

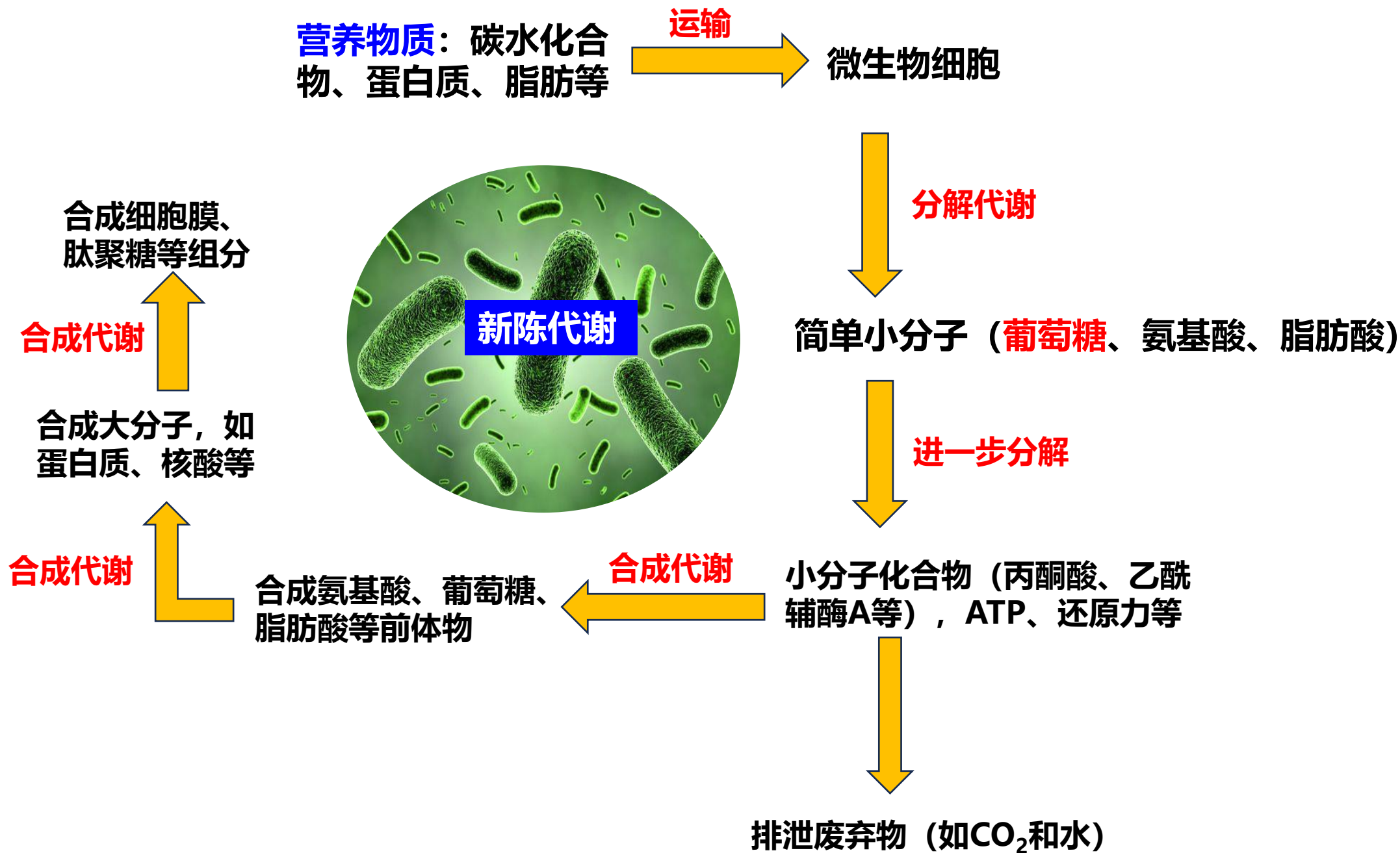
第五章 微生物的营养与代谢

Microbial Nutrition and Metabolism

主讲人：黄凤

生命科学技术学院

p113-p143, 5学时



本章要回答的几个问题：

营养

- 1、微生物需要的营养物质有哪些？
- 2、微生物的营养类型有哪些（**能源**是光能还是化学能、**碳源**是有机碳还是无机碳）？
- 3、微生物如何摄取营养？
- 4、我们如何给微生物提供合适的营养（**培养基**）？

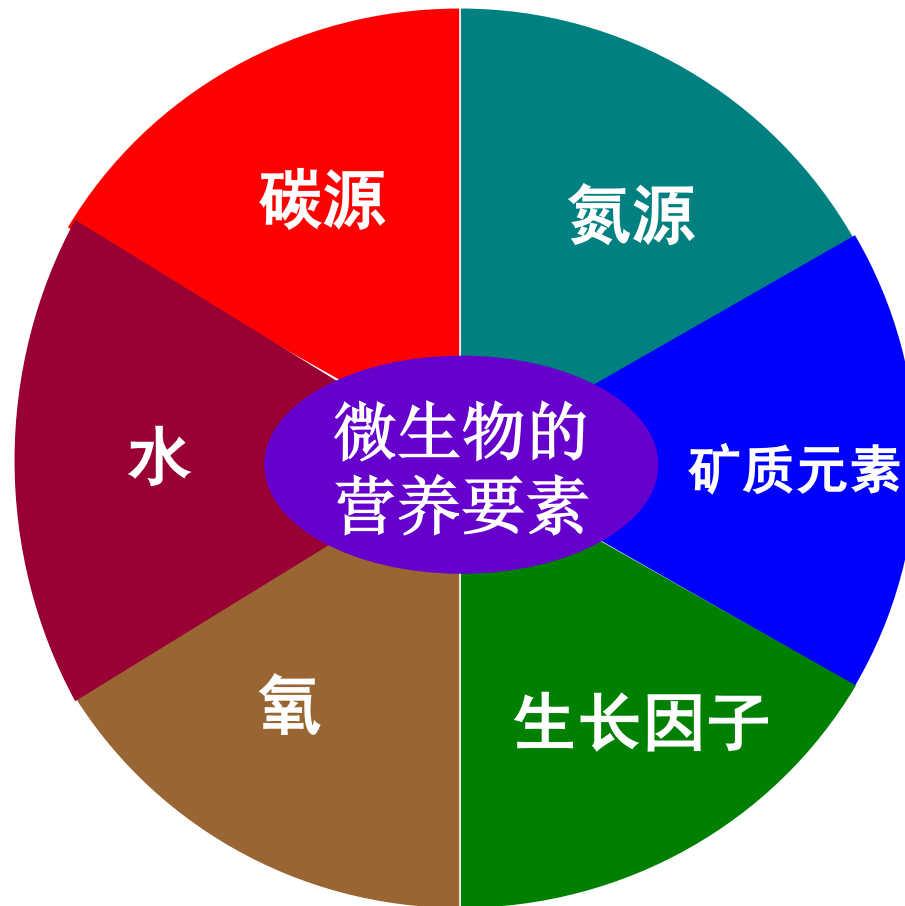
代谢

- 5、微生物的能量代谢（**合成ATP的途径，产生能量的方式**）
- 6、微生物的分解代谢（**己糖分解、丙酮酸代谢**）
- 7、微生物的合成代谢（**C固定、N同化、肽聚糖合成等**）

1、微生物需要的营养物质有哪些？

第一节 微生物的营养物质

■按照它们在机体中的生理作用不同，区分成：



一、水

- (1) 水是微生物细胞的重要组分（占湿重的70%~90%）；**
- (2) 是活细胞中各种生物化学反应的介质**

一、碳源

➤ 凡是能为微生物生长提供碳素来源的物质统称为碳源（carbon source）。

作用：碳源既能被机体代谢用来**构成细胞物质**，也能为机体**提供能量**，因此碳源通常也是能源。

碳源种类

常见的有机碳源有哪些？

葡萄糖、蔗糖、淀粉、纤维素、几丁质、糖蜜、乳清、 CH_4 等。

常见的无机碳源有哪些？

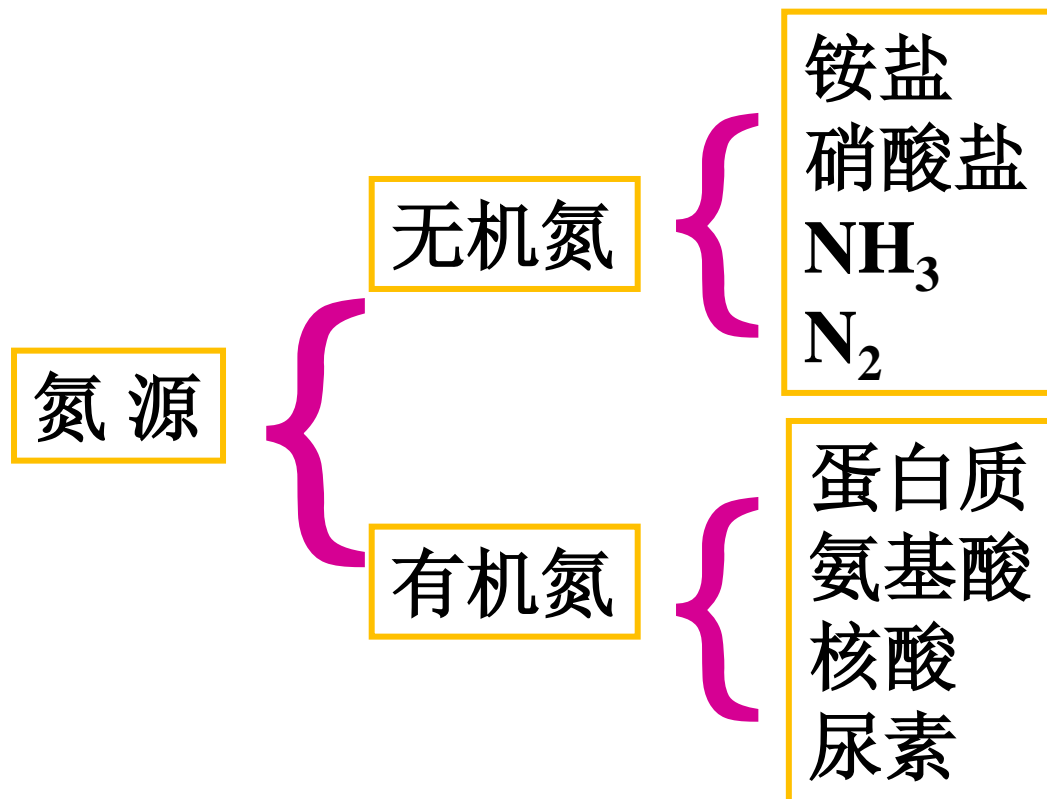
CO_2 、 NaHCO_3 、 CaCO_3 。

三、氮源

➤ 凡是能为微生物生长提供氮素来源的营养物质称为氮源。

作用：氮源主要用来构成细胞成分，一般不用作能源物质，如蛋白质和核酸等，少数自养菌除外（如亚硝化细菌，能利用铵盐、亚硝酸盐作为氮源和能源）。

氮源种类



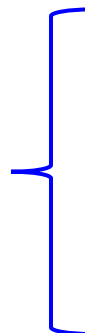
需要外源添加氨基酸作为氮源的，为氨基酸**异养型微生物**，如肠膜明串珠菌；

能利用简单氮源（如尿素、铵盐、硝酸盐）合成所需一切氨基酸，称为**氨基酸自养型**，大多数细菌属此类；

四、矿质元素

矿质元素是微生物生长必不可少的一类营养物质

根据微生物对元素的需要量大小，可分为：

- 
- 大量元素：** P、S、Mg、K、Na 、Ca
 - 微量元素：** Fe、Cu、Zn、Mn、Mo、Co、Ni、Sn（锡）、Se（硒）

矿质元素的营养功能

- 构成细胞的结构成分，如P是核酸、磷脂的主要成分；
- 作为酶的组分、维持酶的活性，如Mg和K；
- 维持细胞的渗透压，如Na；
- 可作为微生物生长的能源物质，如 Fe^{2+} 。

五、生长因子

不能从普通碳源、氮源物质合成，必须从外界直接获取这种物质或其前体才能满足机体生长需要的小分子有机物，称为生长因子。

主要包括**维生素、氨基酸与碱基**三大类

主要用来构成**酶的辅基或辅酶**，是某些酶活性所必须的成分。

按微生物对生长因子的需要与否，可将它们分为：

- 不需要从外界吸收任何生长因子，称为**生长因子自养型微生物**，多数真菌、放线菌和不少细菌属于此类，如E. coli.
- 需要从外界吸收多种生长因子才能维持正常生长，称为**生长因子异养型微生物**，如各种乳酸菌，动物致病菌及支原体和原生动物。

六、氧

氧是**好氧微生物**不可缺少的营养物质之一，它参与某些物质代谢中的加氧反应，也是有氧呼吸作用的**最终电子受体**。

根据微生物对氧需求量不同，可分为：

- 专性好氧菌
- 微好氧菌
- 耐氧菌
- 兼性厌氧菌
- 专性厌氧菌

一般通过**振荡或者通气**来保证好氧菌的生长，通过**深层静置、加入还原剂**等措施保证厌氧菌的生长。

6.1 糖类是微生物重要的能源和碳源，通常（）被微生物优先利用。

- ☐ A 甘露糖和蔗糖
- ☒ B 葡萄糖和果糖
- ☐ C 乳糖
- ☐ D 半乳糖

提交

6.2 下列物质可作为生长因子的是（）

- ☐ A 葡萄糖
- ☐ B NaCl
- ☐ C 纤维素
- ☒ D 叶酸

提交

2、微生物的营养类型有哪些？

第二节 微生物的营养类型

划分依据	营养类型	特 点
能 源	光能营养型(phototrophs)	以光为能源
	化能营养型(chemotrophs)	以氧化无机物或有机物释放的化学能为能源
碳 源	自养型(autotrophs)	以CO ₂ 为唯一或主要碳源
	异养型(heterotrophs)	以有机物为碳源

微生物的营养类型

营养类型	能 源	碳 源	电子供体	举 例
光能自养型 (光能无机营养型)	光 能	CO ₂	无机物, 如 H ₂ O、H ₂ 、 H ₂ S、S)	蓝细菌、藻类、 紫硫细菌、绿 硫细菌
光能异养型 (光能有机营养型)	光 能	简单有 机物或 CO ₂	有机物	红螺菌属
化能自养型 (化能无机营养型)	(氧化) 无机物	CO ₂	还原态无机物, 如H ₂ 、H ₂ S、 Fe ²⁺ 、NH ₃ 或 NO ₂ ⁻	硝化细菌、硫化细菌、 铁细菌、氢细菌等
化能异养型 (化能有机营养型)	(氧化) 有机物	有机物	有机物	绝大多数原核生物, 全部真菌和原生动物

6.3 化能自养微生物的能量来源于（）。

- ☐ A 有机物
- ☒ B 还原态无机化合物
- ☐ C 氧化态无机化合物
- ☐ D 日光

提交

6.4 硝化细菌属于（）型的微生物。

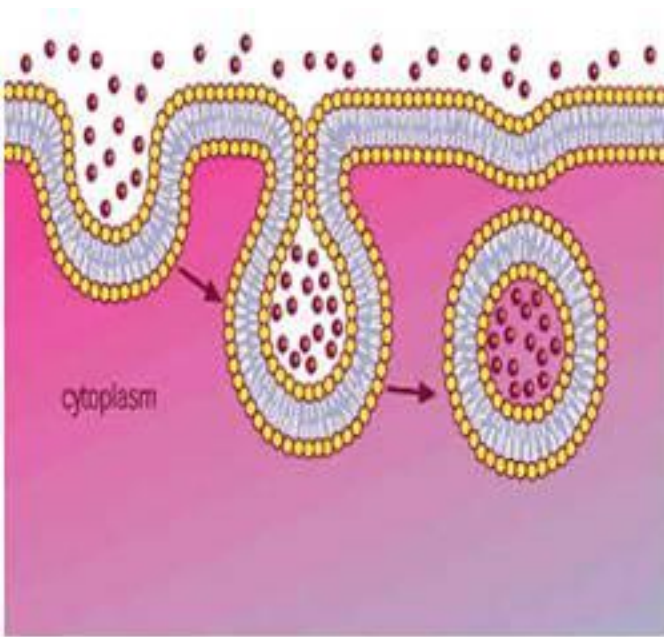
- ☐ A 光能自养
- ☐ B 光能异养
- ☒ C 化能自养
- ☐ D 化能异养

提交

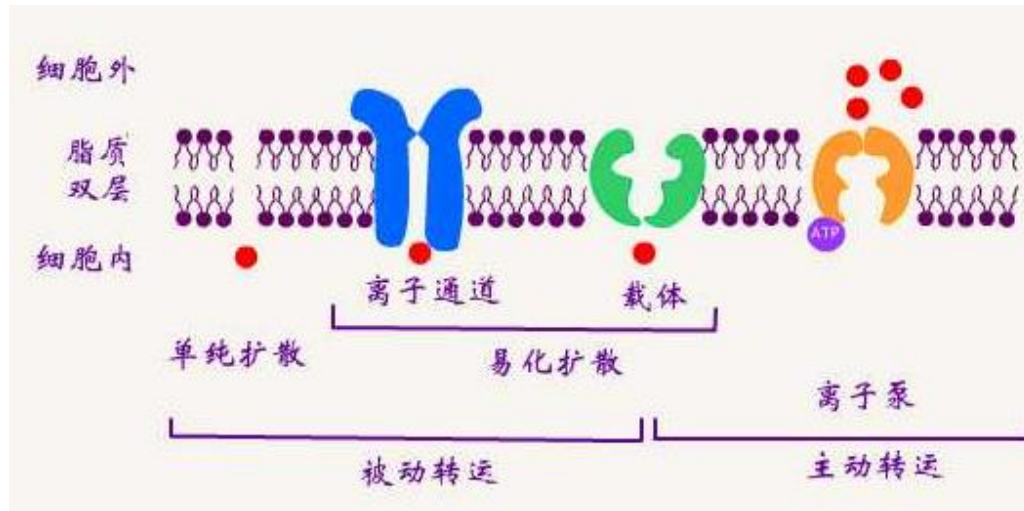
3、微生物如何摄取营养？

第三节 微生物摄取营养的方式

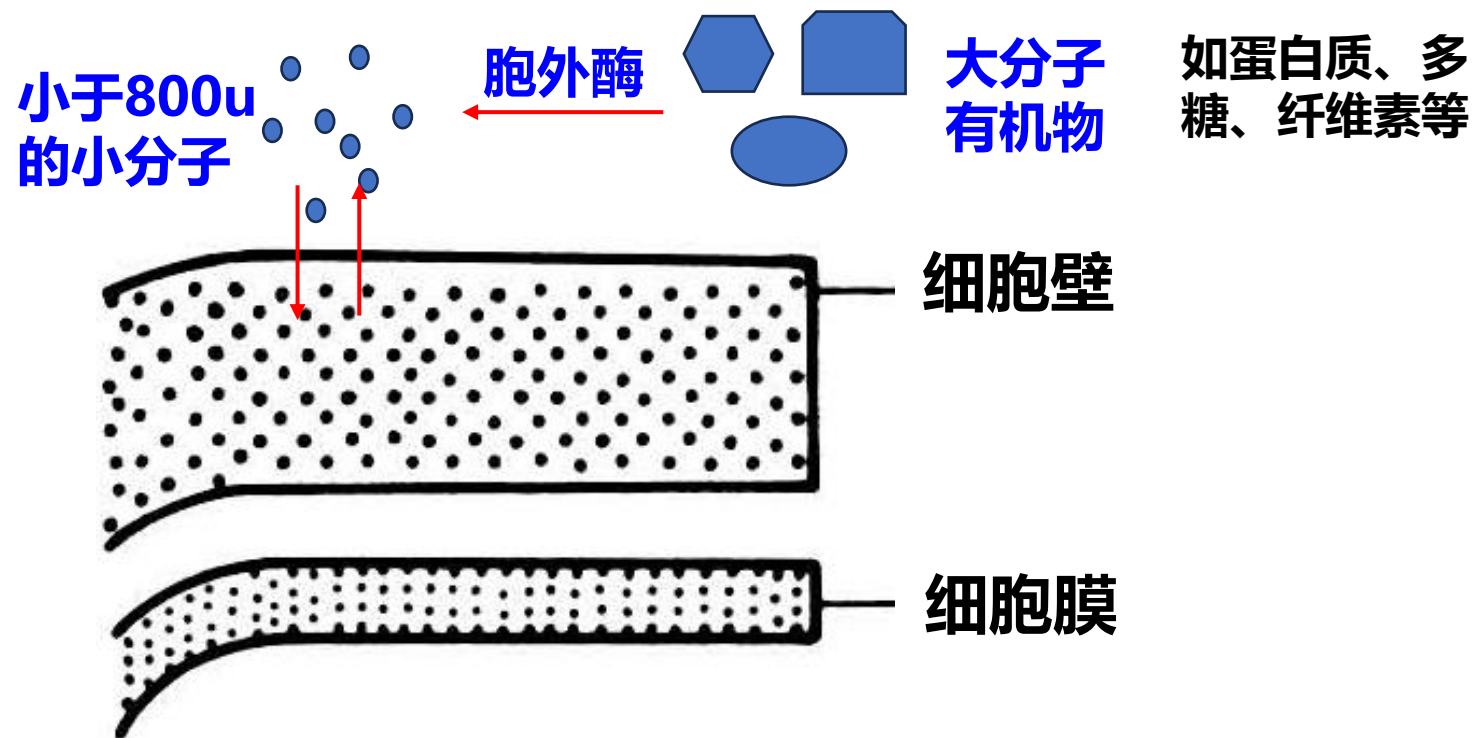
微生物摄取营养物质主要有：



胞吞作用（原生动动物）

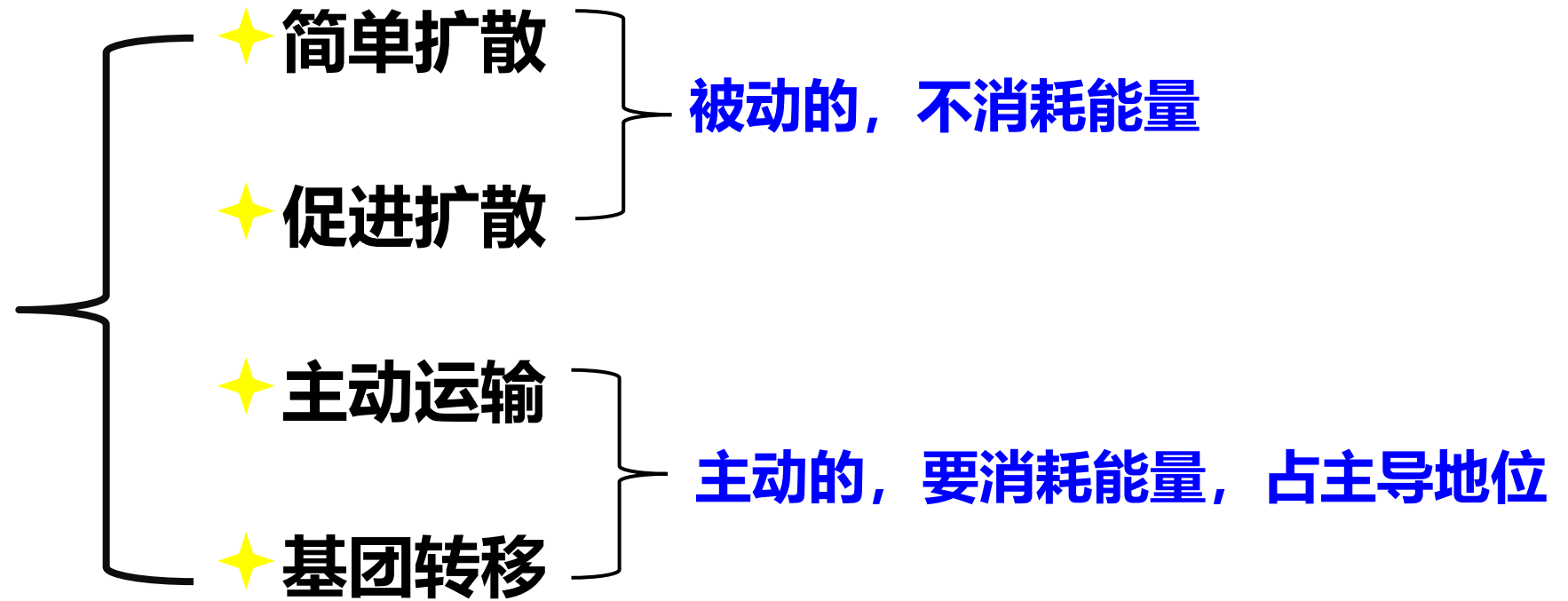


渗透吸收（大多数微生物）

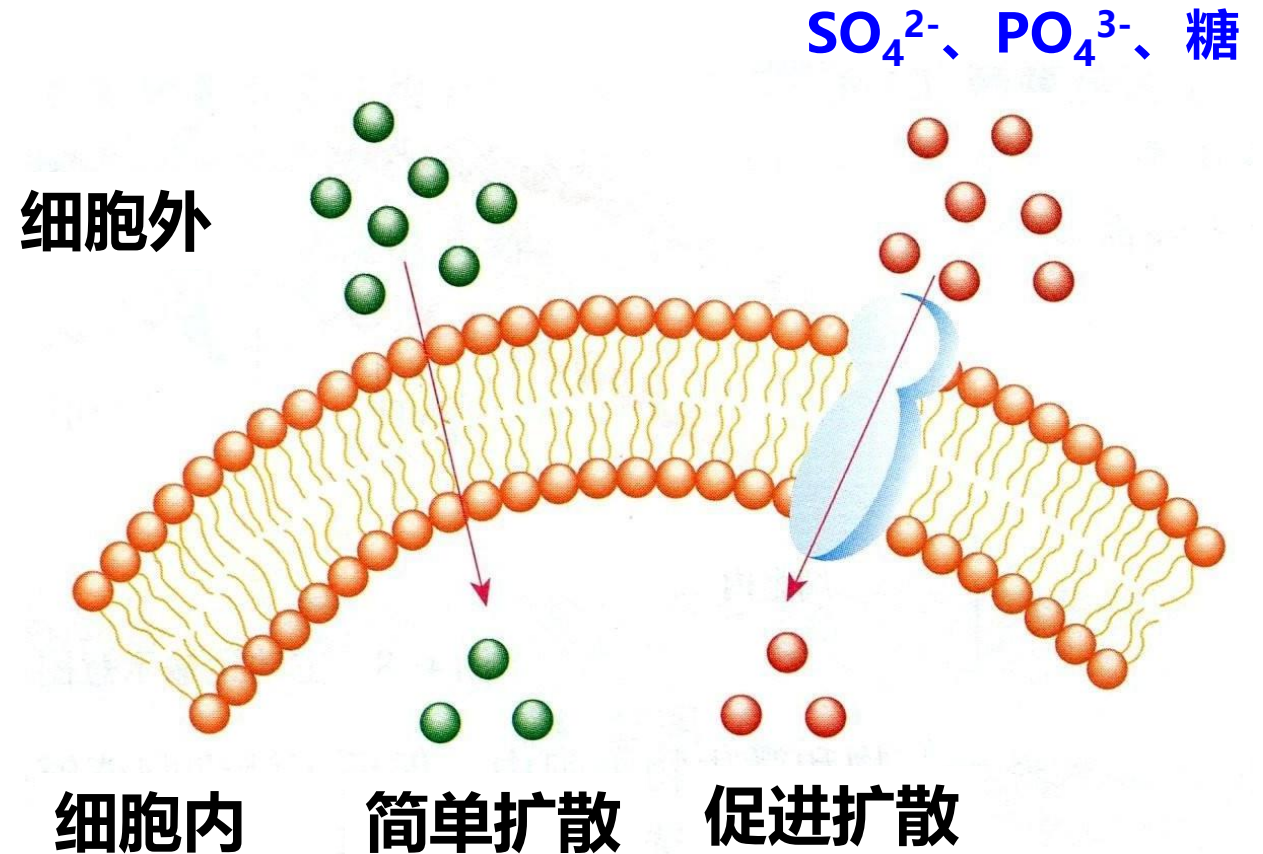
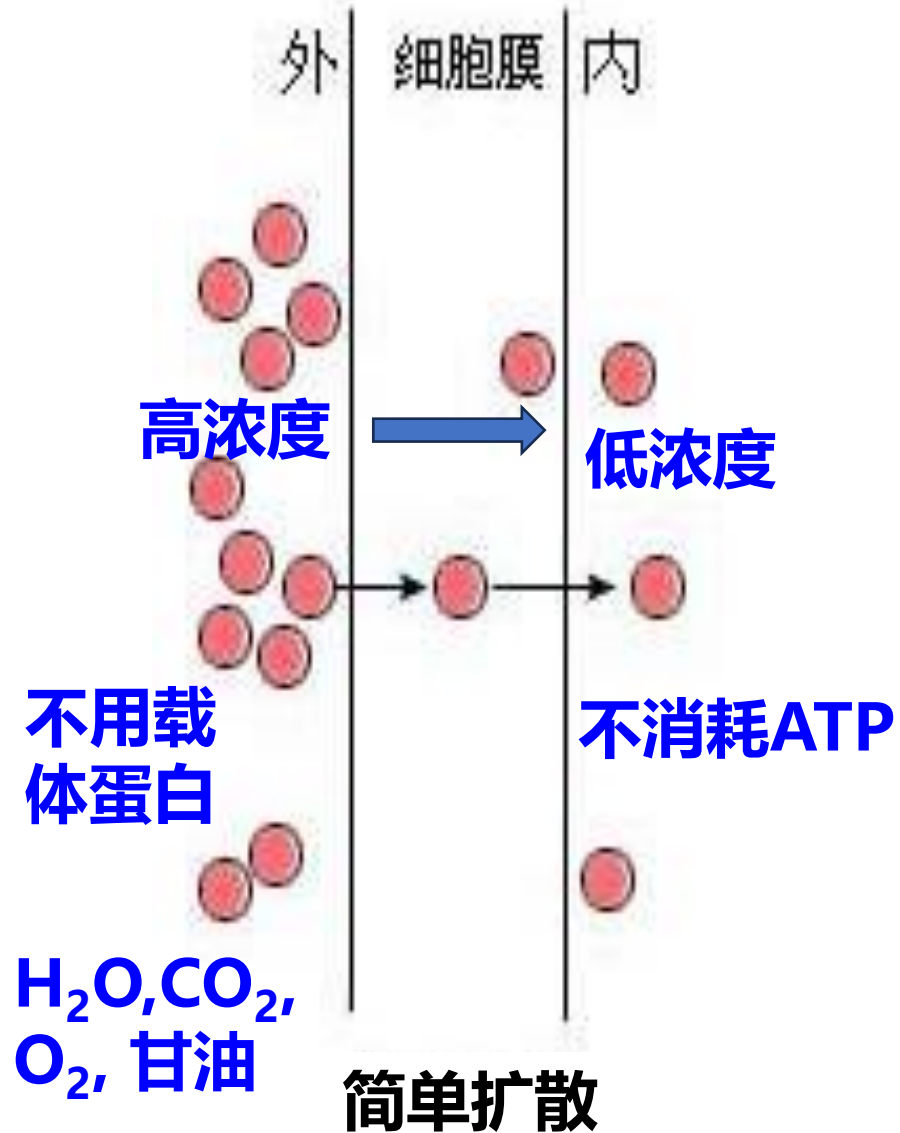


渗透吸收

★ 各种营养物质直接通过细胞膜的渗透和选择性吸收进入细胞。



简单扩散与促进扩散

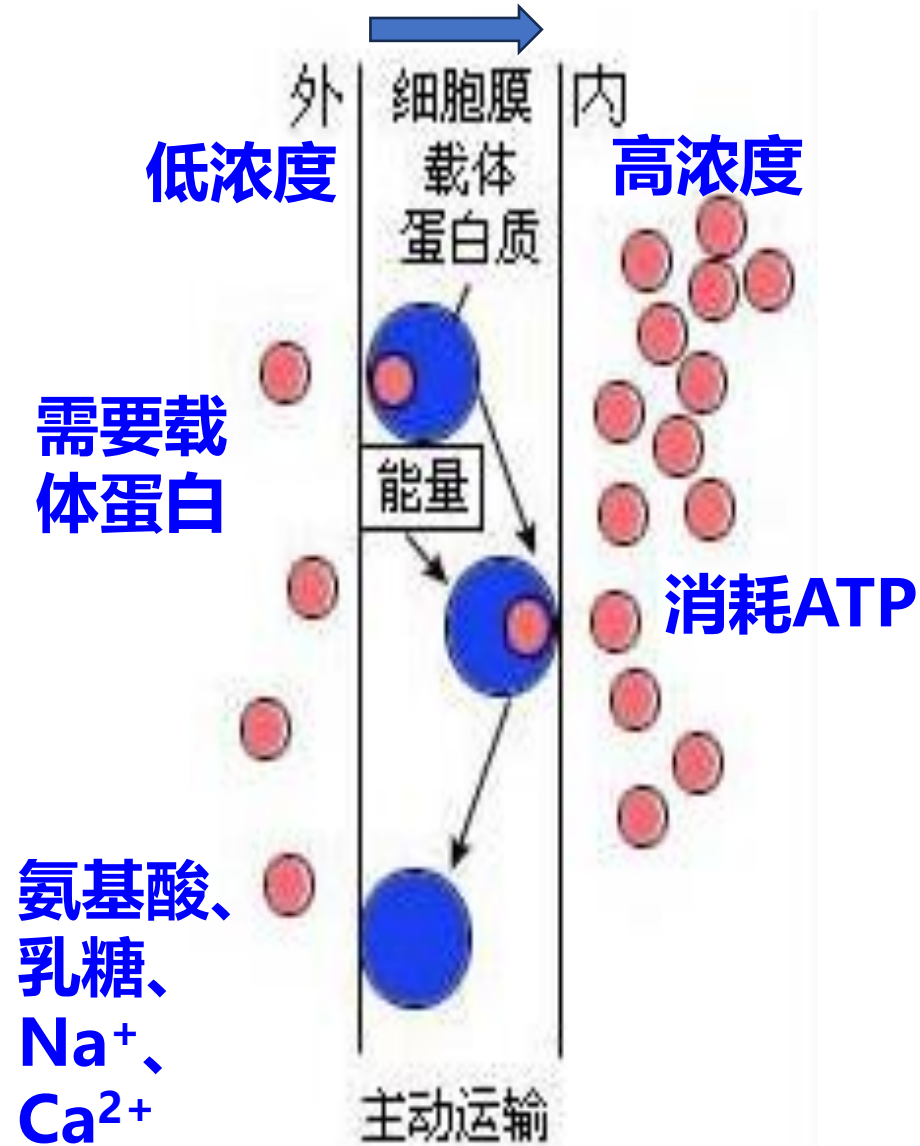


简单扩散与促进扩散的主要区别：促进扩散需要载体蛋白的参与。

促进扩散 (facilitated diffusion)



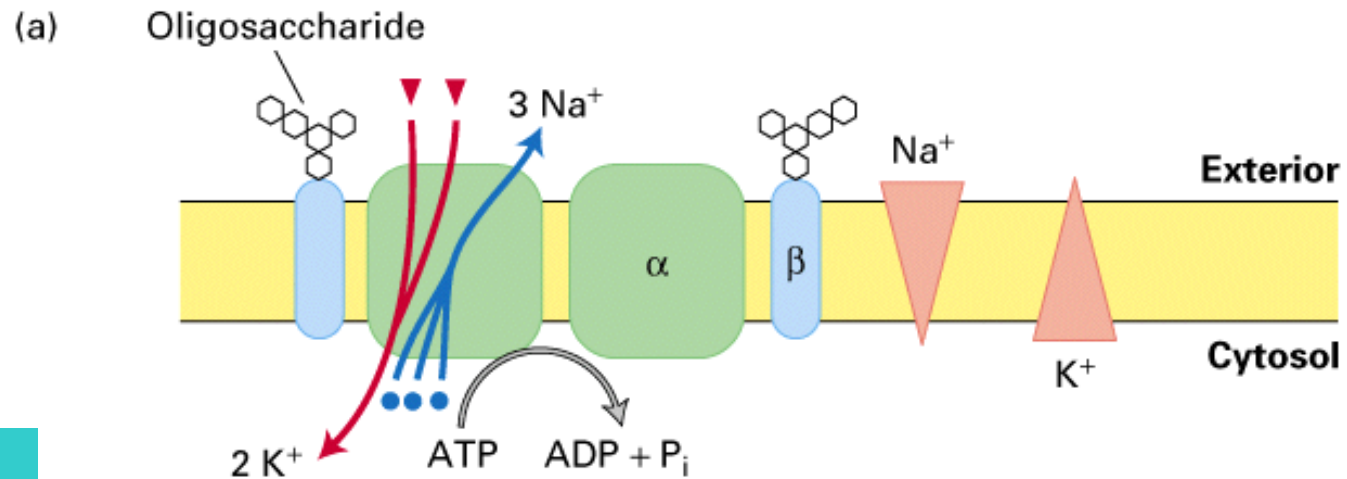
主动运输 (active transport)



主动运输典型案例

细胞外

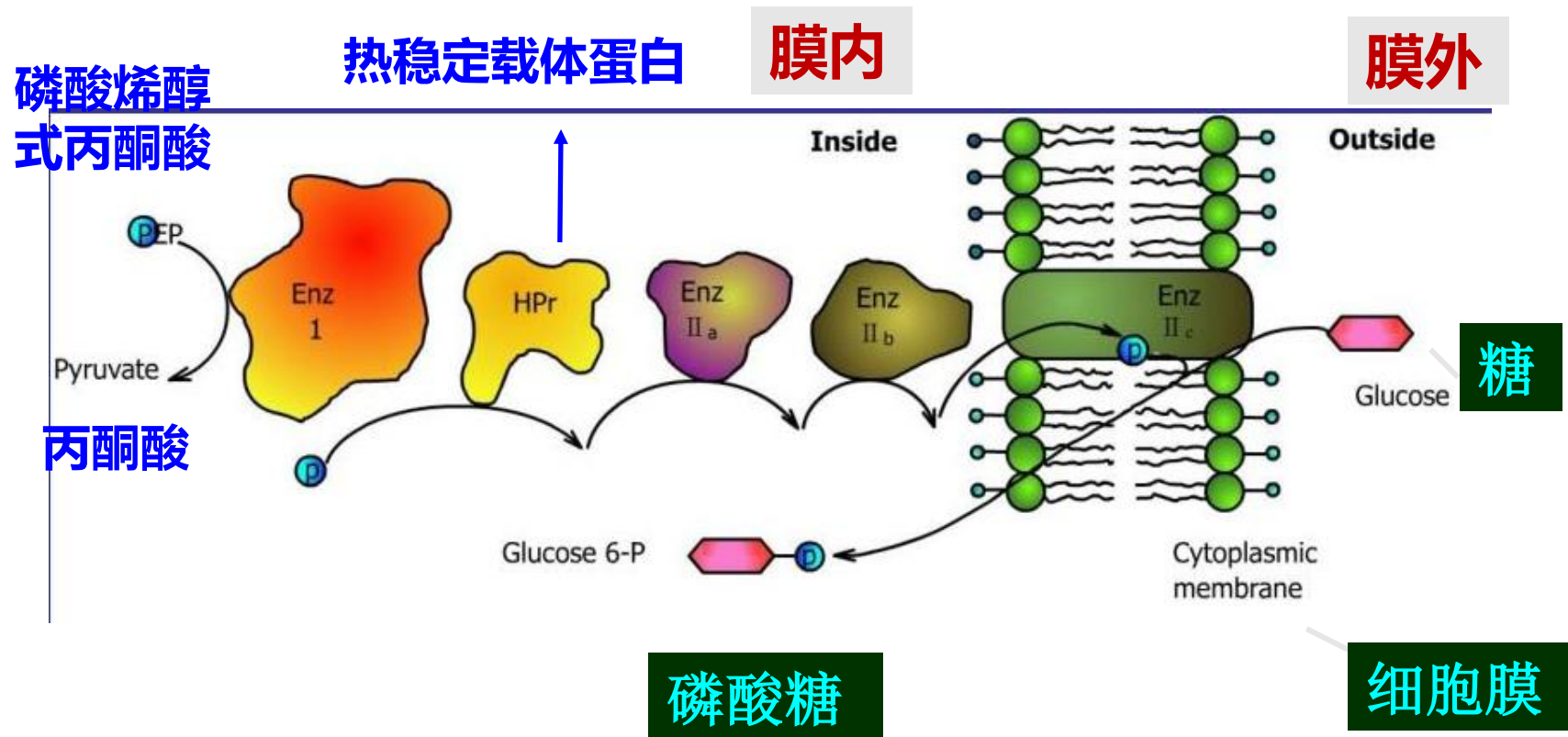
细胞内



钠钾泵（排Na⁺吸K⁺）

基团转移 (group translocation)

溶质在运输前后发生分子结构的变化



大肠杆菌磷酸转移酶系统 (PTS)

基团转移 (group translocation)



基团转移的特点

- 既需要载体蛋白又需要消耗能量的物质运输方式。
- 有一个复杂的运输酶系统来完成物质的运输，底物在运输过程中发生化学结构变化。
- 主要用于糖的运输以及脂肪酸、核苷、碱基等物质的运输。
- 主要存在于厌氧细菌和兼性厌氧细菌中。

四种运输方式的比较

运输方式	浓度梯度	载体	消耗能量	运输物质	说明
简单扩散	高→低	无	不	①水②气体③甘油④某些离子	不是微生物吸收营养物质的主要方式
促进扩散	高→低	有	不	①AA②糖③维生素④无机盐	主要存在真核微生物中
主动运输	低→高	有	消耗	①糖②AA③某些阳离子	好氧菌的主要运输方式
基团转位	低→高	有	消耗	①糖②核苷③脂肪酸	主要存在厌氧菌和兼性厌氧菌中

6.5 被运输物质进入细胞前后物质结构发生变化的是（ ）。

- ☐ A 主动运输
- ☐ B 简单扩散
- ☐ C 促进扩散
- ☒ D 基团转位

提交

4、我们如何给微生物提供合适的营养？

第四节 培养基

培养基是人工配制的，适合微生物生长繁殖或产生代谢产物的营养基质。

任何培养基都应该具备微生物生长所需要五大营养要素，且其比例必须合适。

碳源、氮源、矿质元素、生长因子、水

培养基配制应遵循的原则

目的明确

营养物浓度和比例协调 (C/N)

物理化学条件合适 (水活度、pH、氧化还原电势)

灭菌处理

经济节约

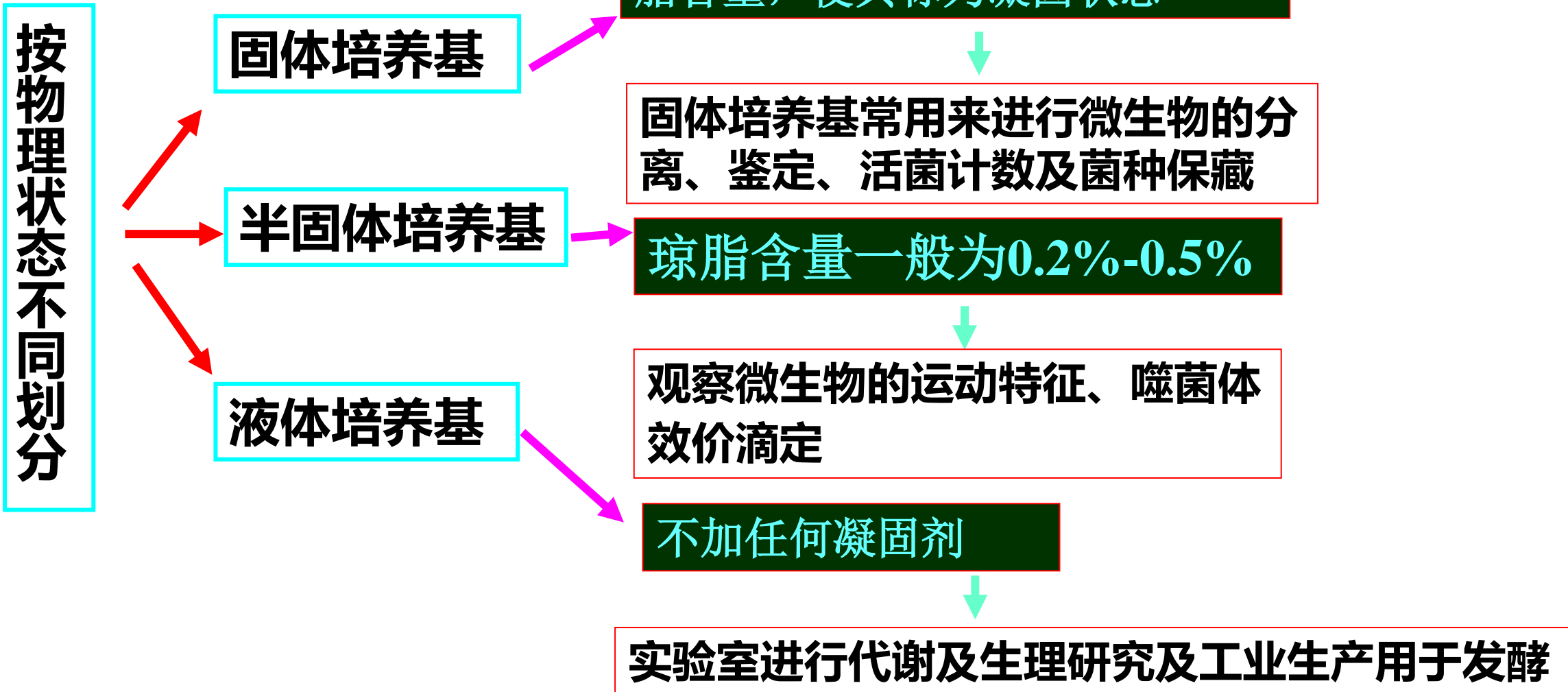
细菌的最适pH为6.5-7.5 (中性) ;

放线菌为7.5-8.5 (碱性) ;

酵母菌为3.8-6.0 (酸性) ;

霉菌为4.0-5.8 (酸性)

培养基的类型



培养基的类型

按成分不同划分

复合培养基

含有化学成分还不清楚或化学成分不恒定的天然有机物

细菌（牛肉膏蛋白胨培养基）：

牛肉膏 5 g 蛋白胨 10 g NaCl 5 g H₂O 1000 ml

半合成培养基

部分天然材料和部分纯化学试剂组成

马铃薯蔗糖培养基（PDA培养基）：

马铃薯 200 g 蔗糖 20 g H₂O 1000 ml。

合成培养基

化学成分完全了解的物质配制而成的培养基

放线菌（高氏1号）

淀粉 20 g K₂HPO₄ 0.5 g NaCl 0.5 g MgSO₄·7H₂O 0.5 g
KNO₃ 1 g FeSO₄ 0.01 g H₂O 1000 ml

按用途不同划分

选择培养基

鉴别培养基

选择培养基

是根据某种微生物生长的**特殊要求**或对某些化学、物理因素的**抗性**而设计的培养基。

用缺乏氮源的选择培养基可以用来分离固氮微生物；利用以蛋白质为唯一氮源的选择培养基可以分离产胞外蛋白酶的微生物（**利用待分离对象对某种营养物的“嗜好”**。）。。

培养基中加入某种化学物质，这种化学物质没有营养作用，对所需分离的微生物无害，但可以抑制或杀死其他微生物。如结晶紫、抗生素等（**利用待分离对象对某抑菌物质的抗性**）。。

鉴别培养基

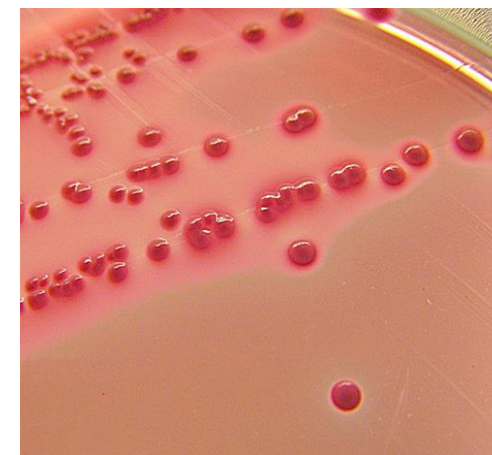
在培养基中加入能与**目的菌的无色代谢产物**发生明显**显色反应**的**指示剂**，从而达到只需肉眼就能方便地从近似菌落中找出目的菌落的培养基。

伊红美蓝乳糖培养基 (EMB培养基)

蛋白胨	(g) 10.0
乳糖	10.0
伊红Y	0.4
美蓝	0.065
磷酸氢二钾 (K_2HPO_4)	2.0
琼脂	15.0

最终pH为7.2

伊红和美蓝可抑制G⁺细菌，在低酸度下，两者结合并形成沉淀，起着产酸指示剂的作用。

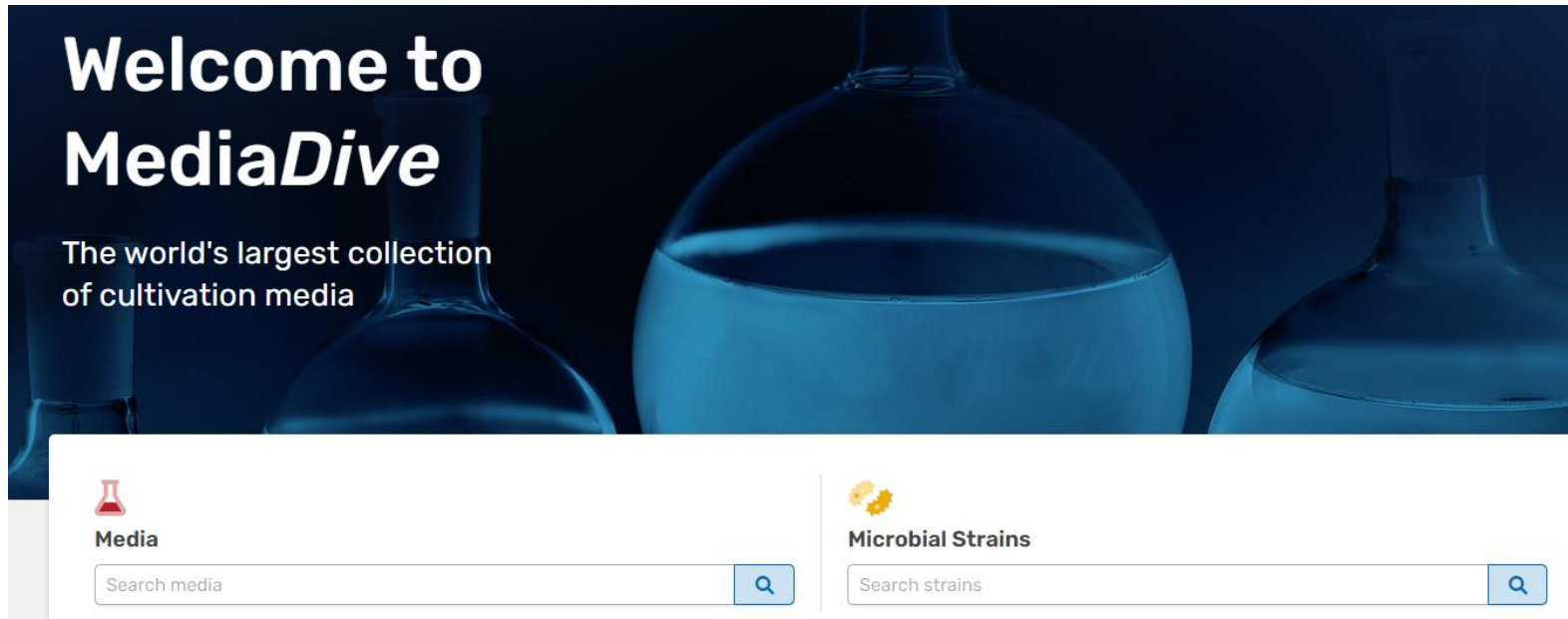


质控菌株	生长情况	菌落颜色	金属光泽
大肠杆菌	好 - 很好	黑色	+
大肠杆菌 JM109	好 - 很好	黑色	+
大肠杆菌 DH5 α	好 - 很好	黑色	+
金黄色葡萄球菌	不长 - 差	无色	-
沙门氏菌	好 - 很好	无	-
粪大肠菌群	好 - 很好	红色	-
志贺氏菌	好 - 很好	无色	-

培养基配方网站

DSMZ数据库：

<https://mediadive.dsmz.de/?id=441>



包含约23000菌种的约1300种培养基

6.6 下列培养基中（）是合成培养基

- ☐ A 牛肉膏蛋白胨培养基
- ☐ B 马铃薯培养基
- ☒ C 高氏一号培养基
- ☐ D 马丁氏培养基

提交

6.7 固体培养基的琼脂含量一般为（ ）。

☐ A 0.5%

☒ B 1.5%

☐ C 2.5%

☐ D 5%

提交

6.8 一般细菌适宜的生长pH为（ ）。

☐ A 5.0-6.0

☐ B 3.0-4.0

☐ C 8.0-9.0

☒ D 7.0-7.5

提交

小结:

1、微生物需要的营养物质有哪些？

六大类：水、碳源、氮源、矿质元素、生长因子和氧

2、微生物的营养类型有哪些？

光能自养、光能异养、化能自养、化能异养

3、微生物如何摄取营养？

渗透吸收：简单扩散、促进扩散、主动运输、基团转位

4、我们如何给微生物提供合适的营养？

培养基的类型（物理状态、化学成分、功能）

思考题

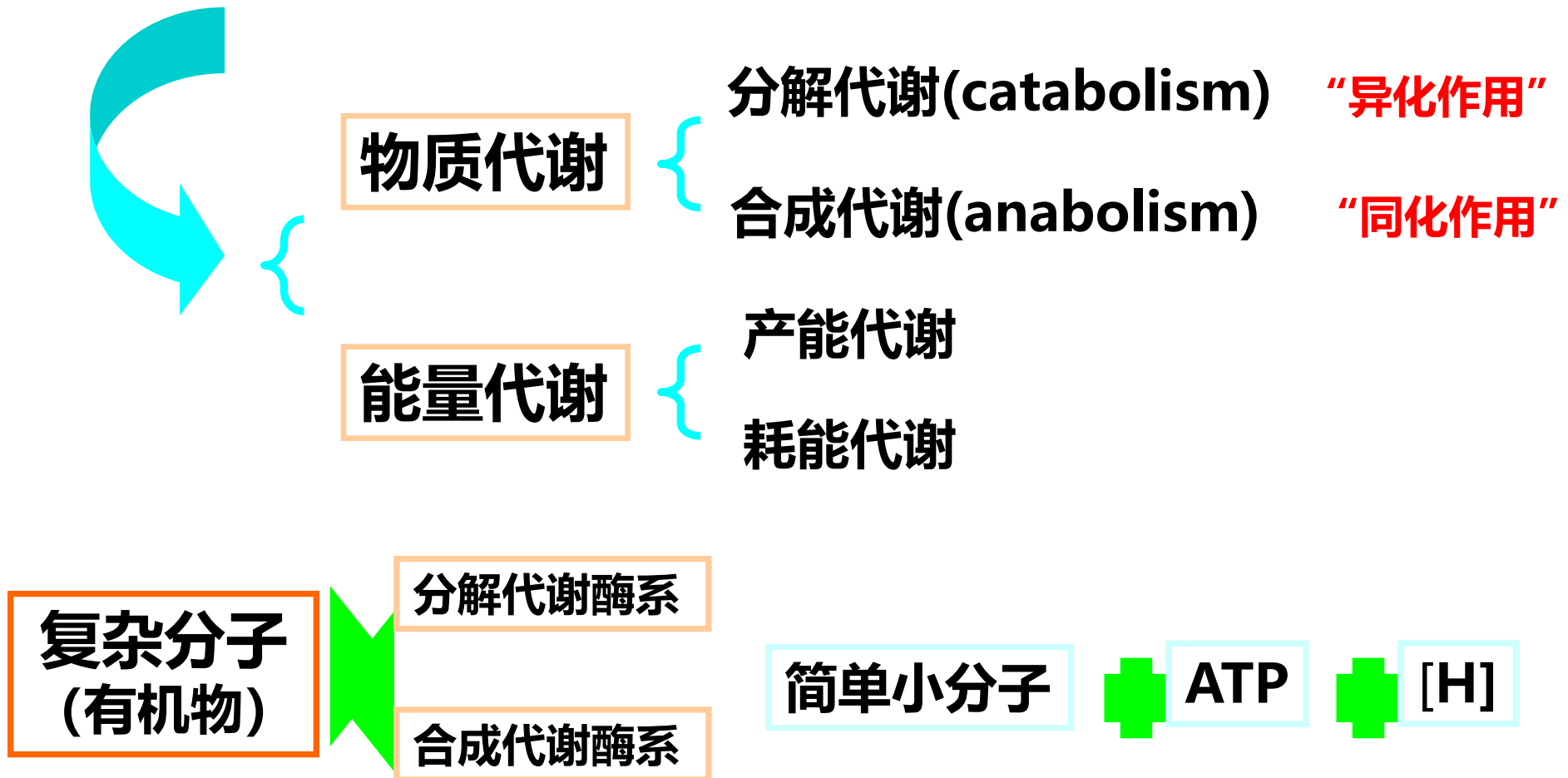
- 1、说出微生物的四种营养类型。各举出几个代表菌种，说明其能量来源、碳源、氢或电子供体。
- 2、根据所学知识设计合适培养基将土壤样品中的**大肠杆菌**、**苏云金芽胞杆菌**、**霉菌**和**自生固氮菌**分离，获得纯培养。

提交截止日期为：6月16日23:30

5、微生物的能量代谢（合成ATP的途径，产生能量的方式）

第五节 微生物的能量代谢

代谢 (metabolism) : 活细胞内发生的各种化学反应的总和



能量代谢是一切生物代谢的核心问题

最初能源

有机物

还原态
无机物

日光

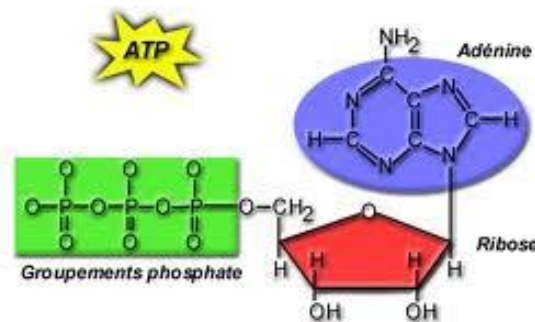
化能异养微生物

化能自养微生物

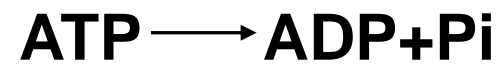
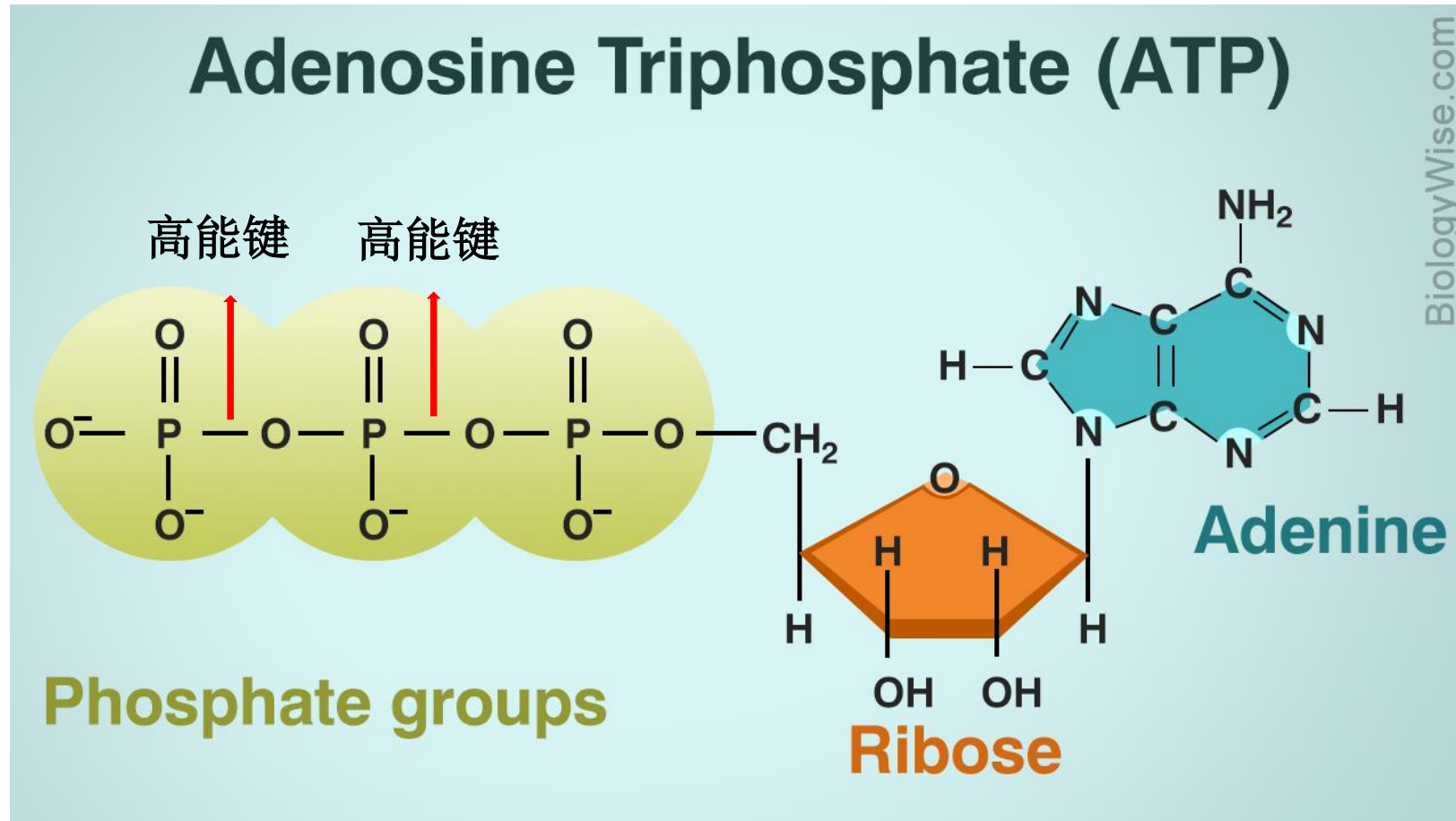
光能营养微生物

通用能源

高能化合物
(ATP)



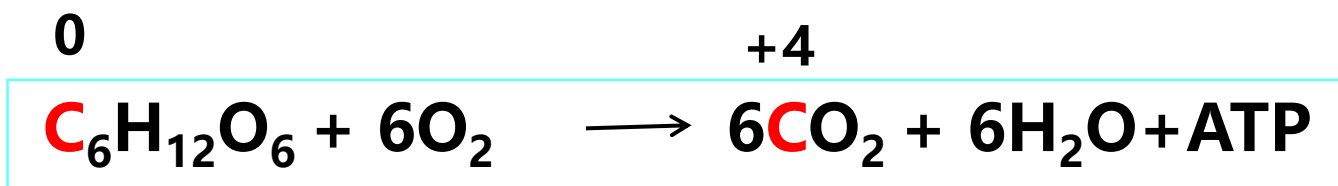
ATP的结构



能量转换通常涉及到氧化还原反应

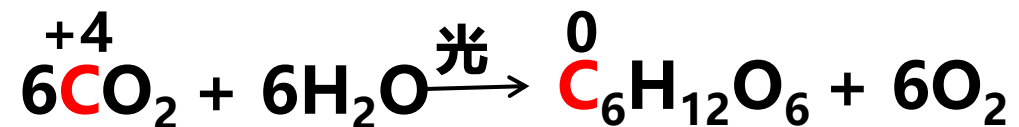
氧化(oxidation):

指物质失去电子（化合价升高）的过程，伴随着脱氢或加氧的过程。



还原(reduction):

指物质获得电子（化合价降低），可能伴随着加氢或脱氧



一、ATP产生的主要方式

1 底物水平磷酸化

2 氧化磷酸化

3 光合磷酸化

1、底物水平磷酸化

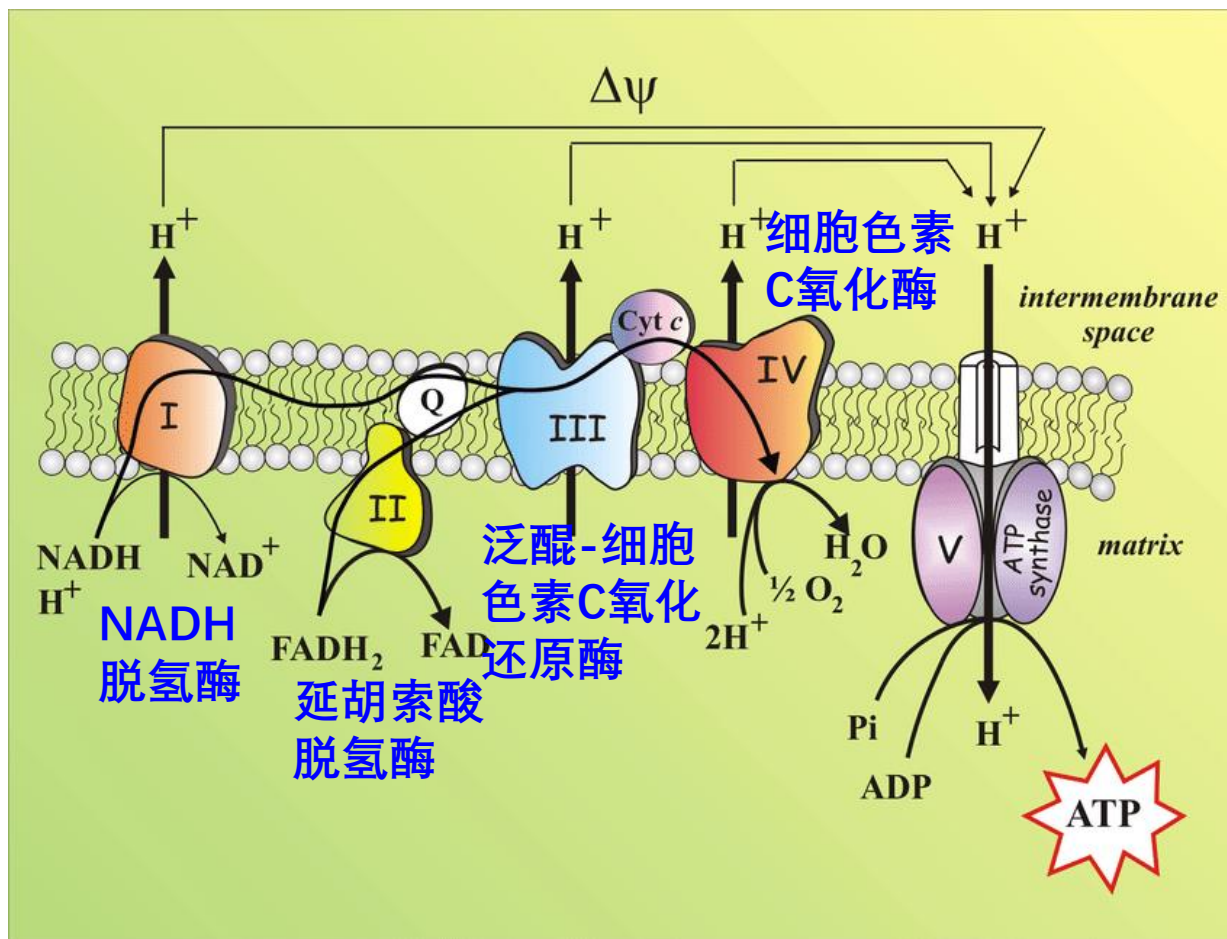


定义：含有高能键的化合物可直接偶联ATP或GTP的合成，这种产生ATP等高能分子的方式称为**底物水平磷酸**。

特点：不需要氧，不经过呼吸链，ATP在酶促反应中生成，是微生物发酵过程中唯一的产能方式。

2、氧化磷酸化

物质氧化产生的
质子和电子



在氢或电子的传递过程中，通过与氧化磷酸化相偶联，造成一个跨膜质子动势，进而推动了ATP的合成。

底物氧化脱下的[H]和电子 → NAD (P) → FP (黄素蛋白) → Fe-S (铁硫蛋白)

O₂ ← Cyta3 ← Cyta ← Cytc ← Cytb ← CoQ (辅酶Q)

氧化磷酸化

定义： 又称电子传递链磷酸化，是指通过**呼吸链**产生ATP的过程。

氧化磷酸化生物效率： $2\text{H}^+ + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + 3\text{ATP}$

用P/O比表示：表示每消耗一个O原子所形成的ATP数，一对电子从NADH传递到一个O原子，P/O为3。

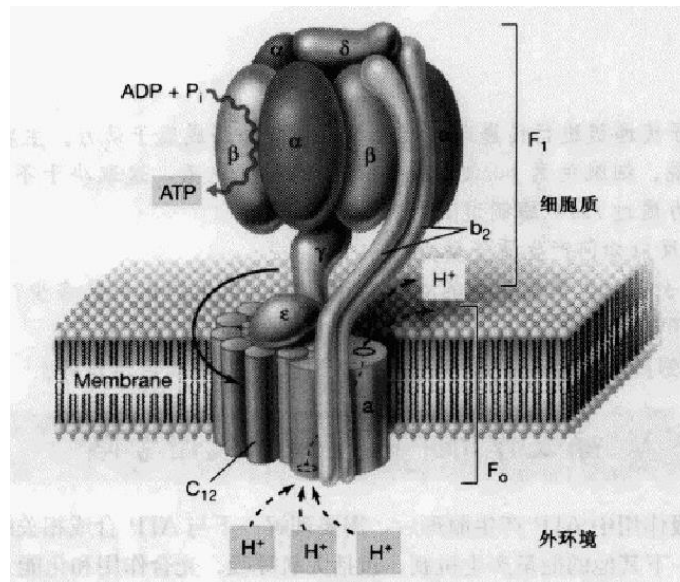
氧化磷酸化形成ATP的机制：化学渗透学说

质子动力-水位差

ATP合酶-水轮发动机

ATP-充足了电的蓄电池

H^+
↓
呼吸链
相关酶



膜内

↑
ATP合酶

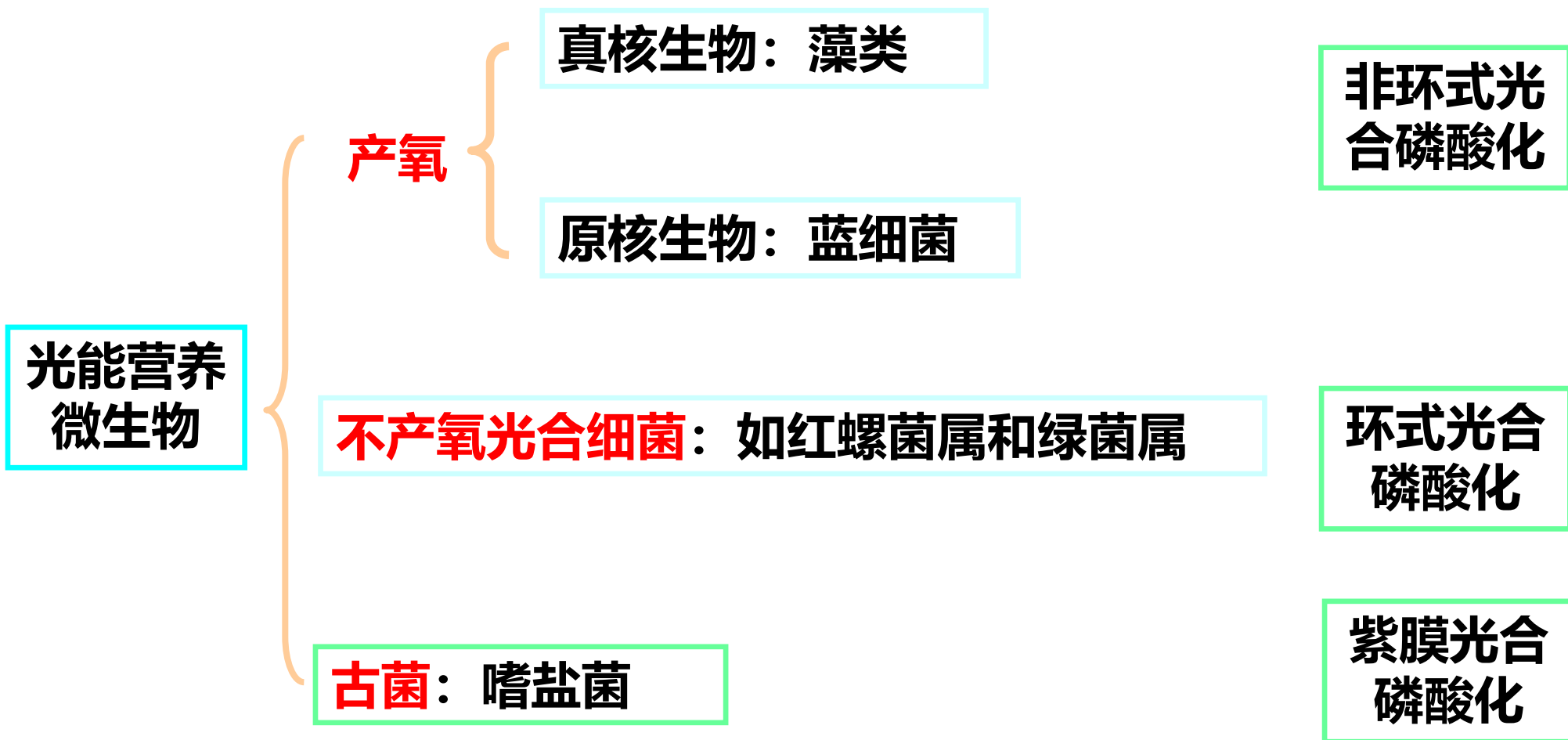
H^+
膜外

呼吸链有关酶系将底物上的质子从膜的内侧传递到外侧，膜内外两侧形成质子动力差

ATP合酶可把质子从膜外侧重新输回膜内侧，在消除质子的同时合成ATP。

3、光合磷酸化

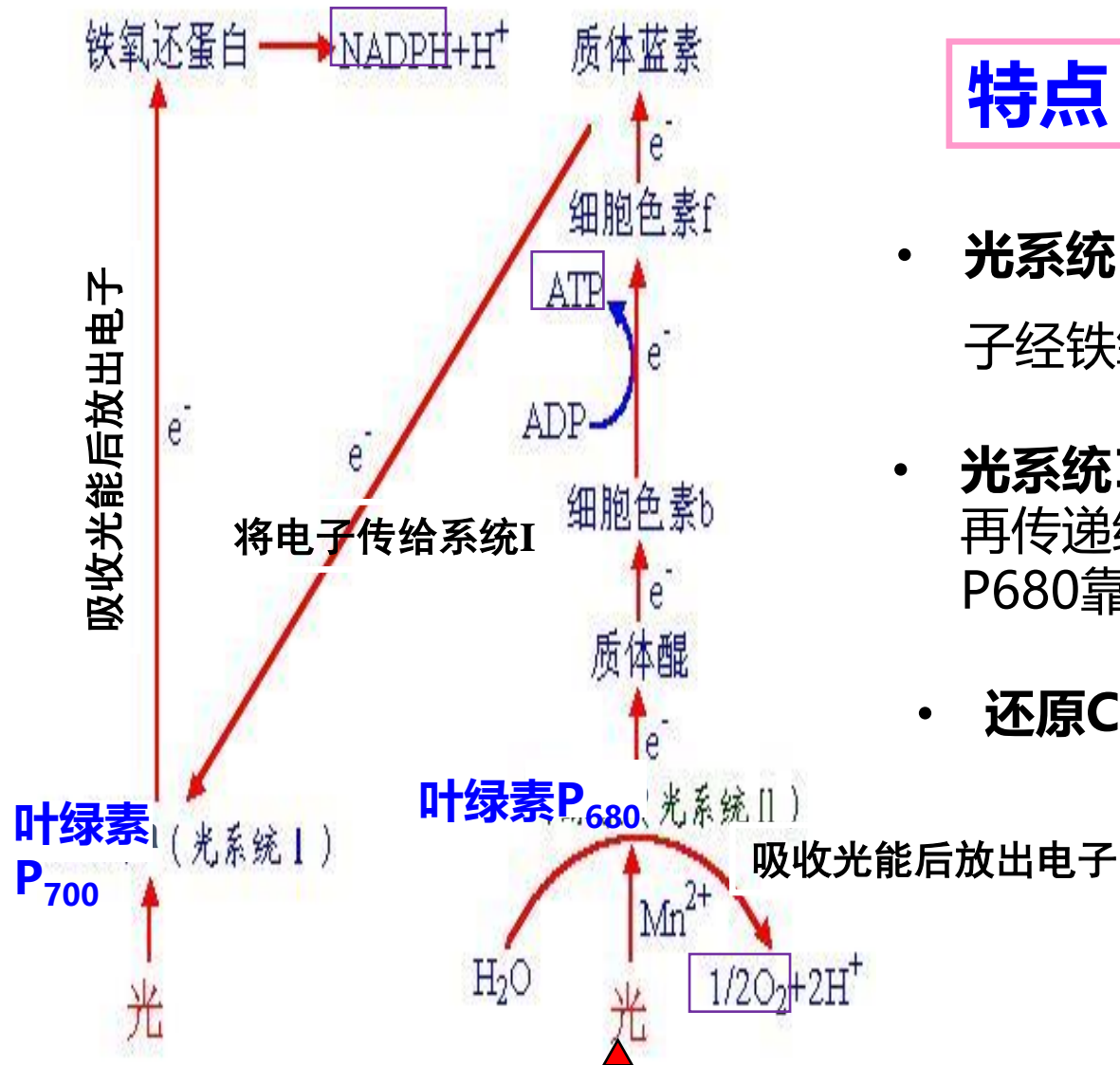
由光照引起的电子传递作用与磷酸化作用相偶联而生成ATP的过程，
即将光能转化为化学能的过程。



1、非环式光合磷酸化

特点:

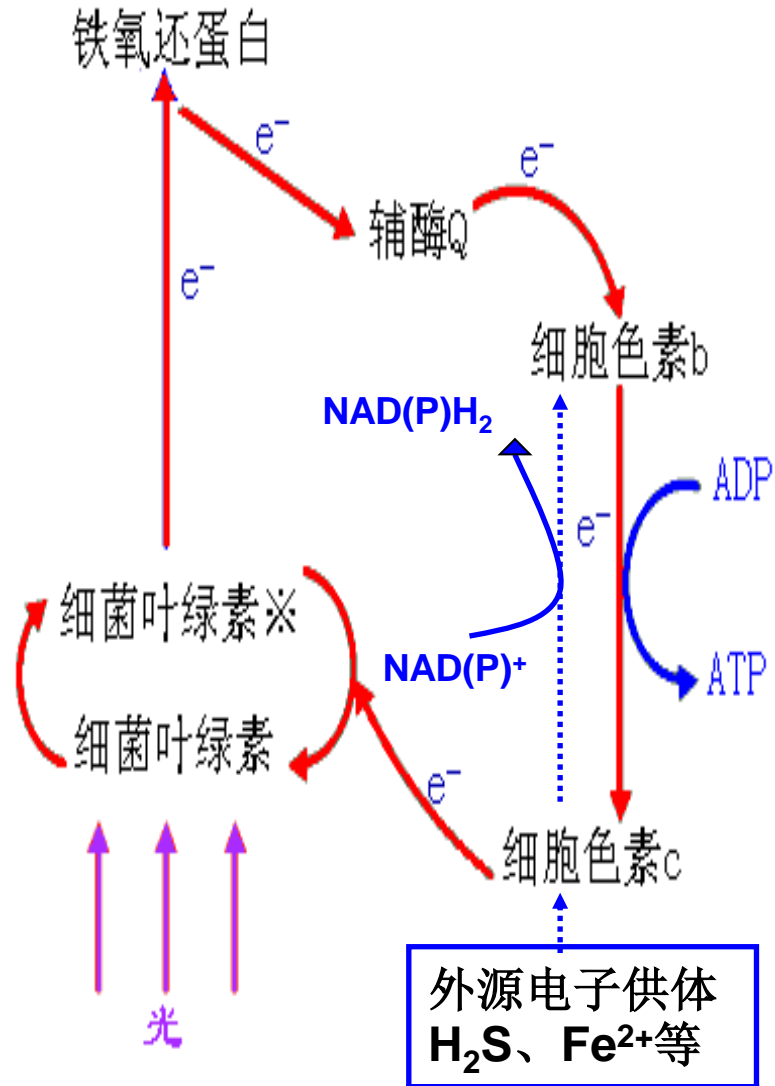
- **光系统I**为叶绿素P700，吸收光能后放出电子，电子经铁氧还蛋白将 NADP^+ 还原为 $\text{NADPH} + \text{H}^+$
- **光系统II**为叶绿素P680，经质体醌、细胞色素等再传递给叶绿素P700，使P700还原，失去电子的P680靠水的光解产生的电子来补充
- 还原 CO_2 的电子来自水的光解，并有氧气释放。



2、环式光合磷酸化

特点:

- 菌绿素吸收光能后释放出高能电子，电子经铁氧还蛋白、辅酶Q、细胞色素b和细胞色素C，再返回到带正电荷的菌绿素分子。
- 在电子传递过程中产生ATP。还原 CO_2 的电子来自 H_2S 、 H_2 等，无氧气释放。



3、嗜盐菌紫膜的光合作用

一种只有嗜盐菌才有的，**无叶绿素或细菌叶绿素参与的**独特的光合作用。



- 当光照时，视黄醛放出 H^+ 到细胞膜外，然后又从细胞内获得 H^+ ；光照后排出，如此反复，形成质子梯度，
- 当膜外的 H^+ 通过 H^+ -ATP酶返回时，合成ATP。

紫膜的光合磷酸化是迄今为止所发现的最简单的光合磷酸化反应

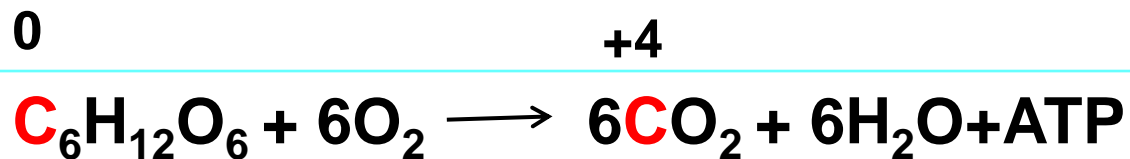
6.9 ATP或GTP的生成与高能化合物的酶催化转换相偶联的产能方式是（）。

- ☐ A 光合磷酸化
- ☒ B 底物水平磷酸化
- ☐ C 氧化磷酸化
- ☐ D 化学渗透假说

提交

二、微生物细胞中能量的释放和利用

生物氧化：物质在生物体内经过一系列连续的氧化还原反应逐步分解并放出能量的过程。



**生物氧化
的形式**

某物质与氧结合
脱 氢
失去电子

**生物氧化
的过程**

脱氢 (或电子)
递氢 (或电子)
受氢 (或电子)

**生物氧化
的功能**

产能 (ATP)
产还原力[H]
产小分子
中间代谢物

**生物氧化
的类型**

有氧呼吸
无氧呼吸
发 酵

有氧呼吸、无氧呼吸和发酵过程示意图

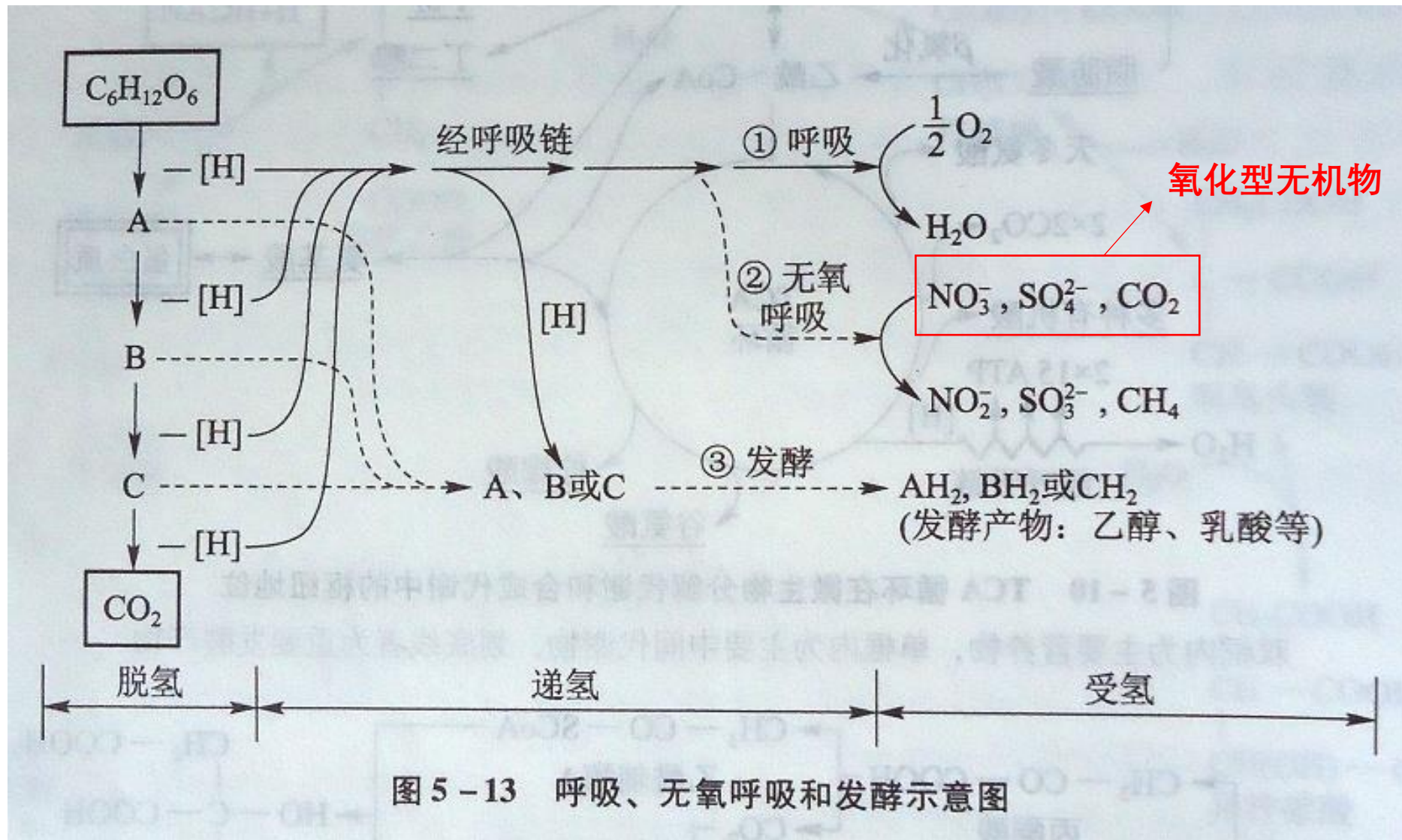


图 5-13 呼吸、无氧呼吸和发酵示意图

微生物产生能量的方式：

最终电子受体性质不同

发酵

不需要外源电子受体，底物脱下的[H]直接交给中间代谢产物

有氧呼吸

以分子氧作为最终电子受体

无氧呼吸

以氧化态无机物 (NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2) 作为最终电子受体

6.10 厌氧呼吸的最终电子受体是（）。

- ☐ A 还原型无机化合物
- ☒ B 氧化型无机化合物
- ☐ C 某些有机化合物

提交

6.11 下列代谢方式中，能量获得最有效的方式是（）。

- ☐ A 发酵
- ☒ B 好氧呼吸
- ☐ C 厌氧呼吸
- ☐ D 化能自养

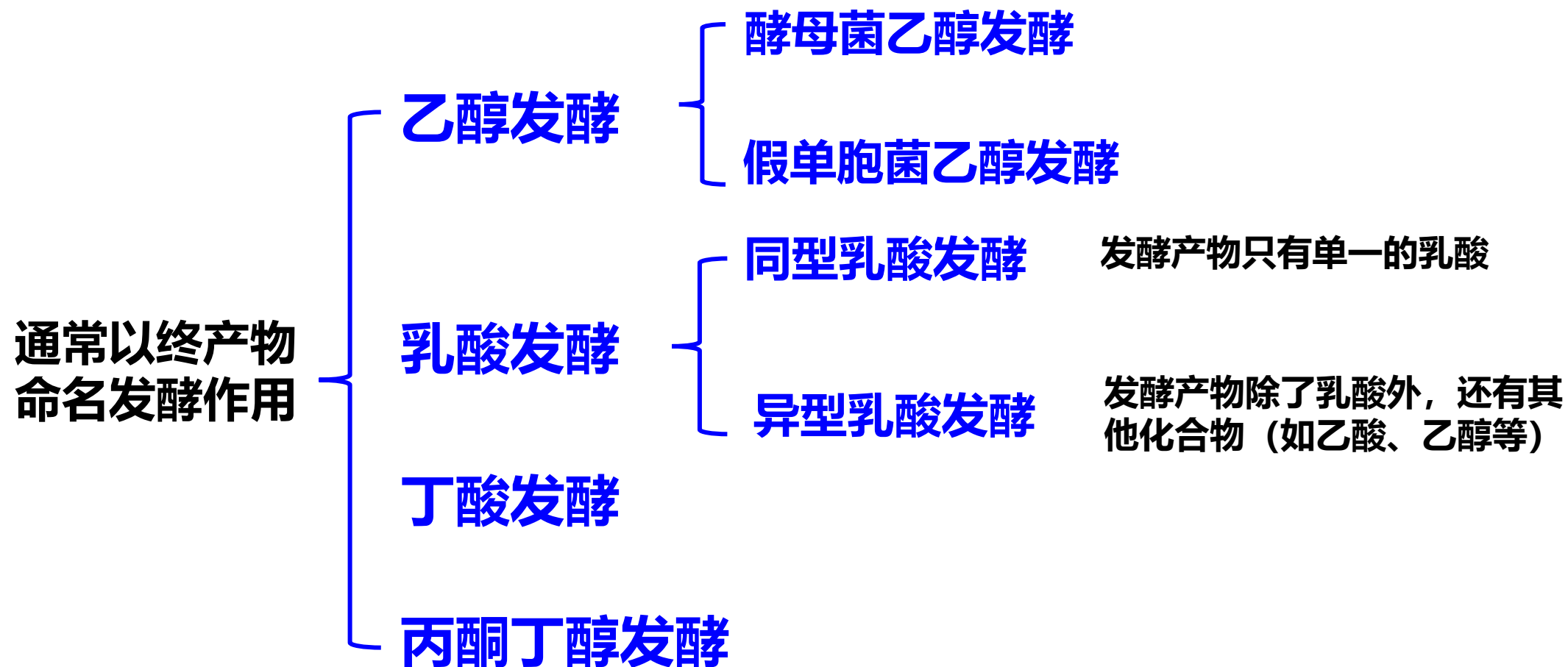
提交

1、发酵作用

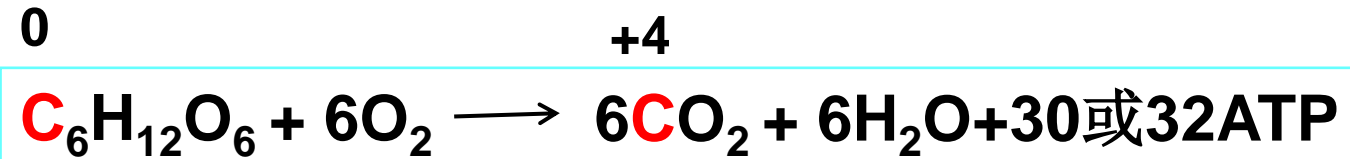
磷酸烯醇式丙酮酸+ADP → ATP + 丙酮酸（底物水平磷酸化）



- ①**产能方式**：底物水平磷酸化产生ATP。
- ②**电子受体**：底物形成的**中间产物**又作为受氢体接受氢形成新产物，不需氧气参加。
- ③**底物去向**：底物氧化不彻底，只释放部分能量。



2、有氧呼吸



Aerobic respiration :微生物氧化底物时以**分子氧作为最终电子受体**的氧化作用。它是一种最普遍又最重要的生物氧化或产能方式。

- **特点**: 有氧气存在, 底物氧化得彻底, 产能大。

3、无氧呼吸



✓ **Anaerobic respiration 无氧呼吸**：以氧以外的其他**氧化型化合物**作为最终电子受体的氧化作用。

➤ 可作为无氧呼吸电子受体的物质：

- NO_3^-
- NO_2^-
- SO_4^{2-}
- $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
- CO_2

➤ 能量生成效率低于有氧呼吸，如硫酸盐的异化还原。

兼性厌氧菌既能有氧呼吸，又能无氧呼吸，哪种情况更占优势呢？

巴斯德效应：

由于葡萄糖在有氧呼吸中产生的能量要比在发酵中产生的多，所以在有氧条件下，兼性厌氧微生物终止厌氧发酵而转向有氧呼吸，这种呼吸抑制发酵的现象称为巴斯德效应。

能量的消耗

- 生物合成 (能量利用的主要方面)
- 运动 (鞭毛运动)
- 营养运输 (主动运输)
- 生物发光 (藻类)
- 生物热 (青贮和堆肥)

微生物的能量代谢小结

1、微生物合成ATP的途径

底物水平磷酸化

氧化磷酸化

光合磷酸化

非环式光合磷酸化

环式光合磷酸化

紫膜光合磷酸化

2、根据最终电子受体性质的不同，微生物产生能量的方式有三种

发酵、有氧呼吸、无氧呼吸

6、微生物的分解代谢（己糖分解、丙酮酸代谢）

第六节 微生物的分解代谢

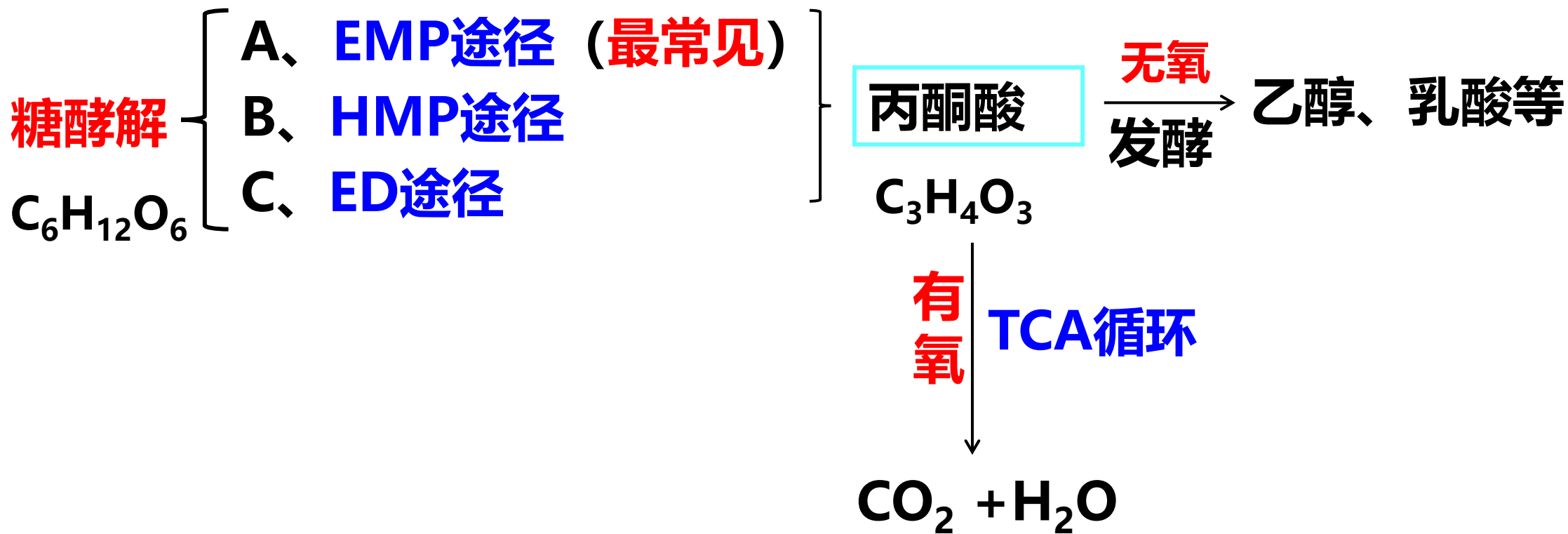
对于大多数异养微生物来说，**己糖是最重要的碳源和能源**，因此葡萄糖的分解代谢对微生物而言是最基本的。

一、己糖的分解

(一) 糖酵解和三羧酸循环 (TCA循环)

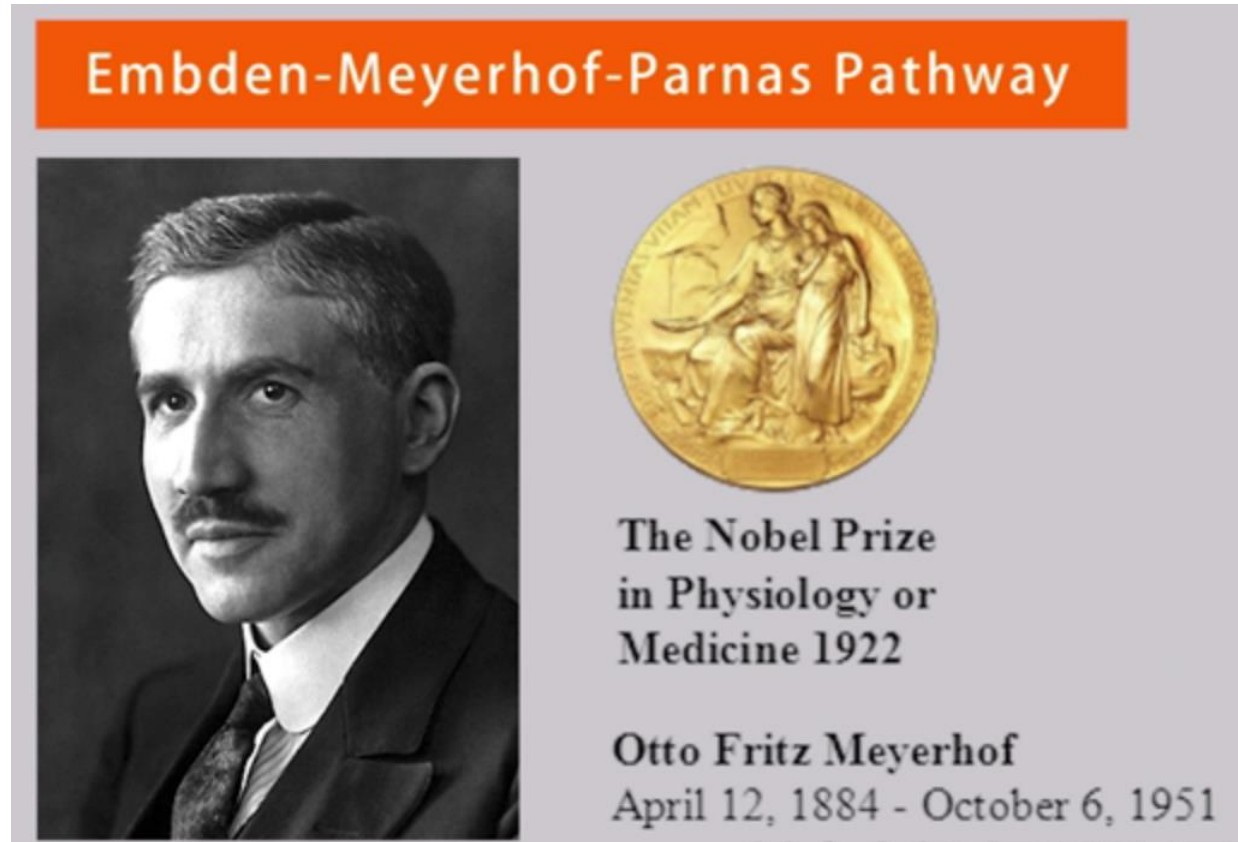


是葡萄糖在有氧条件下被彻底氧化成 CO_2 ，产生能量的途径。



A、EMP途径

又称磷酸己糖途径，埃姆登**E**mbden-迈耶霍夫**M**eyerhof-帕纳斯**P**arnas



奥托·福利滋·**迈耶霍夫**由于进一步揭示氧与乳酸代谢的机理获奖

EMP途径

2、发生氧化还原，形成4个ATP和两分子丙酮酸，2个NADH。

六碳阶段

葡萄糖
ATP
己糖激酶
ADP

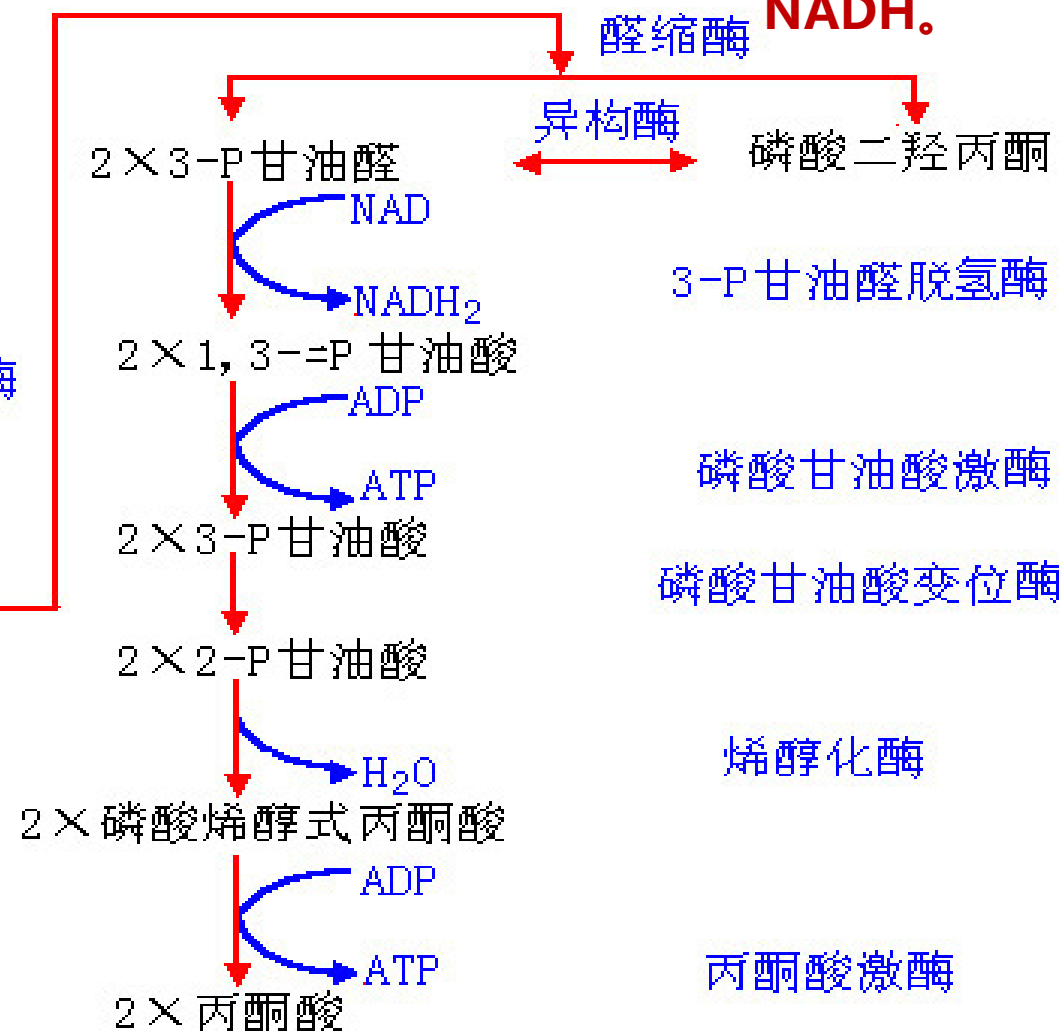
6-P 葡萄糖

6-P 果糖

ATP
磷酸己糖异构酶
ADP

1, 6-二P 果糖

1、不涉及氧化还原反应和能量释放的准备阶段，形成两分子三碳化合物。



三碳阶段

EMP途径特点

共10步，总反应式：



1、EMP途径为合成代谢提供了：

能量： 2ATP

还原力： 2NADH

小分子 C 架： 6-P葡萄糖
P-二羟丙酮
3-P甘油酸
P-烯醇式丙酮酸
丙酮酸

2、需氧菌、兼性菌、厌氧菌中都有，有氧时与三羧酸循环连接，产生大量能量，无氧时产生种类繁多的发酵产物。

B、HMP途径 (hexose monophosphate pathway)

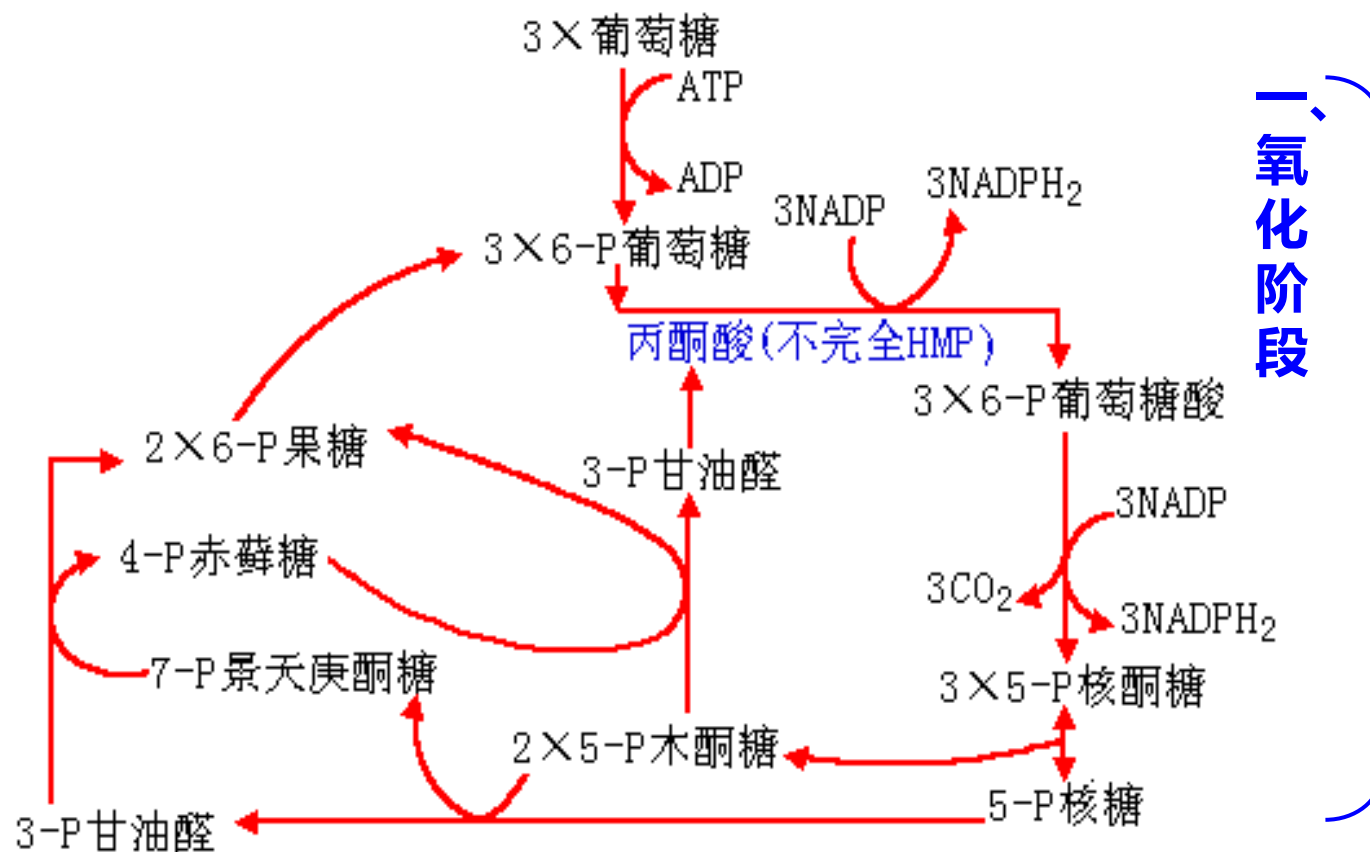
磷酸己糖途径

- 1、又称磷酸戊糖途径 (pentose phosphate pathway)/PP途径;
- 2、葡萄糖不经过EMP途径和TCA循环而得到彻底氧化, 并能产生大量NADPH₂形式的还原力和多种代谢产物;
- 3、存在于大多生物细胞内。

HMP途径

二、非氧化阶段

在磷酸戊糖之间的基团转移，缩合生成一系列的7C、4C和3C化合物，最后是6-P-葡萄糖的再生。



葡萄糖经过脱氢、水解、氧化脱羧产生5-p-核酮糖和CO₂;

总反应式： 葡萄糖 \longrightarrow 3-P 甘油醛 + 3 CO₂

不完全HMP途径： 3-P 甘油醛 $\xrightarrow{\text{EMP}}$ 丙酮酸

HMP途径特点

- ◆ 在许多细菌、真菌中，HMP与EMP途径共同存在，不同菌种中，二者所占比例不同；
- ◆ HMP是由葡萄糖降解产生**五碳糖**的重要途径，与**核酸合成**密切相关。其他中间产物（如赤藓糖、景天庚酮糖）与**芳香族氨基酸合成**有关。

微生物	不同途径的分布（%）		
	EMP	HMP	ED
啤酒酵母	88	12	-
产脱假丝酵母	66-81	19-34	-
灰色链霉菌	97	3	-
产黄青霉	77	23	-
大肠杆菌	72	28	-
藤黄八叠球菌	70	30	-
枯草杆菌	74	26	-
铜绿假单胞菌	-	29	71
氧化醋单胞菌	-	100	-
运动发酵单胞菌	-	-	100
嗜糖假单胞菌	-	-	100

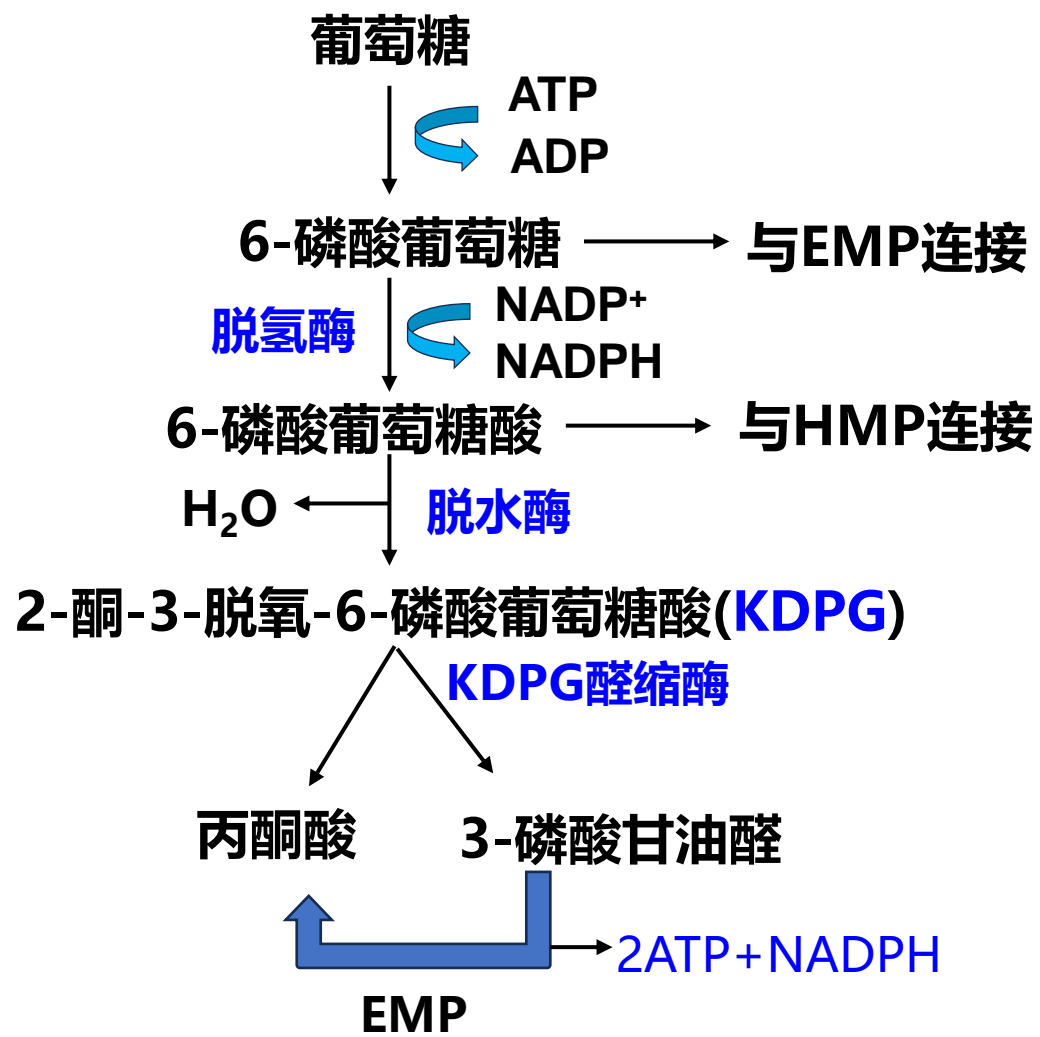
C、ED途径

细菌分解葡萄糖生成丙酮酸和3-P-甘油醛的另一途径，
又称**2-酮-3-脱氧-6-磷酸葡萄糖酸(KDPG)**裂解途径

纳什·恩特纳（Nathan Entner）与米歇尔·杜德若夫（Michael Doudoroff）于1952年在嗜糖假单胞菌中发现

- **ED途径**可不依赖于EMP和HMP途径而单独存在，
为微生物所特有，在G-菌中分布较广，特别是假单胞菌和固氮的某些菌株(中)较为常见。

ED途径



总反应式： 葡萄糖 \longrightarrow 2丙酮酸 + 1ATP + 2NADPH

ED途径特点

关键反应：2-酮-3-脱氧-6-磷酸葡萄糖酸（KDPG）的裂解

关键中间产物：KDPG

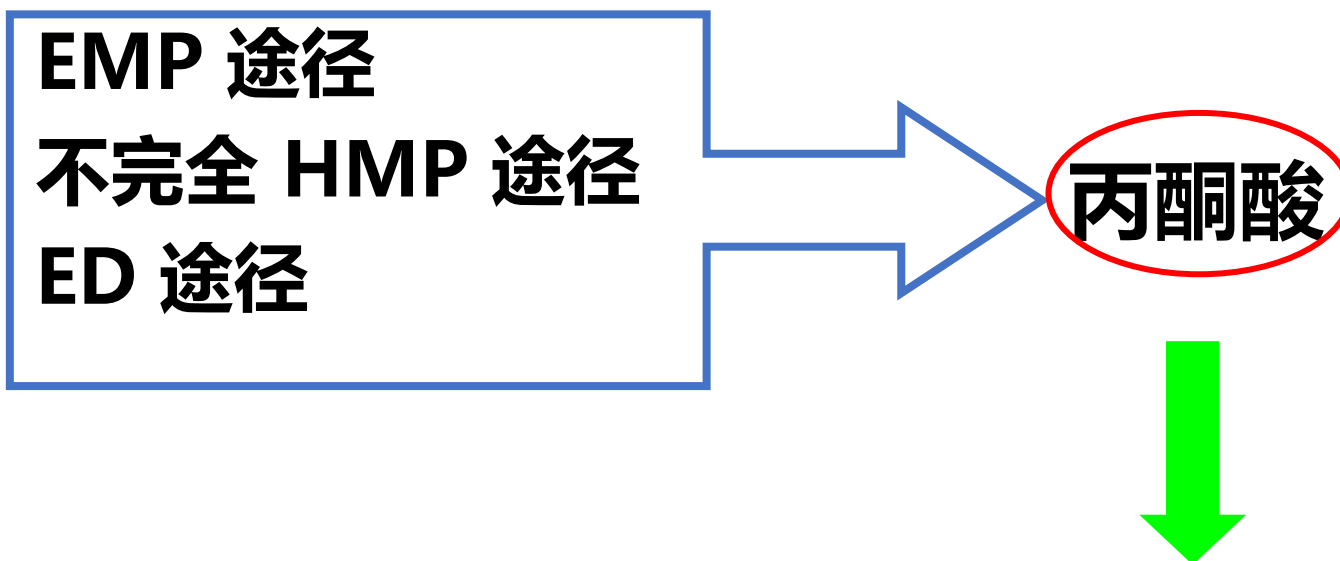
催化的酶：KDPG醛缩酶

相关的发酵生产：细菌酒精发酵

优点：代谢速率高，产物转化率高，菌体生成少，代谢副产物少，发酵温度较高，不必定期供氧。

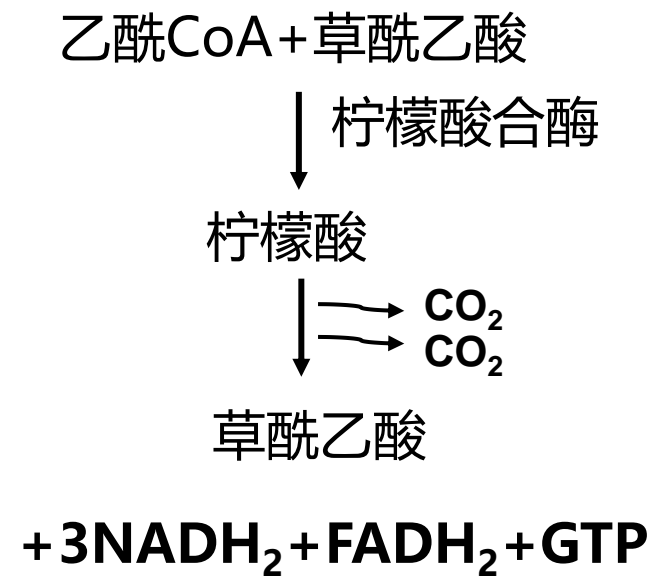
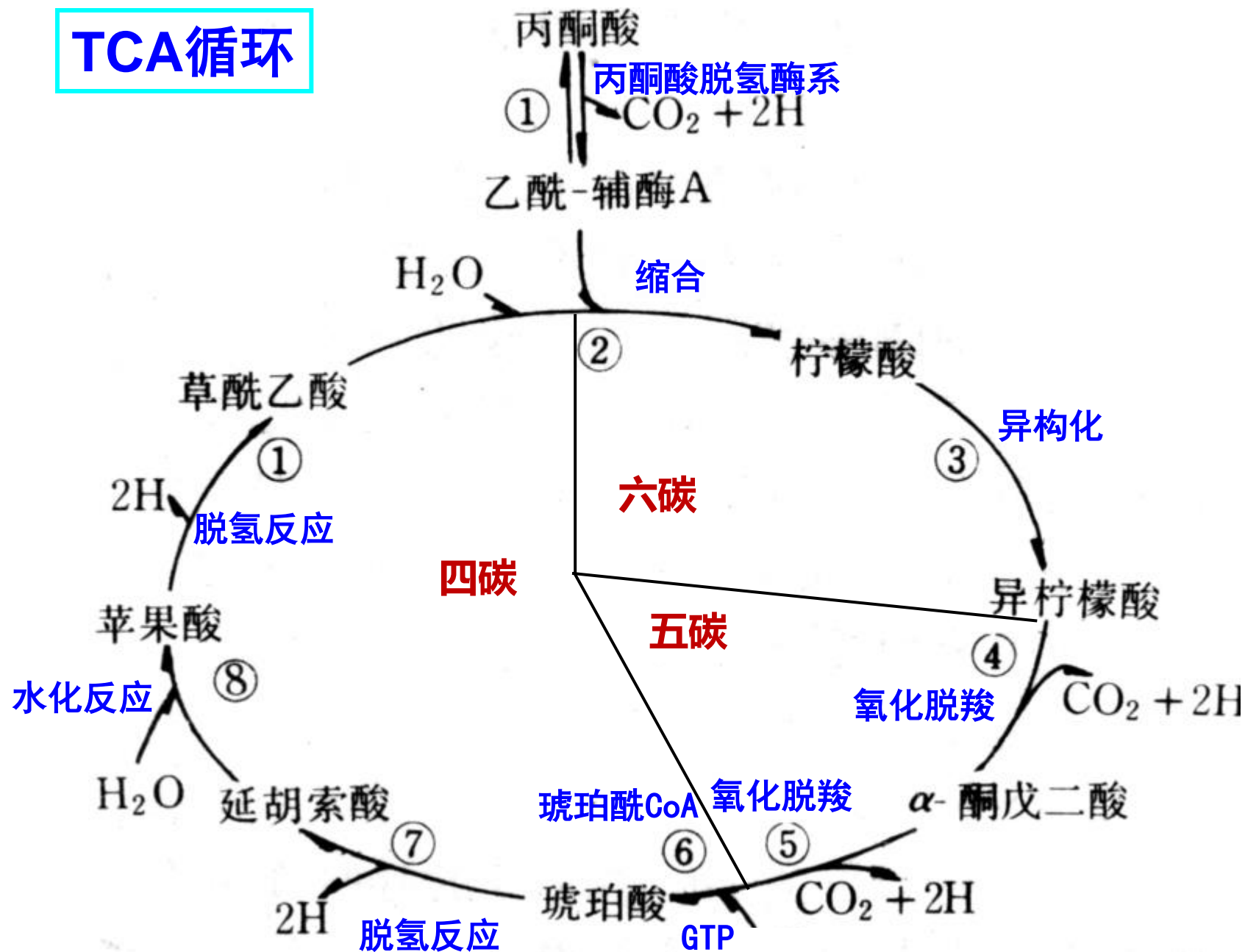
缺点：较易染菌；细菌对乙醇耐受力低

2、丙酮酸的进一步分解



- ①**有氧条件下**：进入TCA（Tricarboxylic acid cycle）循环进一步氧化分解，彻底氧化成 CO_2 ，并产生还原力NADPH，ATP 和合成代谢所需要的小分子C 架。
- ②**无氧条件下**：进行发酵作用（如酒精发酵、乳酸发酵等）。

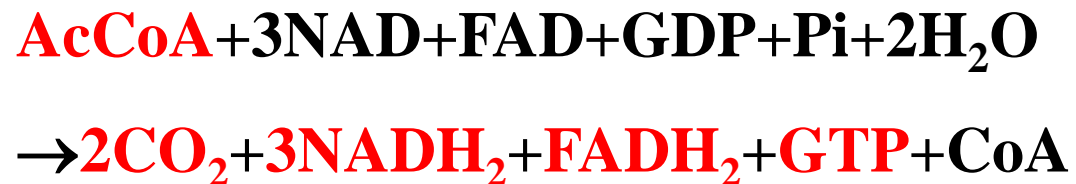
TCA循环



TCA循环的特点

- 提供还原力：3 NADH_2 ，1 FADH_2
- 提供能量：形成1 GTP
- 提供前体化合物：
 - α -酮戊二酸
 - 琥珀酸
 - 草酰乙酸

总反应式：



6.12 下列葡萄糖生成丙酮酸的糖酵解途径中，（）是最普遍的、存在于大多数生物体内的一条主流代谢途径。

- ☒ A EMP途径
- ☐ B HMP途径
- ☐ C ED途径
- ☐ D WD途径

提交

微生物的分解代谢小结

1、己糖分解产生丙酮酸的途径

EMP途径、不完全HMP途径、ED途径

2、丙酮酸的去向

有氧条件：进入三羧酸循环，彻底氧化成 CO_2 .
无氧条件：进行发酵作用

7、微生物的合成代谢（C固定、N同化、肽聚糖合成等）

第七节 微生物的合成代谢

- **合成代谢（同化作用）**就是微生物将简单的小分子物质合成自身细胞所需要的大分子物质（如蛋白质、核酸、多糖和脂类等化合物）的代谢。

合成代谢所必须的三要素：ATP、还原力、小分子化合物



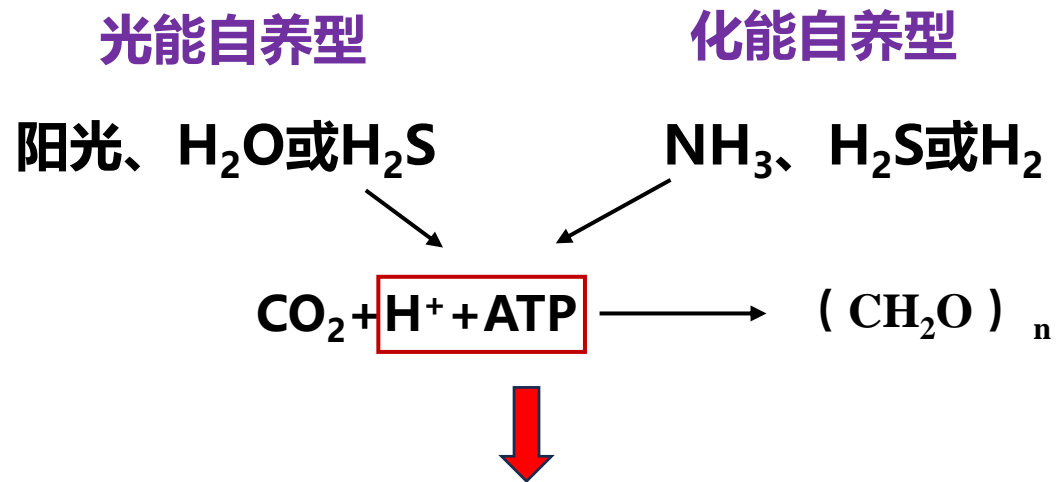
均来自分解代谢

一、无机养分的同化和大分子前体物质的合成

- **CO₂的同化;**
- **氮素的同化;**
- **硫酸盐的同化还原**

(一) CO₂的同化

自养微生物：以CO₂为唯一碳源，包括光能自养型（如蓝细菌）和化能自养型（如氢细菌、铁细菌等）。

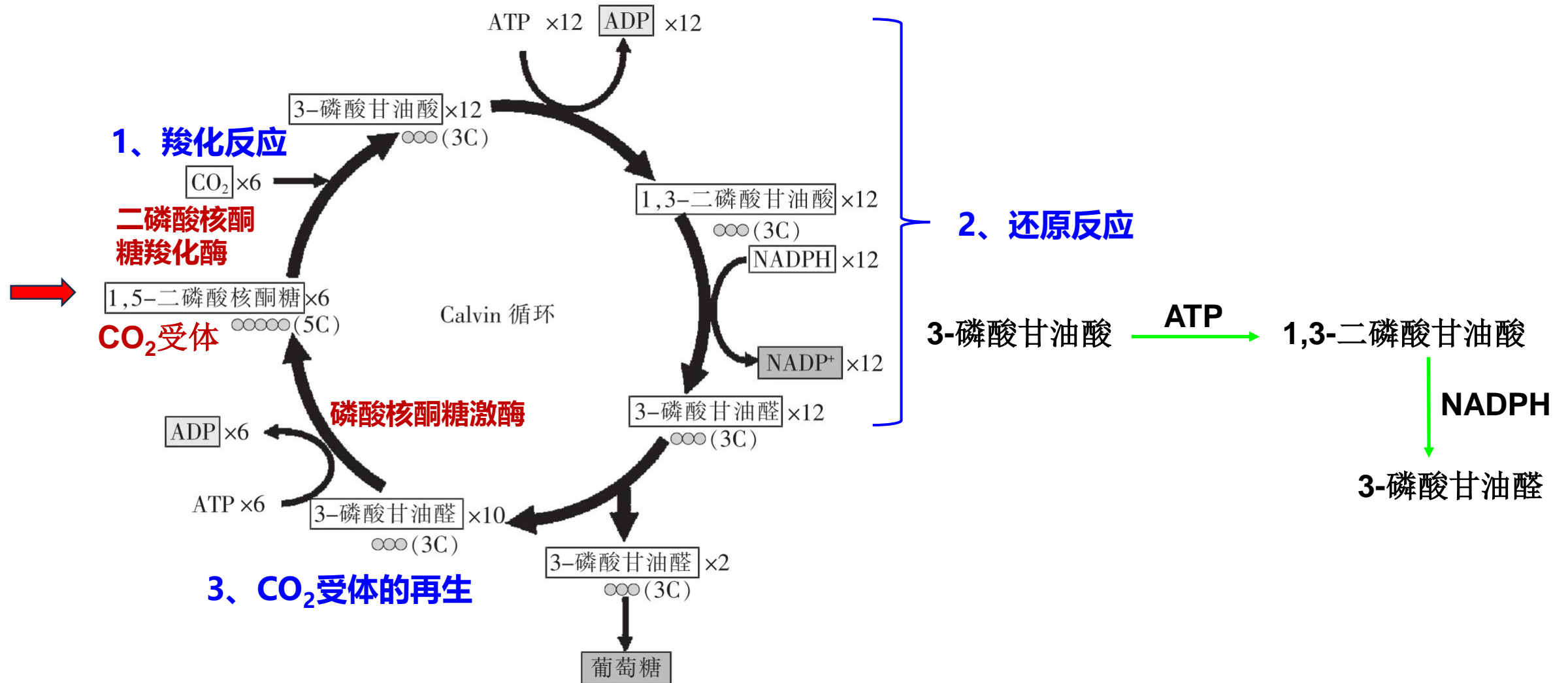


卡尔文循环 (Calvin cycle)：几乎所有自养微生物

还原性三羧酸循环途径：一些古菌和厌氧光合细菌

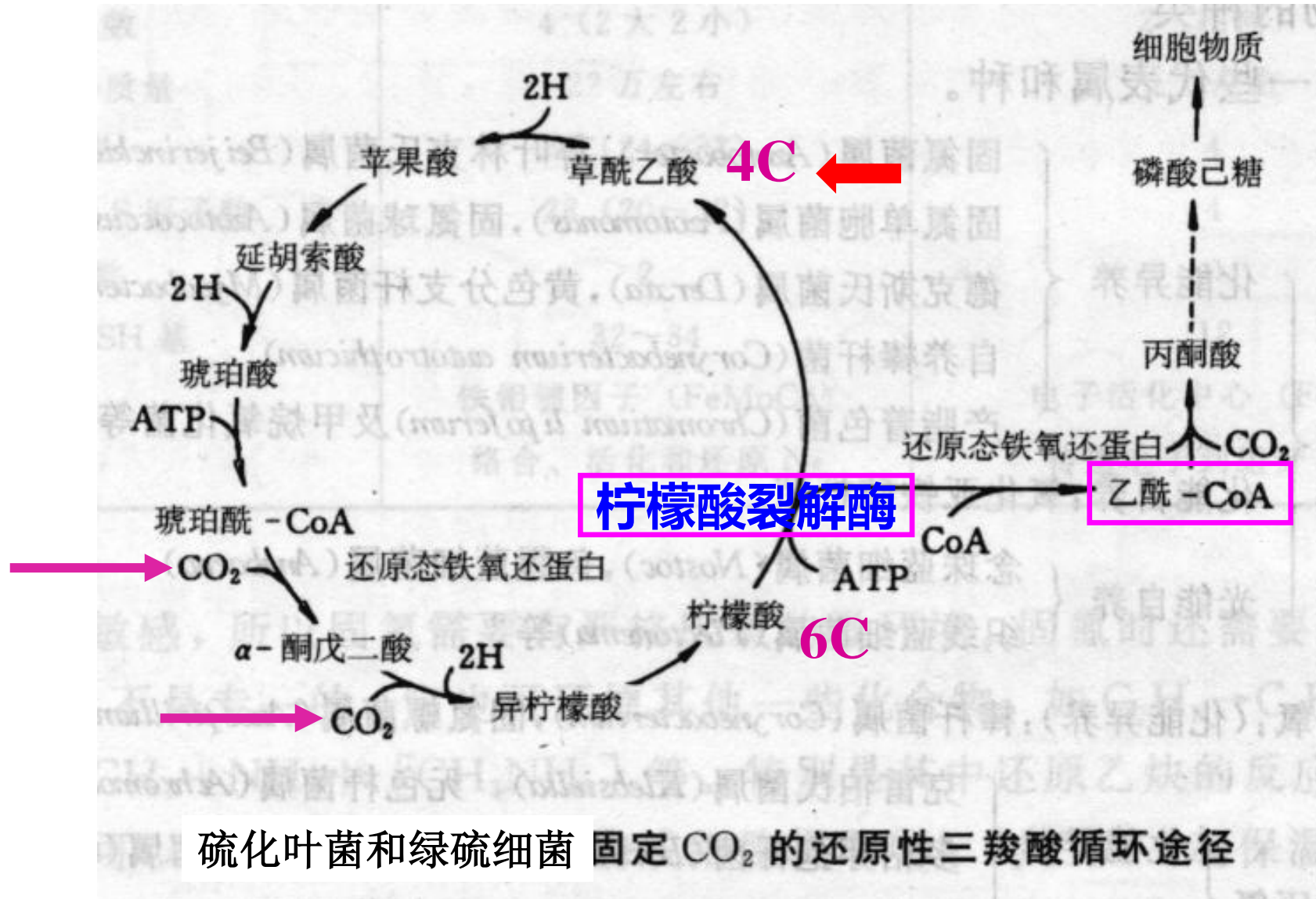
厌氧乙酰辅酶A途径：甲烷菌、硫酸盐还原菌和产乙酸菌

1、卡尔文循环 (Calvin cycle)

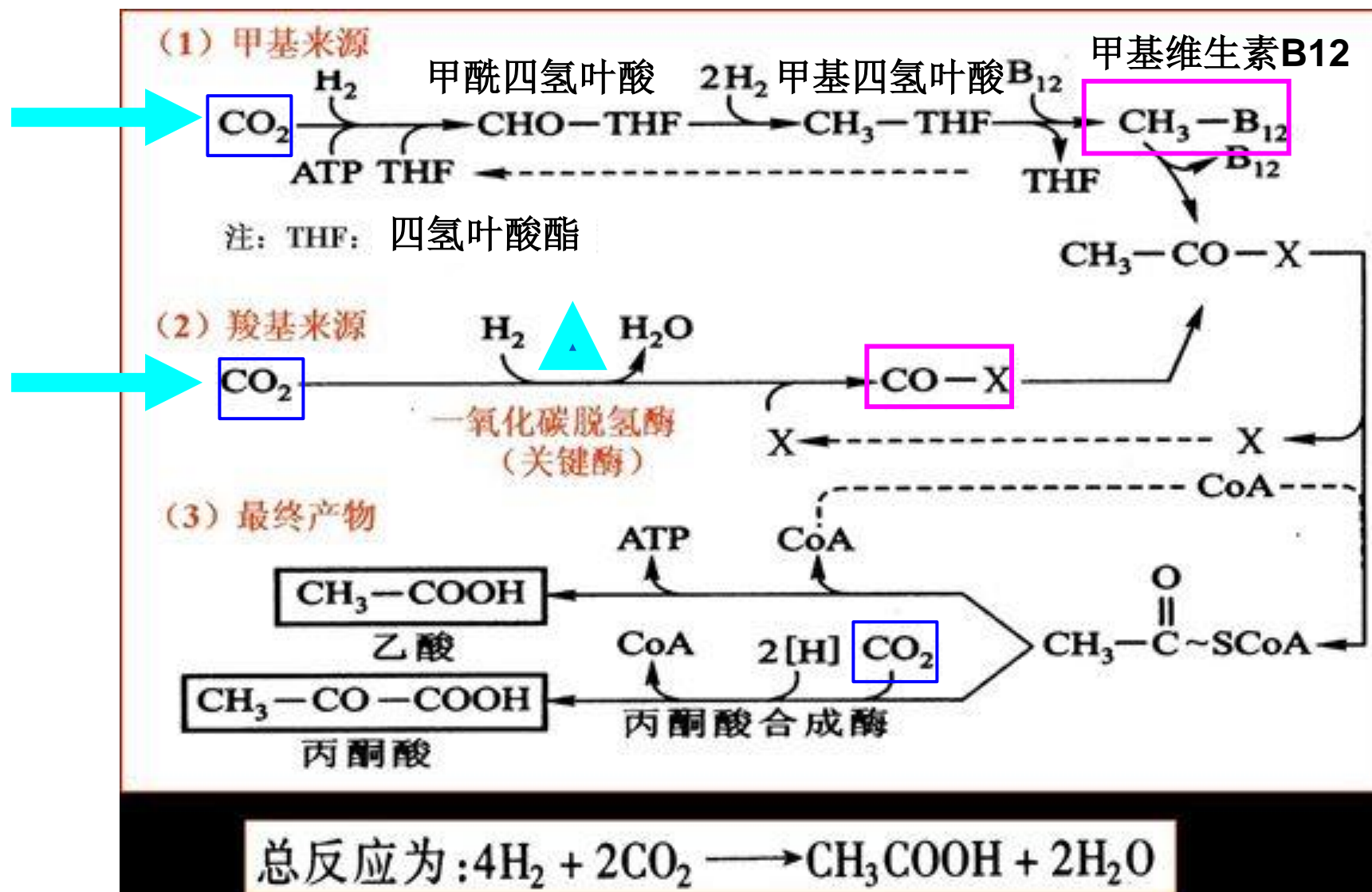


该循环是**光能自养微生物和化能自养微生物**固定 CO_2 的主要途径。

2、还原性三羧酸循环途径



3、厌氧乙酰-CoA途径



产乙酸菌、硫酸盐还原菌、产甲烷菌

6.13 卡尔文循环途径中 CO_2 固定（羧化反应）的受体是（ ）。

- ☐ A 5-磷酸-核酮糖
- ☒ B 1, 5-二磷酸-核酮糖
- ☐ C 3-磷酸甘油醛
- ☐ D 3-磷酸甘油酸

提交

6.14 CO_2 固定的逆向三羧酸循环途径中，多数酶与正向三羧酸循环途径相同，只有依赖于ATP的（）是个例外。

- ☐ A 柠檬酸合成酶
- ☒ B 柠檬酸裂解酶
- ☐ C 异柠檬酸脱氢酶
- ☐ D 琥珀酸脱氢酶

提交

(二) 氮的同化

1、**分子态氮的同化**：即生物固氮作用，由固氮微生物完成。



2、**氨的同化**：氨可以直接被同化合成氨基酸



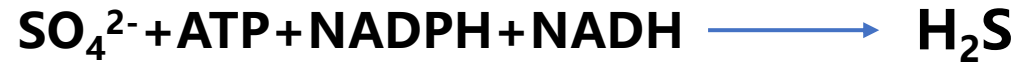
3、**硝酸盐的同化还原**：指微生物将吸收的硝酸盐逐步还原成氨用于细胞物质还原的过程。



硝酸盐同化还原：见于大多数细菌、丝状真菌和酵母

(三) 硫酸盐的同化

硫酸盐的同化还原：指微生物吸收无机硫酸盐，在细胞内还原合成有机硫的过程，包括硫酸盐被活化和进一步还原这两步。



(多数微生物可将硫酸盐同化还原)

含硫的氨基酸（半胱氨酸和甲硫氨酸）和B族的维生素（生物素、硫辛酸、硫胺素）以及一些辅酶的合成需要硫。

二、肽聚糖的合成

请阅读教材P140，回答以下问题：

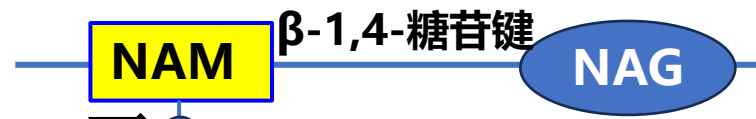
- 1、肽聚糖的合成根据反应部位的不同，可分为哪三个阶段？ 细胞质、细胞膜和细胞膜外
- 2、肽聚糖的合成需要2个主要的载体，分别是什么？ 二磷酸尿苷（UDP），细菌萜醇
- 3、肽聚糖的合成步骤有哪些（先排序、并说明此步骤在什么部位合成）？

- | | | |
|---|--------------------------------|------|
| 1 | A、合成肽聚糖单体 | 细胞膜 |
| 2 | B、合成UDP-N-乙酰胞壁酸 | 细胞质 |
| 3 | C、合成UDP-N-乙酰胞壁酸-五肽 | 细胞质 |
| 4 | D、肽聚糖单体与单体之间进行交联 | 细胞膜外 |
| 5 | E、合成UDP-N-乙酰葡萄糖胺 | 细胞质 |
| 6 | F、合成细菌萜醇-N-乙酰胞壁酸（-五肽）-N-乙酰葡萄糖胺 | 细胞膜 |

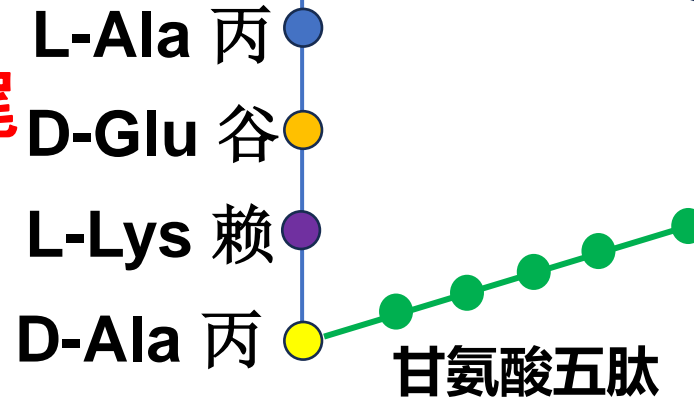
二、肽聚糖的合成

肽聚糖是由肽聚糖单体聚合而成的大分子网状化合物。

① 双糖单位

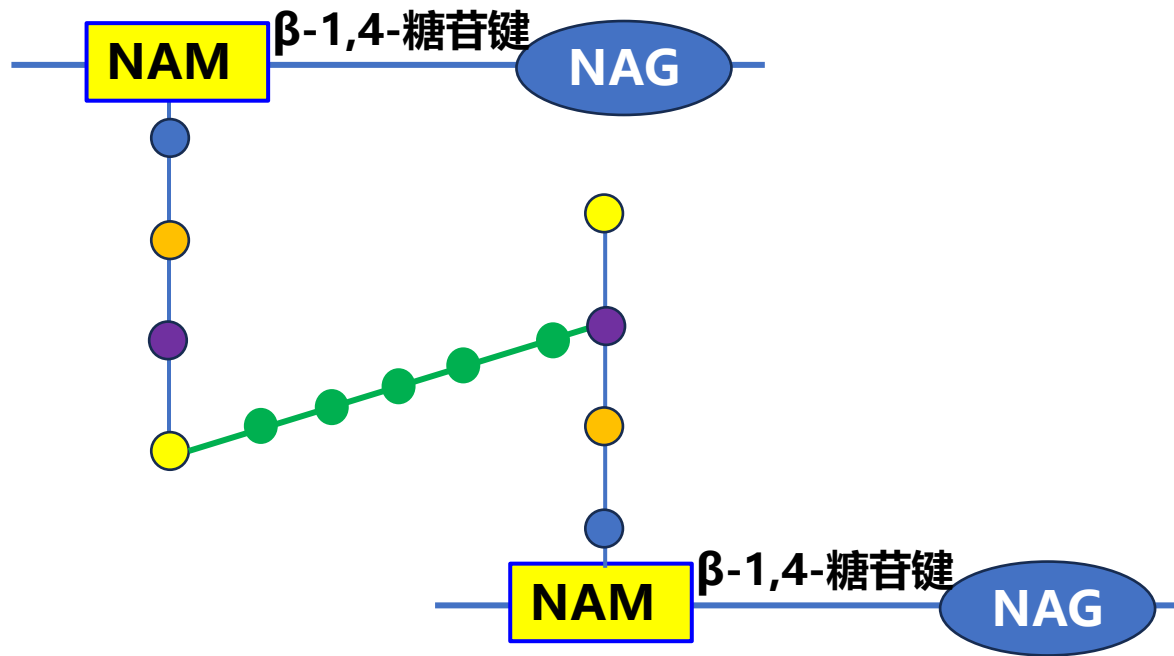


② 四肽尾



③ 肽桥

肽聚糖单体与单体之间是怎样连接的呢？



肽聚糖的合成

根据反应部位的不同可分成三个合成阶段

第一阶段：在细胞质中

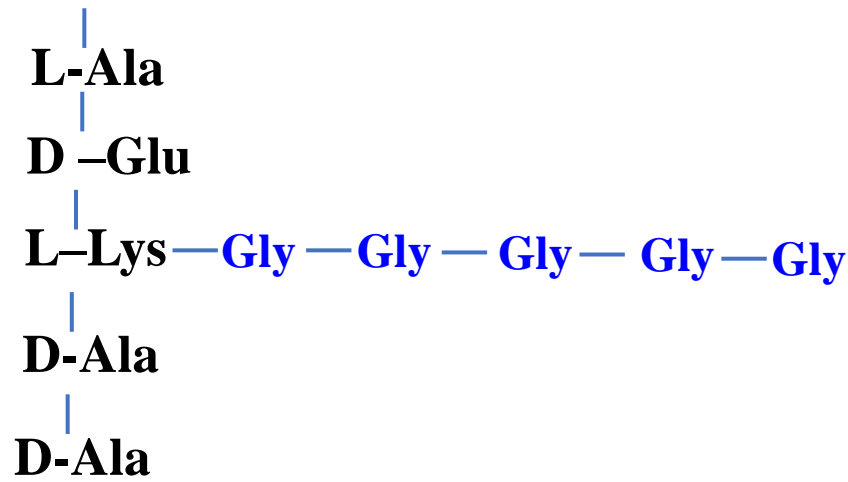
葡萄糖 \longrightarrow **UDP-NAG** \longrightarrow **UDP-NAM** \longrightarrow **UDP-NAM-五肽**

第二阶段：在细胞膜中

UDP-NAM-五肽 \longrightarrow **细菌萜醇-NAM-五肽** \longrightarrow **细菌萜醇-NAM-NAG-**

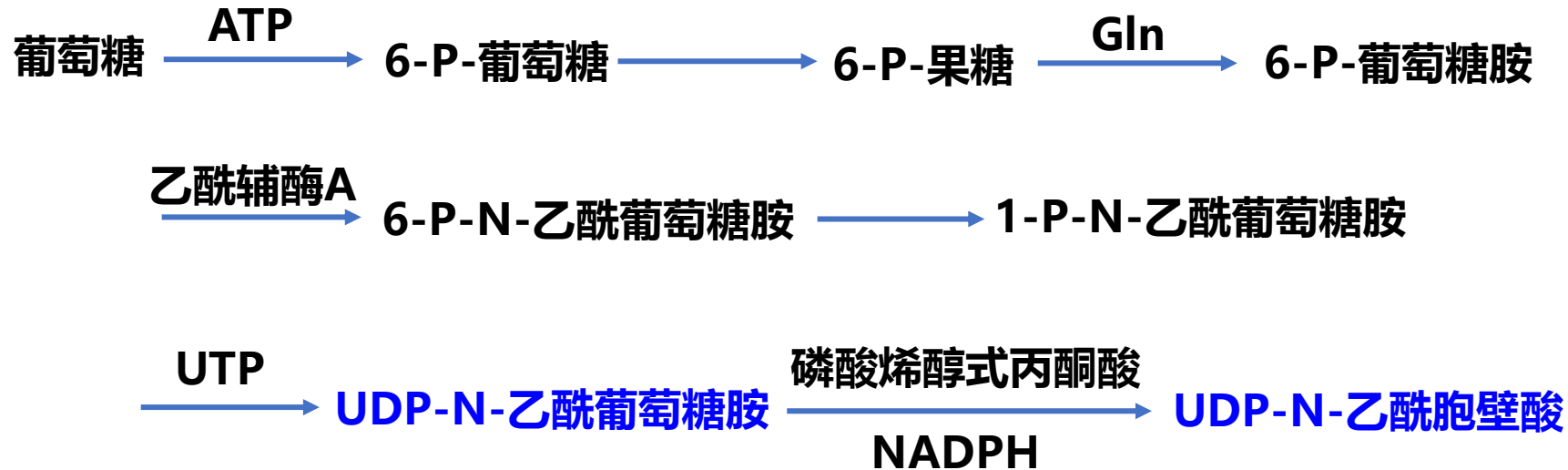
第三阶段：在细胞膜外

肽聚糖单体之间进行横向和纵向交联，形成肽聚糖网络结构



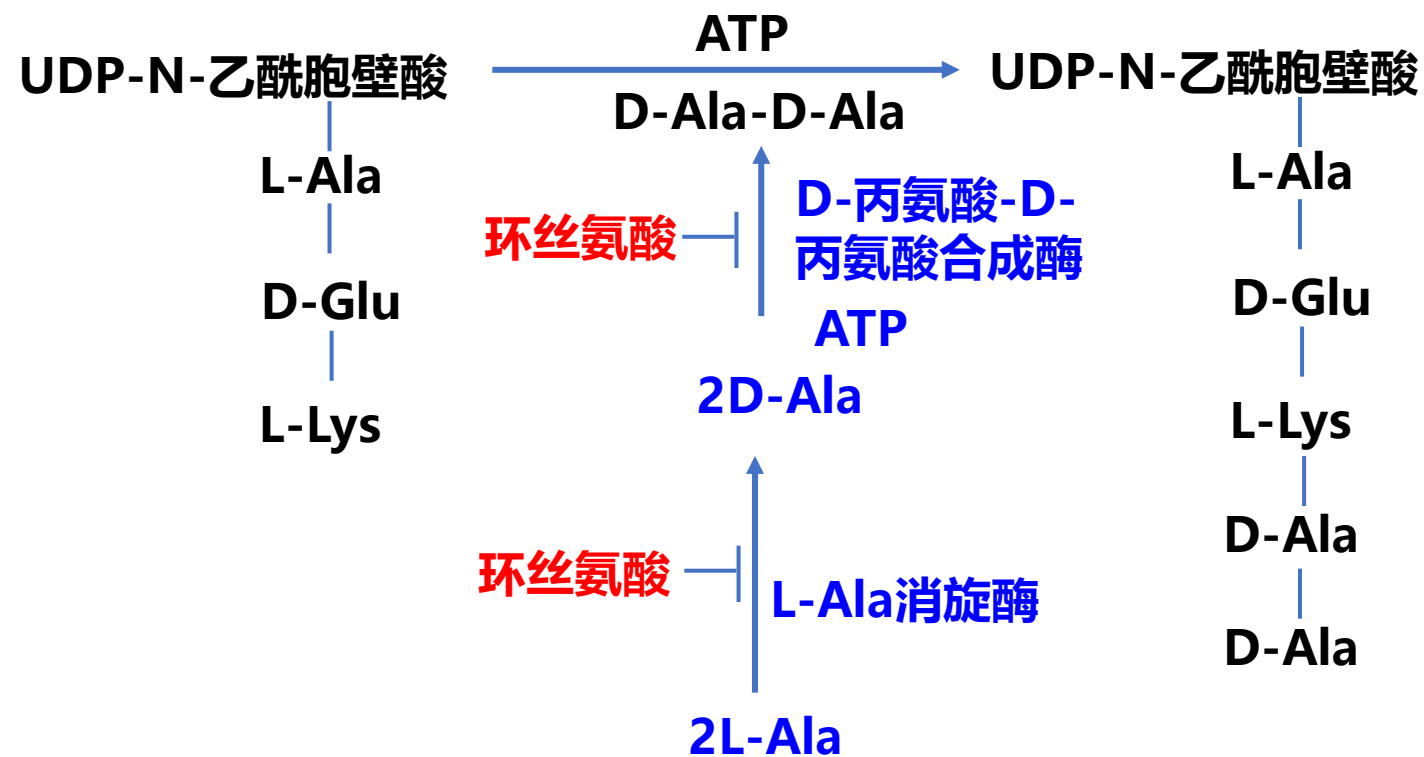
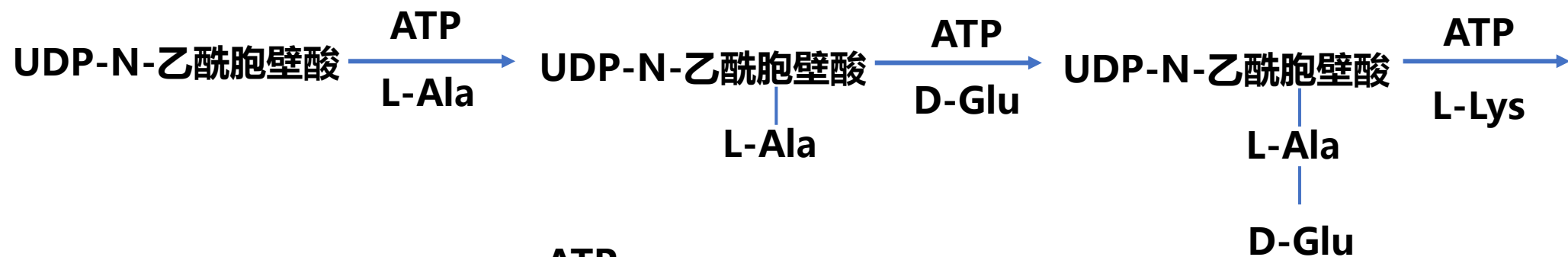
第一阶段：细胞质中合成“UDP-NAM-五肽”

a. 由葡萄糖合成UDP-NAG和UDP-NAM

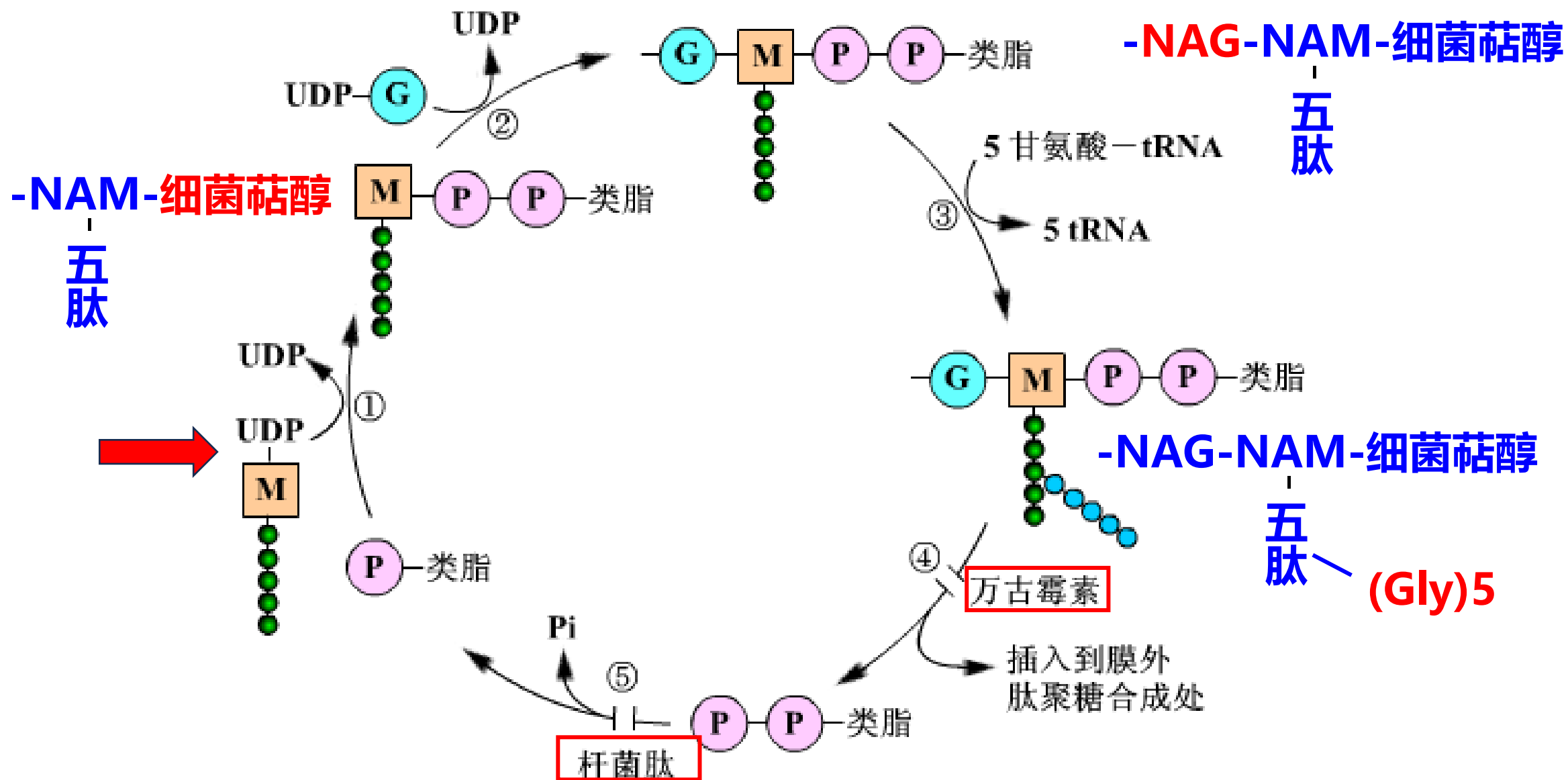


b. 由UDP-NAM合成UDP-NAM-五肽



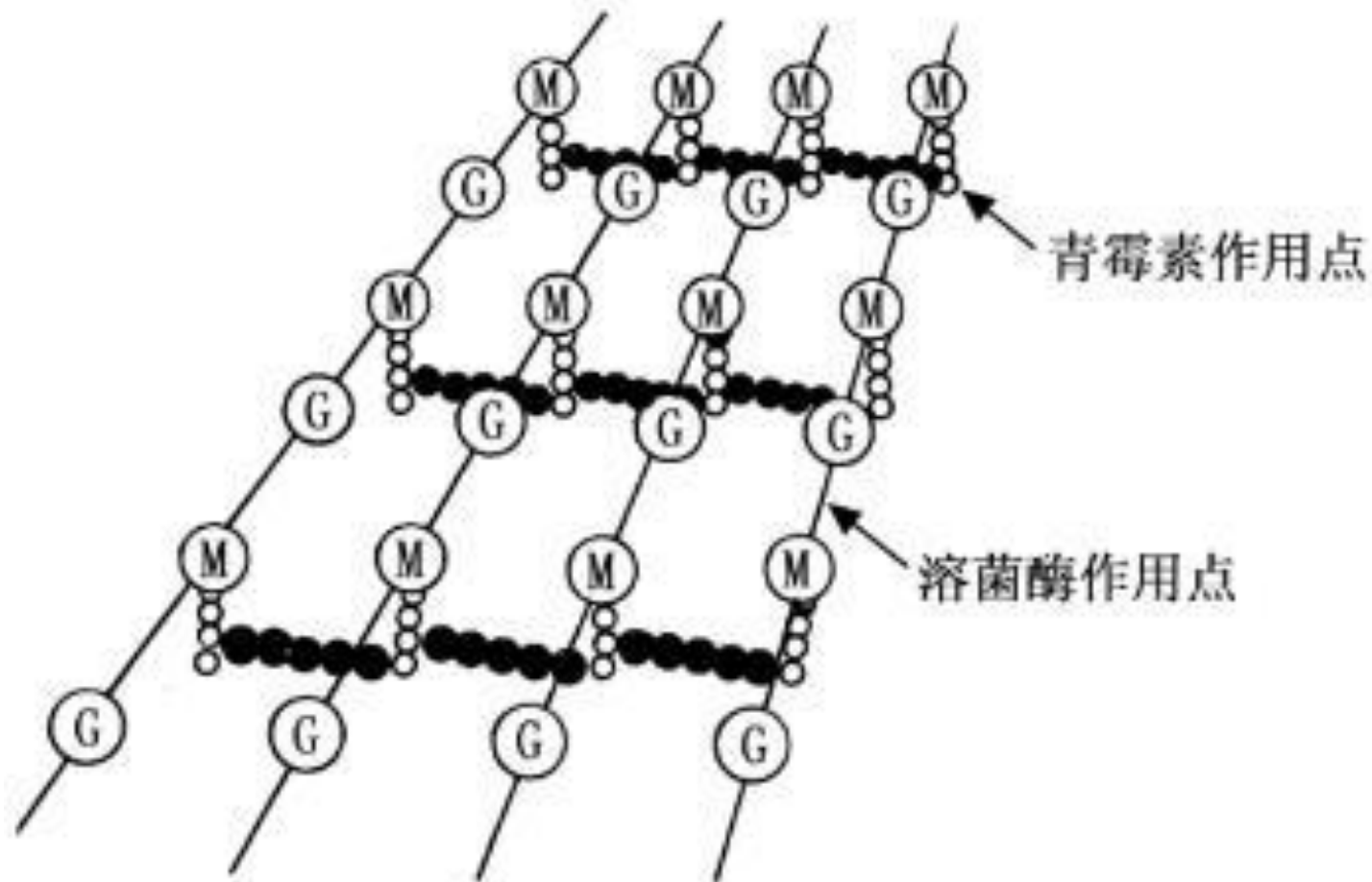


第二阶段: 细胞膜上合成肽聚糖单体

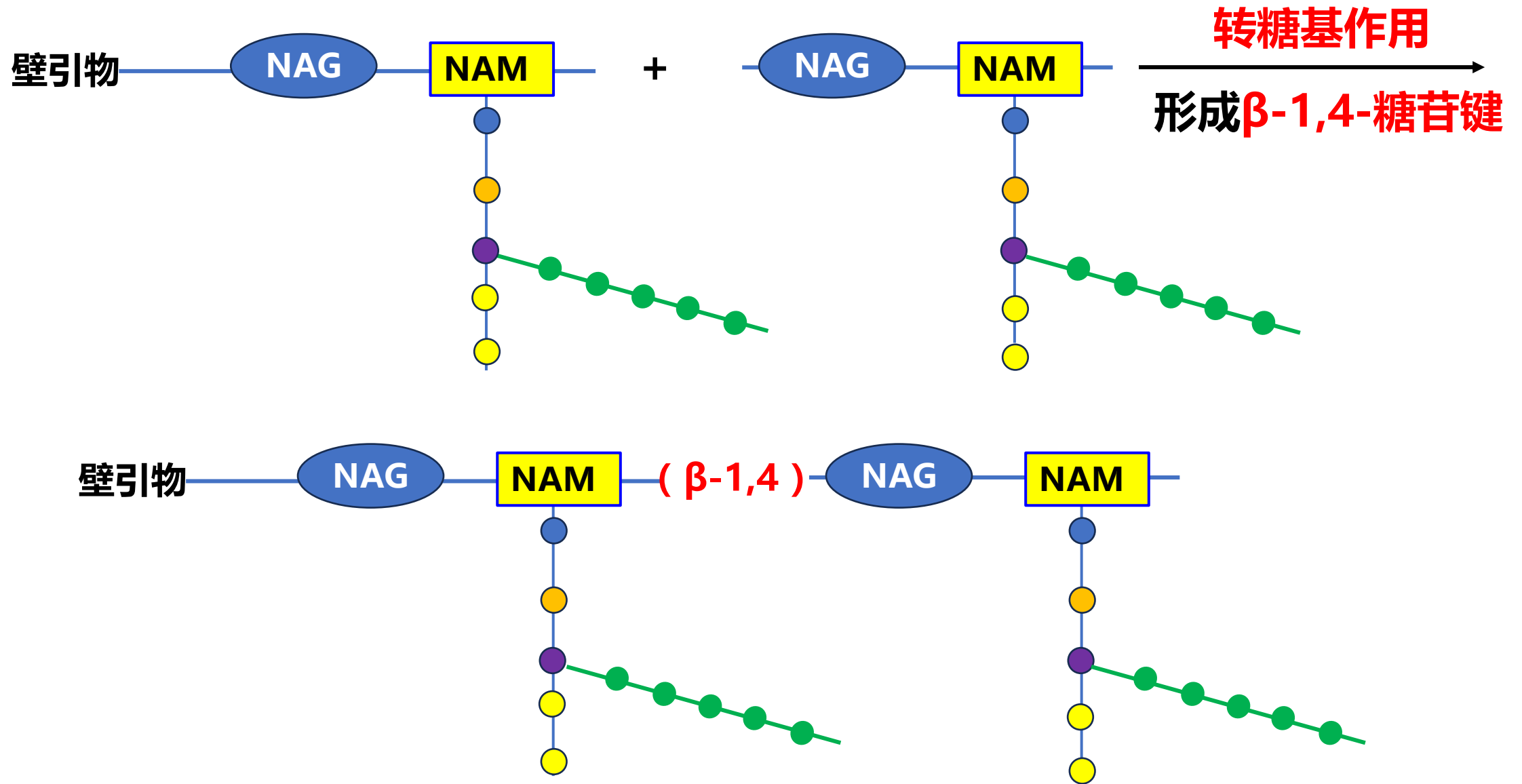


第三阶段：细胞膜外合成肽聚糖

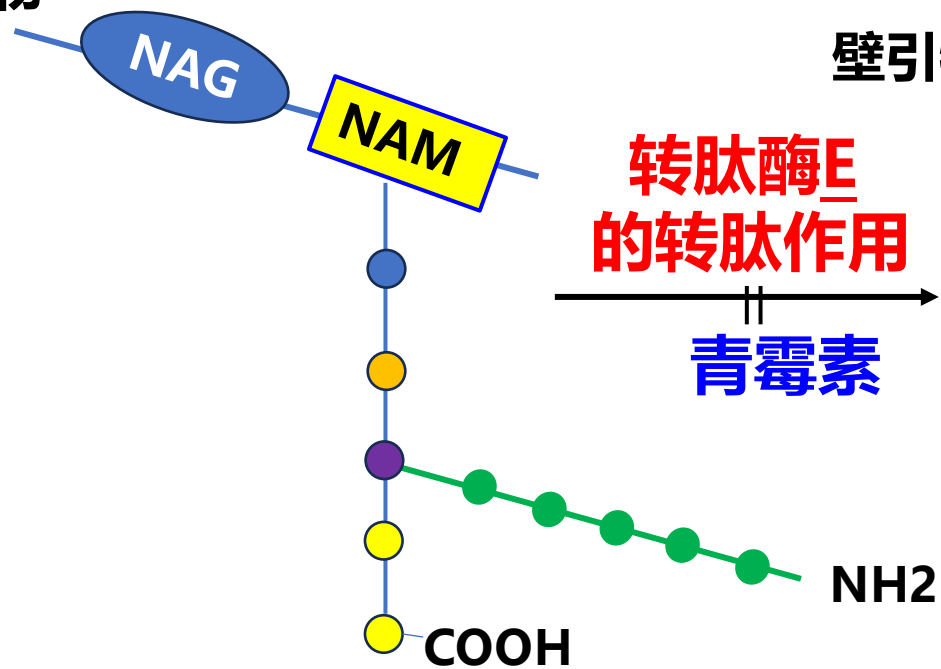
将单体插在细胞膜外的**细胞壁生长点**处，并交联形成肽聚糖



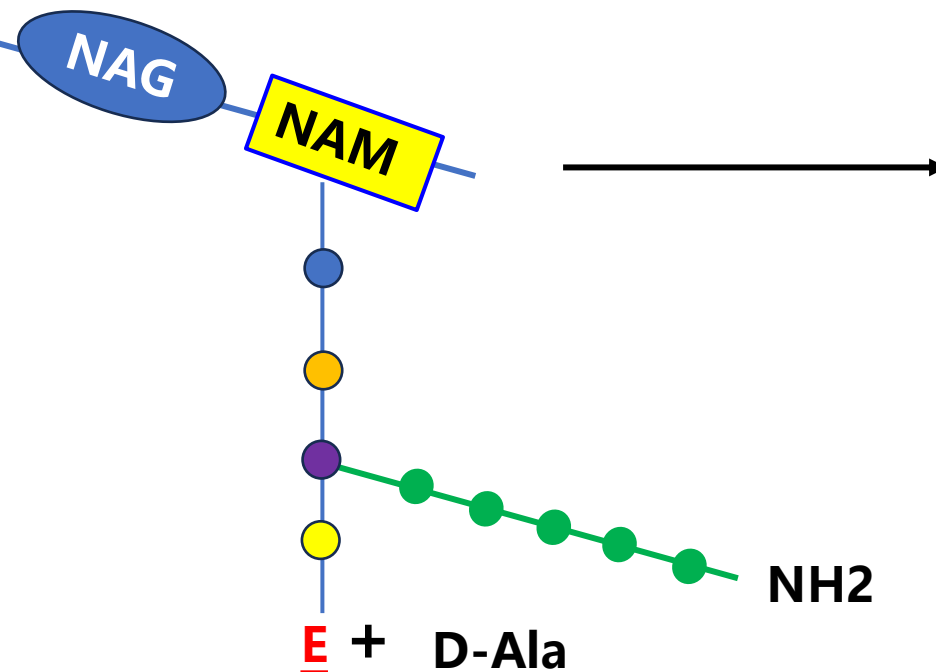
横向连接（转糖基作用）



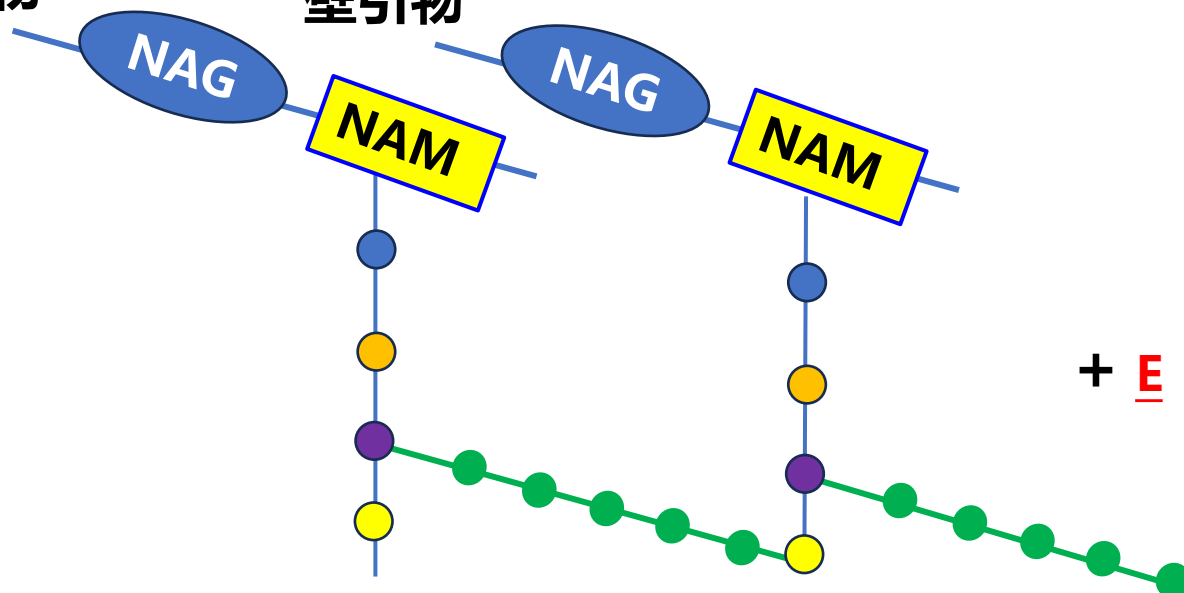
壁引物



壁引物



壁引物



纵向连接
(转肽作用)

肽聚糖的合成小结:

肽聚糖的合成有5步:

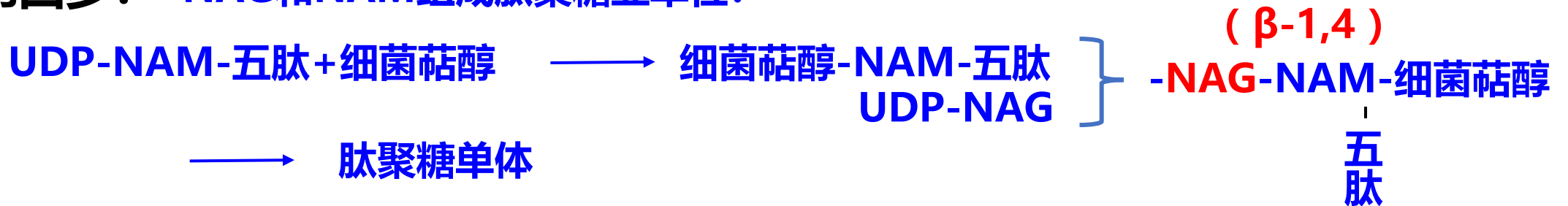
需要两个载体: UDP: 二磷酸尿苷; ACL-P: 细菌萜醇

第一步: 合成UDP-NAG

第二步: 合成UDP-NAM

第三步: $5aa + \text{UDP-NAM} \longrightarrow \text{UDP-NAM-五肽 (丙、谷、赖、丙、丙)}$

第四步: NAG和NAM组成肽聚糖亚单位:



第五步: 肽聚糖链交联: G^+ : 组成甘氨酸肽桥

G_- : 由一条肽链上第4个氨基酸羧基与另一条链的第三个氨基酸氨基相连

细胞质

细胞膜

细胞外表面

6.15 青霉素抑制金黄色葡萄球菌肽聚糖合成的是
()。

- ☐ A 细胞膜外的转糖基酶
- ☒ B 细胞膜外的转肽酶
- ☐ C 细胞质中的UDP-NAM-五肽的合成
- ☐ D 细胞膜中肽聚糖单体分子的合成

提交

第八节 微生物的次级代谢

什么是次级代谢？

次级代谢是微生物在生长的后期或者稳定生长期里合成的一些**对微生物本身没有明显作用的物质**代谢。其产物包括糖苷类、芳香类化合物等。

次级代谢与初级代谢是什么关系？

- ✓ 次级代谢以初级代谢为基础。
- ✓ 初级代谢为次级代谢产物合成**提供前体物和能量**，而次级代谢则是初级代谢在特定条件下的**继续和发展**，**避免**初级代谢过程中某种(或某些)**中间体或产物过量积累**对机体产生**毒害**作用。

次级代谢产物

根据终产物
的作用不同

抗生素

毒素

色素

生理活性物质

生物发光

(一) 抗生素

- **抗生素**是对其他种类微生物或细胞能产生抑制或致死作用的一大类有机化合物。
- **已报道的有数千种，多数由放线菌产生，真正具有实用价值的却只有几十种，如链霉素、红霉素、庆大霉素、金霉素、土霉素、制霉菌素。**
- **农用抗生素**，如井冈霉素、阿维菌素、春日霉素等已在植物病虫害防治、森林保护等方面发挥了一定的作用。

抗生素的作用机制

- **抑制细胞壁的合成：**青霉素、杆菌肽、环丝氨酸和万古霉素等。
- **损伤细胞质膜：**短杆菌素、制霉菌素等
- **干扰病原菌蛋白质的合成：**有的作用于30S小亚基，如四环素、链霉素、卡那霉素；有的作用于50S大亚基，如氯霉素、红霉素。
- **阻碍核酸合成：**利福平、丝裂霉素C

(二) 毒素

毒素：是某些微生物在一定的条件下产生的对动植物和人有毒害的化合物，大多数是蛋白质。

例如：

- 1) 白喉杆菌产生的**白喉毒素**
- 2) 破伤风梭菌在厌氧条件下产生的**破伤风毒素**
- 3) 苏云金芽胞杆菌产生的能杀虫的**伴孢晶体**。
- 4) 真菌毒素如**黄曲霉毒素**、**蘑菇毒素**等

(三) 色素

微生物在代谢过程中产生的有色次生代谢产物，常积累在细胞内或者分泌于细胞外。

S. aureus. 金黄色色素



Serratia marcescens. 灵菌红素



(四) 生理活性物质

生理活性物质是对微生物产生的一类具有**生理调节作用**的次级代谢产物的总称。

生长刺激素是一类刺激植物生长的生理活性物质。

例如：藤仓赤霉产生的**赤霉素**，目前用于杂交水稻制种中，可刺激稻穗伸长后便于授粉。

麦角菌产生的**麦角生物碱**、曲霉产生的酶抑制剂**洛伐他丁**、链霉菌产生的免疫调节剂**环孢菌素**等

微生物的合成代谢小结：

- 1、CO₂的固定途径：**卡尔文循环、还原性三羧酸循环、厌氧乙酰辅酶A途径**
- 2、氮的同化：**生物固氮作用、氨的同化、硝酸盐的同化还原**
- 3、肽聚糖的合成**细胞质、细胞膜、细胞外表面**
- 4、次级代谢产物**抗生素、毒素、色素、生理活性物质等**

思考题

- 请简要阐述肽聚糖的合成步骤有哪些？
- 请绘制本章的思维导图
- 学完本章内容，你还有什么疑问，请至少提一个问题？

提交截止日期为：6月23日23:30



Thank you for your attention!