



第6章 维生素和辅酶

主要内容：介绍各种维生素的结构、生理功能及缺乏症，维生素与辅酶的关系。



第四章 维生素和辅酶

一、维生素概述

二、水溶性维生素及相应辅酶

三、脂溶性维生素



一 维生素概述

1、维生素 (vitamin, Vit.) 的概念 维持机体正常生命活动不可缺少的一类小分子有机化合物，人和动物不能合成它们，必须从食物中摄取。

2、维生素的功能 直接或通过转变成辅酶形式参与代谢的调节作用。

3、维生素的命名和分类

(1) 命名：采用习惯法

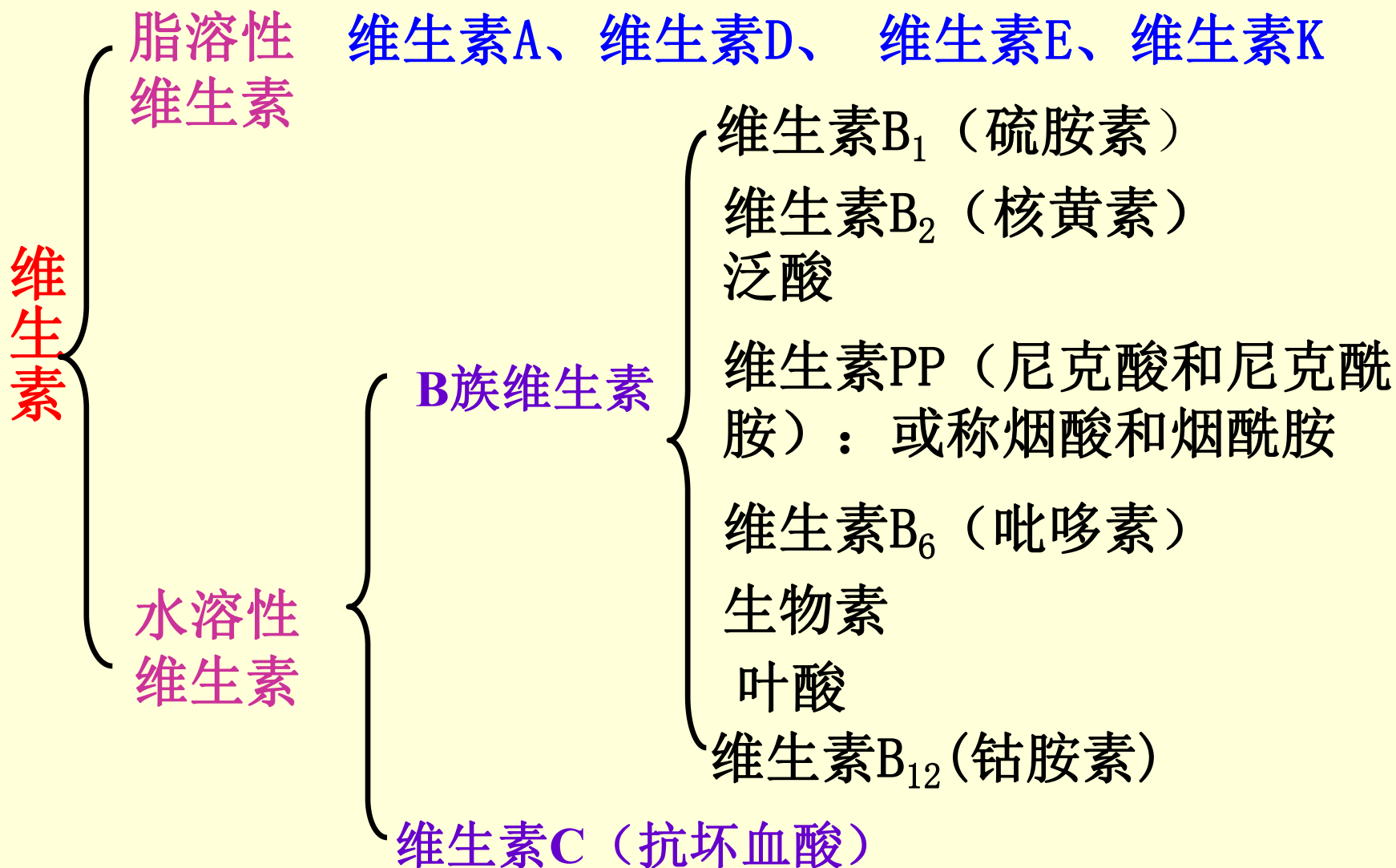
➤ 按英文字母A、B、C、D.....来命名。但这些字母不表示该种维生素发现的历史顺序(维生素A除外)，也不说明相邻维生素之间存在什么关系。

➤ 按化学结构和生理功能命名，如：

| V的命名 | VA | VB1 |
|-------|-------|-------|
| 按结构命名 | 视黄醇 | 硫胺素 |
| 按功能命名 | 抗干眼病V | 抗神经炎V |

由上可知，维生素命名混乱，至今尚无统一的命名原则。

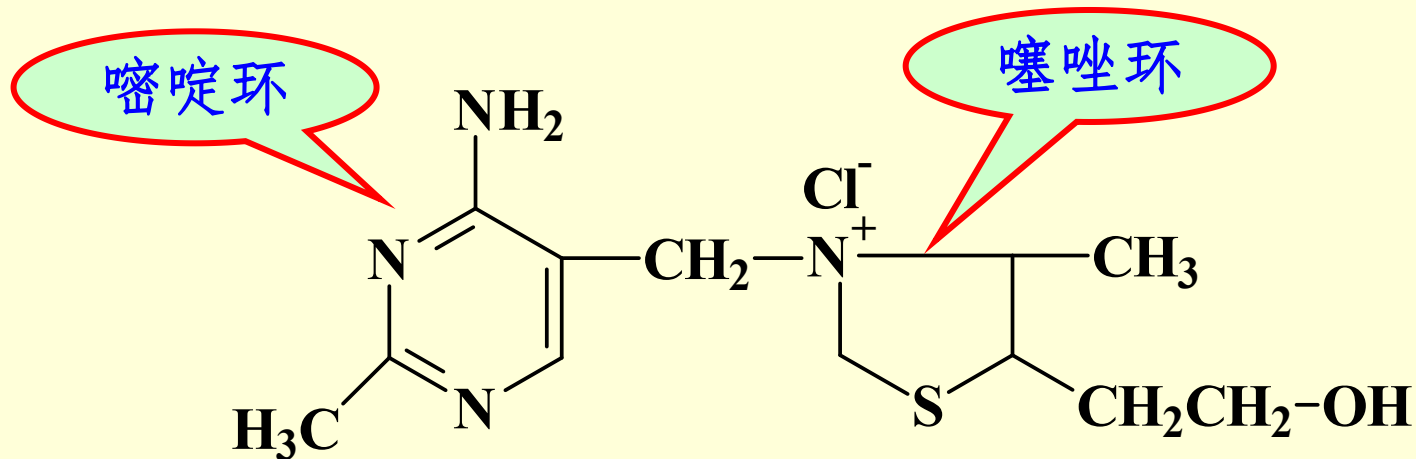
(2) 分类：通常按溶解性质分为脂溶性和水溶性两大类



二、水溶性维生素及相应辅酶

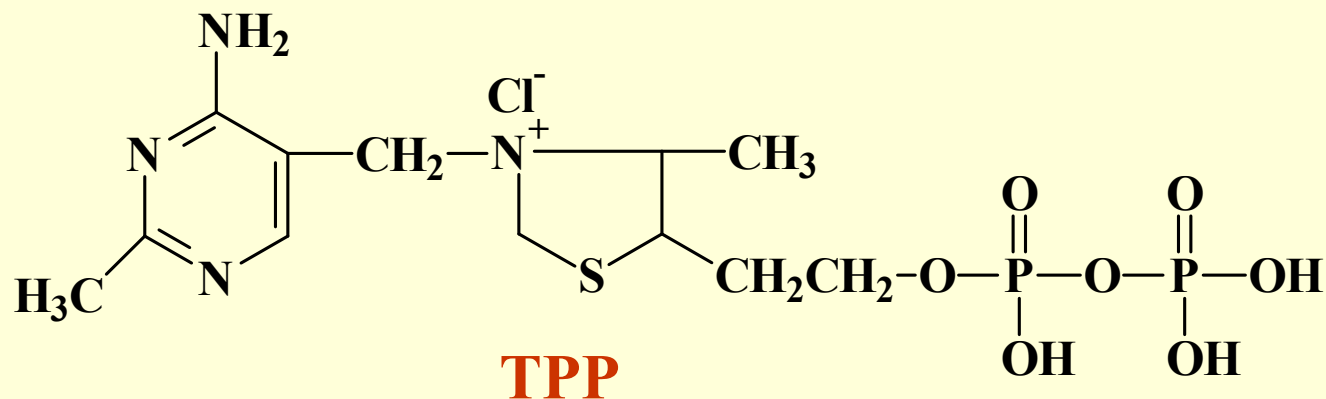
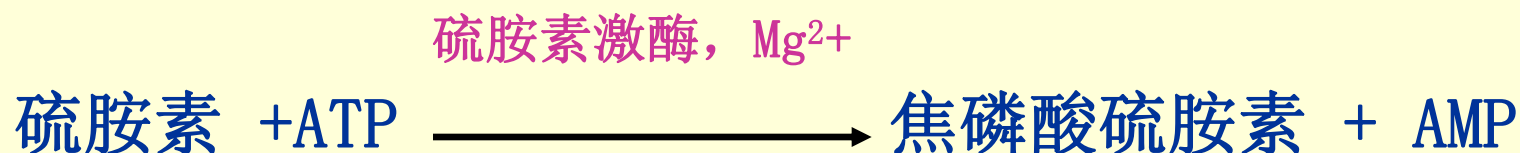
(一)、维生素B₁和脱羧辅酶(TPP)

1、结构



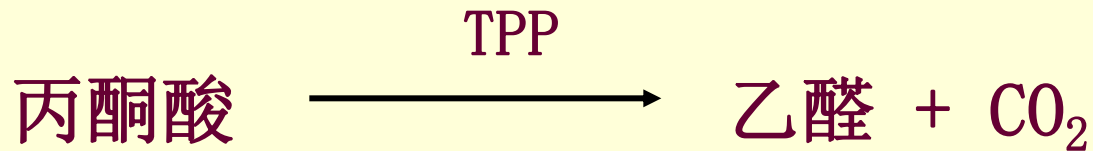
维生素B₁(硫胺素)盐酸盐

- 硫胺素 (维生素B₁) 在体内以**焦磷酸硫胺素 (TPP)**形式存在。

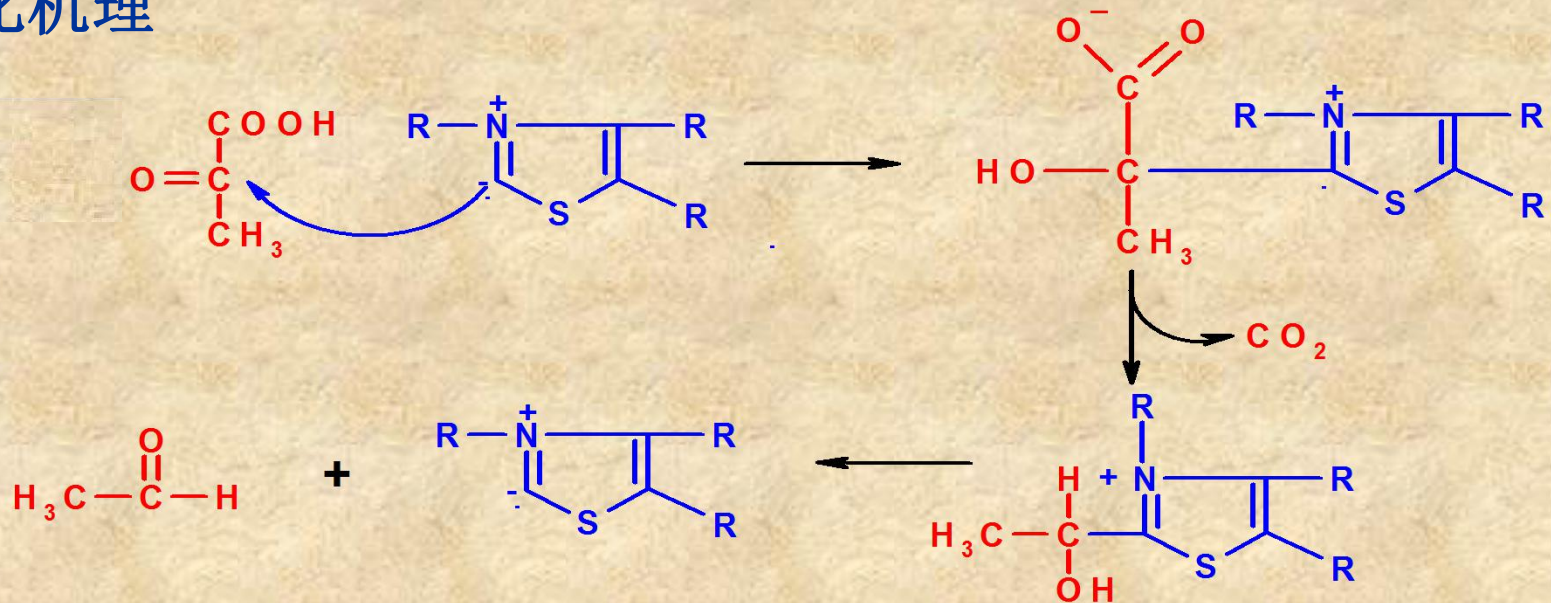


- 焦磷酸硫胺素 (TPP) 是脱羧酶 (如丙酮酸脱羧酶和 α -酮戊二酸脱羧酶) 的辅酶。

2、功能：(1) 以TPP的辅酶形式催化酮酸的脱羧反应，参与糖代谢。



催化机理



(2) 硫胺素能抑制胆碱酯酶的活性，有助于消化。

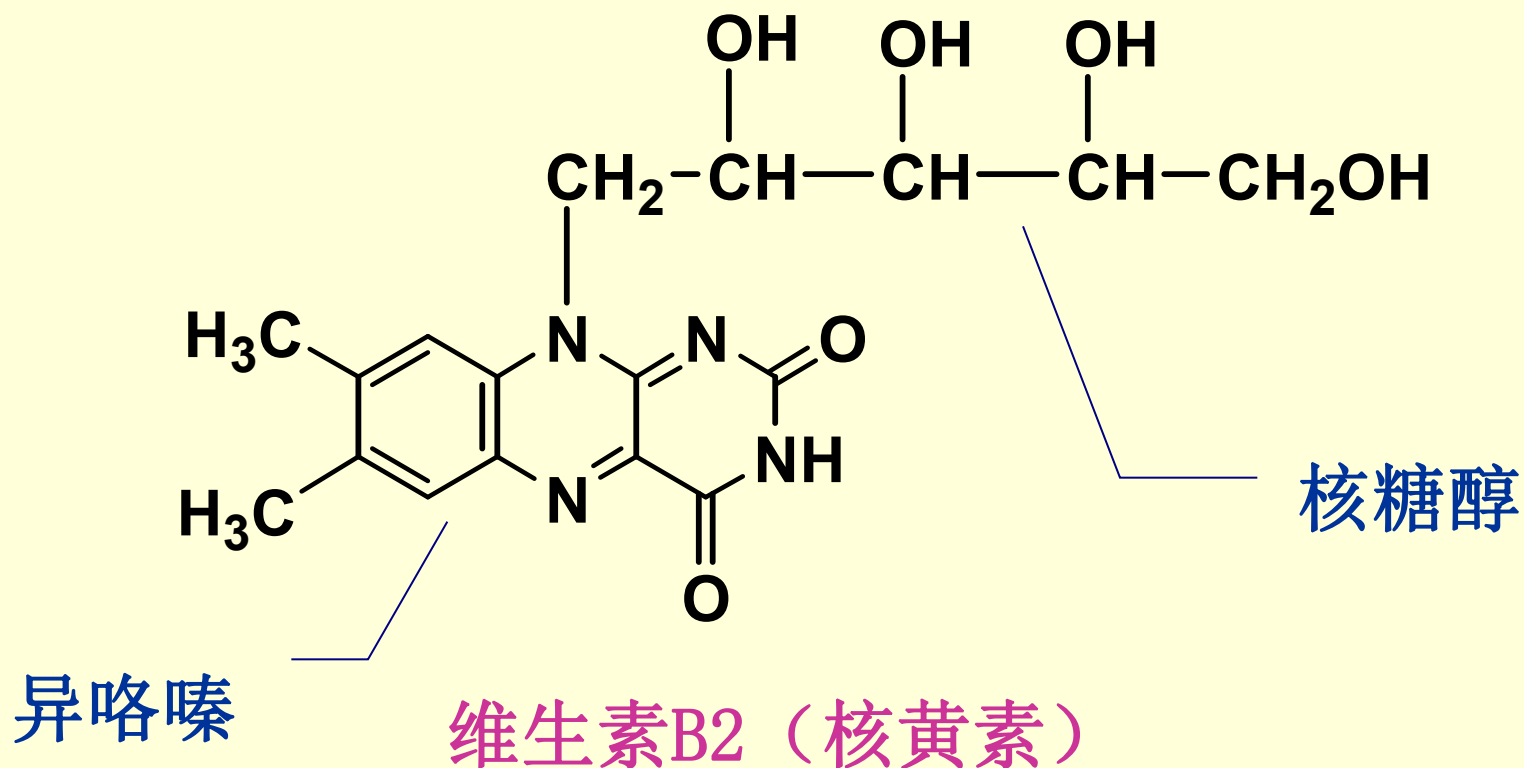
3、缺乏症

(1) 缺乏时表现出多发性神经炎、心力衰竭、四肢麻木、下肢水肿。俗称脚气病。

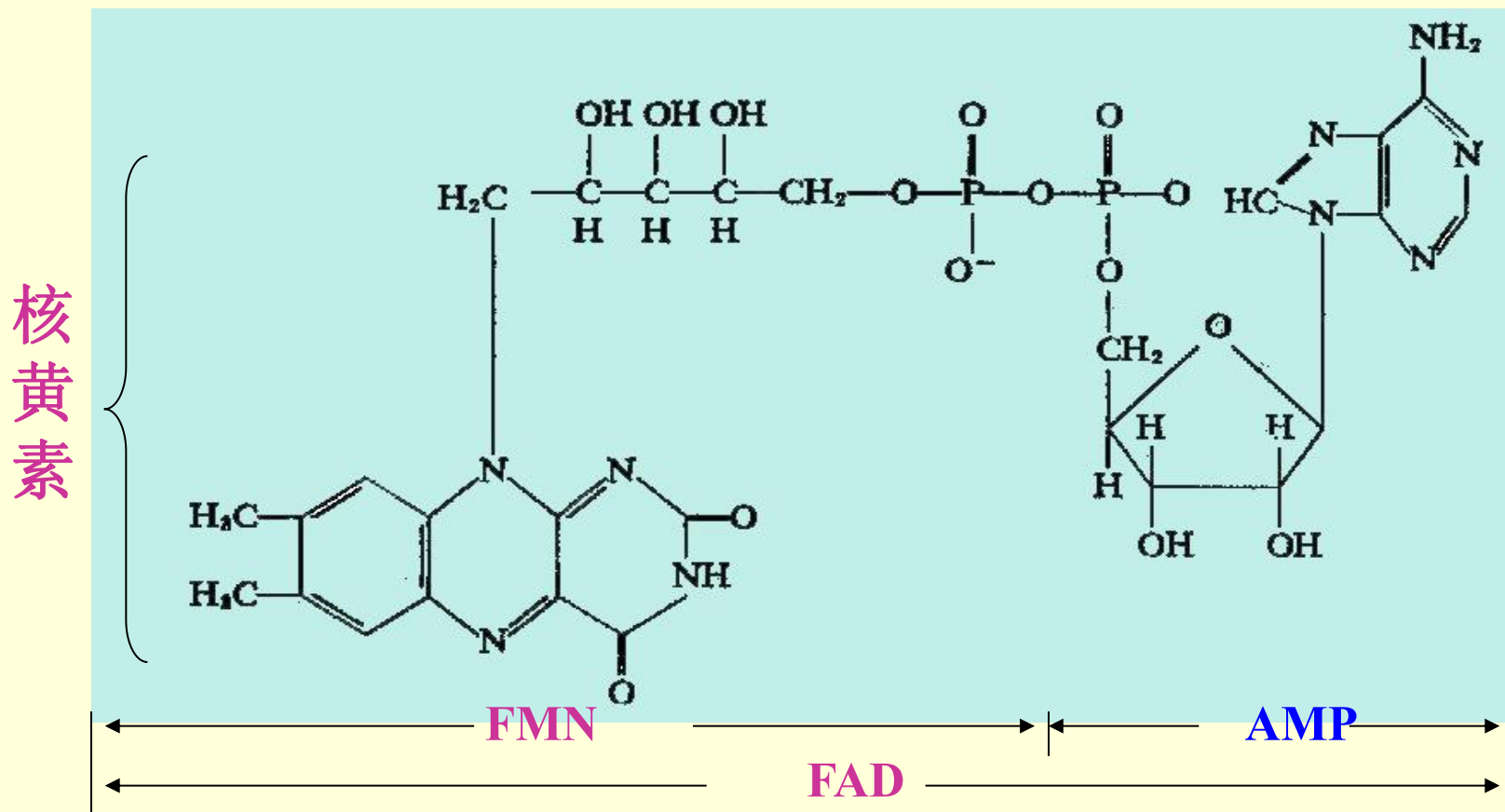
(2) 缺乏时表现出食欲不振、消化不良等疾病。

(二) 维生素B₂和黄素辅酶(FMN和FAD)

1、结构

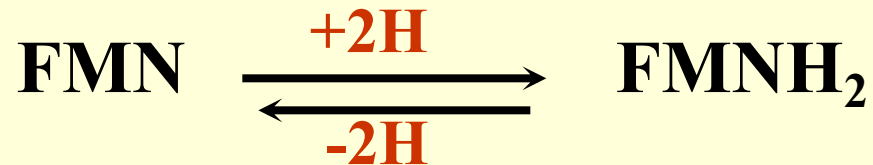


核黄素 (VB₂) 在体内以黄素单核苷酸 (FMN) 和
黄素腺嘌呤二核苷酸 (FAD) 的形式存在。



VB₂和 FMN. FAD结构

2、功能 核黄素 (VB₂) 以辅酶FMN及FAD的形式参与体内各类氧化还原反应，主要起氢传递体的作用 (P126、125)。

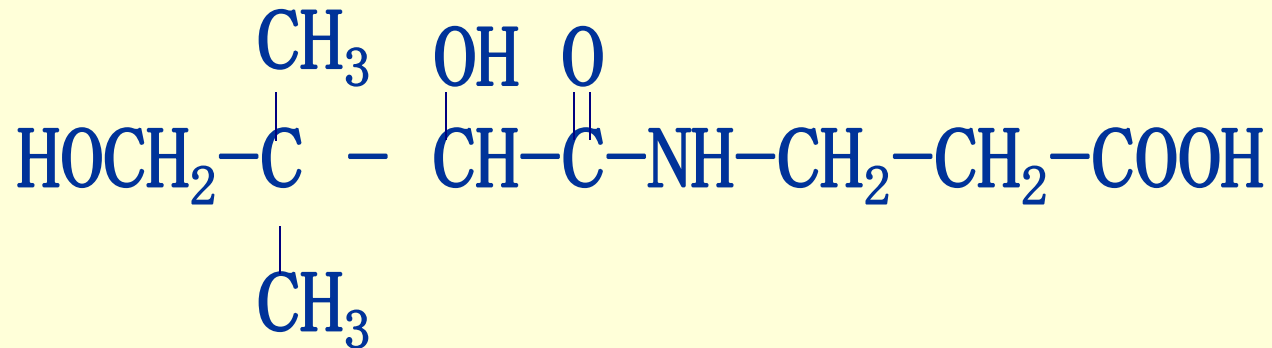


3、缺乏症 缺乏时组织呼吸减弱，代谢强度降低。主要症状为口腔发炎，舌炎、角膜炎、皮炎等

(三) 泛酸和辅酶A (CoA)

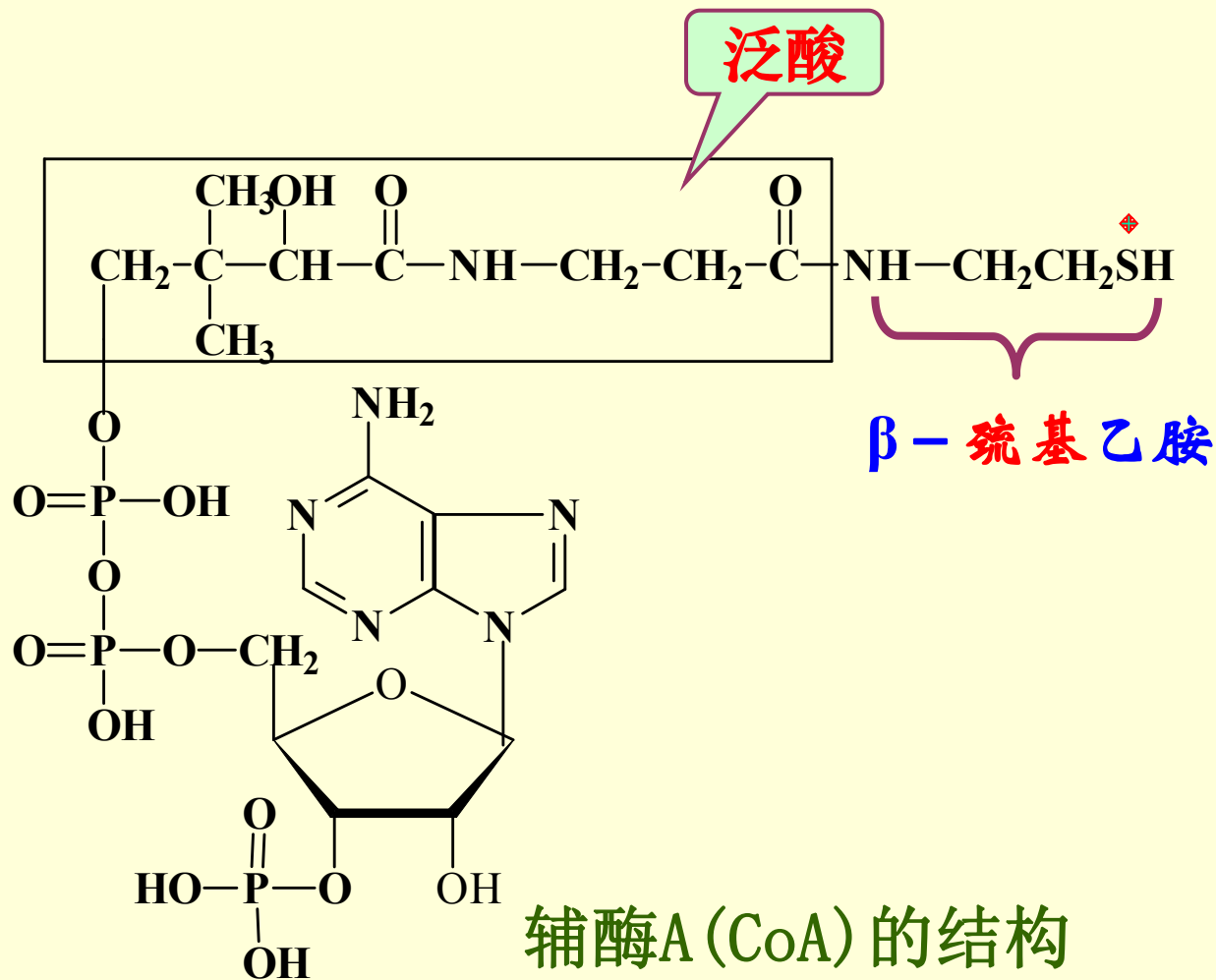
1、结构

泛酸(维生素B₃)——是由α, γ-二羟基-β-二甲基丁酸和一分子β-丙氨酸缩合而成。



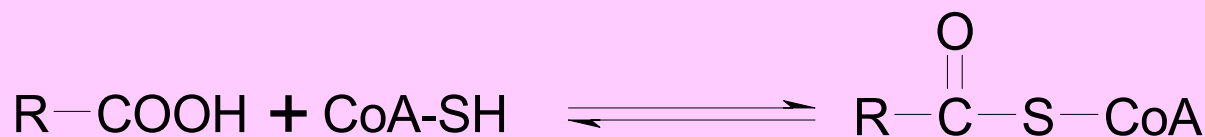
泛酸的结构

辅酶A (CoA) 是泛酸的主要活性形式



2. 功能：辅酶A (CoA) 是作为酰基的载体，参与转酰基(主要是乙酰基)作用，是形成代谢中间产物的重要辅酶。

辅酶A是生物体内代谢反应中乙酰化酶（酰基转移酶）的辅酶。

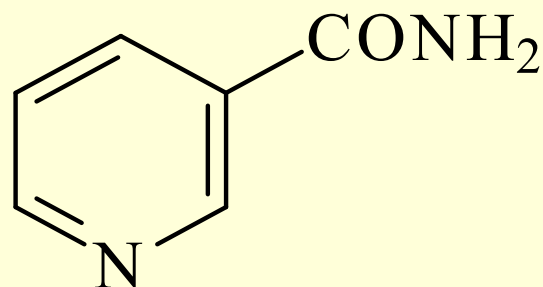
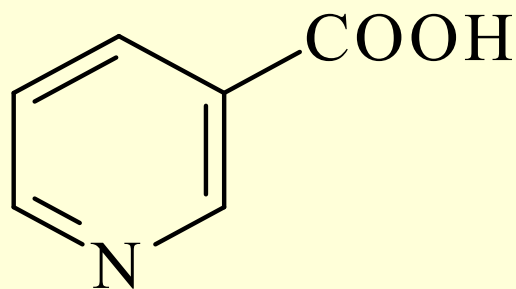


氧化分解



（四） 维生素PP和辅酶 I、辅酶 II

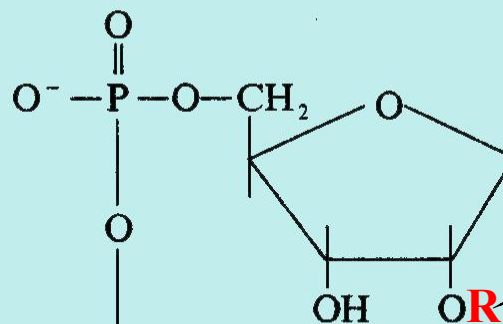
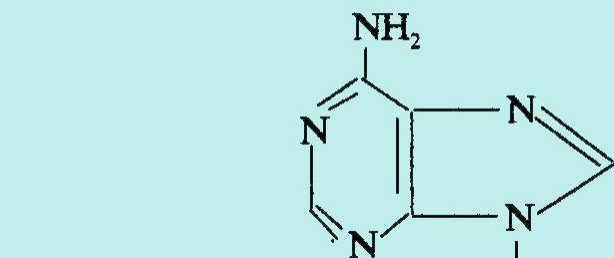
1、结构 VPP包括尼克酸和尼克酰胺两种物质



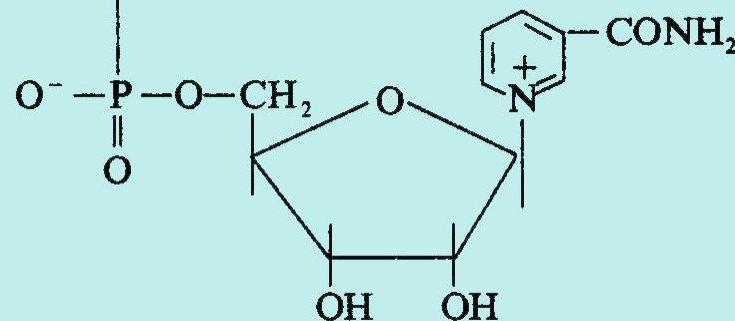
尼克酰胺在体内主要转变为辅酶 I (NAD) 和辅酶 II (NADP) 的形式存在。

维生素PP和NAD⁺、NADP⁺的结构

AMP



尼克酰胺
核苷酸



NAD⁺: R = —H

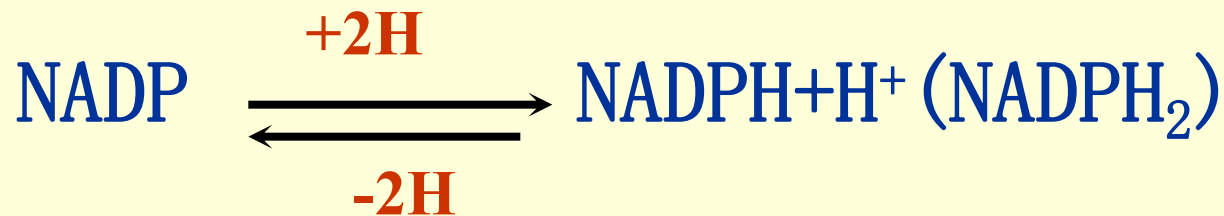
NADP⁺: R = —PO₃²⁻

NAD(P)⁺+2H



NAD(P)H+H⁺

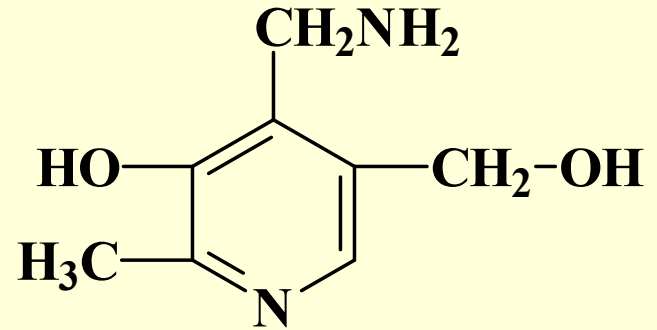
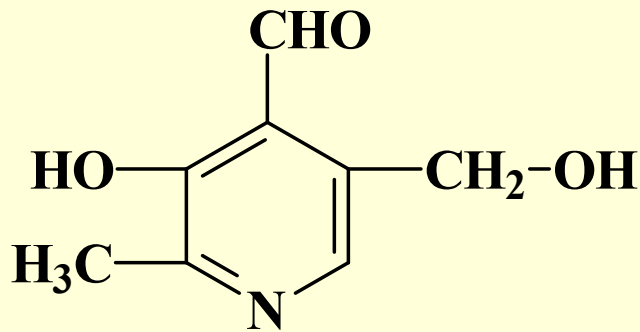
2、功能：维生素PP合成的NAD和NADP是多种重要脱氢酶的辅酶 (P127)



3、缺乏症：VPP能维持神经组织的健康。缺乏时表现为神经营养障碍，出现皮炎(癞皮病)。

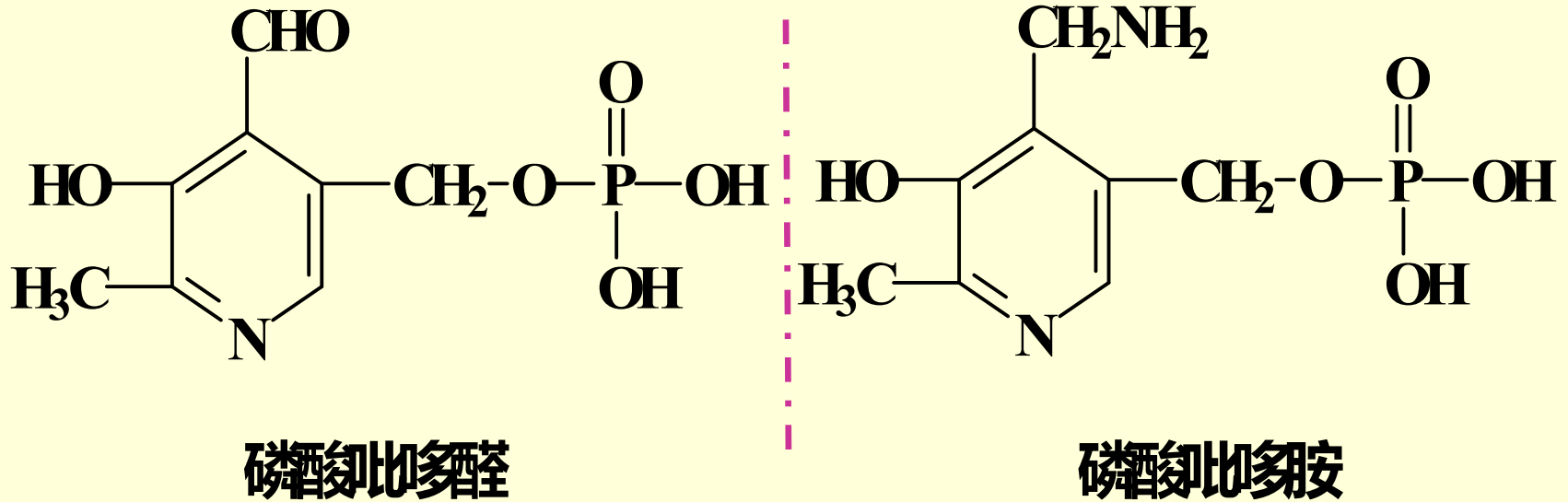
(五) 维生素B₆和磷酸吡哆醛

- 1、结构：维生素B₆（又称吡哆素），包括吡哆醇、吡哆醛和吡哆胺。



维生素B₆在体内以其磷酸酯的形式存在。

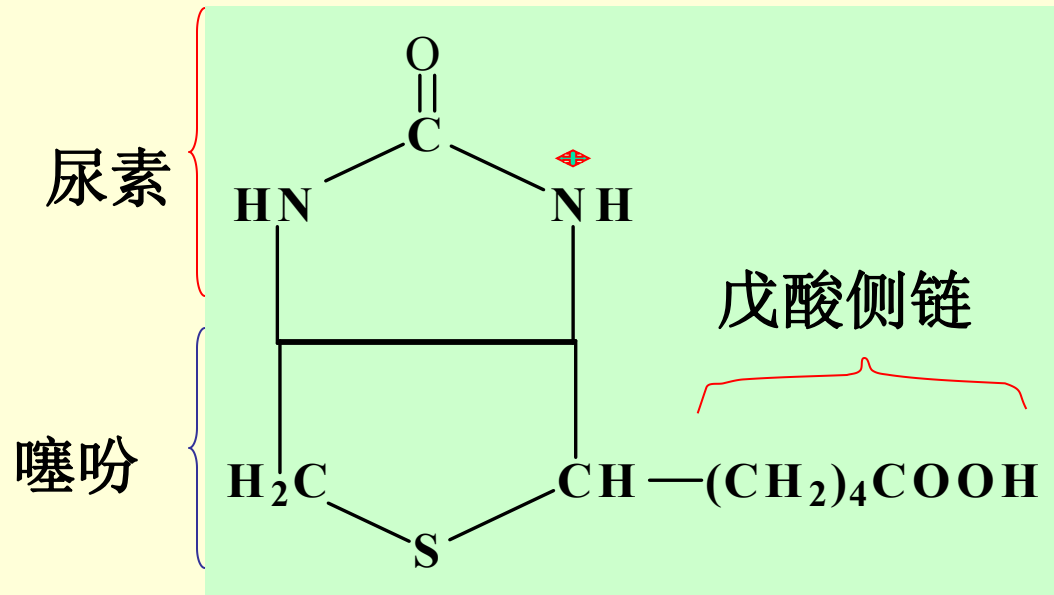
磷酸吡哆素主要包括磷酸吡哆醛和磷酸吡哆胺



2、功能 维生素B6在体内主要以辅酶的形式参与氨基酸代谢，通过磷酸吡多醛和磷酸吡多胺的相互转换，起转移氨基的作用。为氨基酸转氨酶及脱羧酶的辅酶

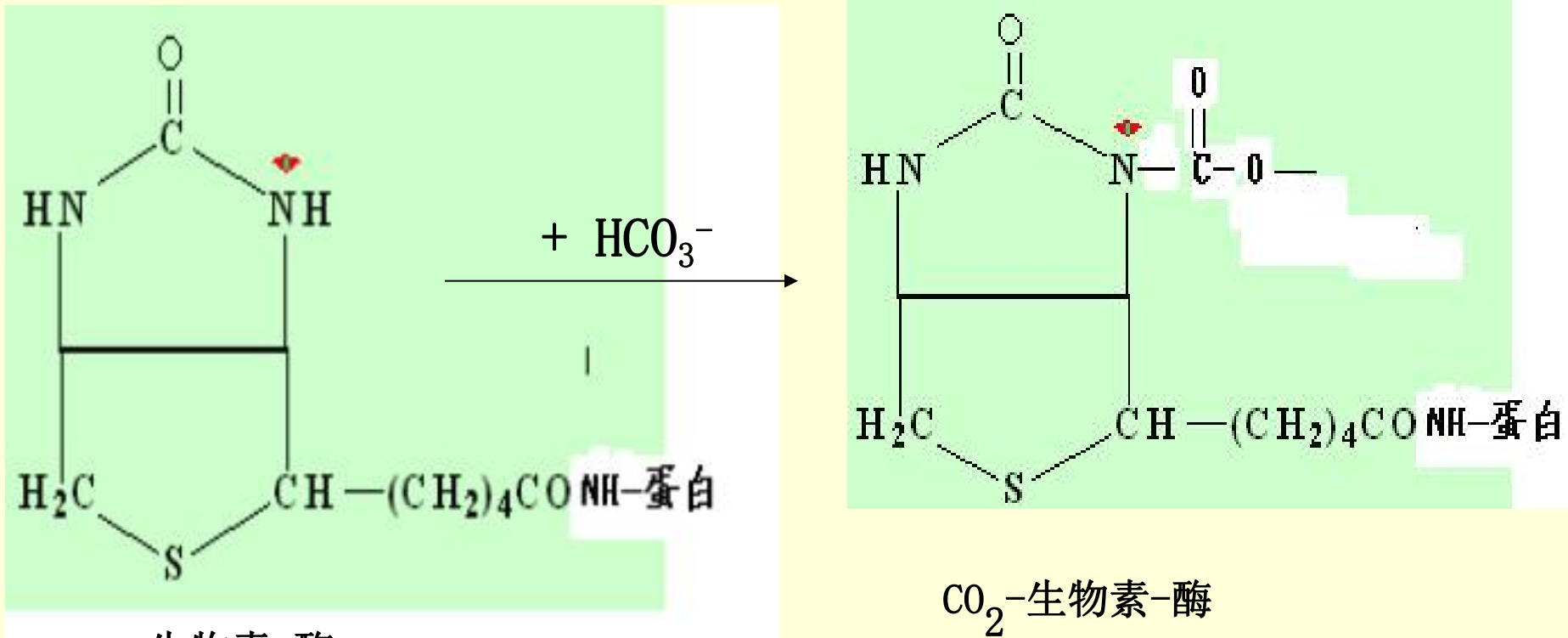
(六) 生物素

1. 结构



- 生物素是羧化酶的辅酶，是B族维生素B₇。

生物素羧化酶的作用机制



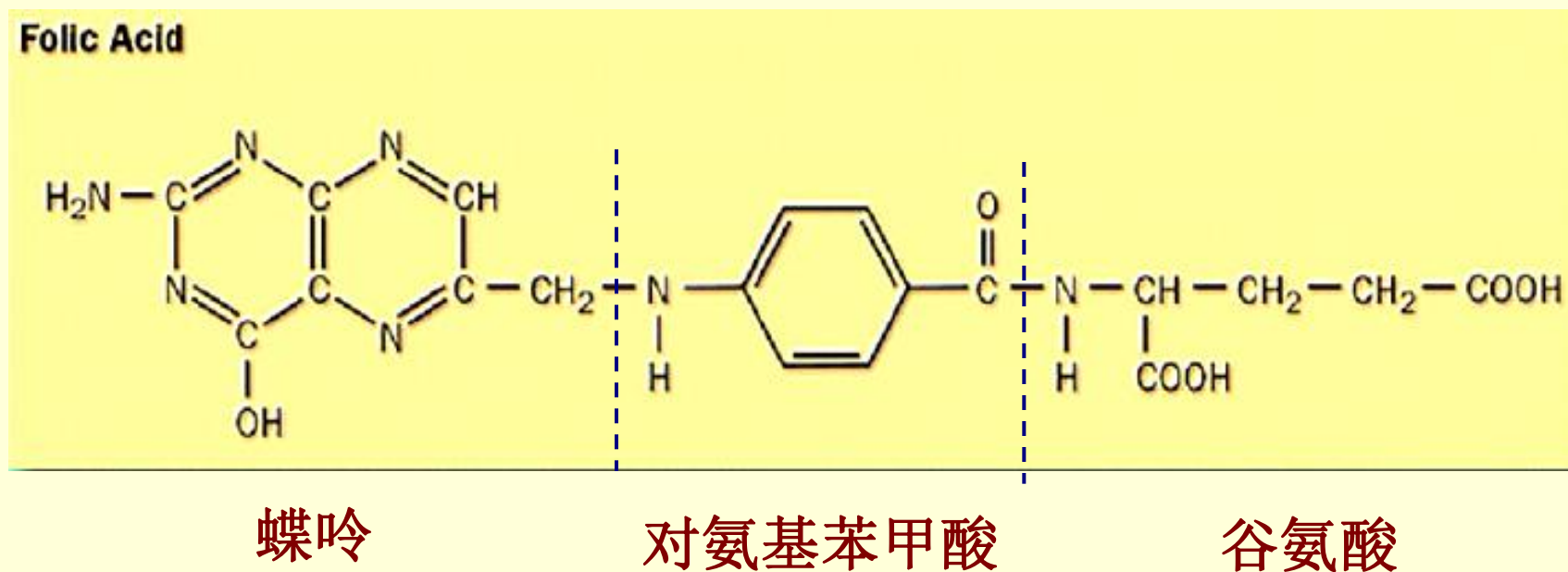
生物素-酶

CO_2 -生物素-酶

2 功能：生物素是羧化酶的辅酶，该辅酶是作为 CO_2 的递体，在生物合成中起传递和固定 CO_2 的作用。

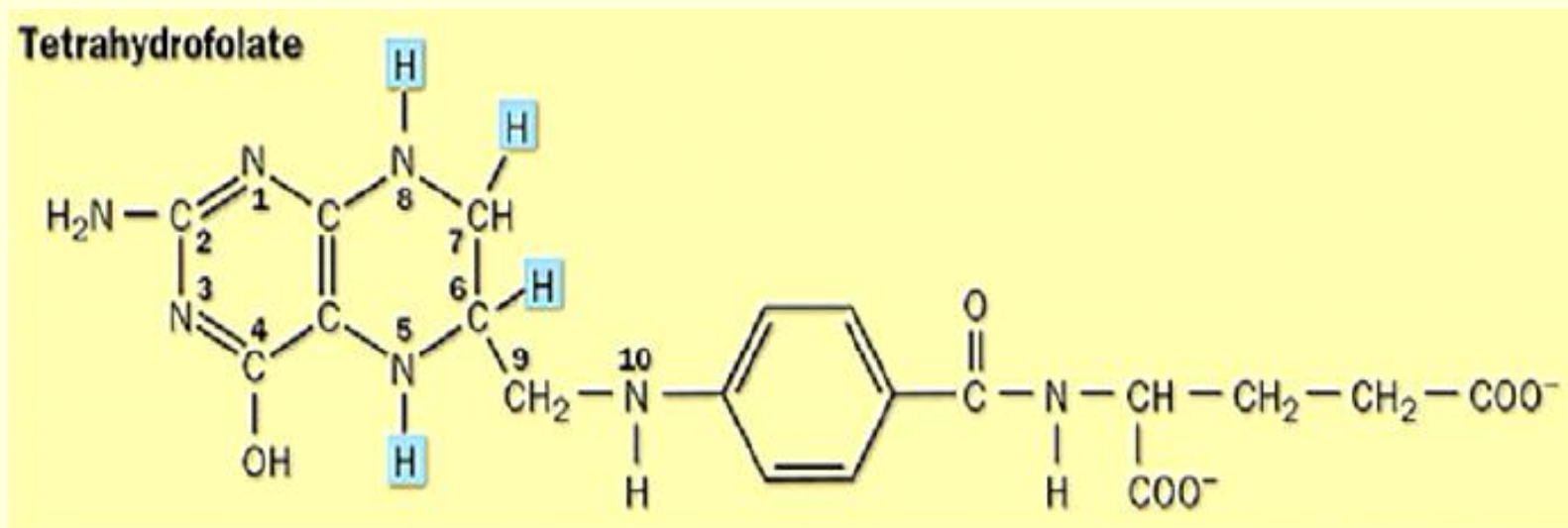
(七) 叶酸和叶酸辅酶 (THFA或FH₄)

1、结构

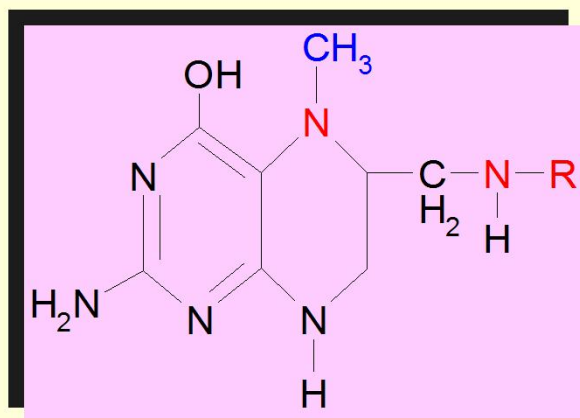


叶酸在体内主要以四氢叶酸的辅酶形式存在。

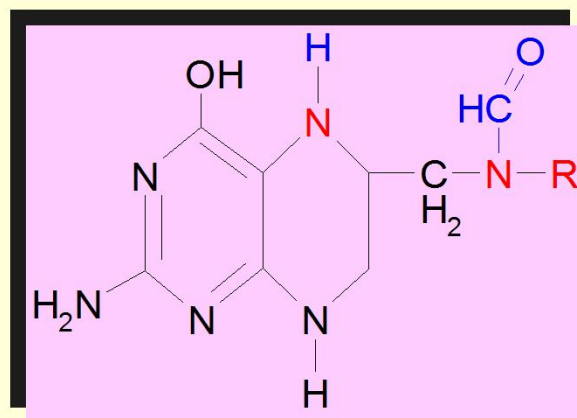
叶酸在5、6、7、8位加上四个氢，生成四氢叶酸（Tetrahydrofolate, THFA, THF），四氢叶酸是一碳单位的载体，传递一碳单位。



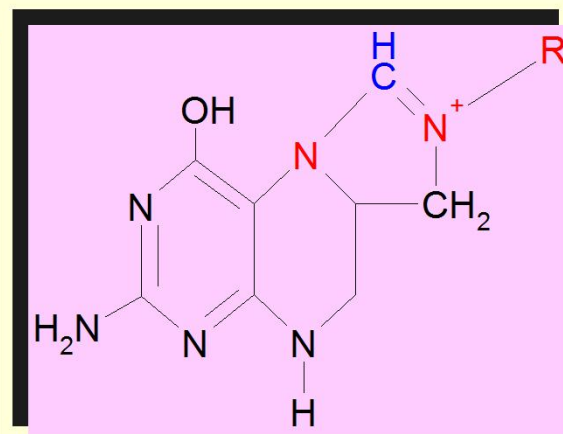
2、功能 四氢叶酸的主要作用是作为一碳基团，如 $-\text{CH}_3$ ， $-\text{CH}_2-$ ， $-\text{CHO}$ 等的载体，参与多种生物合成过程。



N⁵-甲基-TFH



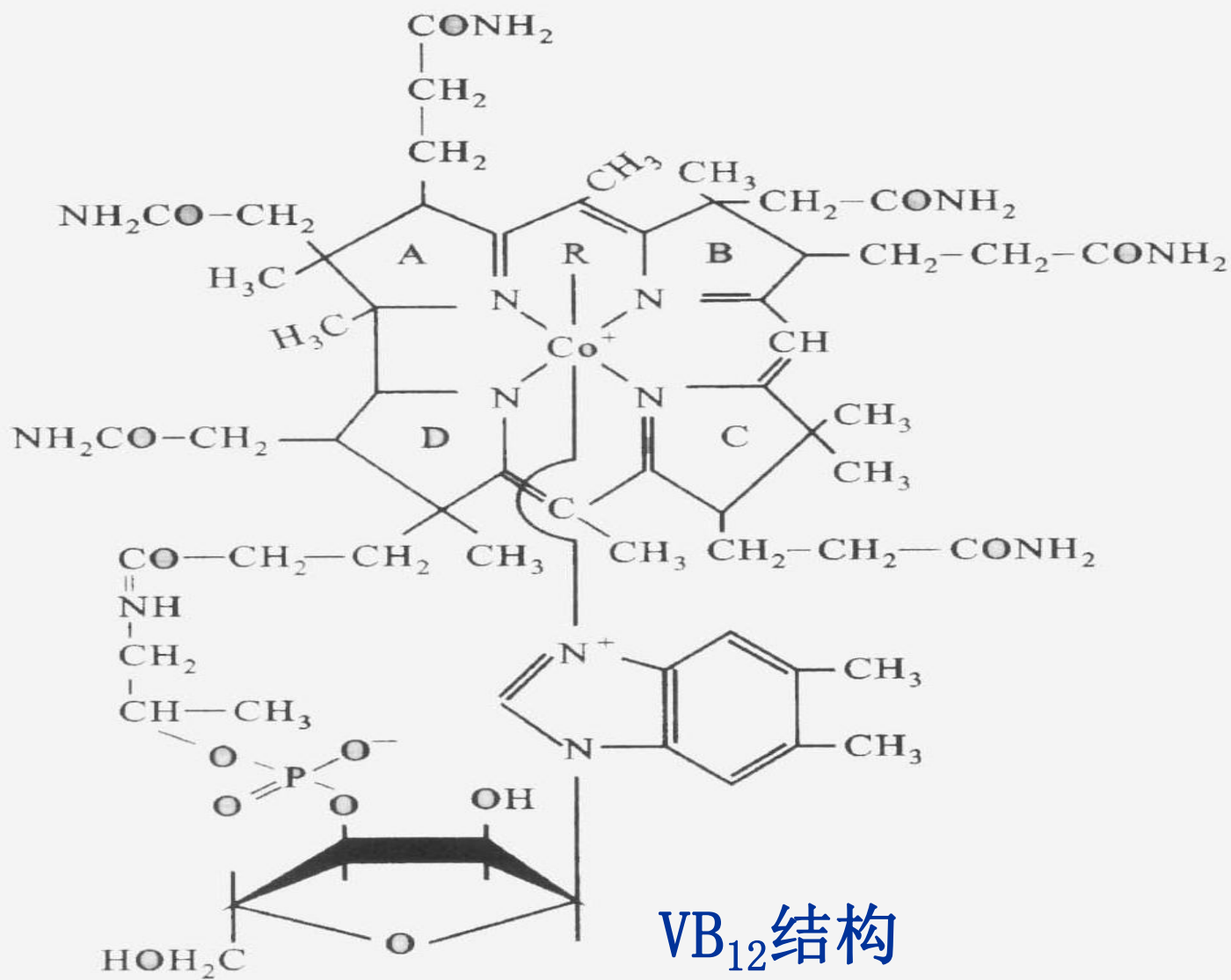
N¹⁰-甲酰基-TFH



N⁵, N¹⁰-次甲基-TFH

3、缺乏症：叶酸与DNA 合成有关，如果缺乏则会
造成巨红细胞性贫血。

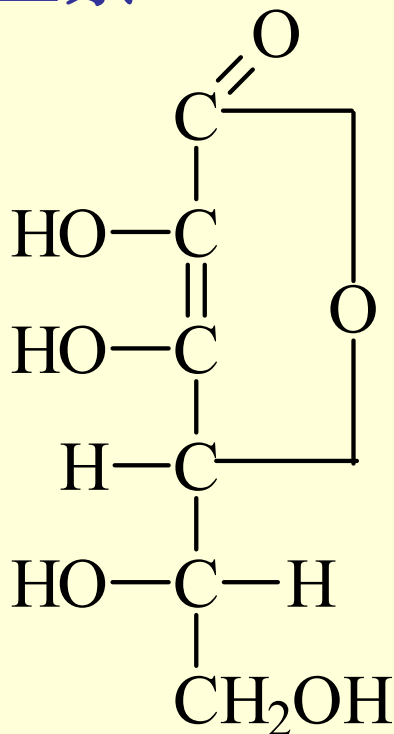
(八) 维生素B₁₂和B₁₂辅酶



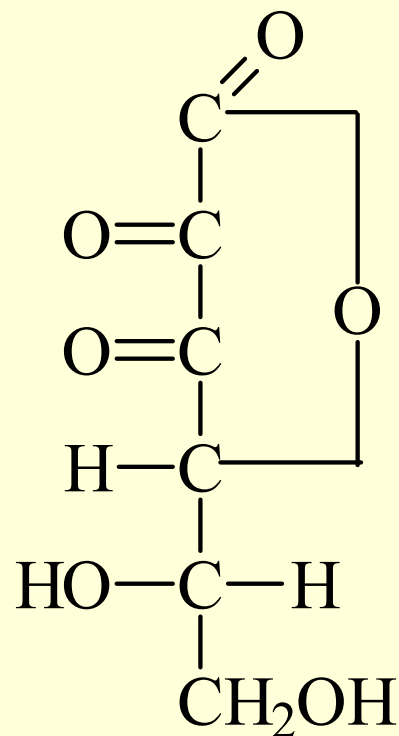
维生素B₁₂和 B₁₂辅酶

- 维生素B₁₂又称为钴胺素。维生素B₁₂分子中的Co⁺可结合不同的基团，形成不同的维生素B₁₂(P132)。其中5'-脱氧腺苷钴胺素又称为B₁₂辅酶。
- 维生素B₁₂辅酶的主要**功能**是作为变位酶的辅酶，催化底物分子内基团(主要为甲基)的变位反应(P133)。
- **缺乏症**为恶性贫血。

(九) 维生素C



L-抗坏血酸



脱氢抗坏血酸

在体内参与氧化还原反应；羟化反应；是一种很好的还原剂。人体不能合成。缺乏症为坏血病。

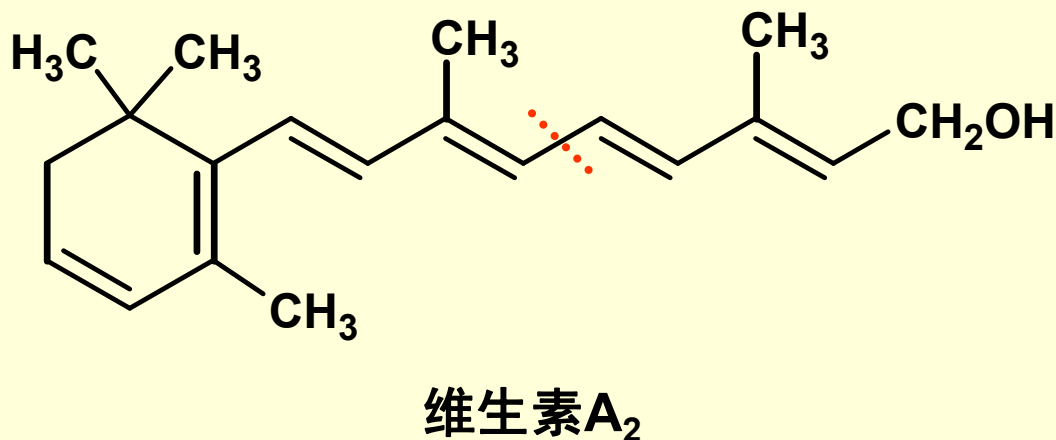
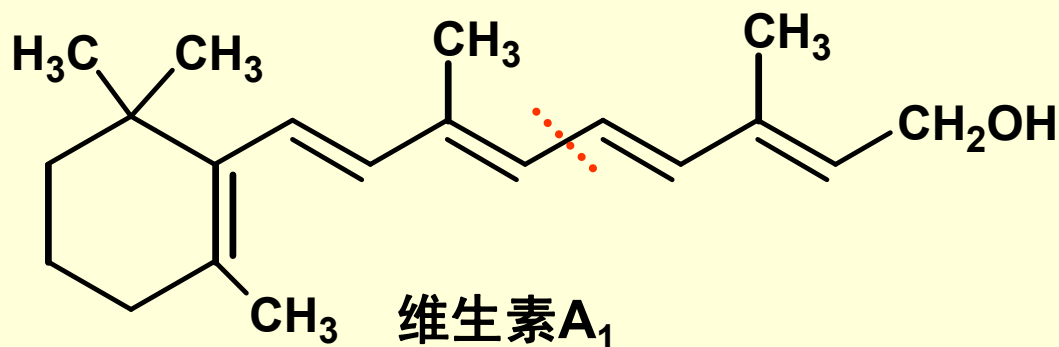


三、脂溶性维生素

| | |
|------|-------------|
| 维生素A | 抗干眼病维生素 |
| 维生素D | 抗佝偻病维生素 |
| 维生素E | 抗不育维生素(生育酚) |
| 维生素K | 抗出血维生素(凝血V) |

(一) 维生素A

维生素A分A₁, A₂两种, 是不饱和一元醇类。维生素A₁又称为视黄醇, A₂称为脱氢视黄醇。





维生素A的功能和缺乏症：

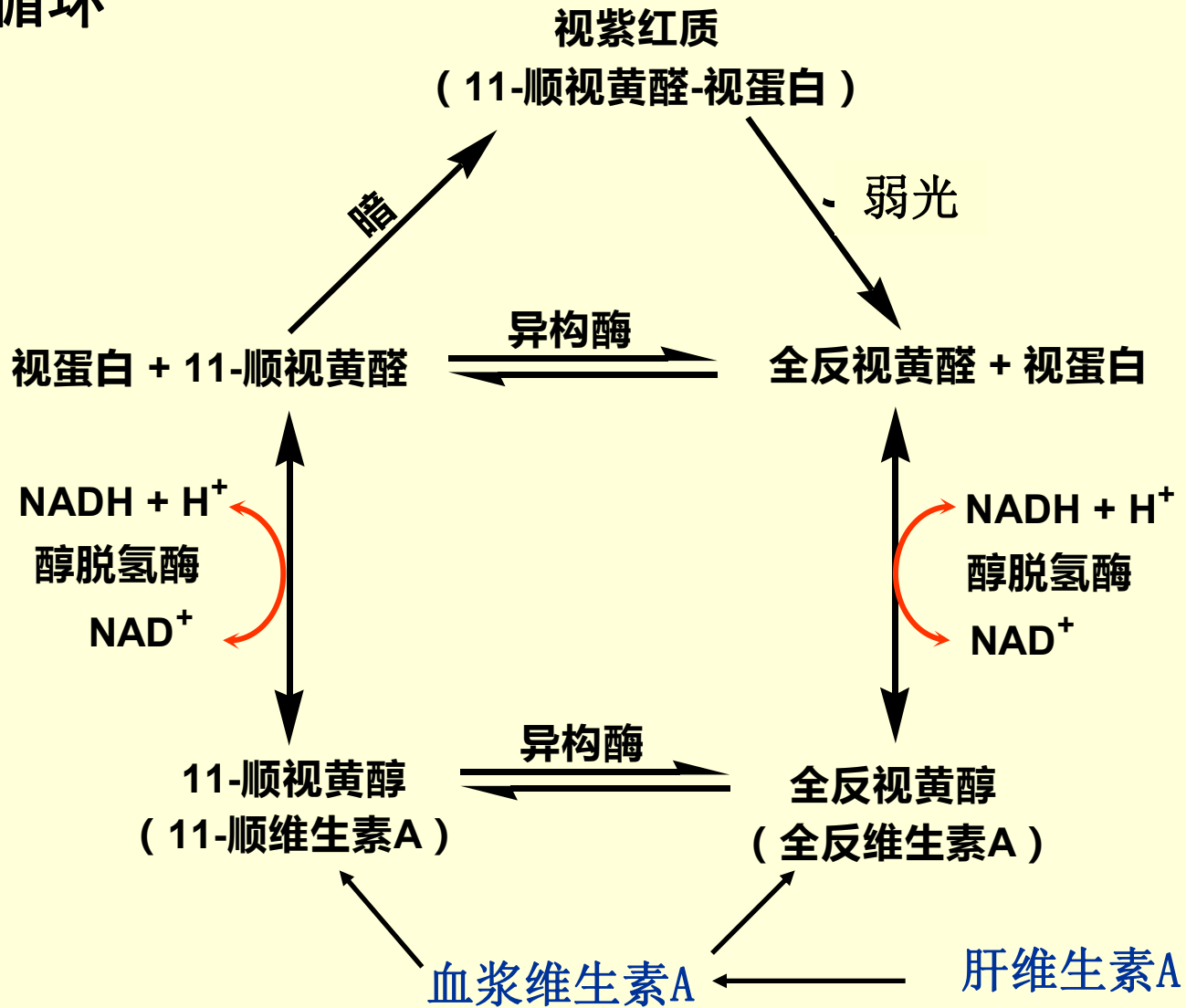
维生素A的功能

- 维持正常的视觉—VA是视紫红质的组分，与动物感受弱光有关
- 维持上皮组织的健康

维生素A的缺乏症： 夜盲症等

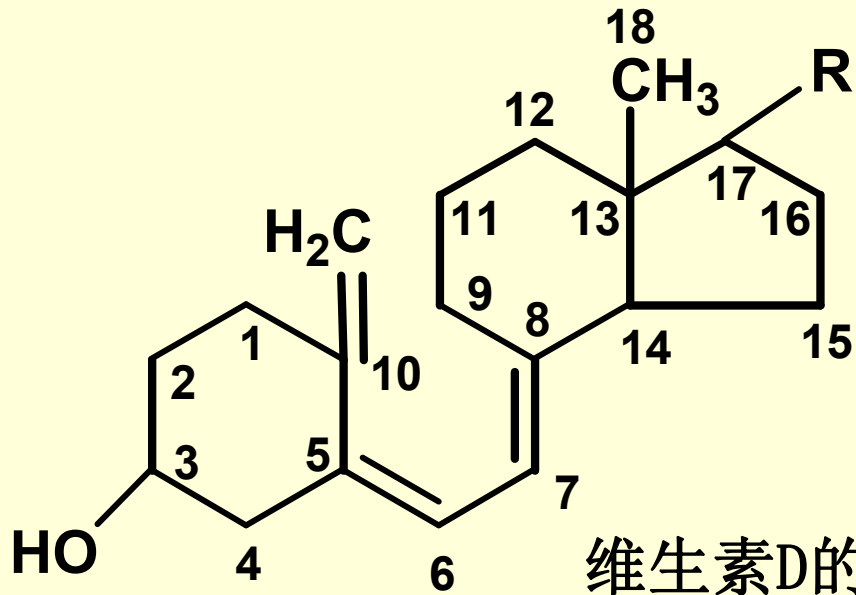
来源：动物性食物，尤其是鱼的肝脏

视循环



(二) 维生素D

维生素D是固醇类化合物，主要有D₂, D₃, D₄, D₅。其中D₂, D₃活性最高。



维生素D的通式

人体：胆固醇 (\rightarrow 7-脱氢胆固醇) $\xrightarrow{\text{UV}}$ VD₃

植物：麦角固醇 $\xrightarrow{\text{UV}}$ VD₂



维生素D的功能和缺乏症：

维生素D的功能

- 调节钙和磷的吸收及代谢，促进骨骼正常发育作用。

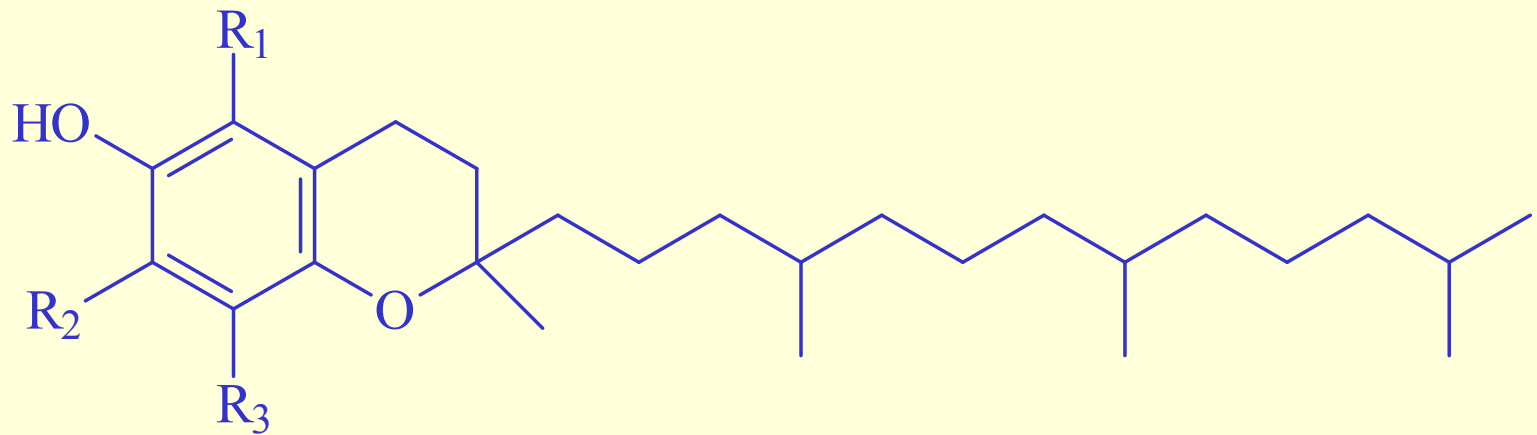
维生素D缺乏症

- 软骨病
- 佝偻病

来源：鱼油、肝、蛋类等动物性食物是**Vit D**的主要来源。

(三) 维生素E

- 又叫做生育酚，目前发现的有8种，其中 α ， β ， γ ， δ 四种有生理活性。



α -生育酚 (R_1, R_2, R_3 都为 $-CH_3$)



维生素E的功能和缺乏症

维生素E的功能

- 抗动物不育症
- 抗氧化作用

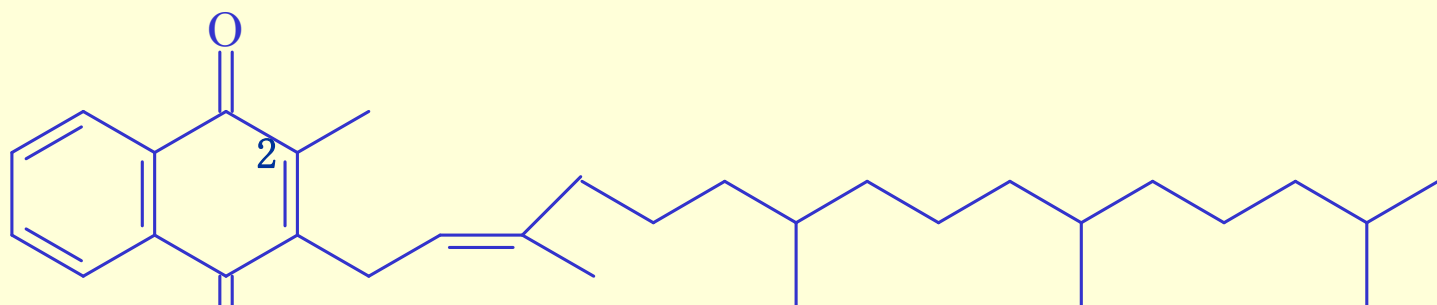
维生素E缺乏症

- 人类尚未发现典型的缺乏症

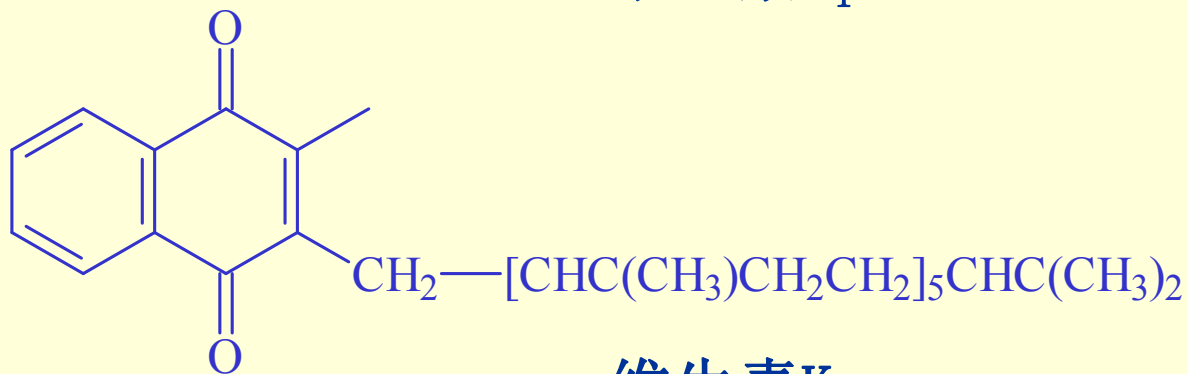
来源：多存在于
植物油中

(四) 维生素K

维生素K有4种，
 K_1, K_2, K_3, K_4 。 维生素K
是2-甲基萘醌的衍生物



维生素K₁



维生素K₂



维生素K的功能和缺乏症

维生素K的功能

- 主要功能是加速血液凝固、促进肝脏合成凝血酶原所必需的因子。

维生素K缺乏症

- 成人一般不易缺乏
- 新生儿及胆管阻塞患者。

来源：肝、鱼、肉、蔬菜等都富含Vit K。