级结构，是指形成肽链的氨基酸序列，包括肽链中氨基酸的数目、种类和顺序等。
- 蛋白质一级结构的改变可使其二级结构和蛋白质的功能发生变化。
- 蛋白质的一级结构是由编码它的基因确定的。

• • • AIEVKLANMEAEINTLKSKLELTNKLHAFSM • • • KFFVTN • • • AVCEEP • • •

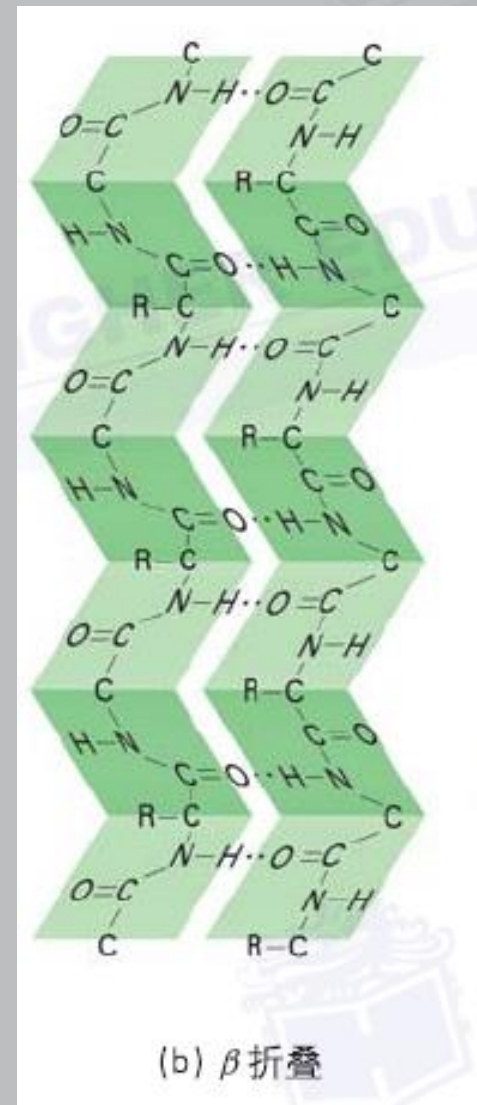
## 二级结构和超二级结构

**$\alpha$ 螺旋：**肽链骨架围绕中心轴向右盘绕呈螺旋状，每一个肽键的羰基氧原子和C端方向氨基酸的酰胺氢原子之间形成氢键，氢键的方向与中心轴几乎平行。



## 二级结构和超二级结构

**$\beta$ 折叠:** 由5~8个氨基酸残基形成伸展的 $\beta$ 折叠链片段, 相邻的 $\beta$ 折叠链片段平行排列, 氢键的方向与 $\beta$ 折叠链的长轴几乎垂直。



## 二级结构和超二级结构

超二级结构或基元。

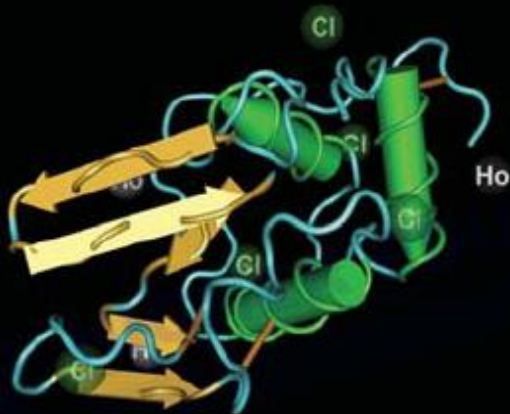


(c) 超二级结构

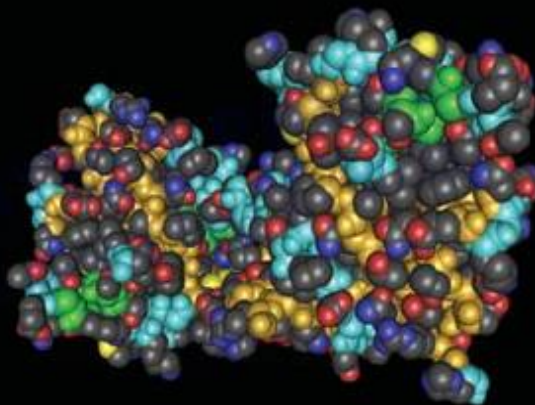


## 三级结构

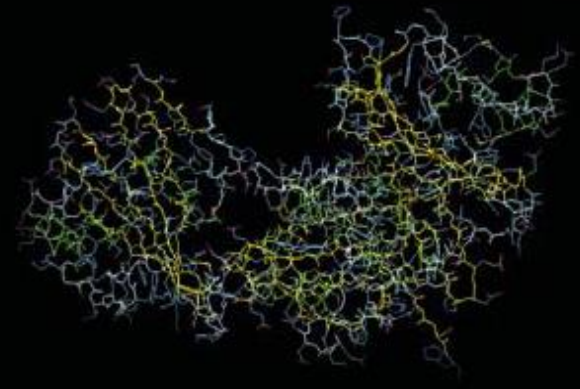
- 三级结构是指多肽链在二级结构的基础上再盘绕或折叠形成的三维空间形态，一般情况下呈球形或纤维状。
- 一般球形蛋白的三级结构可包括若干个 $\alpha$ 螺旋和 $\beta$ 折叠。
- 在三级结构内分立的、独立折叠的单位称为**结构域**。结构域通常由几个在三级结构中相邻的基元组成，小的蛋白可能只有一个结构域，大的蛋白可包括若干个结构域。



(a)



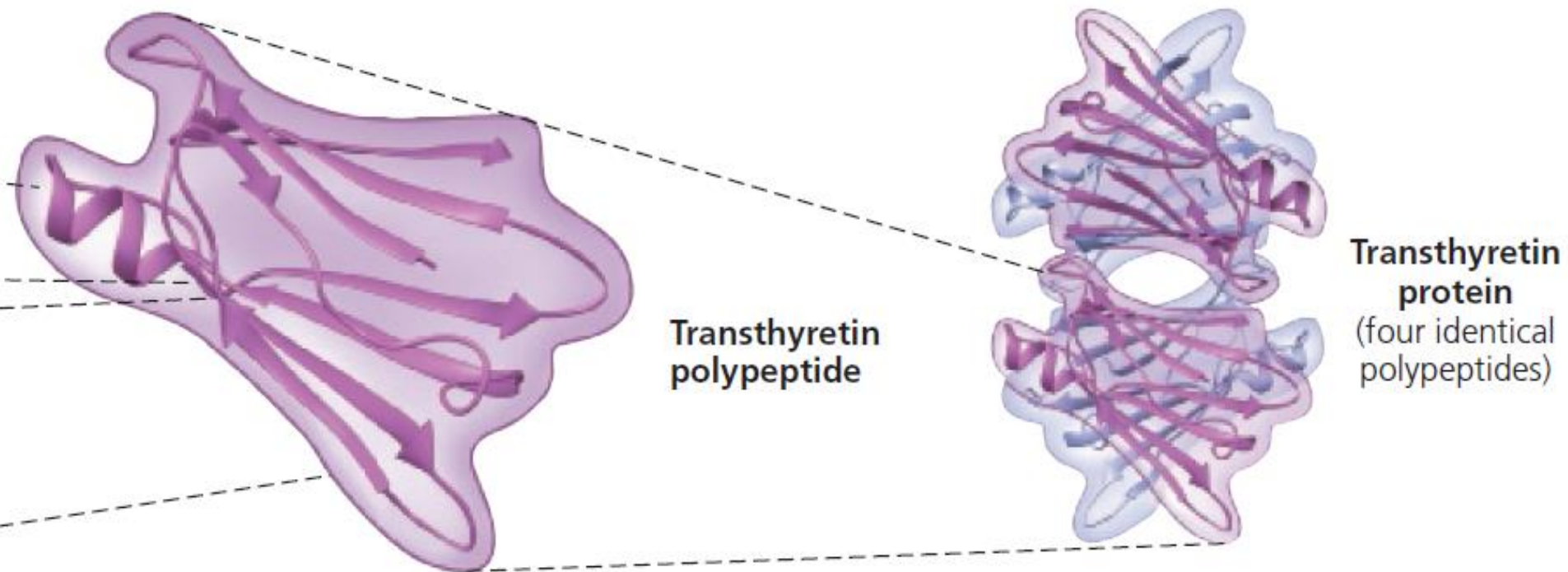
(b)



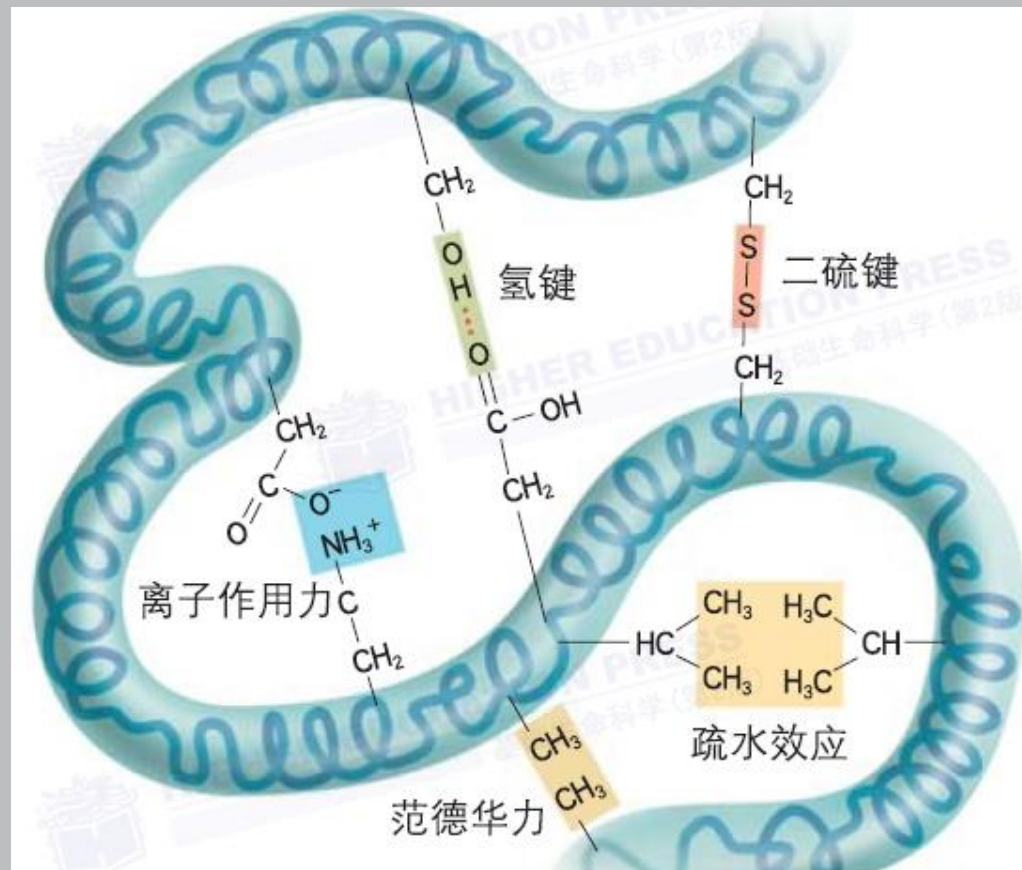
(c)

## 四级结构

- 由亚基相互作用并结合形成的整个蛋白质特定的结构



- 蛋白质四级结构的稳定性和折叠依赖于氢键、疏水效应、离子作用力和“范德华力”等非共价键因素，另外，二硫键也具有重要作用。
- 折叠及去折叠条件与机制等对于从分子水平上认识蛋白质的功能具有重要的理论价值，同时也具有应用价值。



## 五、蛋白质结构的研究方法

---

### 粗分离

- 机械匀浆、超声或酶裂解等方法破碎细胞
- 利用离心获得可溶性的蛋白质溶液
- 硫酸铵分级沉淀不同的蛋白

### 进一步分离纯化

- 离心、柱层析和电泳等技术

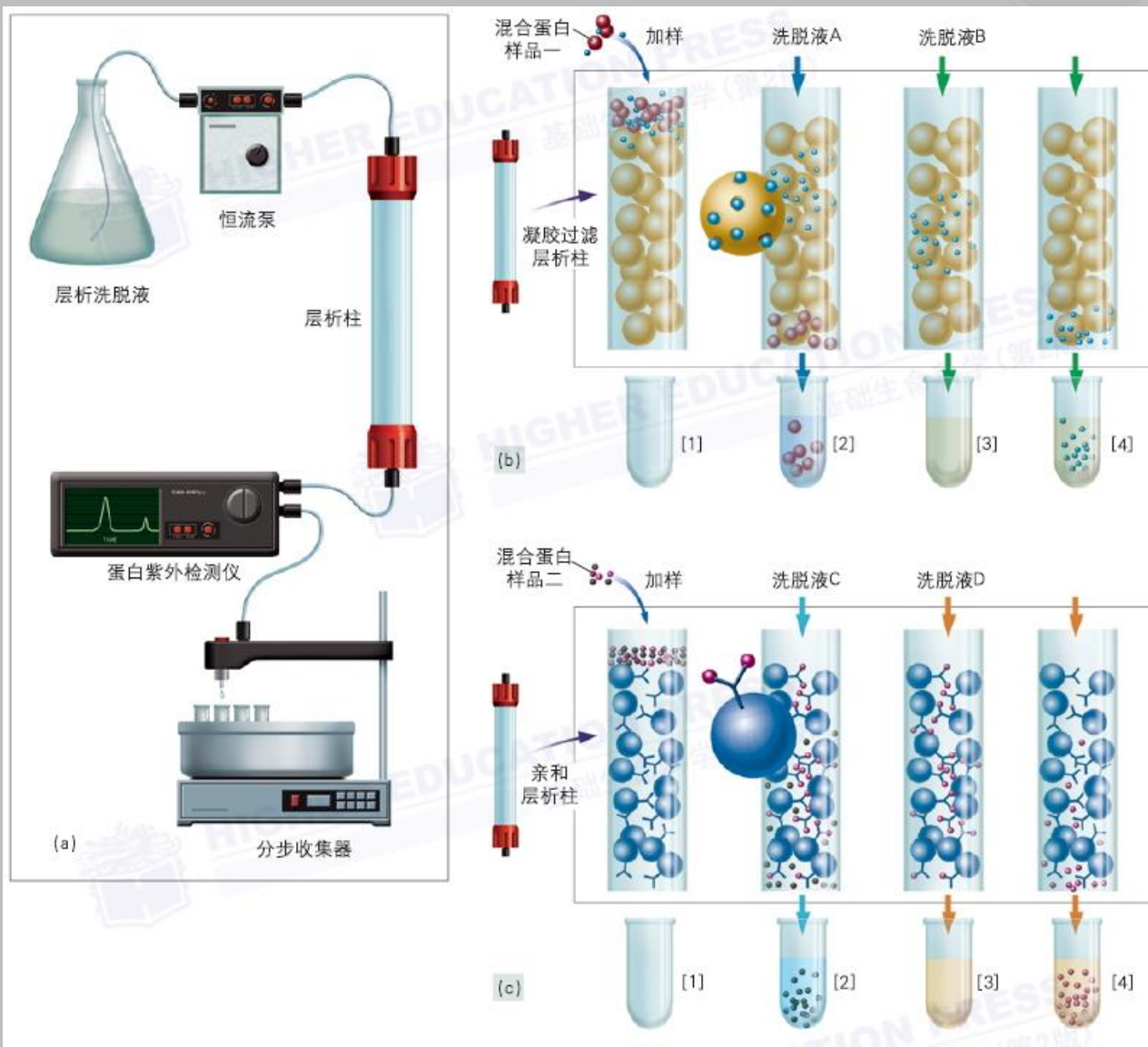
### 结构测定

- X射线衍射和核磁共振技术

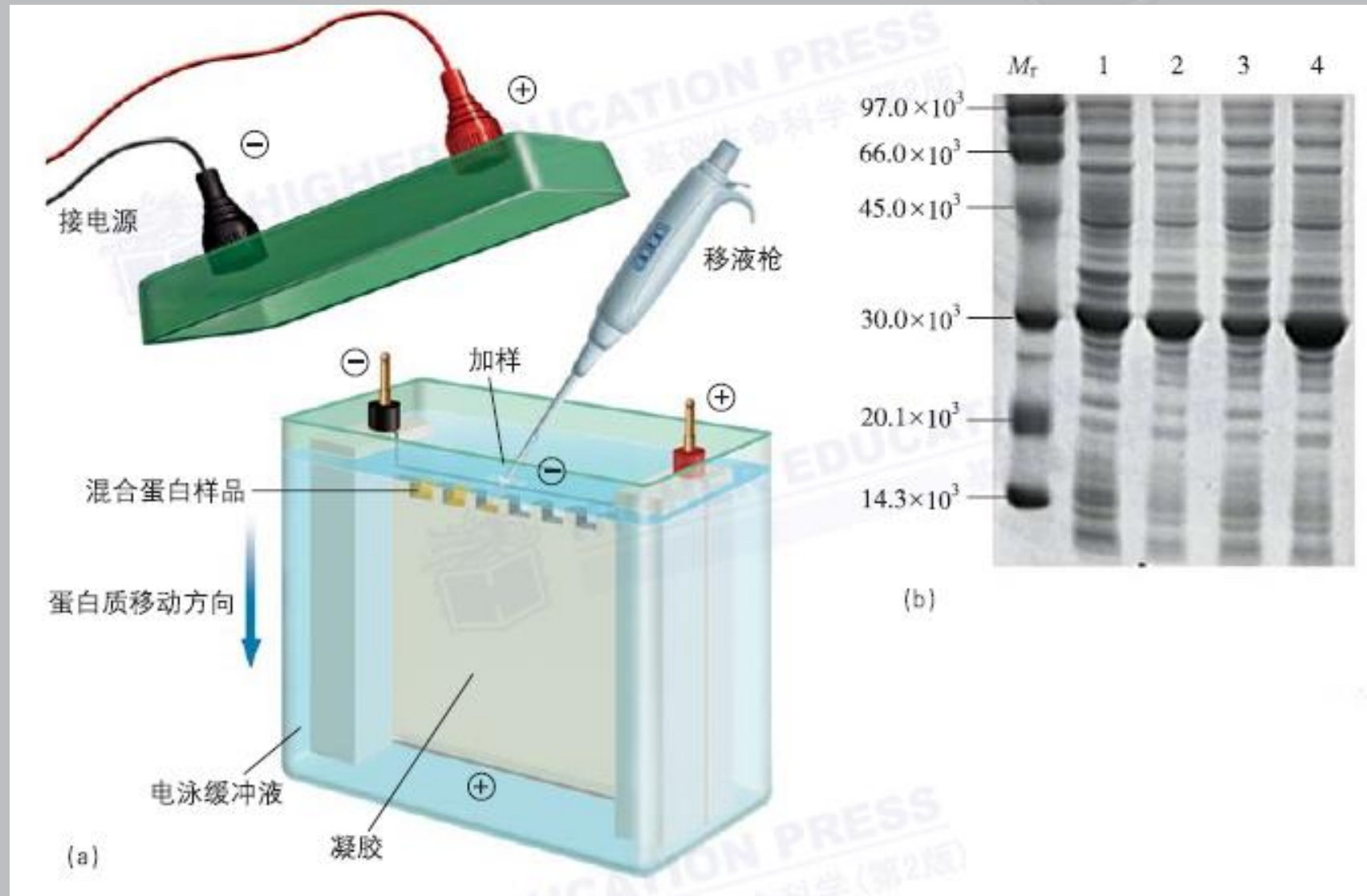


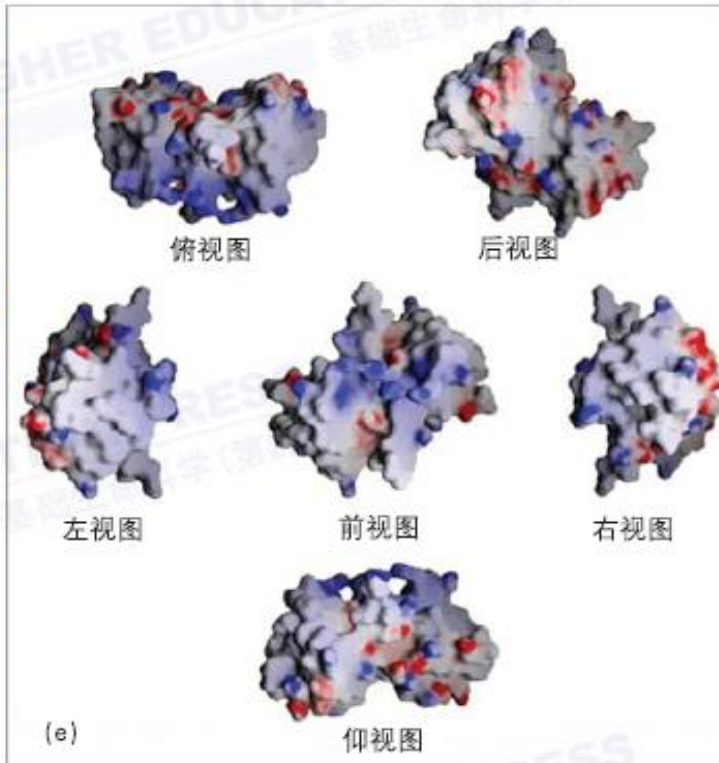
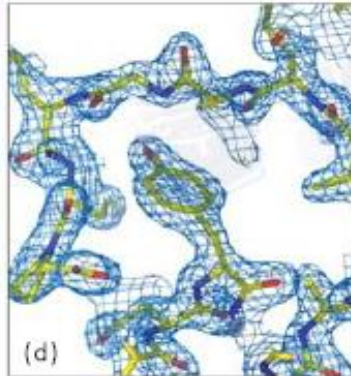
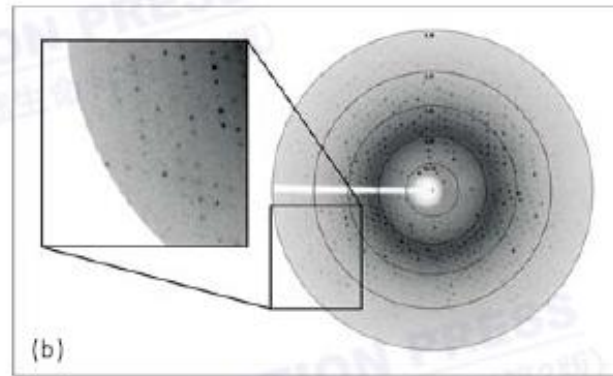
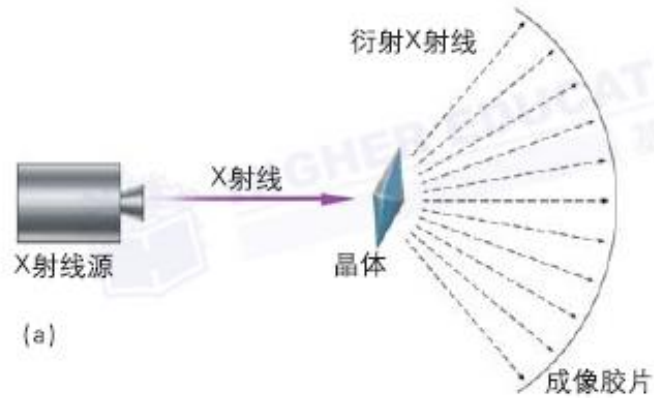
# 柱层析分离蛋白质

依据填充基质和样品分配交换原理不同，离子交换层析、凝胶过滤层析、亲和层析是3种分离蛋白质的经典层析技术。



# 电泳分离蛋白质





用X射线衍射技术分析蛋白质结构

## 第五节 核酸

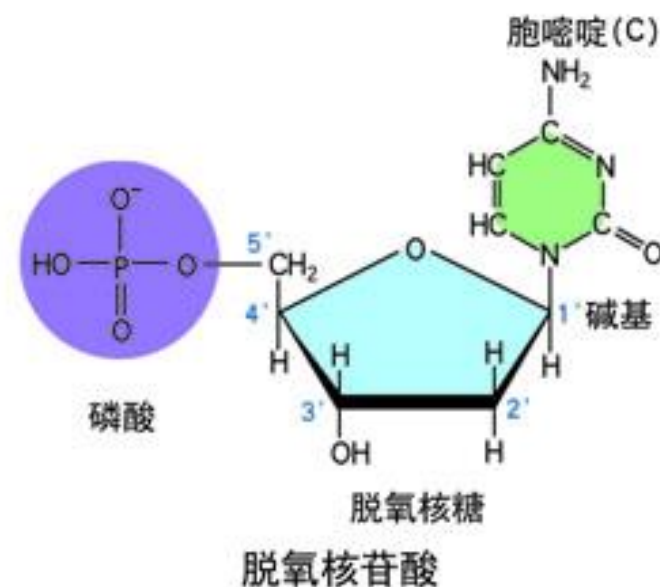
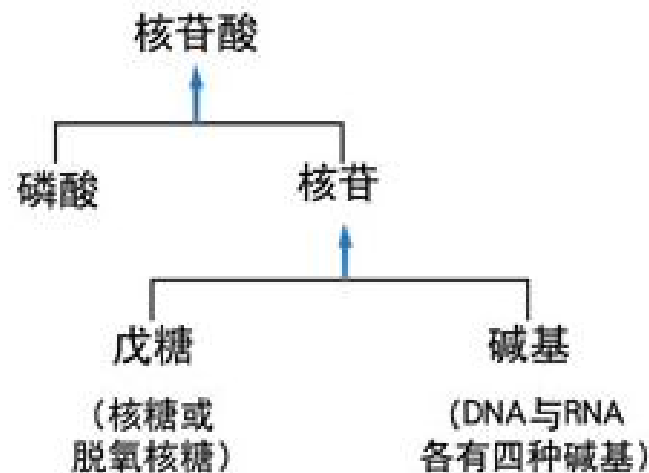
- 核酸贮存遗传信息，控制蛋白质的合成。
- 核酸包括脱氧核糖核酸(DNA)和核糖核酸(RNA)。
- 贮存遗传信息的特殊DNA片段称为基因，它主要编码蛋白质的氨基酸序列，从而决定蛋白质的功能。通过蛋白质的作用，DNA实际上控制着细胞和生物体的生命过程。
- DNA控制蛋白质的合成是通过RNA来实现的，即遗传信息由DNA转录到RNA，后者决定蛋白质的氨基酸序列。



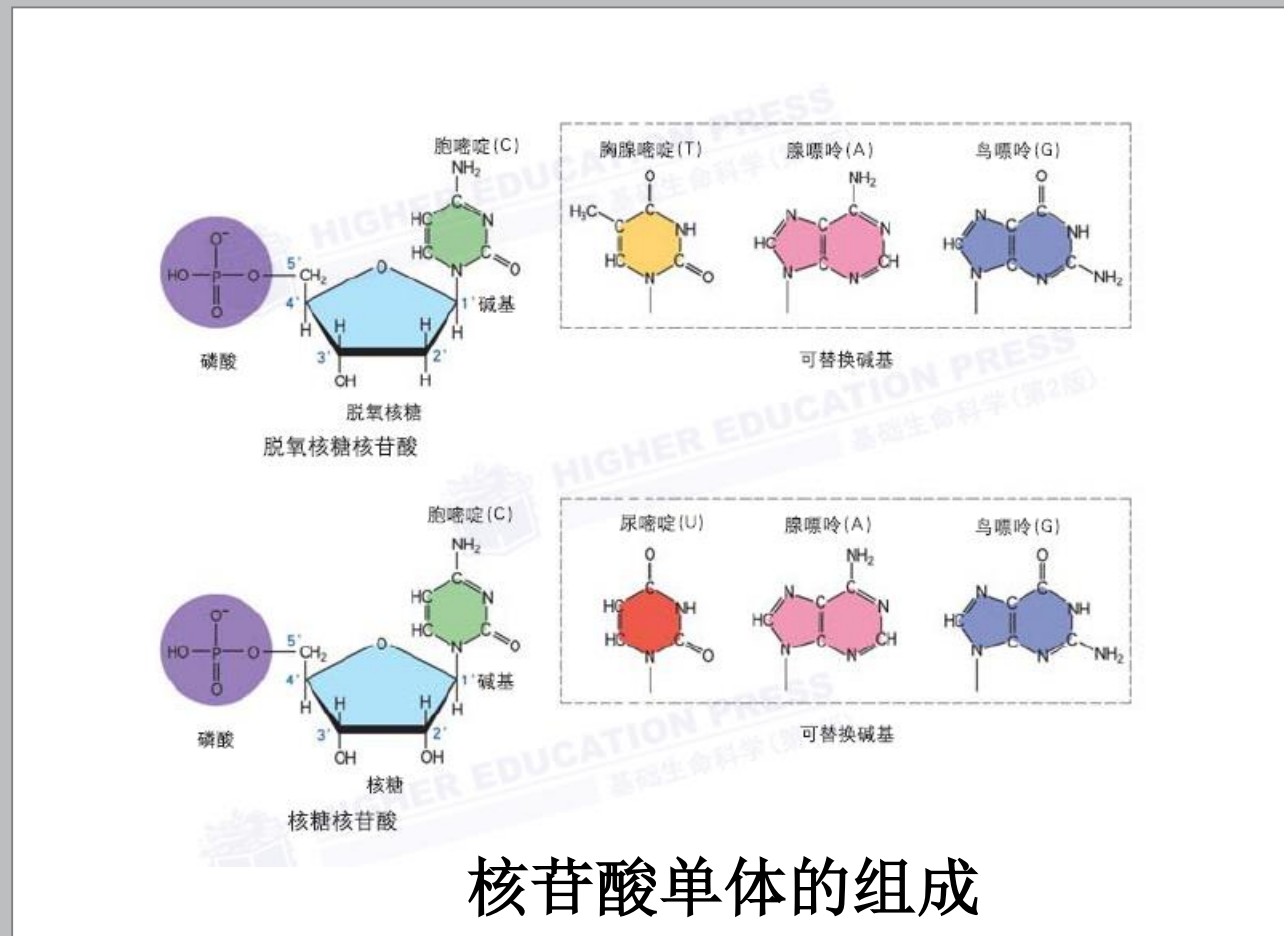
# 一、核苷酸

■ 每一个核苷酸单体由3部分组成：一个戊糖分子、一个**磷酸**和一个含氮的**碱基**。

■ 脱氧核糖或核糖上第一位碳原子与嘌呤或嘧啶结合，就成为**脱氧核苷或核苷**，第三位或第五位碳原子再与磷酸结合，就成为**脱氧核糖核苷酸或核糖核苷酸**。

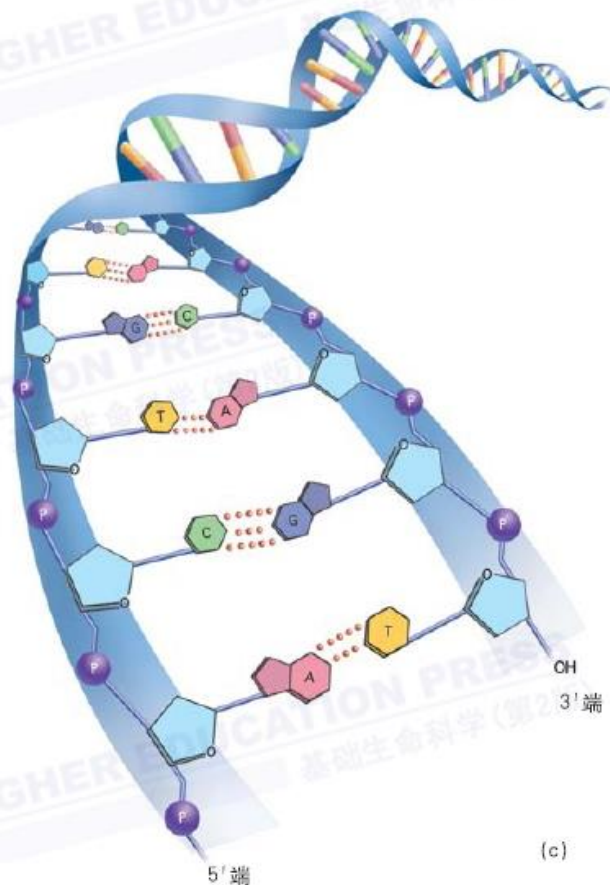
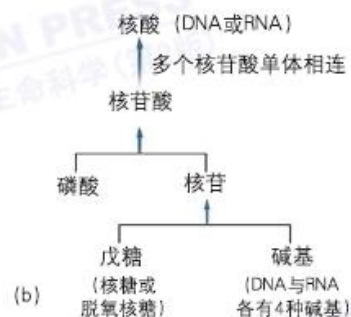
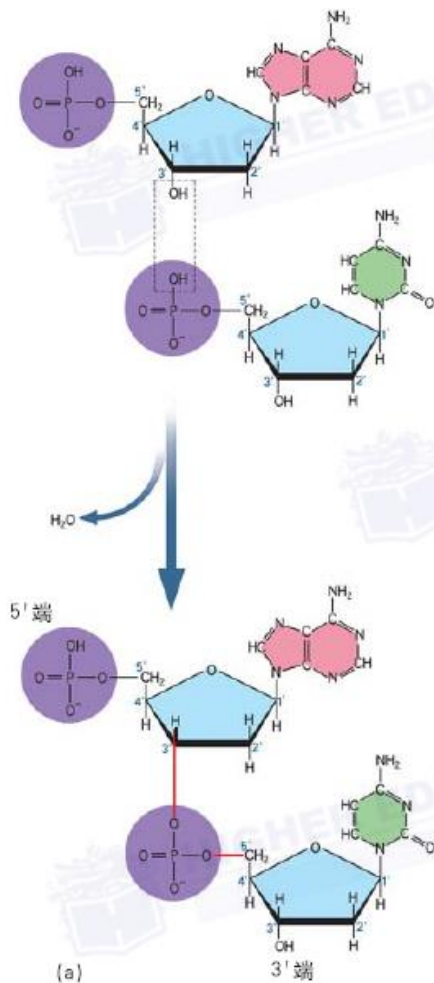


- 核苷酸的碱基分为两类：一类是嘌呤，是双环分子；一类是嘧啶，是单环分子。
- 嘌呤包括腺嘌呤 (A) 和鸟嘌呤 (G) 2种。
- 嘧啶有3种：  
胸腺嘧啶 (T)  
胞嘧啶 (C)  
尿嘧啶 (U)



## 二、核糖核酸和脱氧核糖核酸

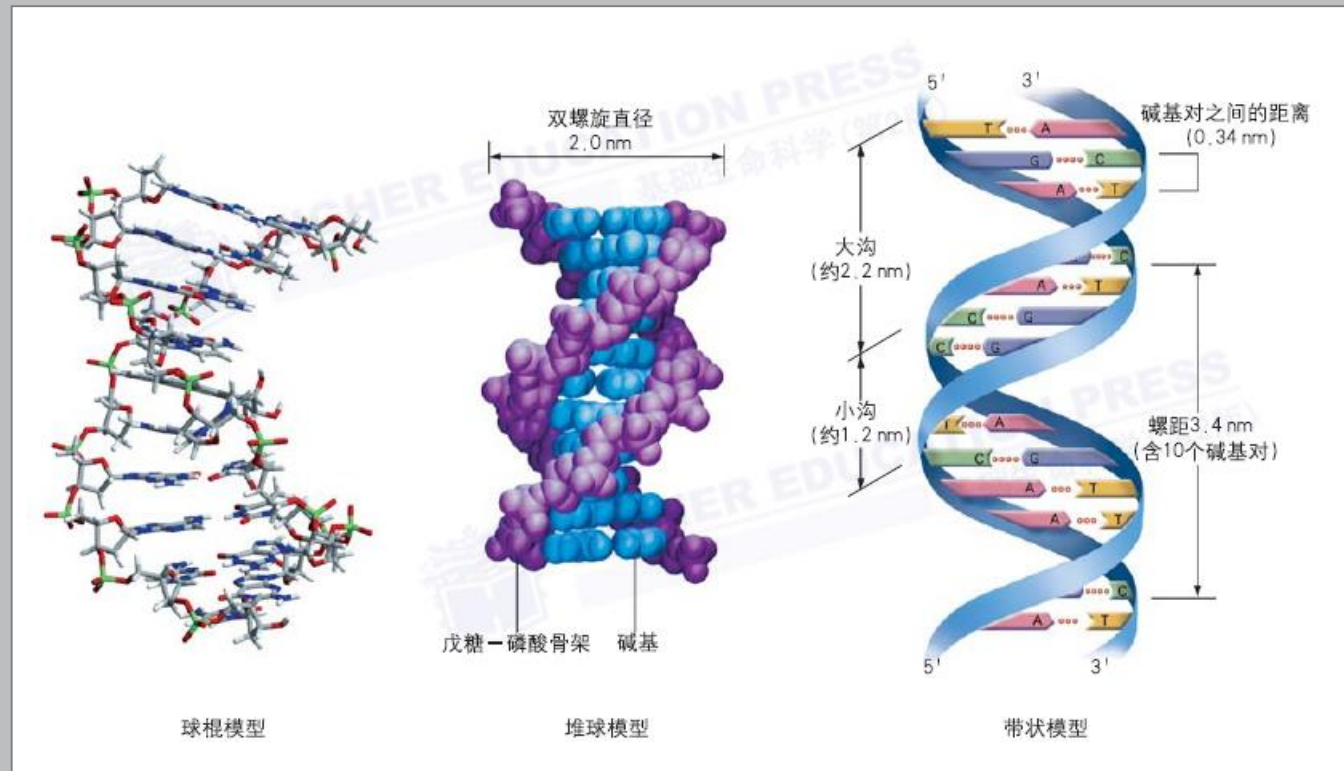
一个核苷酸单体戊糖第五位碳的磷酸与另一个核苷酸单体戊糖第三位碳相连，形成3'，5'-磷酸二酯键，如此重复连接形成核酸链的磷酸戊糖基本骨架，碱基则与骨架上戊糖的第一位碳相连。



### 三、DNA双螺旋结构

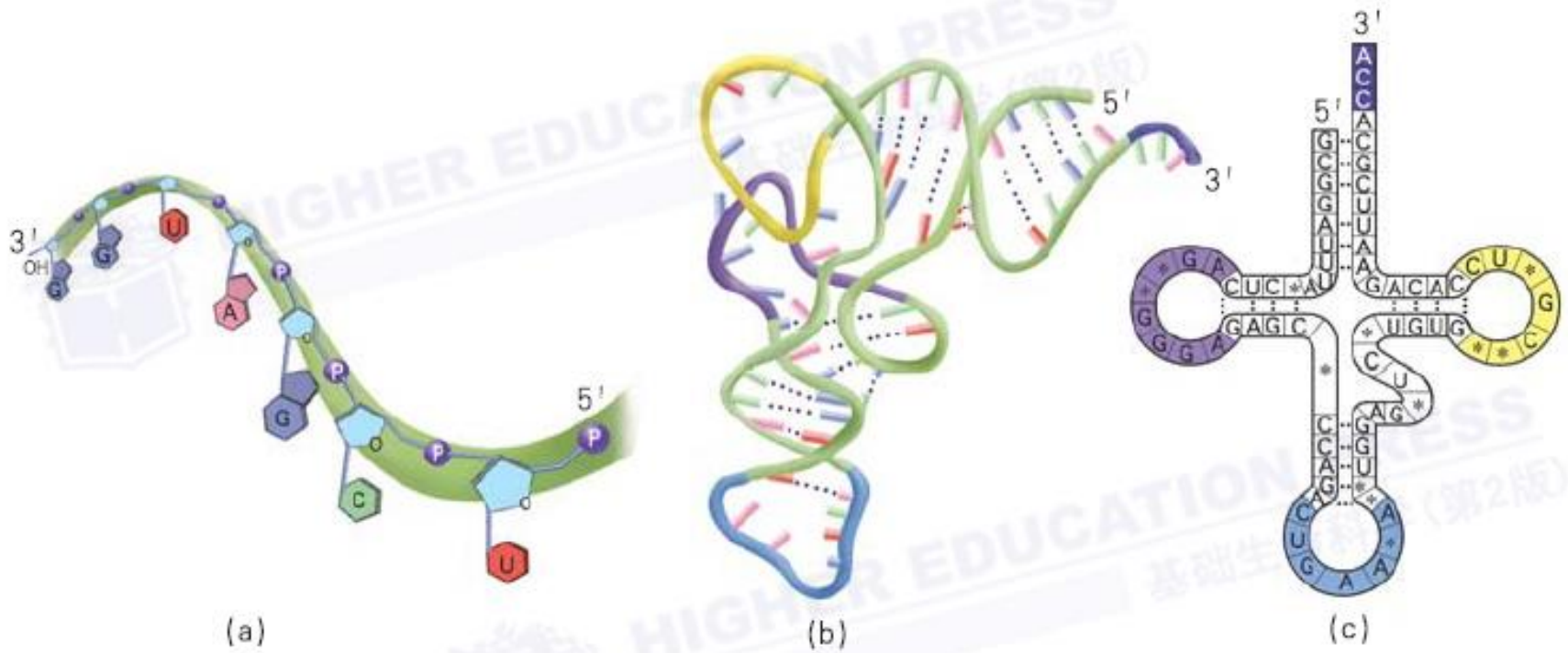
■ DNA分子是由两条脱氧核糖核苷酸长链互以碱基配对相连而成的螺旋状双链分子；DNA主要存在于细胞核内的染色质中，线粒体和叶绿体中也有，是遗传信息的携带者。

■ 双螺旋结构理论是现代分子生物学的理论基础。



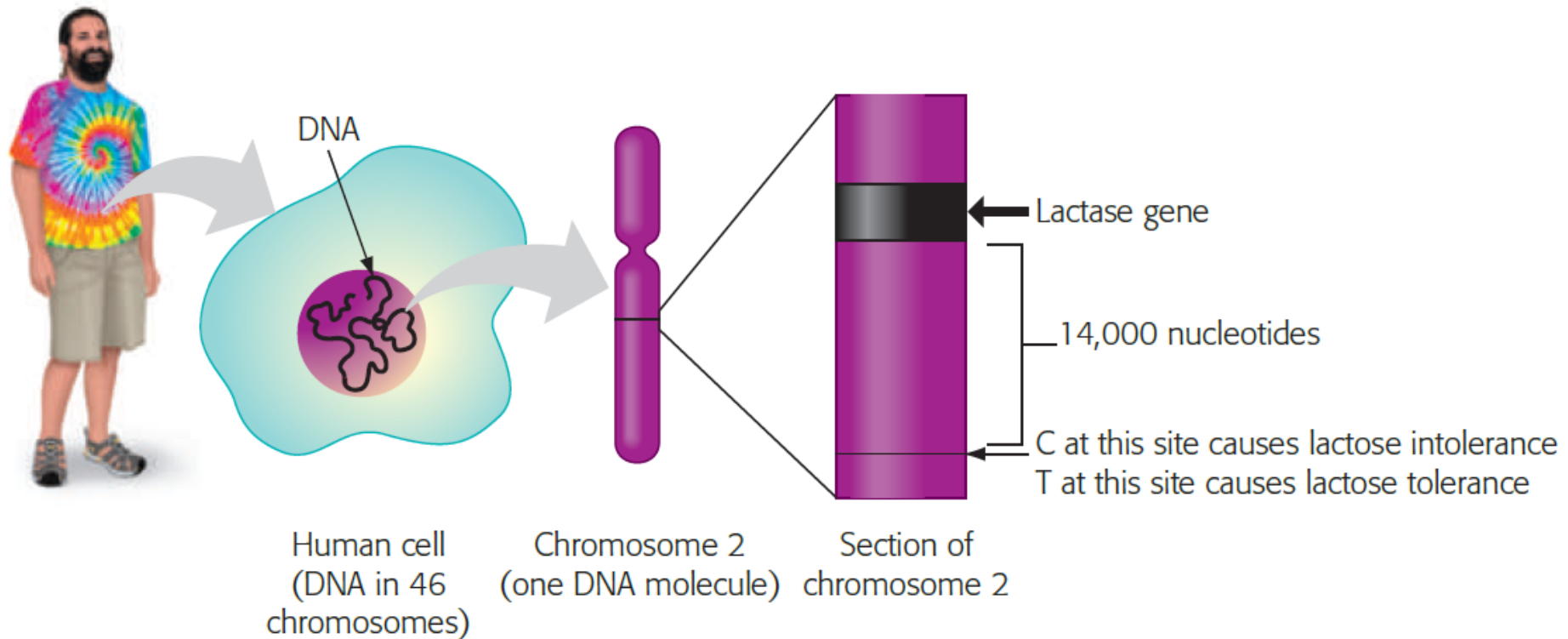


**RNA分子**是单链的，RNA在细胞核内产生，然后进入细胞质，在蛋白质的合成中起重要作用。



## RNA分子结构

## 乳糖不耐受是否遗传？



## 乳糖不耐受的进化

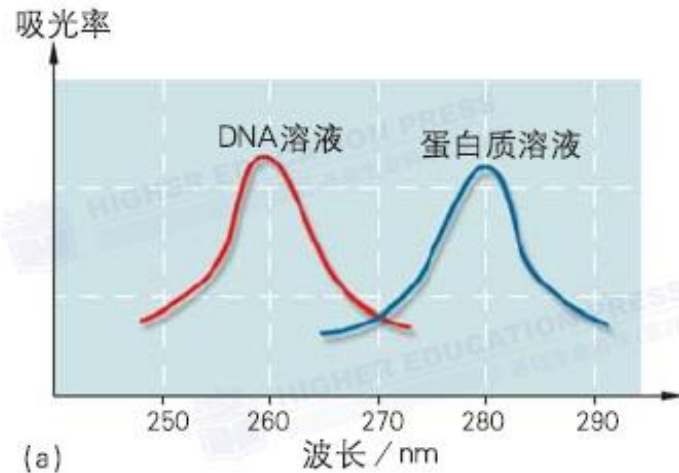


## 四、细胞内总DNA的提取分离与浓度测定

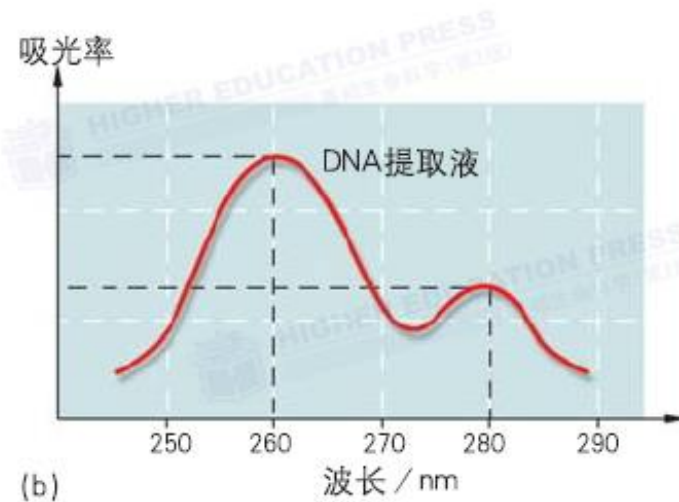




## 用紫外分光光度计测定DNA溶液的纯度和浓度



纯DNA的 $A_{260}/A_{280}$ 应该大于1.8



DNA质量浓度 ( $\mu\text{g/mL}$ ):  
 $A_{260} \times 50$  (比色杯光径为1 cm)

## 五、DNA双螺旋结构发现的故事

1951年 Watson 23岁

丹麦的哥本哈根

Wilkins教授

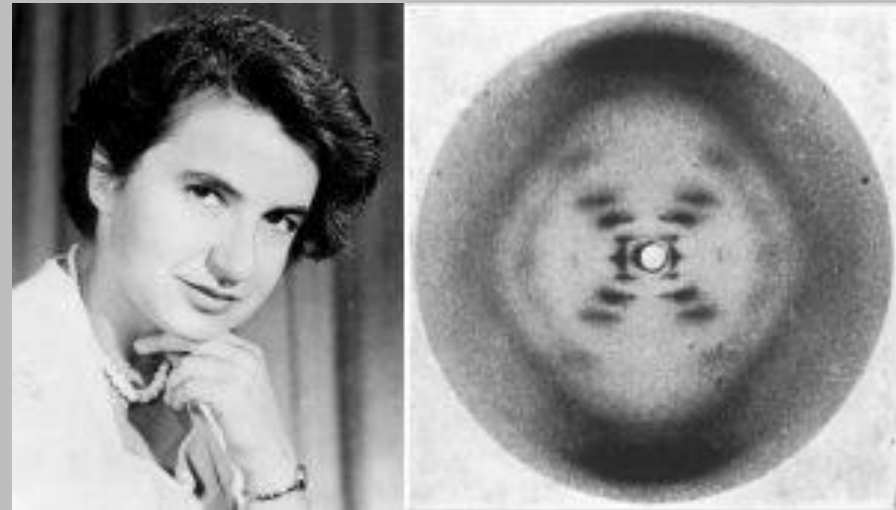
英国剑桥大学Cavendish实验室

Crick, 31岁

伦敦大学King's实验室

女科学家Franklin

Wilkins教授 Randall教授



## DNA双螺旋结构发现的故事

DNA应该是双螺旋

蛋白质螺旋理论 (Linus Pauling)

A与T、C与G巧妙连接 (Erwin Chargaff)

符合X衍射数据 DNA的复制

1953年2月28日, Watson 和 Crick用金属线制出了新的DNA模型, 他们为自然科学树立了一座闪闪发光的里程碑。



Watson (左) 和Crick (右)

# 本章摘要

生命元素中，碳元素具有特别重要的作用。生物大分子的基本性质取决于有机化合物的碳骨架和功能基团。蛋白质、核酸、脂质和多糖等，都是由含有功能基团的相同或相近的单体脱水缩合而成。

糖类包括单糖、寡糖和多糖。糖是生物代谢过程的重要中间代谢物，是细胞重要的结构成分，又是生命活动的主要能源。

脂质分子含C、H、O 3种元素，但H与O的比值远大于2，脂质不溶于水，可溶于非极性溶剂。中性脂肪和油都是由甘油和脂肪酸结合成的脂质。卵磷脂或称磷脂酰胆碱是细胞中最重要的一类磷脂，是生物膜脂质双层的主要成分。

蛋白质是细胞最重要的结构成分并参与所有的生命活动过程。蛋白质的特定构象对于蛋白质的功能起决定性的作用。

核酸包括脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）两类。DNA是右旋的双螺旋结构。DNA是遗传信息的携带者。贮存遗传信息的特殊DNA片段称为基因，它决定蛋白质的功能。RNA是一类单链分子，在蛋白质的合成中起重要作用。1953年，Watson和Crick建立了DNA双螺旋结构理论，奠定了现代分子生物学的基础。