

第九章 氨基酸代谢



氨基酸代谢

1

蛋白质的消化和吸收

2

氨基酸的分解

3

氨基酸的合成

蛋白质的消化和吸收

■ 蛋白质代谢的作用

❖ 是维持组织细胞生长、更新和修复的需要

- ✦ 生物体必须从环境中摄取合成蛋白质的原料来合成自身蛋白质
- ✦ 生物体的组织蛋白不断进行分解和合成，处于动态平衡

❖ 可以为生物体提供能量，生成ATP

蛋白质在体内不能储存

❖ 为生物体合成某些含氮物提供合成原料

蛋白质的消化和吸收

蛋白质的消化、吸收和腐败

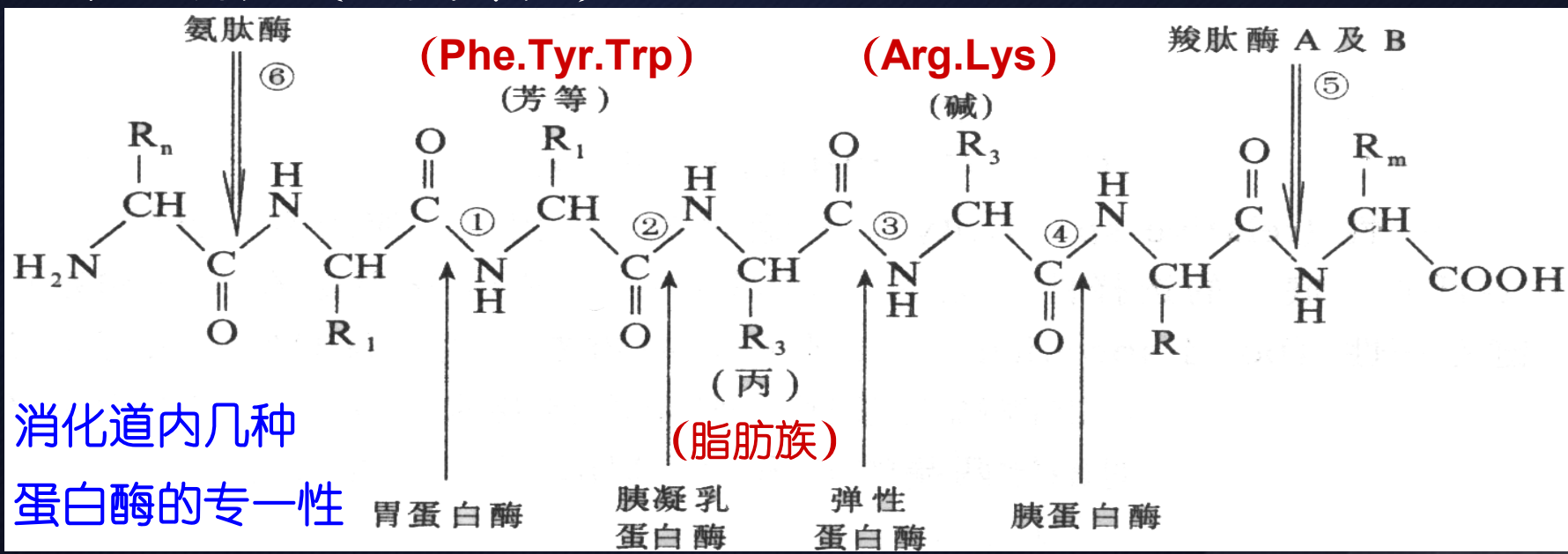
蛋白质的消化

胃蛋白酶 → 多肽、寡肽及少量氨基酸

❖ 胃中的消化

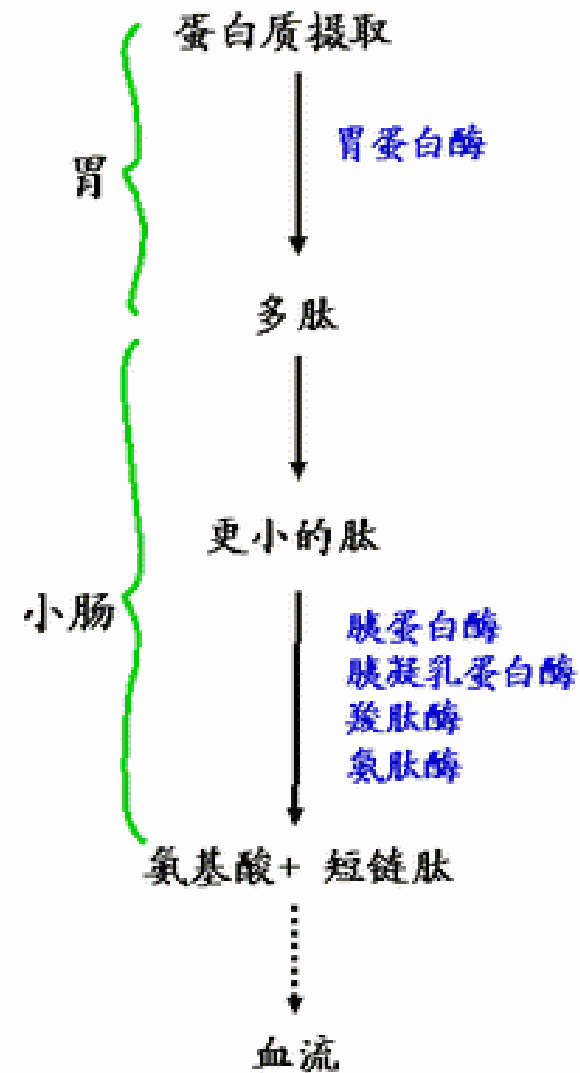
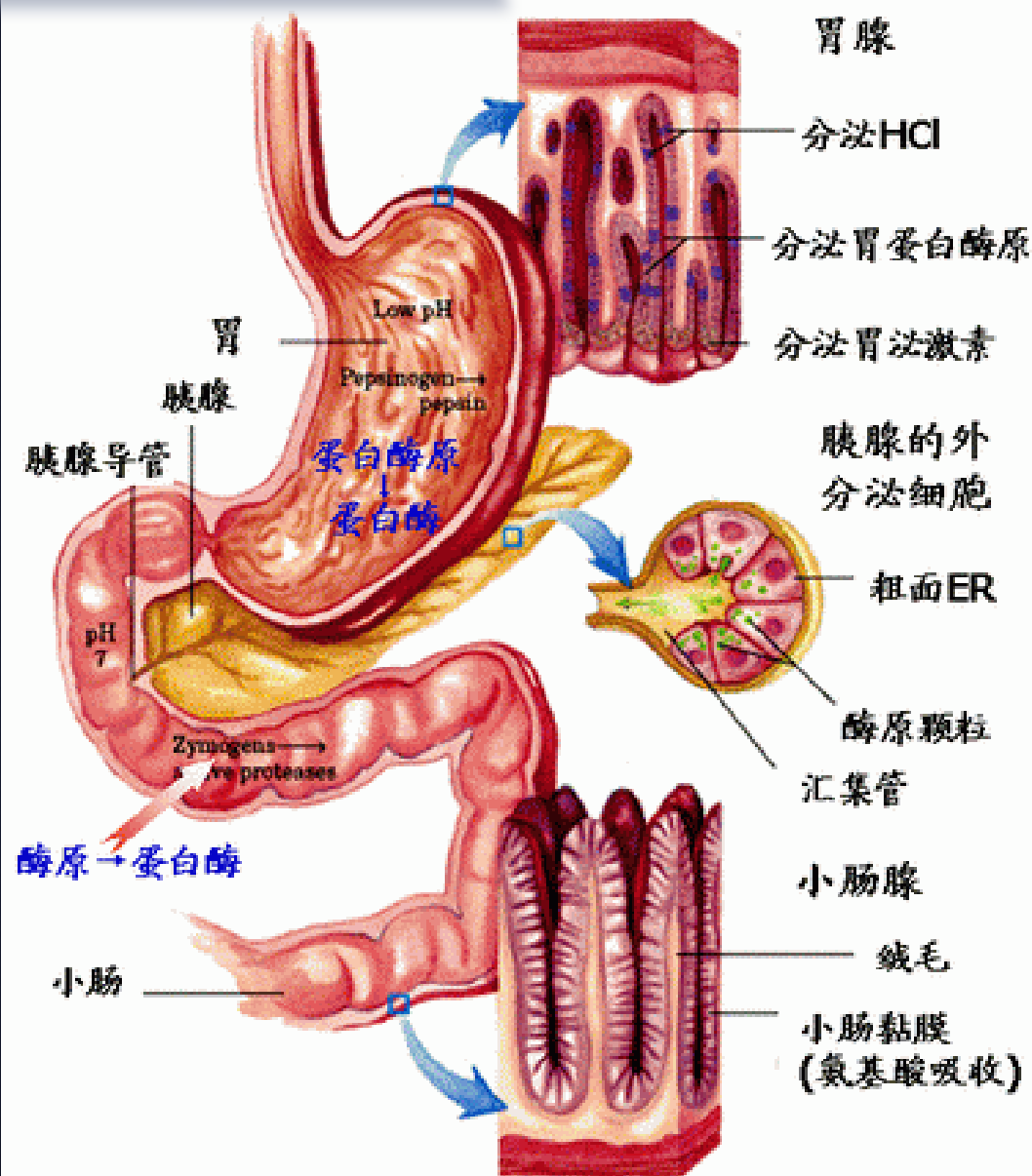
❖ 小肠中的消化（主要部位）

肽链内、外切酶
→ 氨基酸





蛋白质的消化和吸收



蛋白质的消化与吸收



蛋白质的消化和吸收

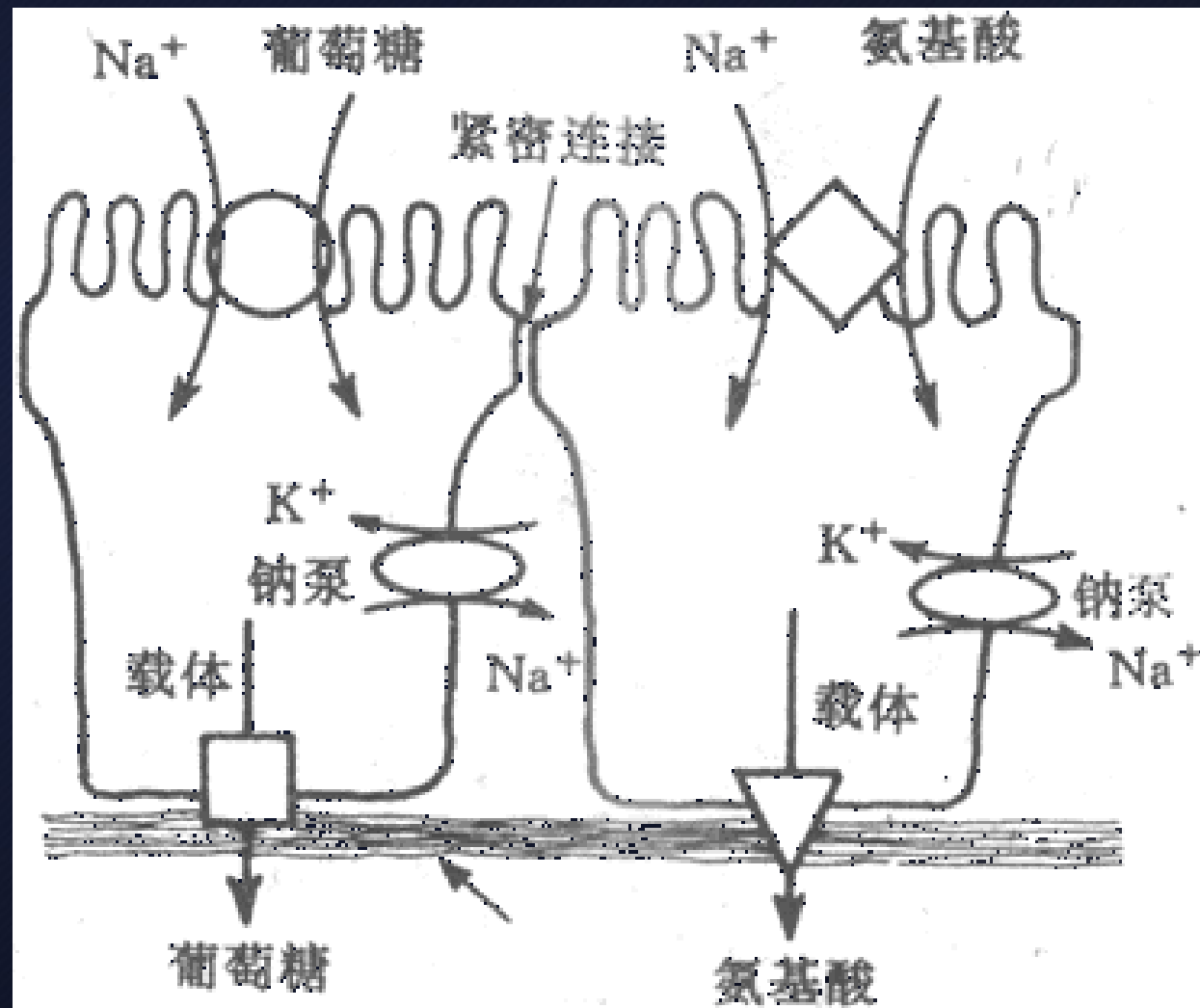
氨基酸的吸收

❖ 吸收部位

小肠（主要）

❖ 吸收方式

主动转运



蛋白质的消化和吸收

蛋白质的腐败

肠道细菌对一部分未被消化的蛋白质及其未被吸收的消化产物进行的分解作用

- ✦ 在大肠中进行
- ✦ 细菌本身的代谢过程
- ✦ 以无氧分解为主
- ✦ 大多为有毒产物
- ✦ 肝脏中解毒

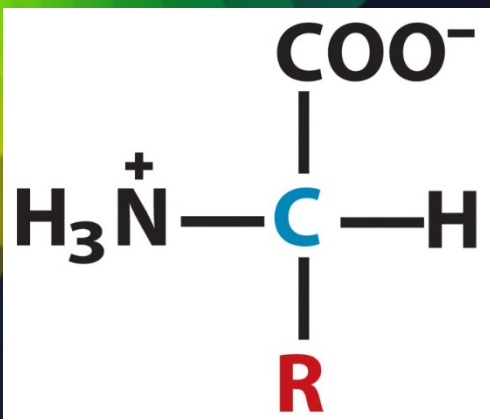
水解、氧化、还原、脱羧、脱氨、脱巯基



氨基酸的分解

氨基酸代谢是蛋白质分解代谢的中心内容

■ 氨基酸代谢的概况



外源性氨基酸

食物蛋白

消化吸收

组织蛋白质

分解

合成

体内合成

非必需氨基酸

内源性氨基酸

氨基酸代谢库

分解

脱氨

脱羧

转变

NH_3

尿素、Gln、其它含氮物质

α -酮酸

非必需氨基酸
氧化供能
糖或脂肪

胺类 + CO_2

其它含氮化合物

主要用于合成蛋白质，也合成多肽及其他含氮的生理活性物质

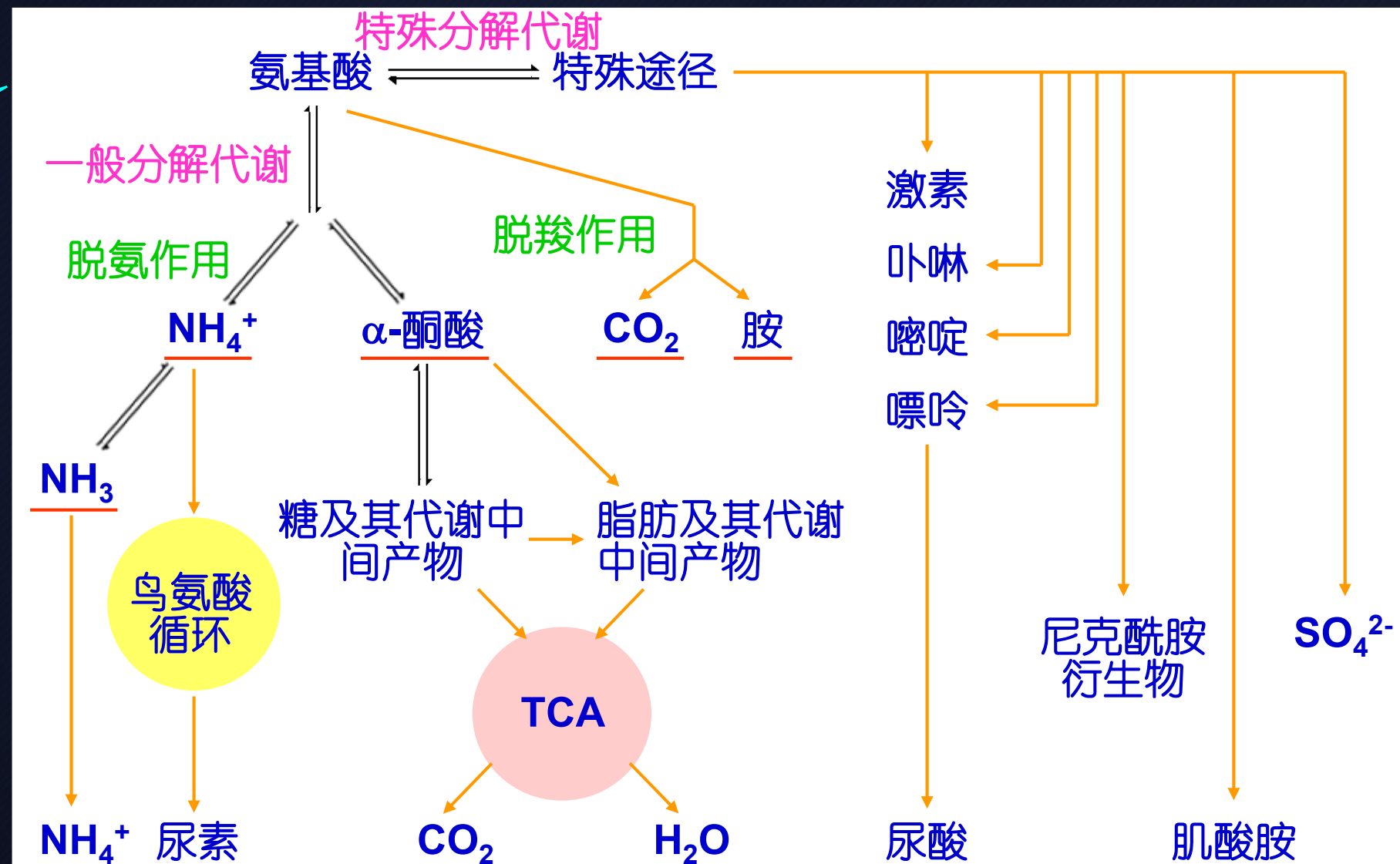


氨基酸的分解

特殊侧链

主要部位：**肝脏**

氨基酸的分解代谢



氨基酸的分解

■ 氨基的代谢

氧化脱氨作用

指氨基酸在酶的催化下脱去氨基生成 α -酮酸的过程。这是氨基酸在体内分解的主要方式

转氨作用

联合脱氨作用

体内主要的脱氨基方式

氨基酸的分解

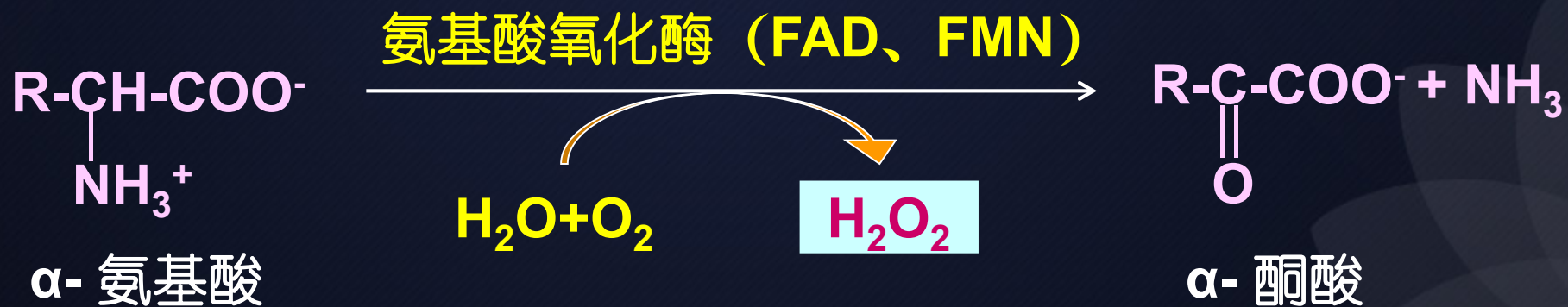
氧化脱氨作用

❖ 氨基酸氧化酶

一种需氧脱氢酶，以FAD或FMN为辅基，脱下的氢原子交给O₂

在酶的催化下氨基酸在氧化脱氢的同时脱去氨基的过程

- ✦ 活性不高
- ✦ 各组织器官中分布局限



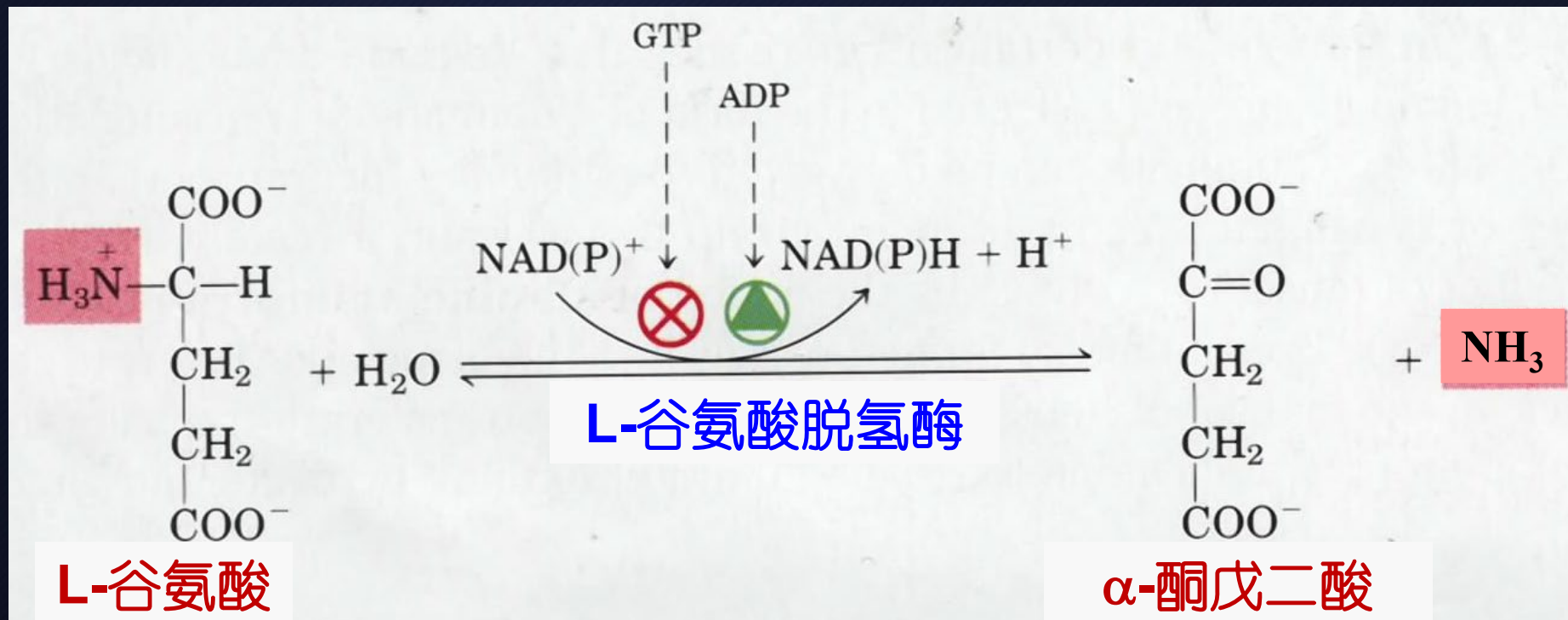


氨基酸的分解

❖ L-谷氨酸脱氢酶

是一种不需氧脱氢酶，以NAD⁺或NADP⁺为辅酶，生成NADH或NADPH

- ✦ 活性高
- ✦ 分布广
- ✦ 受变构和共价修饰调节



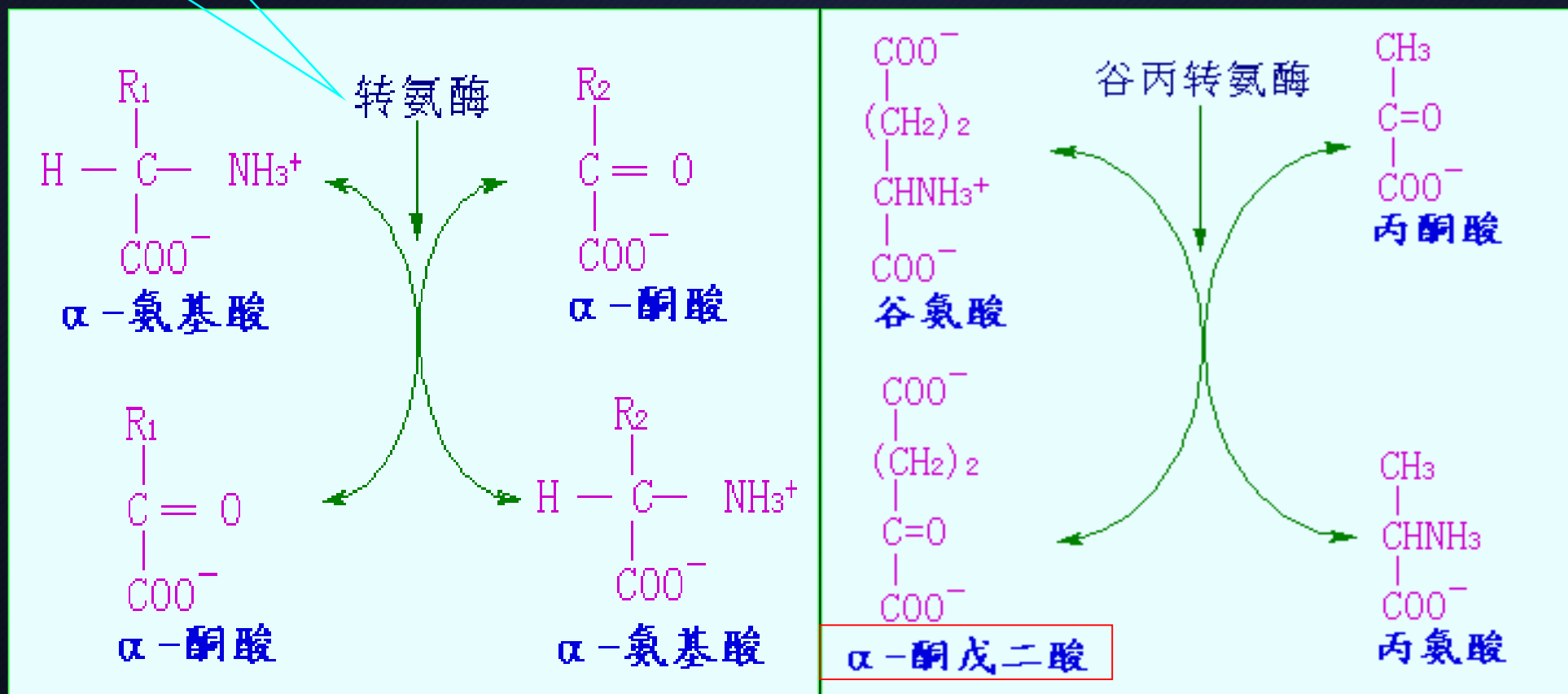


氨基酸的分解

转氨作用

可逆反应

在转氨酶的催化下， α -氨基酸的氨基转移到 α -酮酸的酮基碳原子上，结果原来的 α -氨基酸生成相应的 α -酮酸，而原来的 α -酮酸则形成了相应的 α -氨基酸





氨基酸的分解

转氨酶

都以**磷酸吡哆醛**为辅酶，即作为氨基的载体

谷丙转氨酶（GPT，又称丙氨酸氨基转移酶ALT）

临床意义：急性肝炎，血清GPT升高



谷草转氨酶（GOT，又称天冬氨酸氨基转移酶AST）

临床意义：心肌梗塞，血清GOT升高；急性肝炎血清GOT升高

参与尿素循环



氨基酸的分解

转氨作用的生理意义

- ✦ 是体内某些氨基酸（非必需氨基酸）**合成的重要途径**
- ✦ 可以**调节**体内非必需氨基酸的**种类**和**数量**，以满足体内蛋白质合成时对非必需氨基酸的需求
- ✦ 是联合脱氨基作用的**重要组成部分**，可将糖代谢产生的丙酮酸、 α -酮戊二酸、草酰乙酸变为氨基酸，是沟通蛋白质和糖代谢的**桥梁**



氨基酸的分解

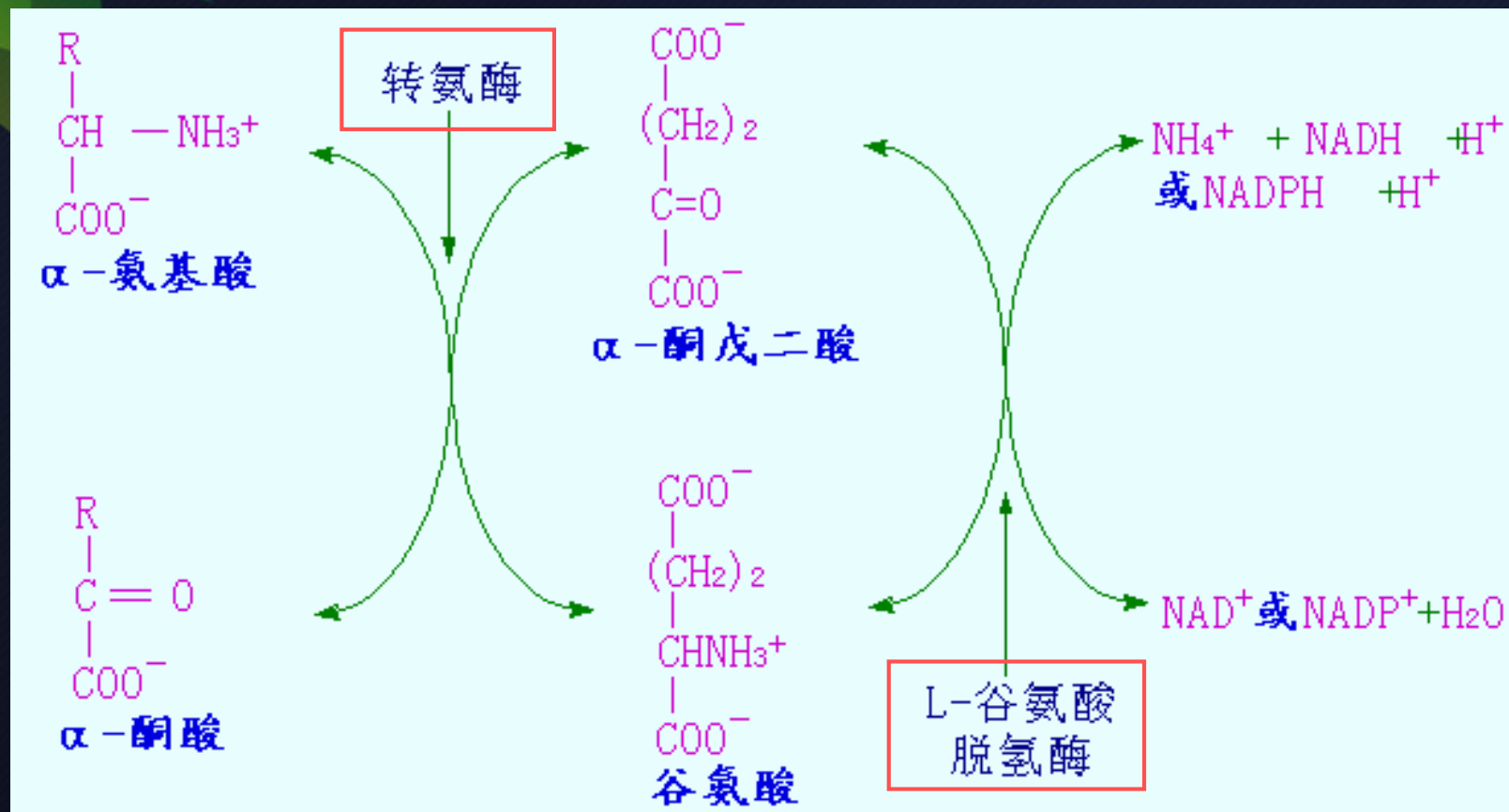
联合脱氨作用

❖ 转氨偶联氧化脱氨

转氨基作用与氧化脱氨作用联合进行，从而使氨基酸脱去氨基并氧化为 α -酮酸的过程，是体内主要的脱氨基方式

肝、肾、脑等组织

可逆反应
联合加氨



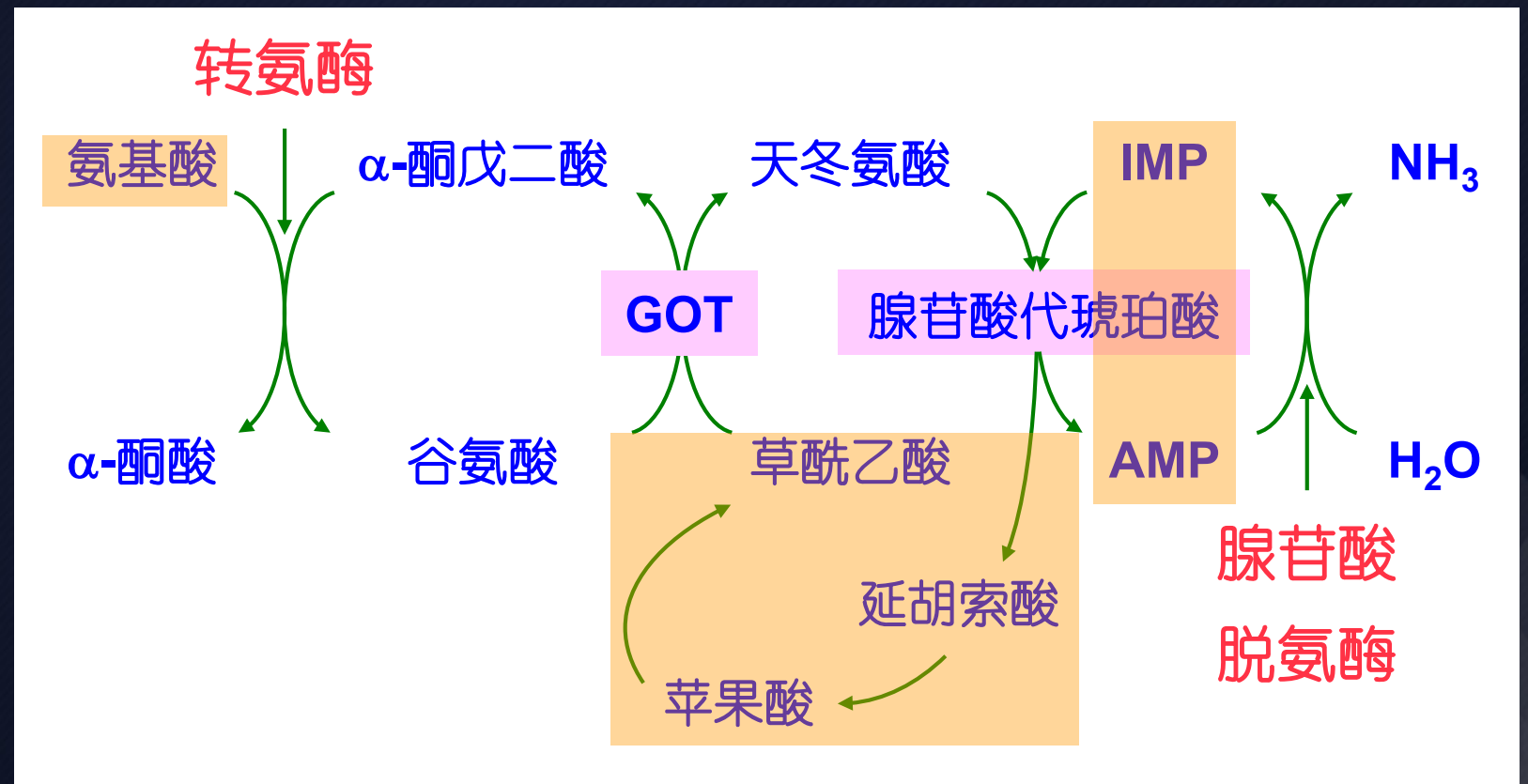


氨基酸的分解

❖ 嘌呤核苷酸循环

骨骼肌和心肌

联系氨基酸代谢、糖代谢和核苷酸代谢



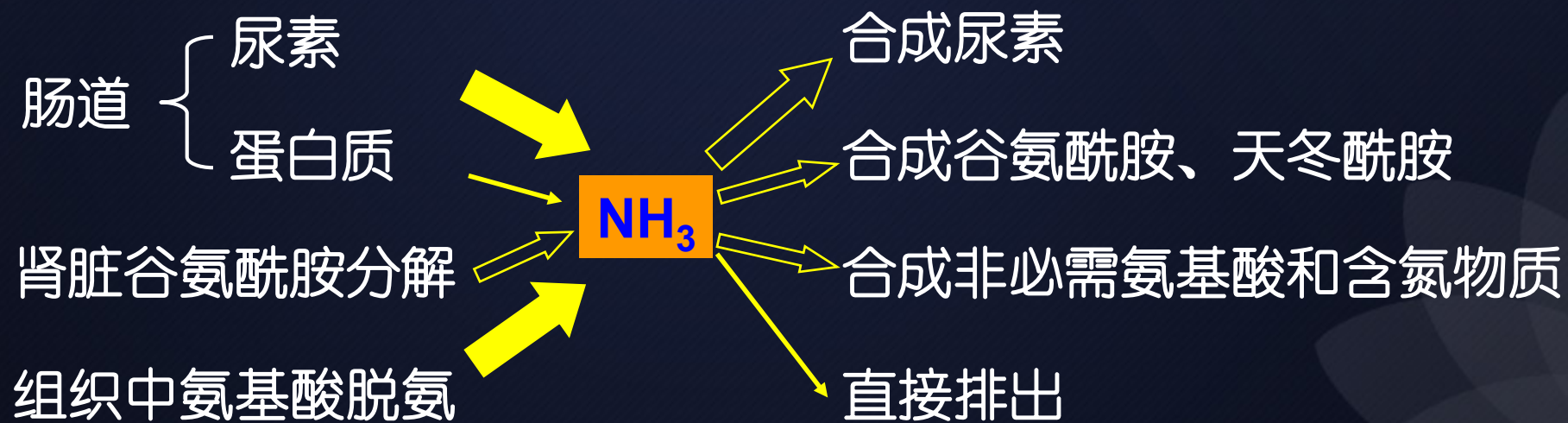
氨基酸的分解

■ 氨的进一步代谢转变

血氨的来源和去路

- ✦ 氨是毒性物质
- ✦ 正常人血氨浓度 $<60\mu\text{mol/L}$

血氨的主要来源



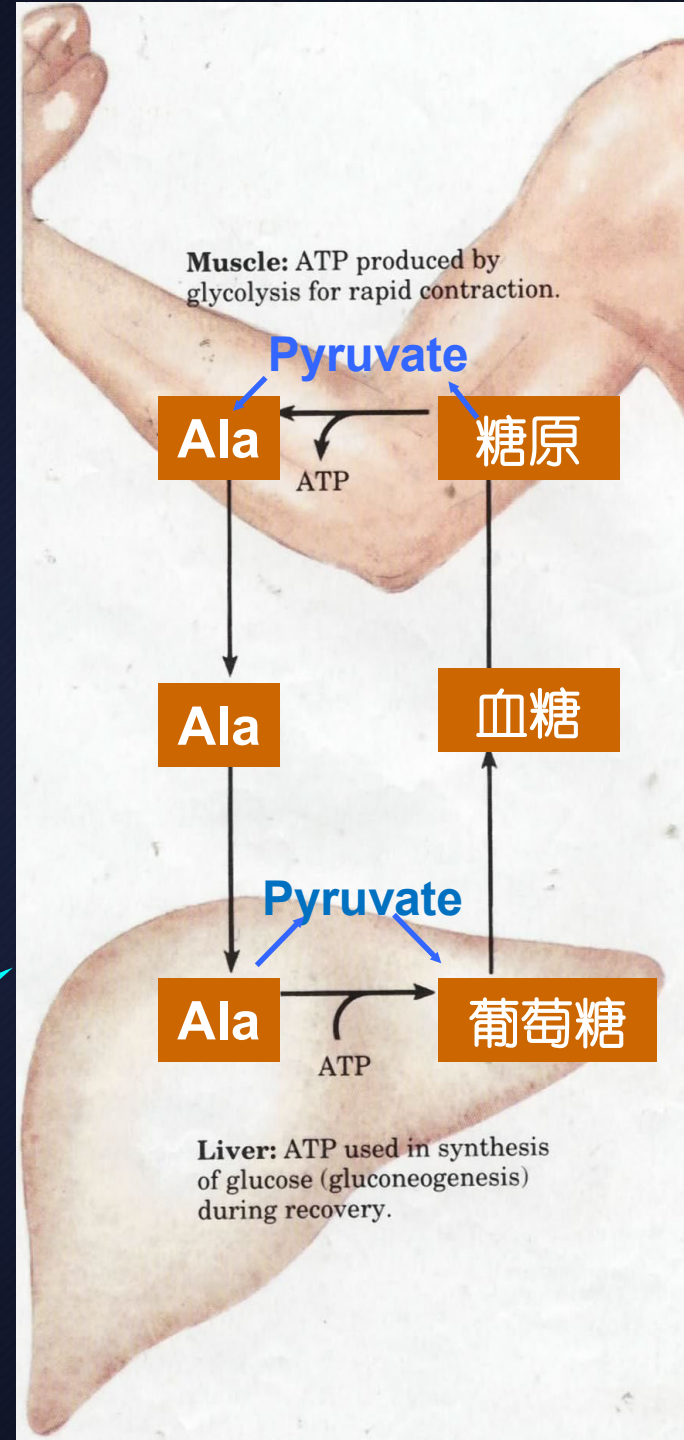


氨基酸的分解

氨的转运

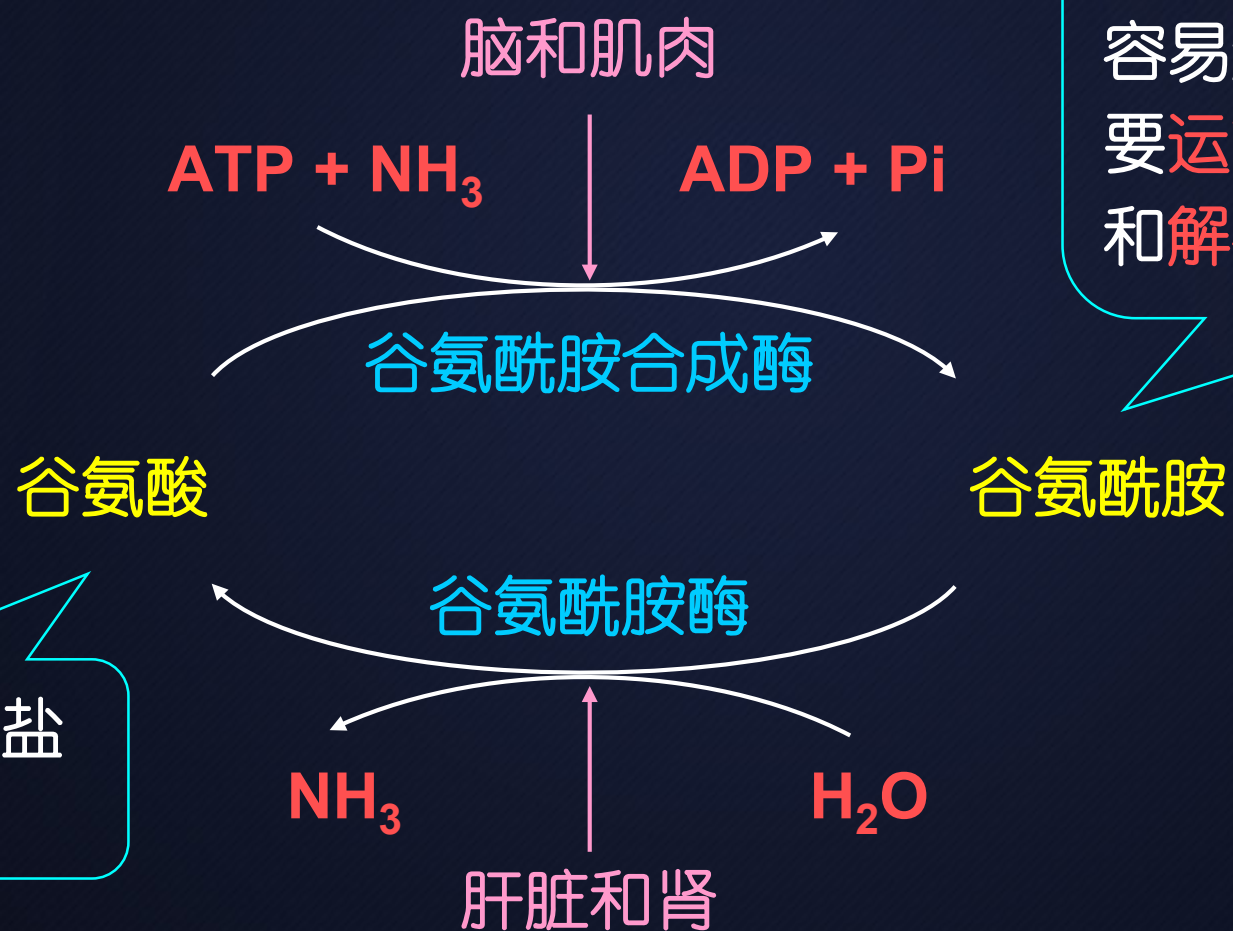
❖ 葡萄糖-氨基酸循环

- ✦ 实现了氨的**无毒**转运
- ✦ 肝组织为肌肉活动提供**能量**



氨基酸的分解

❖ 谷氨酰胺的运氨作用



谷氨酰胺是中性无毒物质，容易透过细胞膜，是氨的主要运输形式，对氨具有贮存和解毒作用

临床上用谷氨酸盐降低血氨



氨基酸的分解

尿素循环

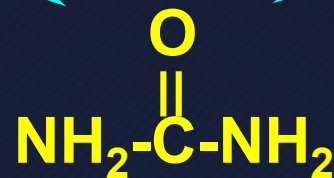
- ✦ 正常情况下人体内的氨主要在**肝脏**中合成**尿素**而解毒，只有少部分氨在肾脏以铵盐形式由尿排出
- ✦ 在排尿动物体内由 NH_3 合成尿素是在肝脏中通过一个循环机制完成的，这一个循环称为**尿素循环**，又称**Krebs循环**或**鸟氨酸循环**

- ✦ **肝脏**：尿素**合成**的主要器官
- ✦ **肾脏**：尿素**排泄**的主要器官

氨基酸的分解

合成经历**五步**反应

肝细胞**线粒体**和**胞浆**



- 氮原子的来源：一个来自**氨**，另一个来自**天冬氨酸**
- 碳原子的来源： **HCO_3^-**
- 能量：**3个ATP**的4个高能磷酸键

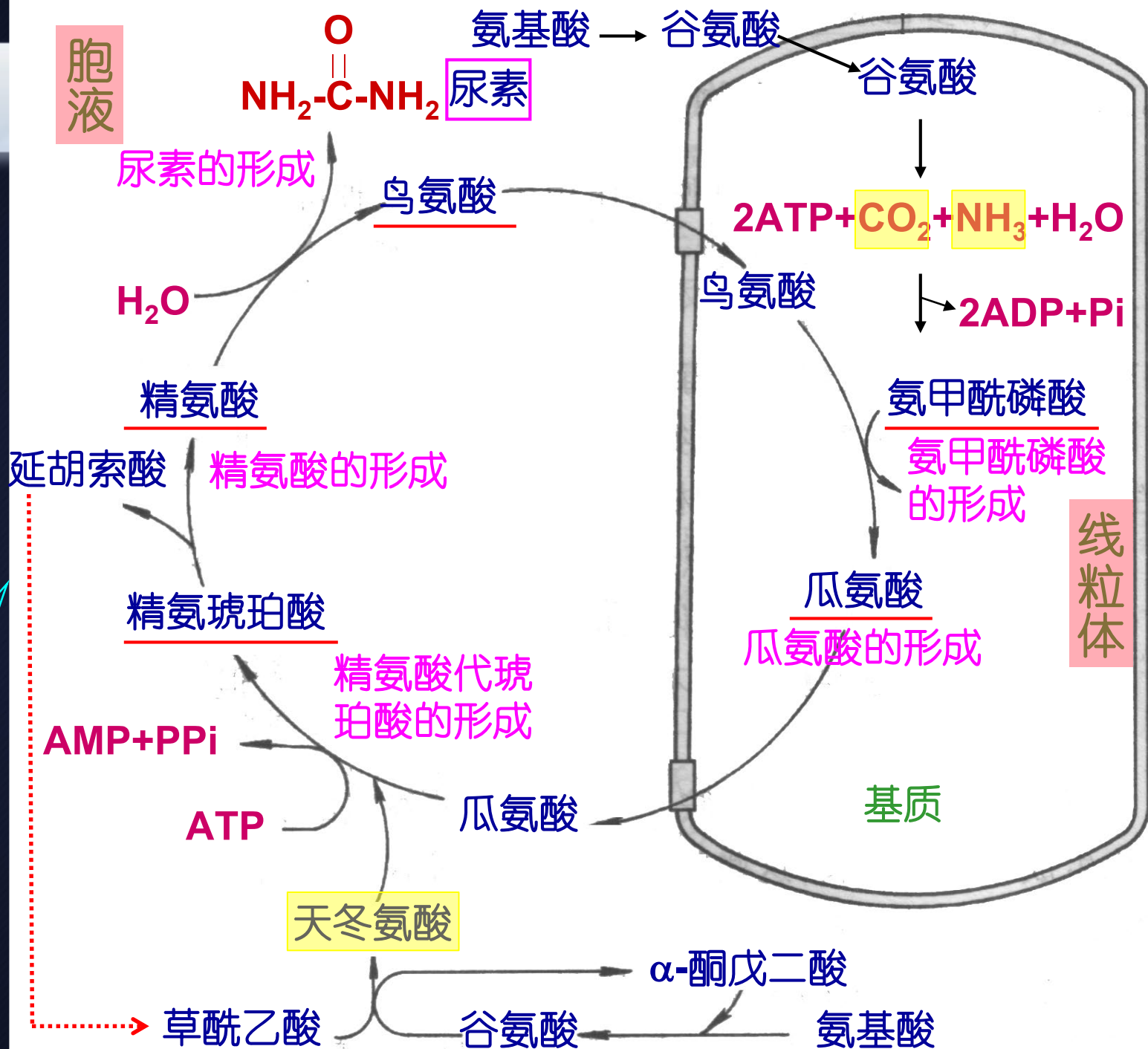




氨基酸的分解

❖ 尿素循环的反应历程

- ✦ $\text{Glu} \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{氨甲酰磷酸}$
- ✦ $\text{氨甲酰磷酸} \rightarrow \text{瓜氨酸}$
- ✦ $\text{瓜氨酸} \rightarrow \text{精氨酸代琥珀酸}$
- ✦ $\text{精氨酸代琥珀酸} \rightarrow \text{Arg}$
- ✦ $\text{精氨酸} \rightarrow \text{尿素}$

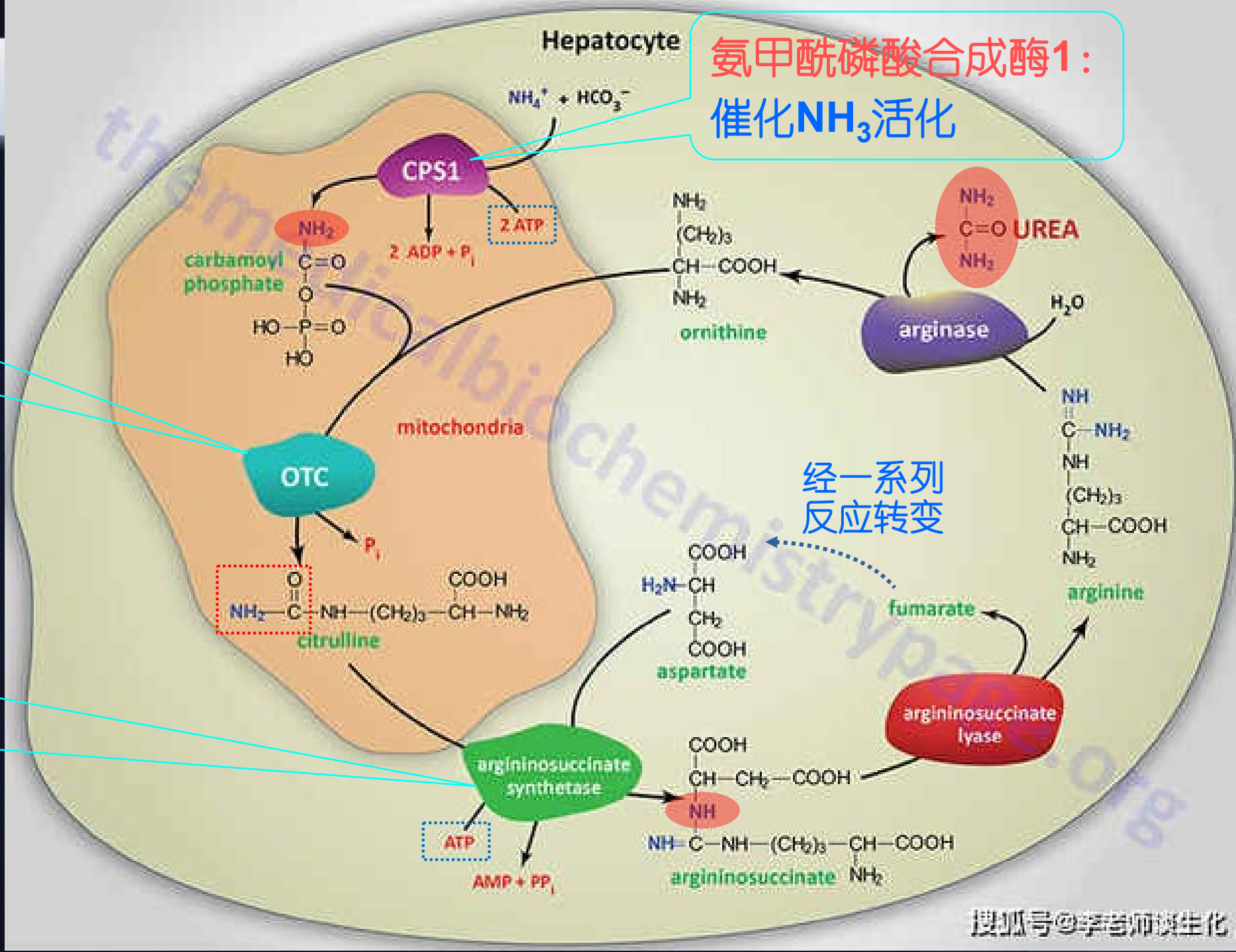




氨基酸的分解

鸟氨酸转氨甲酰酶：
氨甲酰基转移

精氨琥珀酸合成酶：
从Asp引入第二个
N原子





氨基酸的分解

❖ 尿素循环的生理意义

- ✦ 可以解除氨的毒性，如尿素合成受阻会导致高血氨症
- ✦ 可以减少体内由TCA循环产生的 CO_2 溶于血液中所产生的酸性
- ✦ 尿素形成过程的前两步在肝细胞的线粒体中完成，可以防止过量的游离氨积累于血液中而引起神经中毒，而后三步都在胞液中完成，尿素形成能够后由血液带入肾脏随尿排出体外

氨基酸的分解

■ 碳骨架的代谢

α-酮酸的代谢

- ✦ 再合成非必需氨基酸
- ✦ 进入TCA循环，氧化成 CO_2 和 H_2O
- ✦ 转变生成糖和酮体

- ✦ 生糖氨基酸：凡能生成丙酮酸或三羧酸循环的中间产物的氨基酸
- ✦ 生酮氨基酸：凡能生成乙酰CoA或乙酰乙酸的氨基酸
- ✦ 生糖兼生酮氨基酸：凡能生成丙酮酸或三羧酸循环中间产物同时能生成乙酰CoA或乙酰乙酸的氨基酸



氨基酸的分解

氨基酸骨架进入糖代谢

生糖兼生酮
氨基酸

★ Leucine
★ Lysine
★ Phenylalanine
★ Tryptophan
★ Tyrosine

严格生酮氨基酸

Arginine
Glutamine
Histidine
Proline

生糖氨基酸

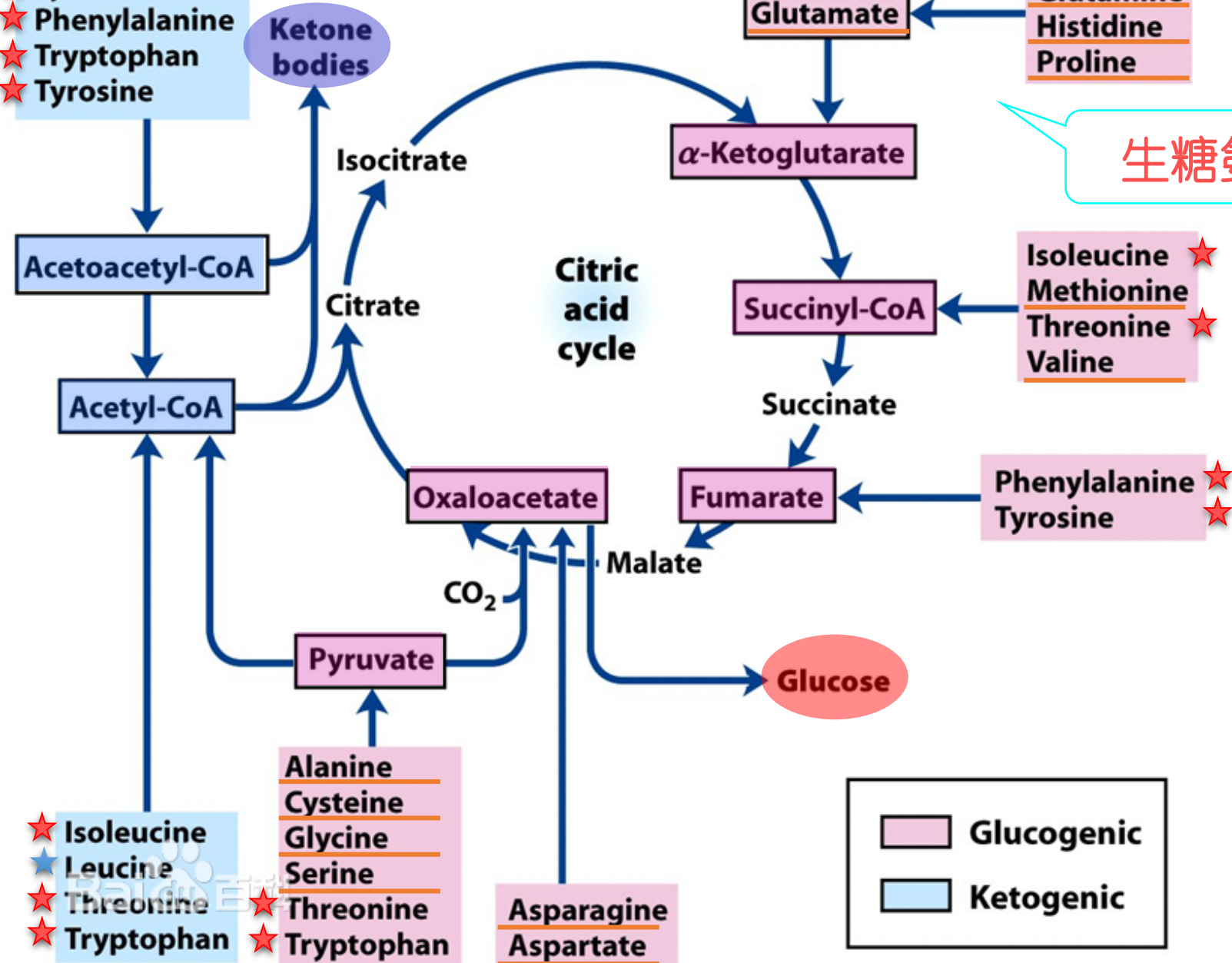
Isoleucine ★
Methionine ★
Threonine ★
Valine ★

Phenylalanine ★
Tyrosine ★

★ Isoleucine
★ Leucine
★ Threonine
★ Tryptophan

Alanine
Cysteine
Glycine
Serine
★ Threonine
★ Tryptophan

Asparagine
Aspartate

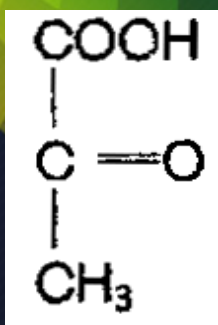




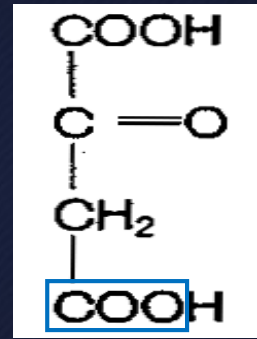
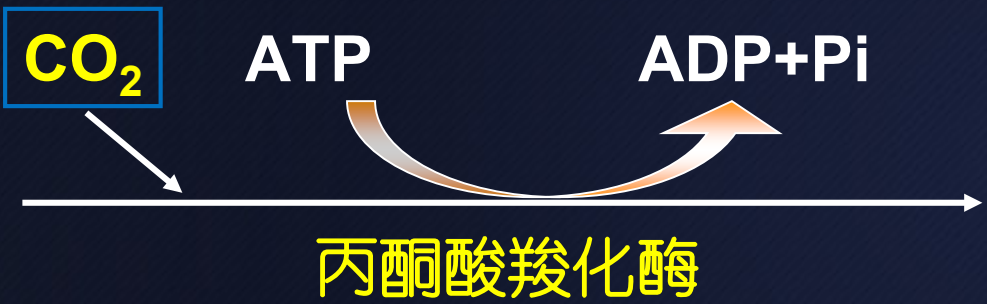
氨基酸的分解

CO₂的代谢

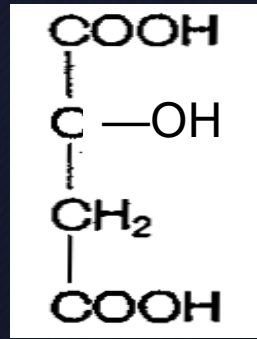
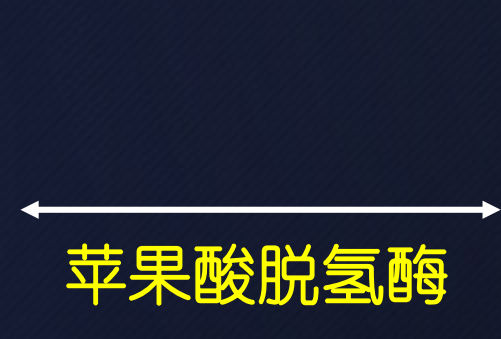
- 大部分直接排除体外
- 小部分通过丙酮酸羧化支路被固定



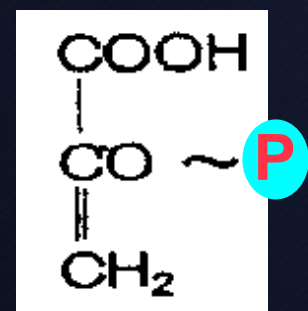
丙酮酸



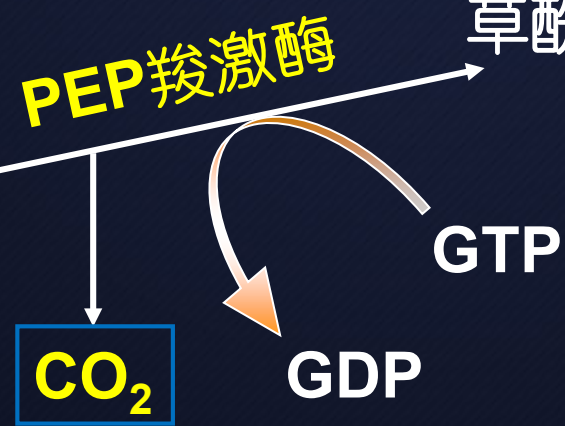
草酰乙酸



苹果酸



磷酸烯醇丙酮酸 (PEP)



丙酮酸羧化支路

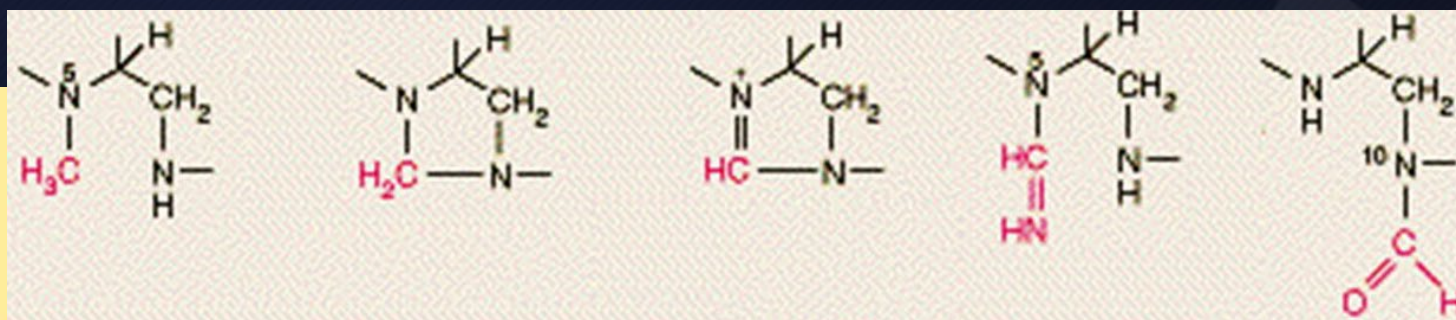
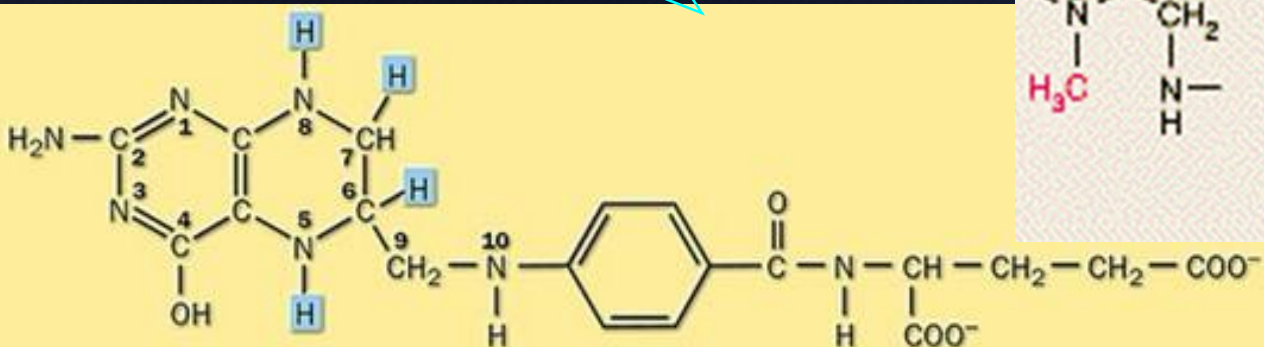


氨基酸的分解

一碳单位

四氢叶酸 (N^5 、 N^{10} 位上结合一碳单位)

- 某些氨基酸分解代谢过程中产生的含有一个碳原子的基团 (除 CO_2)，称一碳单位。如甲基、甲烯基、甲炔基、甲酰基、亚氨甲基等
- 不能游离存在，常与四氢叶酸 (FH_4) 结合进行转运和代谢
- 主要功能是作为合成嘌呤及嘧啶的原料



四氢叶酸



氨基酸的合成

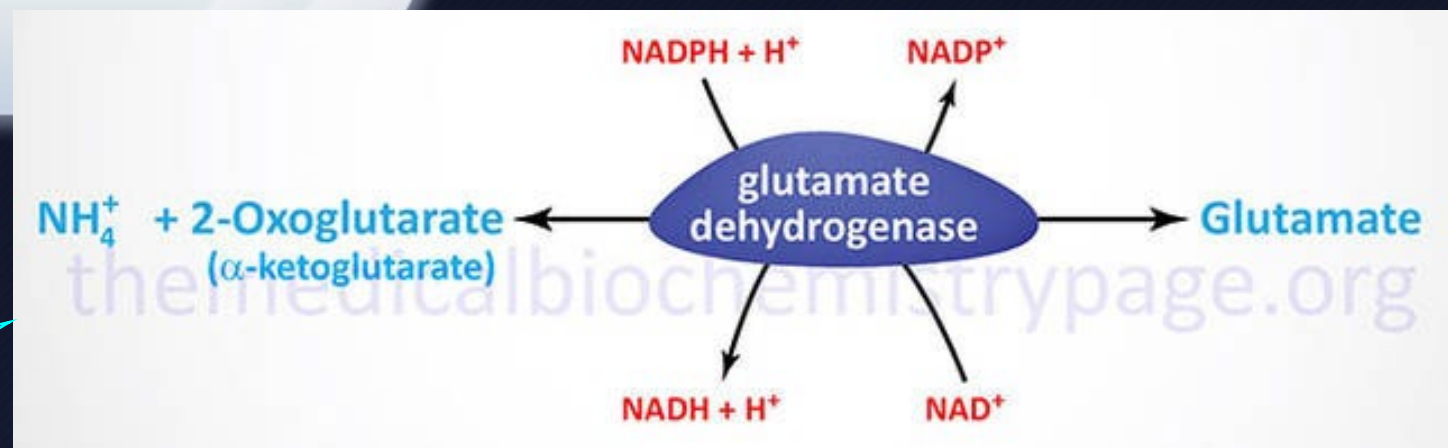
- ❖ 只能合成**10种**非必需氨基酸和**2种**半必需氨基酸
- ❖ **Glu**或**Gln**提供**N**原子
- ❖ 前体都来自**EMP**、**TCA**和**PPP**

- ✦ α -酮戊二酸家族：E、Q、P、R、K
- ✦ 丙酮酸家族：A、V、L
- ✦ 3-磷酸甘油酸家族：S、G、C
- ✦ Asp家族：D、N、M、T、I、K
- ✦ PEP和赤藓糖家族：F、Y、W
- ✦ 其他：H

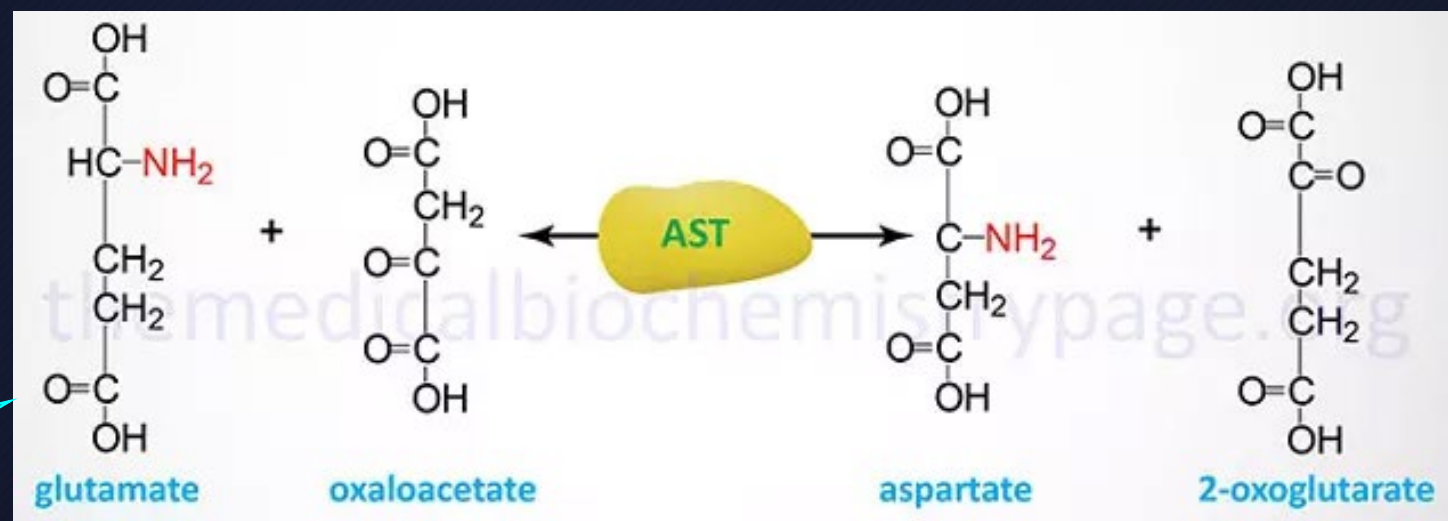


氨基酸的合成

Glu的合成



Asp的合成



Ser的合成

