

---

# 第十二章

# 蛋白质代谢

---

# 第一节 概述

- 一、蛋白质的消化与吸收
- 二、蛋白质的营养价值

# 1 . 消化— 蛋白酶的水解作用

---

蛋白质是高分子化合物，结构复杂。生物体从外界摄取的蛋白质经过降解为氨基酸的过程称为消化。

## 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。

# 1) 蛋白质在胃中的消化

---

胃蛋白酶原  $\xrightarrow{\text{胃酸、胃蛋白酶}}$  胃蛋白酶 + 多肽碎片

- 胃蛋白酶的最适pH为1.5-2.5，对蛋白质肽键的作用特异性较差，主要水解由芳香族氨基酸、蛋氨酸和亮氨酸所形成的肽键，产物主要为多肽及少量氨基酸。

## 2) 蛋白质在小肠中的消化

——小肠是蛋白质消化的主要部位。

### ■ 胰酶及其作用

胰酶是消化蛋白质的主要酶，最适pH为7.0左右，包括内肽酶和外肽酶。

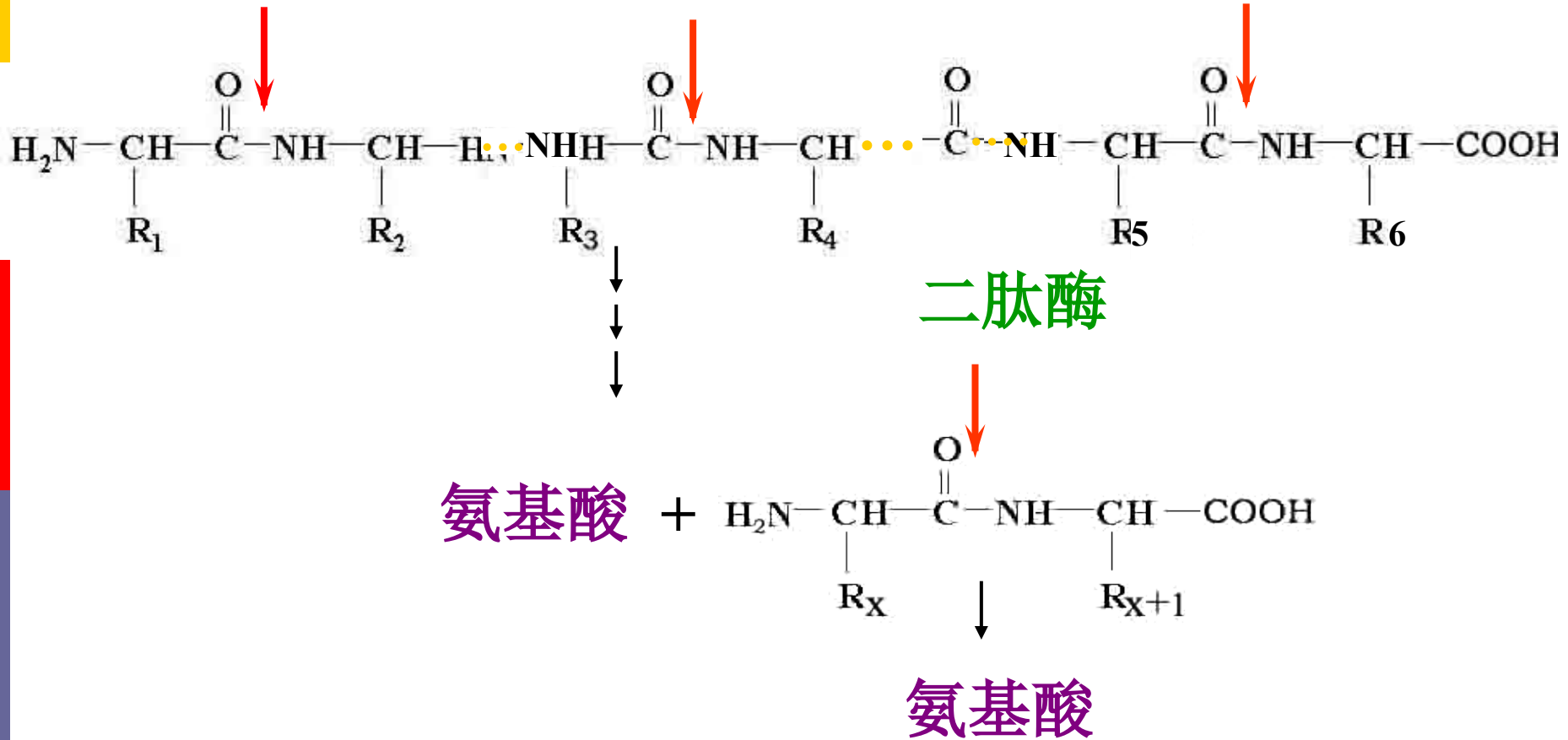
- 肽链外切酶：催化断裂羧基末端和氨基末端肽键，如羧肽酶B、氨基肽酶、二肽酶等。
- 肽链内切酶：催化断裂肽链内部肽键，如胰蛋白酶、糜蛋白酶、弹性蛋白酶等。
- 蛋白质在肠中完全水解为氨基酸。

# ◆蛋白水解酶作用示意图

氨基肽酶

内肽酶

羧基肽酶



---

## 2 . 吸收— 需要特定的膜蛋白转运

- 吸收部位： 主要在小肠
- 吸收形式： 氨基酸、寡肽、二肽
- 吸收机制： 耗能的主动吸收过程

## ■ 氨基酸吸收载体

载体蛋白与氨基酸、 $\text{Na}^+$ 组成三联体，由ATP供能将氨基酸、 $\text{Na}^+$ 转入细胞内， $\text{Na}^+$ 再由钠泵排出细胞。

小肠还可吸收二肽或三肽，吸收作用在小肠的近端较强，因此肽的吸收先于氨基酸。

### 七种转运蛋白

中性氨基酸转运蛋白  
酸性氨基酸转运蛋白  
碱性氨基酸转运蛋白  
亚氨基酸转运蛋白  
 $\beta$ 氨基酸转运蛋白  
二肽转运蛋白  
三肽转运蛋白



### 3、蛋白质在大肠中的腐败

---

腐败是肠道细菌对未被消化的蛋白质及其消化产物所起的作用。

主要在大肠中进行，是细菌对蛋白质及其消化产物的分解作用。

腐败分解作用包括水解、氧化、还原、脱羧、脱氨、脱巯基等反应。可产生有毒物质，如胺类，酚类，吲哚类，氨及硫化氢等。这些有毒物质被吸收后，由肝脏进行解毒。

## 二、蛋白质的营养价值

---

### 1、体内蛋白质具有多方面的重要功能

- 1) 蛋白质维持细胞组织的**生长、更新和修补**。
- 2) 蛋白质参与体内多种重要的**生理活动**。  
**催化**（酶）、**免疫**（抗原及抗体）、**运动**（肌肉）、**物质转运**（载体）、**凝血**等。
- 3) 蛋白质可作为能源物质氧化供**能量**  
每克蛋白质在体内氧化分解可释放  
17.19kJ的能量，人体每日**18%能量**由蛋白质提供

## 2、必需氨基酸

---

### ■ 营养必需氨基酸

指体内需要而又**不能自身合成**，必须由食物供给的氨基酸，共有**8种**：Val、Ile、Leu、Thr、Met、Lys、Phe、Trp。

### ■ 营养非必需 氨基酸

**12种**氨基酸体内可以自身合成。

### ■ 蛋白质的营养价值

指食物蛋白质在体内的利用率，取决于必需氨基酸的数量、种类、量质比。

## 第二节 氨基酸的代谢

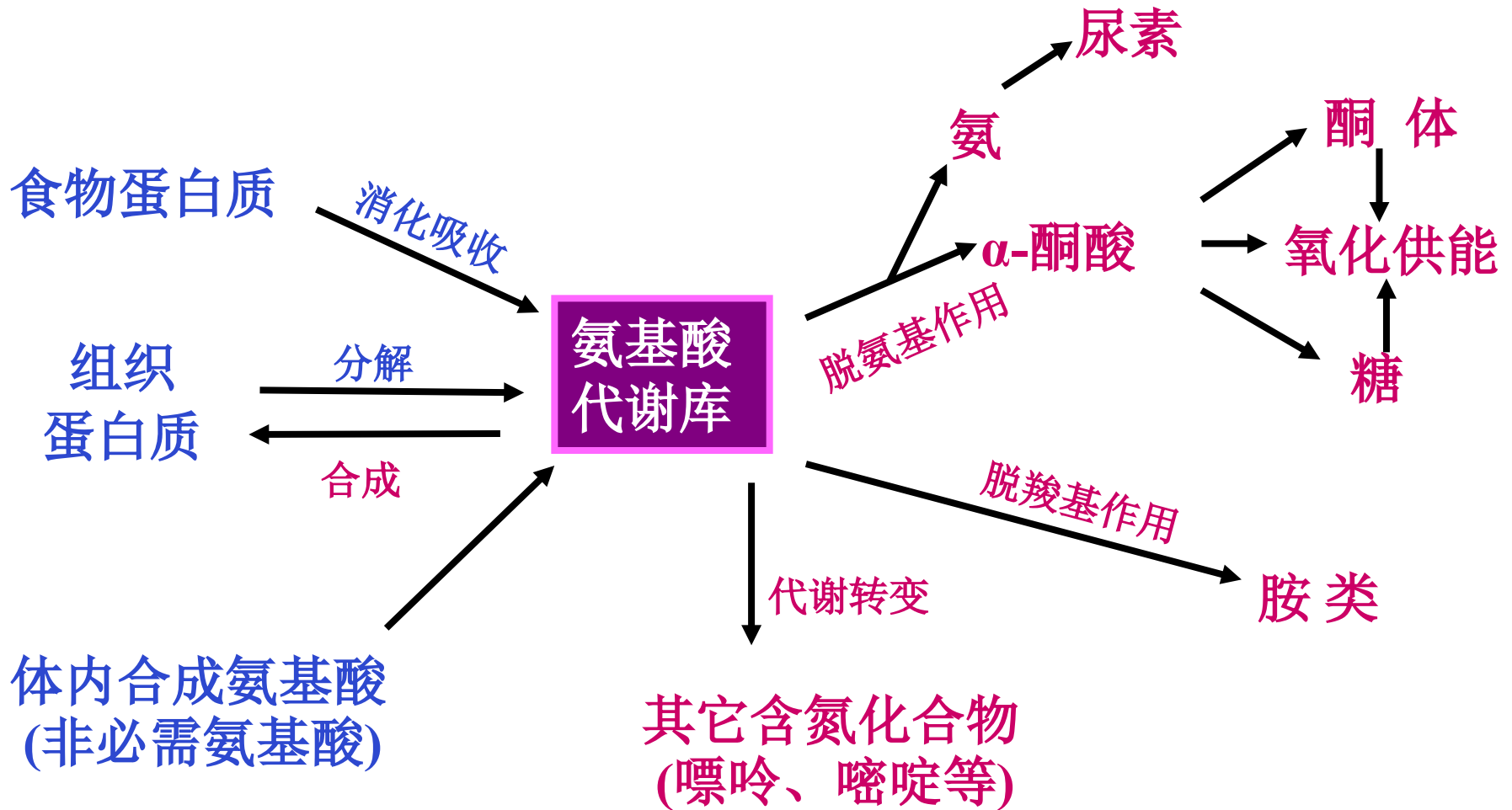
- 一、氨基酸的脱氨基作用
- 二、氨基酸的脱羧基作用
- 三、氨与 $\alpha$ -酮酸的转化
- 四、个别氨基酸的分解代谢
- 五、个别氨基酸合成代谢的概述

---

# 1、氨基酸代谢库

人体内蛋白质处于不断降解与合成的动态平衡。食物蛋白质经消化而被吸收的氨基酸（外源性氨基酸）与体内组织蛋白质降解产生的氨基酸（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



## 2、氮平衡

---

人体每日须**分解**一定量的组织蛋白质，并以**含氮终产物**的形式排出体外。同时，须从食物中**摄取一定量的蛋白质**，以维持正常生理活动之需。

体内蛋白质的**合成与分解**处于**动态平衡**中，故每日氮的摄入量与排出量也维持着动态平衡，这种动态平衡就称为**氮平衡**。

### 3、氮平衡有以下几种情况：

---

1) **氮总平衡**：每日即摄入氮=排出氮，此种情况见于正常成人。

2) **氮正平衡**：每日摄入氮 $>$ 排出氮，表明体内蛋白质的合成量大于分解量，称为氮正平衡。见于儿童、孕妇、病后恢复期。

3) **氮负平衡**：每日摄入氮 $<$ 排出氮。此种情况见于消耗性疾病患者（肿瘤），饥饿者。



# 一、氨基酸的脱氨基作用

---

氨基酸脱去氨基生成 $\alpha$ -酮酸的过程称为脱氨基作用。

氨基酸分解代谢的最主要反应是脱氨基作用，其方式有氧化脱氨基、转氨基、联合脱氨基及非氧化脱氨基等。以联合脱氨基为最重要。

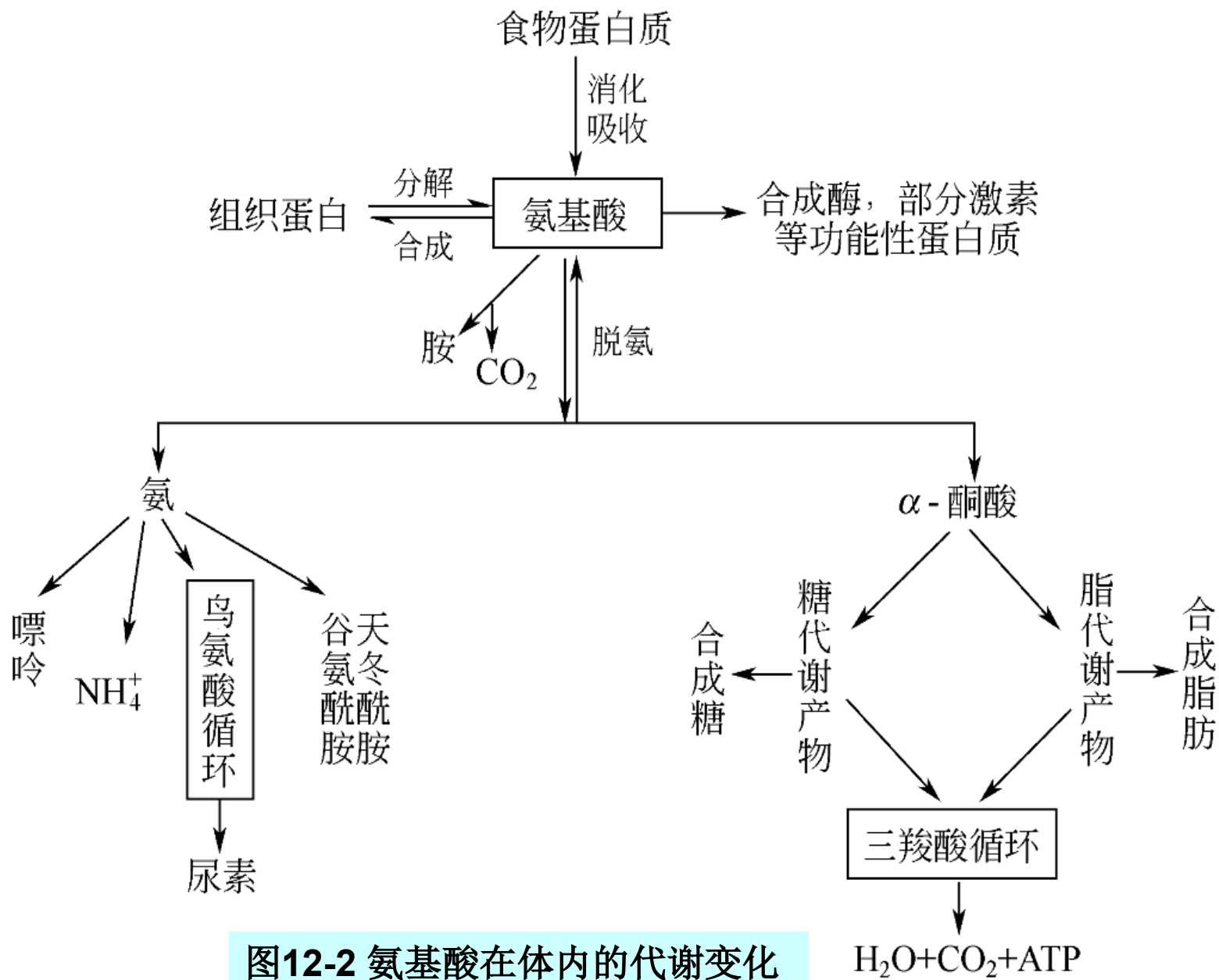
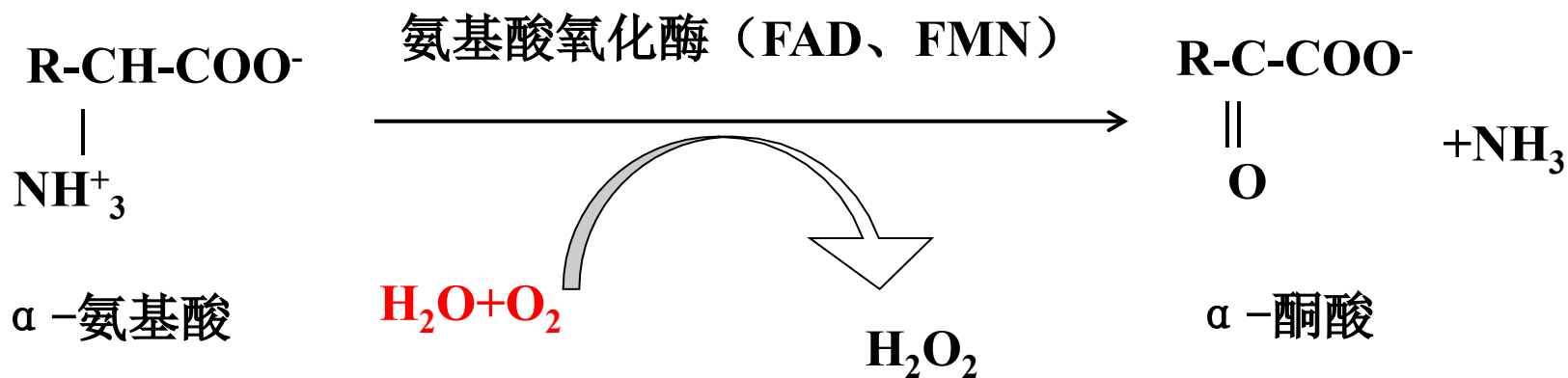


图12-2 氨基酸在体内的代谢变化

# 1. 氧化脱氨基作用

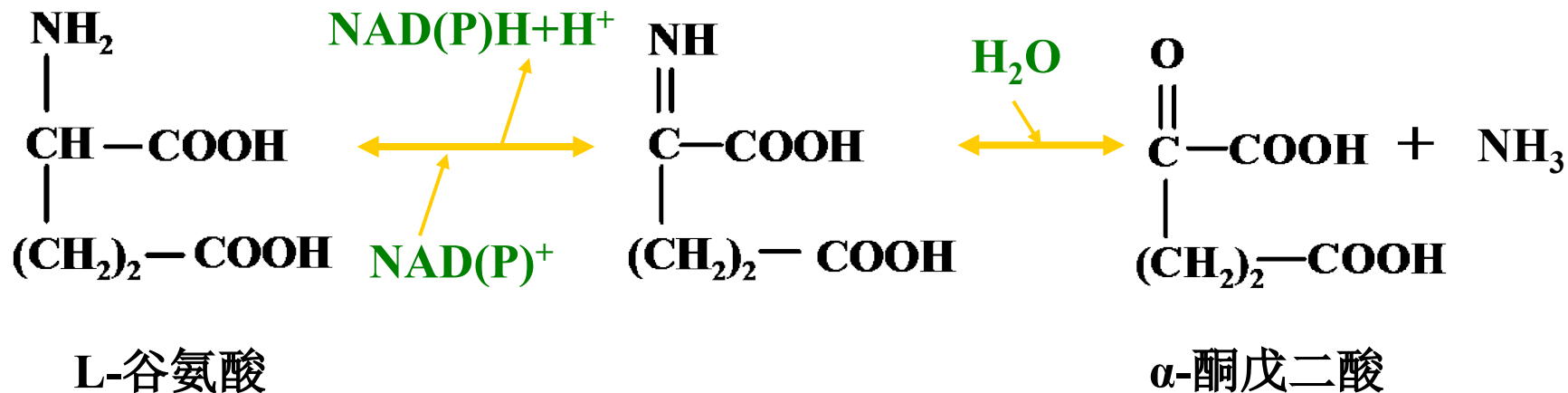
氨基酸在**酶**的催化下脱去氨基生成相应的  $\alpha$ -酮酸的过程称为**氧化脱氨基**作用。

## (1) 氨基酸氧化酶（需氧）



## (2)氨基酸脱氢酶（不需氧）

L-谷氨酸通过L-谷氨酸脱氢酶催化脱去氨基。



催化酶:

L-谷氨酸脱氢酶

- 存在于肝、脑、肾中
- 辅酶为  $\text{NAD}^+$  或  $\text{NADP}^+$
- $\text{GTP}$ 、 $\text{ATP}$ 为其抑制剂
- $\text{GDP}$ 、 $\text{ADP}$ 为其激活剂

## 2、转氨作用— 普遍存在的脱氨方式

---

### ■ 转氨基作用

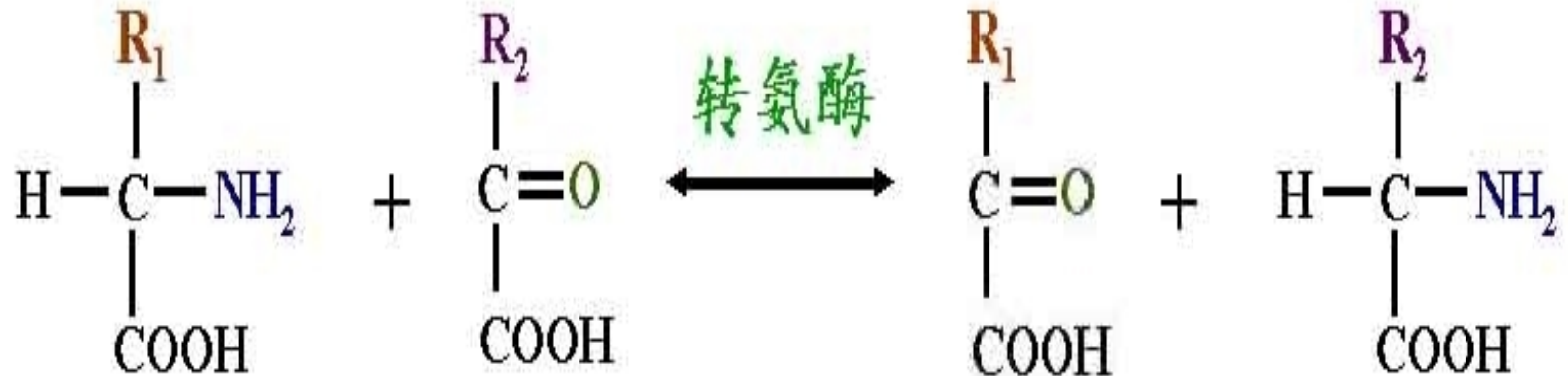
在转氨酶的作用下，某一氨基酸去掉 $\alpha$ -氨基生成相应的 $\alpha$ -酮酸，而另一种 $\alpha$ -酮酸得到此氨基生成相应的氨基酸的过程。

### ■ 转氨基作用的生理意义

不仅是体内多数氨基酸脱氨基的重要方式，也是机体合成非必需氨基酸的重要途径。

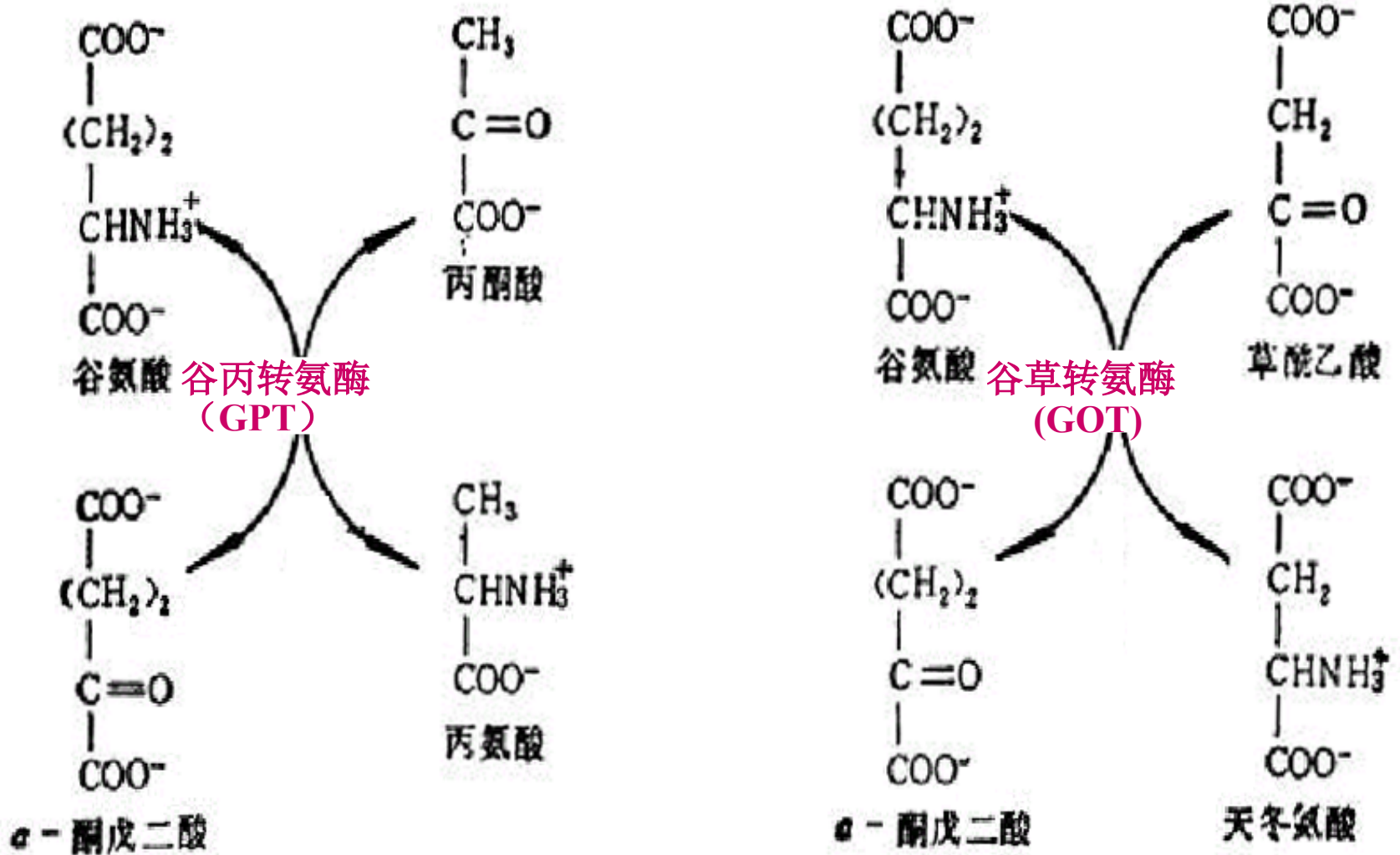
➤ 通过此种方式并未产生游离的氨。

## ■ 反应式



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。

# 最常见的谷丙转氨酶和谷草转氨酶



# 3、联合脱氨基作用

---

## (1) 概念

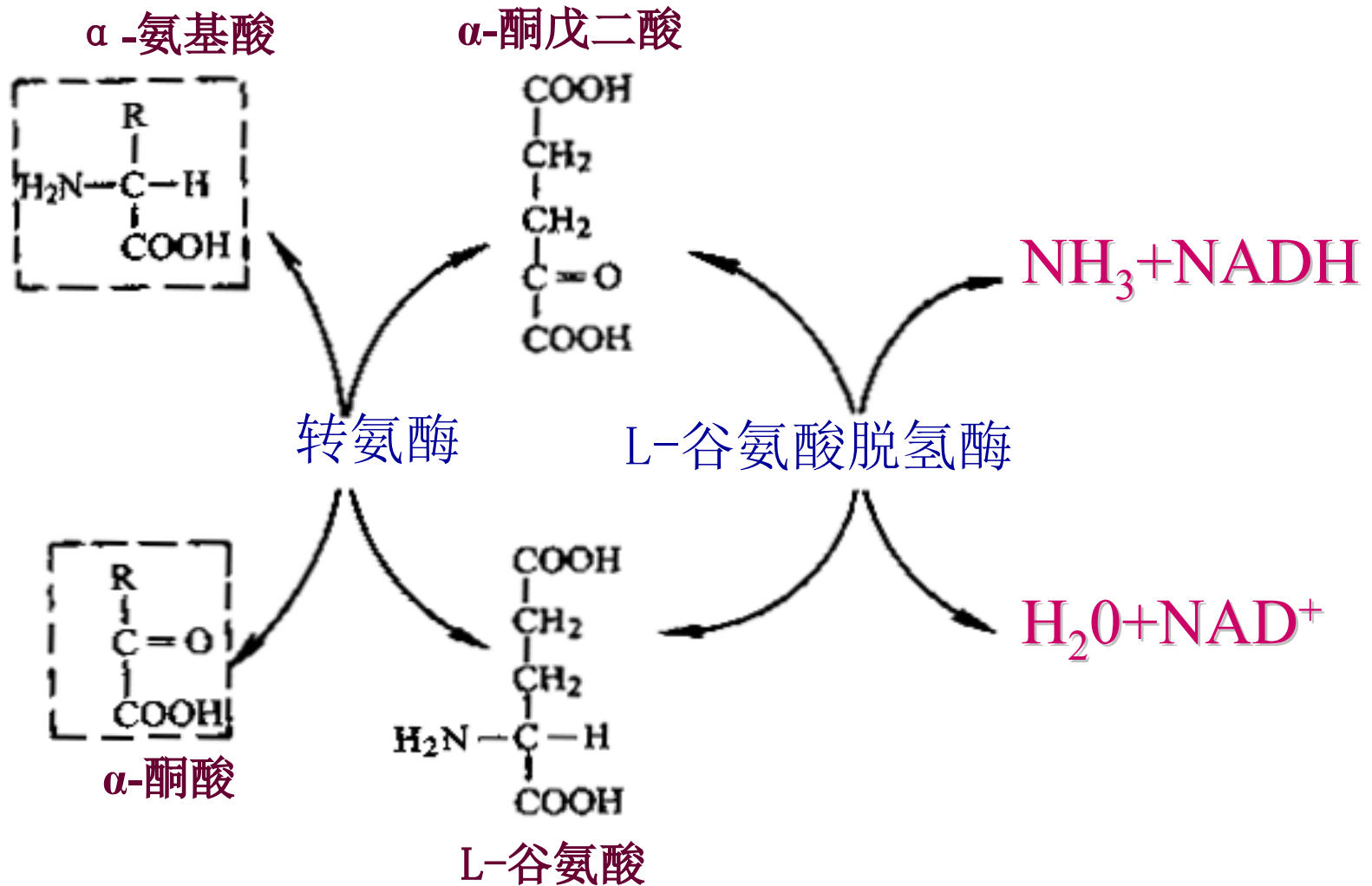
转氨基作用和氧化脱氨基作用联合进行的脱氨基作用方式。

## (2) 类型

- a、**转氨酶**与L-谷氨酸脱氢酶作用相偶联
- b、转氨基作用与嘌呤核苷酸循环相偶联



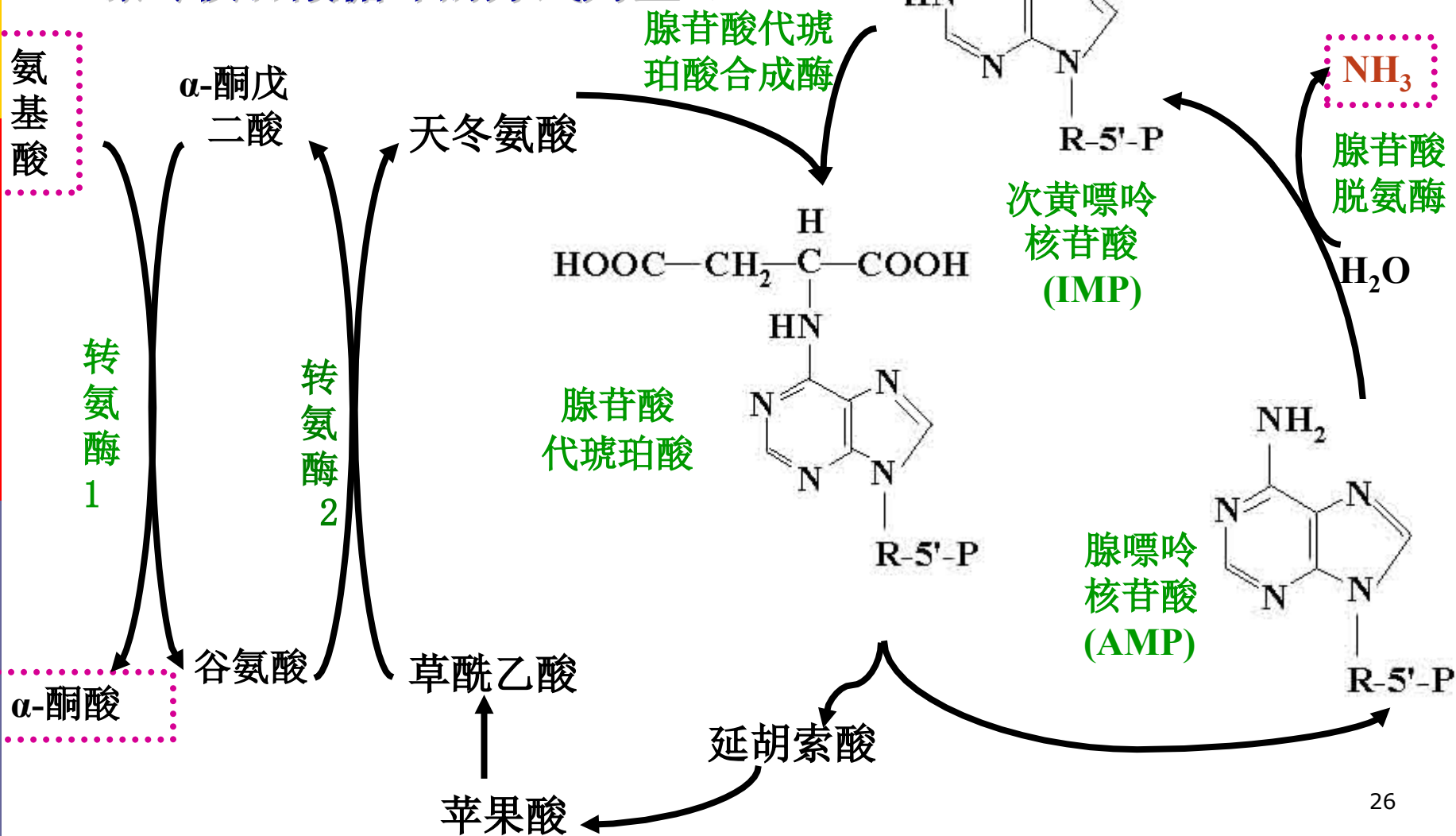
# A、转氨酶与L-谷氨酸脱氢酶作用相偶联



- 是氨基酸脱氨基的主要方式
- 也是体内合成非必需AA的主要方式

## B、转氨基作用与嘌呤核苷酸循环相偶联

(骨骼肌、心肌、肝脏、脑都是以嘌呤核苷酸循环的方式为主)



# 4. 非氧化脱氨基作用

---

(主要在微生物体内进行)

- (1) 直接脱氨基作用
- (2) 还原脱氨基作用
- (3) 水解脱氨基作用
- (4) 脱水脱氨基作用
- (5) 氧化还原脱氨基作用

## 二、氨基酸的脱羧基作用

### 1、概念

氨基酸在脱羧酶的作用下脱掉羧基生成相应**胺**和**CO<sub>2</sub>**的过程。脱羧酶的辅酶为磷酸吡哆醛。

2、类型：  
    { 直接脱羧 → 胺  
      羟化脱羧 → 羟胺

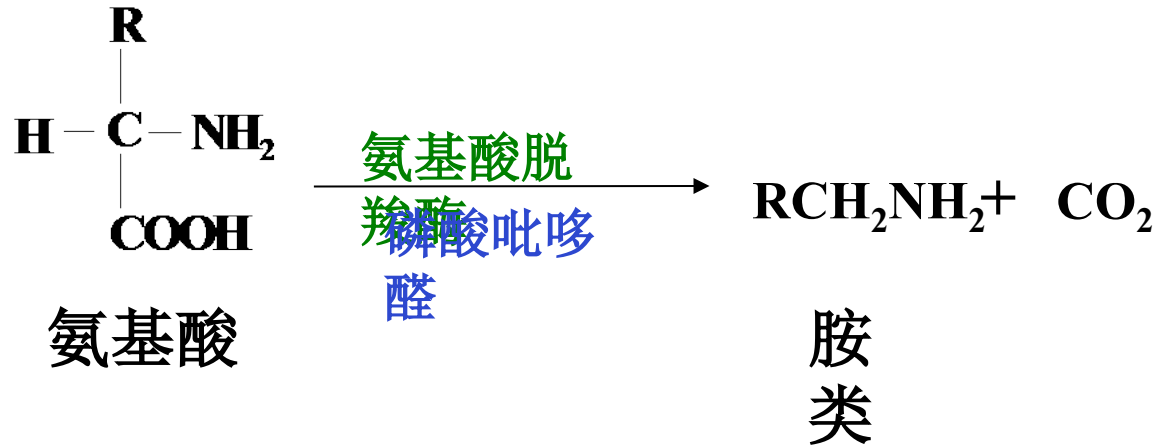
### 3. 特点:

a. 氨基酸的脱羧作用在微生物中很普遍，在高等动植物组织内也有此作用，但不是氨基酸代谢的主要方式。

b. 氨基酸的脱羧酶的专一性高，除个别脱羧酶外，一种氨基酸脱羧酶一般只对一种氨基酸起脱羧作用。

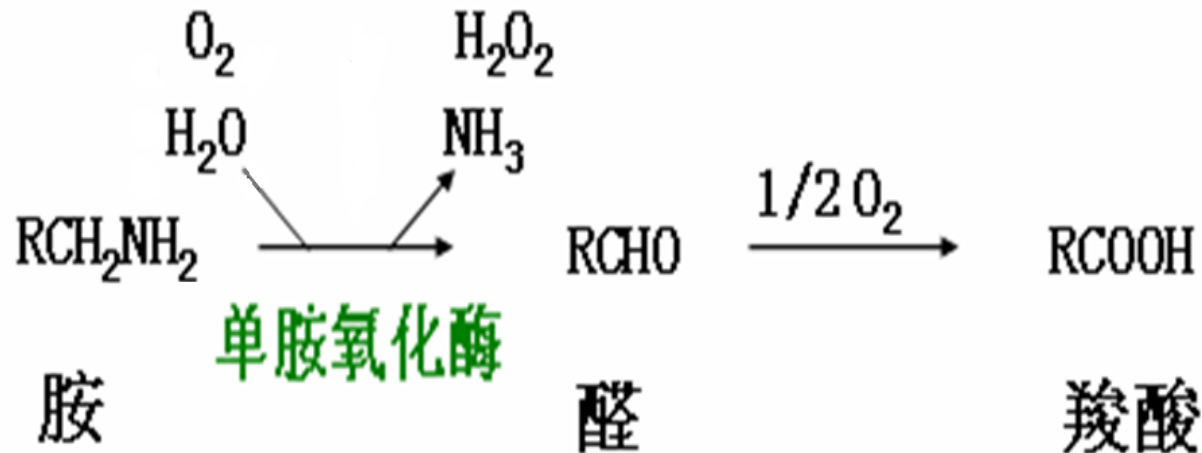
氨基酸在氨基酸脱羧酶催化下进行脱羧作用，  
生成二氧化碳和一个伯胺类化合物。

## ■ 脱羧基作用(decarboxylation)

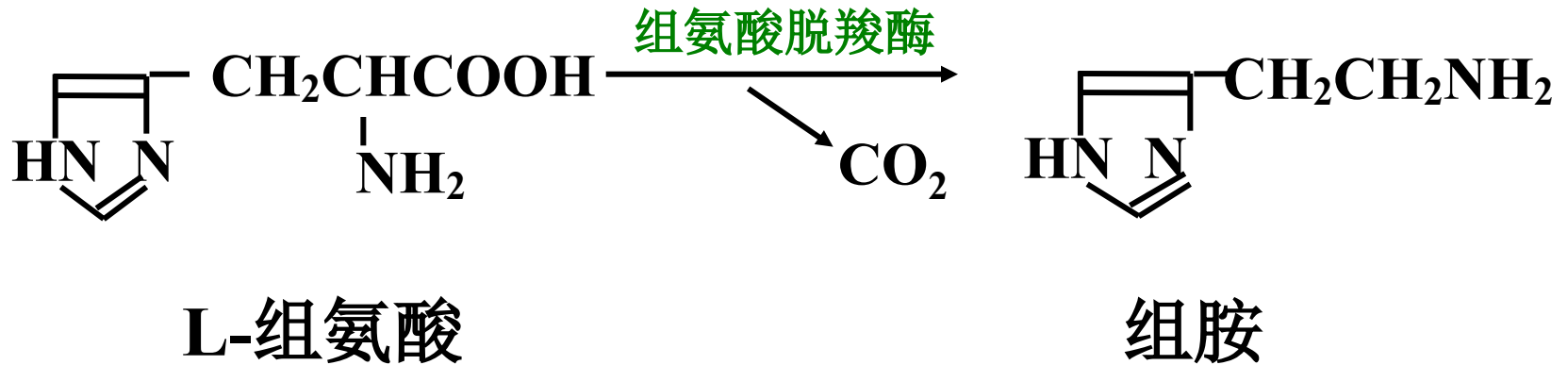


## 4、生理意义-胺的代谢

如果体内生成大量胺类，能引起神经或心血管等系统的功能紊乱，但体内的**胺氧化酶**能催化胺类氧化成**醛**，继而醛氧化成**脂肪酸**，再分解成**二氧化碳和水**。



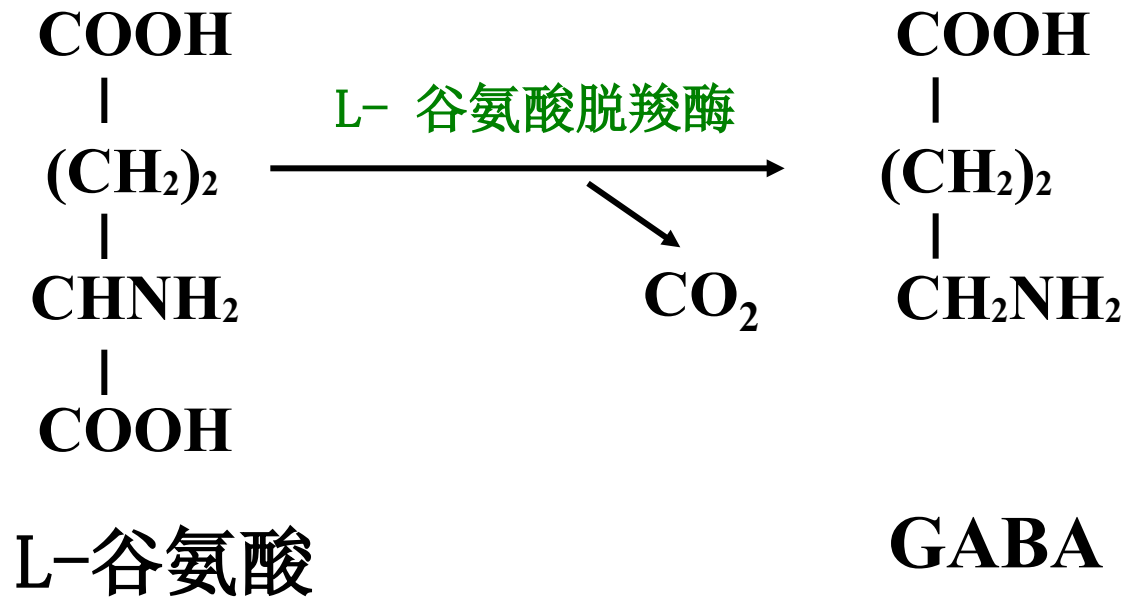
# 组氨酸经组氨酸脱羧酶催化生成组胺



- 组胺是强烈的血管舒张剂，可增加毛细血管的通透性，还可刺激胃蛋白酶原及胃酸的分泌。

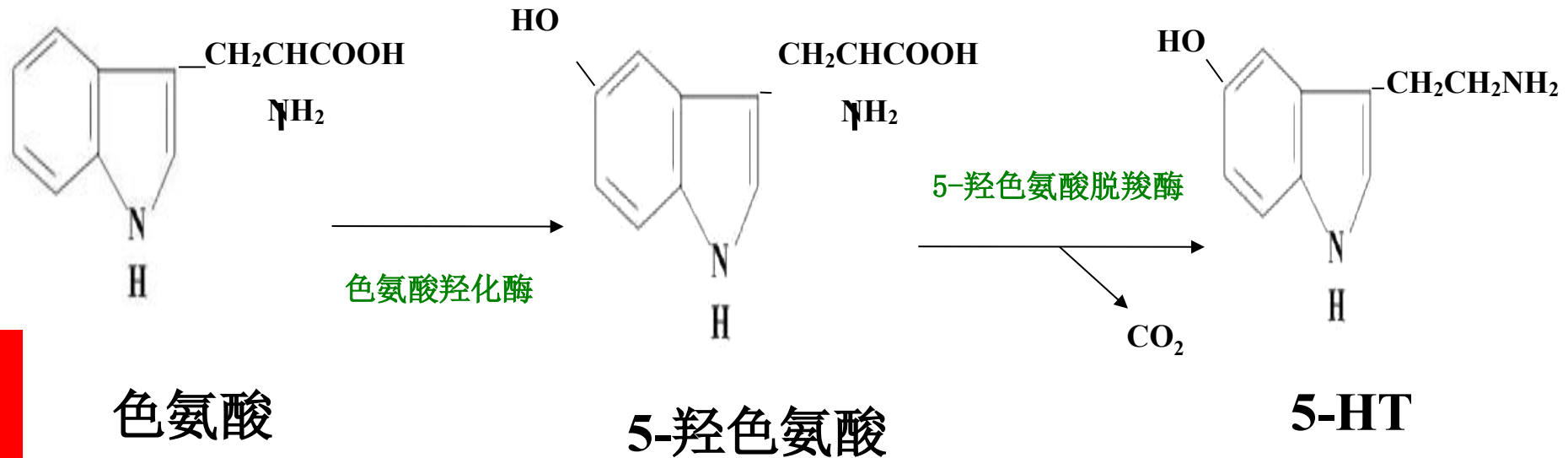


# 谷氨酸经谷氨酸脱羧酶催化生成 $\gamma$ -氨基丁酸



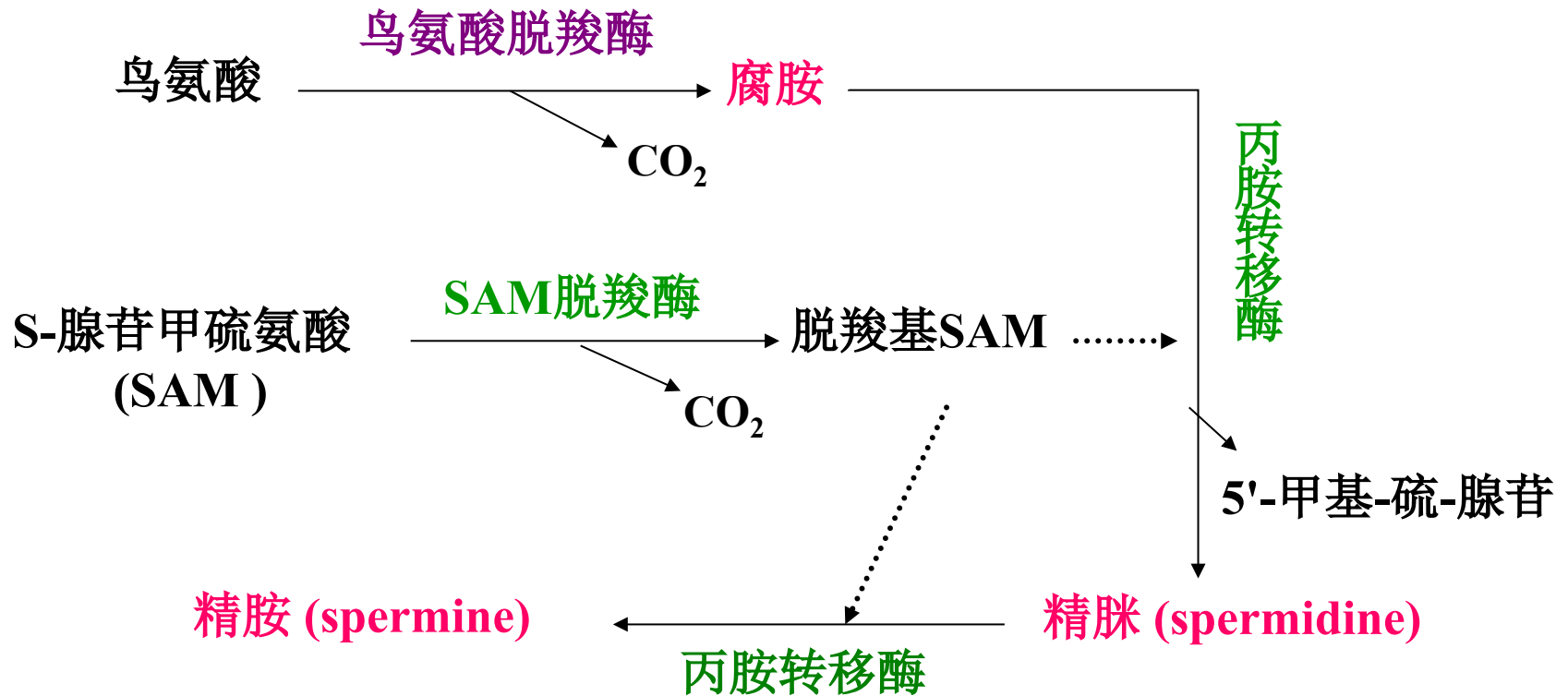
- GABA是抑制性神经递质，对中枢神经有抑制作用。

# 色氨酸经5-羟色胺酸生成5-羟色胺



- 5-HT在脑内作为神经递质起，抑制作用；在外周组织有收缩血管的作用。

# 某些氨基酸的脱羧基作用可产生多胺类物质



➤ 多胺是调节细胞生长的重要物质。

### 三、氨与 $\alpha$ -酮酸的转化

#### 1. 氨的代谢— 不同生物转变成不同终产物

##### 1) 丙氨酸—葡萄糖循环

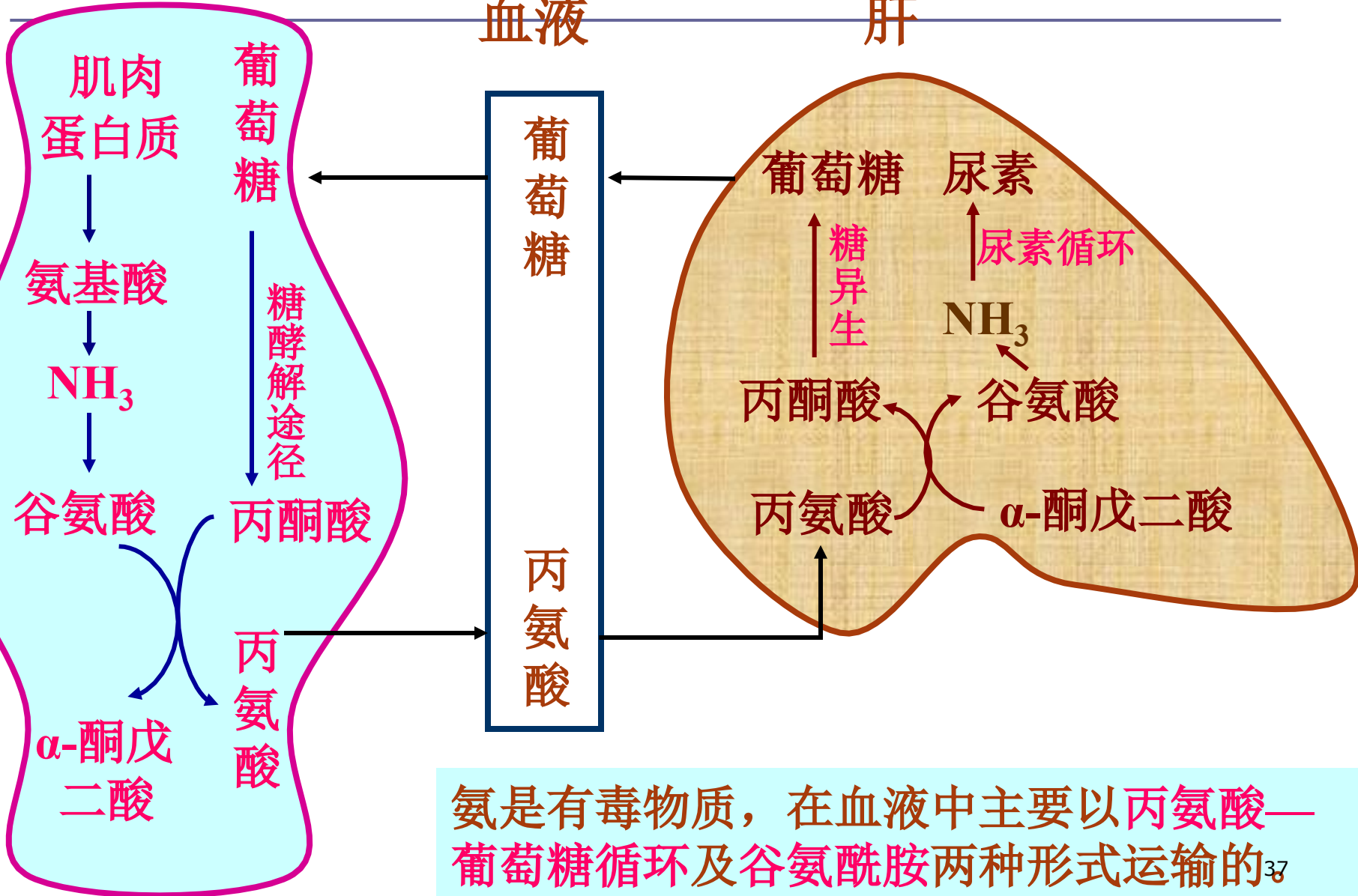
在肌肉中，通过**转氨**作用使氨基酸的**氨基转给丙酮酸**，而生成丙氨酸，丙氨酸经血液运至肝中，通过**联合脱氨基**作用，释放出**氨**。转氨后生成的**丙酮酸**经**糖异生**途径生成**葡萄糖**。葡萄糖再经血液运至肌肉经**EMP**生成**丙酮酸**，再发生转氨的环式途径，称为**丙氨酸—葡萄糖循环**。

# 丙氨酸-葡萄糖循环

肌肉

血液

肝



氨是有毒物质，在血液中主要以丙氨酸—葡萄糖循环及谷氨酰胺两种形式运输的<sup>37</sup>

## 2) 谷氨酰胺的运氨作用

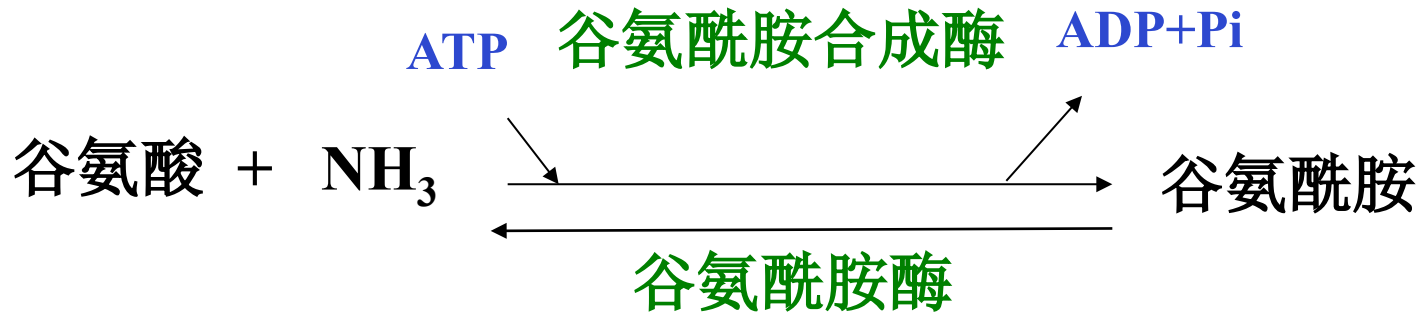
---

氨是有毒物质，在血液中主要以**丙氨酸—葡萄糖循环**及**谷氨酰胺**两种形式运输的。

**谷氨酰胺**主要是从**脑、肌肉**等组织向**肝或肾**运氨。氨与谷氨酸在**谷氨酰胺合成酶**的催化下生成**谷氨酰胺**，并由血液输送到肝或肾，再经**谷氨酰胺酶**水解成谷氨酸和氨。

# 谷氨酰胺的运氨作用

## • 反应过程



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**。

生理意义：**谷氨酰胺**既是氨的**解毒**产物，也是氨的**储存及运输**形式。

### 3) 尿素的合成

---

尿素的合成部位：

尿素是中性、无毒、水溶性很强的物质，在**肝脏的线粒体及胞液**中合成。然后由血液运输至肾，从**尿中排出**。只有少部分在肾以铵盐形式由尿排出。



## 尿素合成机制--鸟氨酸循环：

---

正常情况下，体内氨主要在肝中合成尿素， $\text{NH}_3$ 和 $\text{CO}_2$ 是合成尿素的原料，通过鸟氨酸循环在肝脏合成尿素。鸟氨酸循环又称**尿素循环**。

在鸟氨酸循环过程中，**鸟氨酸**所起的作用与TCA循环中**草酰乙酸**所起的作用相似。总的看来通过鸟氨酸循环，**2分子氨**与**1分子 $\text{CO}_2$** 结合生成**1分子尿素**及**1分子水**。

# ① $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$ 和ATP缩合生成氨基甲酰磷酸

➤ 反应在**线粒体中**进行



氨基甲酰磷酸合成酶 I

(N-乙酰谷氨酸,  $\text{Mg}^{2+}$ )



氨基甲酰磷酸

- 氨基甲酰磷酸是**氨的活化形式**,是高能化合物.
- 反应**消耗2分子ATP**。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/408032000103006074>