

# 第九章

## 蛋白质的分解代谢

**catabolism of protein**

# 教学内容

- 第一节 蛋白质的营养作用
- 第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败
- 第三节 氨基酸的代谢概况
- 第四节 氨基酸的一般代谢
- 第五节 个别氨基酸的特殊代谢
- 第七节 糖、脂类和蛋白质在代谢上的相互联系

# 第一节 蛋白质的营养作用

## 一 蛋白质营养的重要性

1、维持细胞、组织的生长、更新和修补

2、参与多种重要的生理活动

**催化、代谢调节、运动、运输、免疫防御等**

。

3、氧化供能

**人体每日 18%的能量由蛋白质提供。**

- 每天应该摄取多少蛋白质才能满足机体的需要呢？

## 二、蛋白质的需要量

### 1、氮平衡：

**摄入食物的含氮量与排泄物中含氮量之间的关系。**

\* 氮总平衡：摄入氮 = 排出氮      如成人

\* 氮正平衡：摄入氮 > 排出氮      如儿童、孕妇

\* 氮负平衡：摄入氮 < 排出氮      如饥饿、消耗性疾病

## 2、生理需要量

(1) 每天最低分解量

成人每日最低分解量约为 **20g/d** 蛋白质

(2) 最低生理需要量

成人每日最低需要量：**30~50g/d**

我国营养学会推荐的

成人每日需要量：**80g/d**

## 三、蛋白质的营养价值与互补作用

### 1、蛋白质的营养价值：

是指食物蛋白质在体内的利用率。取决于其含必需氨基酸数量、种类、比例。

➤ **必需氨基酸：**

**体内需要而又不能自身合成，必须由食物供应的氨基酸。**

**缬、异亮、亮、苯丙、蛋、色、苏、赖氨酸共8种**  
**(假设借来一两本书)**

➤ **非必需氨基酸：**体内可合成的氨基酸

➤ **半必需氨基酸：**婴幼儿时期合成量不能满足需要，有两种：组氨酸和精氨酸。

蛋白质营养价值的化学评分：

将其氨基酸组成与标准蛋白（鸡蛋或牛奶蛋白）  
或 FAO（世界粮农组织营养委员会）模型进行比较

蛋白质的生理价值（BV）：指食物蛋白的利用率

$$BV = \frac{\text{氮的保留量}}{\text{氮的吸收量}} \times 100\%$$

## 2、蛋白质的互补作用：

指营养价值较低的蛋白质混合食用，使必需氨基酸互相补充从而提高营养价值。

谷类蛋白质含赖氨酸较少而含色氨酸较多  
豆类蛋白质含赖氨酸较多而含色氨酸较少

两者混合食用可提高营养价值

生理价值

食物

单独食用

混合食用

玉米

60

73

小米

57

大豆

64

小麦

67

89

小米

57

大豆

64

## 第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败

# 一、蛋白质的消化

## 1. 蛋白质消化的生理意义

- 由大分子转变为小分子，便于吸收。
- 消除种属特异性和抗原性，防止过敏、毒性反应。

## 2. 主要的酶类:

内肽酶: 水解蛋白质内部肽键的酶

胃蛋白酶、胰蛋白酶、弹性

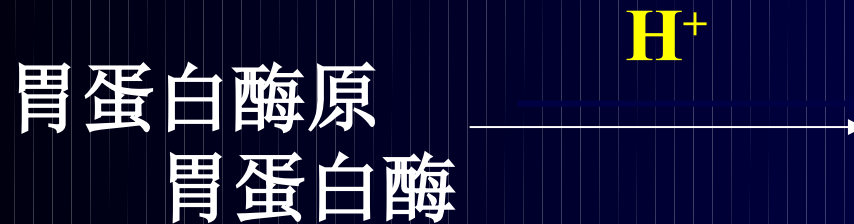
蛋白酶  
外肽酶: 水解肽链两端肽键的酶

氨基肽酶、羧基肽酶

### 3. 消化的部位:

#### (1) 胃中消化

- \* 酶原的激活



- \* 水解作用



## (2) 小肠内消化 (主要部位)

主要的酶类

:

内肽酶

胰蛋白酶

糜

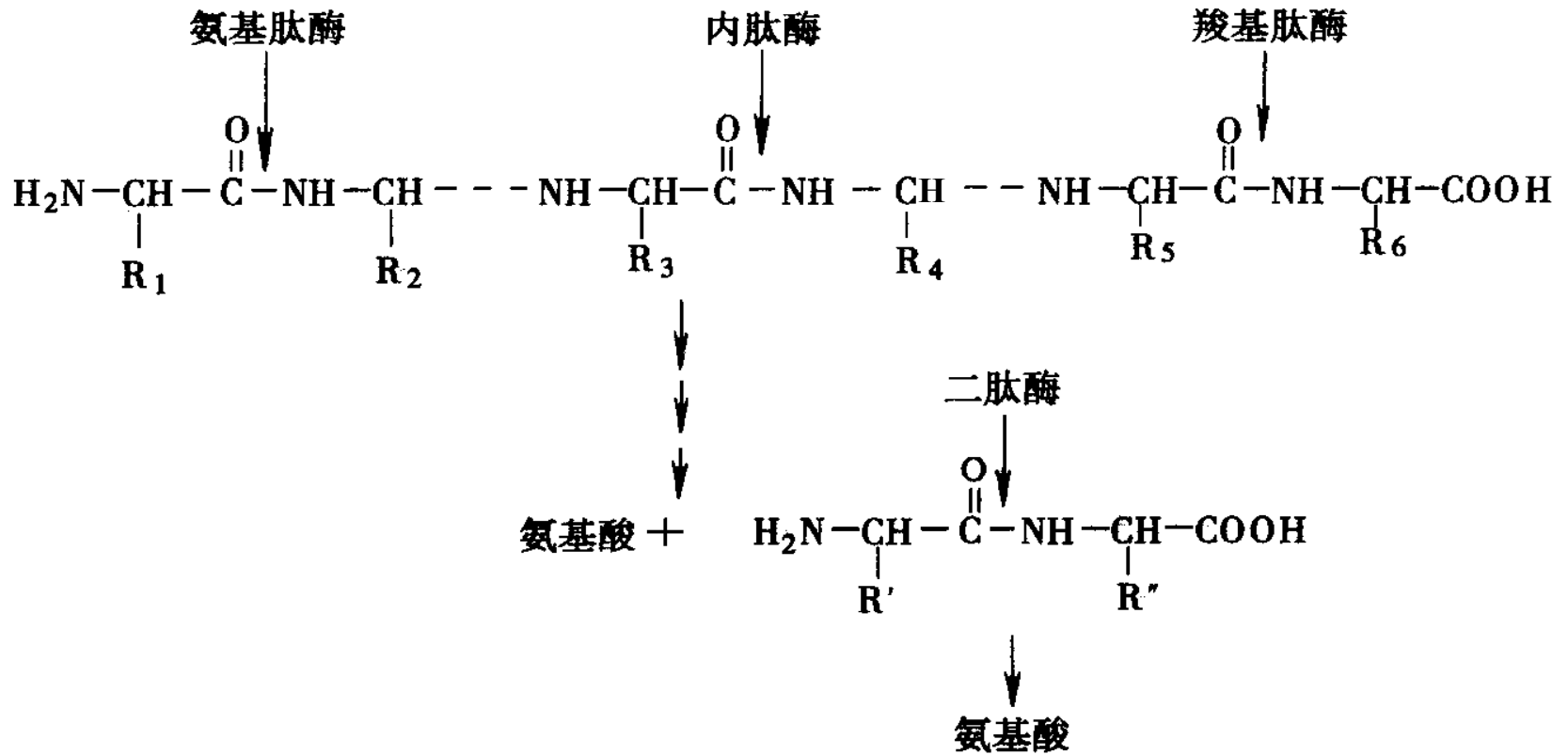
蛋白酶

弹

胰凝乳蛋白酶

羧基肽酶 A

羧基肽酶 B



## 二、氨基酸的吸收和转运

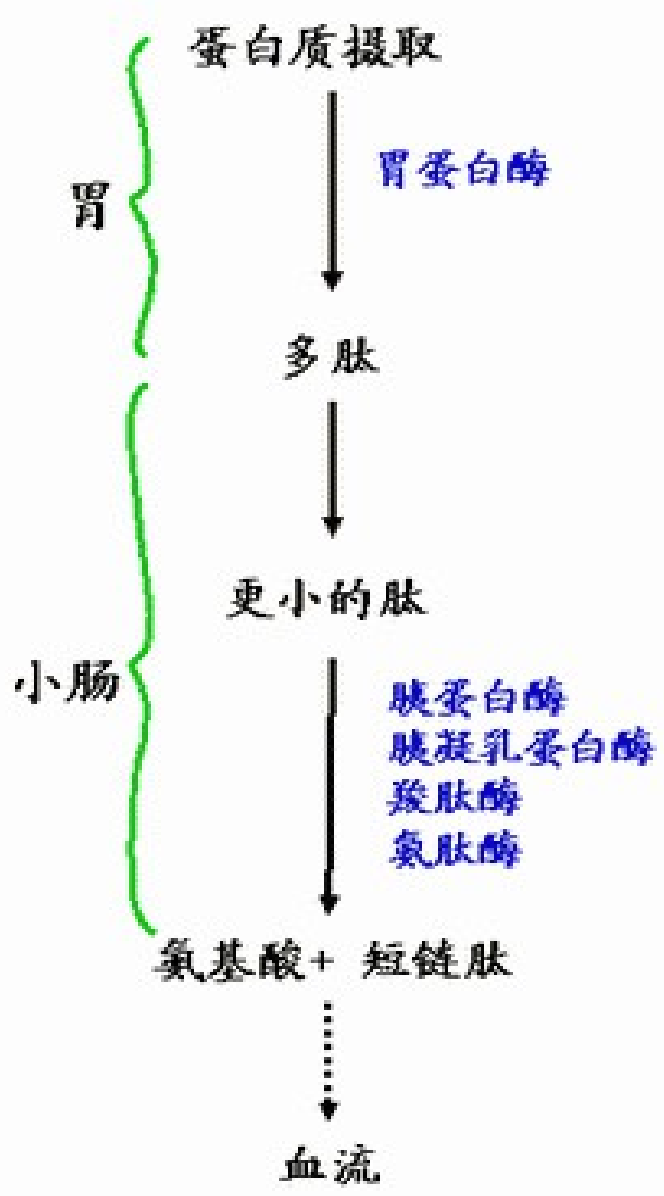
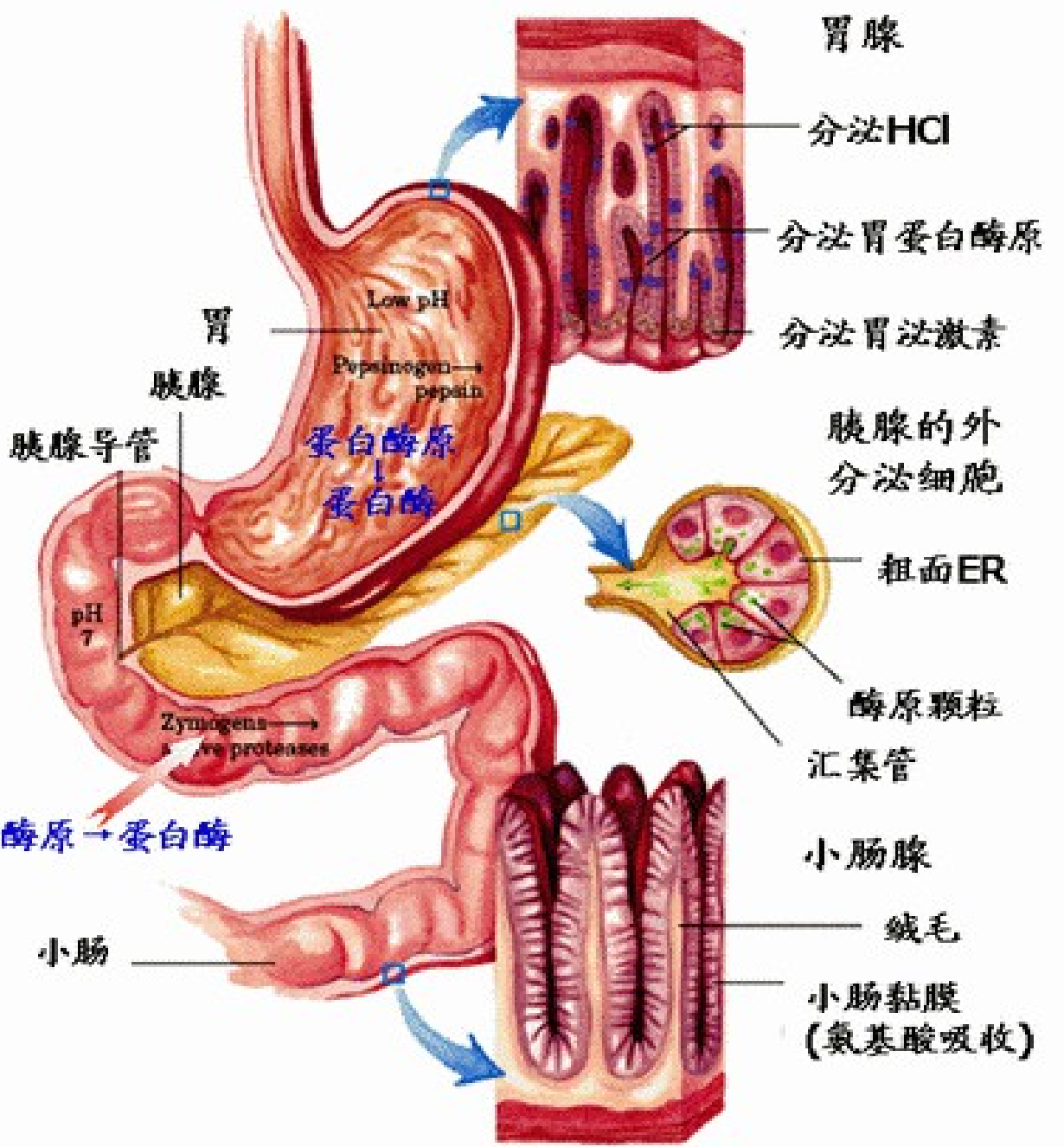
1. 主要部位：小肠

2. 吸收机制：需载体蛋白、耗能、需钠

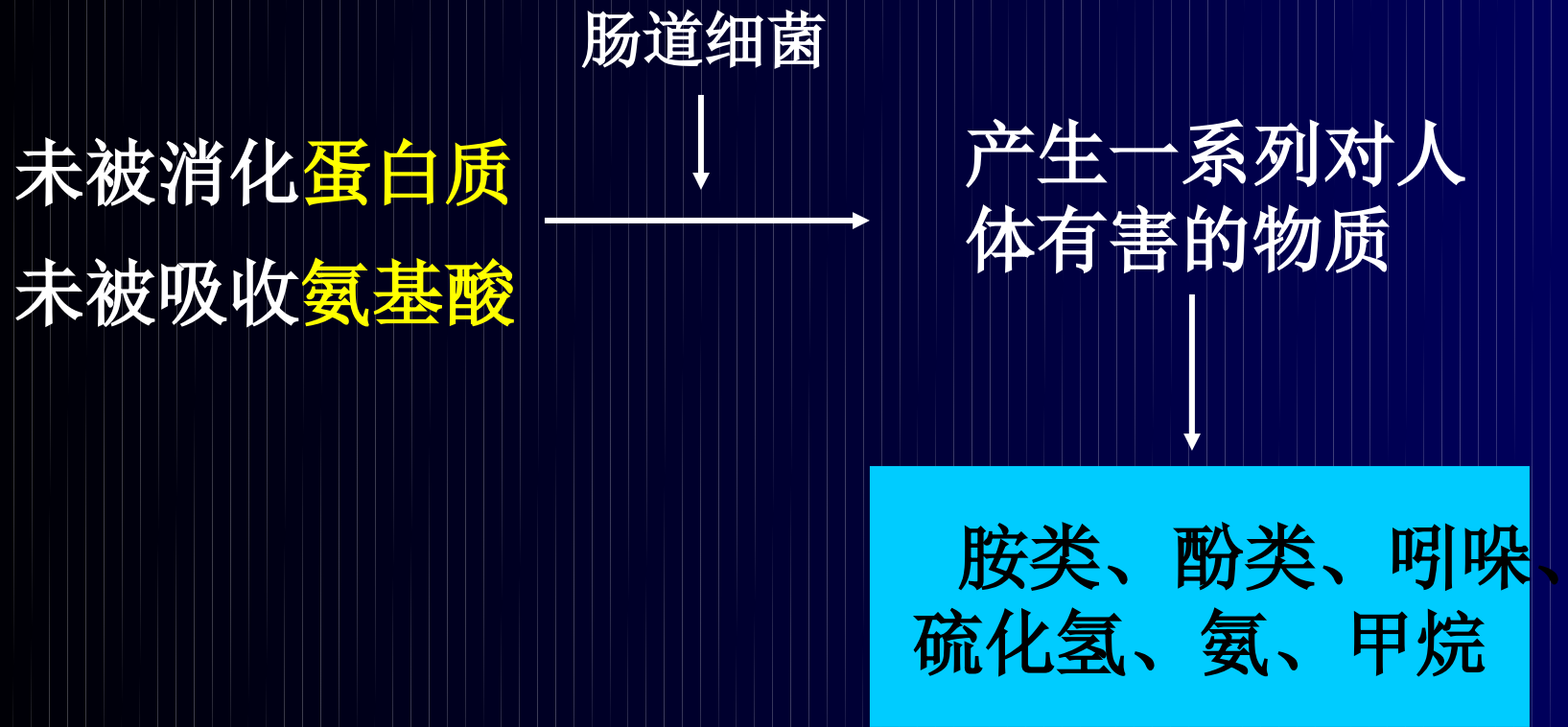


- 中性氨基酸载体
- 碱性氨基酸载体
- 酸性氨基酸载体
- 亚氨基酸和甘氨酸载体

3. 吸收形式：氨基酸、寡肽、二肽



### 三、蛋白质的腐败作用

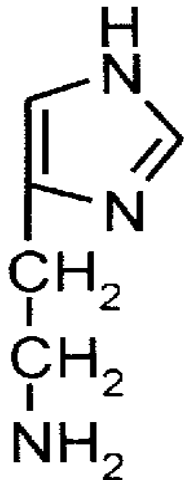


# 腐败作用产生的各种物质

氨基酸

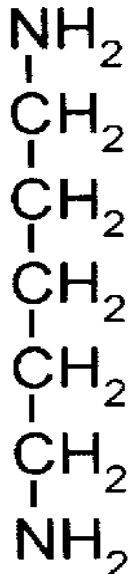


胺类



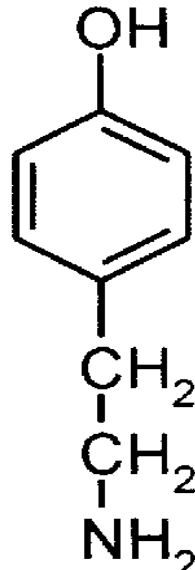
组胺

组氨酸



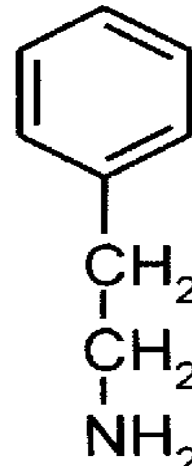
尸胺

赖氨酸



酪胺

酪氨酸



苯乙胺

酪氨酸

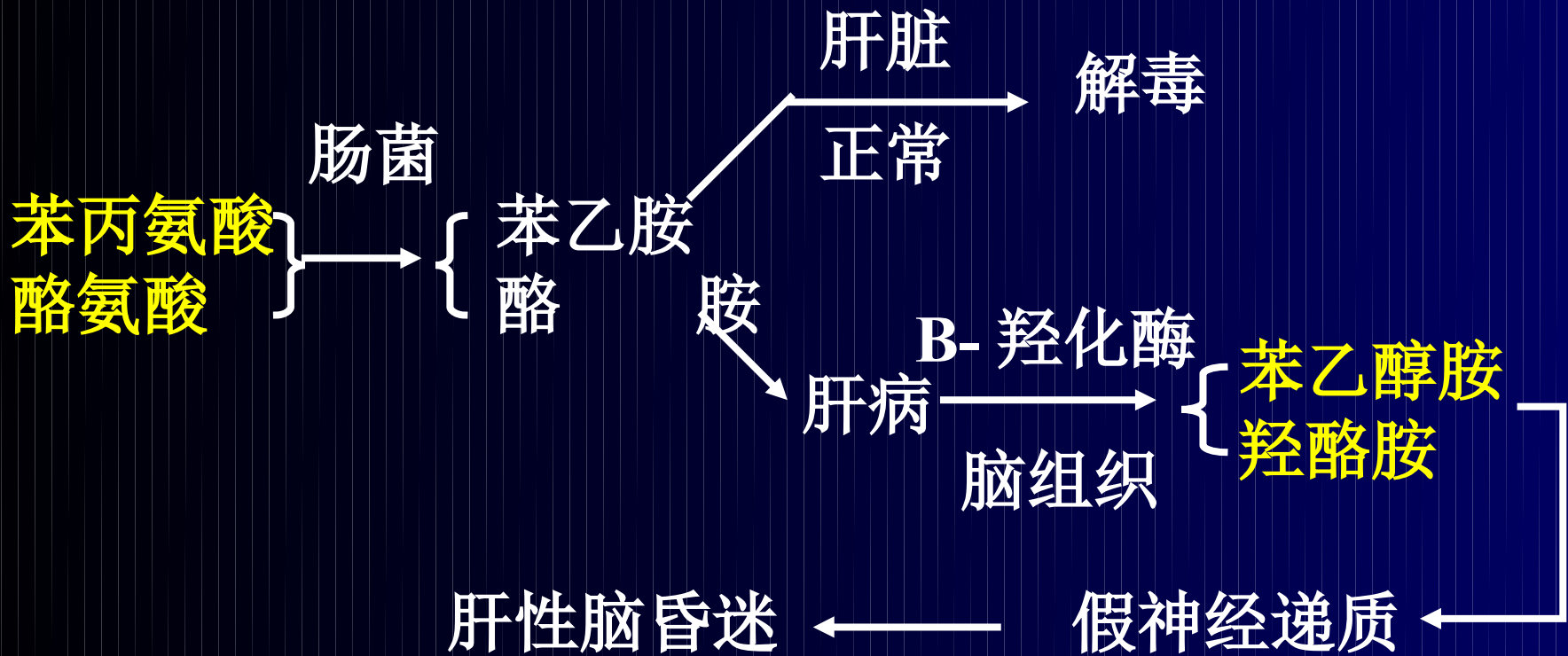
经过肝脏代谢转化

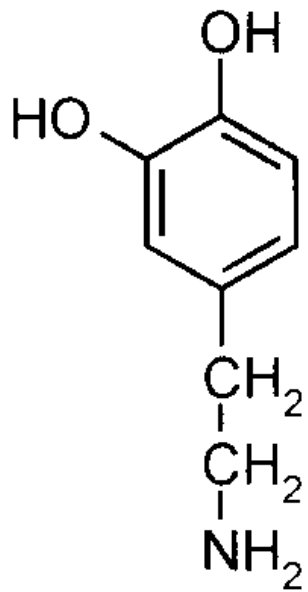
苯

## 胺类的毒性（假神经递质的形成）

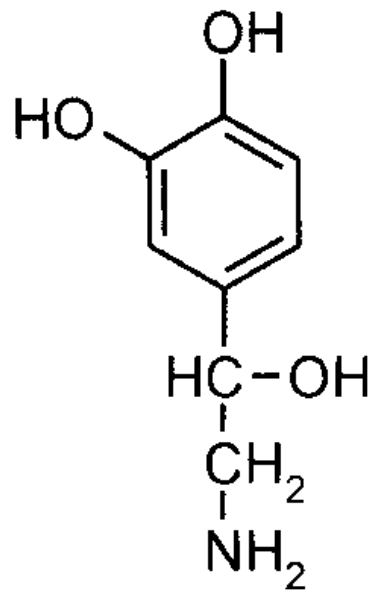
### 假神经递质：

某些物质结构与神经递质相似，可取代正常神经递质从而影响脑功能，称假神经递质。



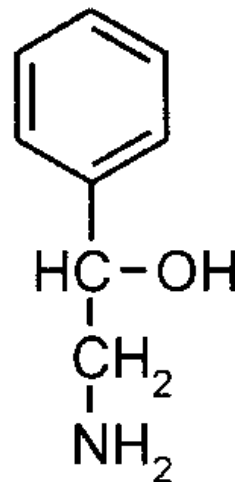


多巴胺

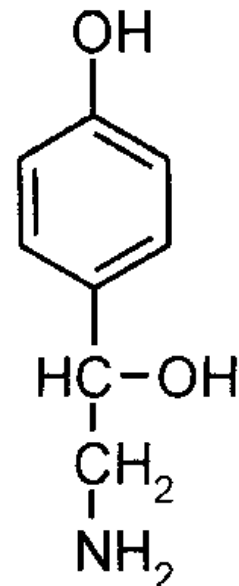


去甲肾上腺素

(儿茶酚胺递质)



苯乙醇胺



羟酪胺

(假神经递质)

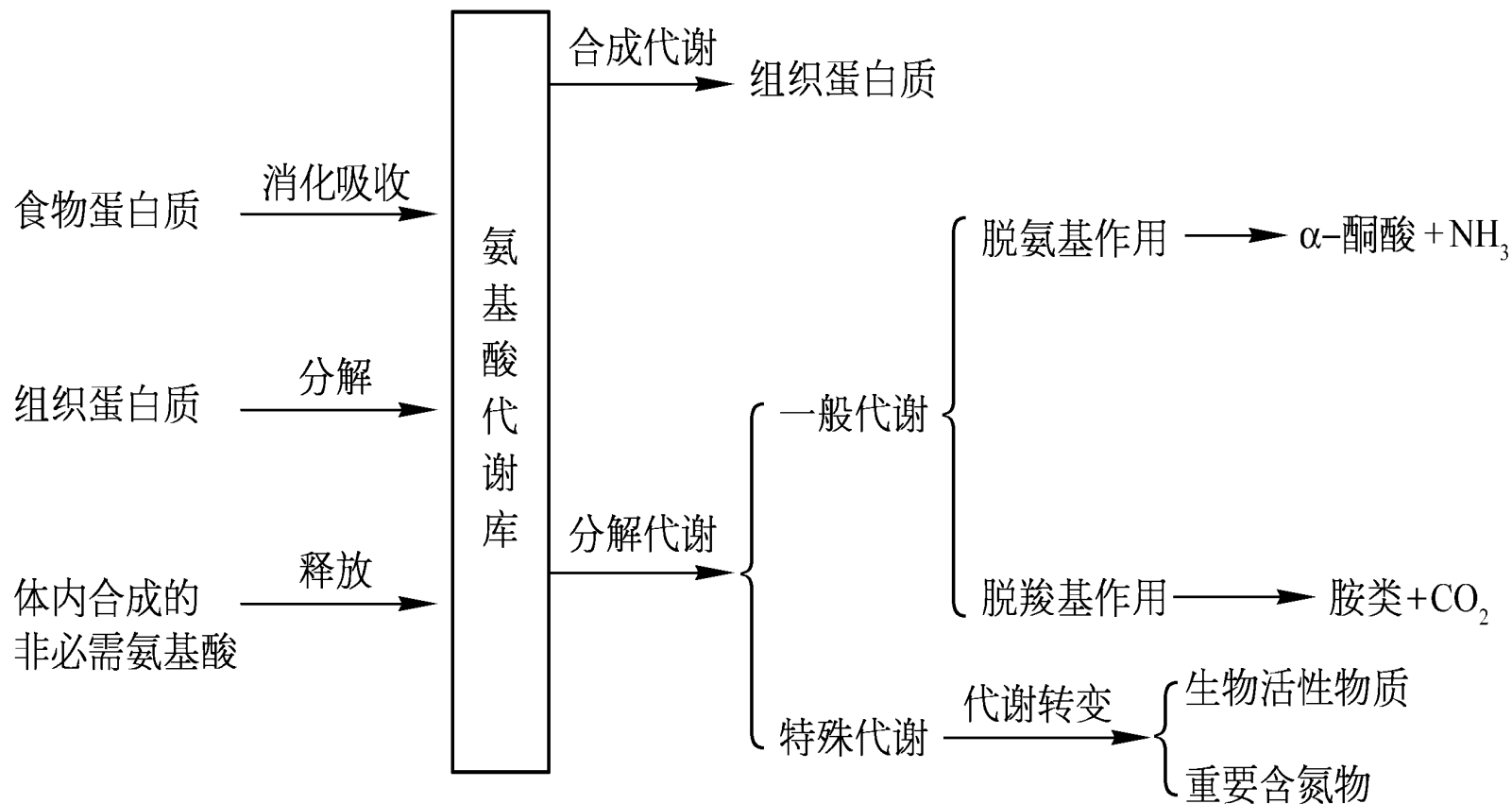
## 第三节 氨基酸的代谢概况

- 氨基酸代谢库 (metabolic pool)

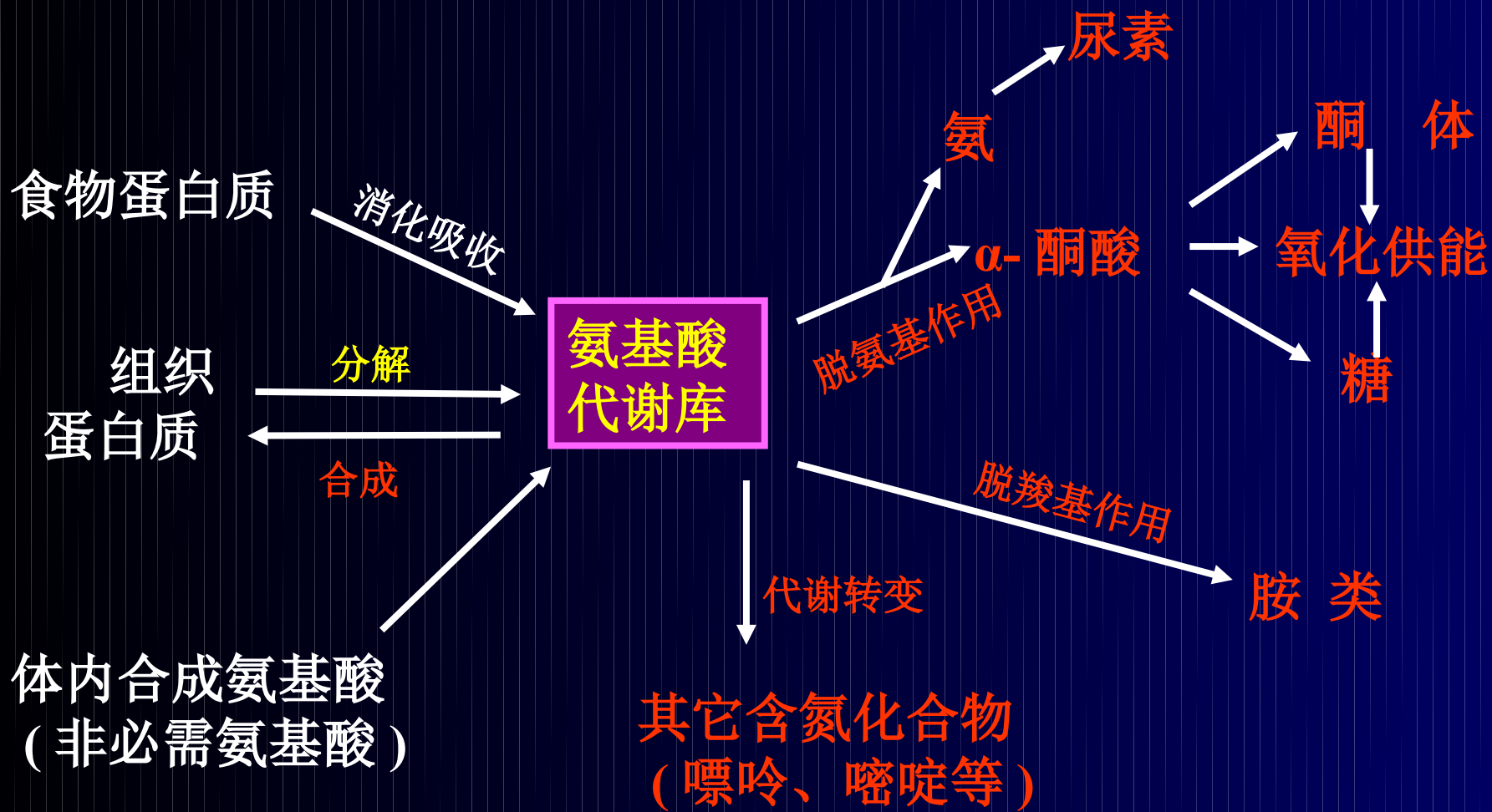
### 全身各组织细胞内参与代谢的氨基酸

即食物蛋白经消化吸收的氨基酸（外源性氨基酸）与体内组织蛋白降解产生的氨基酸（内源性氨基酸）混在一起，分布于体内各处参与代谢，称为氨基酸代谢库。

# 氨基酸代谢概况



# 氨基酸代谢概况

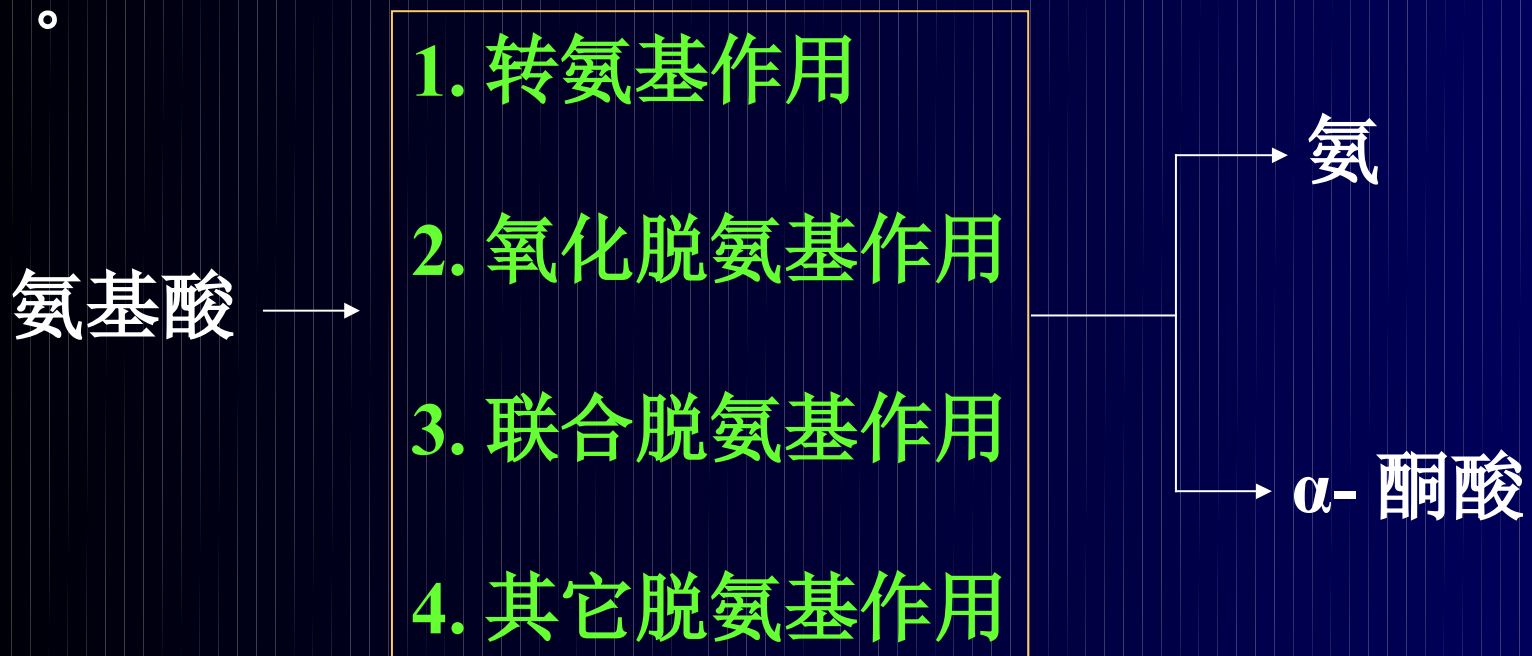


## 第四节 氨基酸的一般代谢

# General Metabolism of Amino Acids

# 一、氨基酸的脱氨基作用

定义：指氨基酸脱去氨基生成相应  $\alpha$ -酮酸的过程



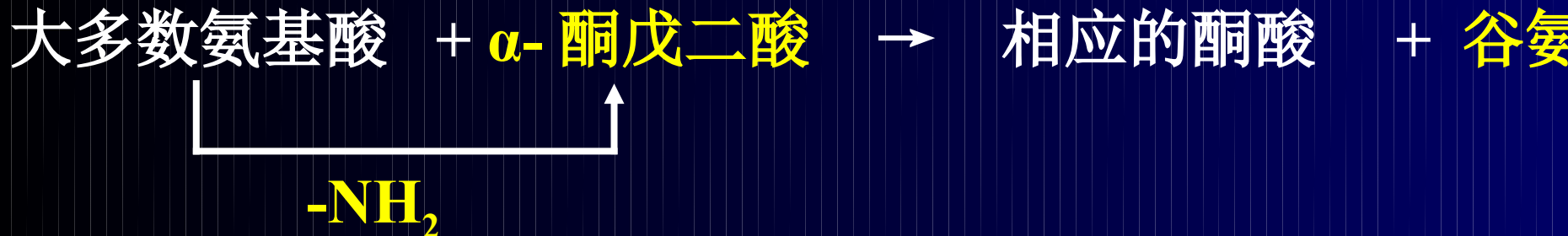
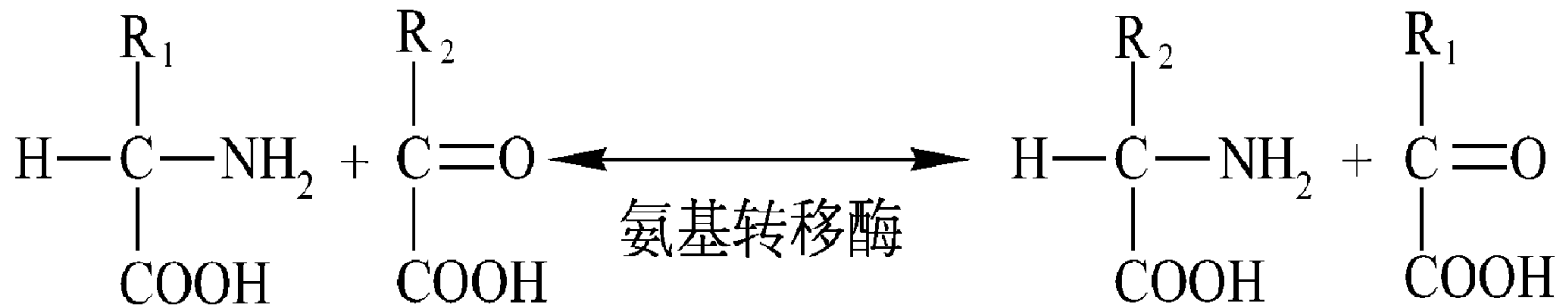
## (一) 转氨基作用 (transamination)

### 1. 定义

在转氨酶 (transaminase) 的作用下, 某一氨基酸去掉  $\alpha$ -氨基生成相应的  $\alpha$ -酮酸, 而另一种  $\alpha$ -酮酸得到此氨基生成相应的氨基酸的过程。

# (一) 转氨基作用 (transamination)

## 2. 反应过程

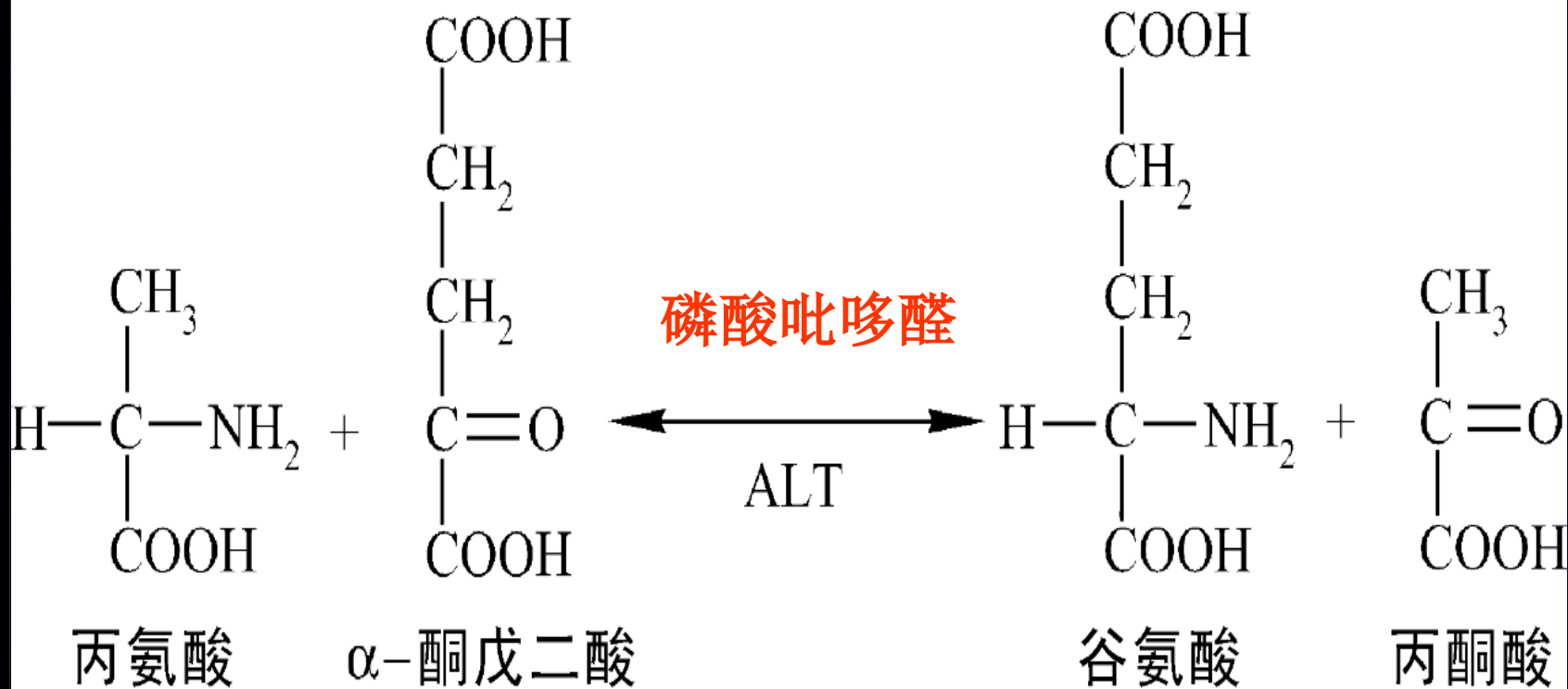


转氨基作用最重要的氨基受体是  $\alpha$ -酮戊二酸，产生谷氨酸作为新生成氨基酸。

### 3、体内重要的转氨酶

(1) 丙氨酸氨基转移酶 (ALT 或 GPT)  
(alanine aminotransferase)

(2) 天冬氨酸氨基转移酶 (AST 或 GOT)  
(aspartate aminotransferase)



# ALT、AST 的临床意义

正常成人各组织中 AST 和 ALT 活性（单位 /g 湿组织）

组织名称	AST
心脏	156 000
肝脏	142 000
骨骼肌	99 000
肾脏	91 000
胰脏	28 000
脾脏	14 000
肺脏	10 000
血清	

20

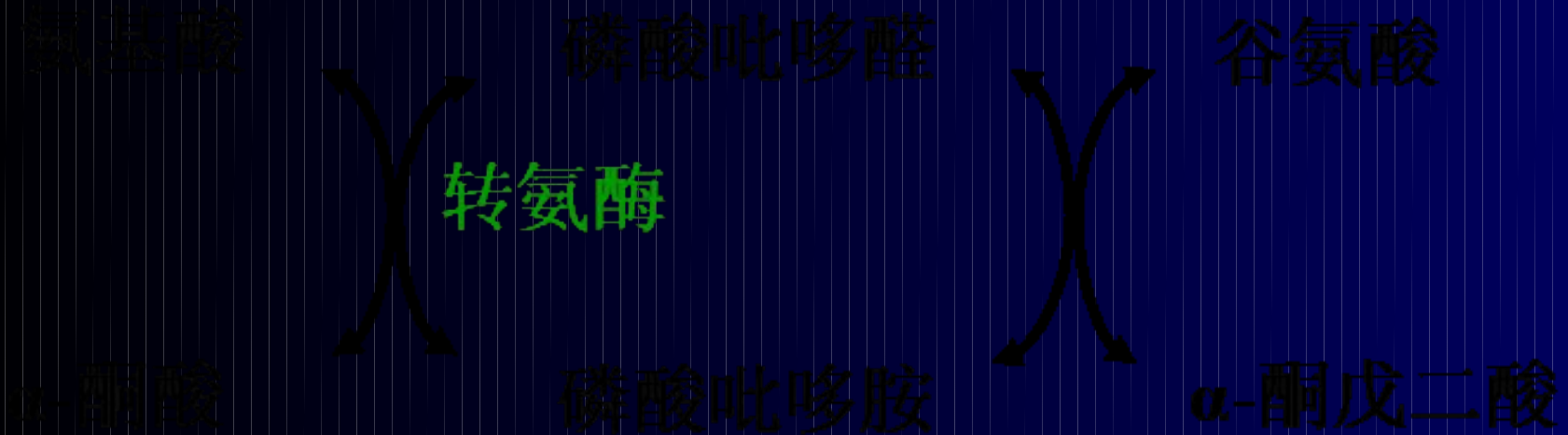
**血清转氨酶活性，临床上可作为疾病诊断和预后的指标之一！**

# ALT、AST 的临床诊断意义

血清 ALT 活性异常增高 → 帮助诊断急性肝炎；

血清 AST 活性异常增高 → 帮助诊断心肌梗塞。

## 4、转氨基作用的机制



转氨酶的辅酶是磷酸吡哆醛。

## 5. 转氨基作用的生理意义

- 是体内多数氨基酸脱氨基的重要方式
- 是机体合成非必需氨基酸的重要途径

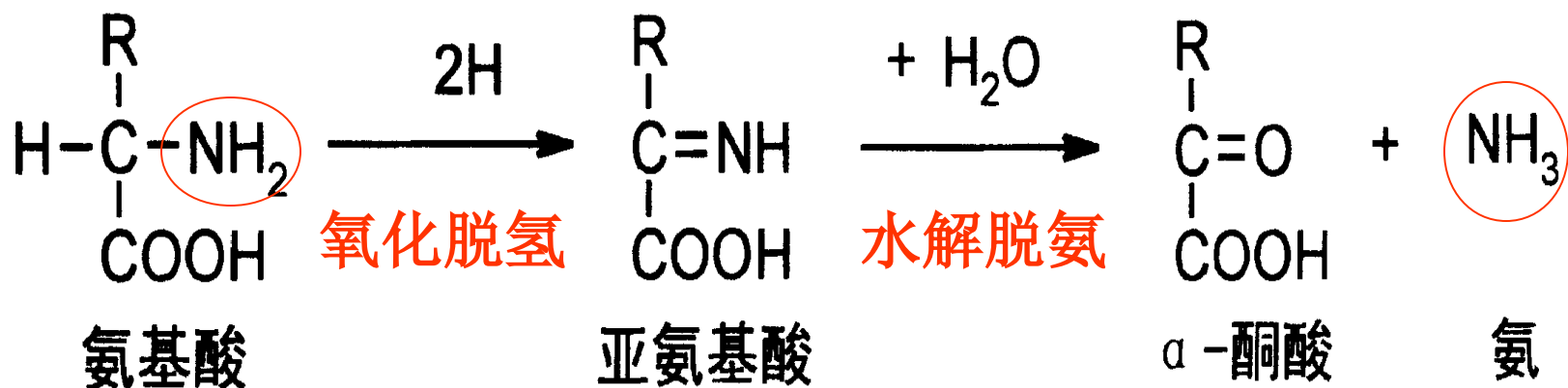
6. 特点：只有氨基的转移，没有氨的生成  
转氨基反应是可逆的

**大多数氨基酸可参与转氨基作用，但赖氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸除外。**

# 要点

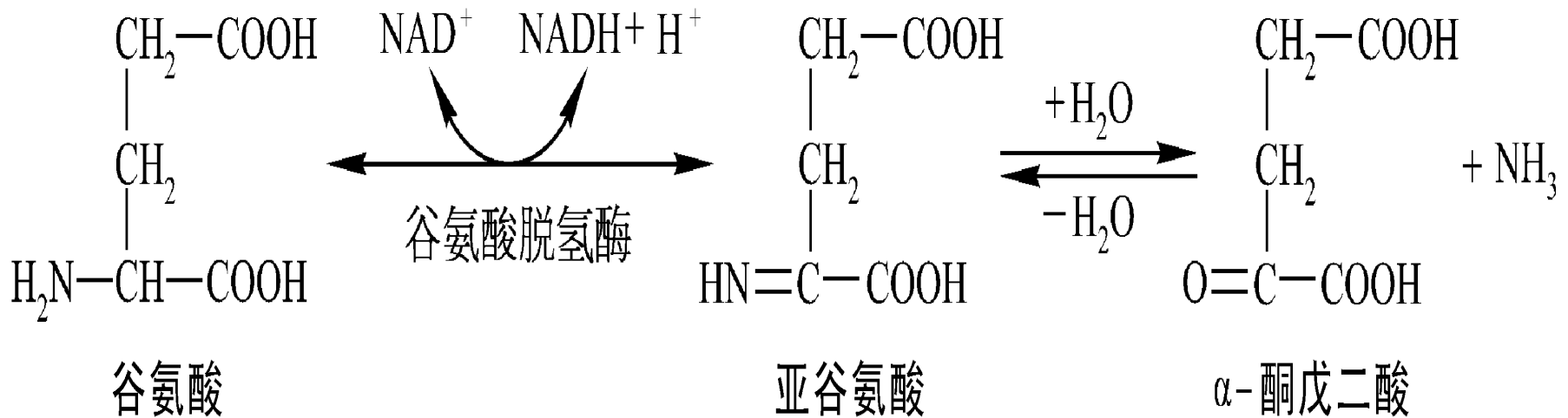
- ① 反应可逆。
- ② 体内除赖氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸外，大多数氨基酸可进行转氨基作用。
- ③ 转氨酶均以磷酸吡哆醛为辅酶，磷酸吡哆醛是 $VB_6$ 的衍生物，反应中起传递氨基的作用。
- ④ 没有游离的氨产生。

## (二) 氧化脱氨基作用



酶 { **L-谷氨酸脱氢酶：主要的酶**  
氨基酸氧化酶：对体内脱氨基无意义

# 1、L-谷氨酸脱氢酶的氧化脱氨基



## 2、谷氨酸脱氢酶的特点：

- (1) 活性高、分布广，（肌肉中活性很低）
- (2) 催化的反应可逆，逆过程可合成谷氨酸

## 3、氧化脱氨基作用的局限性：

仅谷氨酸经此脱氨

- **转氨基作用没有游离的氨生成，没有实现真正的氨基酸代谢。**
- **氧化脱氨基代谢中只有 L- 谷氨酸活性强，分布广，但底物单一，因此也不是氨基酸的主要脱氨基方式。**

### (三) 联合脱氨基作用

#### 1. 定义:

两种脱氨基方式的联合作用，使氨基酸脱下 $\alpha$ -氨基生成 $\alpha$ -酮酸和氨的过程。

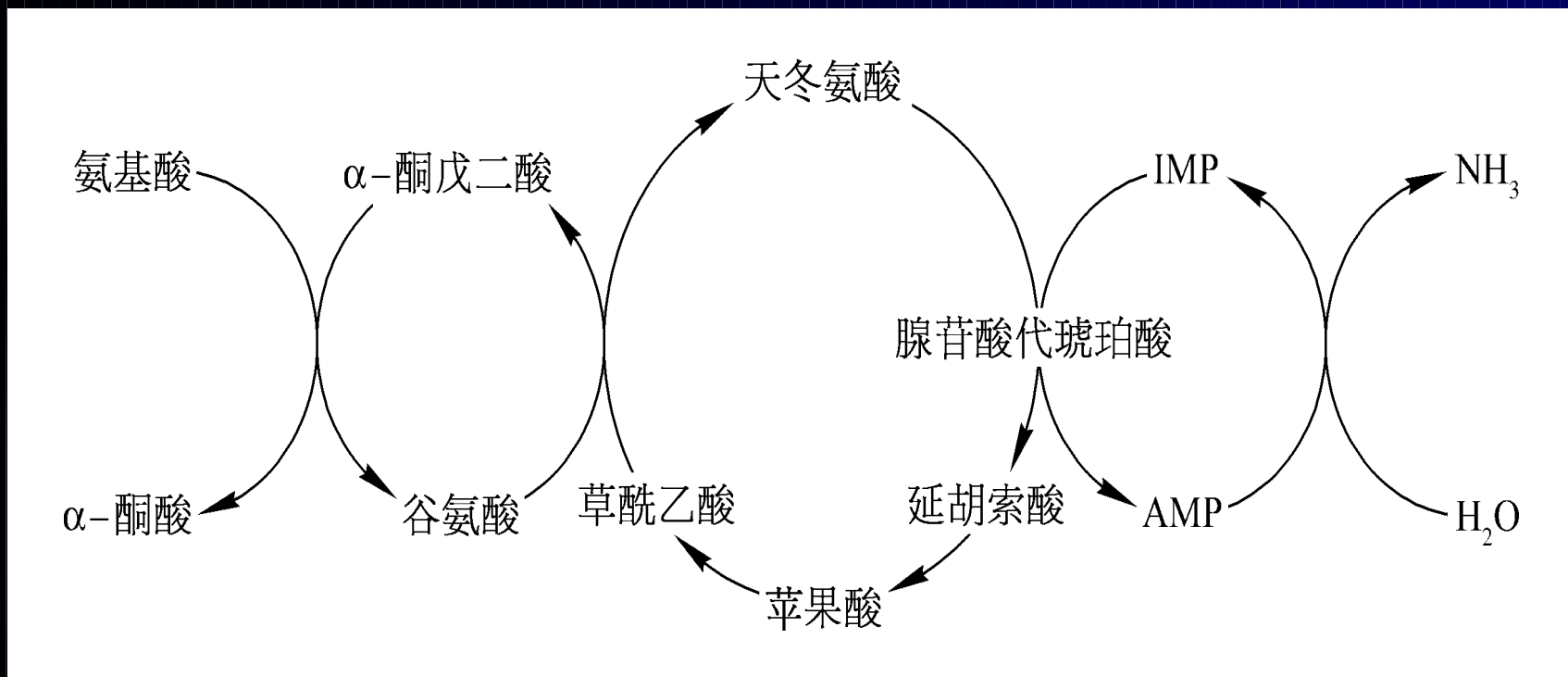
## 2. 方式:

### ① 转氨基偶联氧化脱氨基作用



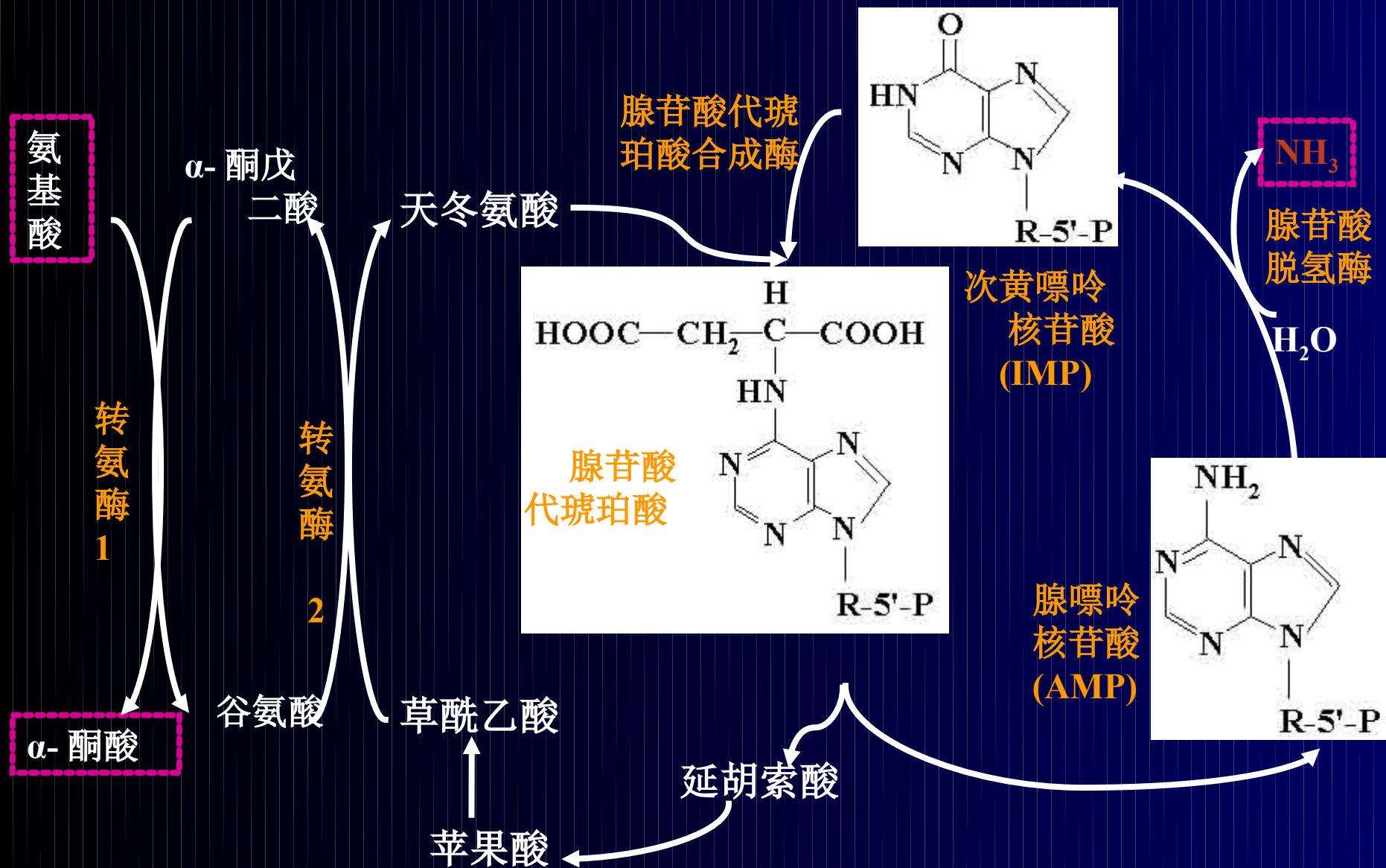
- 使体内许多 AA能真正脱氨
- 其逆反应是合成非必需 AA的主要途径
- 主要在肝、肾组织中进行

## ② 转氨基偶联嘌呤核苷酸循环



**此种方式主要在肌肉组织中进行！**

# 转氨基作用偶联嘌呤核苷酸循环途径



- 这种形式的联合脱氨是**不可逆的**，因而不能通过其逆过程合成**非必需氨基酸**。
- 这一代谢途径不仅把氨基酸代谢与糖代谢、脂代谢联系起来，而且也把氨基酸代谢与核苷酸代谢联系起来。

## (四) 其他非氧化脱氨基作用

- **丝氨酸在脱水酶作用下脱氨基生成丙酮酸。**
- **半胱氨酸脱  $\text{H}_2\text{S}$  脱氨生成丙酮酸。**
- **天冬氨酸裂解脱氨，生成延胡羧酸**

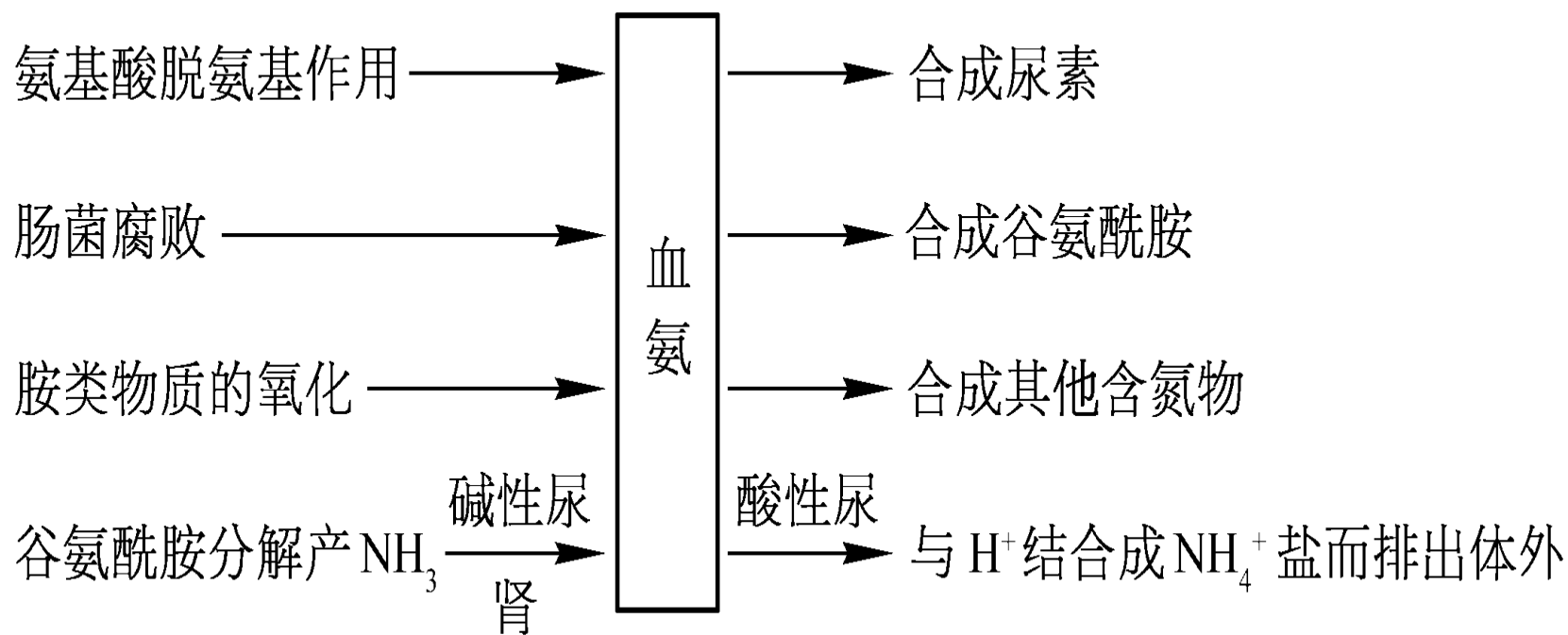
## 二、氨的代谢

- 氨是机体正常代谢产物，具有毒性。
- 体内的氨主要在肝合成尿素而解毒。
- 正常人血氨浓度一般不超过  $0.6\mu\text{mol/L}$ 。

# 氨的毒性

- 血液中 1%的氨就可引起中枢神经系统中毒。其机理是：
  - 高浓度的氨使 TCA 中间产物  $\alpha$  - 酮戊二酸转变成 L-Glu，使大脑内  $\alpha$  - 酮戊二酸大量减少，甚至缺乏，而导致 TCA 无法运转，ATP 生成受到严重的阻碍，引起脑功能受损。
  - 以上反应还使 NADPH 大量消耗，严重地影响需要还原力 (NADPH+H) 反应的正常进行。
  - 因此动物体内游离氨形成后需立即进行代谢。

## (一) 体内氨的来源和去路



肠道对氨的吸收取决于肠道 pH 值:

- 肠道 PH  $\uparrow$  ,  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3$  , 肠道氨吸收  $\uparrow$
- 高血氨病人禁用碱性肥皂液灌肠
- 肝硬化腹水病人, 不宜使用碱性利尿药

## (二) 氨的转运

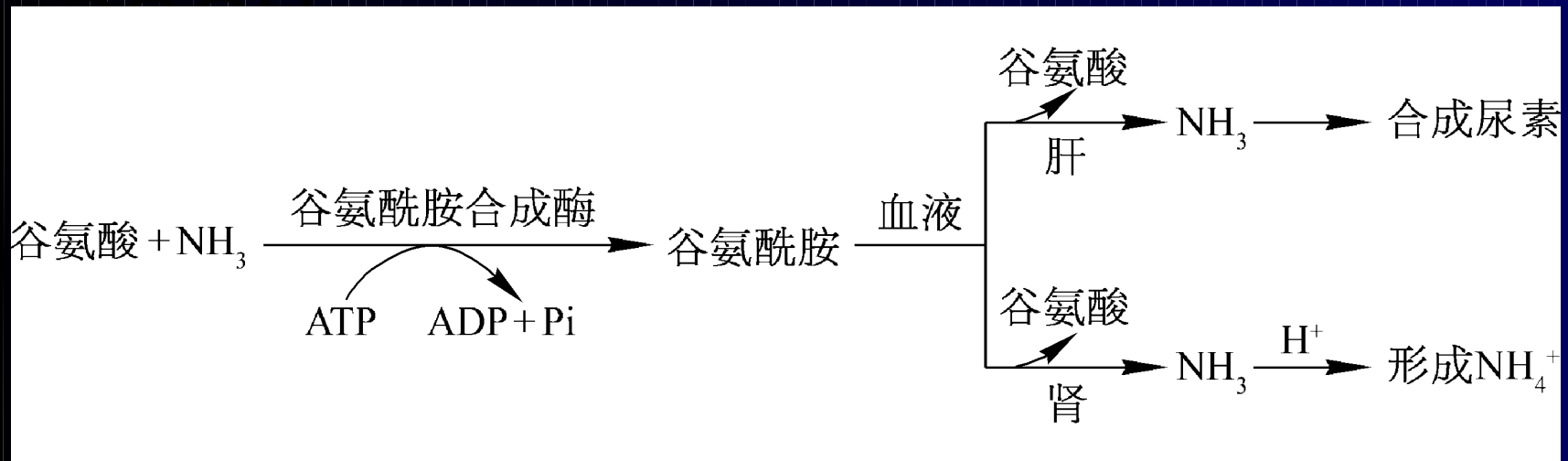
### 氨在血液中的运输方式

- 1、谷氨酰胺的运氨作用
- 2、葡萄糖—丙氨酸循环

特点：无毒

# 1. 谷氨酰胺的运氨作用

(脑、肌肉)



1) 在血液中，以Gln形式运NH<sub>3</sub>，可以保持低血NH<sub>3</sub>浓度；

2) 在脑组织，形成Gln是暂时解除NH<sub>3</sub>毒的重要方式。

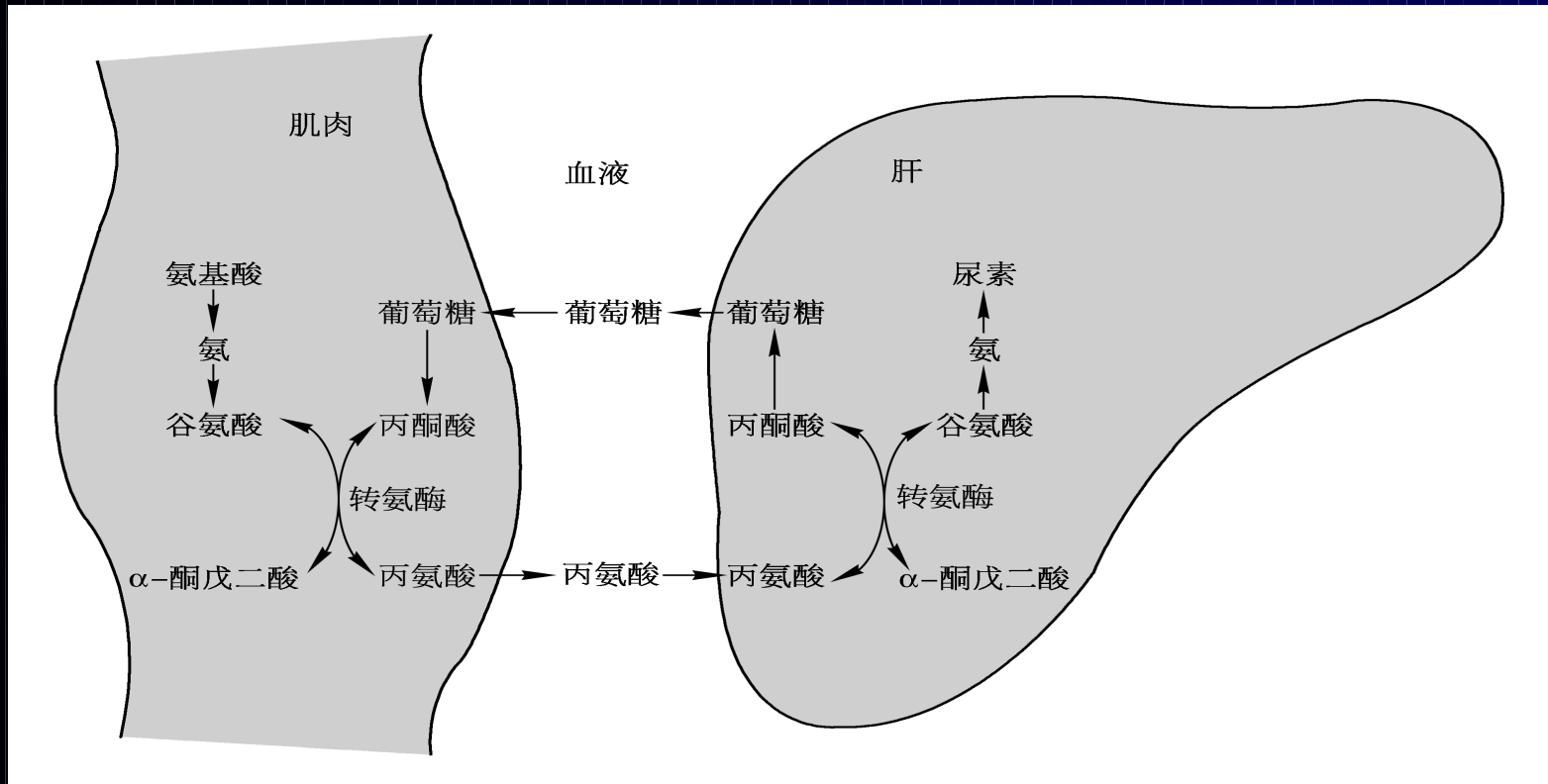
# 1. 谷氨酰胺的运氨作用

## 生理意义

- 在脑、肌肉合成谷氨酰胺，运输到肝和肾后再分解为氨和谷氨酸，从而进行解毒。
- 谷氨酰胺是氨的解毒产物，也是氨的储存及运输形式

临床上用谷氨酸盐  
降低血氨

## 2、葡萄糖 - 丙氨酸循环



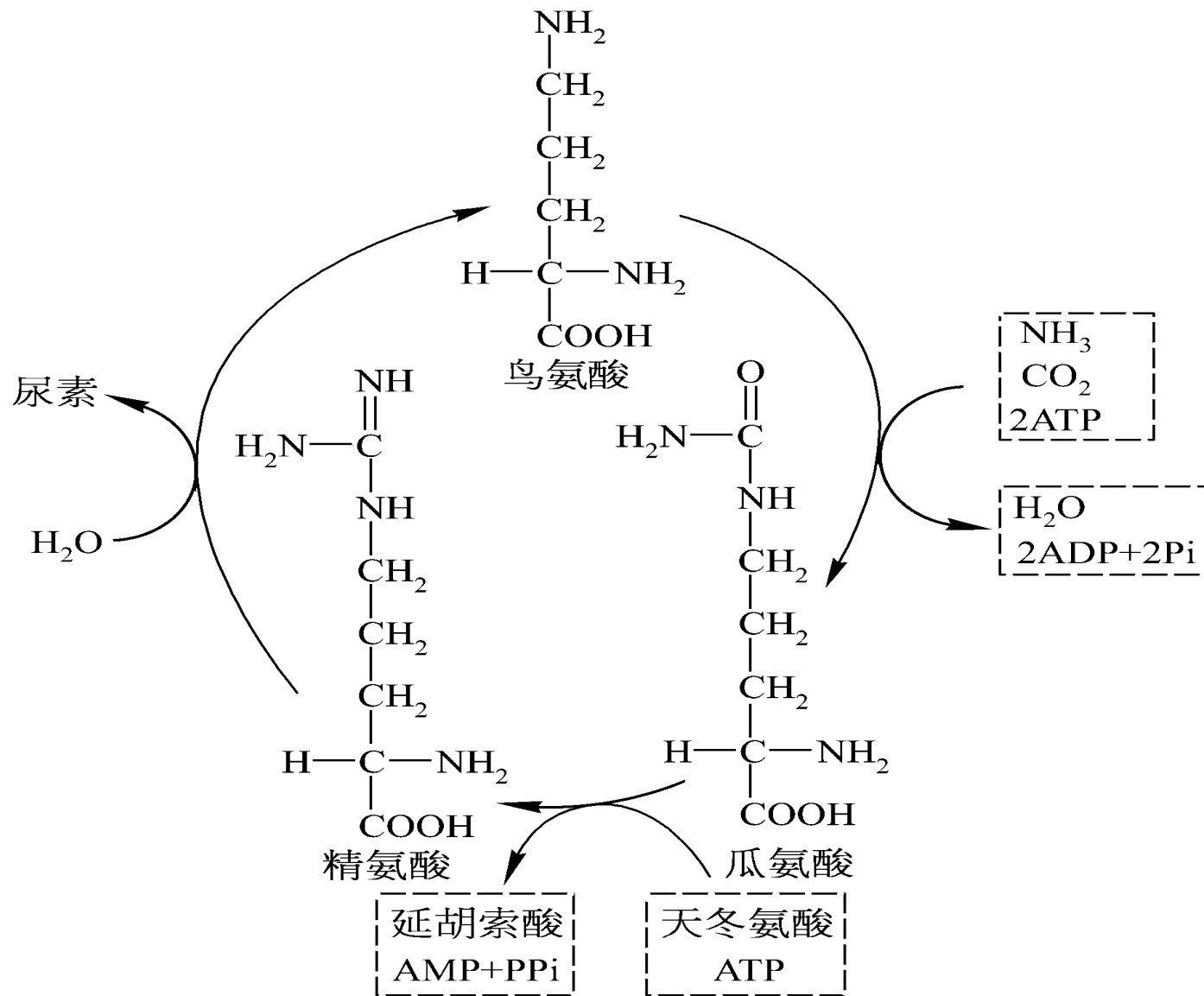
## 2、葡萄糖 - 丙氨酸循环

### 生理意义

- ① 肌肉中氨以无毒的丙氨酸形式运输到肝
- ② 肝为肌肉提供葡萄糖

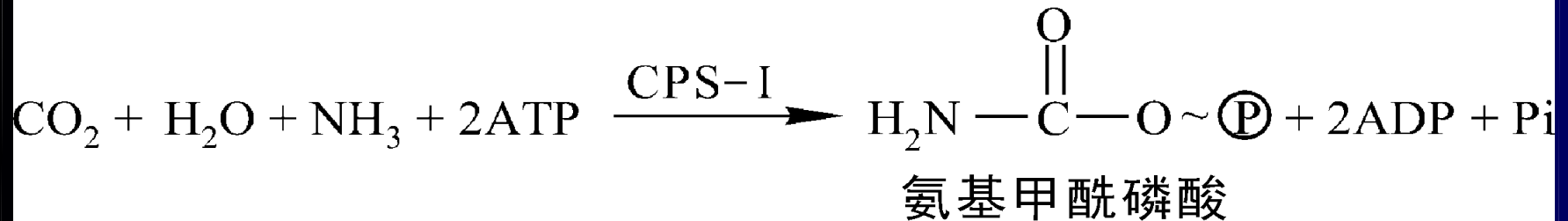
## (三) 尿素的合成

1. 尿素合成的主要器官：肝脏
2. 尿素合成的原料：氨和  $\text{CO}_2$
3. 尿素合成的过程：鸟氨酸循环

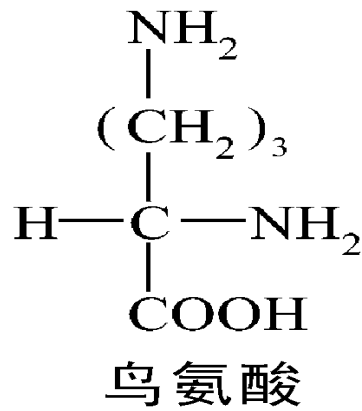


## 4. 鸟氨酸循环的详细步骤

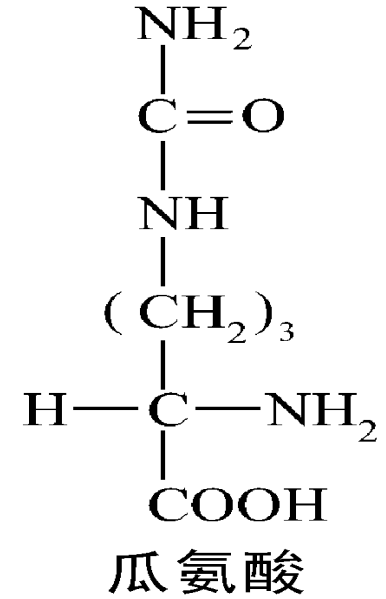
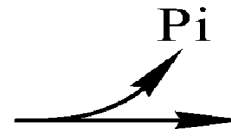
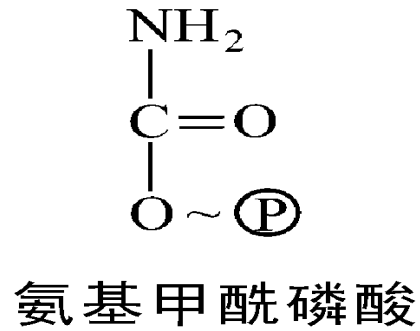
### ① 氨基甲酰磷酸的合成（反应部位：线粒体）



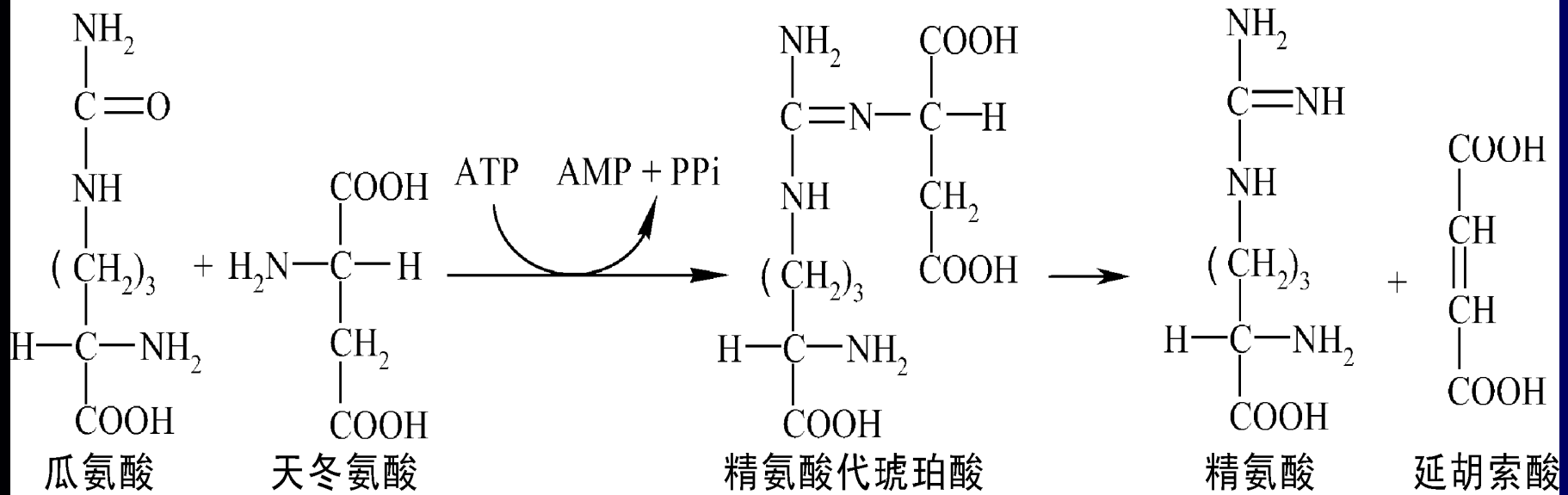
## ② 瓜氨酸的合成（反应部位：线粒体）



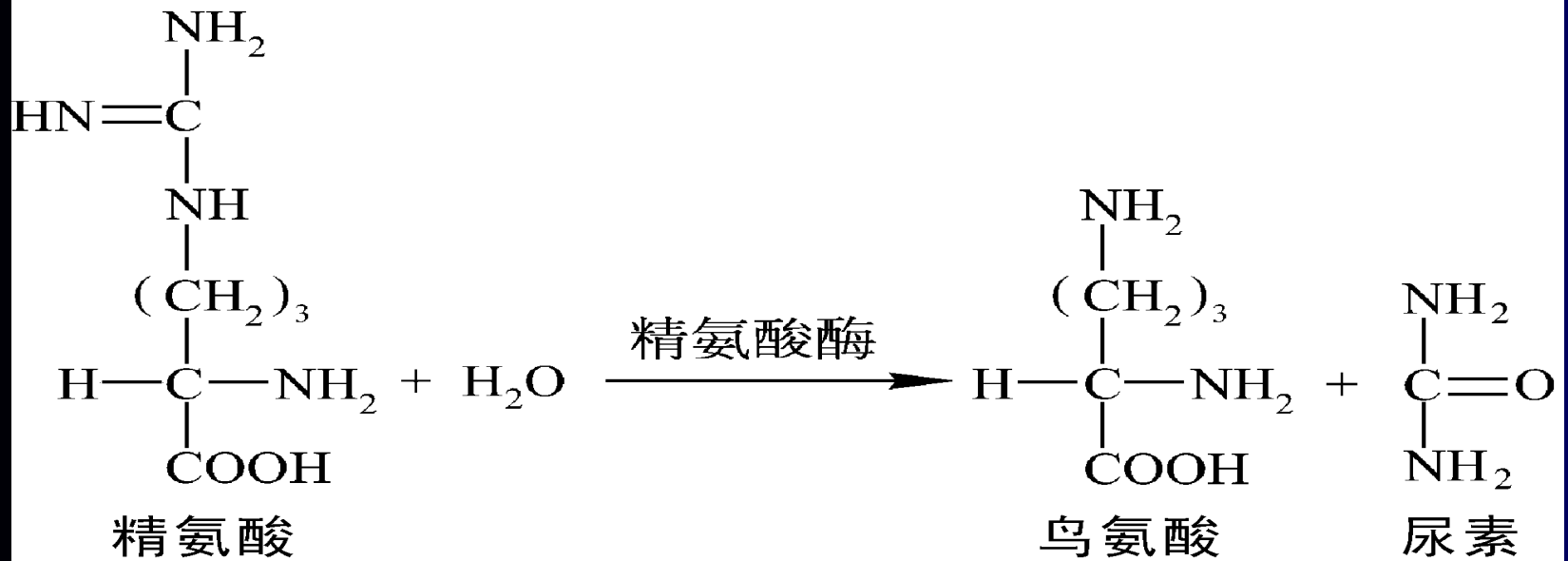
+

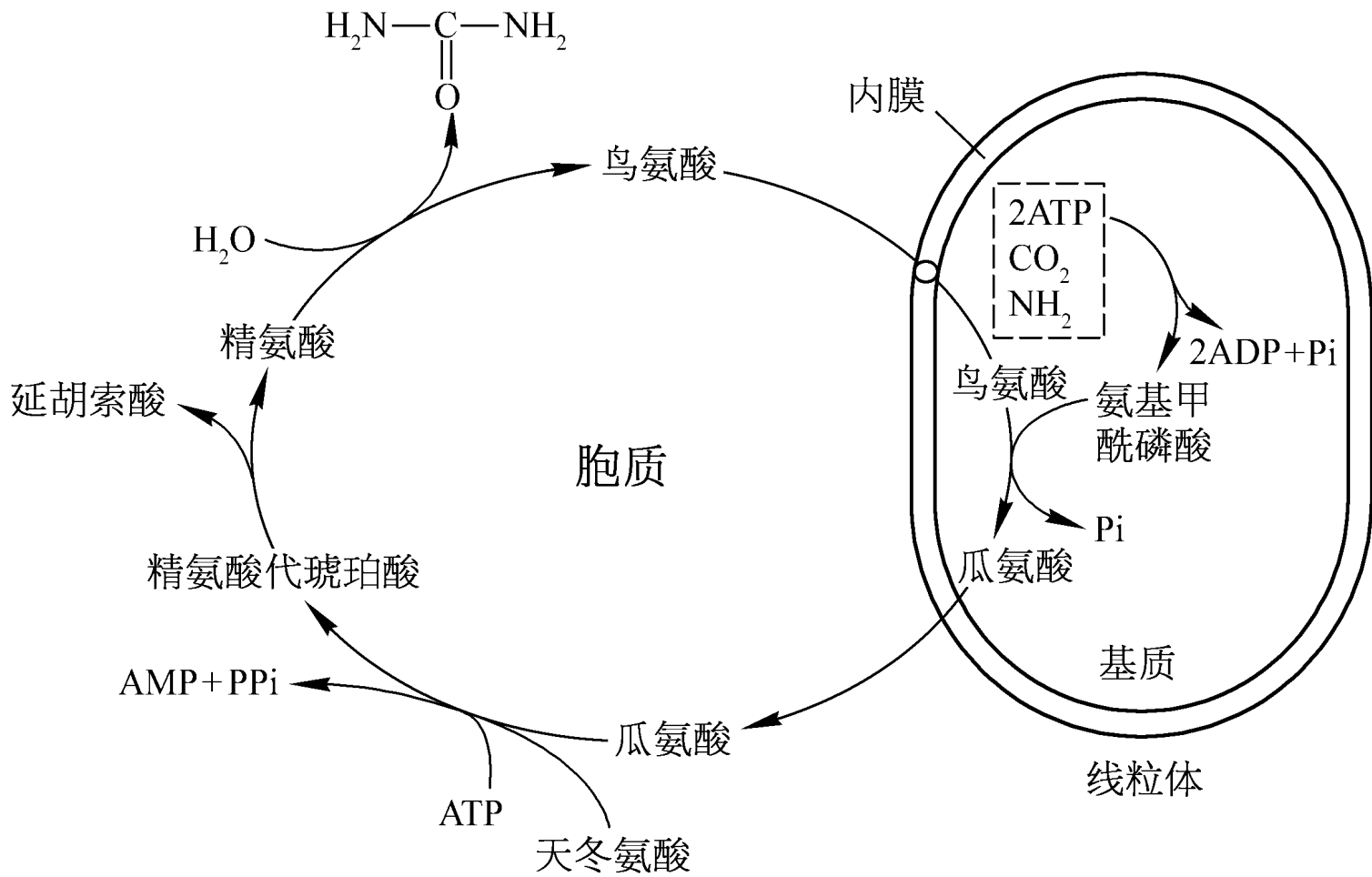


### ③ 精氨酸的合成（反应部位：胞液）



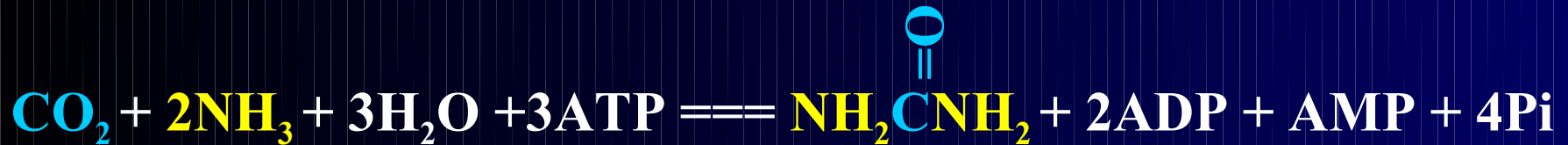
#### ④ 精氨酸水解为尿素





## 尿素合成的详细过程

## 尿素合成小结:



总结果:  $1\text{CO}_2$ 、 $2\text{NH}_3$ 、 $3\text{ATP}$ 、 $4 \sim\text{P}$

合成部位: 线粒体、胞液

氨的来源: 游离氨、天冬氨酸提供氨

耗能:  $3\text{ATP}$  (4个高能磷酸键)

意义: 是肝脏解除氨毒的主要方式

## 5. 高血氨症与肝昏迷

- \* 血氨正常参考值：  $5.54\sim 65\mu\text{mol/L}$
- \* 引起高血氨症主要原因：  
    肝功能严重损伤，尿素合成障碍

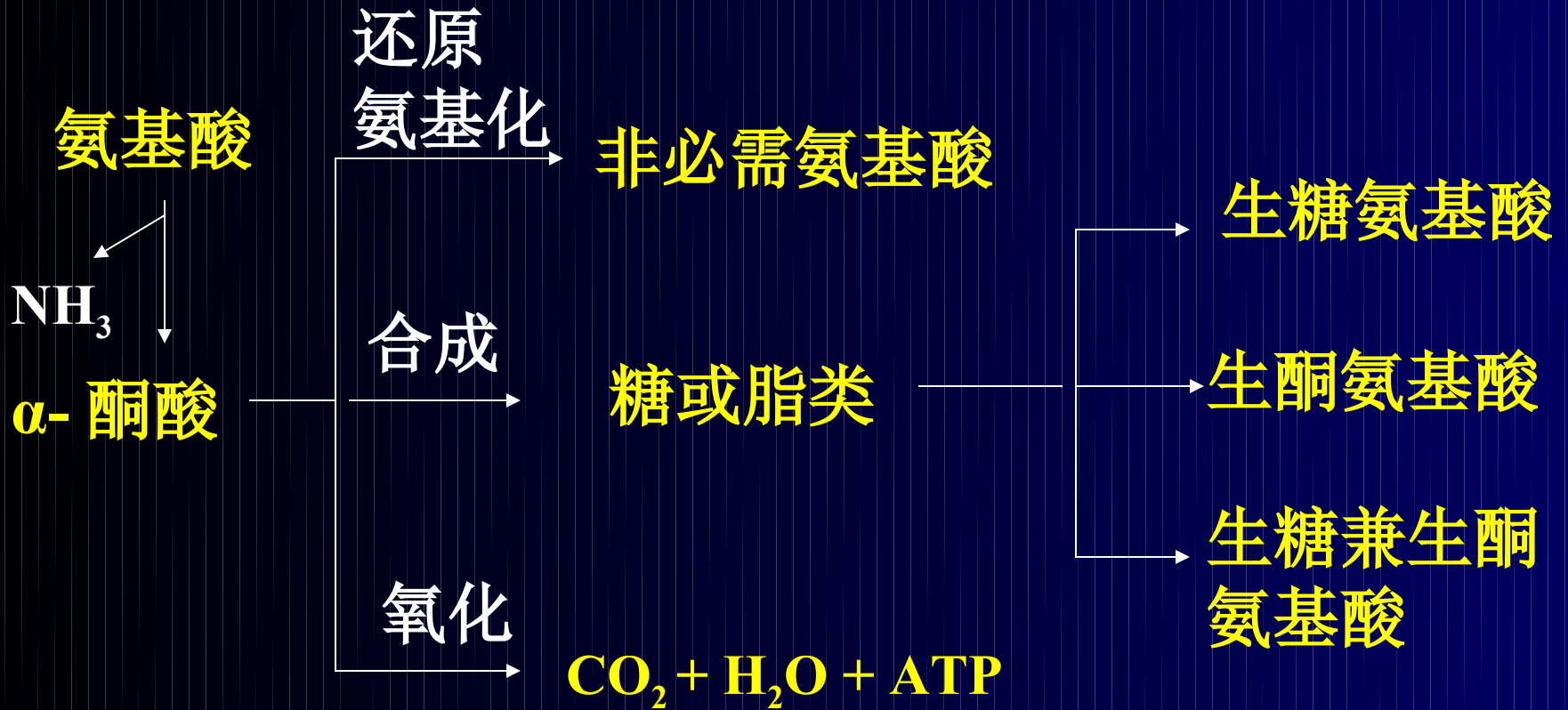
## \* 机制:

脑中氨升高, 消耗 $\alpha$ -酮戊二酸 (转变为谷氨酸), 使三羧酸循环减弱, ATP 合成减少, 引起大脑功能障碍, 严重时昏迷。

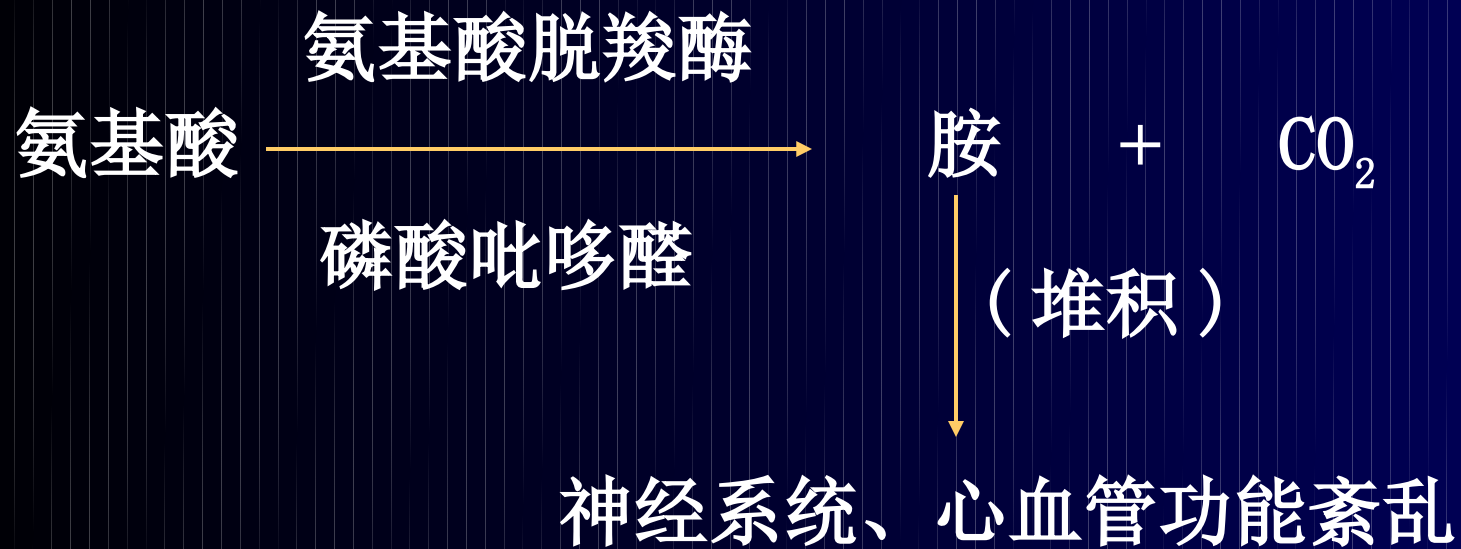
## \* 降低血氨的措施:

限制蛋白进食量, 给肠道抑菌药物, 给谷氨酸使其与氨结合为谷氨酰胺

### 三、 $\alpha$ -酮酸的代谢



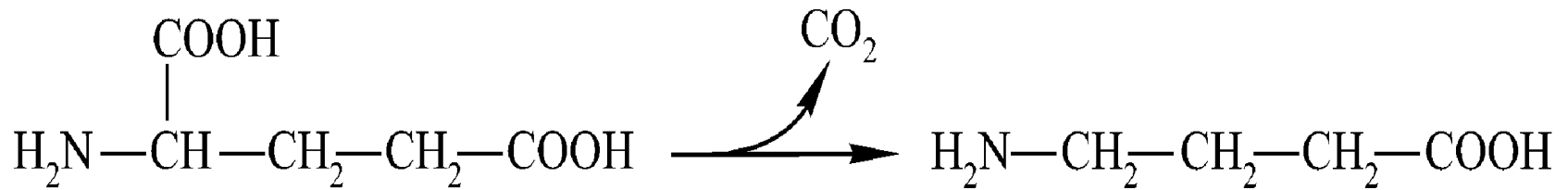
## 四、氨基酸的脱羧基作用



# 几种重要的生物活性胺类

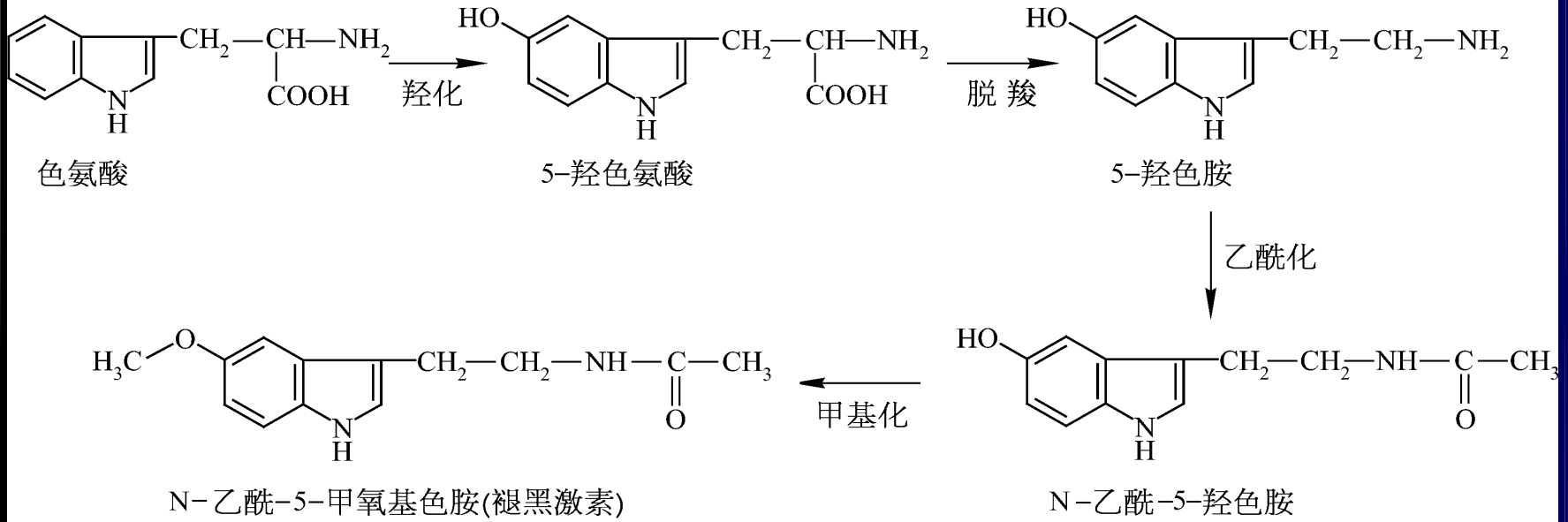
- 谷氨酸—— $\gamma$ -氨基丁酸（GABA）
- 色氨酸——5-羟色胺（5-HT）
- 组氨酸——组胺
- 半胱氨酸——牛磺酸
- 鸟氨酸、甲硫氨酸——多胺

# 1. $\gamma$ -氨基丁酸 (GABA)



功能：为一种抑制性神经递质，对中枢神经系统有抑制作用。

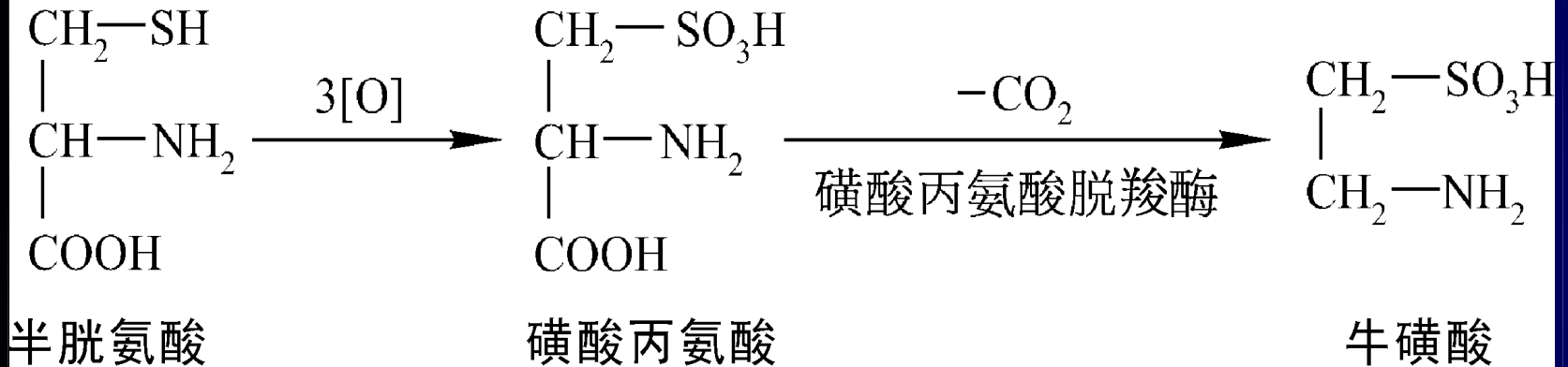
## 2.5- 羟色胺 (5-HT)



功能：脑中的 5-HT 是一种抑制性神经递质

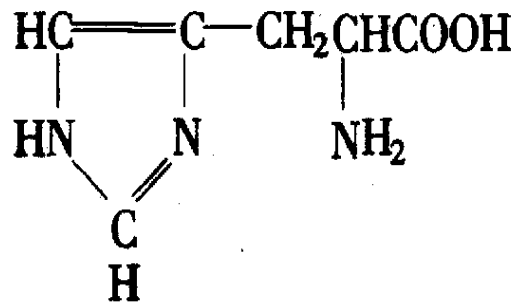
外周组织的 5-HT 有收缩血管的作用

### 3. 牛磺酸



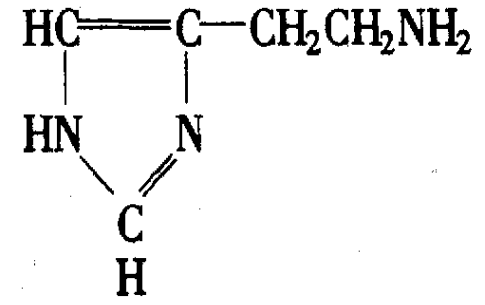
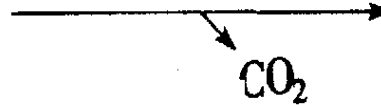
功能：结合胆汁酸的重要组成成分

## 4. 组胺



L-组氨酸

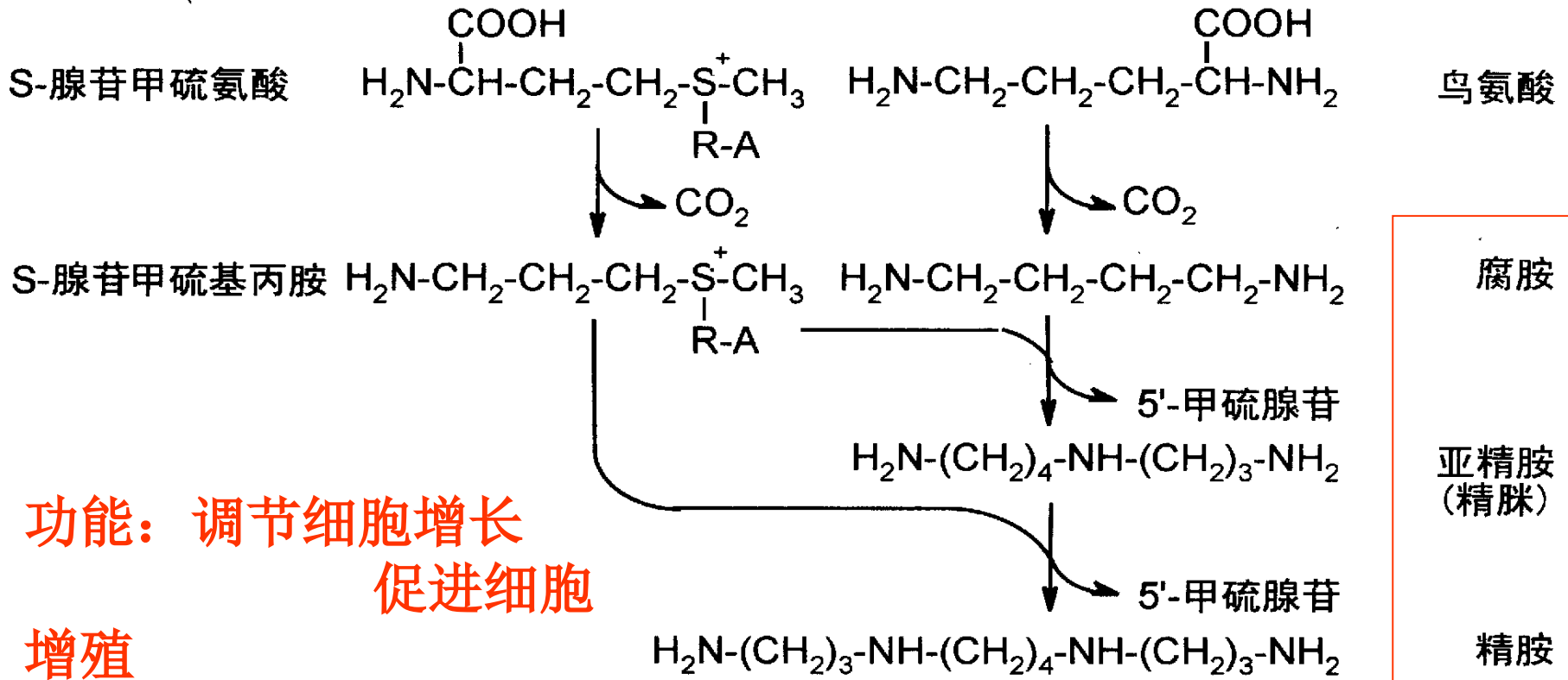
组氨酸脱羧酶



组胺

功能：扩张血管、降低血压  
刺激胃酸分泌

# 5. 多胺



血尿中多胺的水平可作为**癌瘤病**的辅助诊断及观察病情变化的指标

# 第五节

## 个别氨基酸的特殊代谢

**Metabolism of Individual Amino Acids**

# 个别氨基酸特殊代谢

1. 一碳单位代谢
2. 含硫氨基酸代谢
3. 芳香族氨基酸代谢
4. 支链氨基酸代谢

# 一、一碳单位的代谢

## (一) 一碳单位的种类和来源

概念：氨基酸  $\xrightarrow{\text{分解}}$  含一个碳原子的**基团**



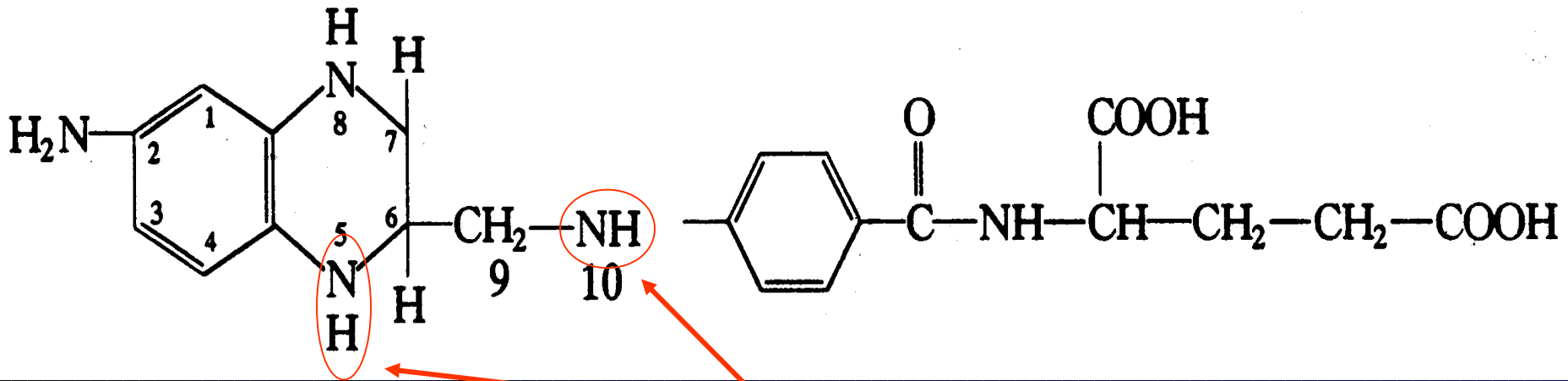
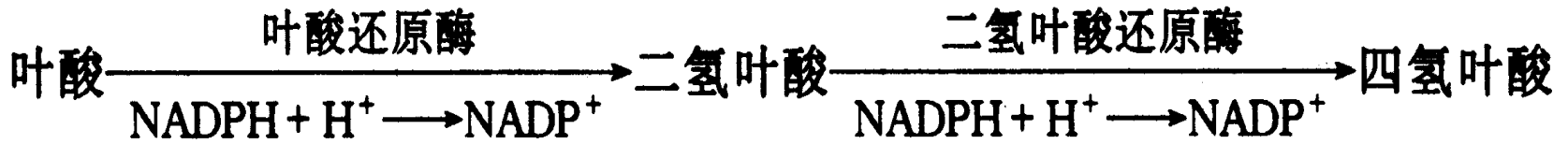
甘氨酸、组氨酸、丝氨酸、色氨酸、甲硫氨酸

载体：四氢叶酸（ $\text{FH}_4$ ）

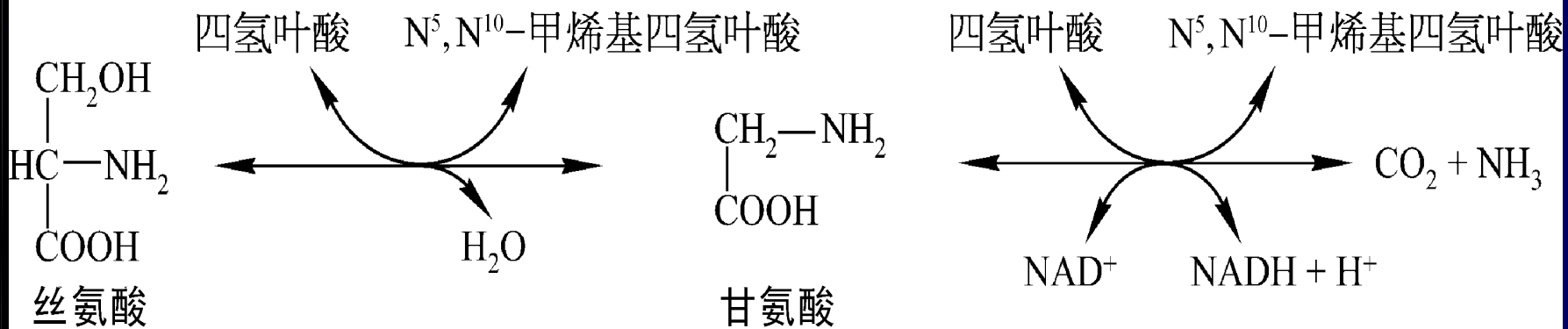
# 一碳单位的种类

一碳单位	结构
甲基	$-\text{CH}_3$
甲烯基	$-\text{CH}_2-$
甲酰基	$-\text{CHO}-$
甲炔基	$-\text{CH}=\text{}$
亚氨基	$-\text{CH}=\text{NH}$

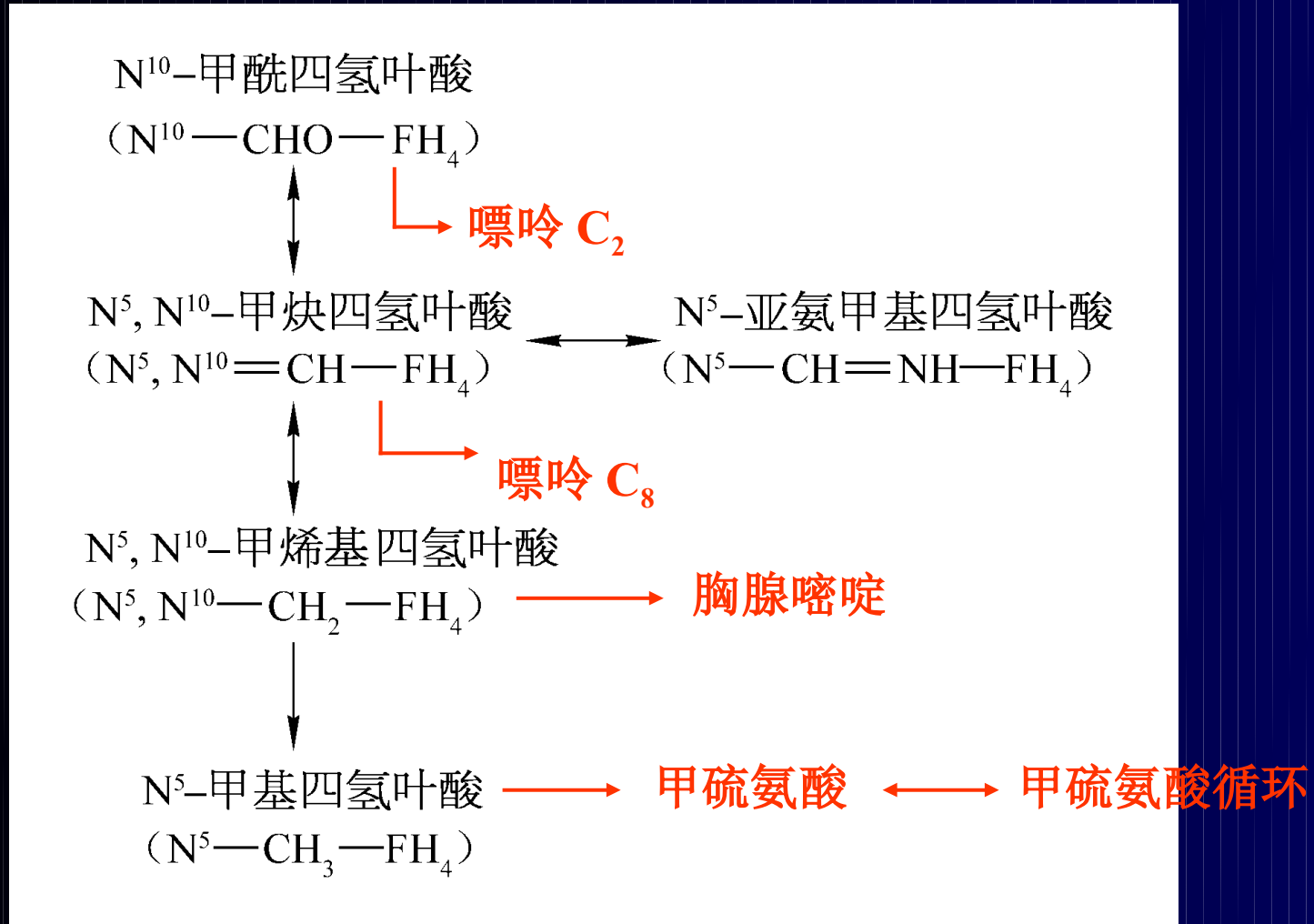
## (二) 一碳单位的生成与 $\text{FH}_4$



一碳单位的结合点



### (三) 一碳单位的相互转变



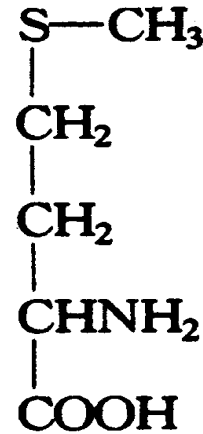
## (四) 一碳单位的生理意义

- 是联系氨基酸代谢与核苷酸代谢的枢纽
- 一碳单位为嘌呤及嘧啶合成提供原料
- 参与活性甲基的合成
- 一碳单位代谢障碍可造成某些疾病，  
如巨幼红细胞性贫血等

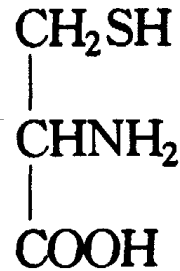
## 二、含硫氨基酸的代谢

含硫氨基酸

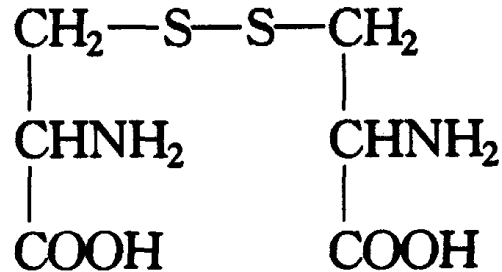
甲硫氨酸



半胱氨酸

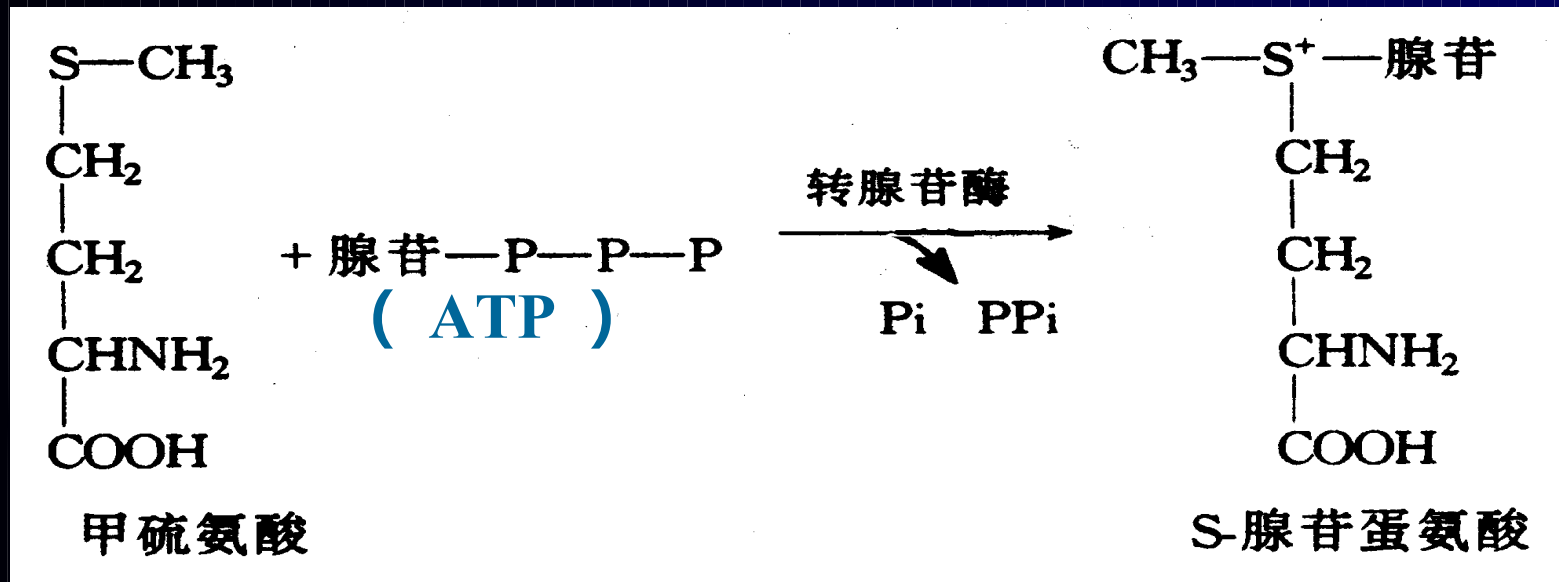


胱氨酸

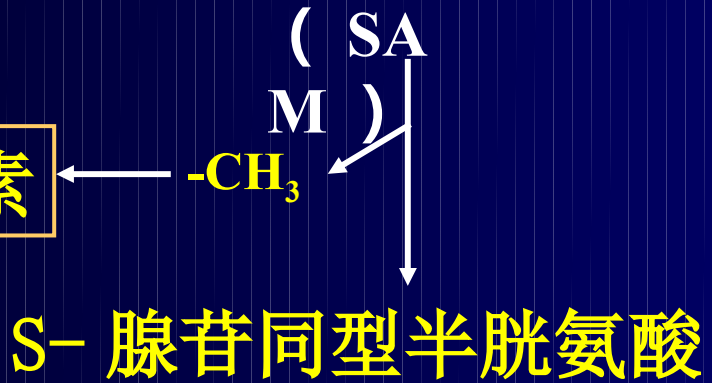


# (一) 甲硫氨酸的代谢

## 1、甲硫氨酸循环过程



肌酸、肉毒碱、胆碱、肾上腺素



$\alpha$ - 酮丁酸  
半胱氨酸

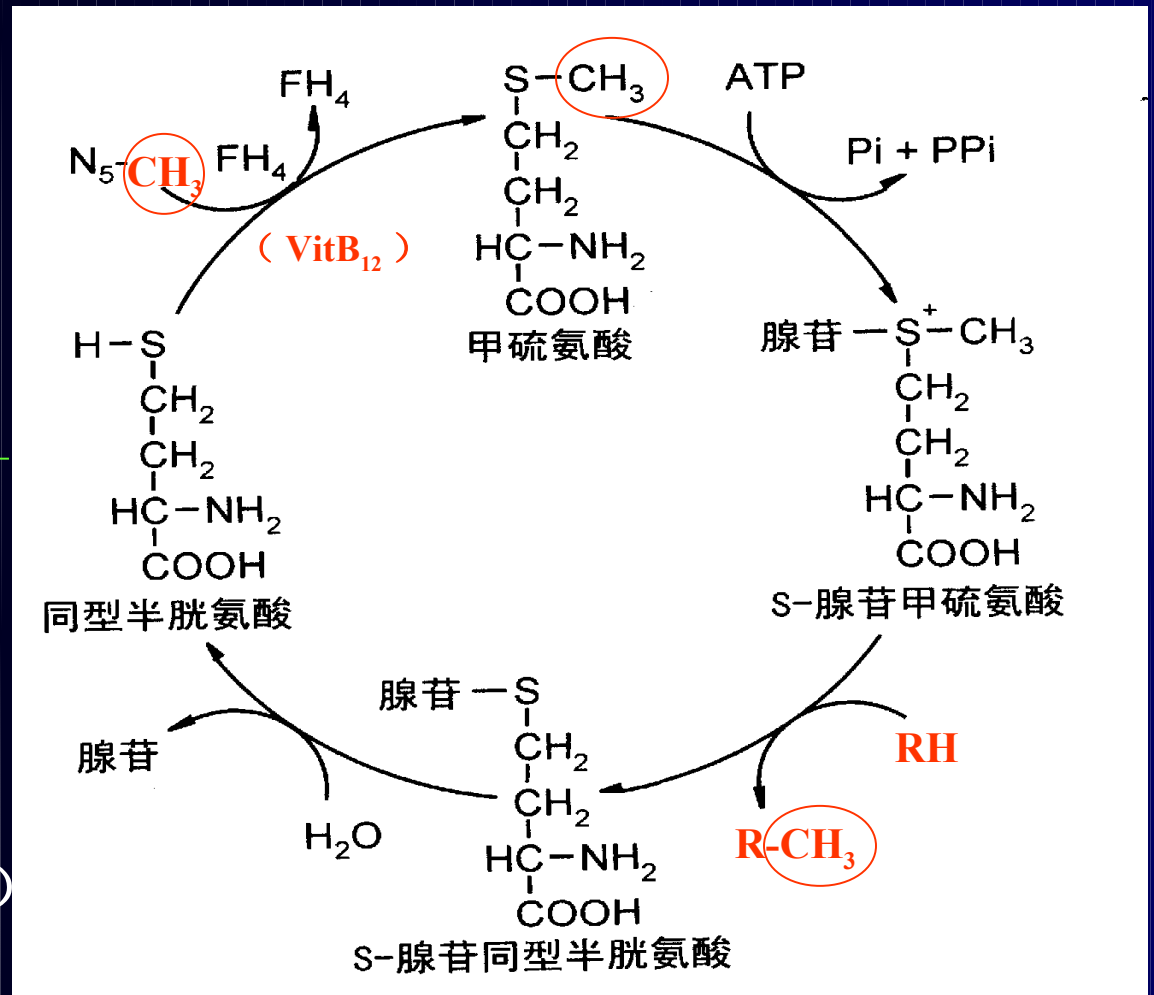
丝氨酸

胱硫醚合成酶

缺陷

同型半胱氨酸血症

(动脉粥样硬化的危险因子)

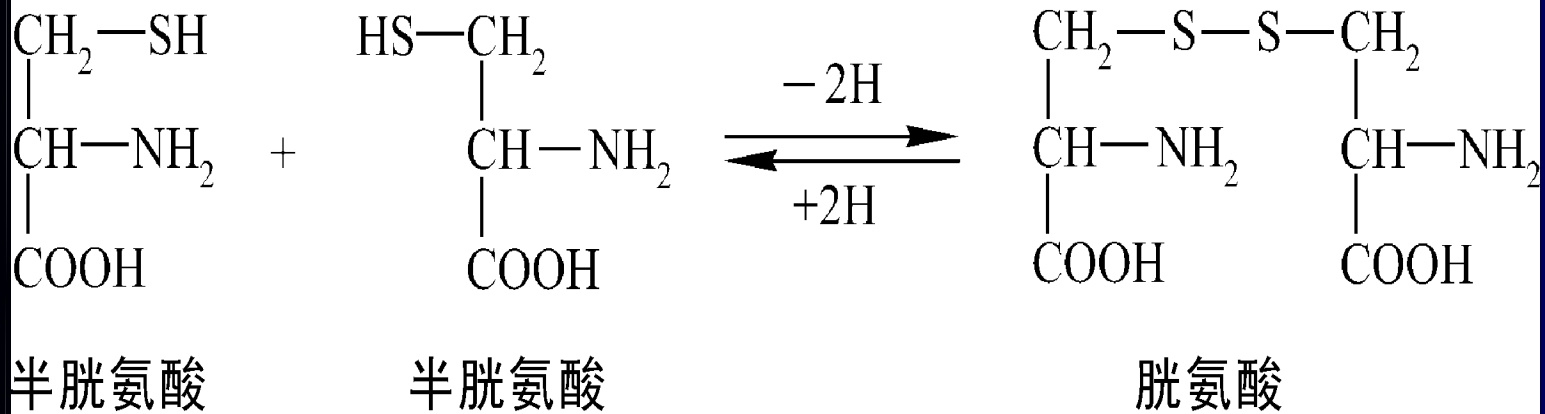


## 2、 甲硫氨酸循环的生理意义

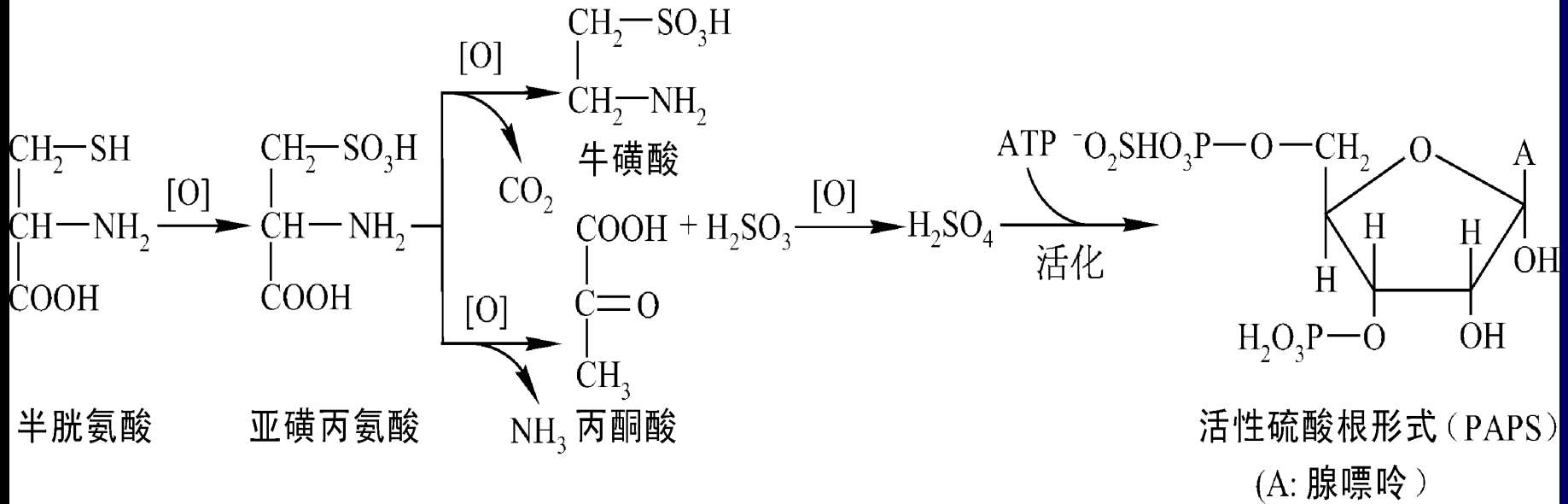
- 为体内甲基化反应提供甲基
- 使四氢叶酸得到再生
- 同型半胱氨酸堆积，引起同型半胱氨酸血症

## (二) 半胱氨酸与胱氨酸的代谢

### 1、半胱氨酸与胱氨酸的互变

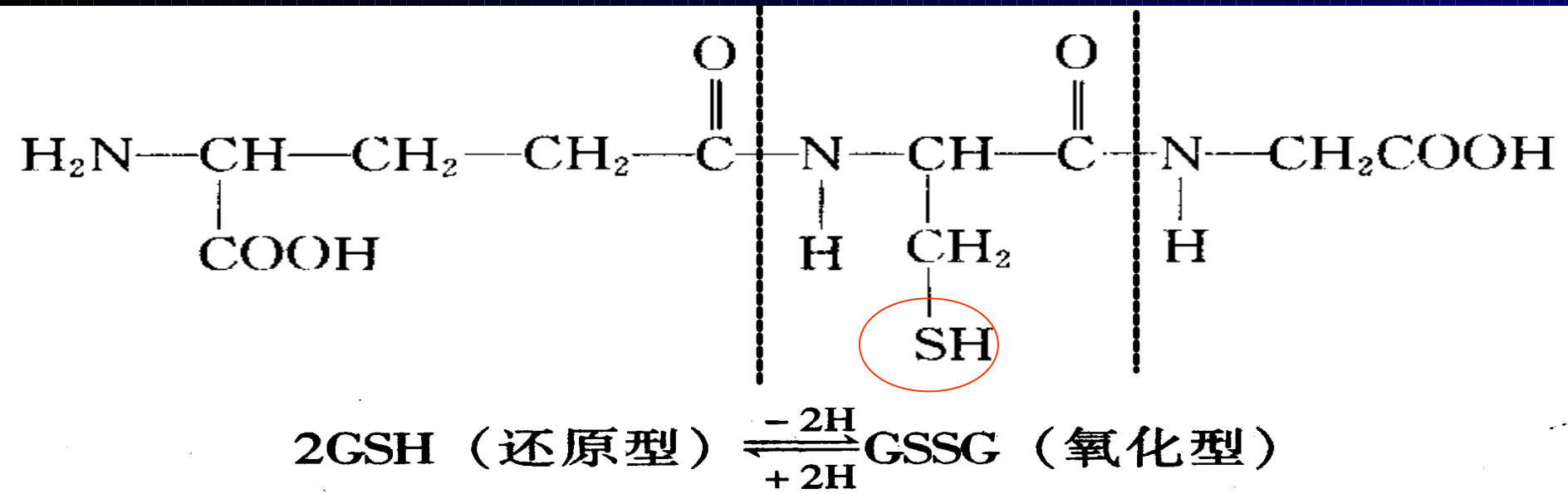


## 2、半胱氨酸氧化分解为硫酸根



**PAPS 是活性硫酸根，参与转硫酸基反应**

### 3、半胱氨酸参与合成谷胱甘肽

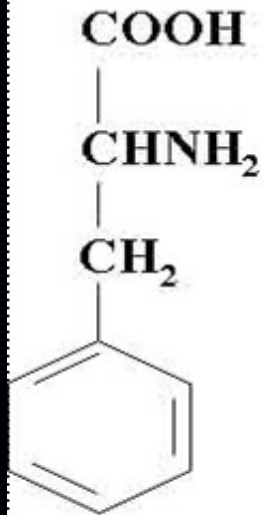


## 谷胱甘肽的生理功用：

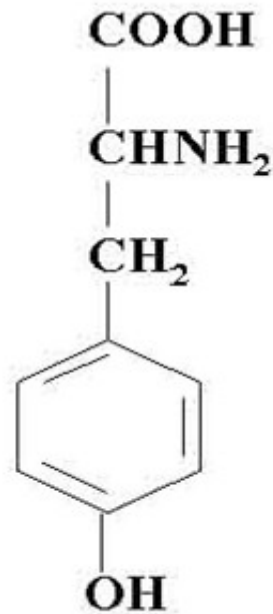
- ① 抗氧化作用：为抗氧化剂，维持酶 -SH 的还原性和膜的完整性
- ② 参与生物转化
- ③ 参与氨基酸转运

### 三、芳香族氨基酸的代谢

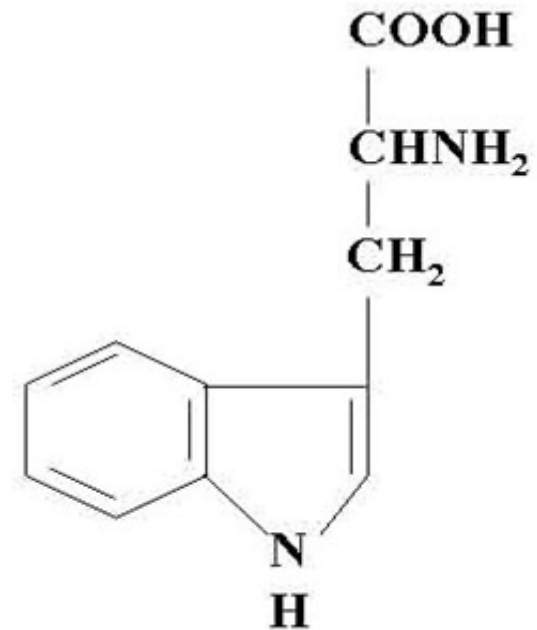
苯丙氨酸



酪氨酸



色氨酸



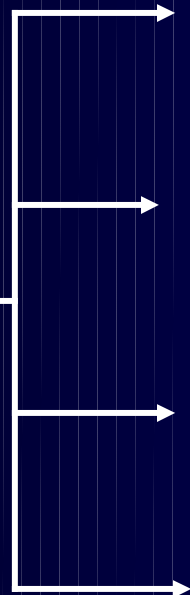
苯丙氨酸



苯丙酮酸



酪氨酸



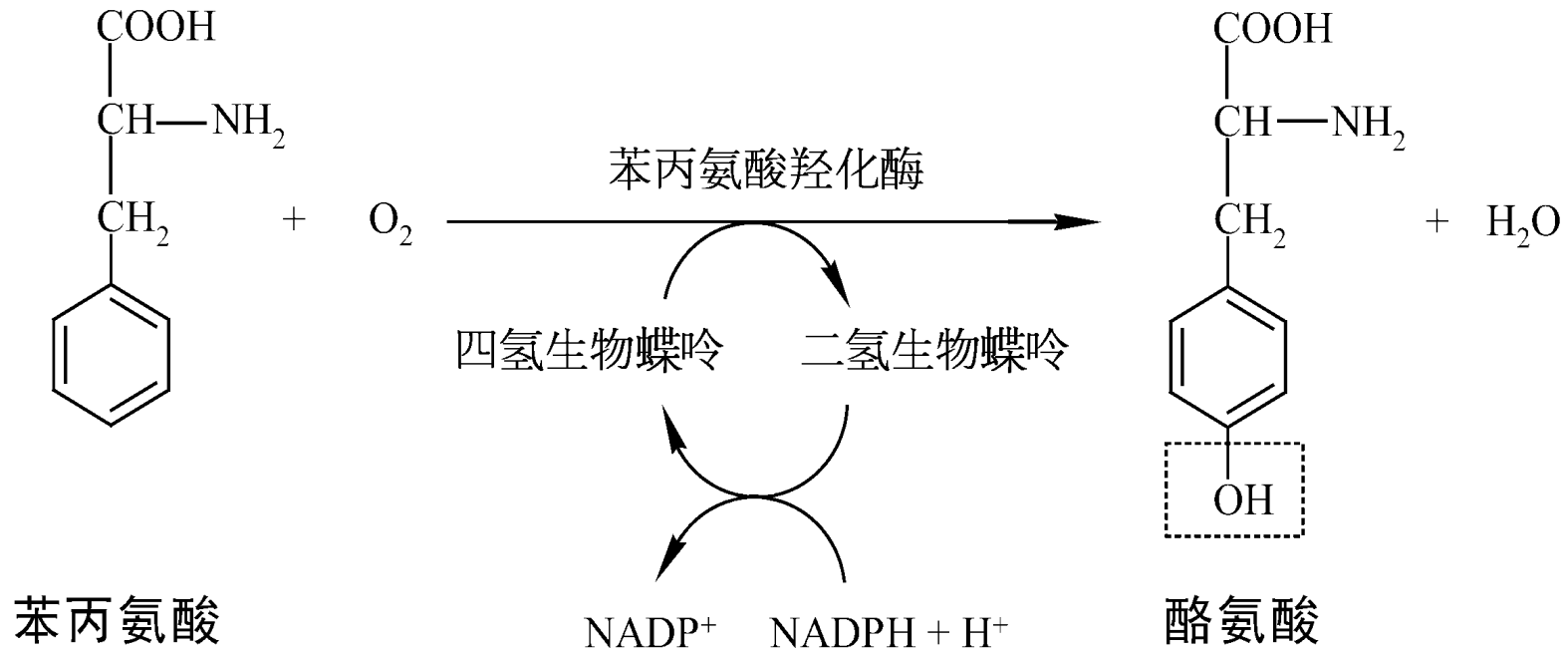
甲状腺激素

黑色素

儿茶酚胺

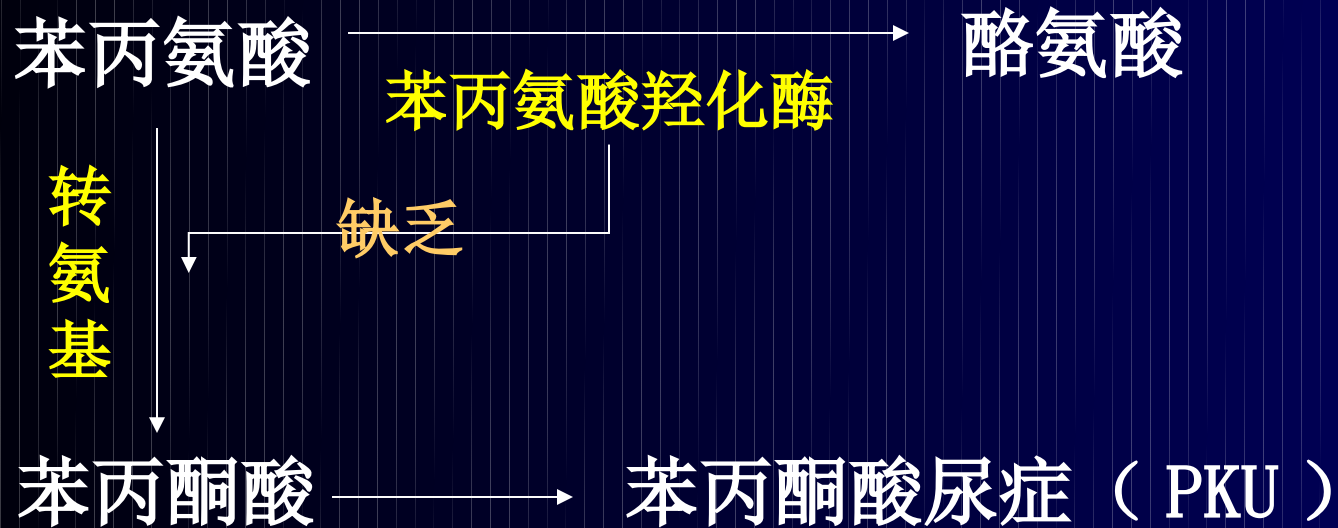
氧化分解

# (一) 苯丙氨酸羟化为酪氨酸



反应不可逆

# 苯丙酮酸尿症

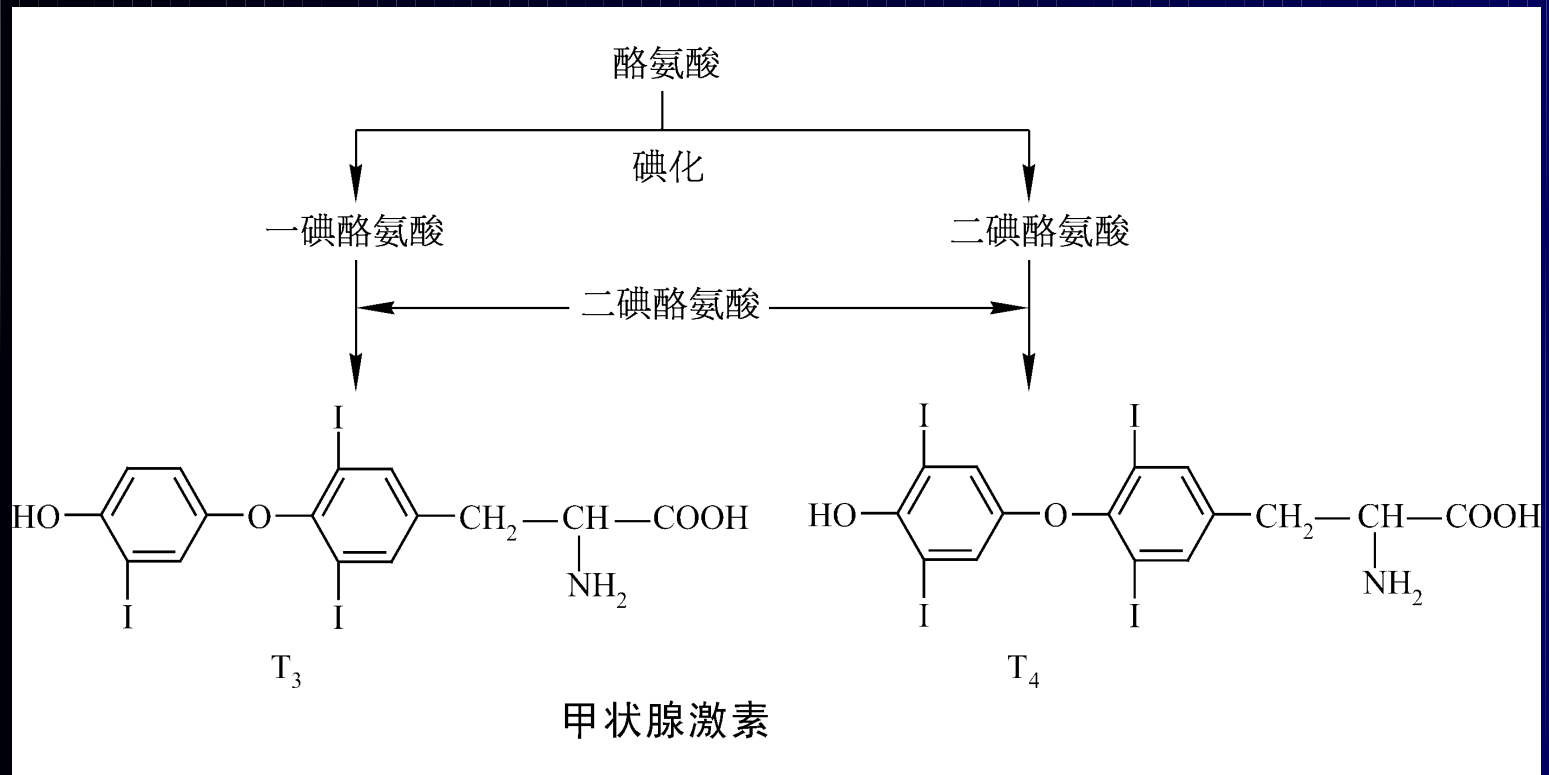


对中枢神经系统有毒性，智力发育障碍

## PKU 患者

智力低下，60% 患儿有脑电图异常，头发细黄，皮肤色淡和虹膜淡黄色，惊厥，尿有“发霉”臭味或鼠尿味。

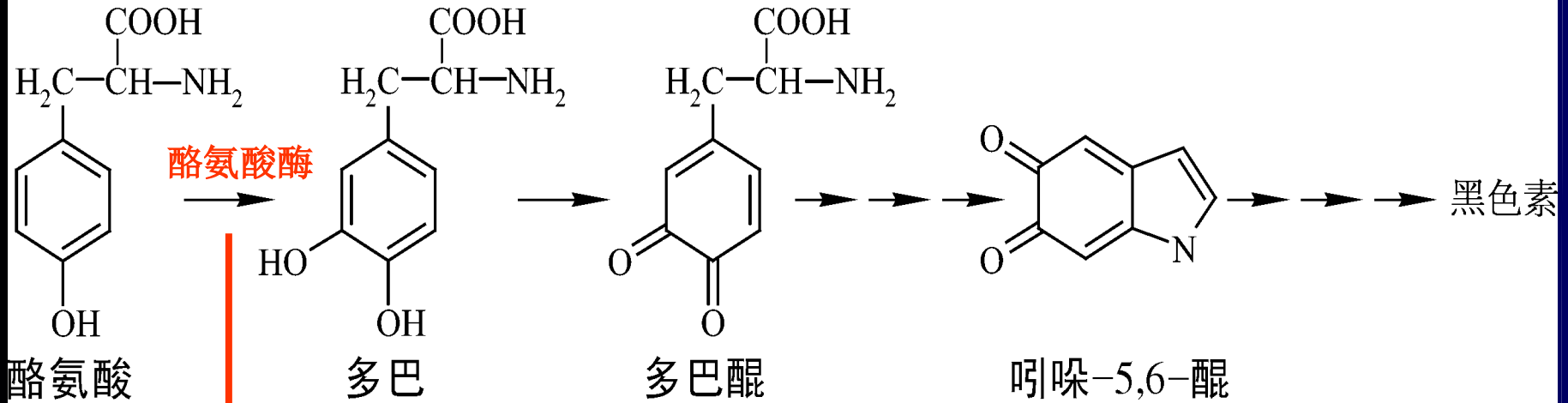
## (二) 酪氨酸转变为甲状腺激素



## 甲状腺激素作用

- 促进物质代谢、机体生长发育
- 甲状腺素缺乏，引起呆小症
- 缺碘影响甲状腺素合成，引起甲状腺肿

### (三) 酪氨酸合成黑色素



先天性缺乏

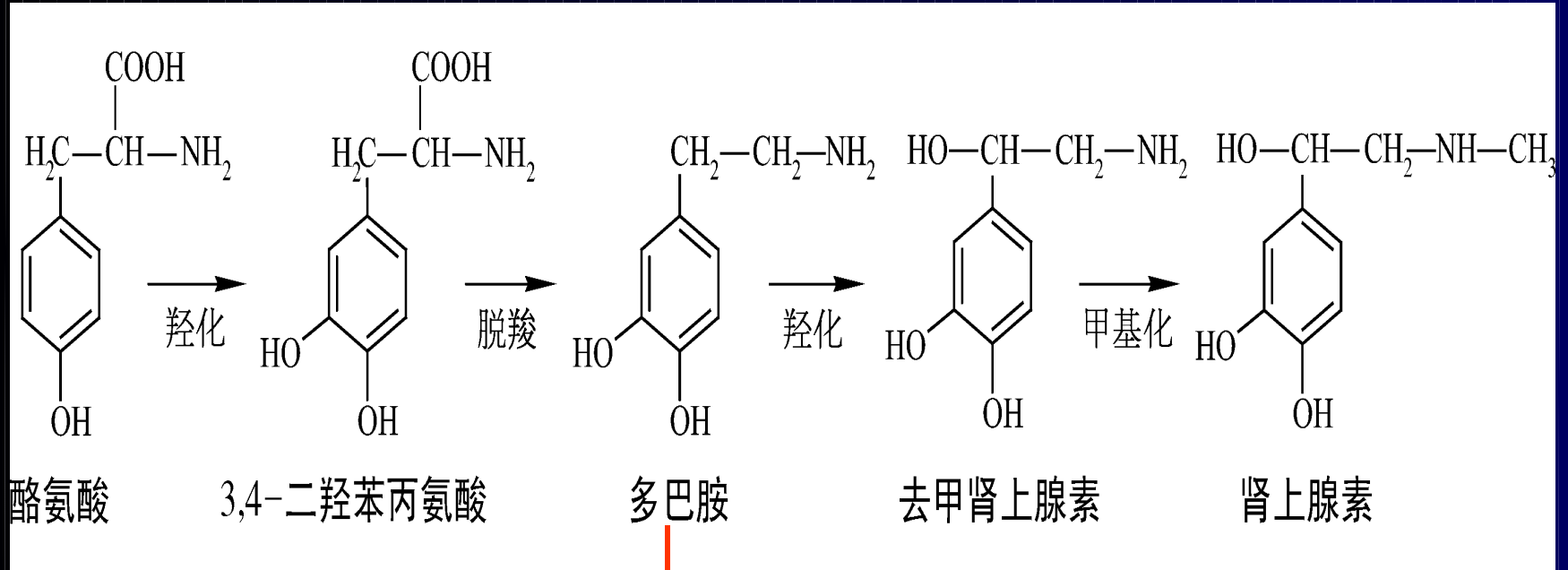
黑色素合成障碍

白化病

# 白化病

皮肤乳白色，毛发淡黄或银白色，瞳孔淡红，虹膜淡灰或淡红，半透明视网膜膜缺乏色素。

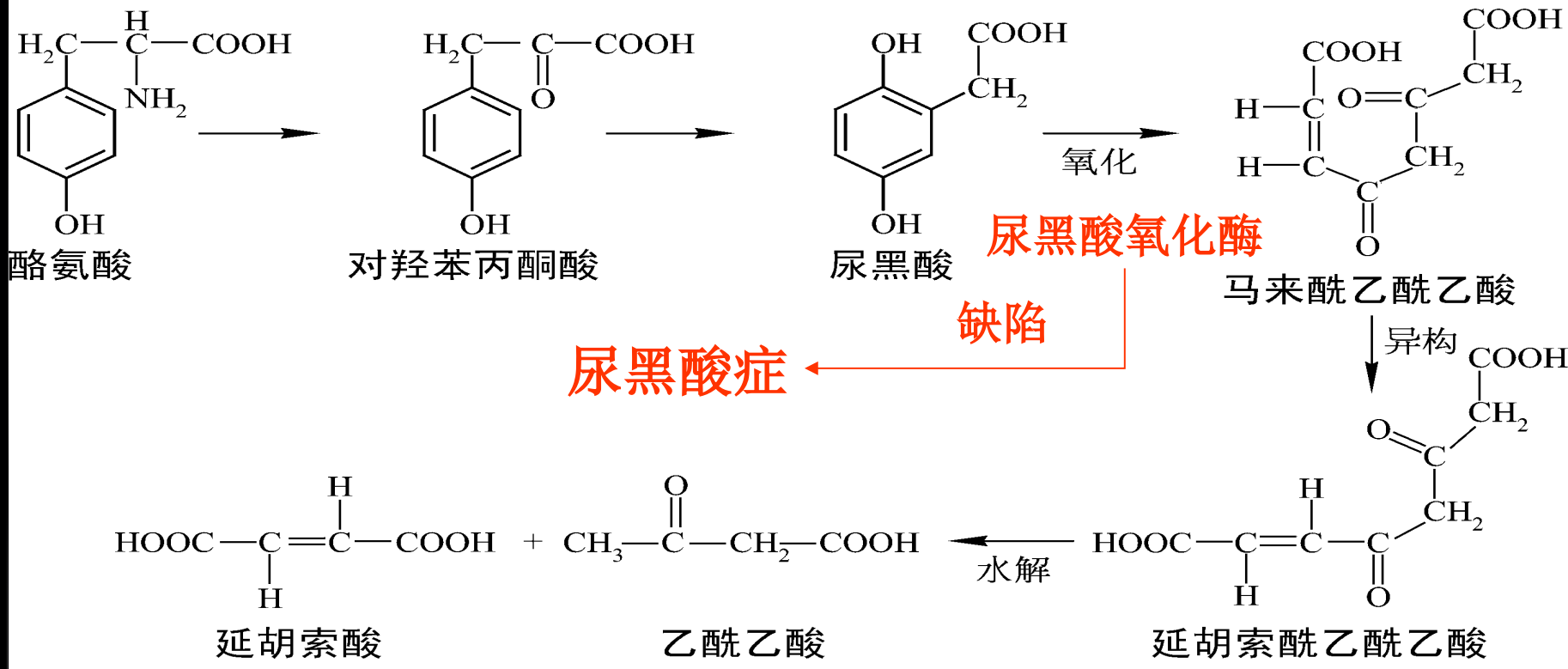
## (四) 酪氨酸转变为儿茶酚胺类



合成不足  
帕金森病

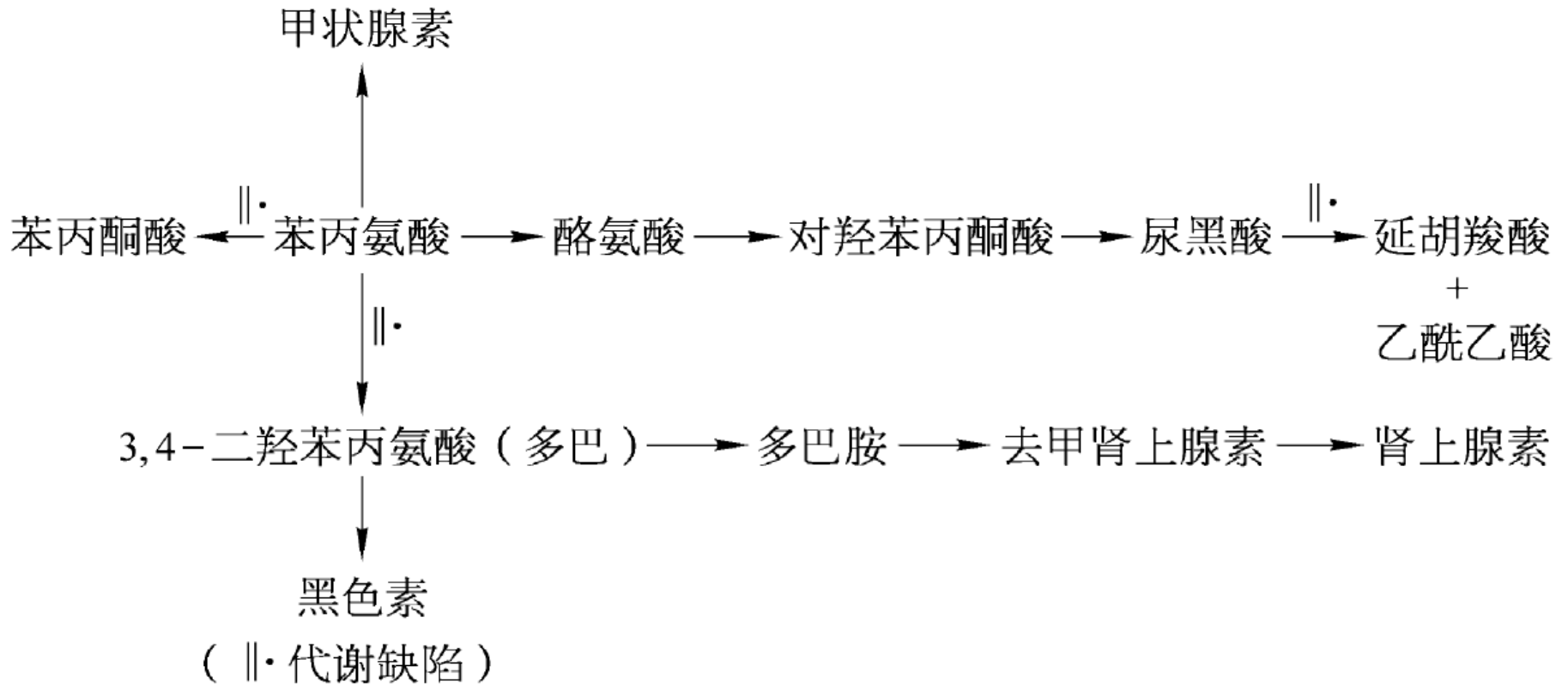
儿茶酚胺

# (五) 酪氨酸的氧化分解

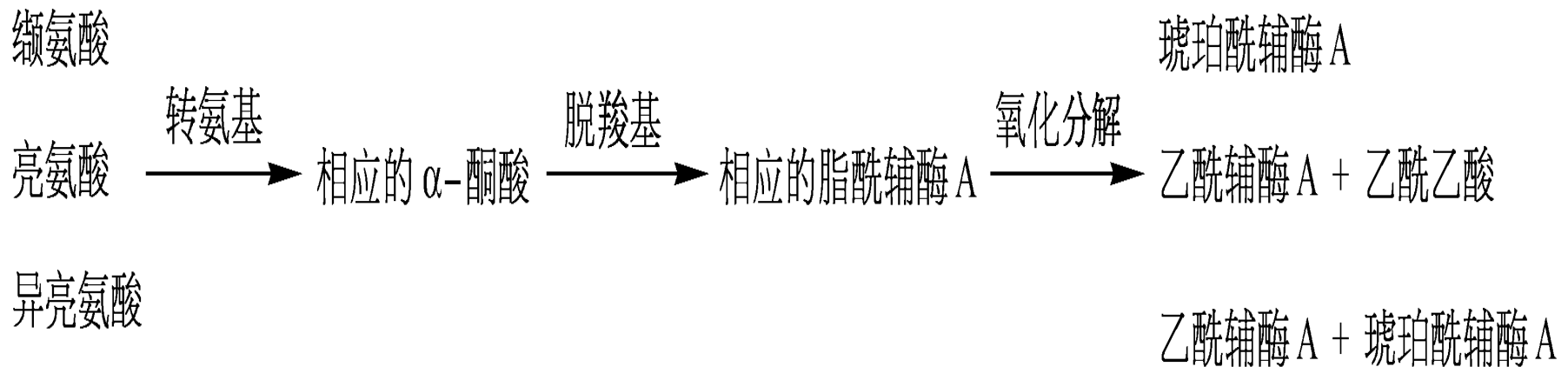


(生糖兼生酮)

# 酪氨酸代谢小结



## 四、支链氨基酸的代谢

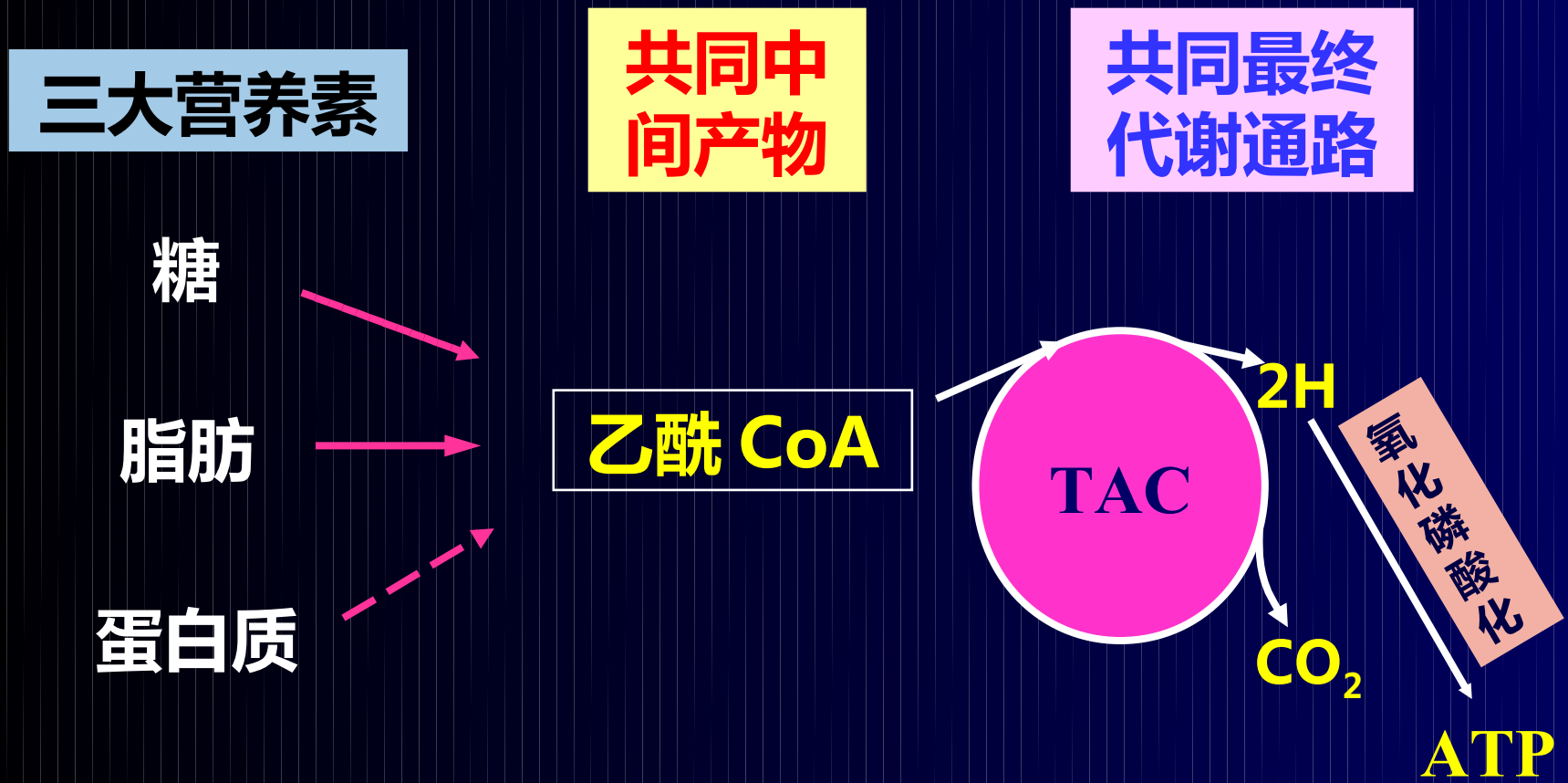


## 第七节

# 糖、脂类和蛋白质在代谢上的相互联系

# 一、在能量代谢上的相互联系

三大营养素可在体内氧化供能

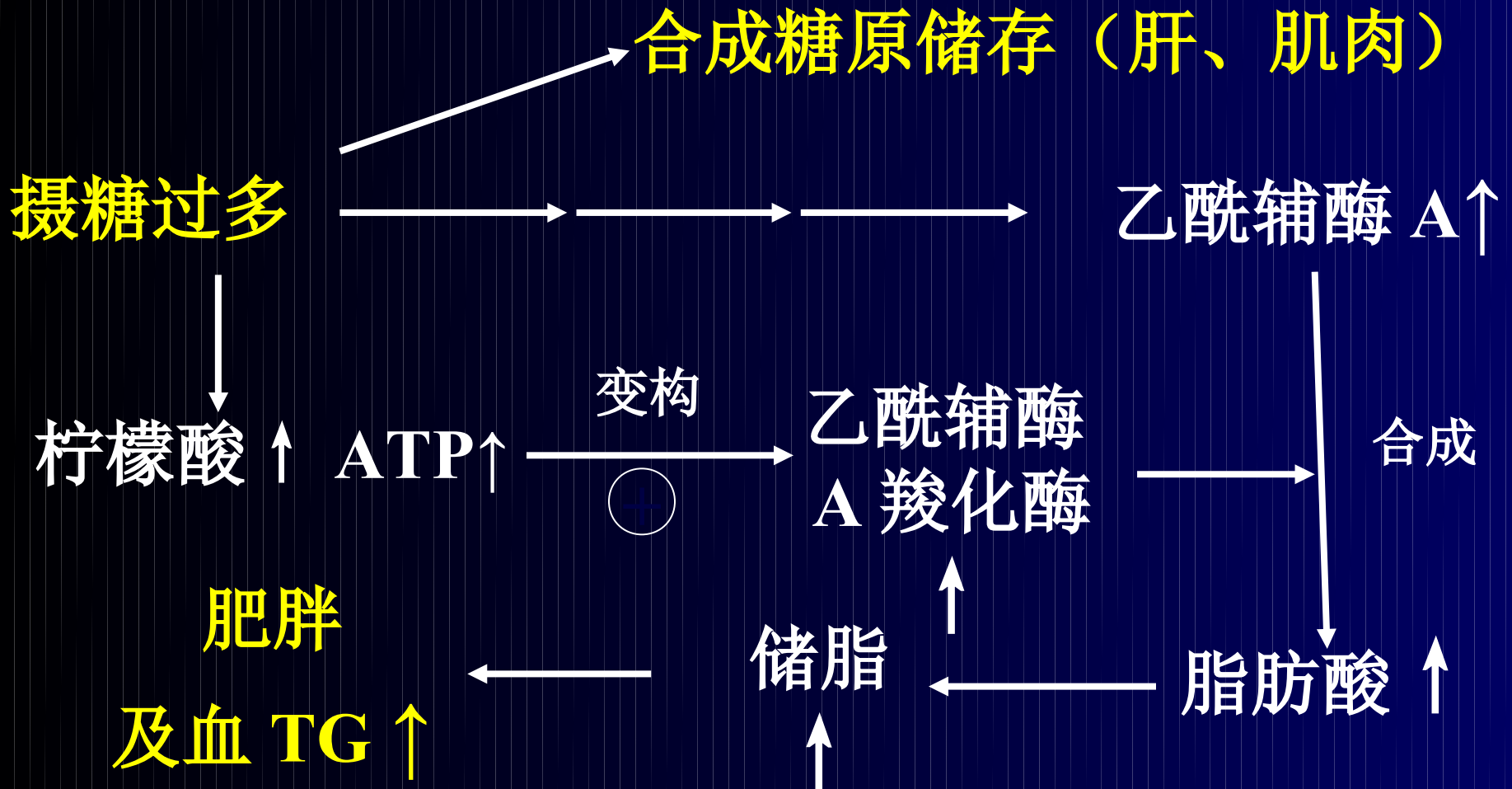


- 从能量供应角度看，三大营养素可以相互代替，并相互制约。
- 一般情况下，供能以糖、脂为主，并尽量节约蛋白质的消耗。
- 任一供能物质的代谢占优势，常能抑制和节约其他物质的降解。

## 二、糖、脂和蛋白质代谢之间的相互联系

### (一) 糖与脂类在代谢上的联系

# 糖变脂



脂肪的甘油部分能在体内转变为糖，  
但脂酸不能转变为糖



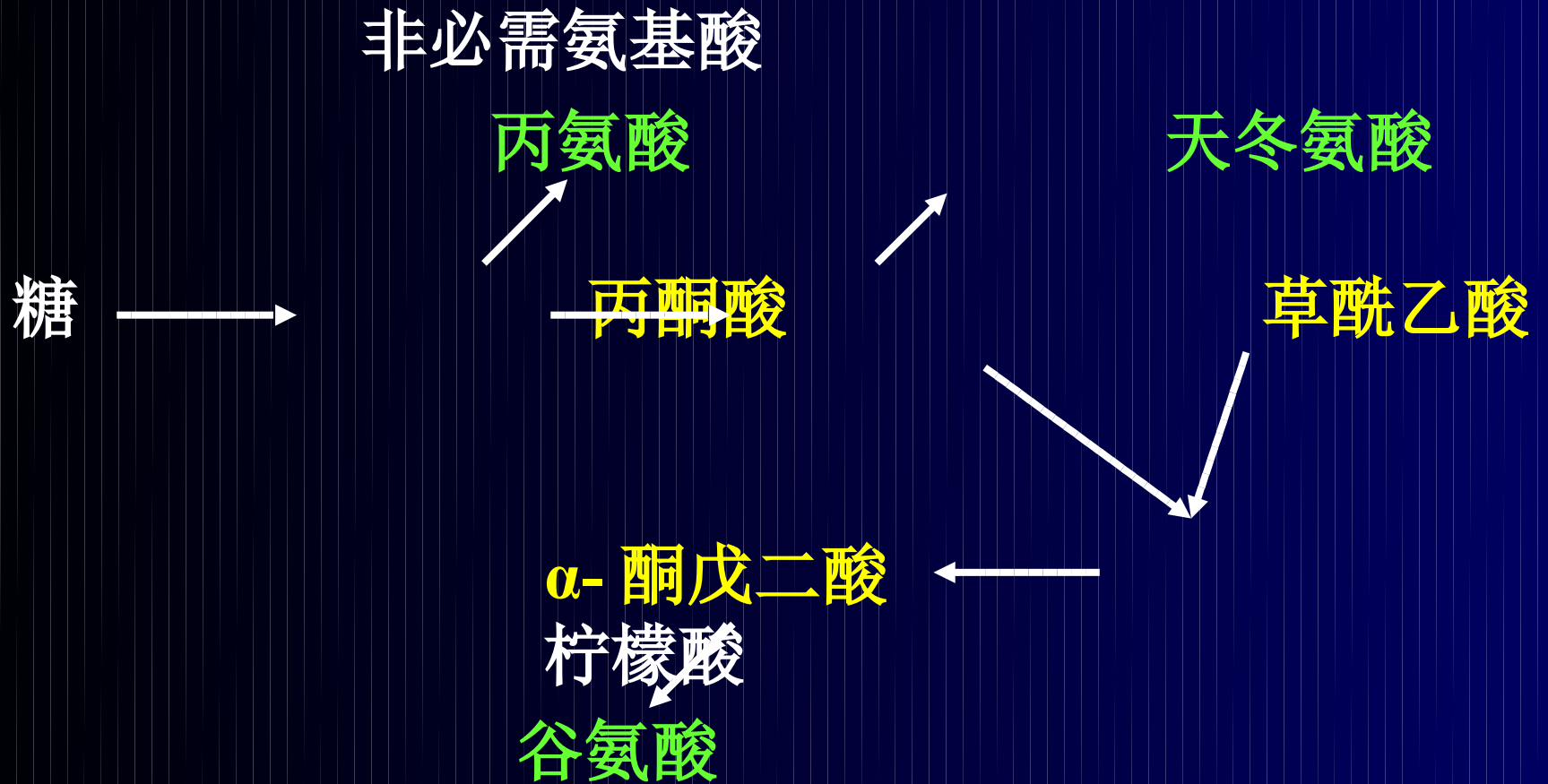
## (二) 糖与蛋白质在代谢上的联系

- 食物中蛋白质能代替糖、脂供能
- 但食物中糖、脂不能代替蛋白质

(1) 大部分氨基酸脱氨基后，生成相应的  
 $\alpha$ -酮酸，可转变为糖



## (2) 糖代谢中间产物可氨基化生成某些



### (三) 脂类与蛋白质在代谢上的联系

#### (1) 蛋白质可转变为脂肪

氨基酸  $\longrightarrow$  乙酰 CoA  $\longrightarrow$  脂肪

#### (2) 氨基酸可作为合成磷脂的原料

丝氨酸  $\longrightarrow$   
 $\downarrow$   
胆胺  $\longrightarrow$   
 $\downarrow$   
胆碱  $\longrightarrow$

磷脂酰丝氨酸

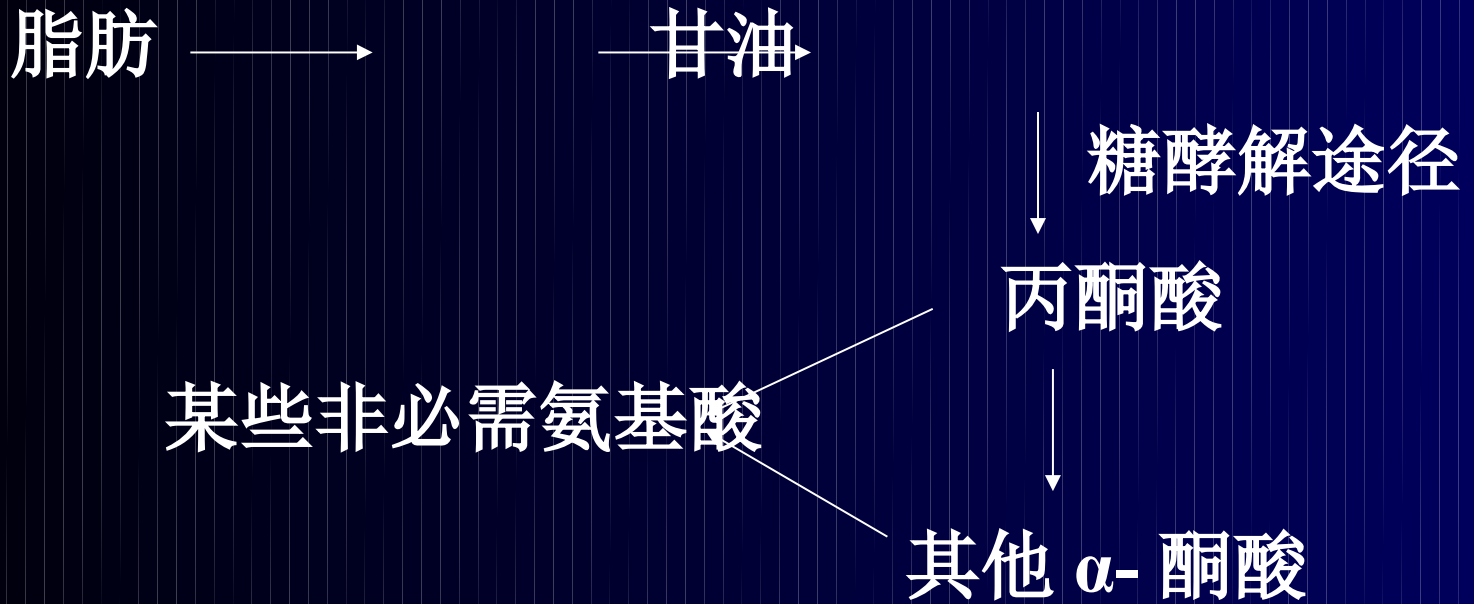
脑磷脂

卵磷脂

# 第八节 物质代谢的调节

- 细胞水平的调节
- 激素水平的调节
- 整体水平的调节

### (3) 脂肪的甘油部分可转变为非必需氨基酸



- 体内糖、脂、蛋白质代谢的调节是神经内分泌整体调控，相互协调，相互制约，维持动态平衡。