



第四章 能量与代谢

第一节 生物体的能量

第二节 生物催化剂-酶

第三节 生物代谢

第四节 细胞呼吸

第五节 光合作用

第一节 生物体的能量

一、生命活动需要能量

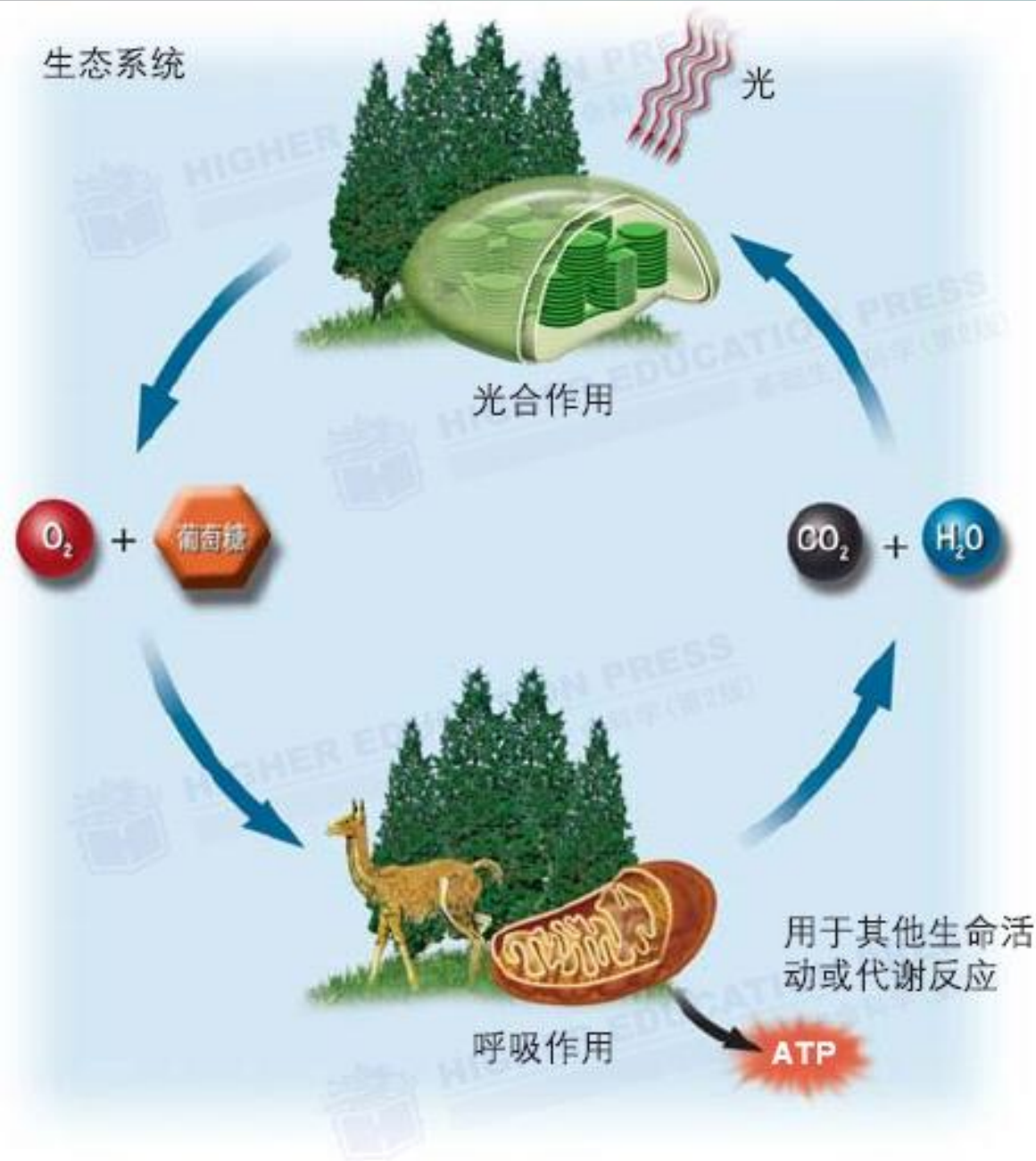
■ 生命的活动和维持需要消耗能量,生物本身不能创造新的能量,它只能依赖于外部能量的输入。几乎所有地球生命所需要的能量都来自太阳。

■ 自养生物与异养生物。

■ 生态系统中能量的流动是由多样化的生命过程来完成的。



- **代谢**：发生在生物体内全部的化学物质和能量的转化过程。同化作用与异化作用组成了新陈代谢的两个方面。
- **同化作用**或合成代谢：生物体将简单小分子合成复杂大分子并消耗能量的过程。光合作用是最典型的同化作用过程。
- **异化作用**或分解代谢：生物体将复杂化合物分解为简单小分子并放出能量的反应。细胞呼吸是最重要的异化作用过程。
- 在细胞或生物体内，异化作用释放的能量常常被用来供给同化作用，这种放能反应与吸能反应之间能量的转移称为能量代谢的偶联。
- 新陈代谢也可以分为物质代谢与能量代谢两个方面。
- 伴随着能量的流动，这些代谢反应基本都发生在生物膜（如类囊体膜和线粒体膜）上，还都需要酶的催化作用。



细胞呼吸与光合作用为细胞代谢提供能量。

返回

二、热力学定律

- **热**是一种可测量的能量形式。**热力学**是研究热现象中物态转变和能量转换规律的学科。
- 热与功是能的两种主要表现形式。在生物系统中，一般使用千焦耳（kJ）为能量单位。
- **热力学第一定律**即能量守恒定律，该定律指出，宇宙或一个孤立系统的总能量是一个常数，能量可以不断被转化和转移，但不可能被创造，也不可能被消灭。
 - 如酒精燃烧将化学能转化为光能和热能。
 - 生物体可以从环境中获得能量，在体内转换传递，也可将能量以热的形式释放到环境中去，将生物及其环境看作为一个孤立系统，其能量始终是守恒的。



酒精燃烧将
化学能转化为光
能和热能。

注意：酒精
灯作为一个体系，
烧杯、水和空气
为其环境，如此
构成完整的系统。

- **热力学第二定律**：描述了无序状态的变化规律，指出**系统的各种过程总是向着熵值增大的方向进行**。
- 热力学将不能做功的随机和无序状态的能定义为**熵**，以 S 表示。熵是度量无序程度的量纲。
 - 一个系统越是有序，它的熵就越低，反之越高。
 - 有序是一种高度不稳定的状态。
 - **没有任何一种过程其能与功的转换效率超过100%**。
- 生命过程一直在与热力学第二定律作抗争，即与自发过程中熵的增大作抗争。这种抗争靠的是能量的不断输入。如果不输入能量，对于活细胞和生物体来说，系统的有序化程度就要下降，熵不断增加的结果将导致细胞或生物的死亡。

有序是一种
高度不稳定的
状态。

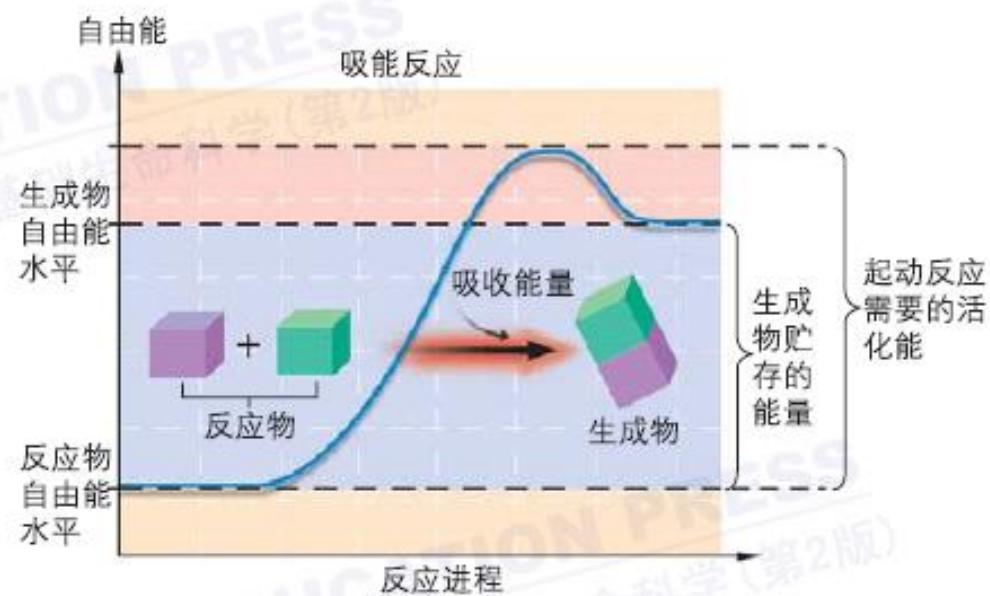
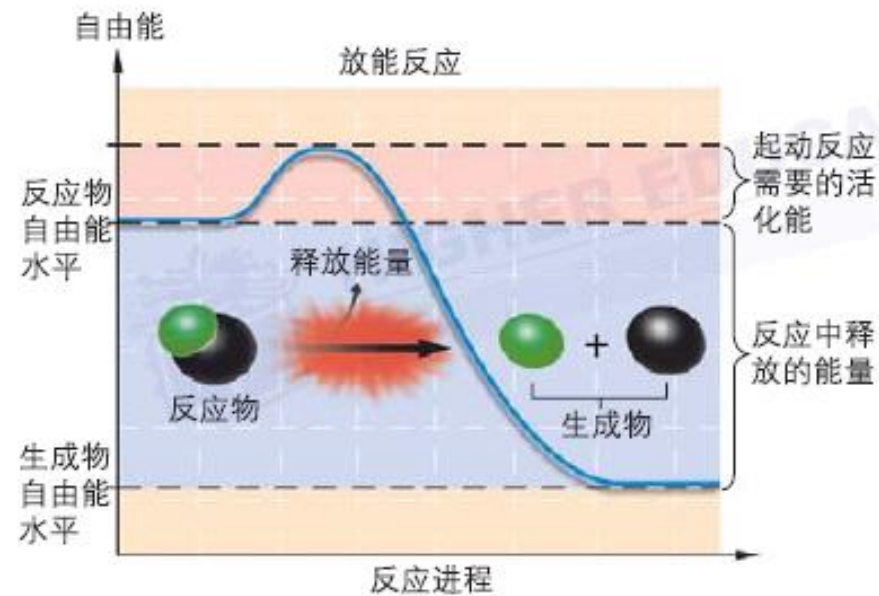


若瓶子里有红球、绿球各50个，则右图出现的概率为 2^{-50} 。

返回

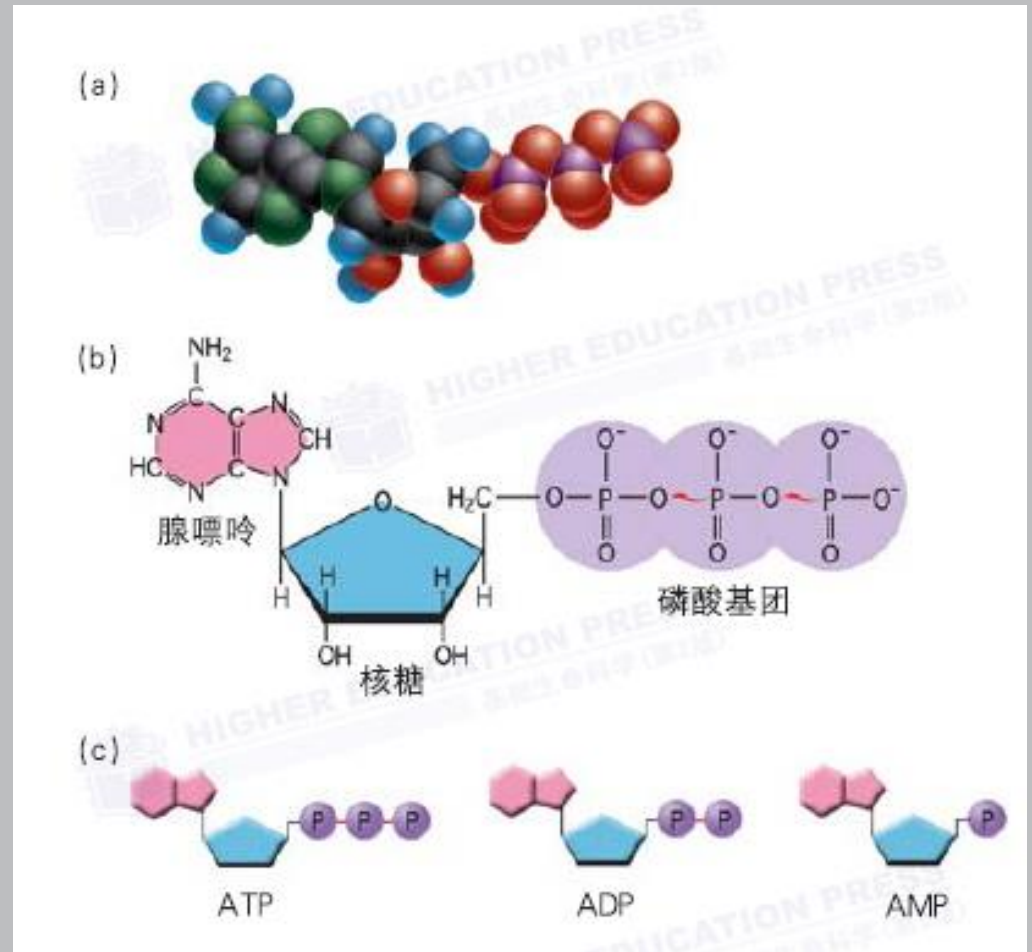
- 热力学将系统中总的热称为焓，以 H 表示。在化学反应中，反应物或产物的焓等于总的化学键能，化学键的形成或断开使热焓补充吸收或者释放。
- **自由能**：在恒定温度和压力条件下总能量中可以做功的那一部分能量。
- 当熵增加时，系统的自由能便会下降，因此有如下关系式：
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (T \text{ 为热力学温度})$$
- 物理和化学过程达到平衡时，即达到系统的自由能最小而熵最大。
- 生物体能够通过新陈代谢不断地从周围环境吸取负熵维持高度有序的生存状态。新陈代谢过程使生物体向周围环境释放出其不断产生的正熵。

■ **放能反应和吸能反应**：在一个生物化学反应中，如果产物比反应物含有更少的自由能，这个反应便趋向于自发地进行，可释放自由能，称为**放能反应**；相反另一些反应需要从外界输入自由能才能进行，这种反应称为**吸能反应**。

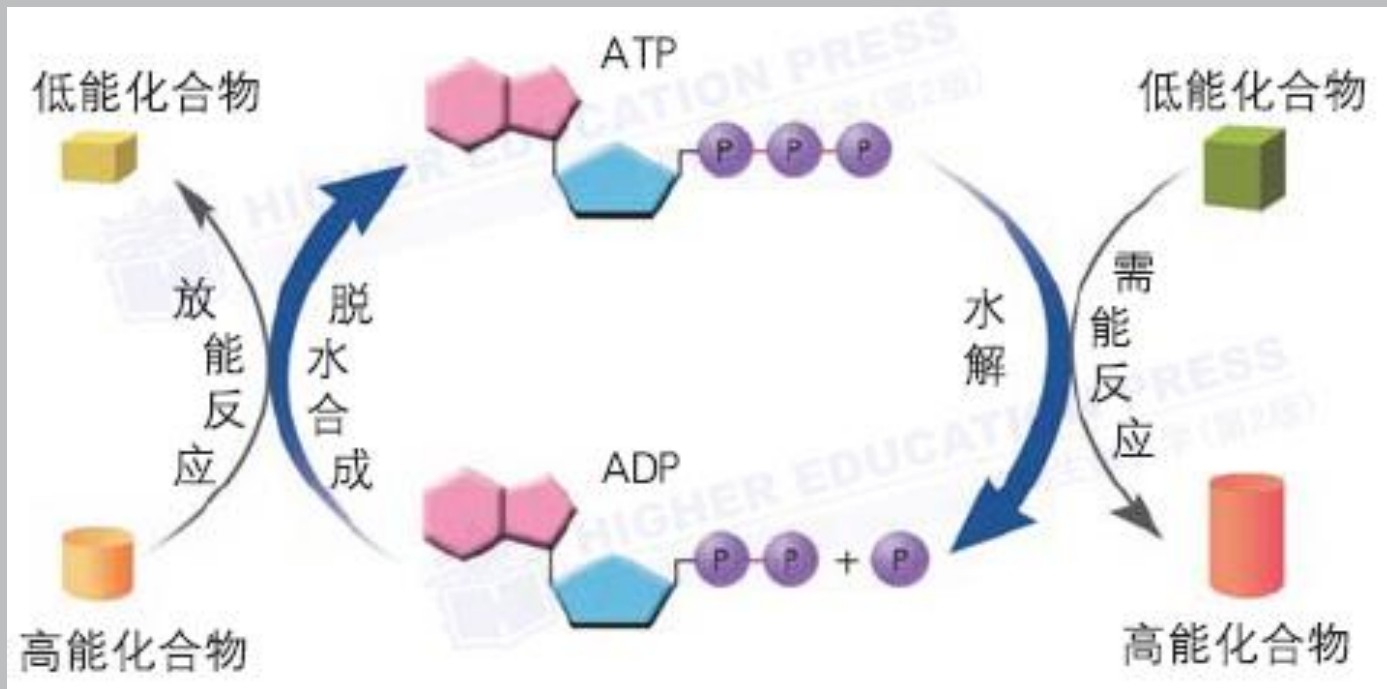


三、细胞的能量通货—ATP

- 在活细胞中，能量通常以化学键能的形式贮存在腺嘌呤核苷三磷酸（ATP，也称腺苷三磷酸或三磷酸腺苷）中。



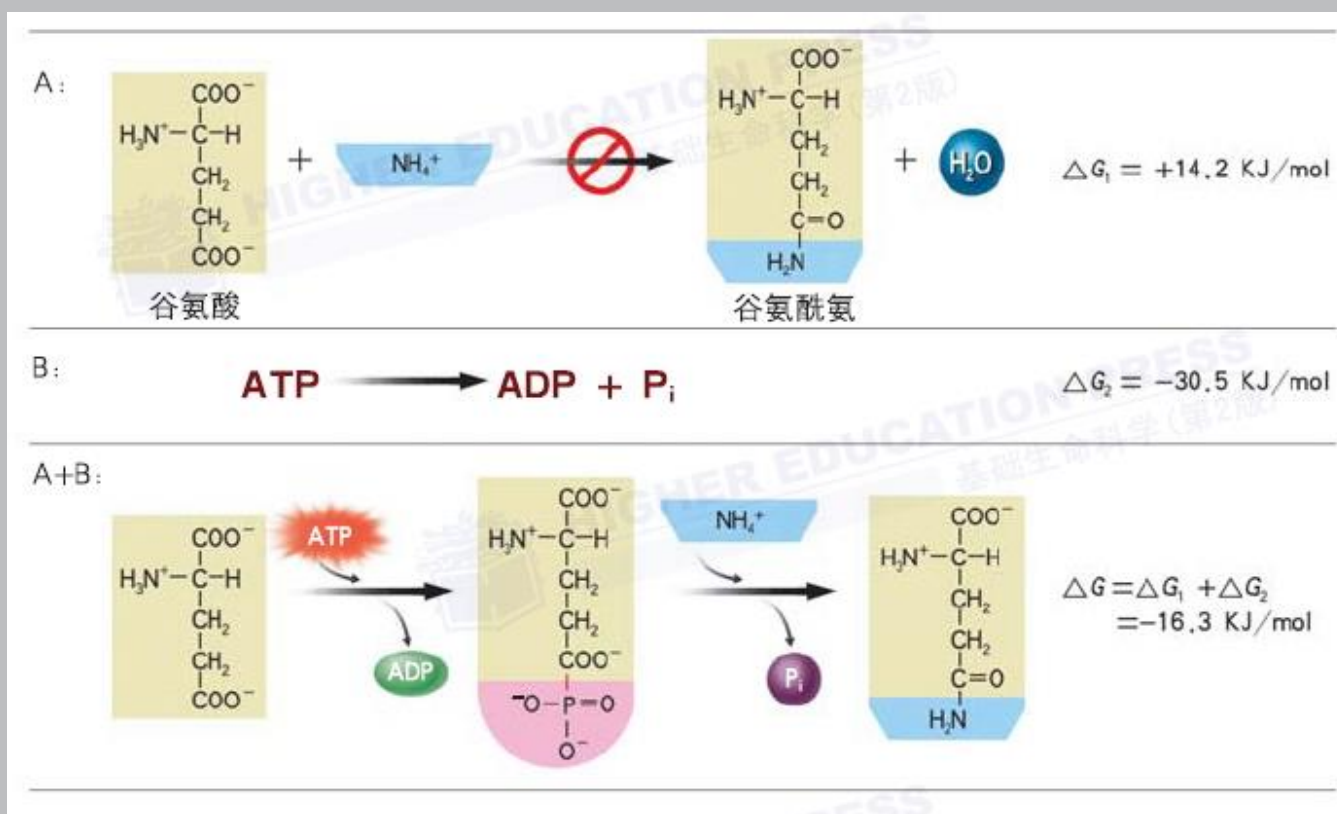
- 当ATP水解时，一个高能磷酸键断裂，同时释放出能量并形成较ATP更为稳定的腺嘌呤核苷二磷酸（ADP）。在标准状态下，每摩尔ATP水解形成ADP，可产生30.5 kJ的能量（自由能）。



ATP 与ADP 的转换

■ ATP作为细胞中能量的通货是如何工作的呢？

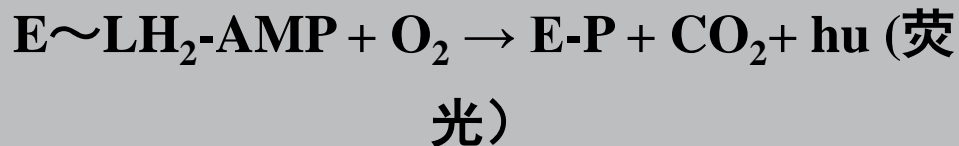
——细胞内ATP水解的放能反应往往在特定酶的帮助下直接与某些吸能反应相偶联。在生物体中，ATP不断地消耗和再生，维持着生命的高度有序状态。



ATP 水解的放能反应与吸能反应相偶联

仲夏的夜晚，萤火虫是如何利用ATP来发光的？

发光细胞有荧光素酶（E-LH），酶促反应使ATP与E-LH先偶联，偶联的高能中间产物E~LH₂-AMP在氧气存在时可释放出能量，并以荧光的形式发射出来：



第二节 生物催化剂-酶

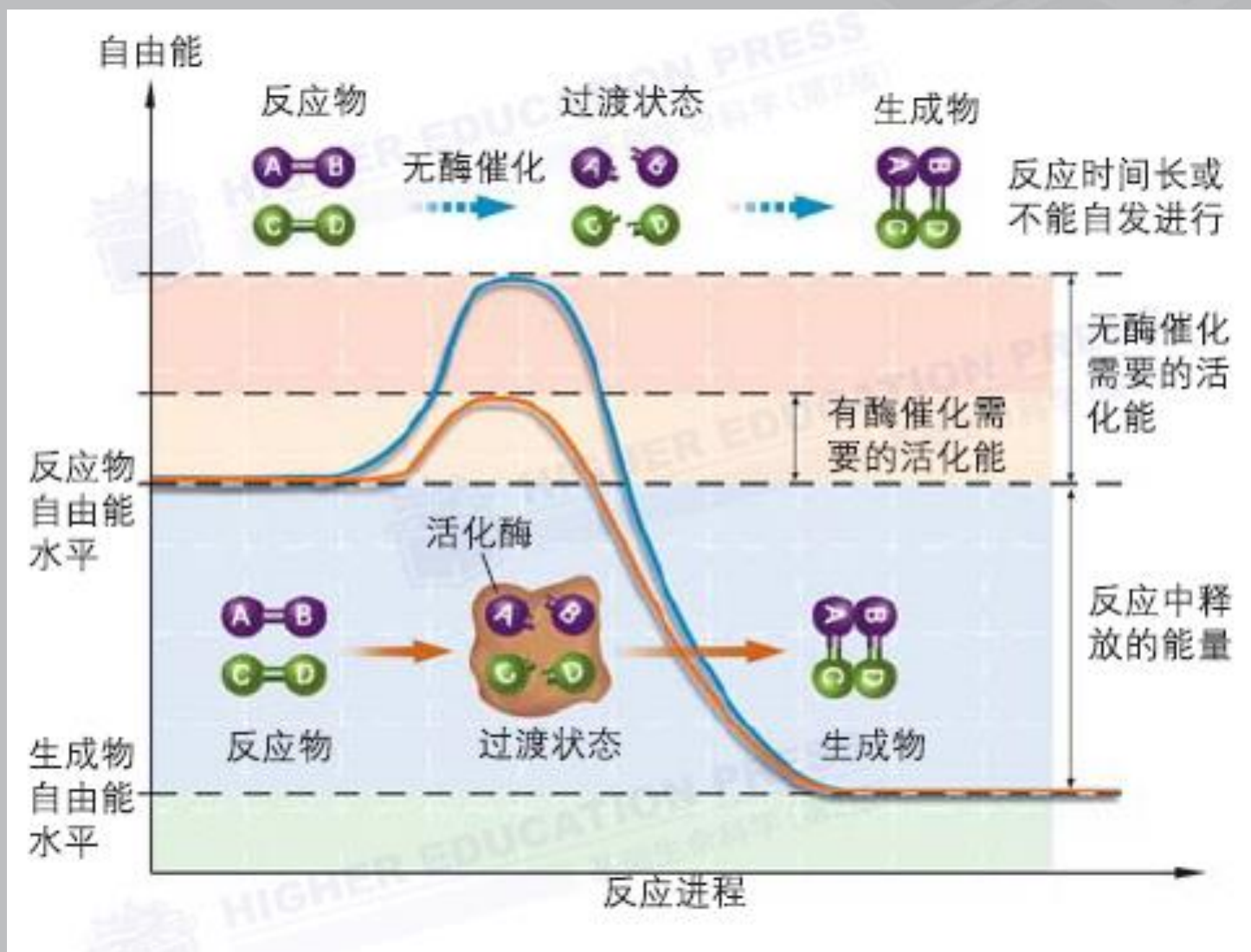
一、酶是具有催化作用的蛋白质

- 酶是细胞产生的可调节化学反应速度的催化剂。绝大多数的酶都是蛋白质，近年来发现某些核酸也具有生物催化作用，被称之为“核酶”。酶在常温、常压、中性pH的温和条件下具有很高的催化效率。
- 酶的活性指酶具有催化生化反应的能力。常用酶的活力单位（U）表示具有酶活力的大小，国际标准活力单位的定义为，在标准条件（25℃、最适pH、底物过量）下，1min催化 1_{μ}mol 底物转化成产物的酶的量，就是1个活力单位。
- 按照酶催化反应的性质，它们有多种类型。

二、酶的催化作用机制

■ 酶可以降低活化一个反应所需要的能量。

- 用于克服能障、启动反应进行所需的能量叫活化能。
- 活化能还可定义为，在一定温度下1 mol 反应物全部进入活化状态所需要的自由能。
- 酶的作用就在于通过和反应物结合成中间产物，从而降低这部分能量，来提高反应的速率。



酶可以降低化学反应所需要的活化能。

返回

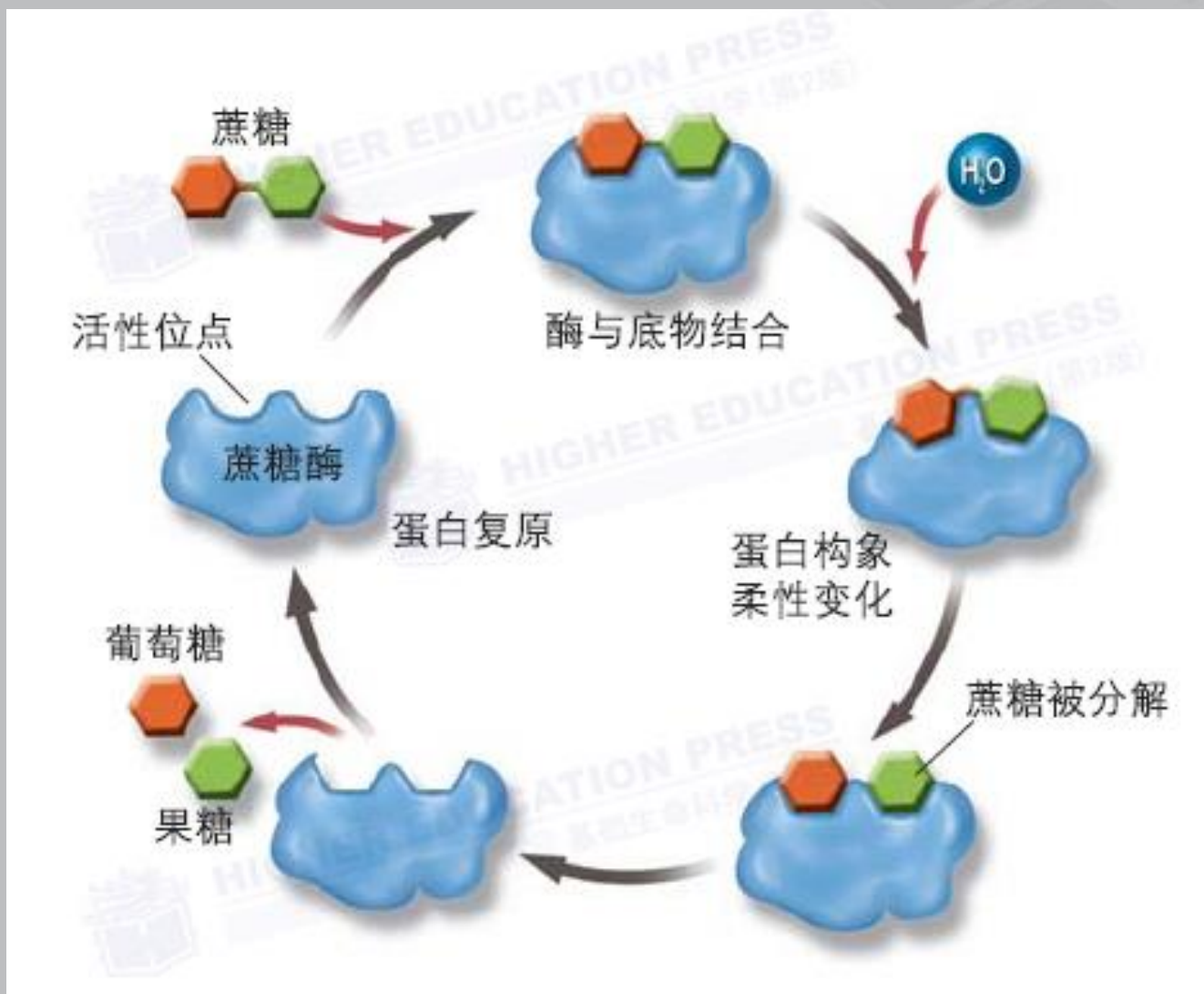
二、酶的催化作用机制

■ 酶可以降低活化一个反应所需要的能量。

- 用于克服能障、启动反应进行所需的能量叫**活化能**。
- 活化能还可定义为，在一定温度下1 mol 反应物全部进入活化状态所需要的自由能。
- 酶的作用就在于通过和**反应物**结合成**中间产物**，从而**降低这部分能量**，来提高反应的速率。

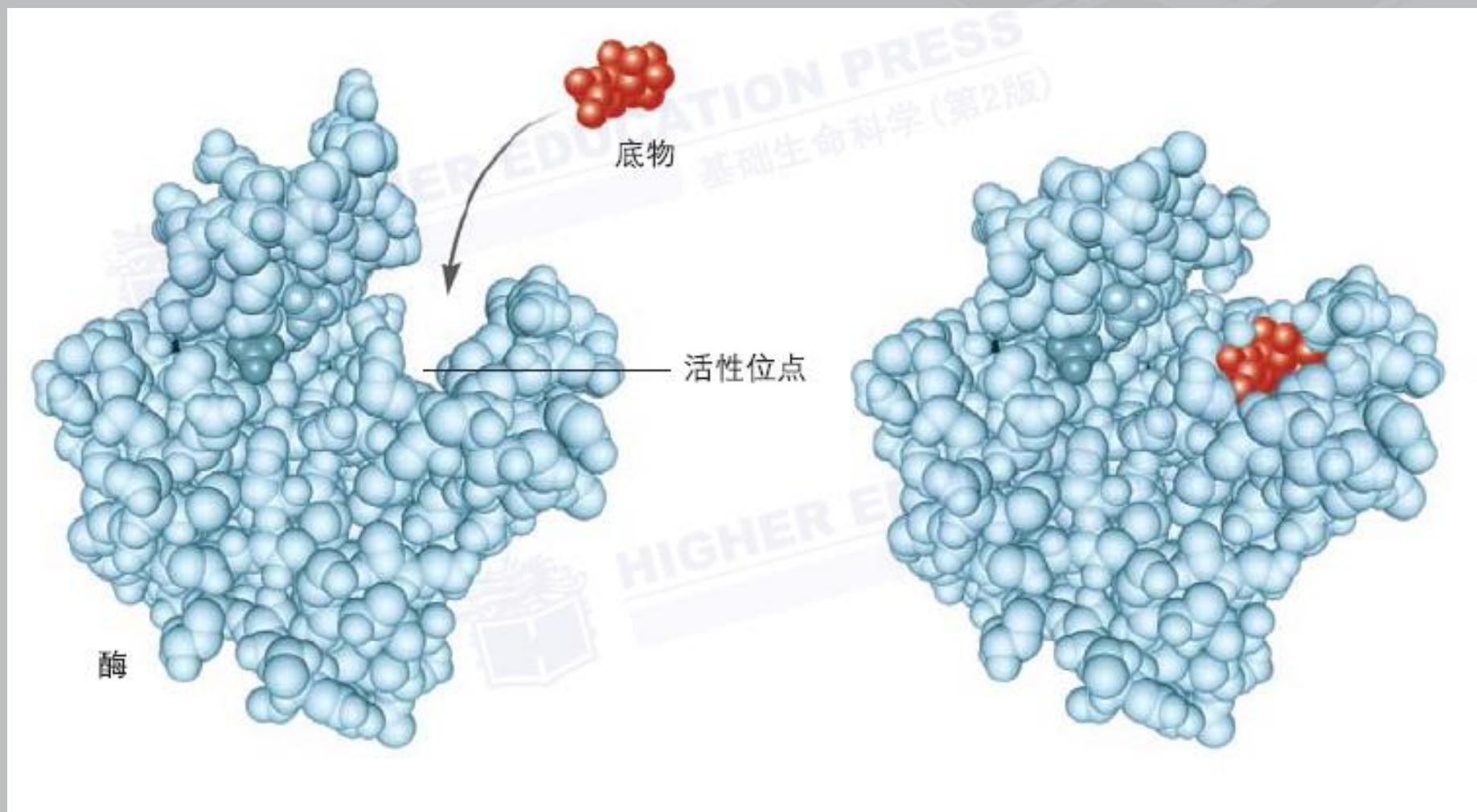
■ 酶的另一个重要特点是它的特异性或专一性。

- 酶具有特殊的三维空间结构和构象，其特殊袋状或沟状部位可以与底物相结合。这一部位称为酶的活性位点或酶的**活性中心**。
- **诱导契合**促进了酶与底物相互作用。



酶与反应物结合成中间产物。

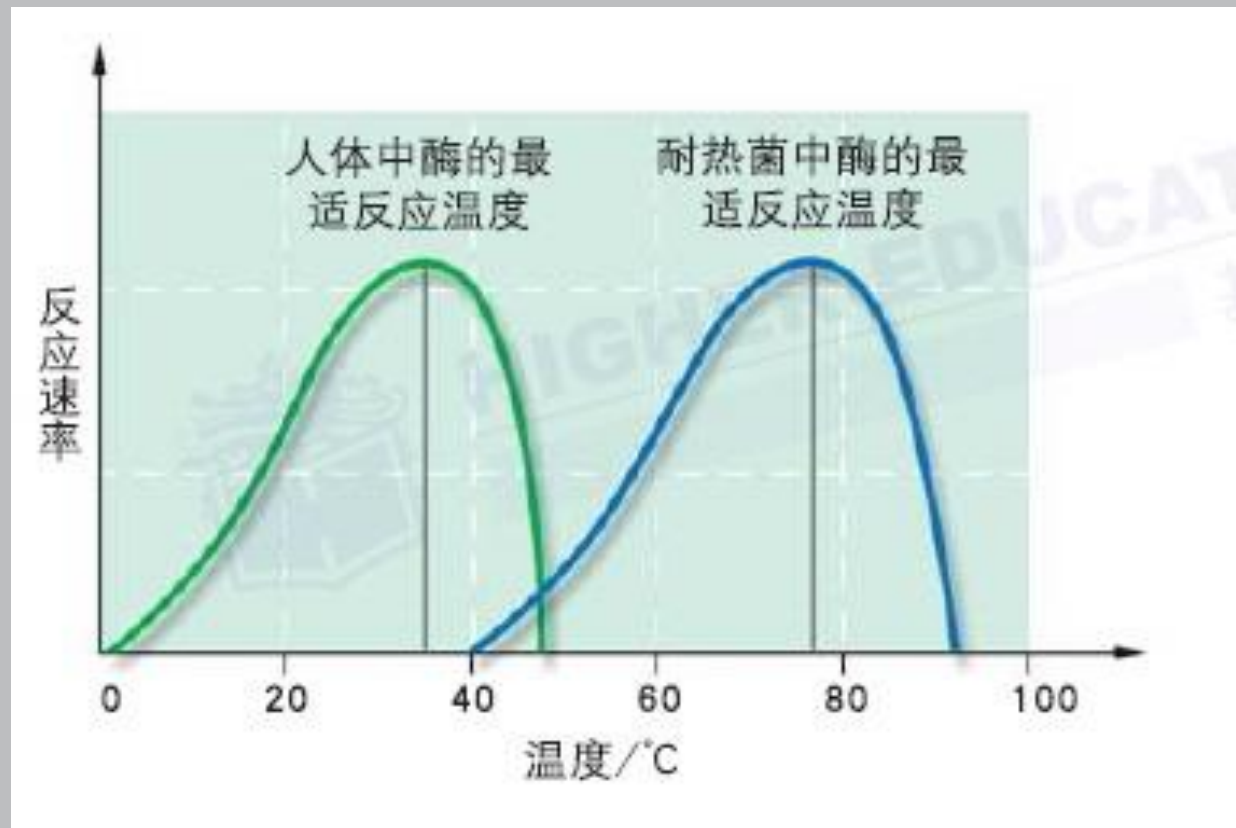
返回



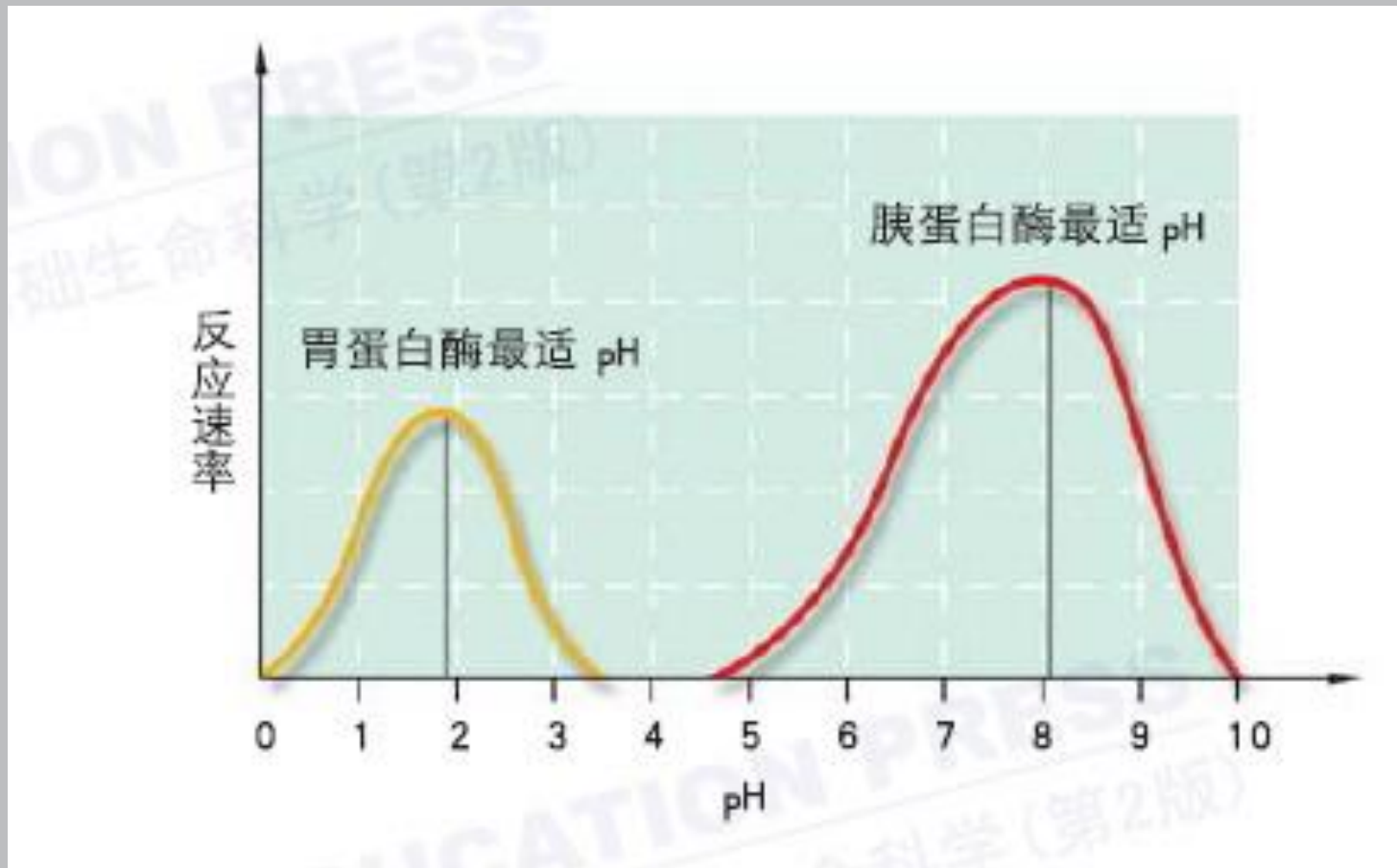
酶与底物的诱导契合关系

三、影响酶活性的因素

- 温度的影响：在一定范围内，酶的活性随温度升高而增高，超过一定的温度界限，活性即下降。酶活性最高时的温度即为酶的最适温度。



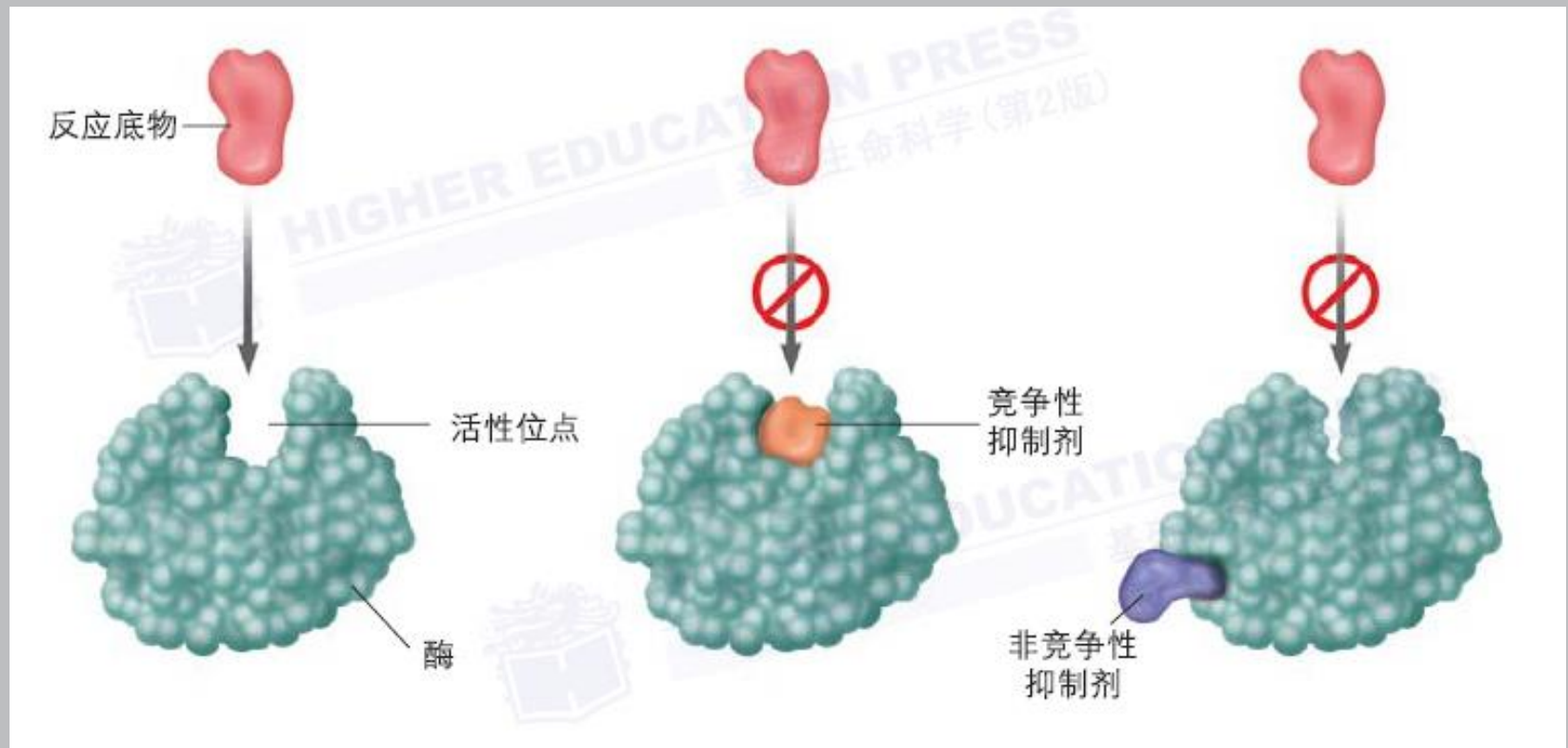
■ pH的影响：每一种酶只在一定的pH范围内具有较高的活性，而且有一个最适pH。



■ 酶的抑制剂: 有些化合物可以选择性地抑制酶的活性, 称为**酶的抑制剂**。

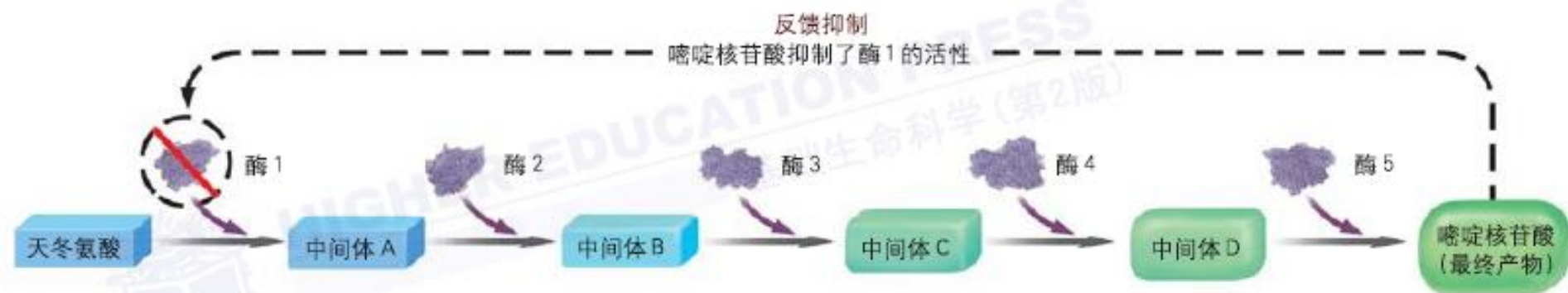
● 抑制作用可以是可逆的或不可逆的。

● 具有**竞争性抑制剂**和**非竞争性抑制剂**两种。



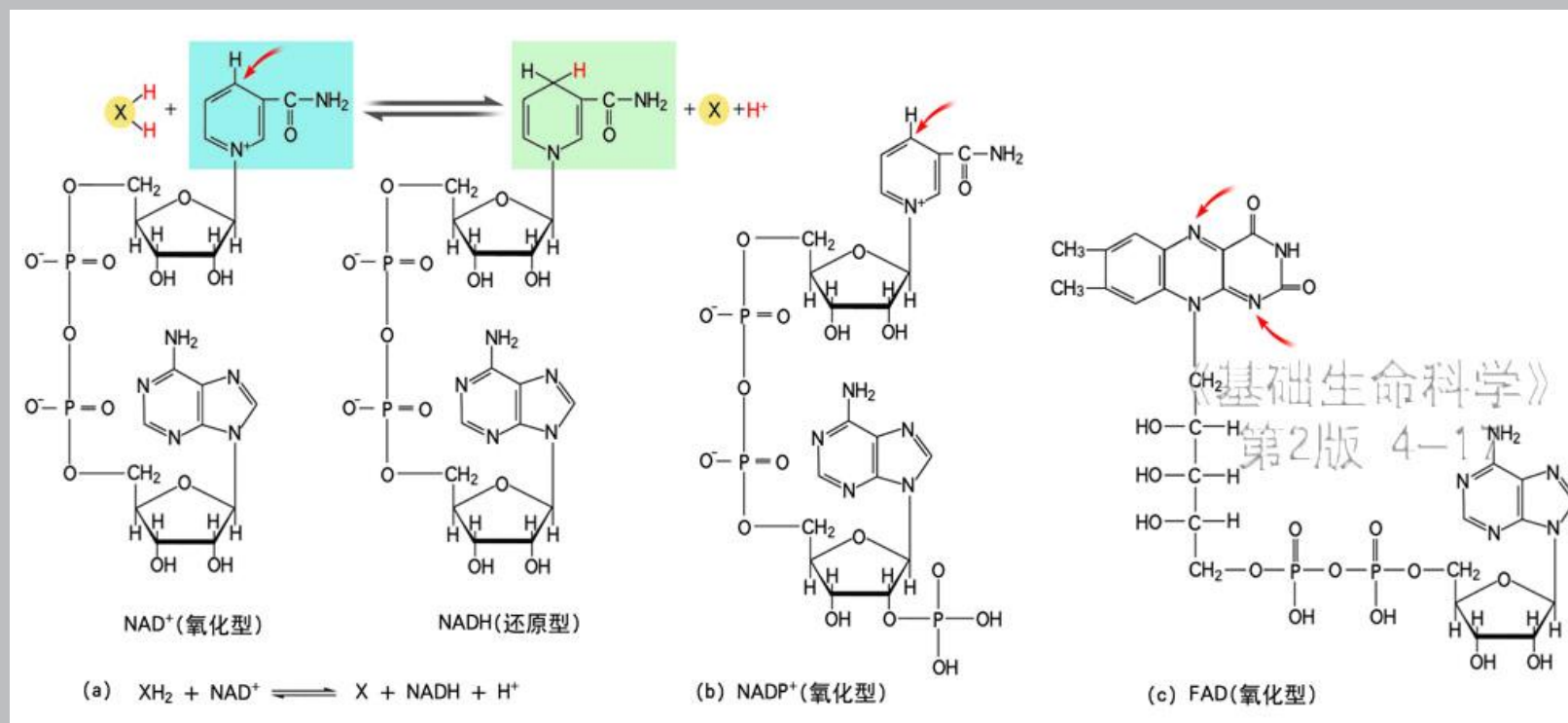
■ 反馈抑制: 在代谢过程中局部反应对催化该反应的酶所起的抑制作用, 称为**反馈抑制**。

- 酶促反应在细胞中往往不是独立发生的, 酶促反应的序列性使得不同的酶促反应彼此按一定顺序相互联系。
- 最终产物抑制是细胞自行调节其代谢的一种机制。也是维持细胞稳态 (homeostasis) 的重要机制。



四、酶的辅助因子和辅酶

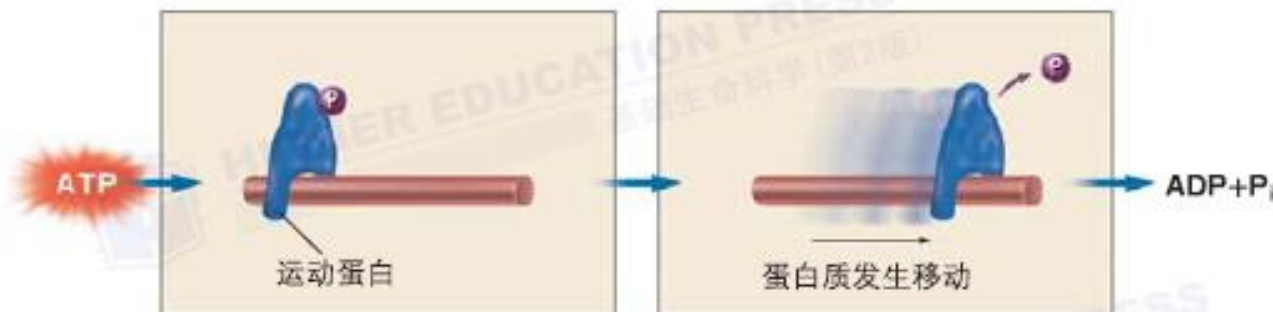
■ 许多酶还需要非蛋白的辅助因子和辅酶才能完成其催化作用。通常将无机金属离子称为**辅助因子**，将有机化合物称为**辅酶**。大多数辅酶都是一些具有核苷酸结构的维生素。如辅酶 NAD^+ 、 NADP^+ 和 FAD 的传递 H^+ 和电子作用。



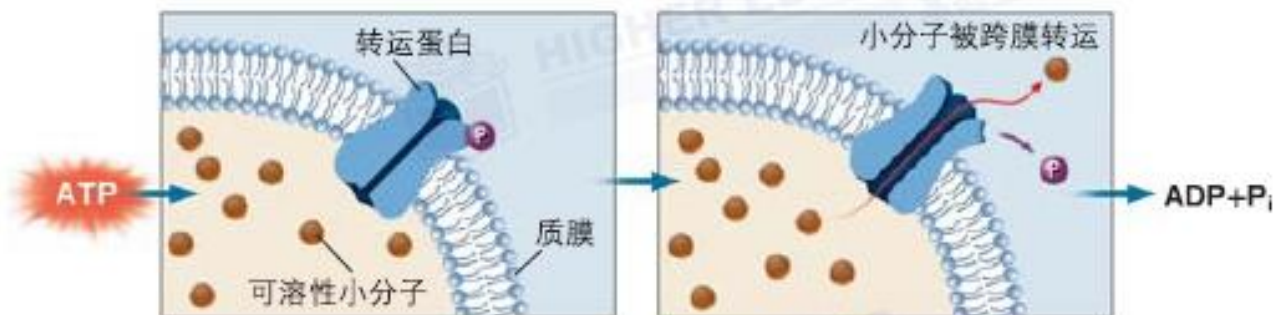
第三节 生物代谢

一、活细胞是一个微小的化学工业园

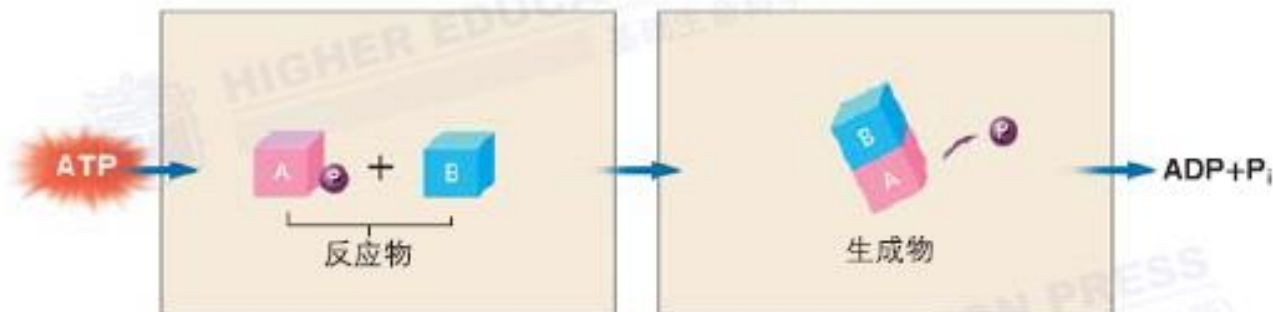
- 在细胞极其微小的空间内发生着数千种生物化学反应。
- 新陈代谢简称代谢，是生物体内所有生物化学反应和能量转换过程的总称。代谢也是生命最基本的特征之一。
- 在细胞这个微小的体系中，物质代谢总是伴随着能量的转化。细胞利用呼吸作用放出的能量（ATP）完成各种各样的工作。



(a) 机械运动



(b) 跨膜运输



(c) 化学反应

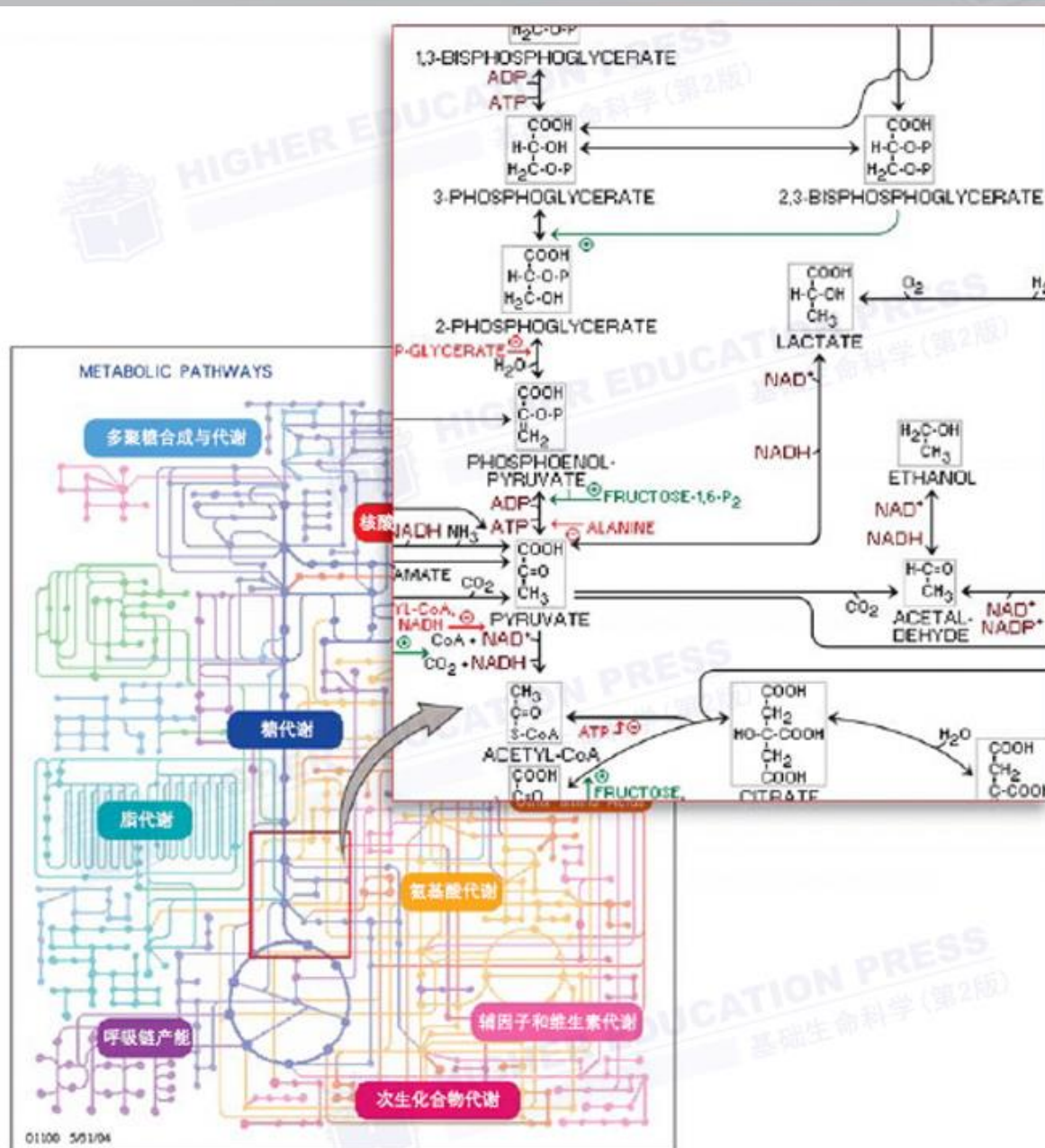
细胞利用能量 (ATP) 完成各种各样的工作

第三节 生物代谢

一、活细胞是一个微小的化学工业园

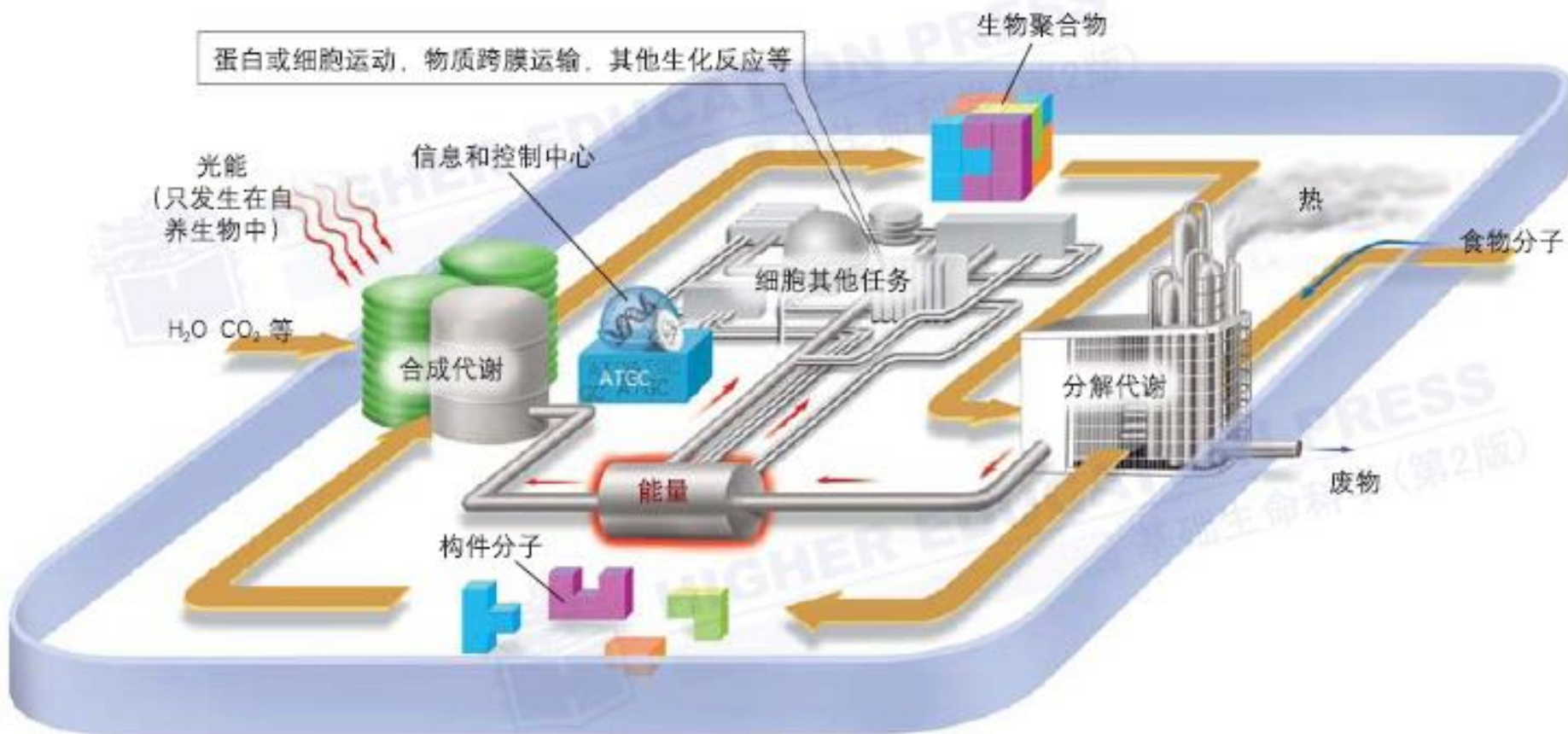
- 细胞不是一个装满了各种酶和反应物的口袋，细胞复杂的结构特别是膜的结构固定了各代谢反应的空间和时间，使它们高度有序并可以控制和调节。
- 细胞的代谢像一个经过精心制作的复杂道路交通图。

代谢途径
就像复杂道路
交通图。



返回

- 长期的进化过程中，生物体获得了对生物代谢精密的调控机制。酶的调节是最基本的代谢调节。
- 我们可以把活细胞看作是一个微小化学工业园。在这个化学工业园中发生着各种称之为生物代谢的化学反应。
- 生物代谢的作用包括：
 - (1) 从环境和不同器官部位获得营养物质，又将代谢废物和热输出到环境中。
 - (2) 将营养物质分解成自身代谢需要的有机化合物分子或组成生物大分子的前体分子或构件。
 - (3) 合成细胞内的生物大分子（生物聚合物）。
 - (4) 为生命活动提供能量。
 - (5) 细胞核中的遗传物质（基因）最终对各种反应起控制作用，细胞核类似于一个控制中心。
- 生物代谢是发生在生物体内全部的化学物质变化和能量转化过程，是生命区别于非生命的基本特征之一。

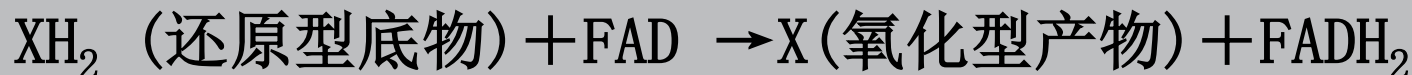
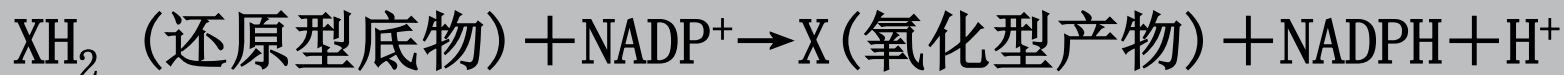
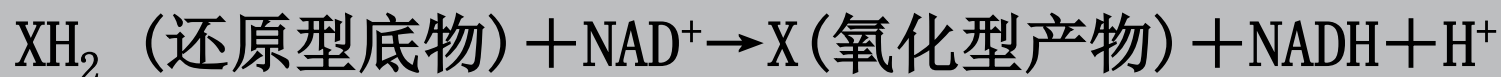


活细胞是一个微小的化学工业园

返回

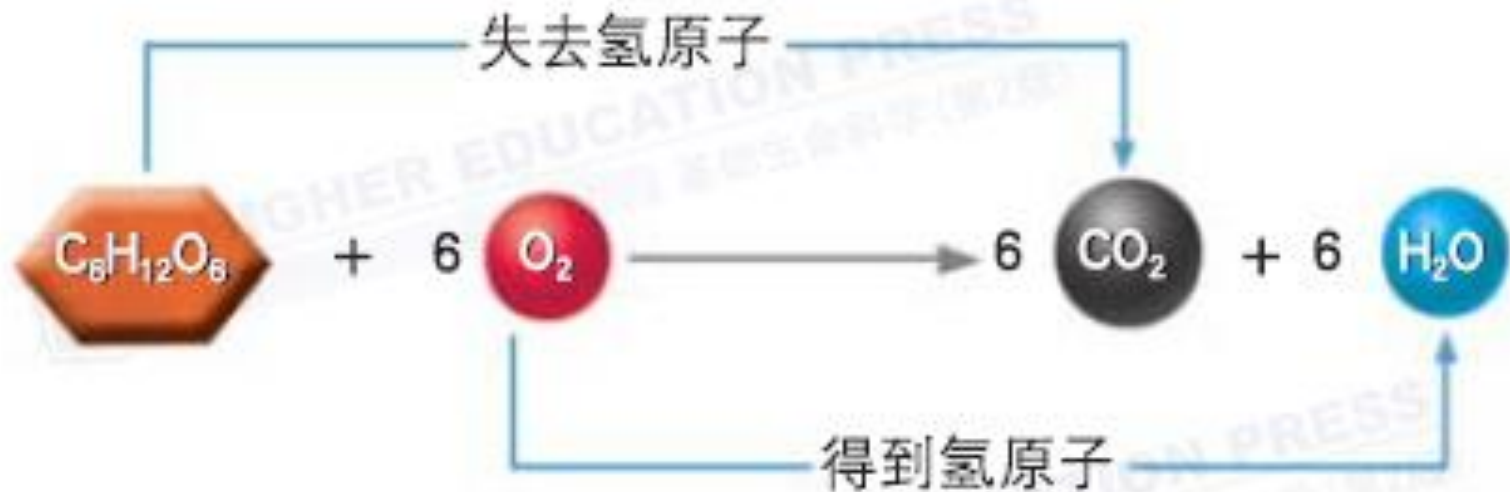
二、氧化-还原反应

- **氧化-还原反应**实质是电子的得失反应：获得电子的过程是**还原反应**，失去电子的过程是**氧化反应**。失去电子的物质为**还原剂**，得到电子的物质是**氧化剂**。
- 细胞中氢及其电子从一个化合物向另一个化合物转移时发生氧化-还原反应，被转移的电子所携带的能量便贮存在新的化学键中。 如：



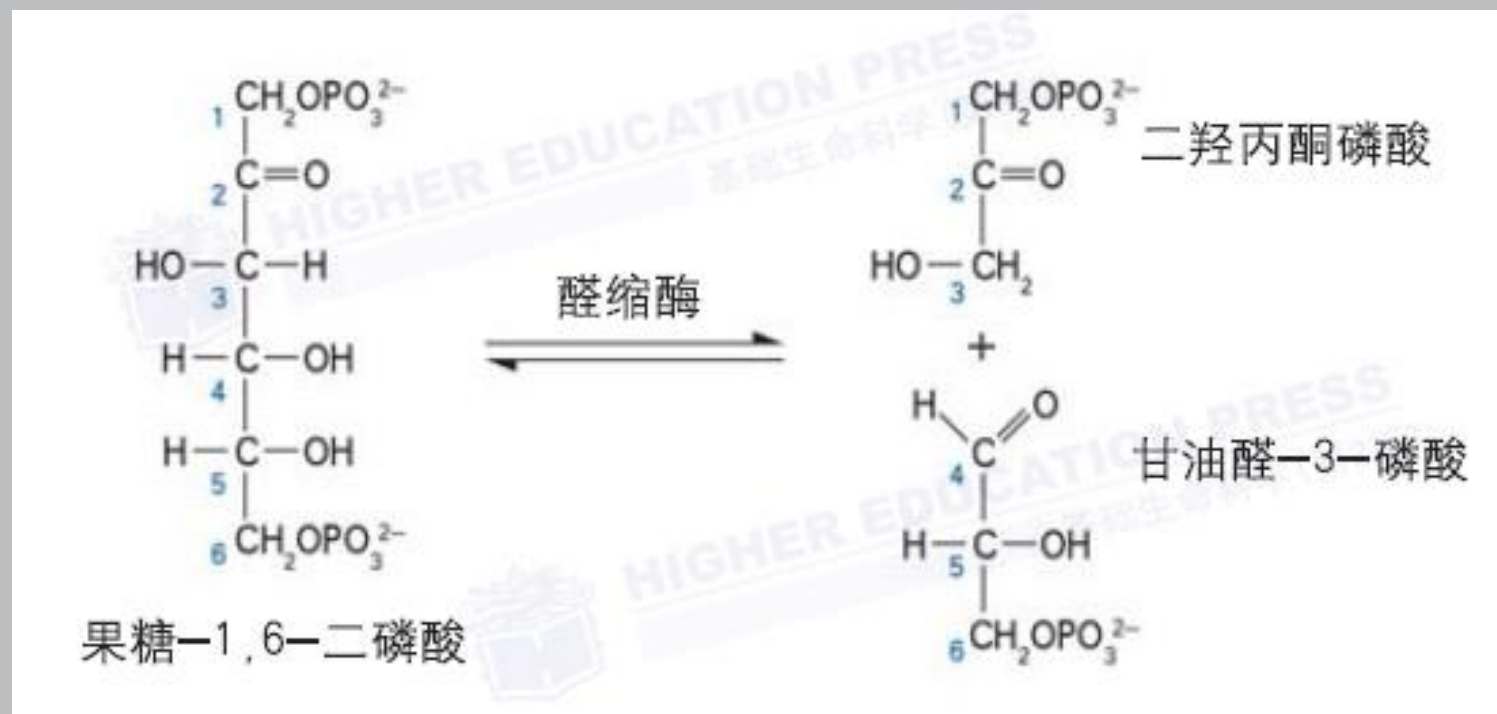
- 还原态的NADH、NADPH和FADH₂等还可将所接受的电子和氢传递给其他传递体如细胞色素、辅酶Q等。

- 电子的传递必须由低氧化-还原电位 (E_0) 物质向高氧化还原物质传递。**氧化-还原电位**又称为标准还原电位, 它是以氢电极为标准并以氢原子氧化-还原体系的 E_0 值为对照来反映还原剂失去电子能力大小的电位差值。在有电子转移的代谢反应中, 氧化-还原电位的改变 (ΔE_0) 与标准自由能的改变 (ΔG) 成正比。
- 细胞呼吸过程是一个氧化-还原反应。



三、其他常见的代谢反应

- 常见的生物代谢反应还包括基团转移反应、碳键的形成和断裂反应、水解反应、消除反应、重排反应等。



1. 影响酶活性的因素有哪些，及他们是如何影响酶活性的？

温度，pH，酶的抑制剂，反馈抑制。

2. 一般用什么表示酶活力大小，其定义是什么？

常用酶的活力单位（U）表示具有酶活力的大小，国际标准活力单位的定义为，在标准条件（25℃、最适pH、底物过量）下，1min催化1 μ mol底物转化成产物的酶的量，就是1个活力单位。。

三、其他常见的代谢反应

- 在酶的调节催化作用下，细胞内各类代谢反应能否发生取决于反应前后标准自由能的变化（ ΔG ）。反应前后标准自由能的变化（ ΔG ）与该反应的化学反应平衡常数（ K_{eq} ）相关。**化学反应平衡常数**是在标准状态条件下一个化学反应达到平衡时产物与反应物浓度的比值。

$$\Delta G = -RT \ln K_{eq}$$

- 即使 $\Delta G < 0$ ，并不等于反应就一定能自发进行，还需要酶的催化作用来降低启动代谢反应所需的活化能和提高反应的速率。

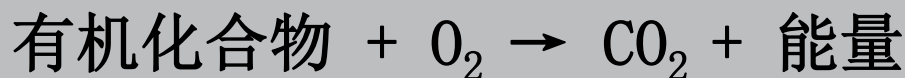
表 4-2 标准自由能变化（ ΔG ）与化学反应平衡常数（ K_{eq} ）的关系

K_{eq}	ΔG	代谢反应
>1.0	<0 （负值）	可以正向发生
1.0	0	处于平稳状态
<1.0	>0 （正值）	可以反向发生（或输入能量后可以正向发生）

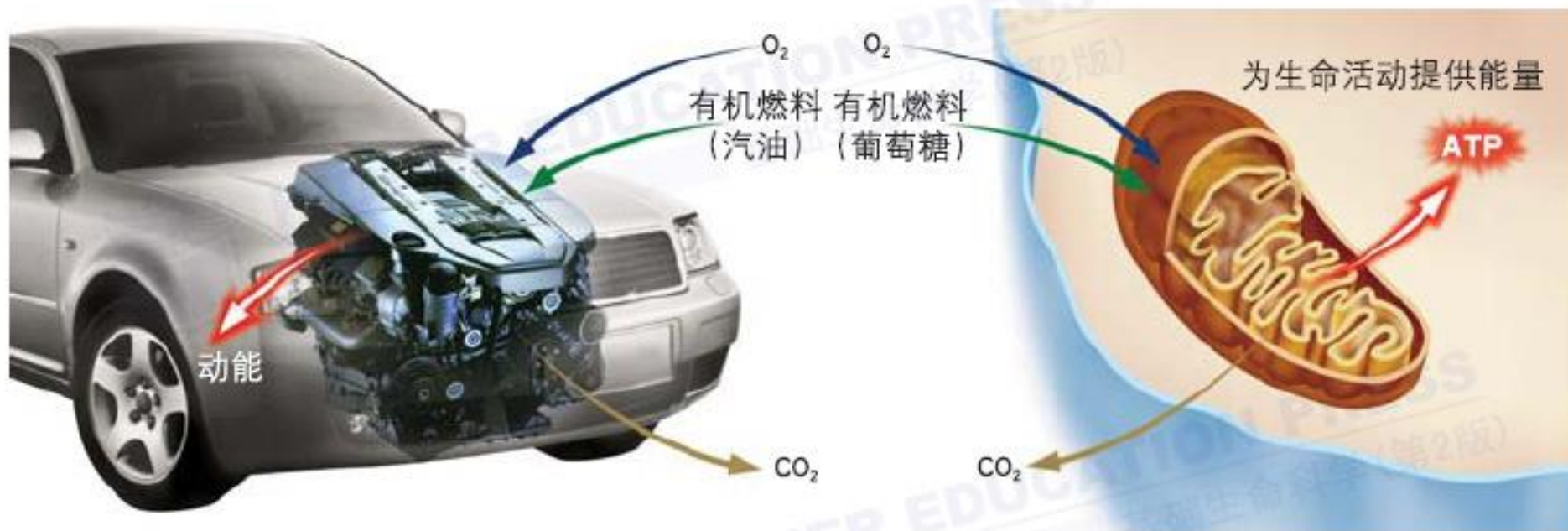
第四节 细胞呼吸

一、细胞呼吸产生能量

- 细胞呼吸是生物体获得能量的主要代谢途径。
- 细胞呼吸是一种氧化反应，细胞呼吸与汽油燃烧本质上都是氧化有机质产生能量：



- 细胞呼吸消耗的“燃料”可包括糖类、脂肪、蛋白质等多种“食物分子”。
- 细胞呼吸是在复杂的细胞体系中（主要在线粒体中）进行的，在温和条件和酶的参与和调控下，能量逐步按需释放，没有剧烈的发光发热现象，细胞呼吸能量的转化和利用效率很高。

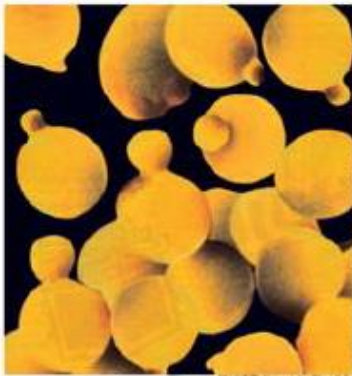


细胞呼吸与汽油燃烧本质上都是氧化有机质产生能量。

返回

有氧条件和缺氧条件下，葡萄糖等“食物分子”在生物细胞中产生能量的情况是不一样的。

- 有氧条件下，酵母细胞可以消耗氧气来分解葡萄糖并获得能量，同时产生二氧化碳。
- 缺氧条件下，酵母菌将葡萄汁中的葡萄糖分解成酒精（乙醇）和二氧化碳。



(a)



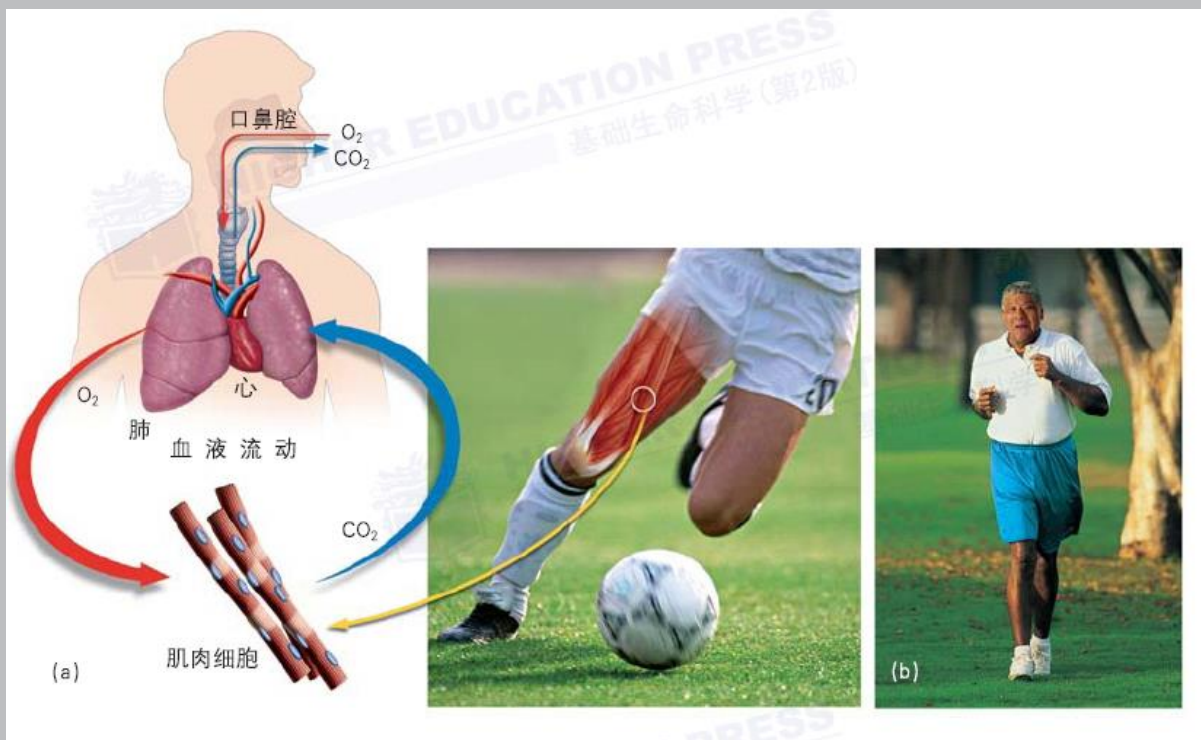
(b)



(c)

细胞呼吸与呼吸作用

- 细胞呼吸：生物细胞消耗氧气来分解“食物分子”并获得能量的过程。
- 呼吸运动：通过口腔或鼻腔将 O_2 吸入到肺部再呼出 CO_2 的过程。
- 通常意义的呼吸与细胞呼吸是相互关联的。

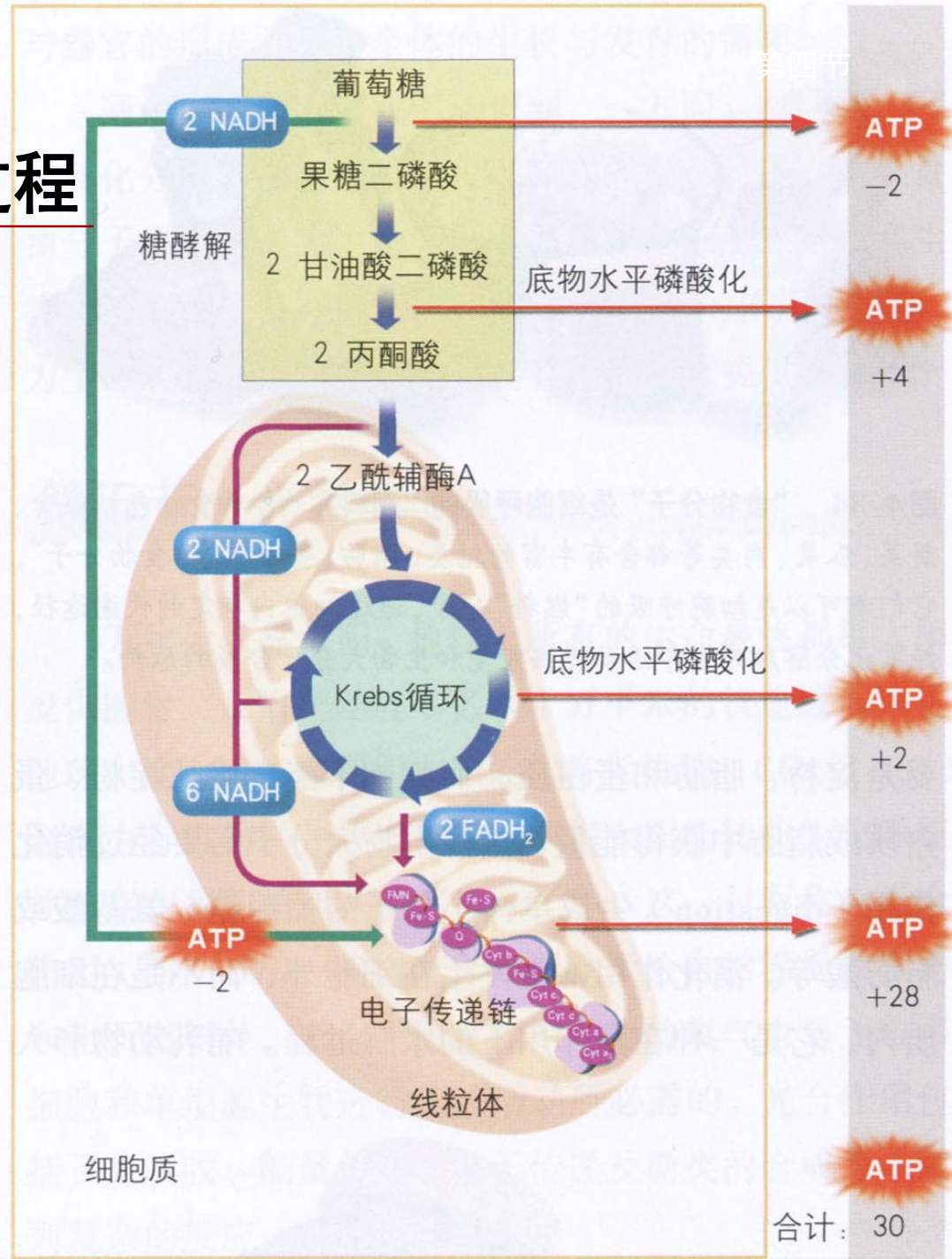


慢跑，细胞消耗氧气来分解葡萄糖并获得能量，同时产生二氧化碳和水；快跑，细胞将葡萄糖分解成乳酸。

乳酸是导致运动后肌肉酸痛的原因吗？

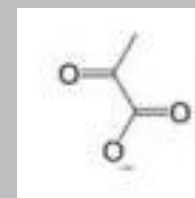
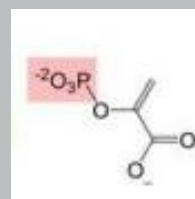
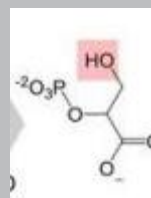
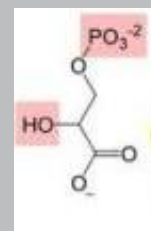
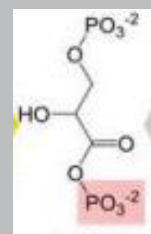
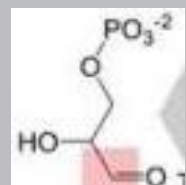
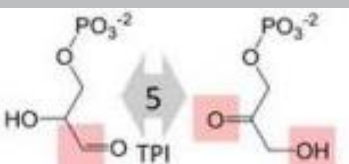
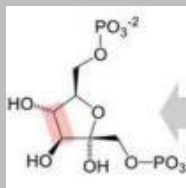
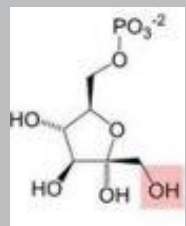
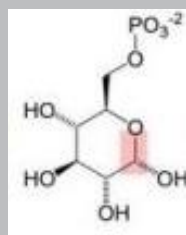
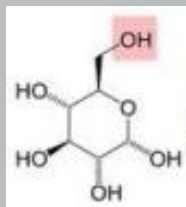
二、细胞呼吸的代谢过程

- 细胞呼吸的化学过程分为糖酵解、Krebs循环和电子传递及ATP合成3个阶段。



糖酵解

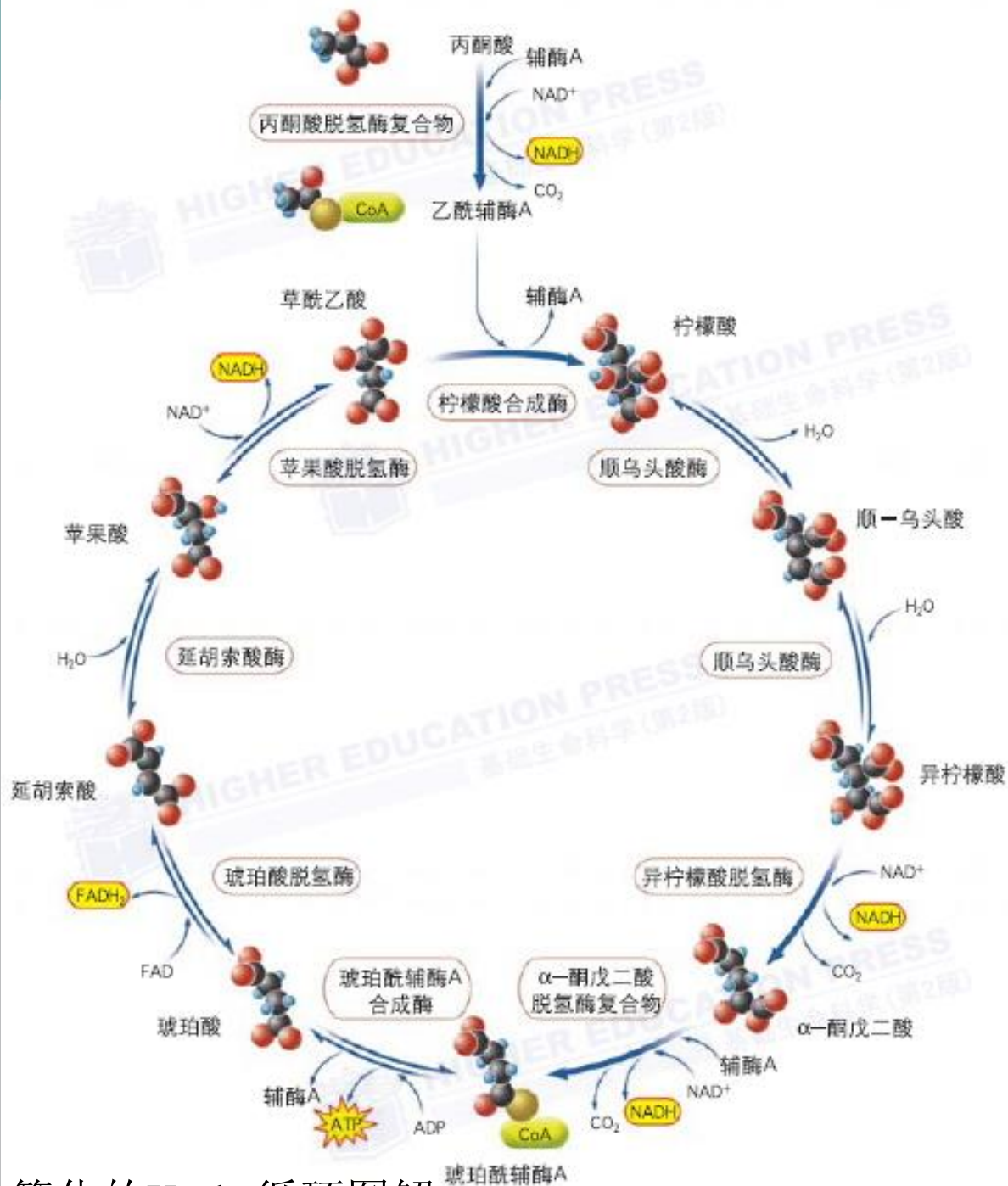
- 发生在线粒体外的细胞质中。糖酵解过程包括10步化学反应。
- 参与化合物：①葡萄糖（“食物分子”或称“燃料分子”），②ADP和磷酸，③ NAD^+ 。在糖酵解的起始阶段还需要消耗2分子ATP 来启动整个葡萄糖的代谢过程。但在糖酵解的后期共可产出4分子ATP，特别还形成了高能化合物NADH。糖酵解的最终产物是丙酮酸。再通过丙酮酸的进一步分解和呼吸链获得更多的能量。
- 糖酵解在细胞质中将1个六碳的葡萄糖分解成2个三碳的丙酮酸，这一阶段净产生2个ATP，还生成2分子NADH，糖酵解过程不需要氧参与。



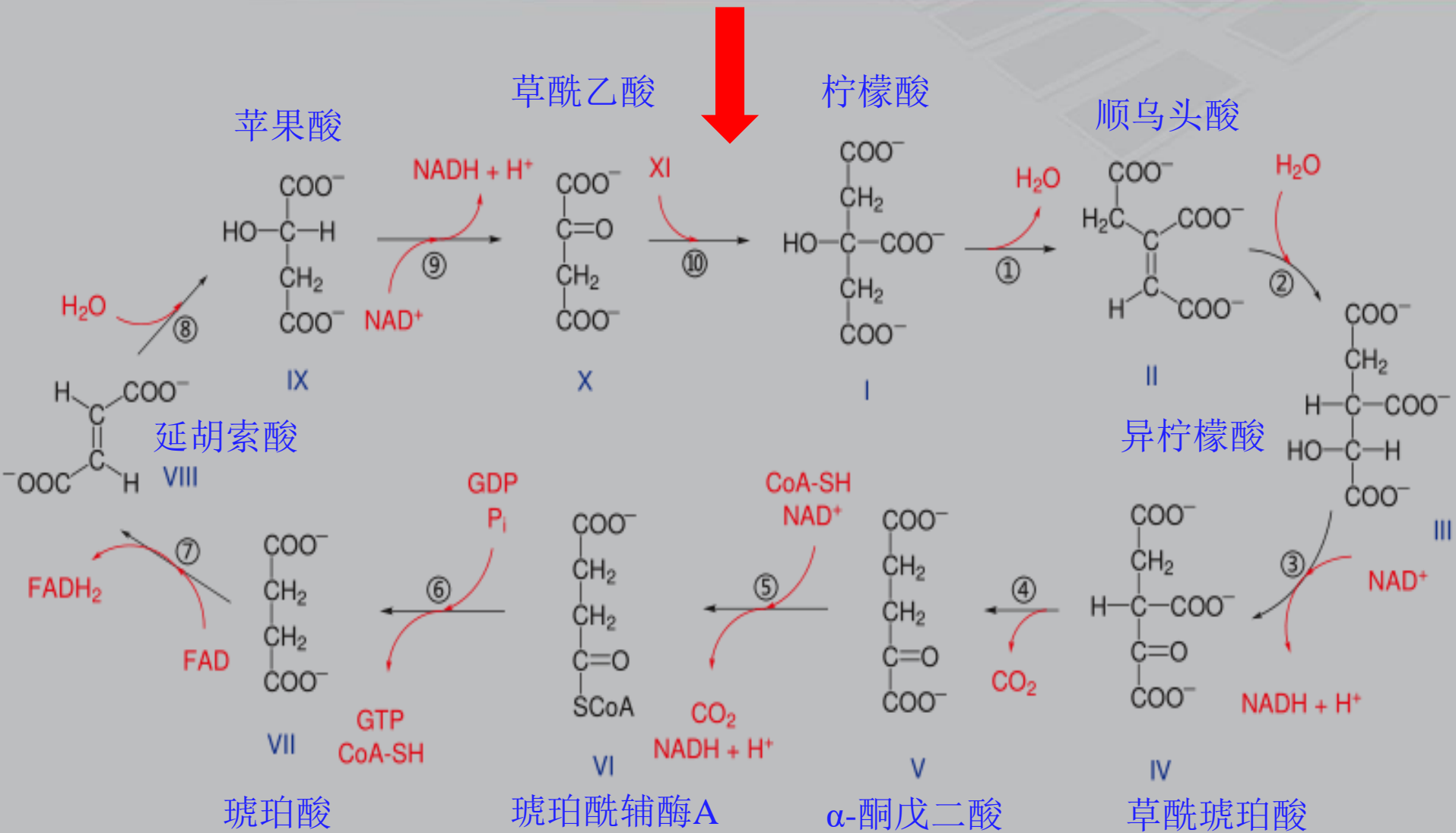
Krebs循环（又称柠檬酸循环或三羧酸循环）

Krebs循环在线粒体基质中进行。

分解丙酮酸形成3分子 CO_2 、8个H，4分子NADH和1分子 FADH_2 ，及1分子ATP。



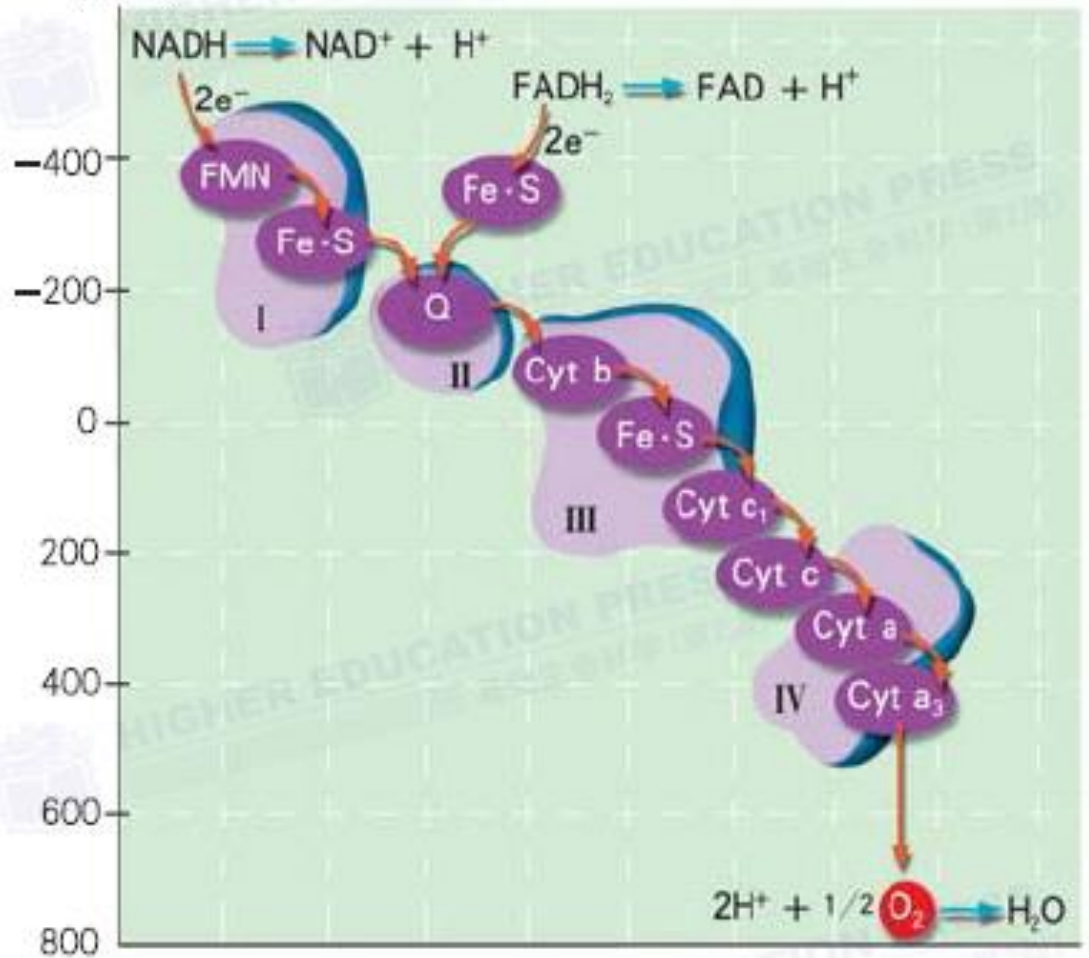
简化的Krebs循环图解



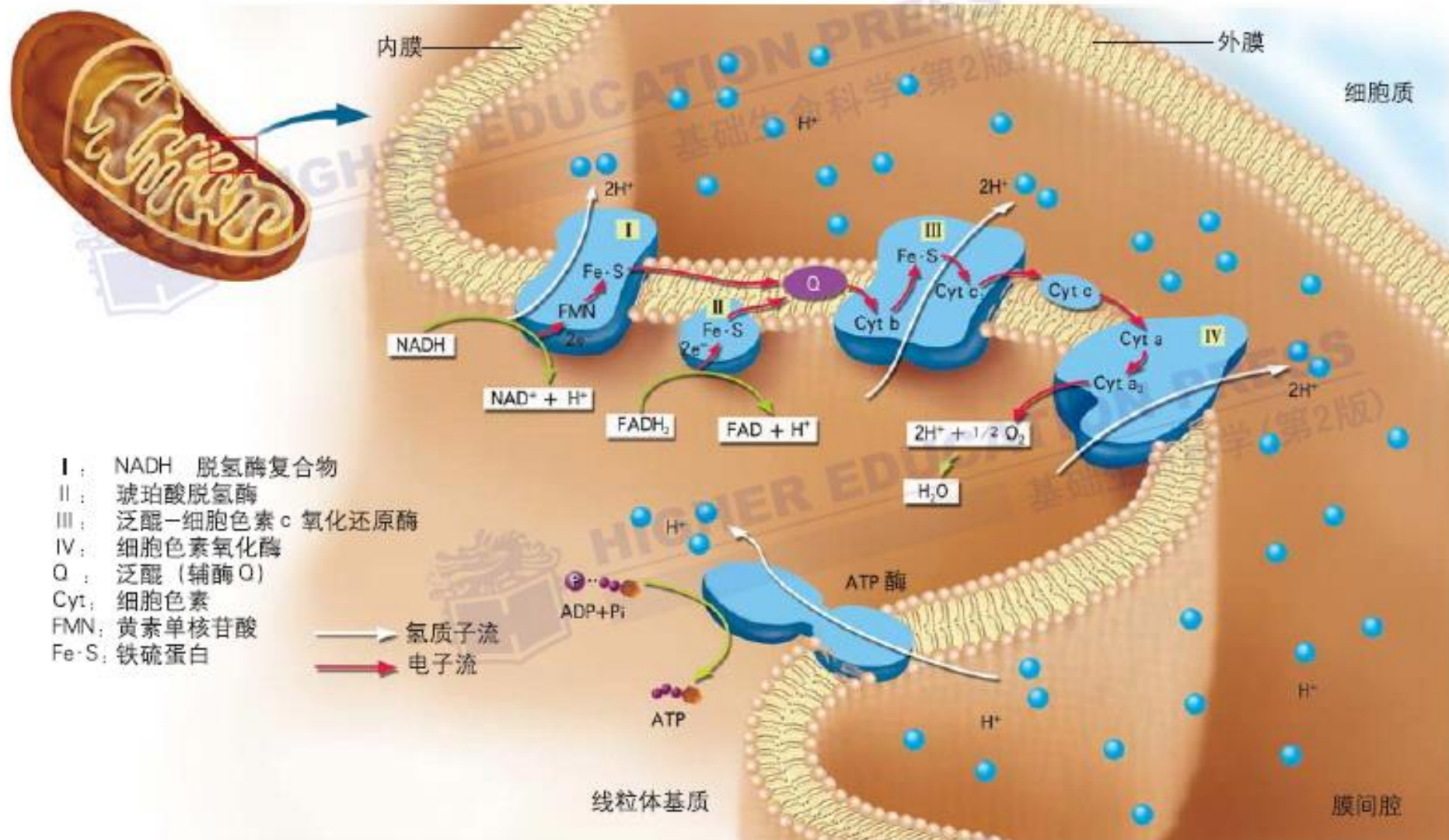
简化的Krebs循环过程化合物的化学式

- 氧化磷酸化
- 贮存于NADH和FADH₂的高能电子沿分布于线粒体内膜上的电子传递链（又称呼吸链）传递，最后达到分子氧，高能电子逐步释放的能量合成了更多的ATP。

氧化还原电位
(mV)



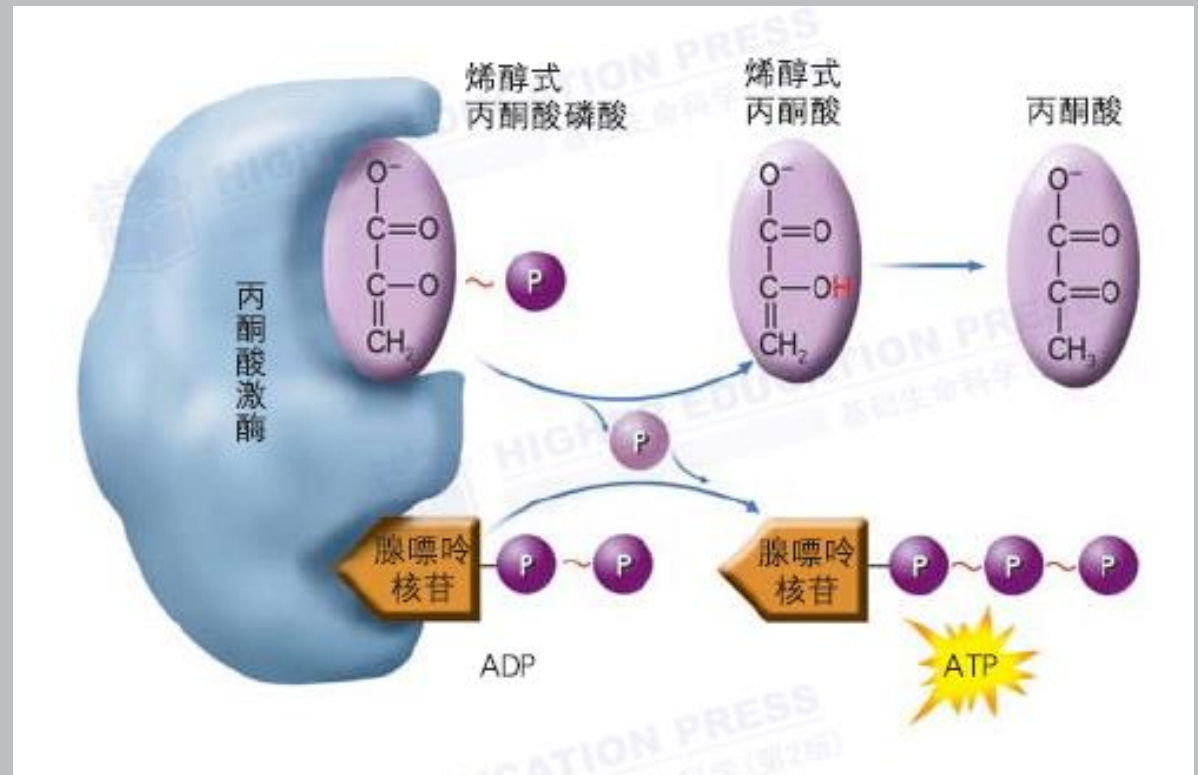
电子传递链的主要成分是在线粒体内膜上的蛋白复合物。



三、ATP形成及统计

- 细胞通过磷酸化作用即磷酸基团与ADP结合产生ATP分子。细胞有2种磷酸化的途径或机制，即底物水平磷酸化和与电子传递系统偶联的磷酸化。

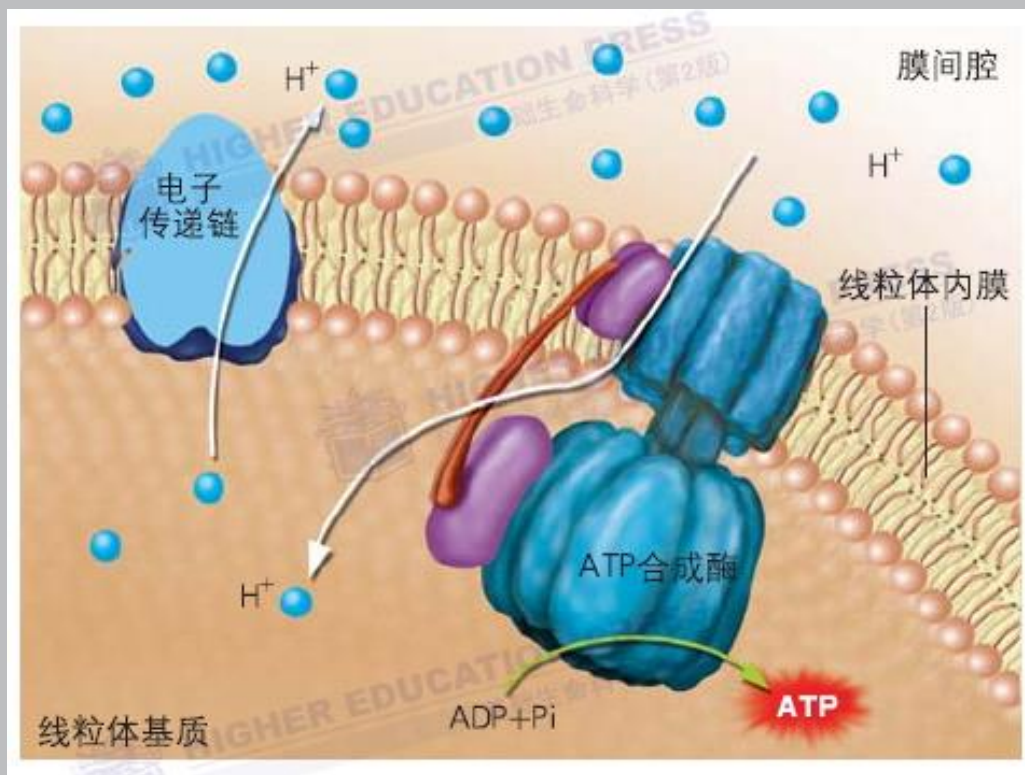
- 底物水平磷酸化：在磷酸化过程中，相关的酶将底物分子上的磷酸基团直接转移到ADP分子上。



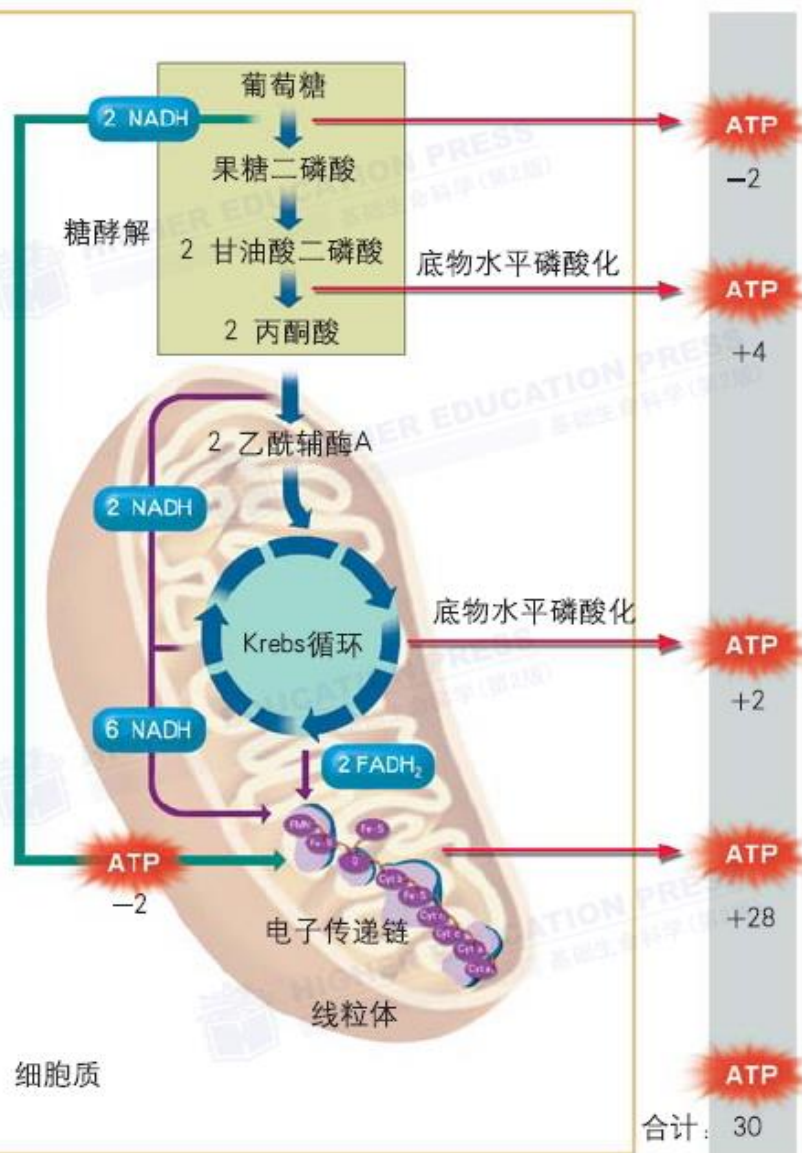
电子传递系统偶联的磷酸化：化学渗透学说。

■ 当线粒体内膜上的呼吸链进行电子传递时，电子能量逐步降低，促使从NADH脱下的 H^+ 穿过内膜从线粒体的基质进入到内膜外的膜间腔中，造成跨膜的质子梯度，即膜内外的质子浓度差。

紧接着导致化学渗透发生，即质子顺浓度梯度从外腔经内膜通道（ATP合成酶）返回到线粒体的基质中，在ATP合酶的作用下，所释放的能量使ADP与磷酸结合生成了ATP。



1分子葡萄糖彻底氧化分解所形成的能量统计

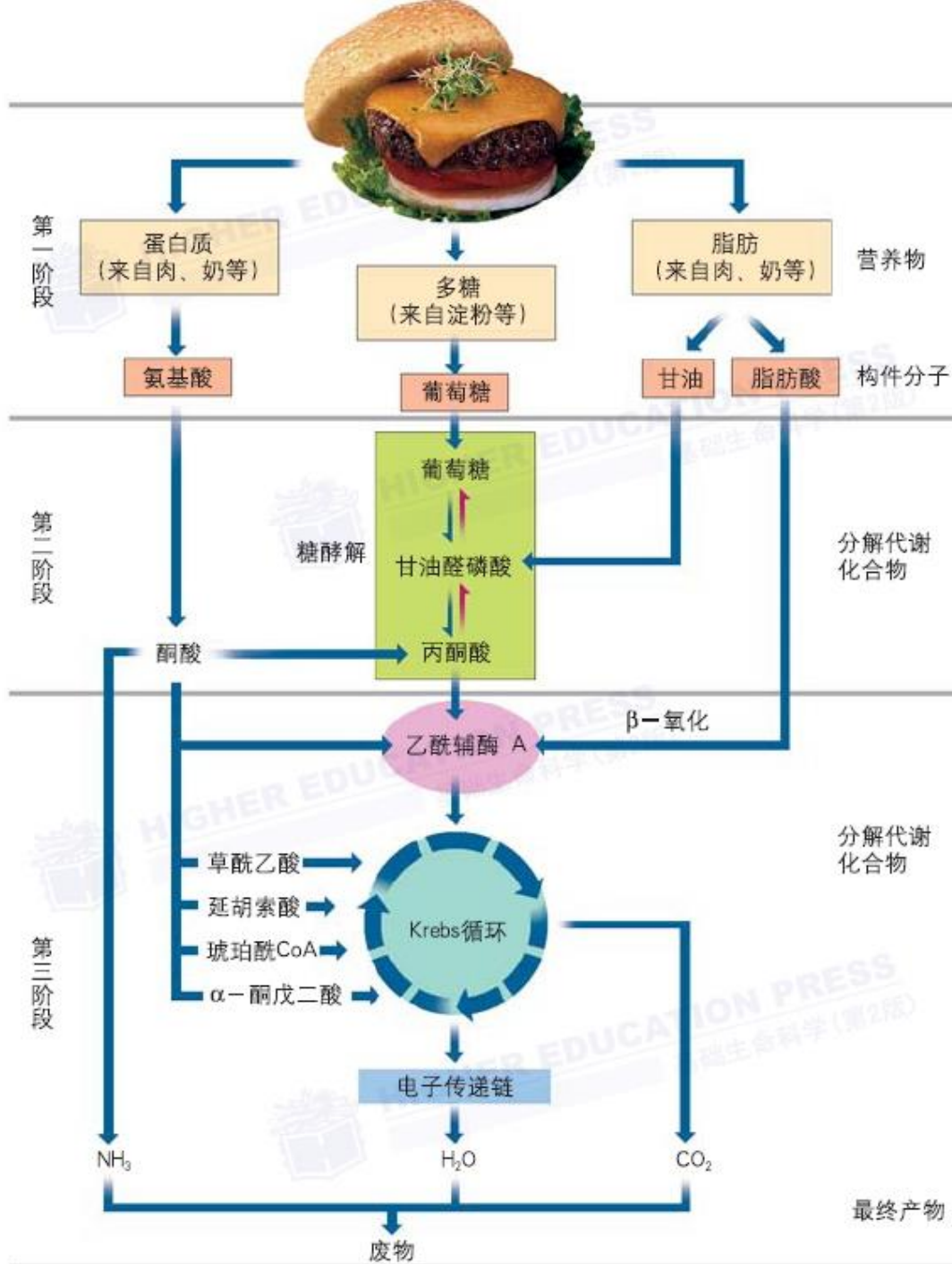


糖酵解: 底物水平磷酸化产生4个ATP，己糖活化消耗2个ATP，脱氢反应产生2个NADH，经电子传递链生成5个ATP。糖酵解阶段产生于细胞质中的2个NADH进入线粒体消耗2个ATP。合计积累5个ATP。

Krebs循环: 底物水平的磷酸化产生2个ATP，脱氢反应产生8个NADH和2个FADH₂，8个NADH经电子传递链生成20个ATP，2个FADH₂经电子传递链生成3个ATP。合计积累25个ATP。

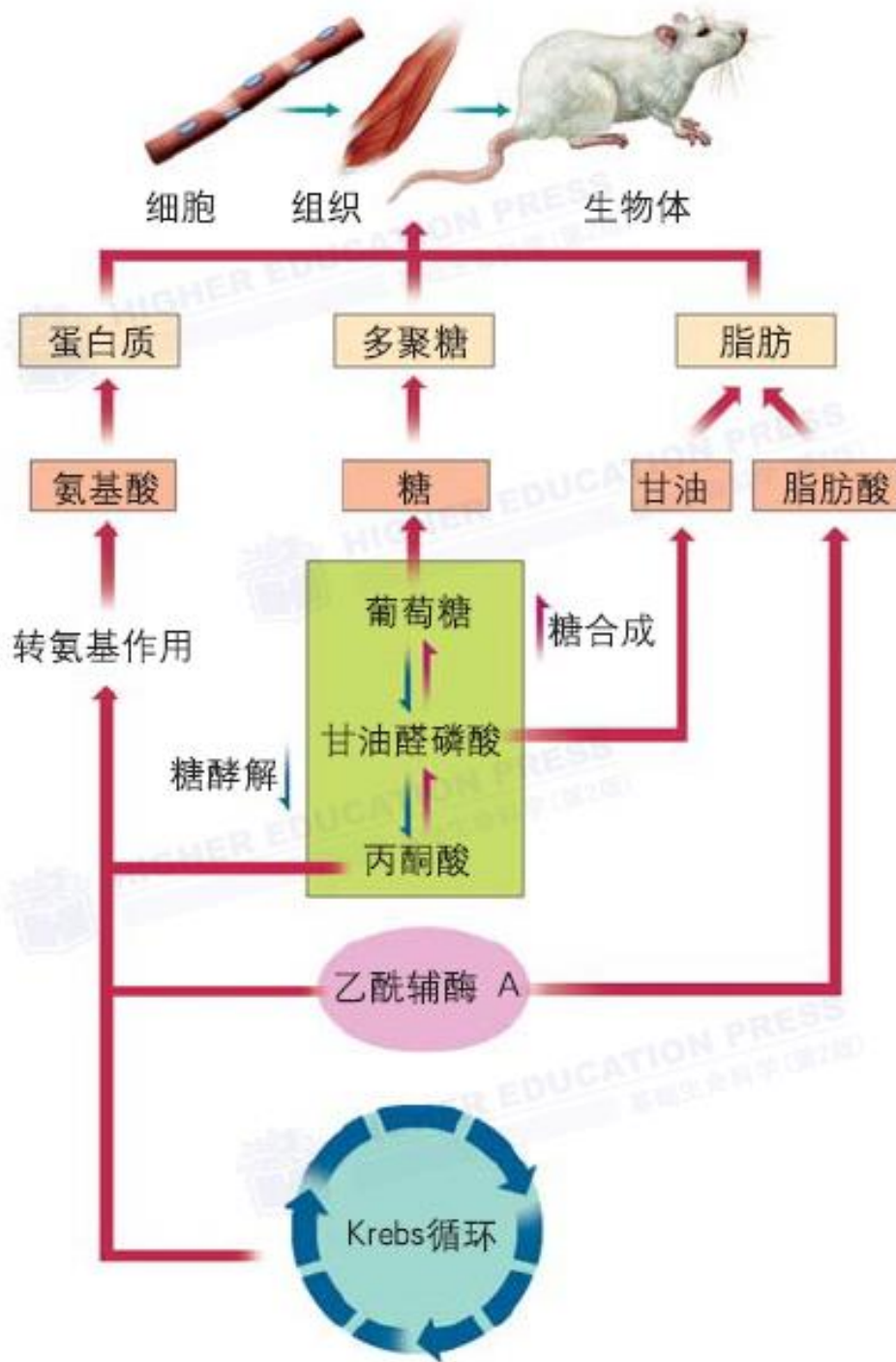
四、其他营养物质的氧化分解和代谢

- 生物大分子需要经过**消化作用**生成单体小分子的葡萄糖、氨基酸或脂肪酸等。
- 消化作用常常发生在细胞外，而不是在细胞质内，它是一种在酶作用下的水解过程。
- **蛋白质和脂肪**消化水解后的氨基酸与脂肪酸也都可以经过氧化分解为细胞提供能量，它们的氧化都是先转变为某种中间产物，然后进入糖酵解或Krebs循环。
- 氨基酸经过脱氨变成Krebs循环中的有机酸，脂肪酸可以与辅酶A结合氧化生成乙酰辅酶A而进入Krebs循环，甘油则可以转变为磷酸甘油醛进入糖酵解过程。
- “食物分子”的分解又为生物大分子的合成及细胞、组织和生物体的组成**提供原料**。



蛋白质和脂肪的氧化：先转变为某种中间产物，然后进入糖酵解或Krebs循环。

返回



细胞的分裂和生长还需要合成生物分子的原料。在生物体中，一部分“食物分子”分解后也可成为细胞成分合成的原料。糖酵解和Krebs循环过程中的一些中间代谢产物也可为细胞成分的生物合成以至细胞、组织和生物体的构成提供原料。

[返回](#)

第五节 光合作用



想要减慢全球气候变化速率？
种一棵树吧！



几乎地球上所有生命的能量来源都可追溯到太阳！



做好防晒工作也是在保护你的性命！

第五节 光合作用

光合作用的早期研究

1642年比利时科学家Helmont，植物和土壤的重量5年间的变化：

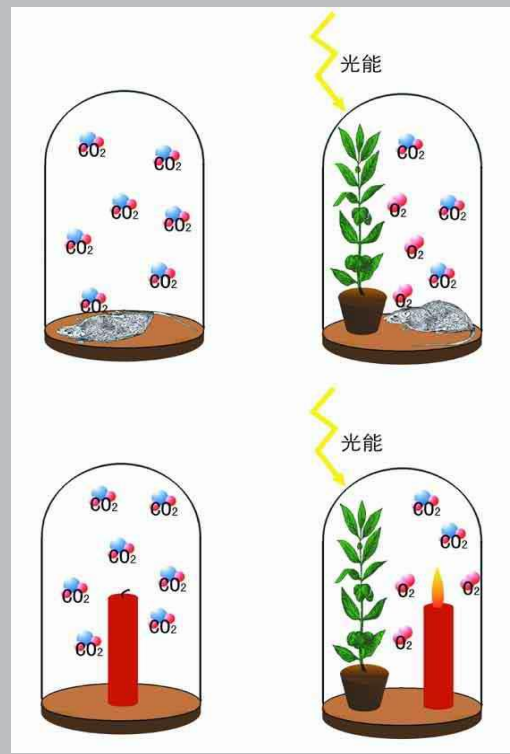
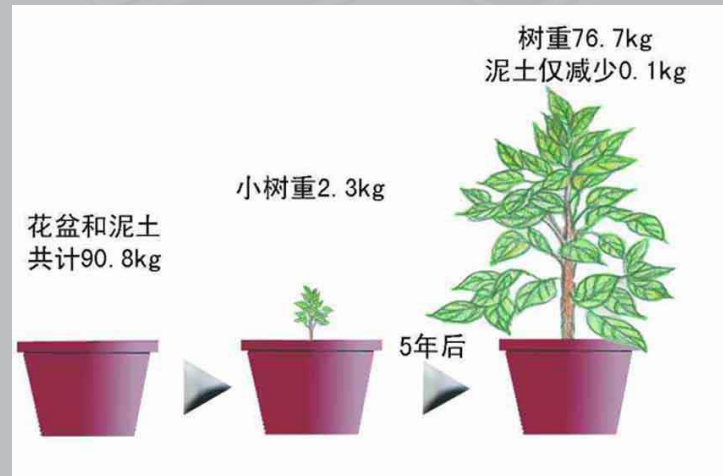
土壤

90.8 kg \longrightarrow 90.7 kg

植物

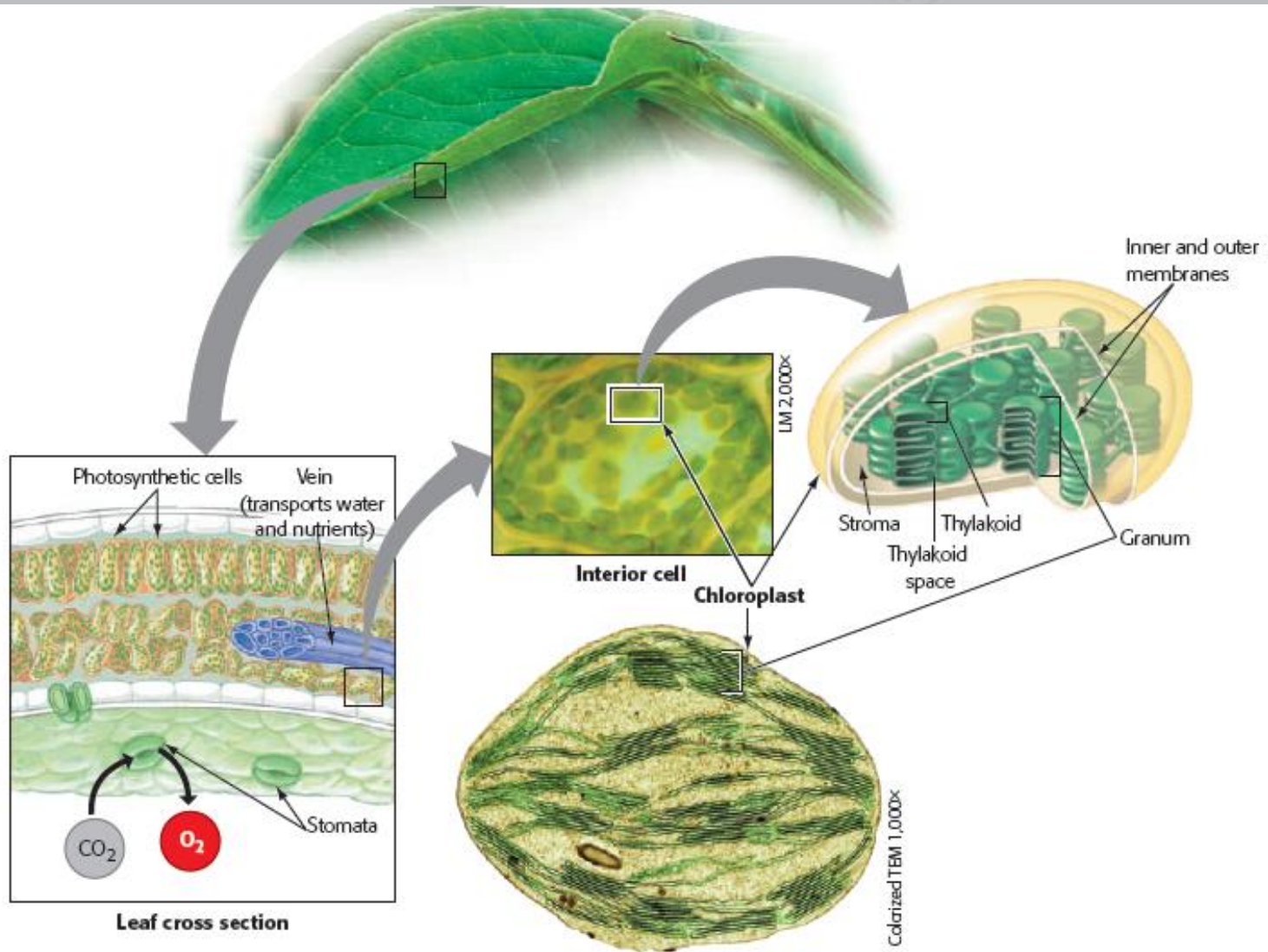
2.3 kg \longrightarrow 76.7 kg

1770年英国牧师 Priestley 大玻璃罩老鼠和蜡烛的试验有时成功，有时失败的原因？

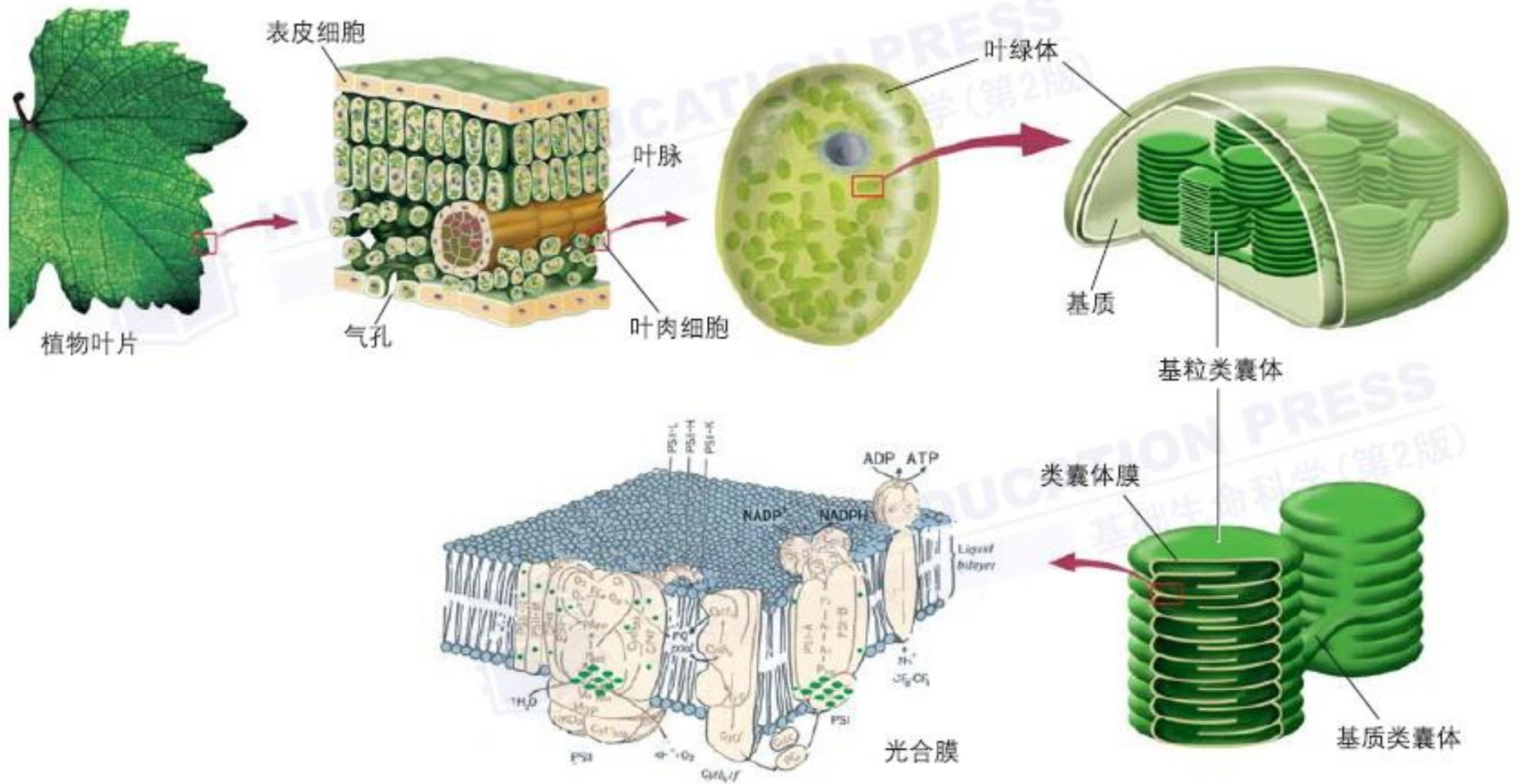


第五节 光合作用

植物捕获和利用太阳能，将无机物（ CO_2 和 H_2O ）合成有机物，并放出氧气，即将太阳能转化为化学能并贮存在葡萄糖和其他有机分子中，这一过程称为**光合作用**。

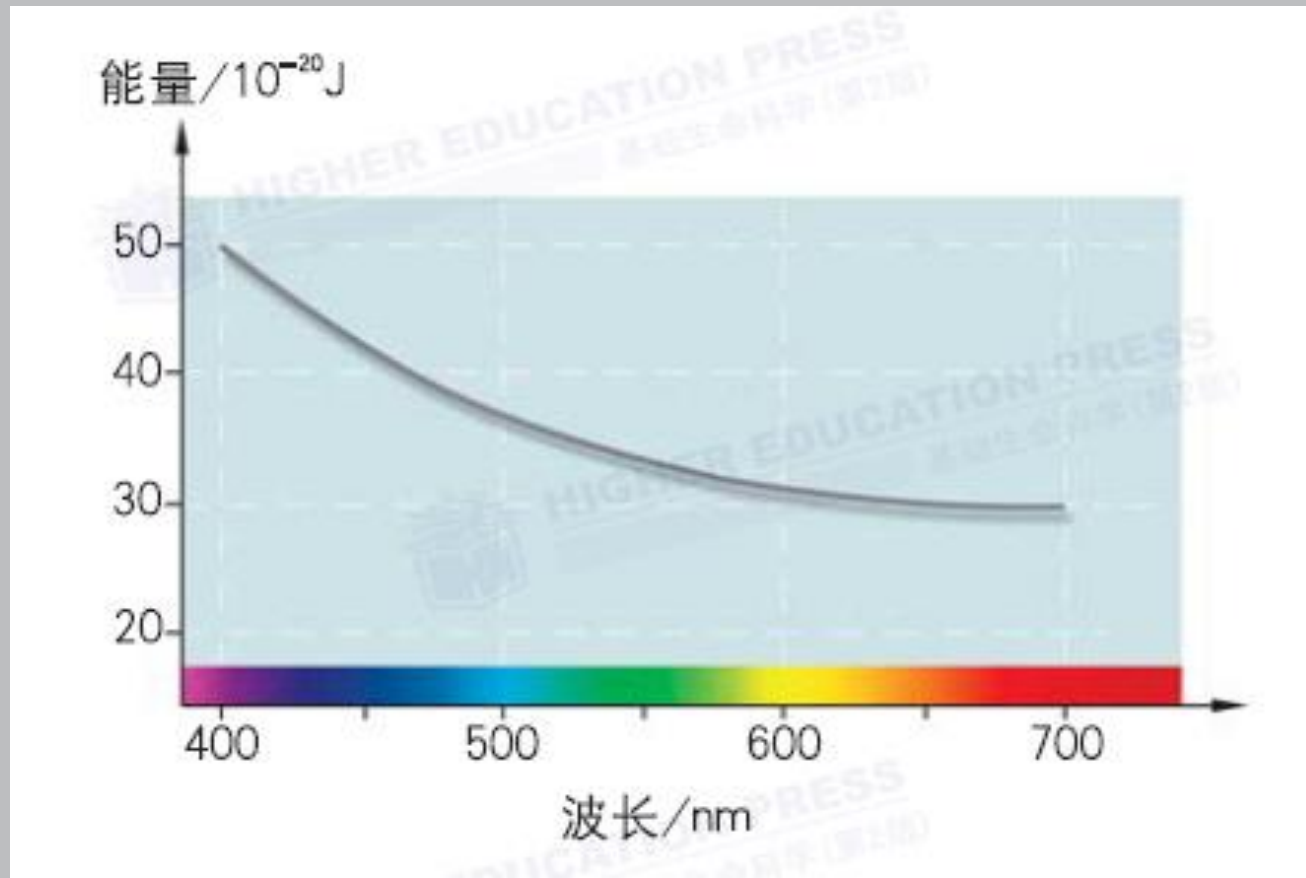


一、光合自养生物、叶绿体和光合膜

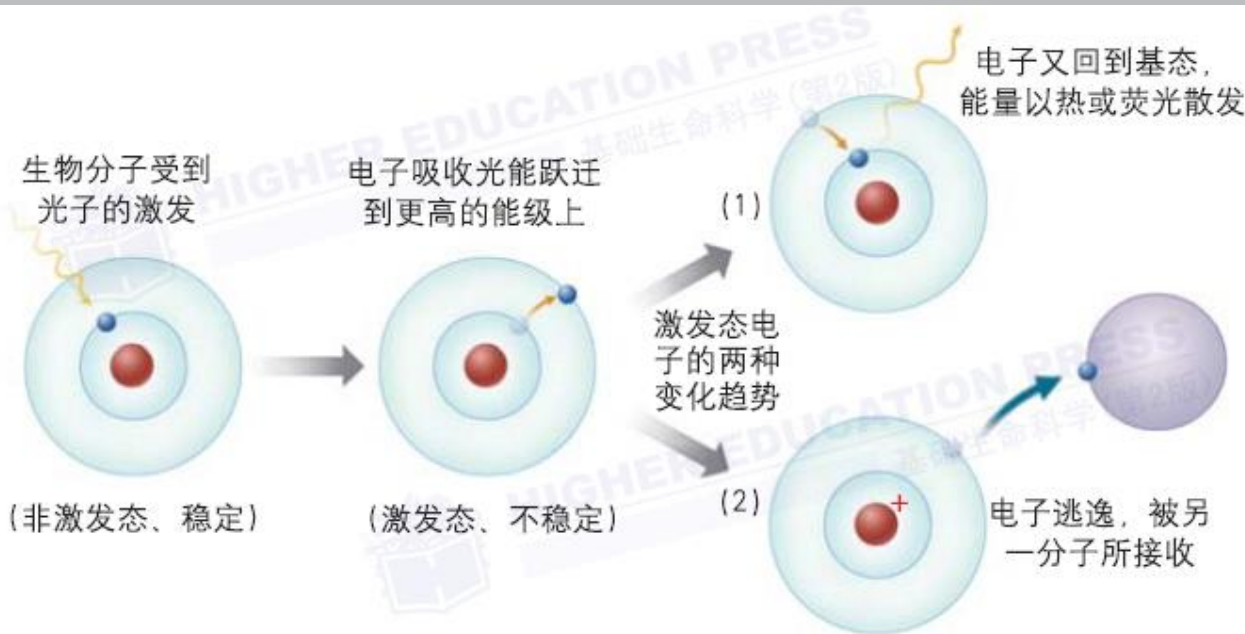


二、光的性质与叶绿素

- 光是一种电磁波，具有能量。光具有粒子性质，又称为光子。光子的能量与其波长成反比，在可见光区，紫光波长最短，能量最大；红光波长较长，能量较小。



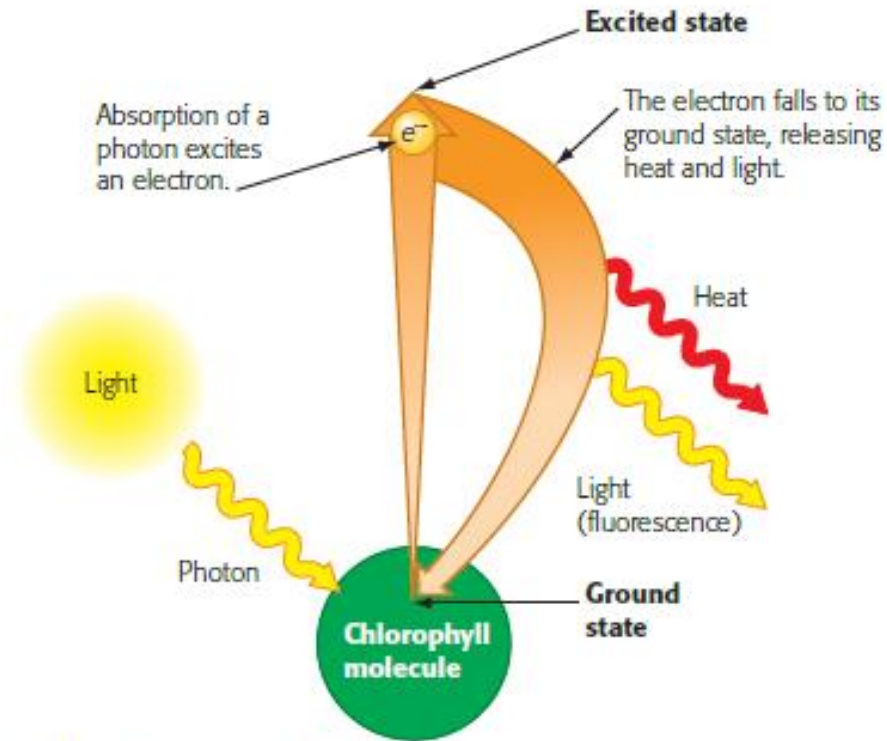
- **激发态**:光子照射到某些生物分子上时, 可以使其某原子中的电子跃迁到远离原子核轨道的更高的能级水平。
- **激发态的生物分子是不稳定的。**



(1) 电子再回到基态, 同时能量以热或者荧光方式耗散出去;

(2) 失去电子, 而本身被氧化, 带有正电荷, 接受其电子的另一个生物分子则被还原。

光与原子或分子间的相互作用



(a) Absorption of a photon

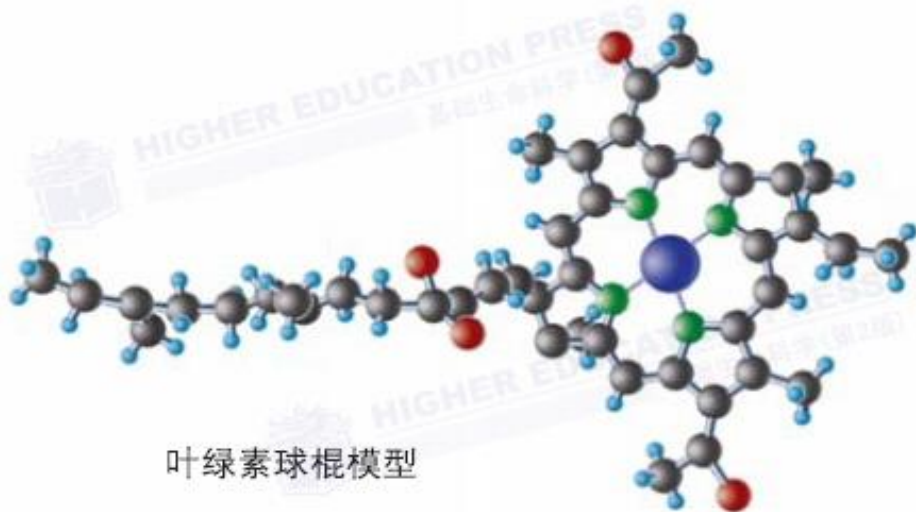


激发态的电子回到基态可以以“热”的形式释放能量，也可以以光的形式释放能量。

叶绿素分子的化学结构

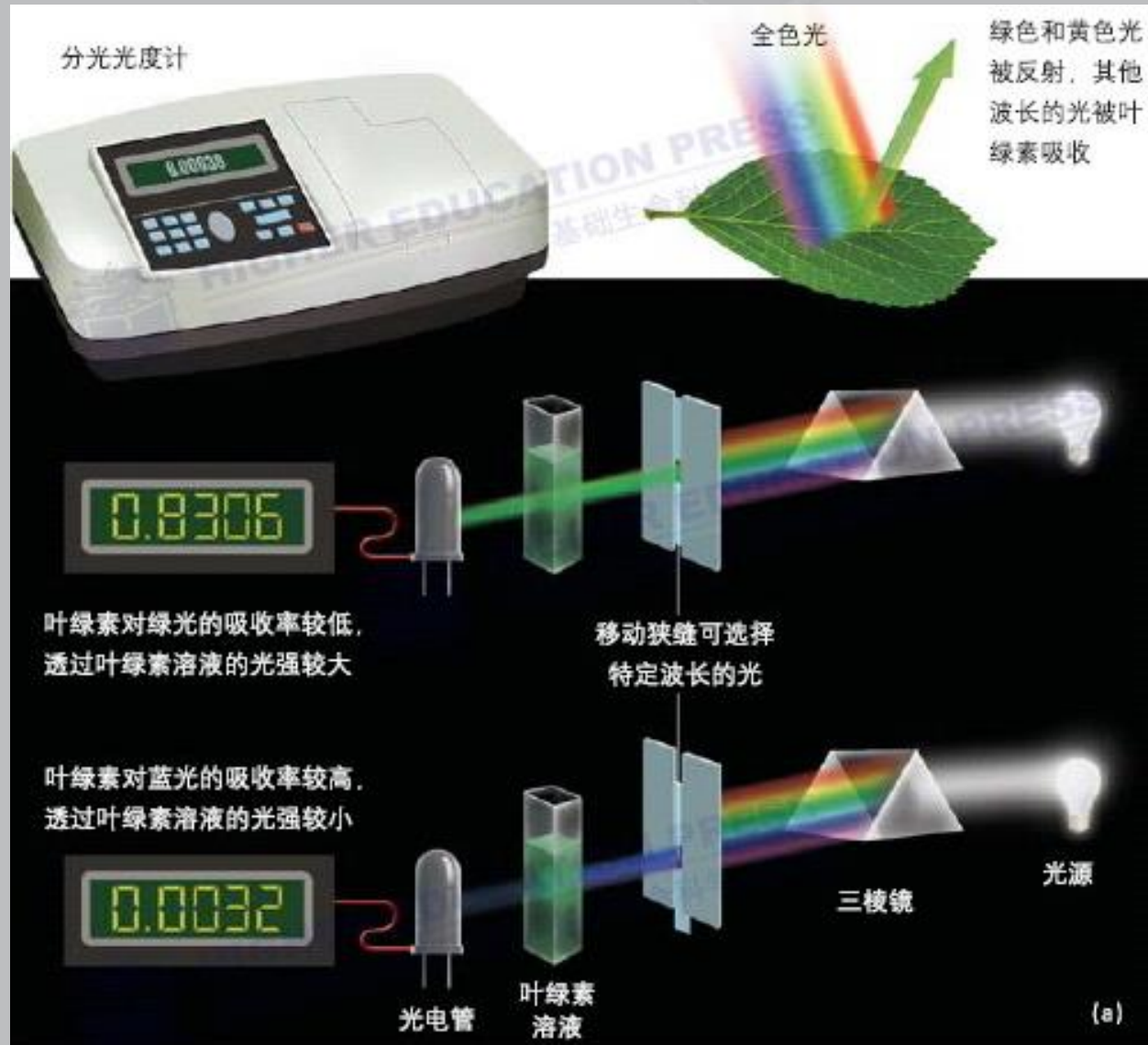
■ 叶绿素分子就是一种可以被可见光激发的色素分子，在光子驱动下发生的得失电子反应是光合作用过程中最基本的反应。

■ 叶绿素分子是由碳和氮原子组成的具有较复杂结构的卟啉环与叶醇侧链相连接的化合物，排列在类囊体表面的叶绿素分子靠叶醇侧链插入到类囊体膜中。

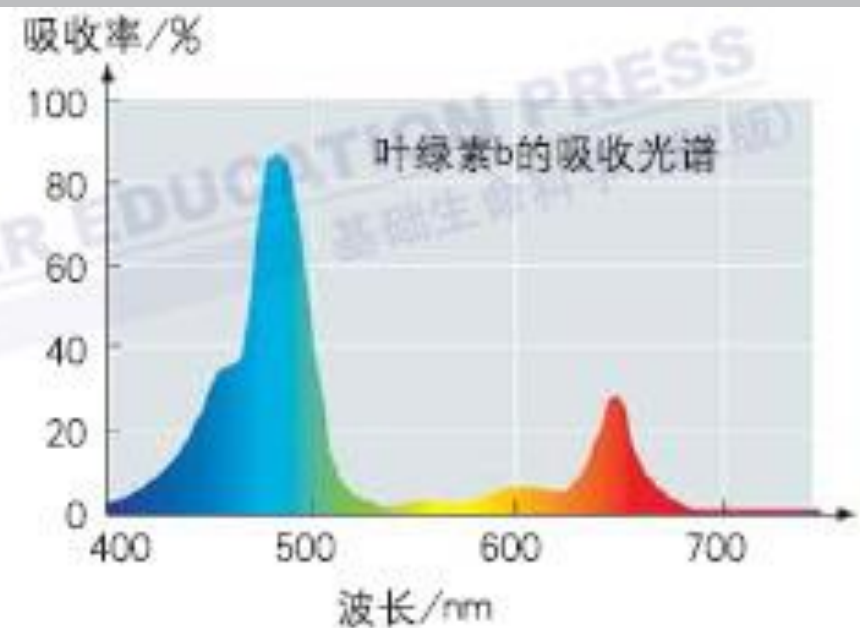
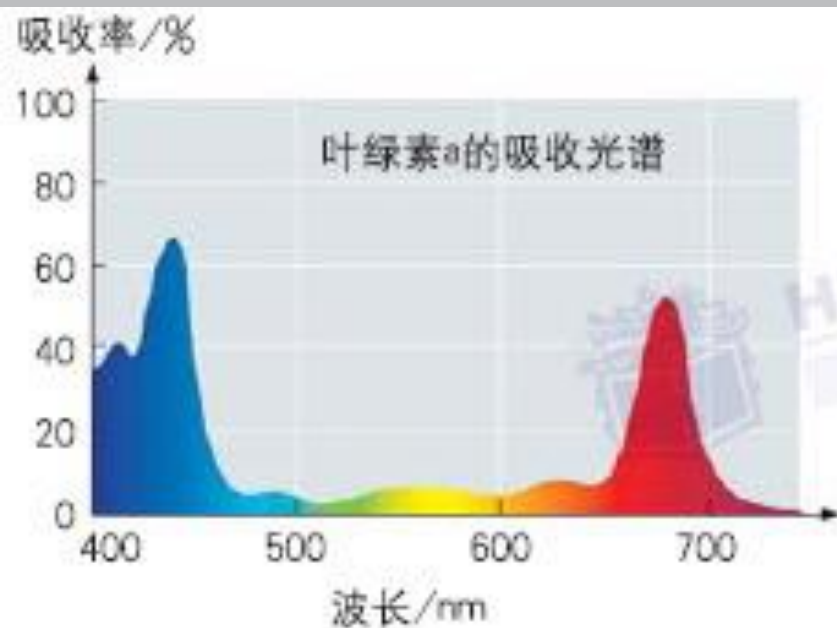


用分光光度计测定叶绿素分子的吸收光谱

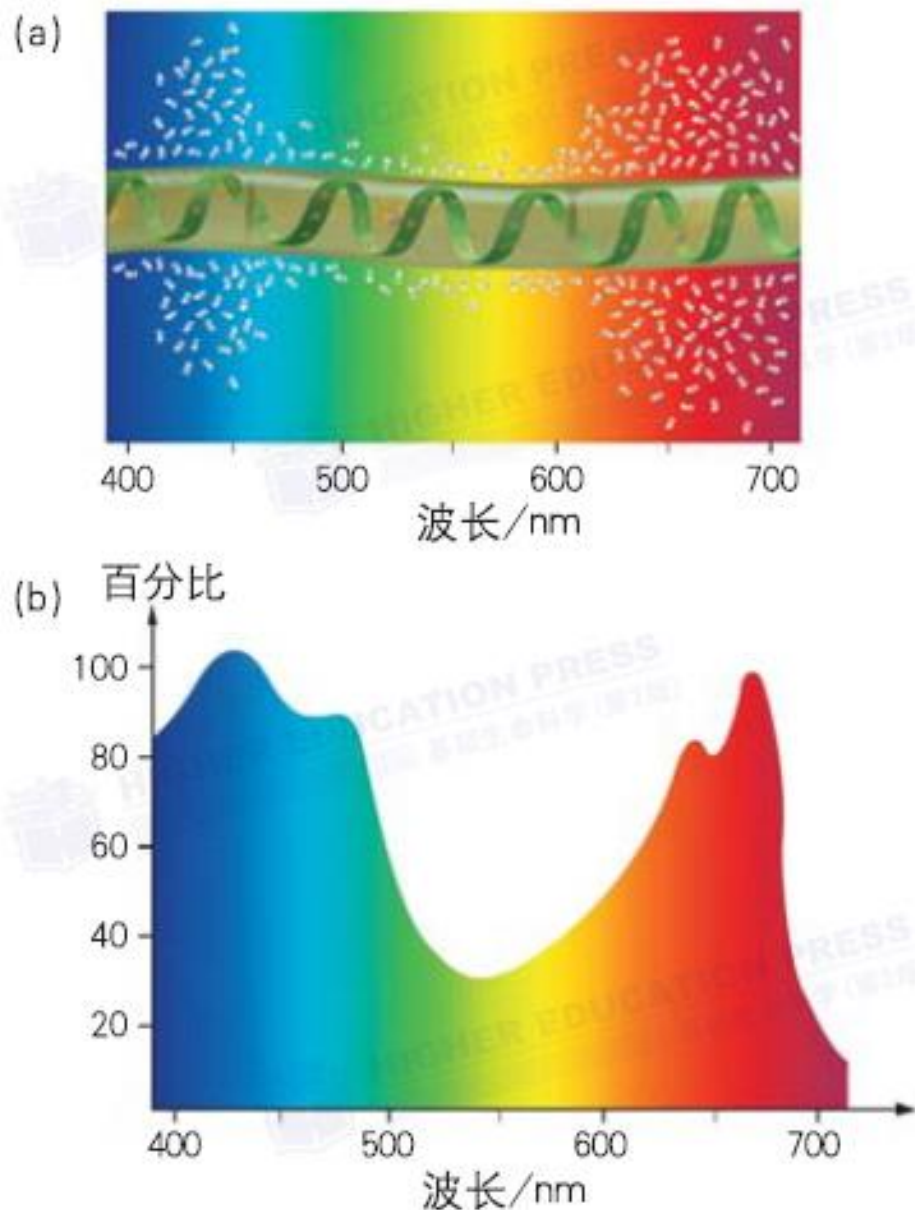
分光光度计是用来测定色素或化学物质对不同波长的光吸收能力（吸收光谱）的一种仪器。

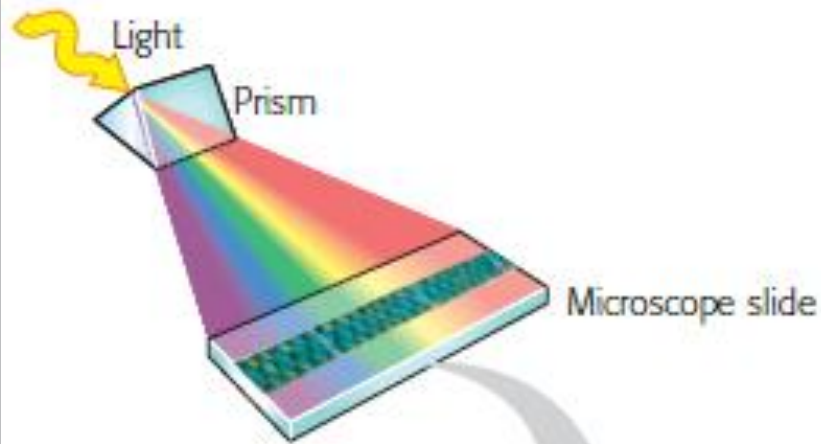


- 用分光光度计测定叶绿素的吸收光谱显示，叶绿素a 和叶绿素b的吸收光谱中均有两个吸收高峰，表示在红光区和蓝光区吸收较强，而在绿光区则几乎没有吸收。



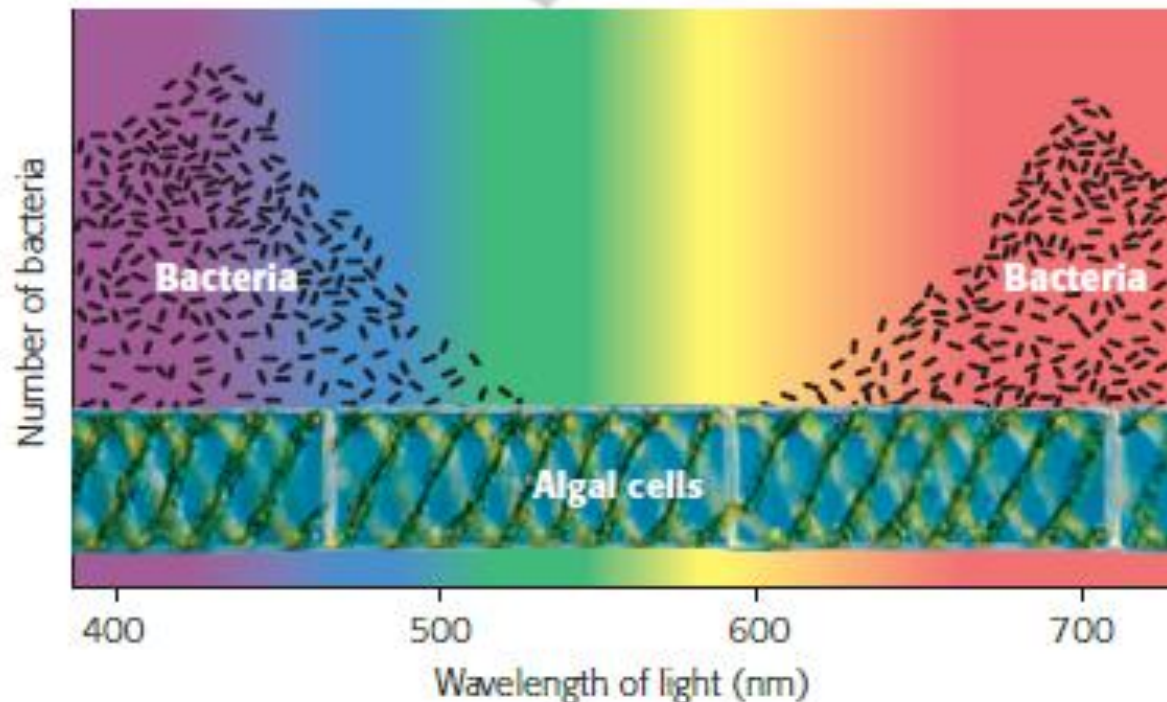
- 在不同波长光的作用下的光合效率又称为**作用光谱**。
- 1883年，Engelmann利用一段称为水绵的丝状绿藻获得了叶绿素的作用光谱。
- 作用光谱与叶绿素的吸收光谱非常相近。





◀ **Figure 7.5 Investigating how light wavelength affects photosynthesis.**

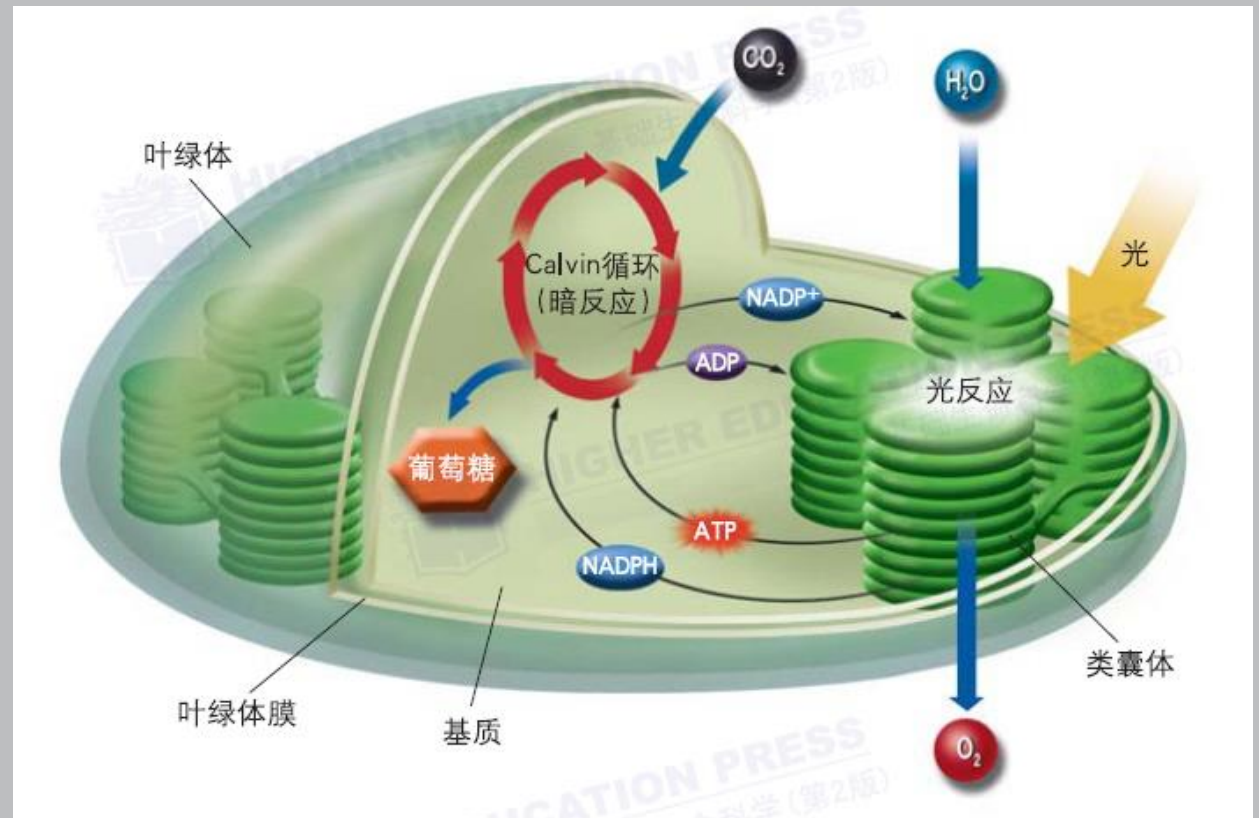
When algal cells are placed on a microscope slide, oxygen-seeking bacteria migrate toward algae exposed to certain colors of light. These results suggest that blue-violet and orange-red wavelengths best drive photosynthesis, while green wavelengths do so only a little bit.



三、光系统与光反应

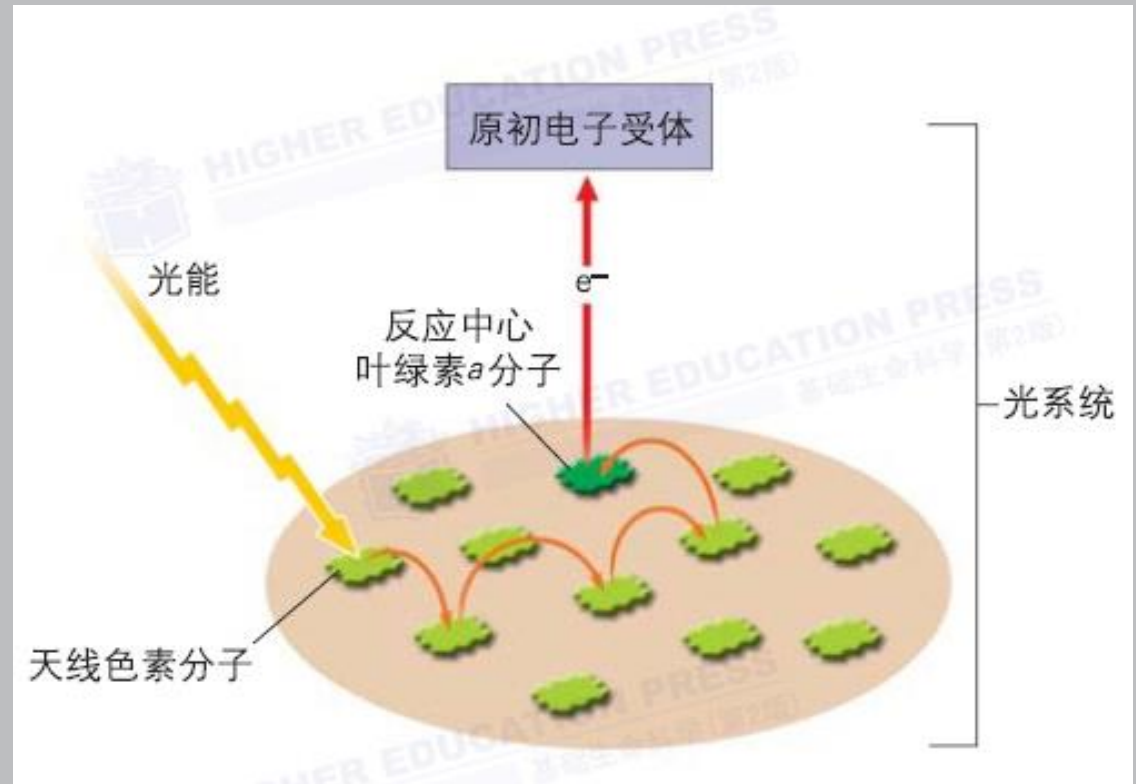
■ 整个光合作用被分为光反应和暗反应两大部分。

光反应发生在类囊体膜上，当叶绿素和其他色素分子吸收光能时，光反应便发生了。暗反应发生在叶绿体的基质中，暗反应是不需要光的反应。

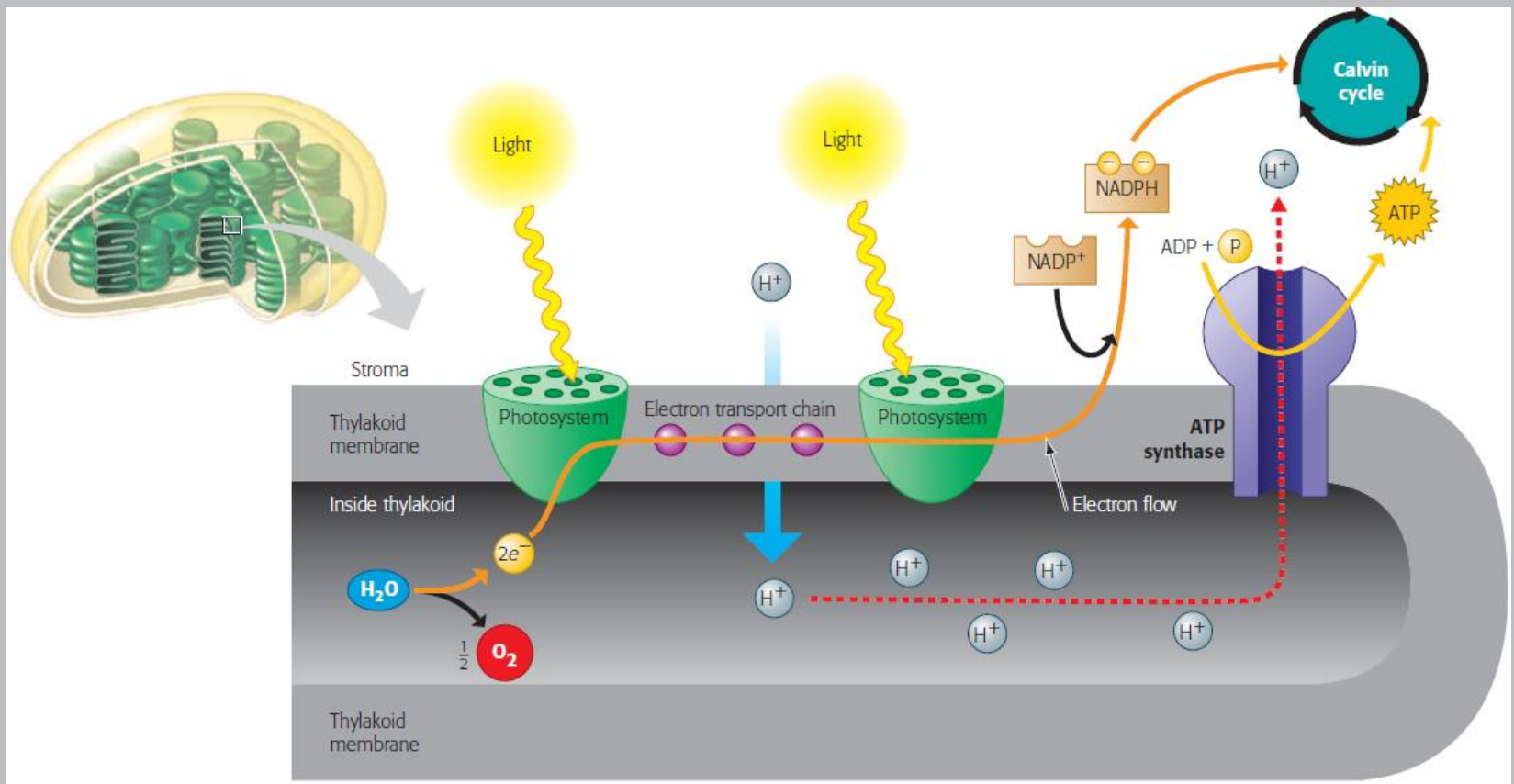


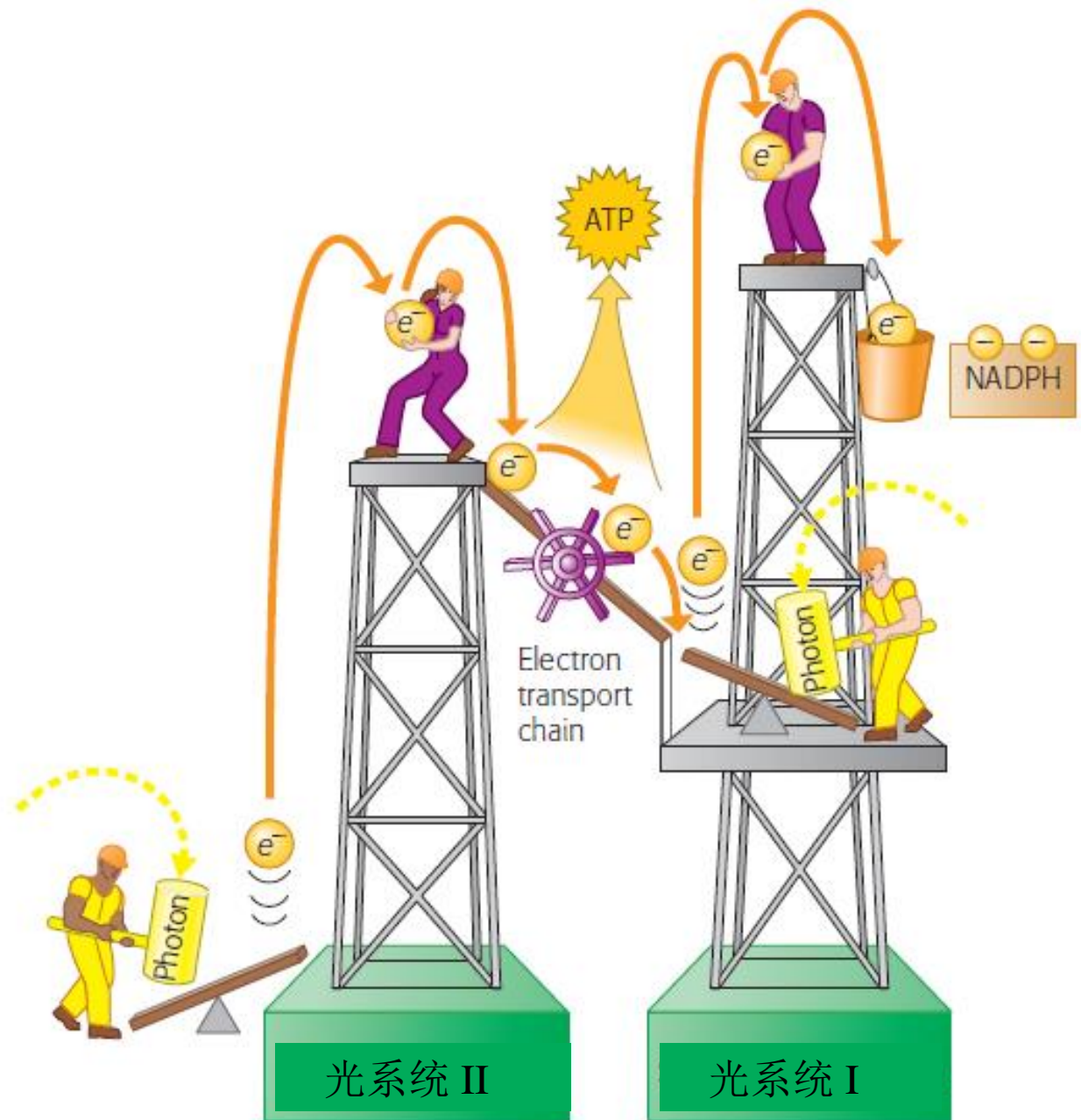
■ **光系统**:在类囊体膜上由叶绿素分子及其蛋白复合物、天线色素系统和电子受体等组成的单位。一般植物的光反应由2个光系统及电子传递链来完成，每个光系统含有200~300个叶绿素分子。

光系统I (PSI) 含有被称为“ P_{700} ”的叶绿素a分子；
光系统II (PSII) 则含有另一种被称为“ P_{680} ”的叶绿素a分子。
 P_{700} 和 P_{680} 又称为光反应中心叶绿素分子。

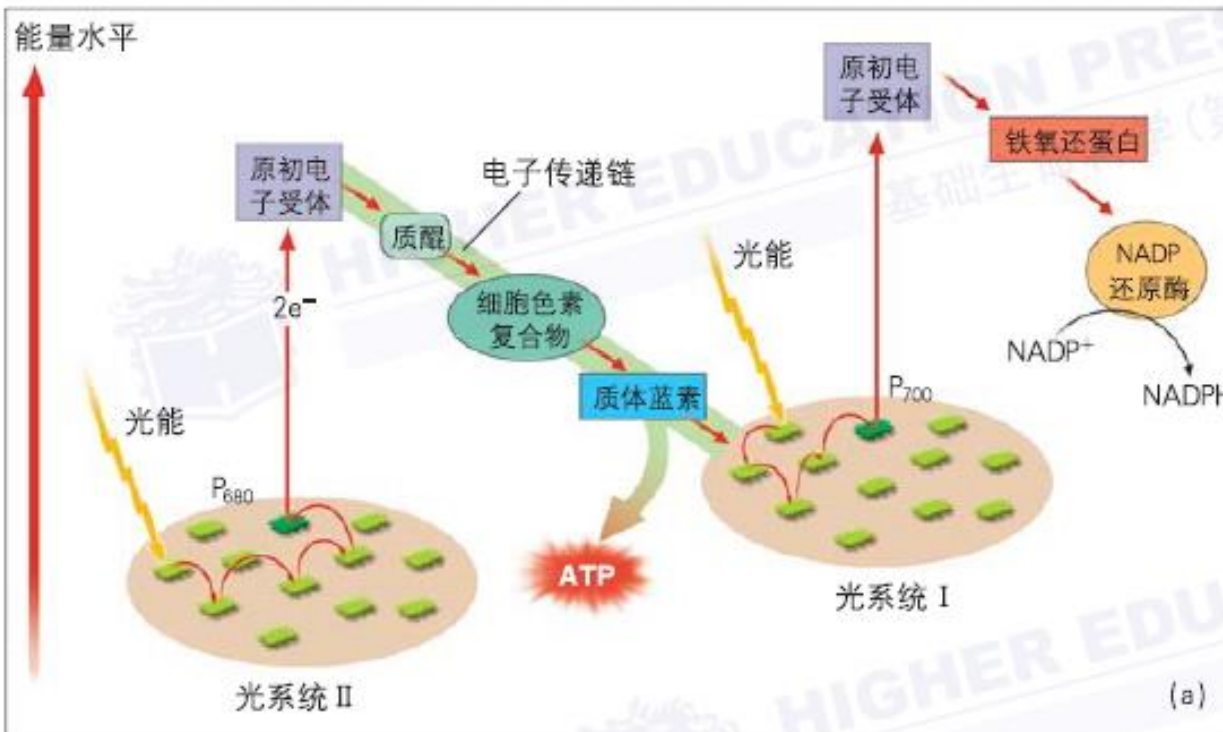


- 光能传递和电子传递链：在光的驱动下，电子在类囊体膜上由光系统II流向光系统I过程中电子能量逐渐下降，这些能量被用于将氢质子从类囊体的外侧基质转移到类囊体的内腔中，由此造成了跨膜的质子梯度，导致了ATP的形成。这一过程被称为**非环路的光合磷酸化**。

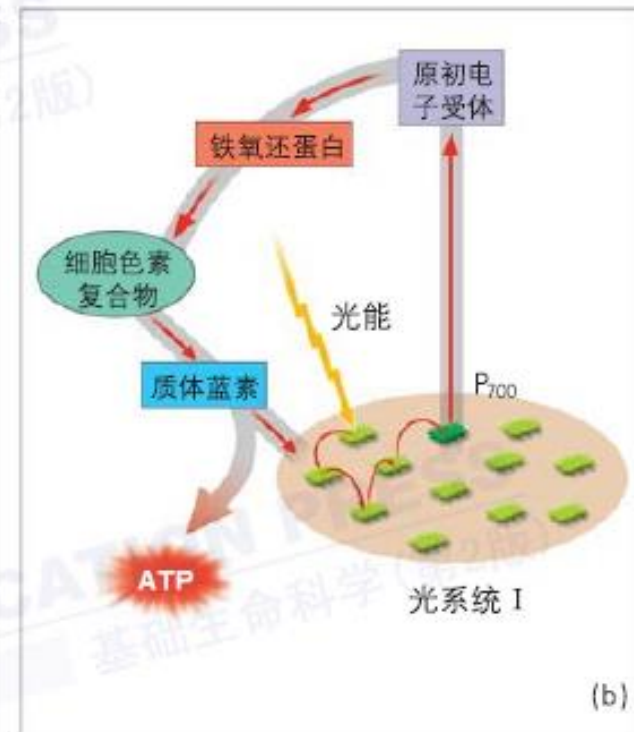




■ 环路光合磷酸化：由光驱动的电子传递同时产生了ATP。



非环路光合磷酸化



环路光合磷酸化

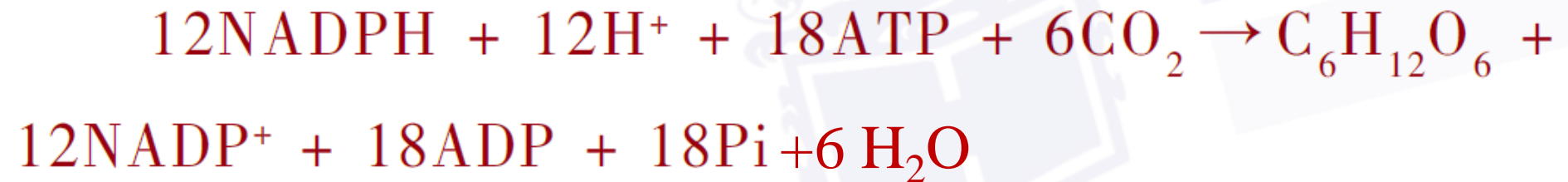
光反应可以归纳为：

1. 叶绿素吸收光能并将光能转化为“电能”，即造成从叶绿素分子起始的电子流动。
2. 在电子流动过程中，通过氢离子的化学渗透，形成了ATP，“电能”被转化为化学能。
3. 强氧化态的 P_{680} 分子促使水发生裂解，又称为水的光解，氧气从水中被释放出来。
4. 电子沿传递链最终达到最终电子受体 $NADP^+$ ，并与一个质子结合，形成了还原型的NADPH，“电能”又一次被转化为化学能，并贮存于NADPH中。

光合作用的暗反应必须依赖于光反应中形成的ATP和NADPH。

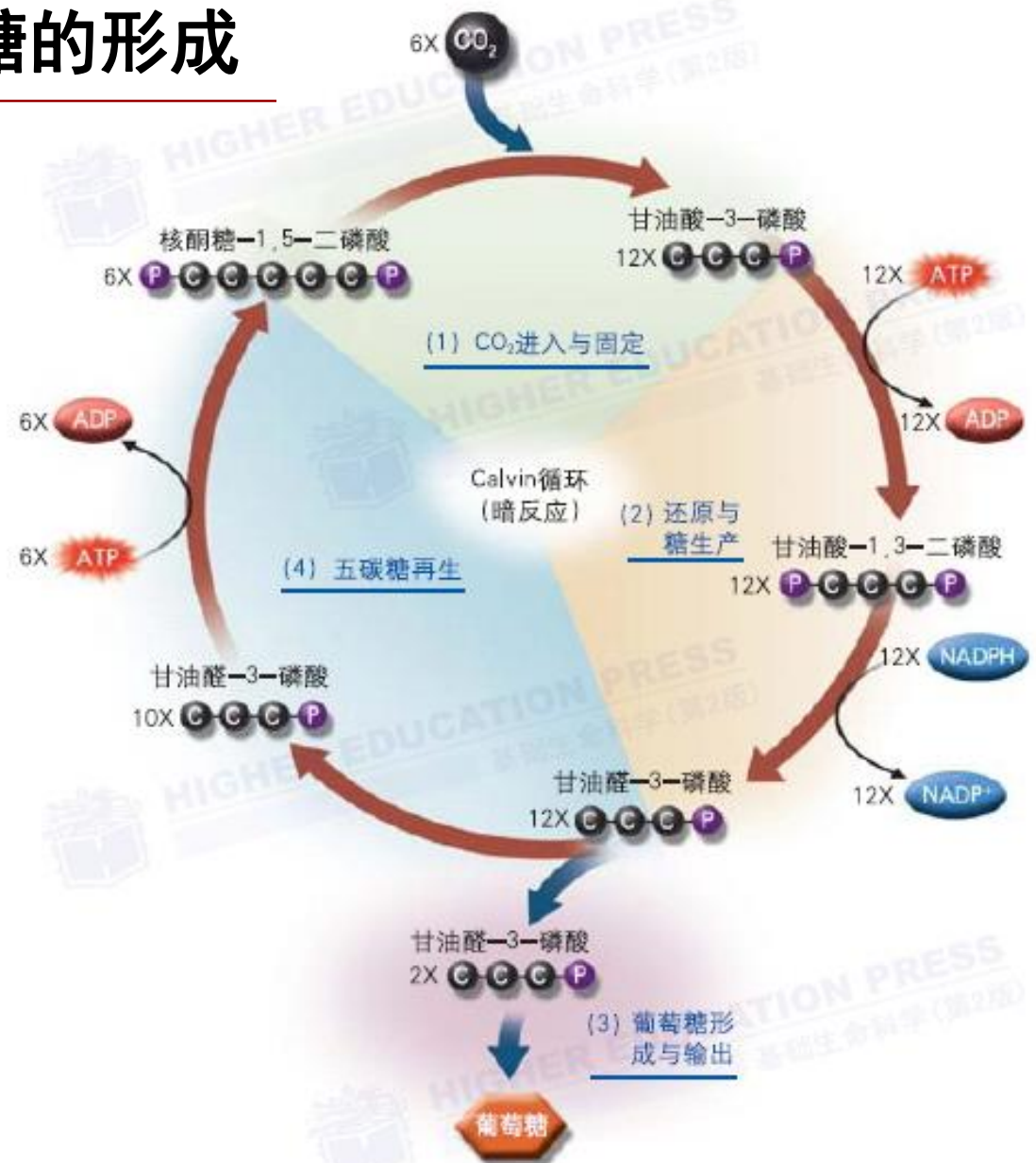
四、暗反应与葡萄糖的形成

- 暗反应是一种不断消耗ATP和NADPH并固定CO₂形成葡萄糖的循环反应，又被称为Calvin循环。

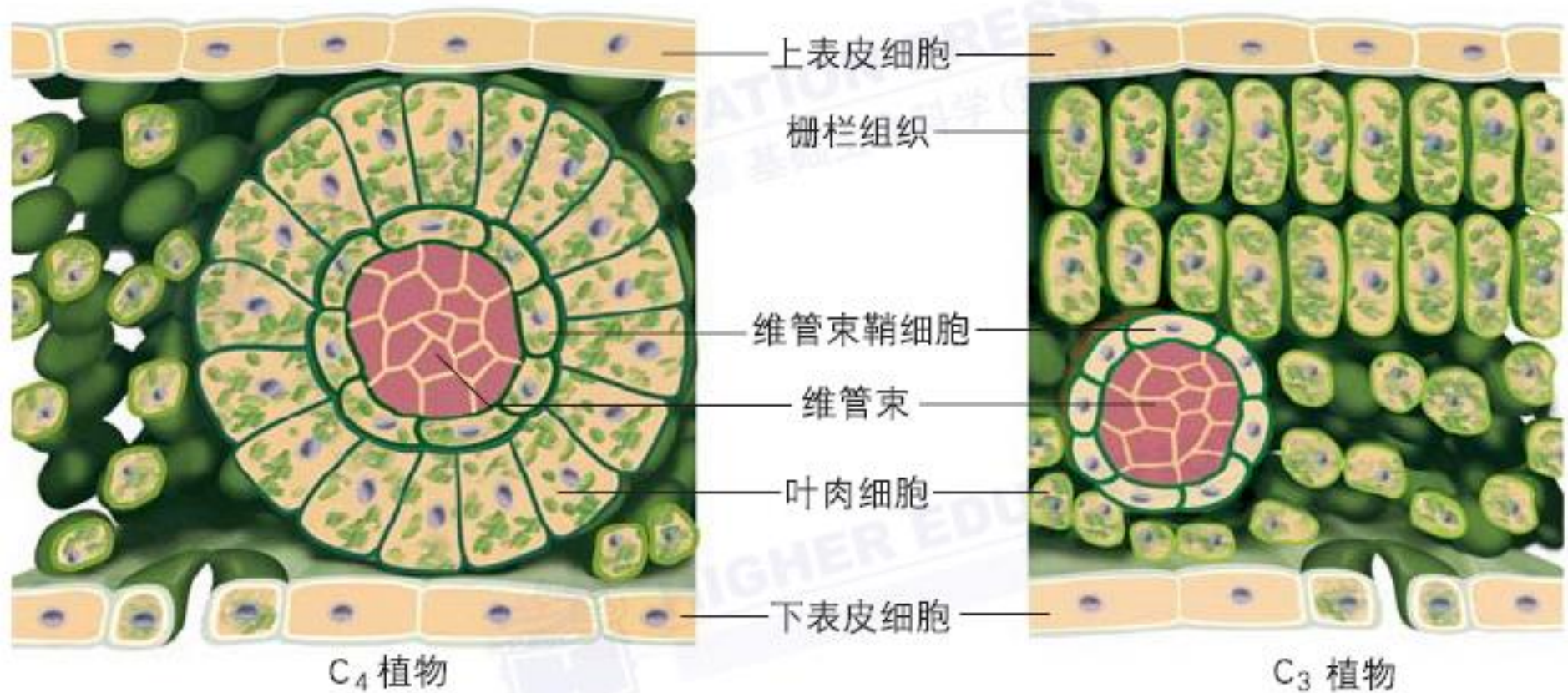


四、暗反应与葡萄糖的形成

由于二氧化碳在Calvin循环反应中被固定所形成的第一个化合物是甘油酸-3-磷酸，是一个三碳的化合物，因此通过上述途径同化二氧化碳的植物称为C₃植物。

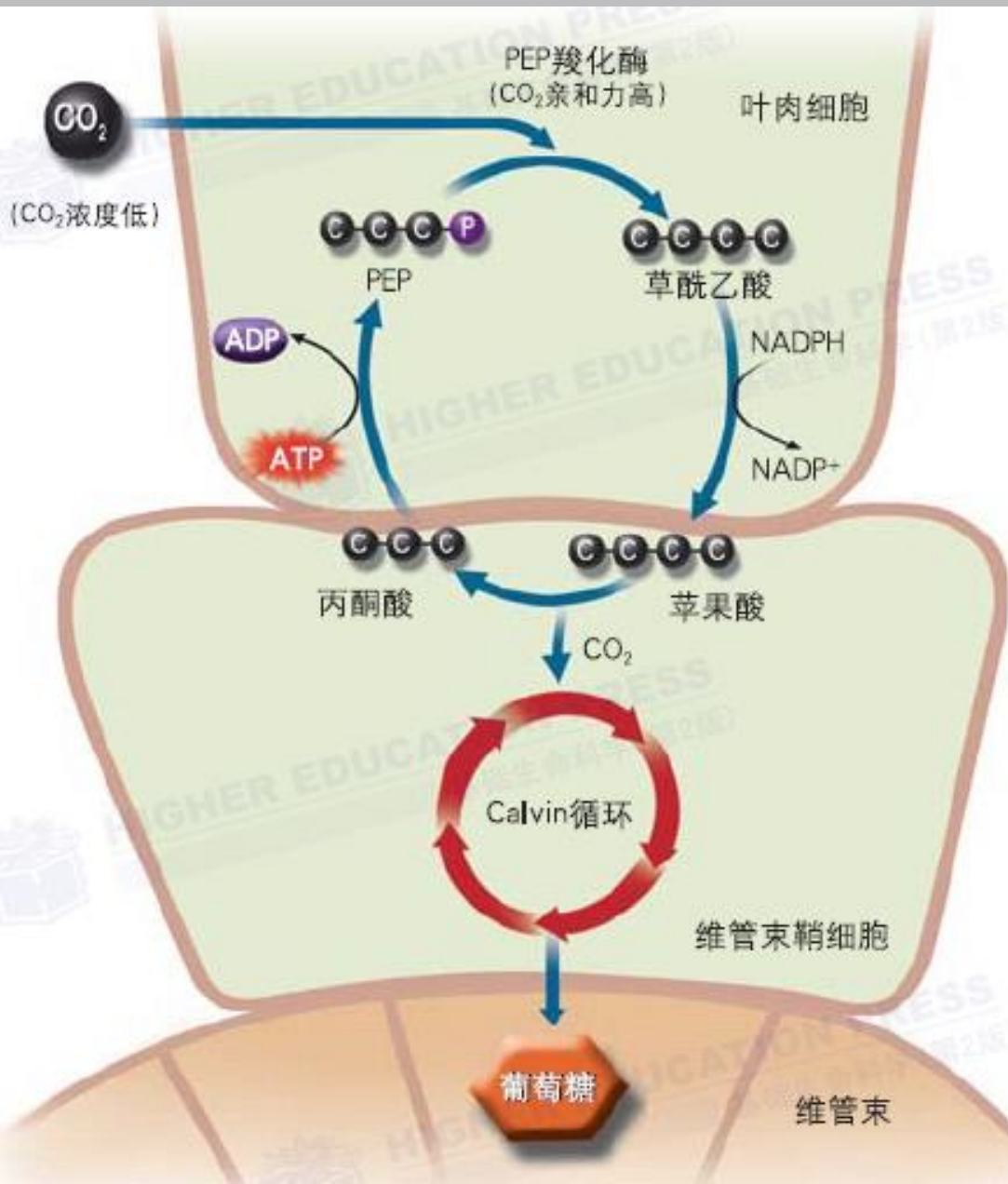


- 如果二氧化碳固定的最初产物不是甘油酸-3-磷酸，而是草酰乙酸，是一个四碳的化合物，该途径称为C₄途径。通过C₄途径固定二氧化碳的植物称为C₄植物。
- C₄植物的作用机制与其形态结构密切相关。
- 从解剖结构上看，C₄植物区别于C₃植物的最显著特点是其叶片的维管束周围紧密排列着两圈特殊的叶绿体数量更多的光合作用细胞。
- 在炎热干旱的环境下叶片关闭气孔以减少水分的丧失，导致叶片中CO₂浓度大大下降时，C₄途径使得C₄植物便具有比C₃植物更高的对炎热干旱环境的适应性，并保持着较高的光合作用效率。
- C₃植物与C₄植物生产效率的差别还在于前者具有较强的光呼吸。光呼吸是植物的绿色细胞在光照条件下吸收O₂并放出CO₂的过程。



C_4 植物（甘蔗）与 C_3 植物（大豆）叶片的解剖结构比较

返回



C₄植物CO₂同化途径:

CO₂固定首先发生在外圈的叶肉细胞中，在磷酸烯醇式丙酮酸（PEP）羧化酶的作用下，进入外圈叶肉细胞的CO₂与PEP结合，形成了四碳的草酰乙酸。在CO₂被固定后，叶脉的外圈叶肉细胞将四碳化合物（由草酰乙酸还原形成的苹果酸）输送到内圈的维管束鞘细胞中，四碳化合物脱羧作用释放出的CO₂立即进入到Calvin循环途径中。

返回

本章摘要

代谢可定义为发生在生物体内全部的化学物质和能量的转化过程。生物体将简单小分子合成复杂大分子并消耗能量的过程称为同化作用或合成代谢；生物体将复杂化合物分解为简单小分子并放出能量的反应，称为异化作用或分解代谢。生物体的新陈代谢符合热力学第一定律和第二定律。将生物及其环境看作为一个孤立系统，其能量始终是守恒的。系统的各种过程总是向着熵值增大的方向进行。生物体能够通过新陈代谢不断地从周围环境吸取负熵维持高度有序的生存状态。自发反应可释放自由能，称为放能反应。相反，需要从外界输入自由能才能进行的反应称为吸能反应。ATP是细胞中能量的通货。

酶是具有催化作用的蛋白质，它可以降低化学反应所需要的活化能。在催化反应中，酶首先与底物结合形成不稳定的中间产物。酶能特异性地识别其特定底物从而催化专一的反应。酶的特异性在于酶的活性中心形状与底物分子的形状具有特殊的匹配合作关系，这种诱导契合关系促进了酶与底物相互作用。影响酶活性的主要因素包括温度、pH和抑制剂等。大多数辅酶都是一些具有核苷酸结构的维生素。在生物体中能量的生成通常是氧化-还原反应及电子与质子流动和传递的结果。

细胞呼吸的化学过程包括糖酵解、Krebs和氧化磷酸化3个阶段。糖酵解发生在线粒体外的细胞质中，包括10步化学反应，将1个六碳的葡萄糖分解成2个三碳的丙酮酸，净产生2个ATP，还生成2分子NADH，糖酵解过程不需要氧参与。糖酵解最终形成的丙酮酸由细胞质进入到线粒体后首先氧化脱羧释放出1分子 CO_2 ，剩余的二碳片段与辅酶A结合形成二碳的乙酰辅酶A，同时 NAD^+ 接受该反应放出的氢和电子，形成了NADH。乙酰CoA的乙酰基与4碳的草酰乙酸反应生成了6碳的柠檬酸，接下来，柠檬酸继续氧化，通过9步反应，逐步脱去2个羧基碳，又形成四碳的草酰乙酸，由此完成了一轮循环。每一轮循环放出2分子 CO_2 和8个H，产生3分子NADH 和1分子 FADH_2 ，还直接产生1分子ATP。氧化磷酸化阶段，贮存于NADH和 FADH_2 的高能电子沿分布于线粒体内膜上的电子传递链传递，最后到达分子氧，高能电子逐步释放的能量合成了更多的ATP。Mitchell的化学渗透学说解释了线粒体内膜上电子传递过程中氧化磷酸化及ATP形成的机制。

蛋白质和脂肪消化水解后产生的氨基酸与脂肪酸也都可以经过氧化分解为细胞提供能量，氨基酸经过脱氨变成Krebs循环中的有机酸，脂肪酸可以与辅酶A结合氧化生成乙酰辅酶A而进入Krebs循环，甘油则可以转变为磷酸甘油醛进入糖酵解过程。

植物捕获和利用太阳能，将无机物合成为有机物，即将太阳能转化为化学能并贮存在葡萄糖和其他有机分子中，这一过程称为光合作用。植物的光合作用发生在叶绿体中。光合膜是植物利用光能进行光反应最重要的场所。叶绿素分子就是一种可以被可见光激发的色素分子，在光子驱动下发生的得失电子反应是光合作用过程中最基本的反应。叶绿素a是启动光反应的主要色素，其他色素主要起捕捉和转递光能的作用。

整个光合作用可分为光反应和暗反应两大部分。一般植物的光反应由2个光系统及电子传递链来完成。当光系统的天线色素复合物吸收或捕获太阳能并把光能传递到光系统反应中心时，光系统I的 P_{700} 和光系统II的 P_{680} 分子被激发并快速地放出高能电子。在类囊体膜上，光系统I和光系统II组成了一种线性非循环电子传递链，在光的驱动下，电子在类囊体膜上由光系统II流向光系统I过程中电子能量逐渐下降，这些能量被用于将氢质子从类囊体的外侧基质转移到类囊体的内腔中，由此造成了跨膜的质子梯度，导致了ATP的形成。光合作用过程中二氧化碳被固定最终形成葡萄糖的反应（暗反应）是通过Calvin循环进行的，它发生在叶绿体的基质中。在光反应的基础上，不需要光的暗反应利用光反应中产生的ATP和NADPH来还原 CO_2 ，即通过碳同化产生葡萄糖。 C_4 植物具有比 C_3 植物更高的对炎热干旱环境的适应性，并保持着较高的光合作用效率。