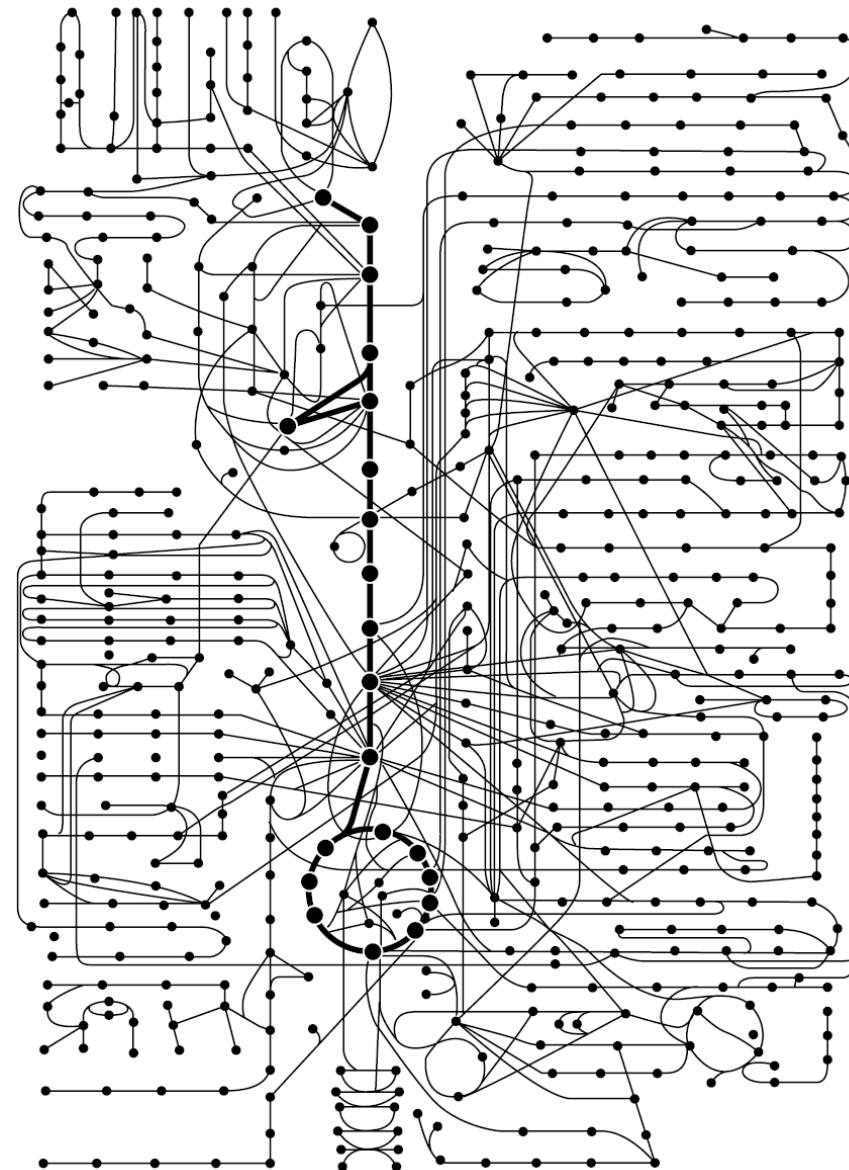
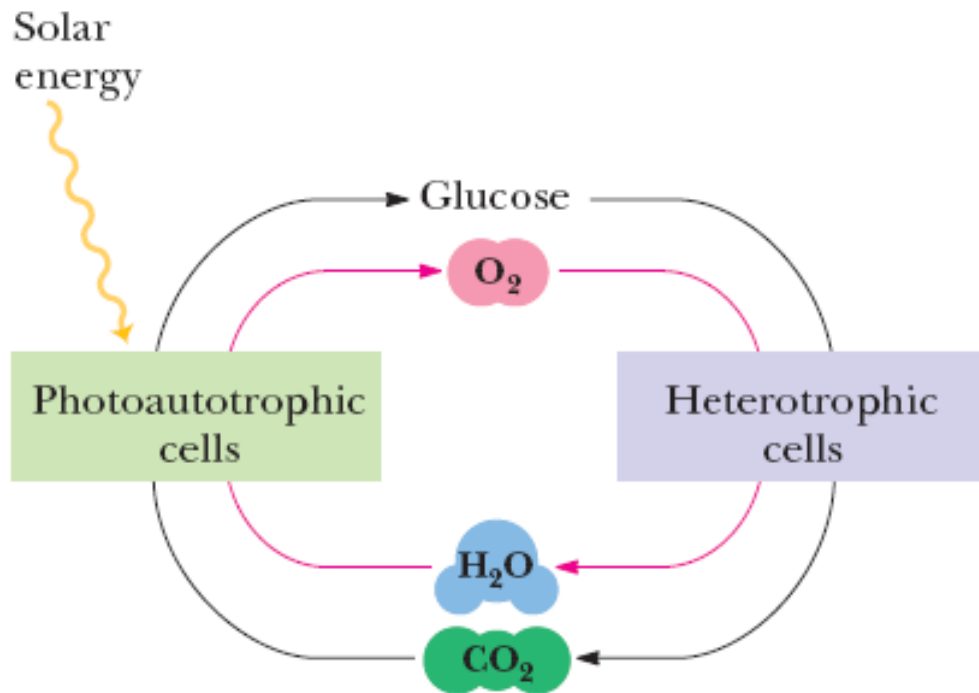


# 第七章 代谢

## *Metabolisms*



# 本章主要内容

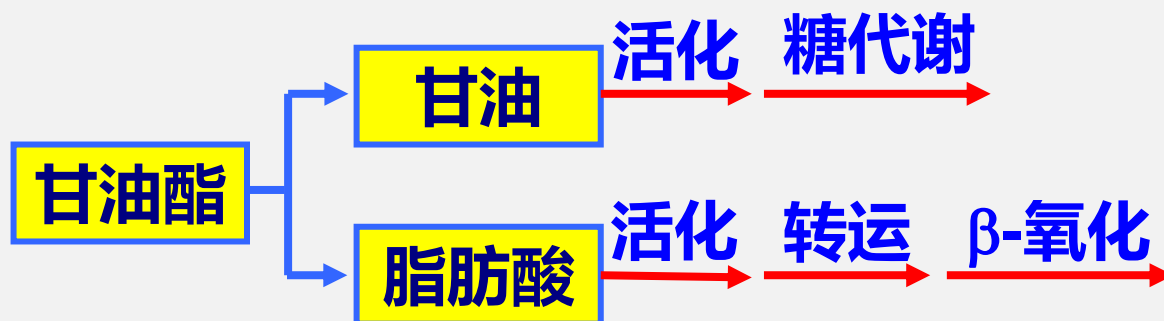
---

- 一. 代谢总论 (重点) ✓
- 二. 糖的分解代谢 (重点) ✓
- 三. 光合作用 (重点) ✓
- 四. 脂类代谢 (重点) ✓
- 五. 蛋白质降解和氨基酸代谢 (重点)
- 六. 核酸降解和核苷酸代谢 (自学)

探究题(5)

# 上节课内容回顾

## 脂肪的分解代谢



## $\beta$ -氧化途径

脱氢

加水

脱氢

硫解

## 脂肪的合成代谢



## 丙二酸单酰CoA途径

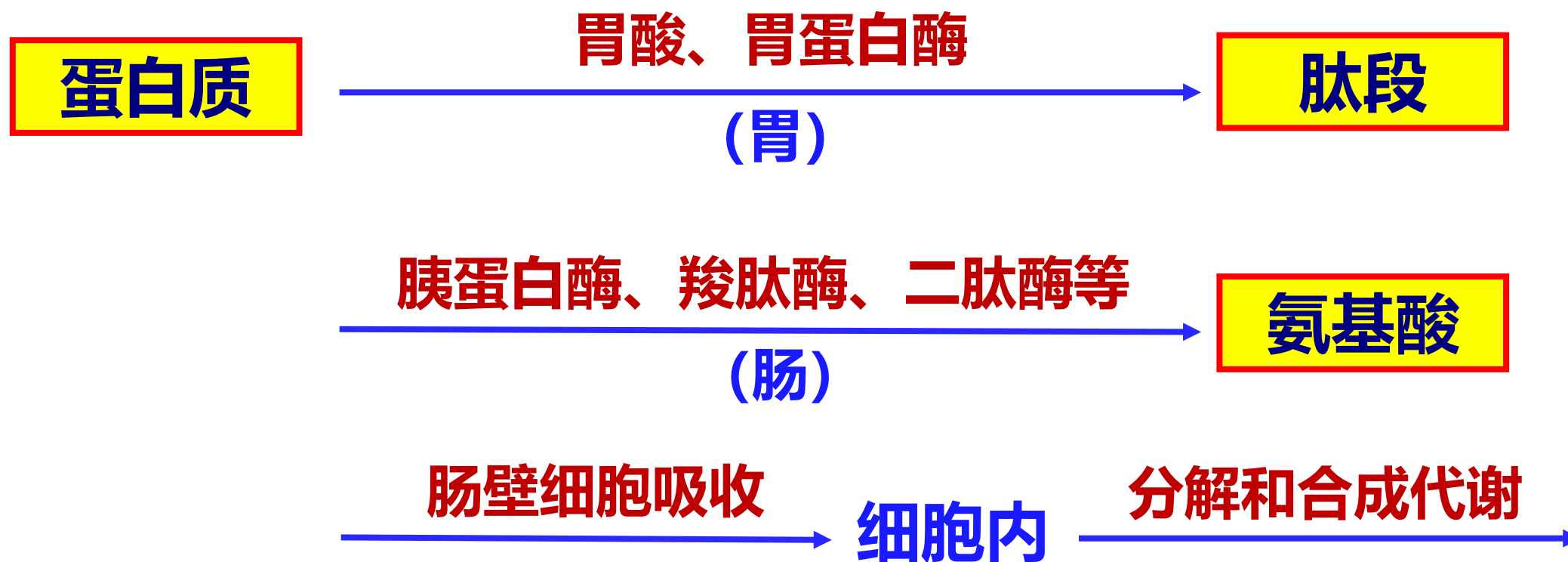
- **3个过程**: 转运、C2单位合成、脂肪酸合成
- **脂肪酸合成的酶**: 酶复合体, 多功能酶
- **5步反应**: 装载、缩合、还原、脱水、还原

## 知识点

1. 血浆脂蛋白
2. 脂代谢中物质的活化
3. 脂代谢中物质的转运
4. 乙酰CoA的去向
5. 酮体及其代谢
6. 胆固醇及其代谢
7. 脂代谢中能量的计算

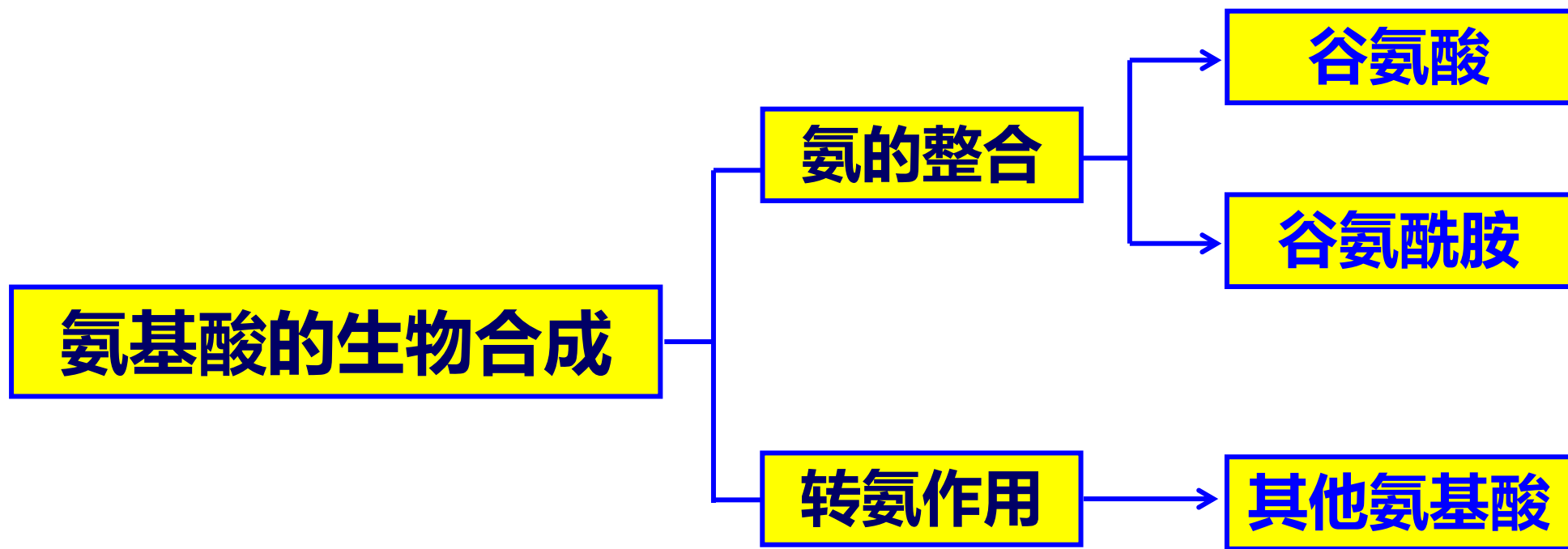
# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (一) 蛋白质的酶解



# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (二) 氨基酸的生物合成



# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (二) 氨基酸的生物合成

### 1. 氨整合到谷氨酸 ( $\alpha$ -酮戊二酸的氨基化)

- $\alpha$ -酮戊二酸在谷氨酸脱氢酶催化下，还原氨化，形成谷氨酸（下图）。
- 将氨整合到氨基酸代谢中心途径的最有效途径。

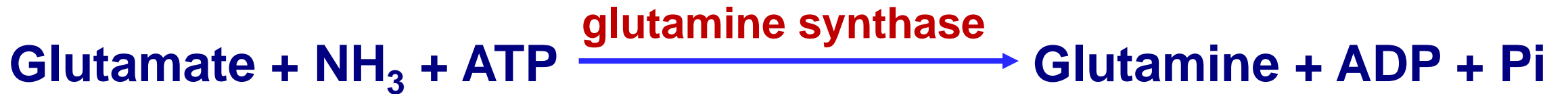


# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (二) 氨基酸的生物合成

### 2. 氨整合到谷氨酰胺

- 另一个对氨的同化作用至关重要的反应
- 由谷氨酰胺合成酶催化 (下图)
- 谷氨酰胺是氨的一个重要载体



# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (二) 氨基酸的生物合成

### 3. 转氨作用

--- 谷氨酸的氨基在转氨酶的催化下可以转移给其他许多 $\alpha$ -酮酸，产生各种氨基酸。

--- 谷氨酸是转氨作用中关键的中间代谢物。

glutamate +  $\alpha$ -keto acids

aminotransferase

$\rightarrow$   $\alpha$ -ketoglutarate + amino acids



# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

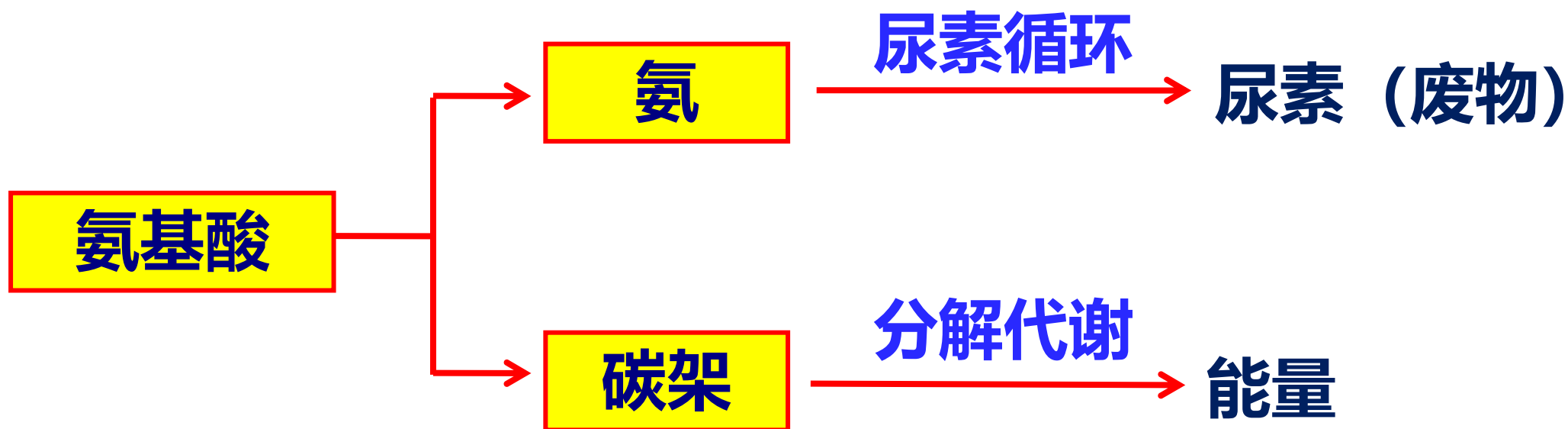
## (二) 氨基酸的生物合成

### $\text{NH}_3$ 的主要来源

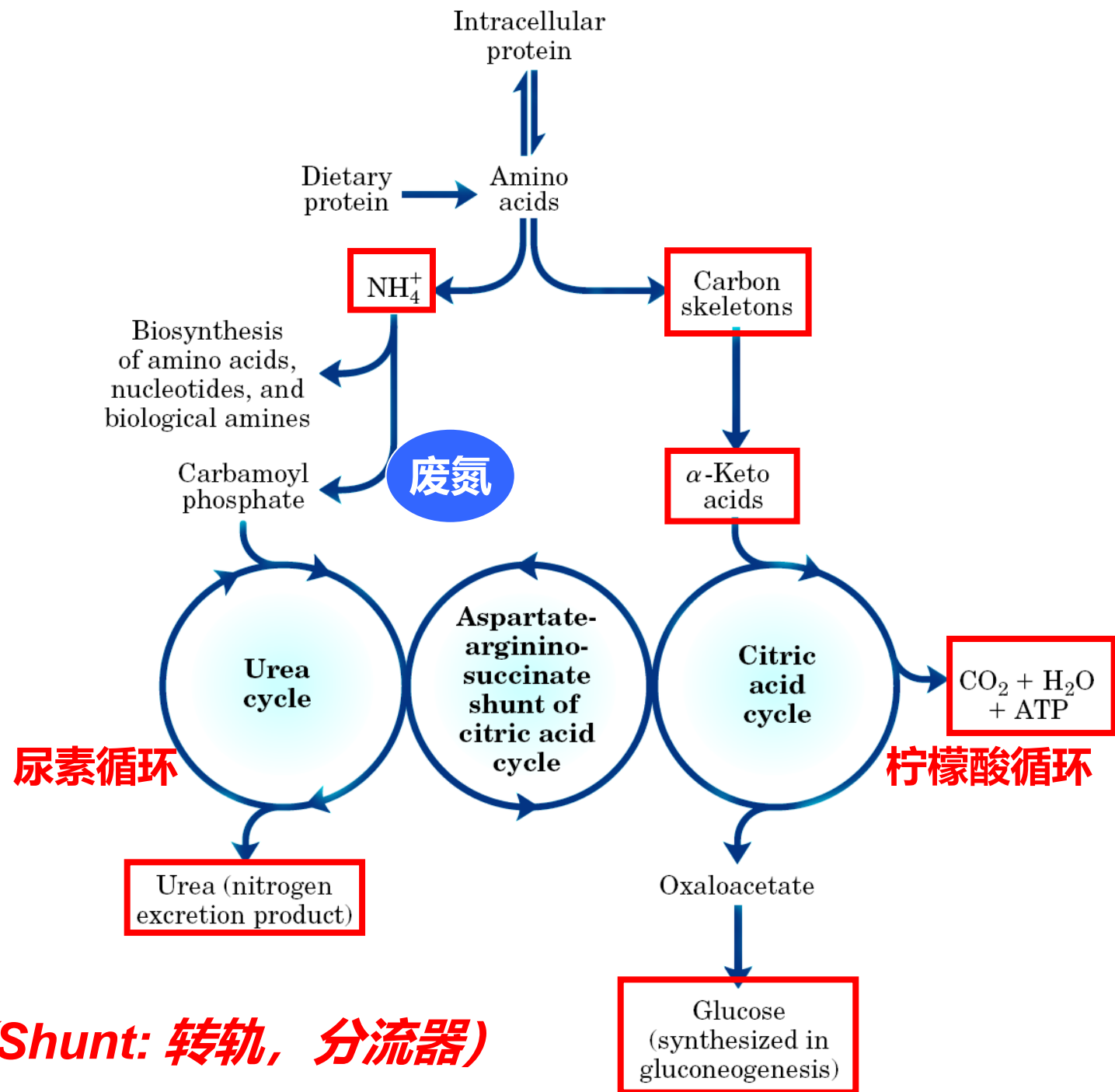
- 含氮有机物
- 植物固氮作用产生的 $\text{NH}_3$
- 硝酸盐或亚硝酸盐的还原

# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (三) 氨基酸的分解代谢



# 哺乳动物中氨基酸分解代谢全图



# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (三) 氨基酸的分解代谢

### 1. 氨基酸的脱氨

(1) 氧化脱氨

(2) 水解脱氨

(3) 转氨

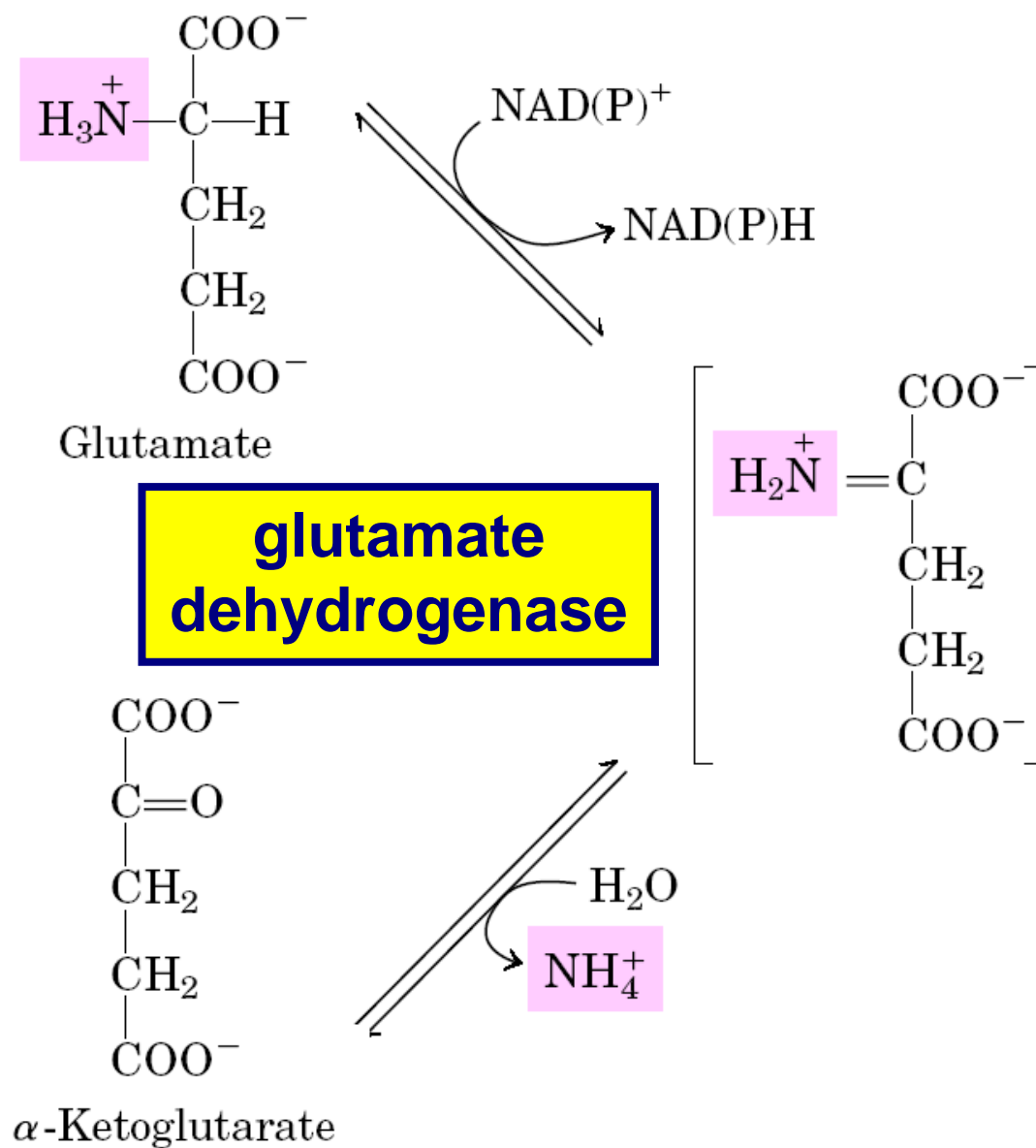
(4) 联合脱氨

# (三) 氨基酸的分解代谢

## 1. 氨基酸的脱氨

### (1) 氧化脱氨

- 谷氨酸脱氢酶催化
- 主要发生在肝线粒体内。

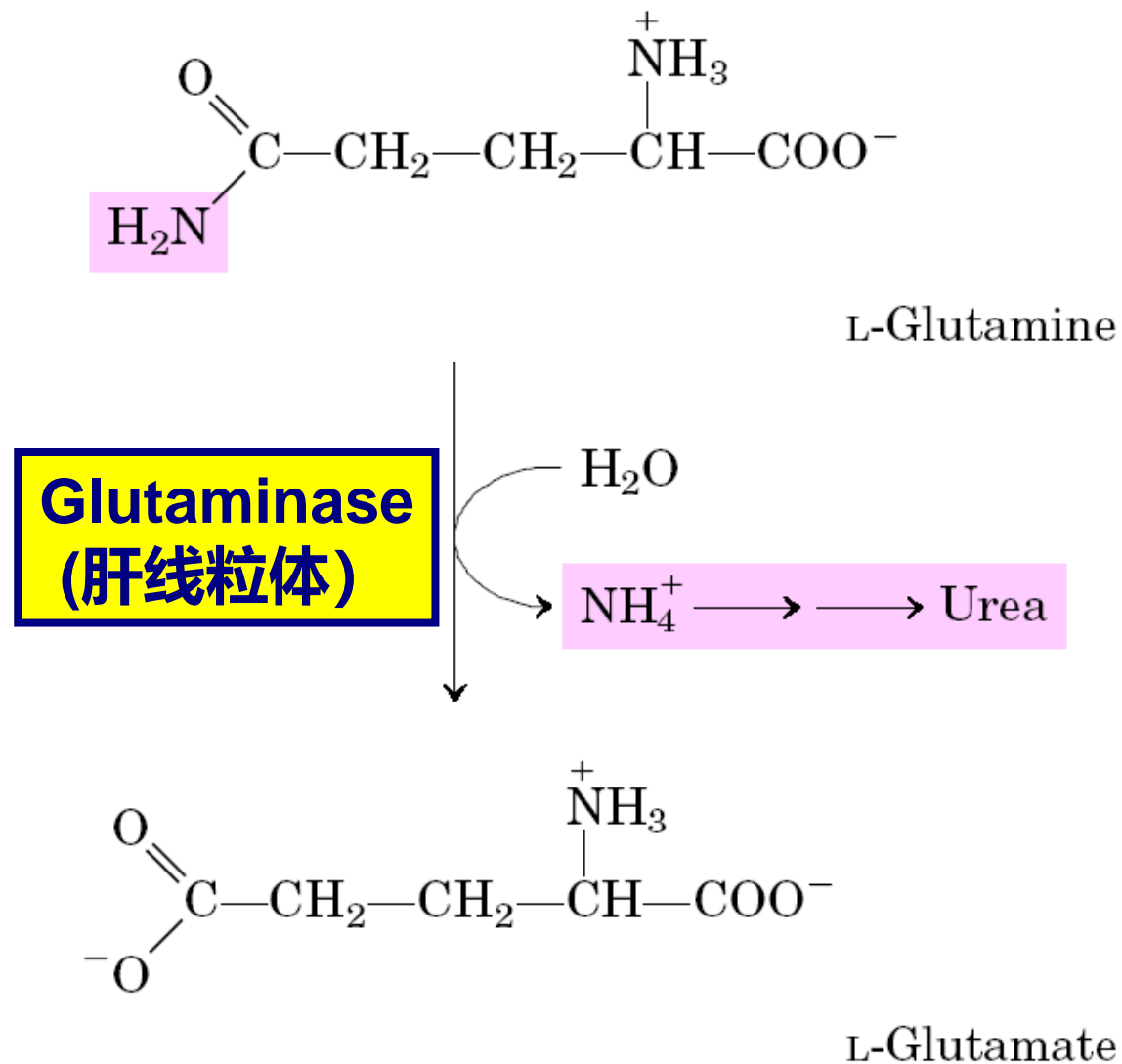


## (三) 氨基酸的分解代谢

### 1. 氨基酸的脱氨

#### (2) 酰胺基水解脱氨

- Gln和Asn
- 谷氨酰胺酶  
天冬酰胺酶
- 生成氨和相应的Glu和Asp

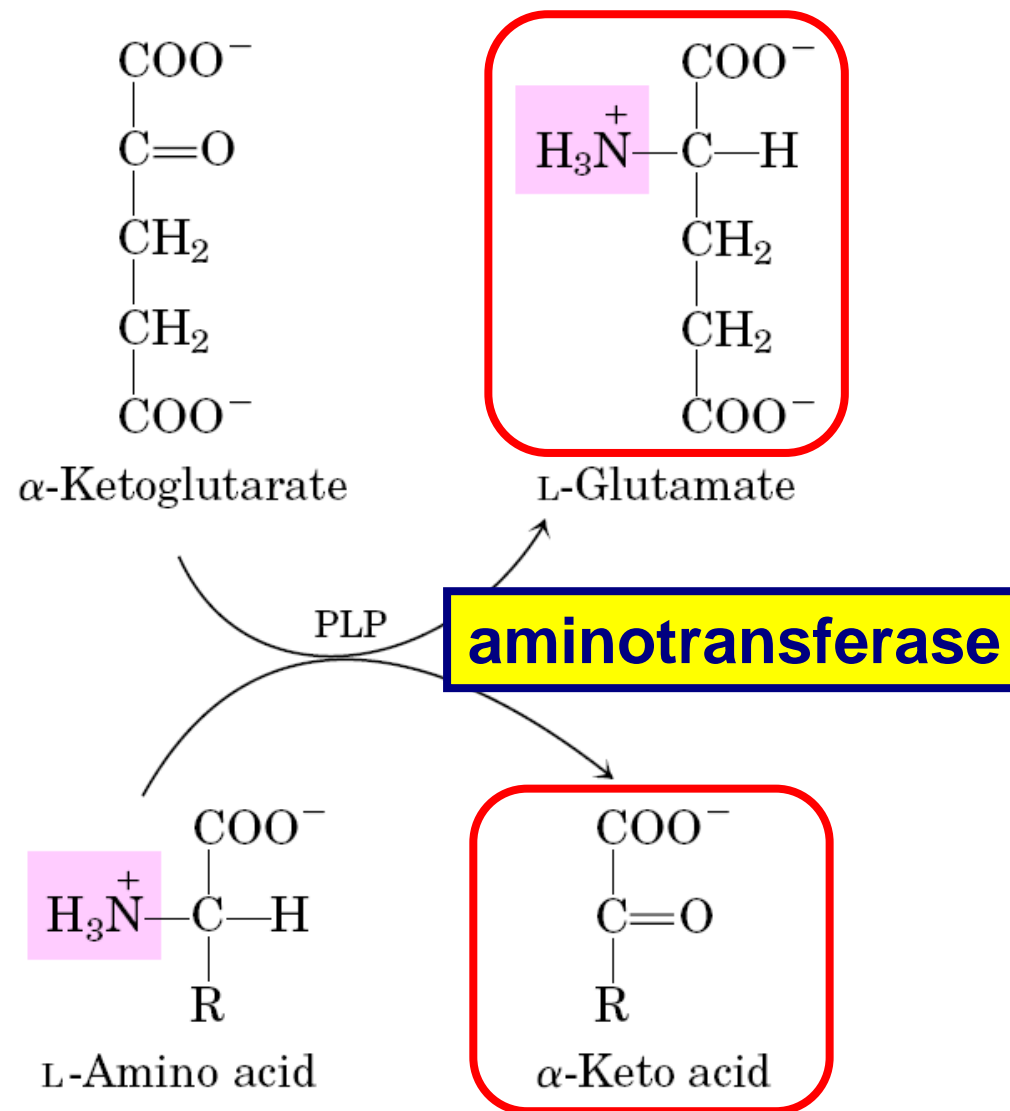


## (三) 氨基酸的分解代谢

### 1. 氨基酸的脱氨

#### (3) 转氨作用

- 转氨酶催化下进行
- 胞浆中进行
- 氨供体：其他氨基酸  
→  $\alpha$ -酮酸
- 氨受体： $\alpha$ -酮戊二酸  
→ Glu



## (三) 氨基酸的分解代谢

### 1. 氨基酸的脱氨

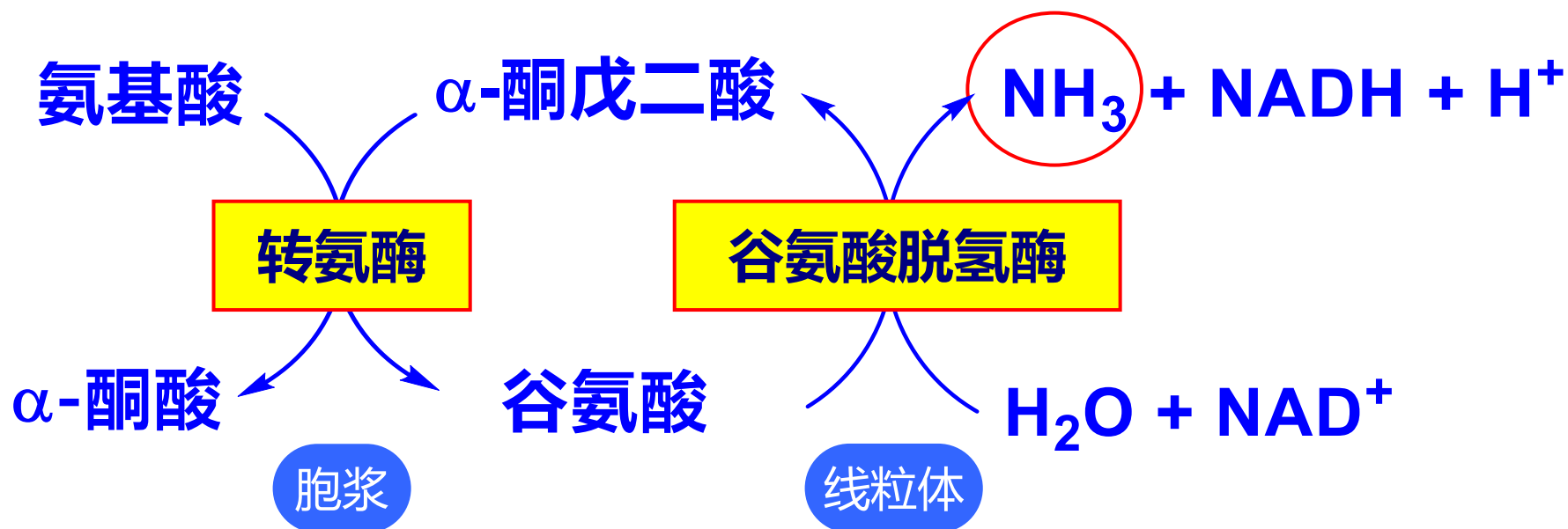
#### (4) 联合脱氨

- 转氨形成的Glu, 由胞浆转运进线粒体, 再经氧化脱氨, 生成氨和 $\alpha$ -酮戊二酸。
- **联合脱氨**: 通过转氨和脱氨两种作用实现的脱氨方式。
- 是动物体内脱氨的一种**主要方式**, 大多数氨基酸都是经联合脱氨完成脱氨的。



## (4) 联合脱氨

由转氨酶与谷氨酸脱氢酶共同完成。



■ 发生在大多数组织中，但肌肉组织则通过腺苷酸脱氨酶进行联合脱氨。

### 2. 氨的代谢途径

- **氨的毒性**：能渗透许多生物膜，对细胞毒性很强。血氨浓度高，会引起脑昏迷。
- 细胞内氨浓度维持在低水平： $< 0.1 \text{ mg/100 mL}$ 血
- 两条去路：
  - 1) 作为氮源储存与转化
  - 2) 作为废物排除体外

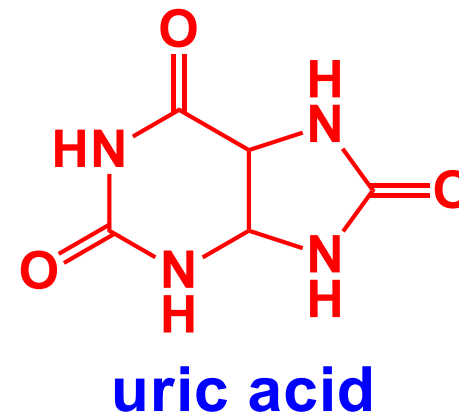
## 2. 氨的代谢途径

### ■ 不同动物排泄废氮有不同的途径：

① **鱼**等水生生物：通过鳃组织细胞膜**直接排氨**。

② 大多数**脊椎动物**：转化为低毒的**尿素**。尿素经血液转运到肾脏，通过尿液排出。

③ **鸟**和许多**爬行动物**将过量的氨转化为**尿酸**排泄掉。

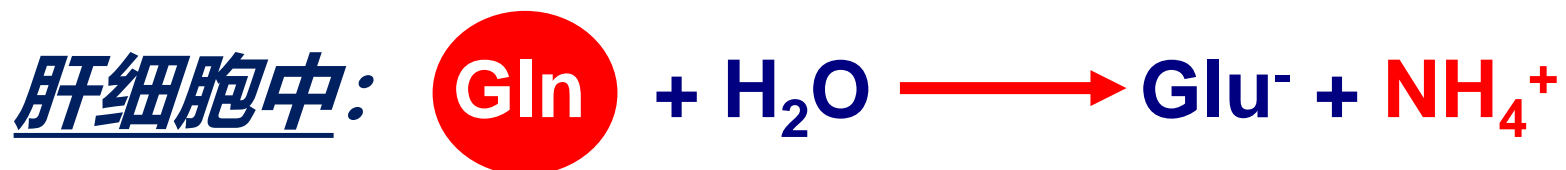


## 2. 氨的代谢途径

### (1) 氨的转运

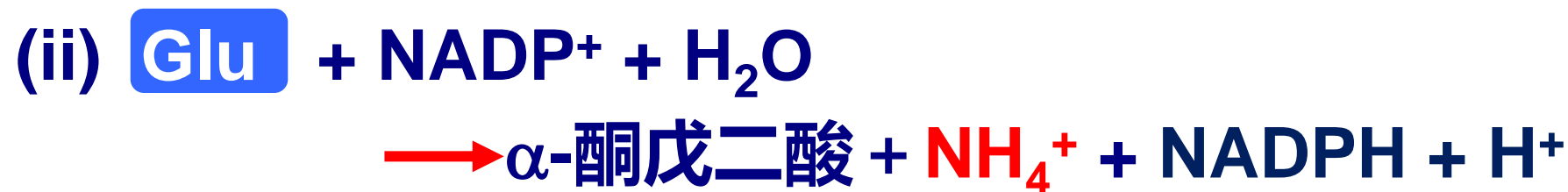
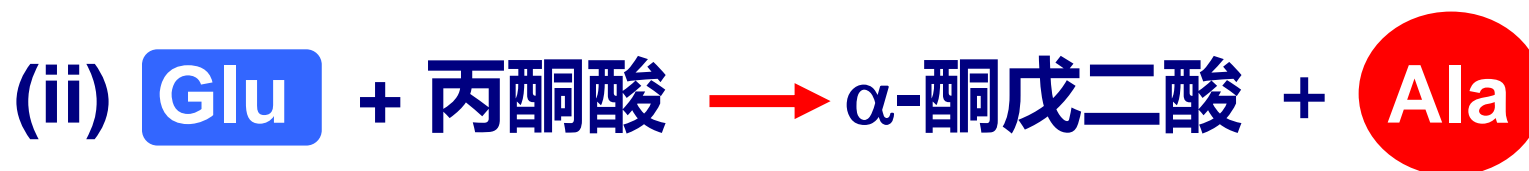
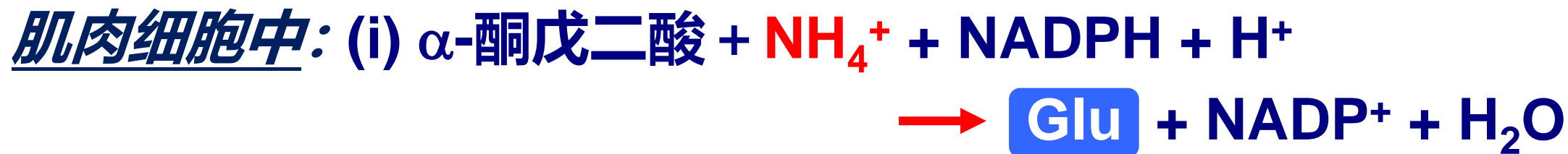
- 尿素合成基地 — 肝细胞。
- 细胞中产生的氨如何被运输？ **两种运输方式：**

① 组织细胞产生的氨  $\longrightarrow$  肝细胞



# (1) 氨的转运

## ② 肌肉细胞产生的氨 $\longrightarrow$ 肝细胞



## 2. 氨的代谢途径

### (2) 尿素循环

- 对于哺乳动物，尿素的合成几乎都发生在肝脏中。
- 肝细胞内，由Glu或Gln释放的氨经过 5步酶促反应被整合到尿素分子中。

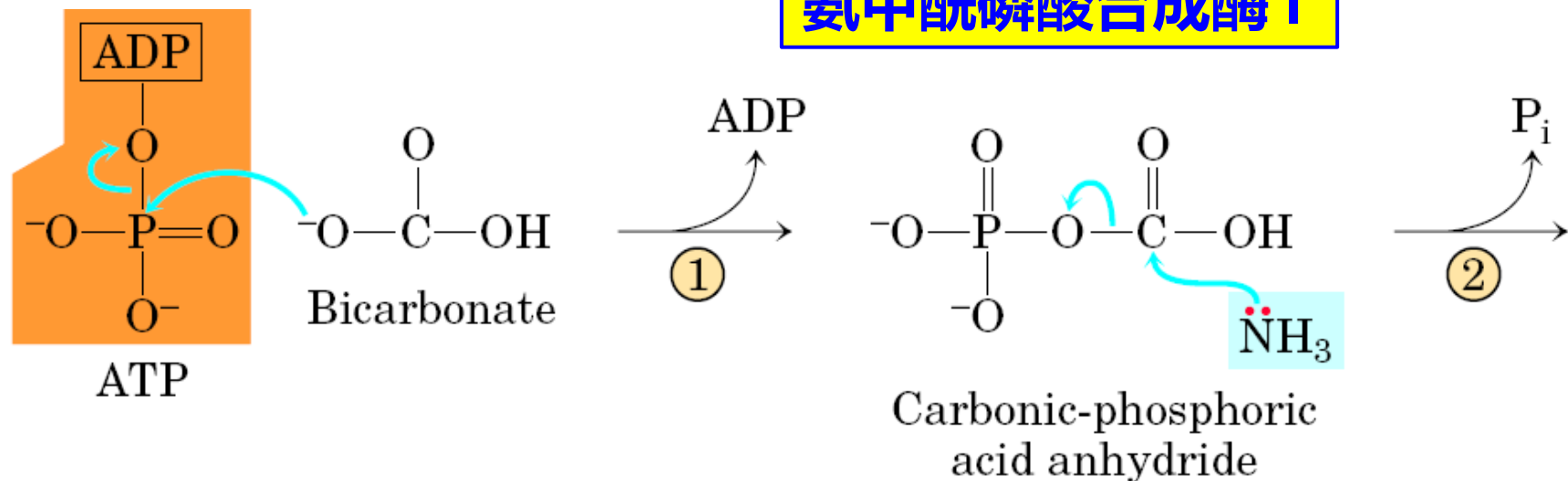
其中：

2 步反应发生在肝细胞的线粒体内；

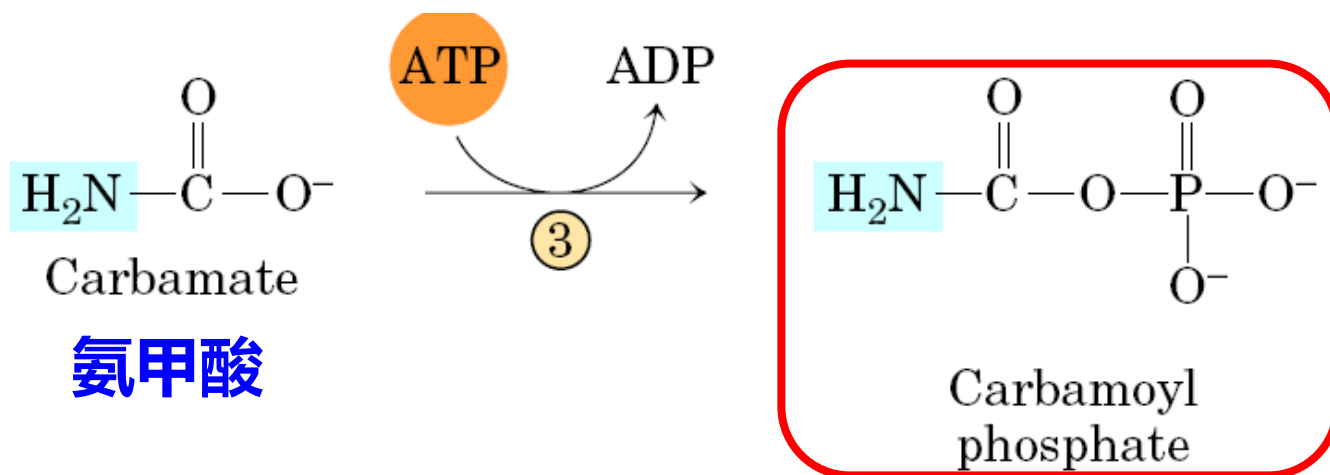
3 步反应发生在肝细胞的胞浆中。

# ① 氨甲酰磷酸的合成 (线粒体内)

## 氨甲酰磷酸合成酶 I



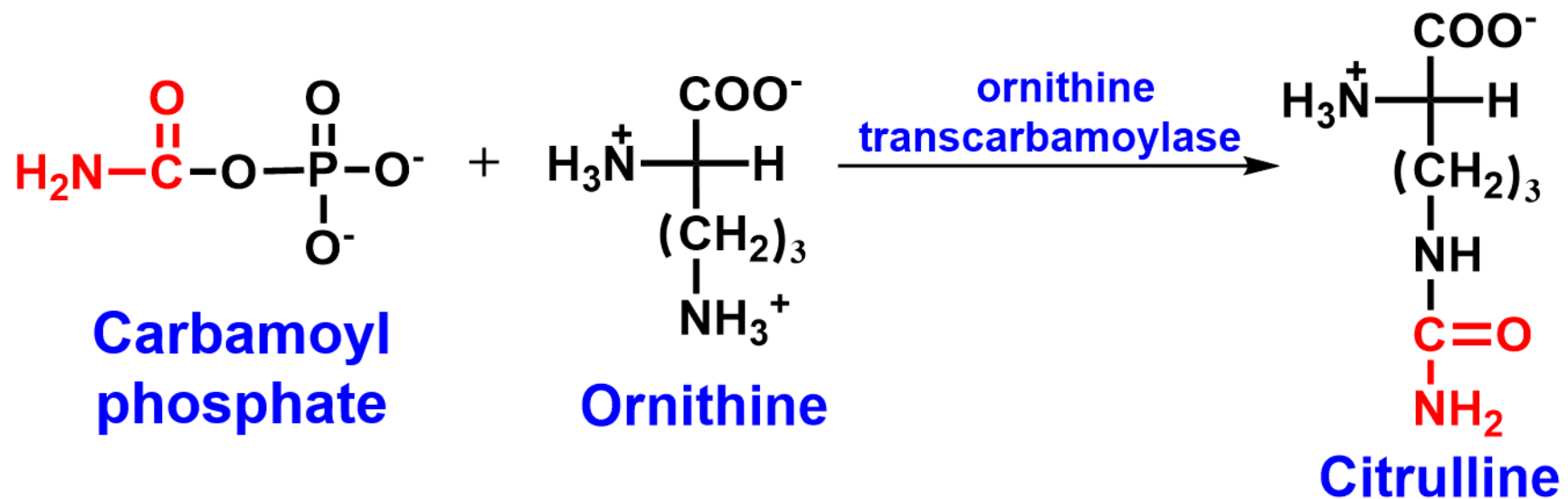
消耗2个ATP



氨甲酸

## ② 瓜氨酸的生成（线粒体内）

- 尿素循环的第一个反应。
- 氨甲酰基被转移到**鸟氨酸**上，形成**瓜氨酸**。
- 第一个氮原子的整合。
- 又称**鸟氨酸循环**（Ornithine Cycle）。



鸟氨酸氨甲酰转移酶

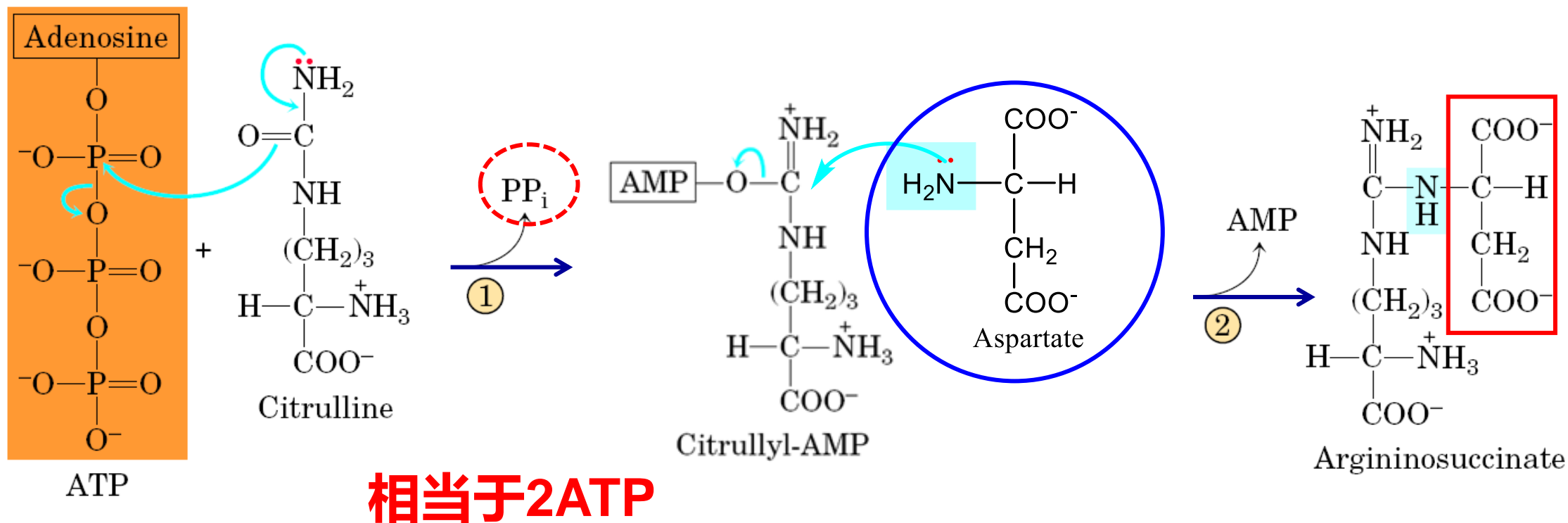
into cytosol



### ③ 精氨琥珀酸的形成（胞浆中）

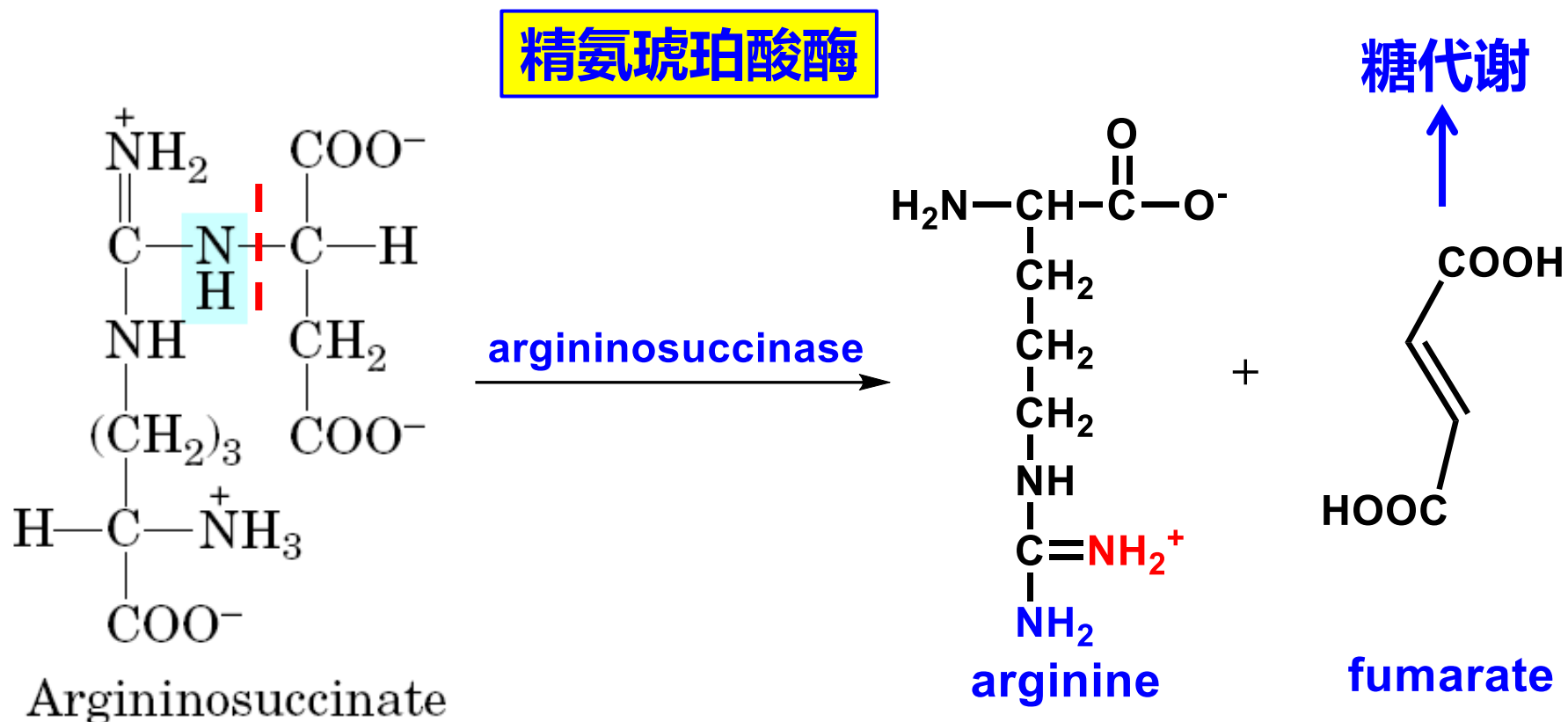
- 瓜氨酸与天冬氨酸缩合形成精氨琥珀酸
- 第二个氮原子整合到尿素的前体分子中。

#### 精氨琥珀酸合成酶



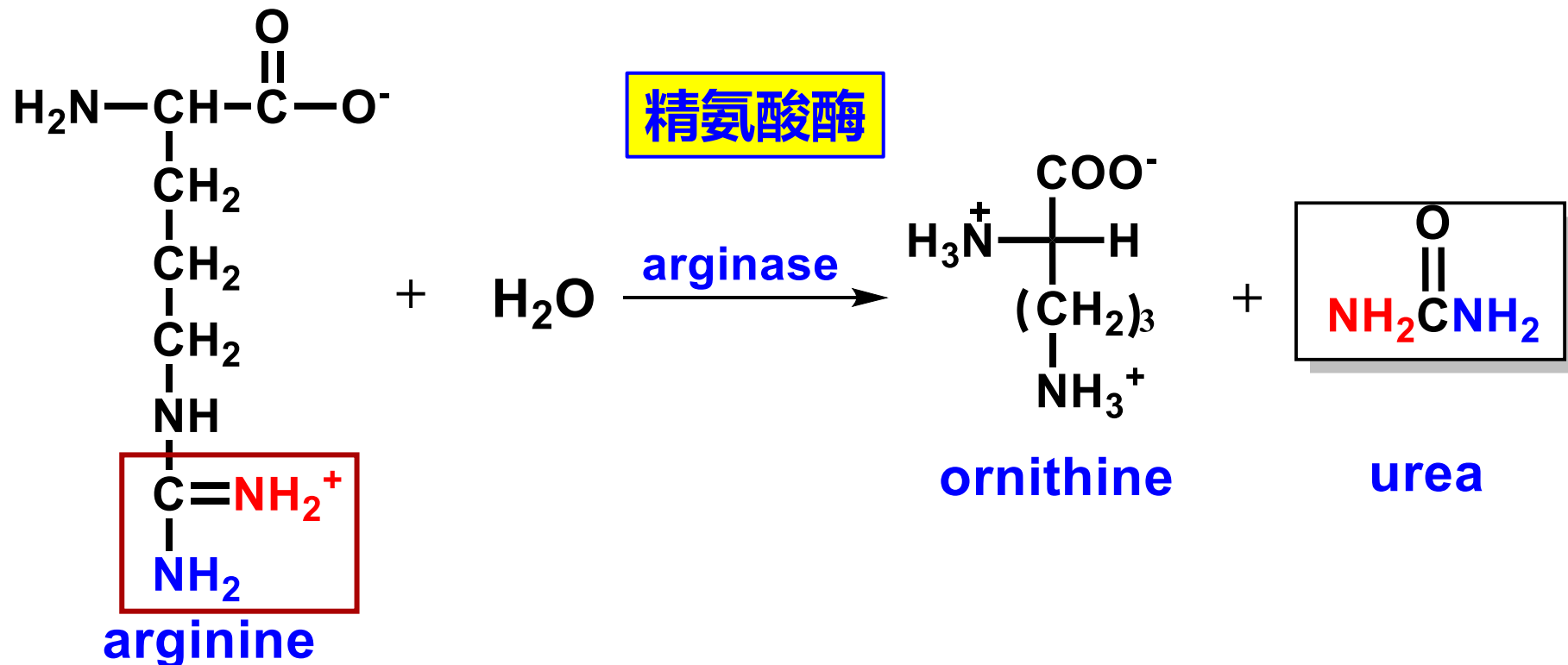
## ④ 裂解（胞浆中）

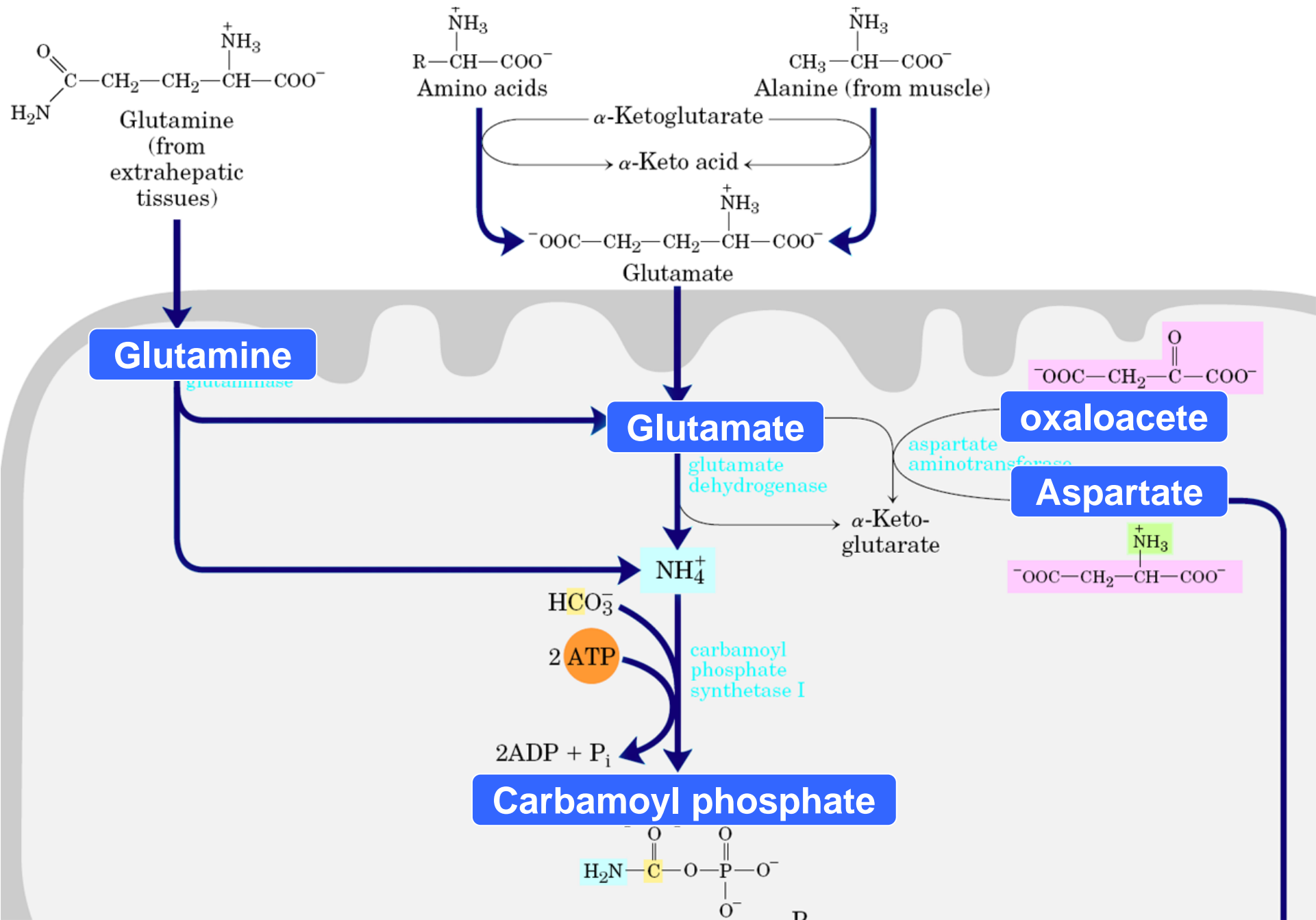
精氨琥珀酸裂解为**精氨酸**和**延胡索酸**，延胡索酸可以转换为葡萄糖或进入三羧酸循环。

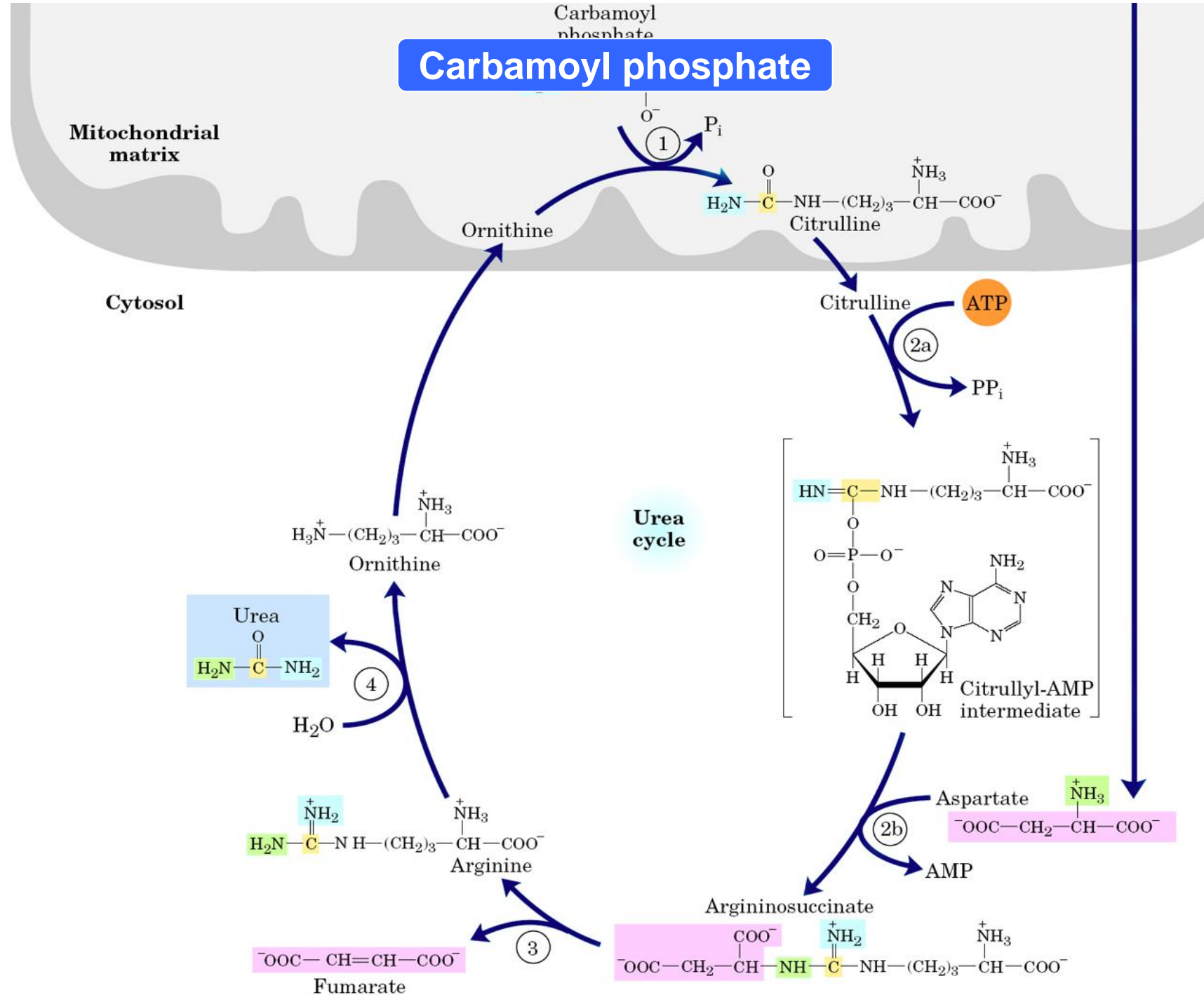


## ⑤ 尿素的生成（胞浆中）

- 尿素循环最后一步反应
- 精氨酸的胍基水解生成**鸟氨酸**和**尿素**。
- 生成的鸟氨酸进入线粒体开始另一轮循环。







## (2) 尿素循环

### 总 结

1. 形成一分子尿素可清除2分子氨和1分子 $\text{CO}_2$ 。
2. 尿素：中性无毒物质，其生成不仅可消除氨的毒性，还可减少 $\text{CO}_2$ 溶于血液所产生的酸性。
3. 尿素中的两个氮原子和一个碳原子的来源？
  - 两个氮原子前体是铵离子和天冬氨酸（Glu是这两个前体的直接氨供体）；
  - 碳原子来自于碳酸氢盐。

## (2) 尿素循环

### 总 结

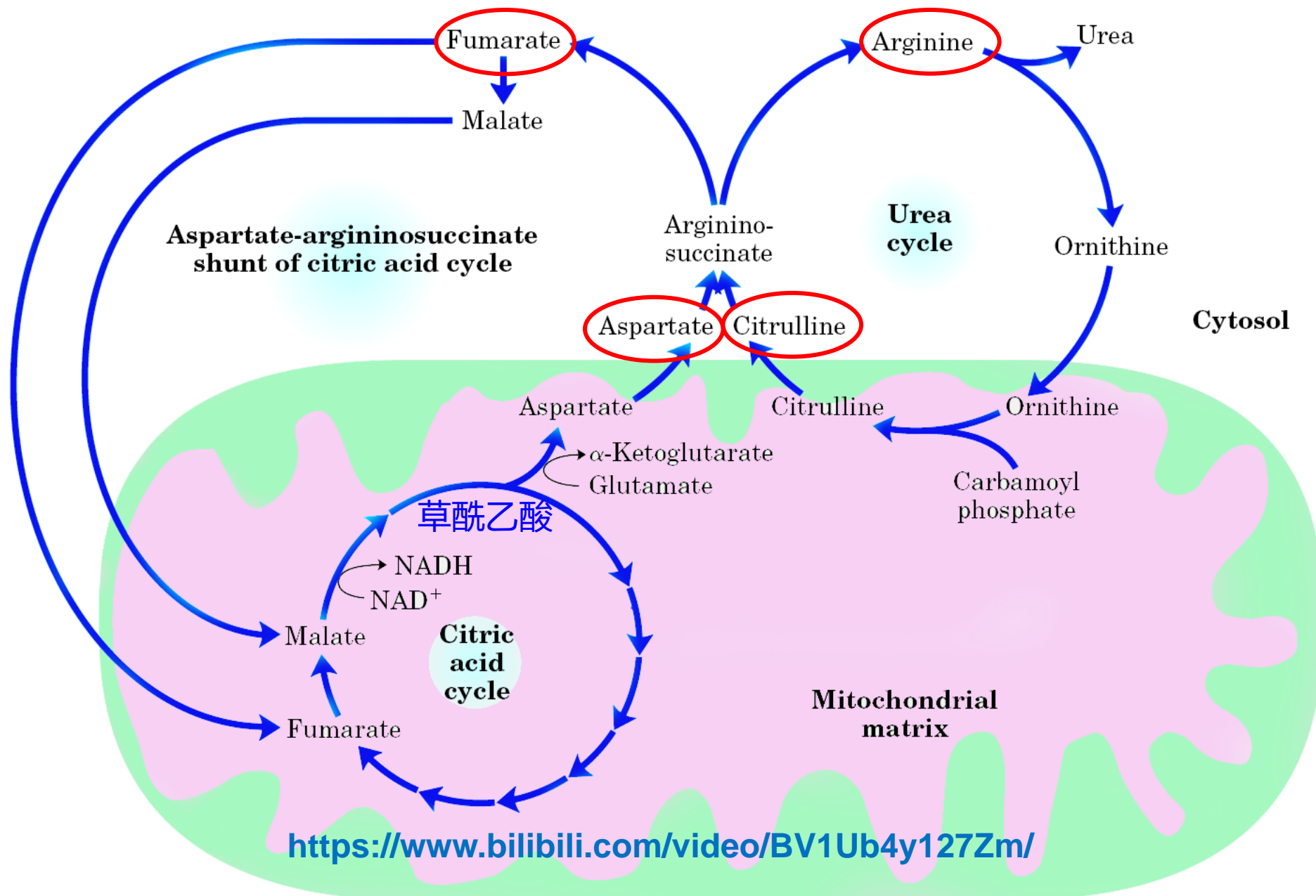
4. 尿素合成的总反应可表示如下：



5. 消耗了4个等价的ATP。每形成一分子尿素，就有3分子ATP转化为2分子ADP和一分子AMP。

6. 来自肝脏的尿素通过血液输送到肾脏，然后在肾脏以尿的成分排出。

# Links between the urea cycle and citric acid cycle





# 生酮氨基酸

## ketogenic amino acids

---

The seven amino acids that are degraded entirely or in part to acetoacetyl-CoA and/or acetyl-CoA — phenylalanine, tyrosine, isoleucine, leucine, tryptophan, threonine, and lysine — can yield **ketone bodies** in the liver, where acetoacetyl-CoA is converted to acetoacetate and then to acetone and  $\beta$ -hydroxybutyrate. These are the ketogenic amino acids.

# 生糖氨基酸

## Glucogenic amino acids

---

- The amino acids that are degraded to pyruvate,  $\alpha$ -ketoglutarate, succinyl-CoA, fumarate, and/or oxaloacetate can be converted to **glucose** and **glycogen** by pathways described in before. They are the glucogenic amino acids.
- The division between ketogenic and glucogenic amino acids is not sharp; five amino acids — **tryptophan**, **phenylalanine**, **tyrosine**, **threonine**, and **isoleucine** — are both ketogenic and glucogenic.

### 3. 氨基酸的代谢途径

生糖氨基酸

① 氨基酸 → 丙酮酸: Ala, Cys, Gly, Ser, Thr, Trp 为例

② 氨基酸 → 草酰乙酸: Asp, Asn

③ 氨基酸 → 谷氨酸 →  $\alpha$ -酮戊二酸: Arg, Gln, His, Pro

④ 氨基酸 → 琥珀酰CoA: Ile, Met, Val

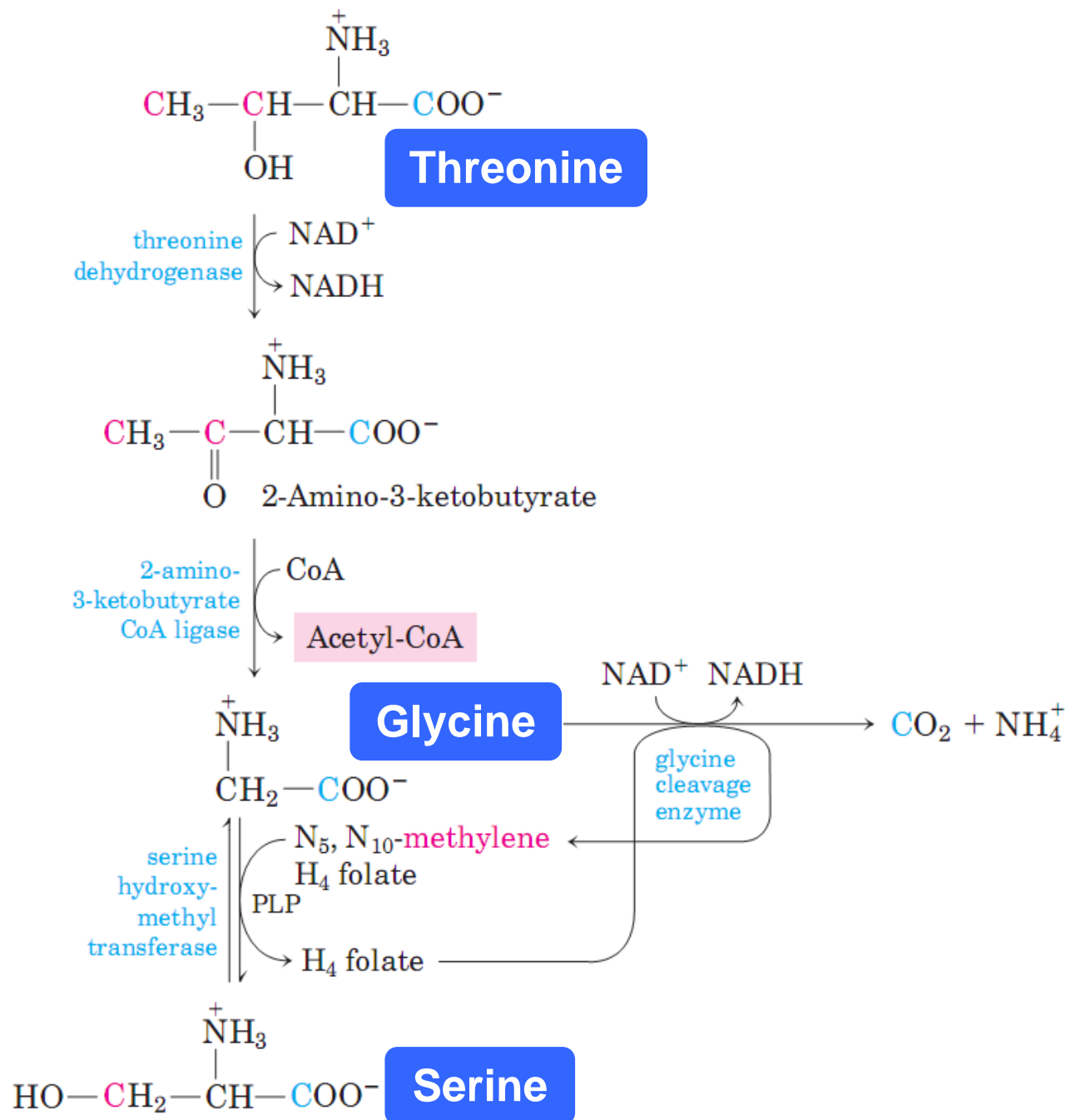
⑤ 氨基酸 → 延胡索酸: Phe, Tyr

生酮氨基酸

⑥ 氨基酸 → 乙酰乙酰CoA → 乙酰CoA: Leu, Trp, Lys, Phe, Tyr

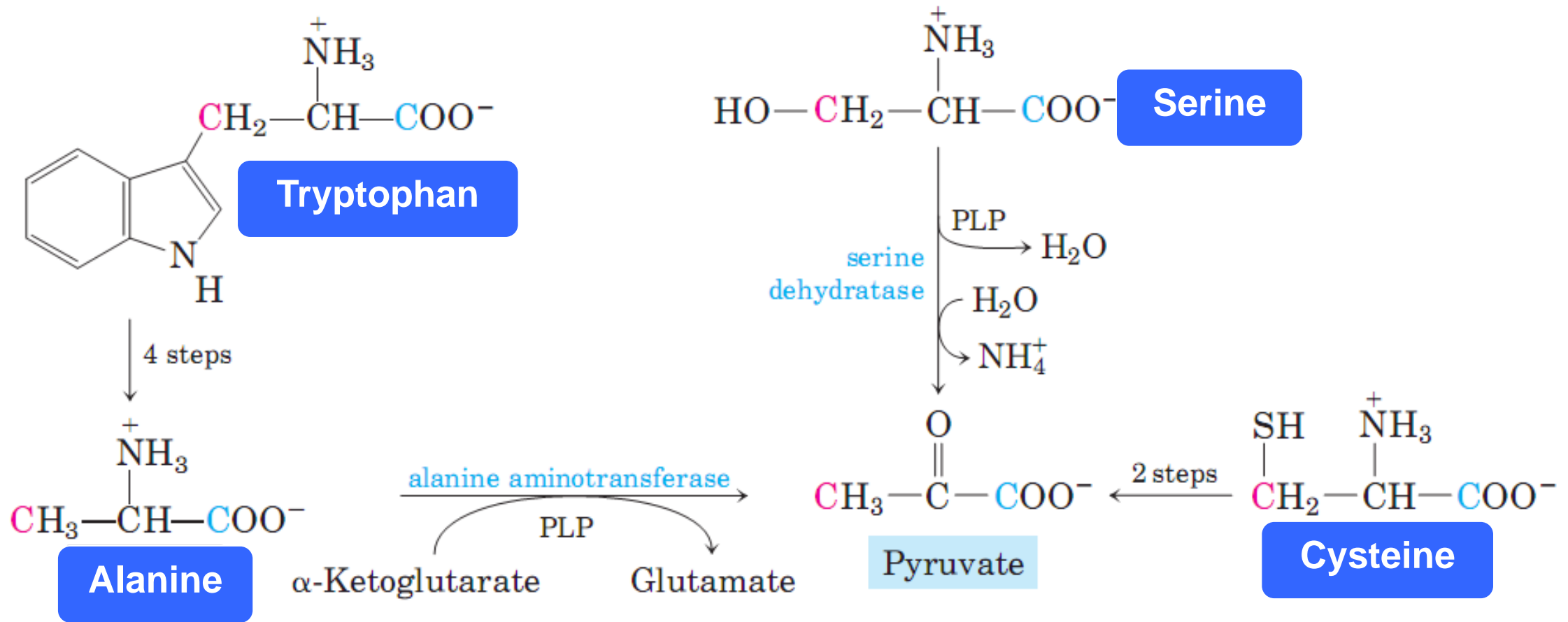
⑦ 氨基酸 → 乙酰CoA: Ile, Leu, Thr, Trp,

**Six amino acids  
are degraded to  
pyruvate**



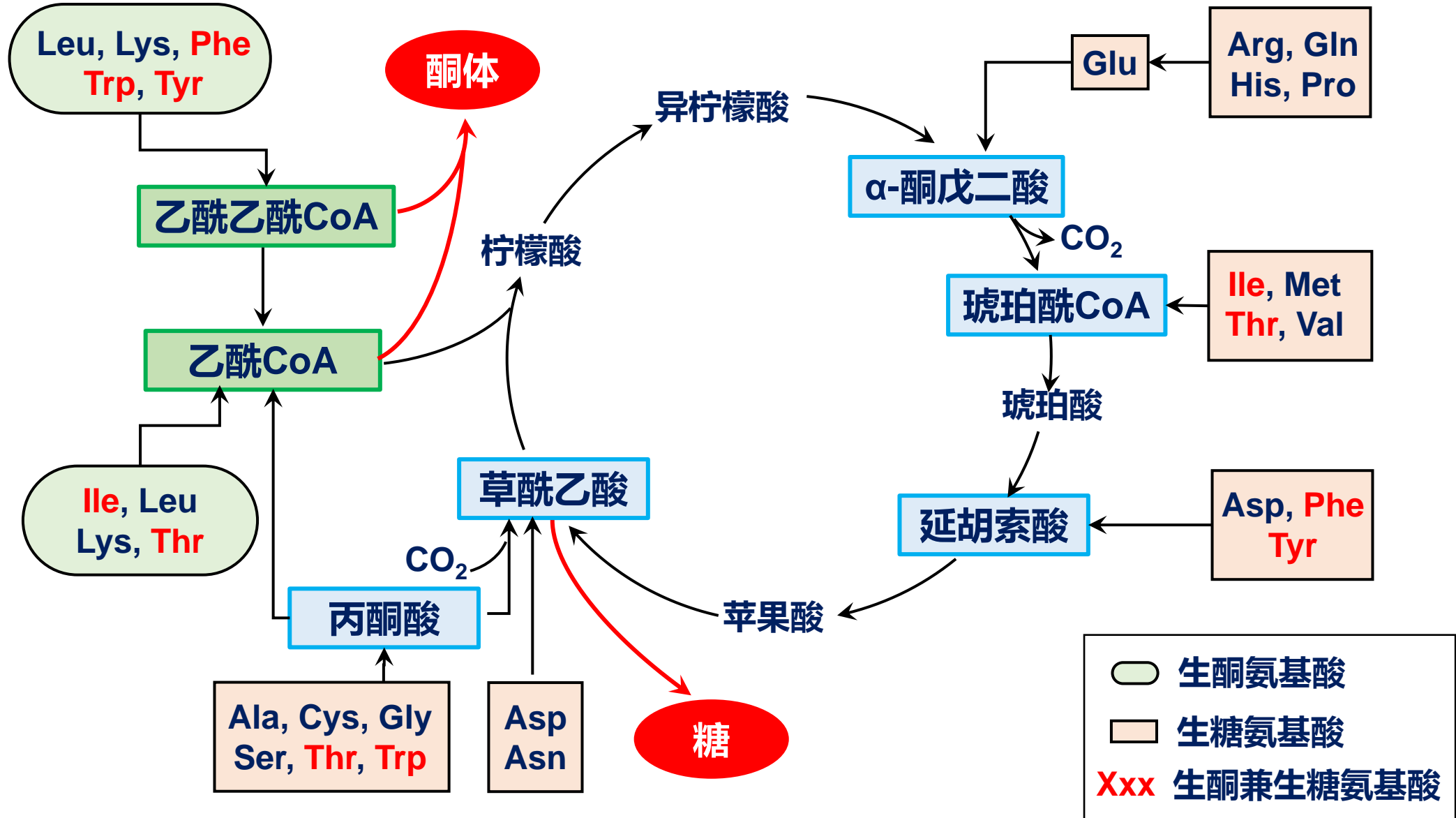
**接下页**

# Six amino acids are degraded to pyruvate

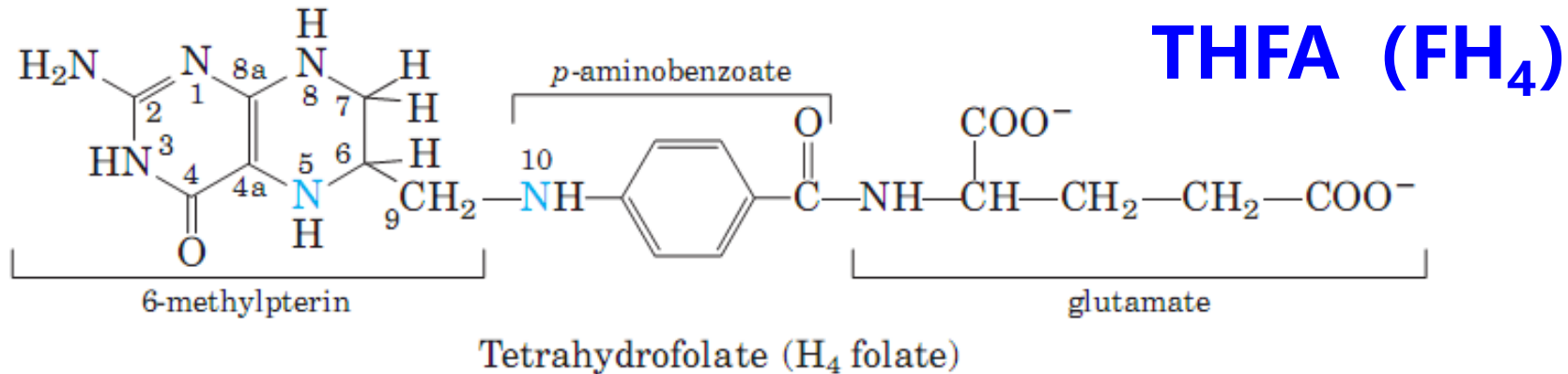
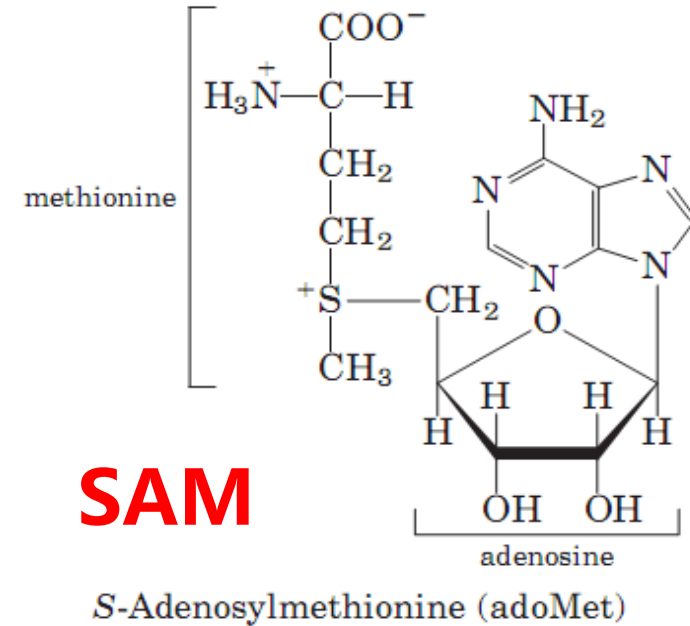
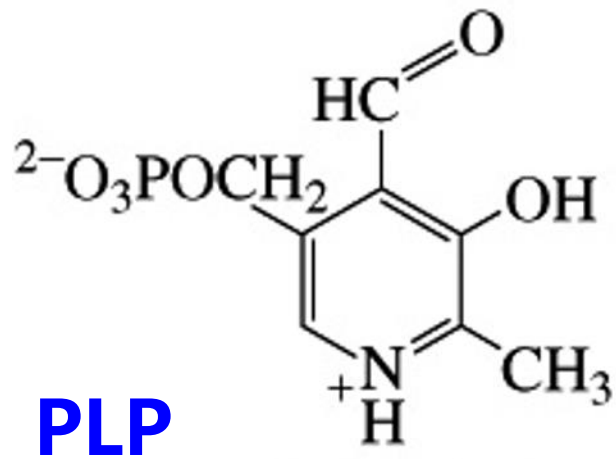


接上页

# Summary of amino acid catabolism

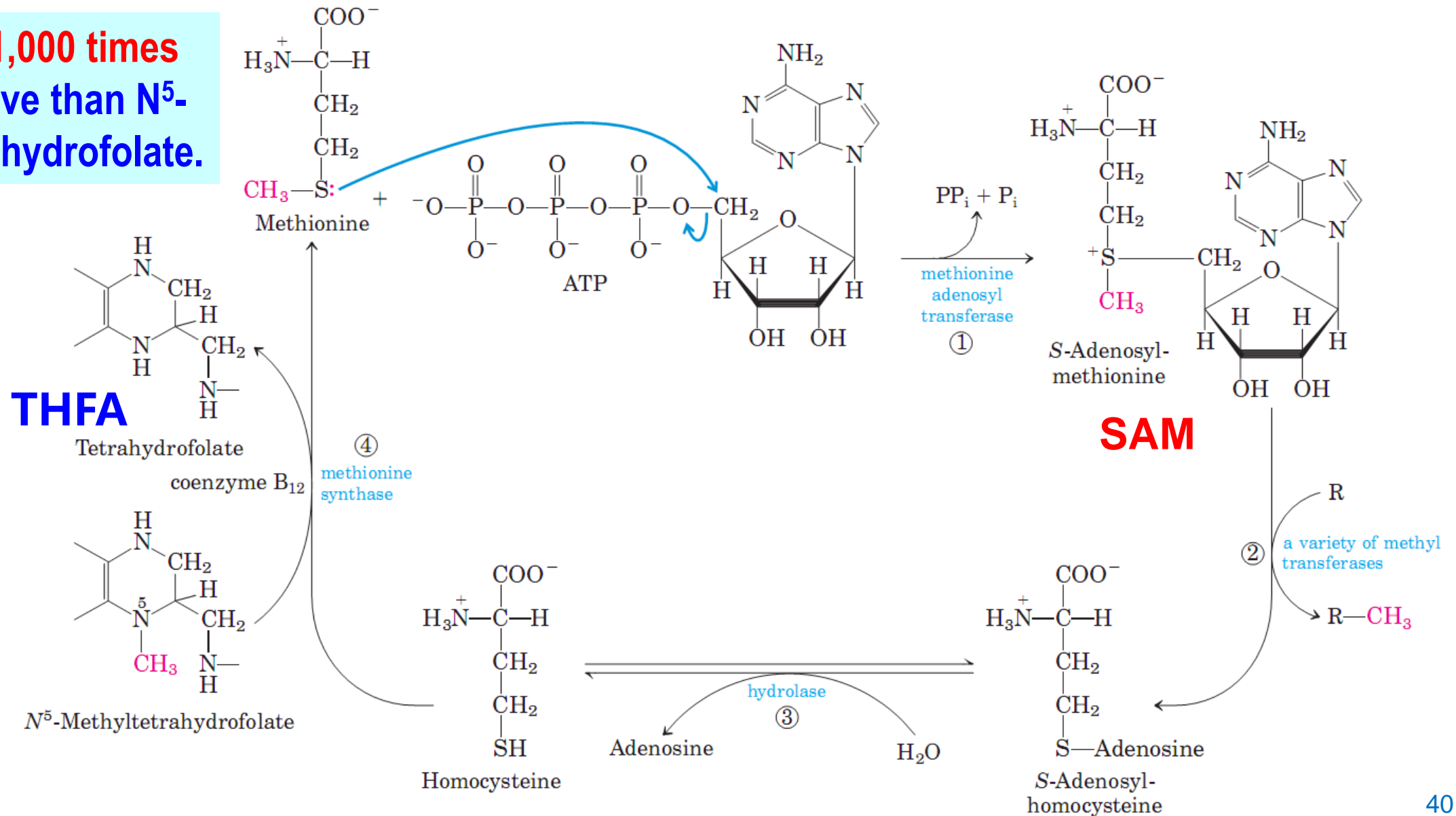


# Several enzyme cofactors play Important roles in amino acid catabolism



# SAM is the preferred cofactor for biological methyl group transfers

It is about **1,000 times** more reactive than N<sup>5</sup>-methyltetrahydrofolate.





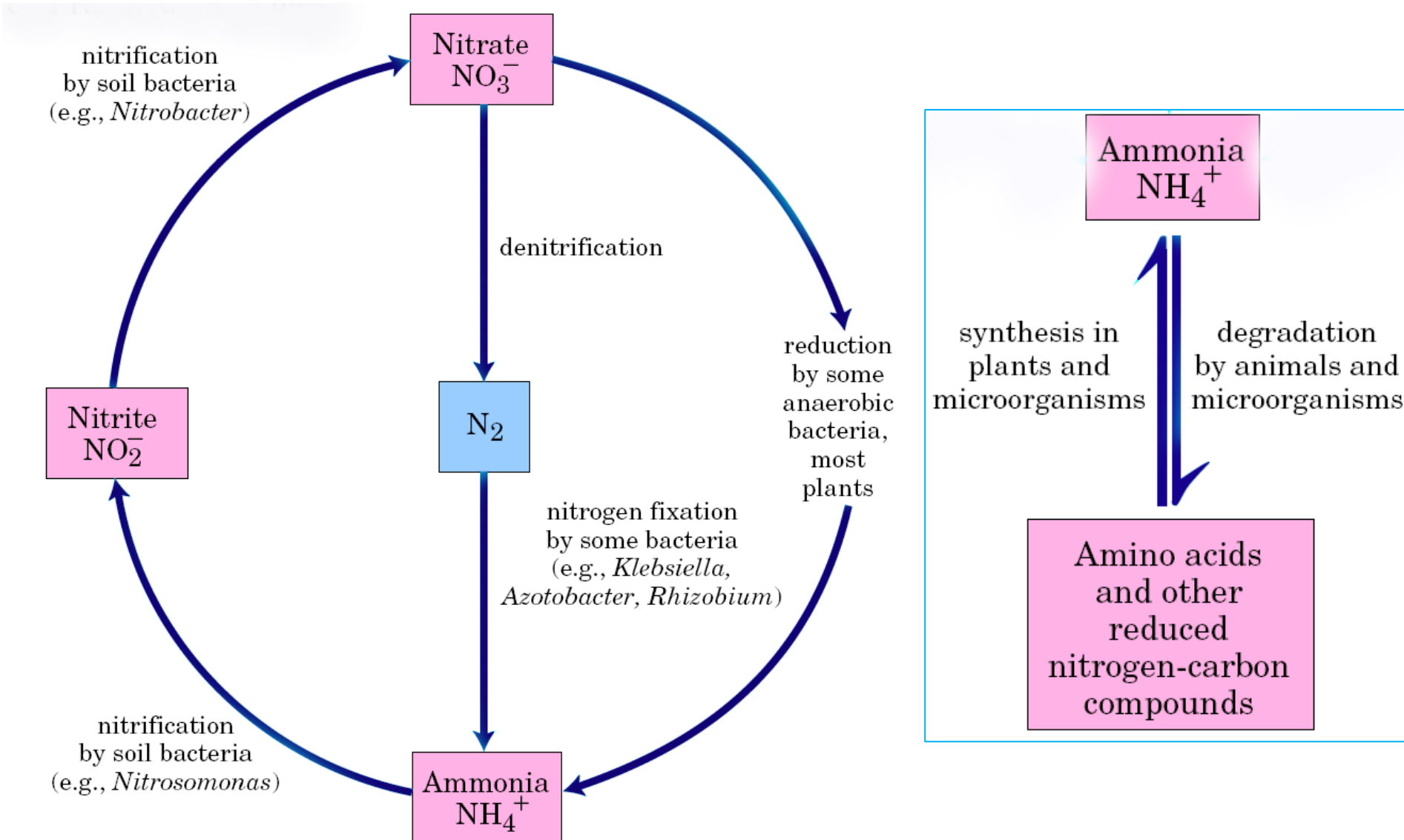
# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (四) 氮循环与生物固氮

---

The most important source of nitrogen is air, which is four-fifths molecular nitrogen ( $N_2$ ). However, relatively few species can convert atmospheric nitrogen into forms useful to living organisms. In the **biosphere**, the metabolic processes of different species function interdependently to **salvage and reuse** biologically available nitrogen in a **vast nitrogen cycle**.

# Cycling of nitrogen in the biosphere



# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (四) 氮循环与生物固氮

---

### 生物固氮

### Biological Fixation of Nitrogen

- 将 $N_2$ 还原为氨称之固氮。生物圈中的大多数固氮工作都是靠少数几种能够合成复杂的固氮酶的微生物和藻类进行的。
- 固氮酶是个多亚基蛋白质，它可以催化 $N_2$ 转化为两分子的 $NH_3$ 。

# 五、蛋白质降解和氨基酸代谢

## (四) 氮循环与生物固氮

### 生物固氮

### Biological Fixation of Nitrogen

- 固氮酶存在于与许多植物（如大豆、蚕豆、豌豆、苜蓿和红花草等豆科植物）的根瘤共生的根瘤菌（*Rhizobium*）中。
- $N_2$ 也可以被生活在土壤中的某些细菌固定。

# Rhizobium



# 六、核酸降解和核苷酸代谢

## ■ 自学

# 本章学习要点(1)-糖的分解代谢

---

- **掌握基本概念**：酵解，发酵，底物水平磷酸化，P/O值，代谢区室，代谢途径等等。
- **熟悉酵解途径**中的各步酶促反应以及与发酵途径的区别。
- **熟悉柠檬酸循环**途径中的各步酶促反应，以及各步反应酶的作用特点。
- 会分析和**计算**酵解和柠檬酸循环中产生的**能量**，以及底物分子中标记**碳的去向**。

## 本章学习要点(2)-糖的合成代谢

---

- **掌握基本概念**：光合作用和呼吸作用，光合色素，光合系统，光合磷酸化，非循环式和循环式光合磷酸化，Calvin循环和四碳循环。
- 熟悉光反应发生的**部位**和反应**条件**，光反应的主要**产物**。
- 熟悉暗反应中固定CO<sub>2</sub>的**载体**和**第一个产物**，Calvin循环和四碳循环途径和两者**区别**。



## 本章学习要点(3)-脂肪代谢

- **掌握基本概念**：载脂蛋白，脂蛋白，酮体， $\beta$ -氧化途径，酰基载体蛋白
- **重点掌握脂肪酸 $\beta$ -氧化途径。**
- **会计算**脂肪酸经 $\beta$ -氧化，柠檬酸循环和氧化磷酸化彻底氧化为 $\text{CO}_2$ 和水所产生的**能量**。
- **熟悉酮体**生成的部位、生成过程及危害。
- **熟悉脂肪酸合成**的过程以及与脂肪酸分解过程的主要**差别**。

# 本章学习要点(4)-氨基酸代谢

---

- **掌握基本概念**：转氨作用，氧化脱氨，尿素循环，生酮和生糖氨基酸。
- 熟悉**鸟氨酸循环**发生的部位，循环中的各步酶促反应，尿素氮的来源。
- 了解氨基酸碳骨架的氧化途径，特别是与代谢中心途径（酵解和柠檬酸循环）的关系。

# 课后思考题

1. 人体内ATP一经合成后立即会被机体消耗掉，一个成年人每天大约合成65kg的ATP。既然人体内仅含有大约50g的ATP和ADP，怎么可能有如此多的ATP可被利用？你是怎么理解的？
2. 肉毒碱水平超低的人在中度运动后会感到肌肉无力，并且肌肉细胞中的甘油三酯水平明显升高。
  - (1) 请合理解释这两种生理现象。
  - (2) 在氧气供应充足情况下，这种人可否正常代谢糖原？为什么？

# 课后思考题

3. 人体缺乏硫胺素会引起脚气病 (beriberi) , 通常这种病人血液中的丙酮酸和 $\alpha$ -酮戊二酸水平会升高, 请解释其原因。
4. 如果分别用C-1、C-2和C-3标记 ( $^{14}\text{C}$ 标记) 的丙酮酸进行实验, 那么, 经过丙酮酸氧化脱羧和三羧酸循环两个过程, 哪种标记的分子最先产生 $^{14}\text{CO}_2$ ? 后产生 $^{14}\text{CO}_2$ ? 并分别说明在哪一步或第几次循环产生 $^{14}\text{CO}_2$ 。
5. 当用 $^{15}\text{N}$ 标记的Asp饲养动物时,  $^{15}\text{N}$ 标记很快出现在许多氨基酸中, 请解释这种现象。

## **生化文献阅读报告第二轮选优**

**12月13日（16周周三）上午，课堂派发布第一轮优选报告**

**12月20日（17周周三）课间，课堂派投票**

## **小组探究题展示（6）**

**12月20日（17周，周三8:00时）三个组展示。**

## **复习课、集体照**

**12月27日（18周，周三，8:00-9:30）**

**考试（全部内容，闭卷），地点：？**

**2024年1月5日（19周，周五，9:30-11:30）**