

第二十章

维生素与必需微量元素

Chapter 20

Vitamin and Essential Trace Element

本章要求

1. 掌握脂溶性维生素的种类和生理功能
2. 掌握水溶性维生素的种类和生理功能
3. 掌握必需微量元素的概念
4. 了解各种必需微量元素的生理功能

第一节 概述

一、维生素的定义

维生素（vitamin）是机体维持正常功能所必需、但体内不能合成或合成量很少、必须由食物供给的一类低分子量有机物质。

维生素在体内既不参与构成生物体的组织成分，也不是体内的能量物质，但在调节物质代谢和维持生理功能等方面却有着重要作用。

二、维生素的分类

维生素的种类繁多，化学结构各异，通常按溶解性质不同，将其分两大类。

分类 { 脂溶性维生素： A、D、E、K
水溶性维生素： B族 + C



B₁、B₂、PP、B₆、泛酸、生物素、叶酸、B₁₂、硫辛酸

三、引起维生素缺乏的原因

1. 维生素的摄入量不足。
2. 机体的吸收利用率降低。
3. 需要量增加，但未及时给予补充。
4. 长期服用抗生素，抑制肠道细菌合成。

第二节 脂溶性维生素

(Lipid-soluble Vitamins)

共同特点

- 不溶于水，溶于脂类及脂肪溶剂；
- 在食物中与脂类共存，并随脂类一同吸收；
- 吸收的脂溶性维生素在血液与脂蛋白及某些特殊结合蛋白特异结合而运输。

种类

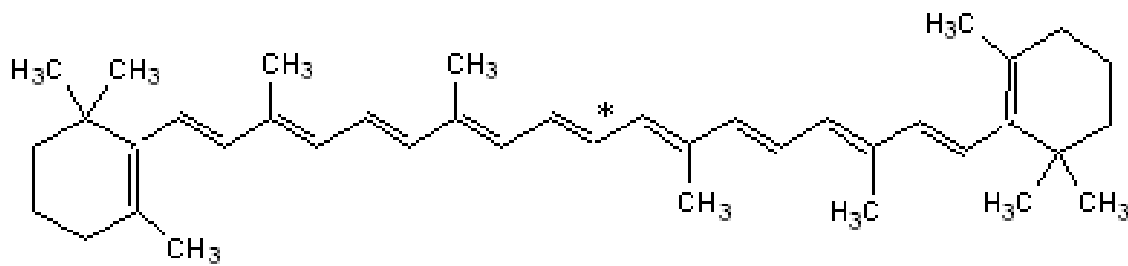
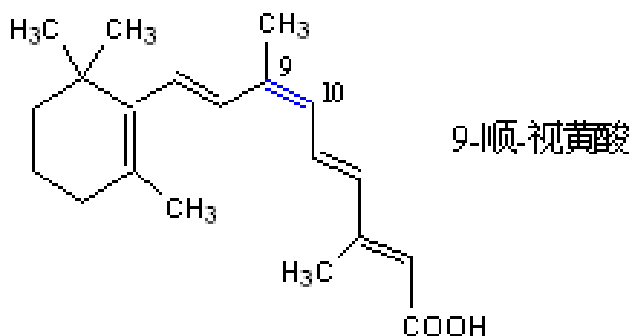
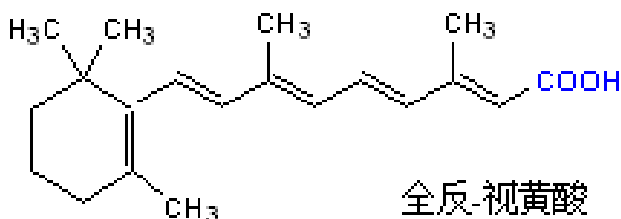
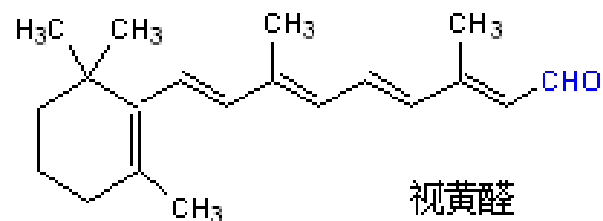
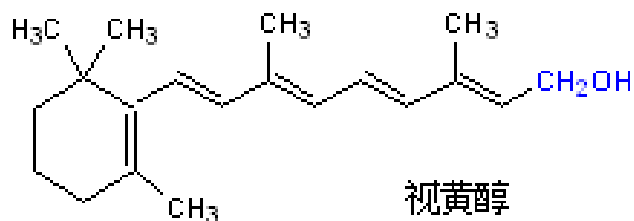
维生素A、D、E、K

一、维生素A

(一) 化学本质与性质

- 天然形式： A_1 （视黄醇）
 A_2 （3-脱氢视黄醇）
- 活性形式：视黄醇、视黄醛、视黄酸
- 维生素A原： β -胡萝卜素

视黄醇、视黄醛和视黄酸是维生素A的活性形式



β -胡萝卜素

(二) 生理功能及缺乏症

1. 生理功能

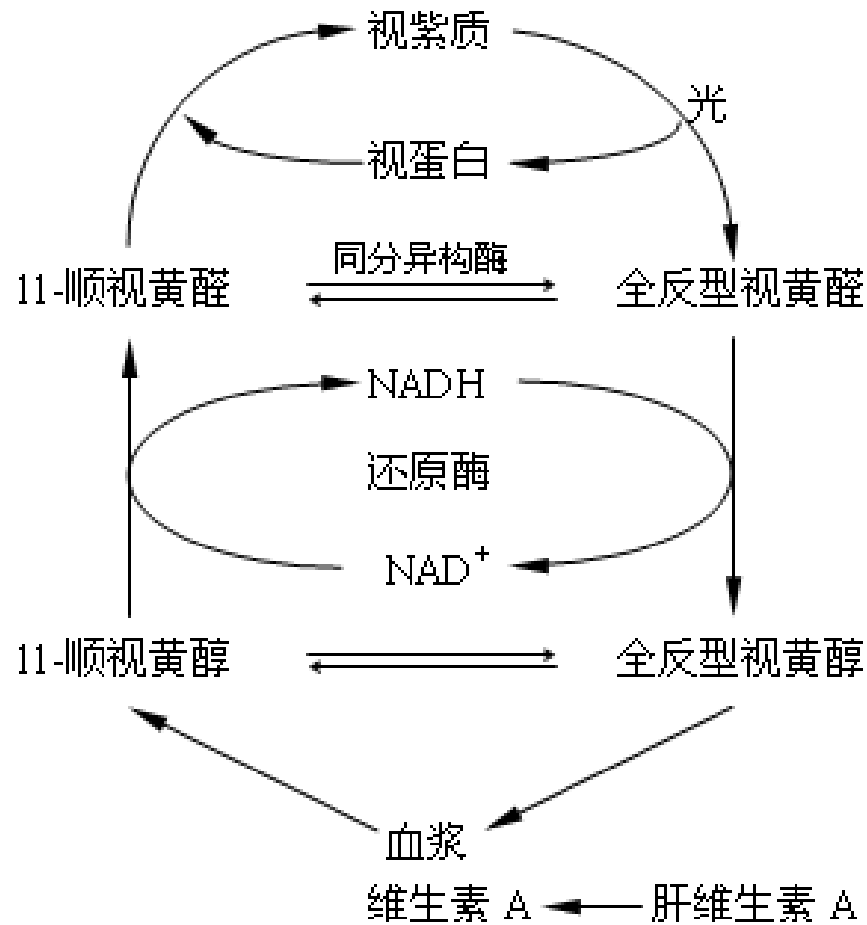
- 构成视觉细胞内的感光物质
- 维持上皮组织结构的完整
- 视黄酸对基因表达和组织分化具有调节作用
- 维生素A和胡萝卜素的抗氧化作用

(二) 生理功能及缺乏症

2. 缺乏症

- 眼干燥症
- 夜盲症
- 皮肤干燥

视黄醛与视蛋白结合发挥其视觉功能



二、维生素D

(一) 化学本质和性质

■ 种类: VitD₂ (麦角钙化醇)

VitD₃ (胆钙化醇)

■ VitD₂原: 麦角固醇

VitD₃原: 7-脱氢胆固醇

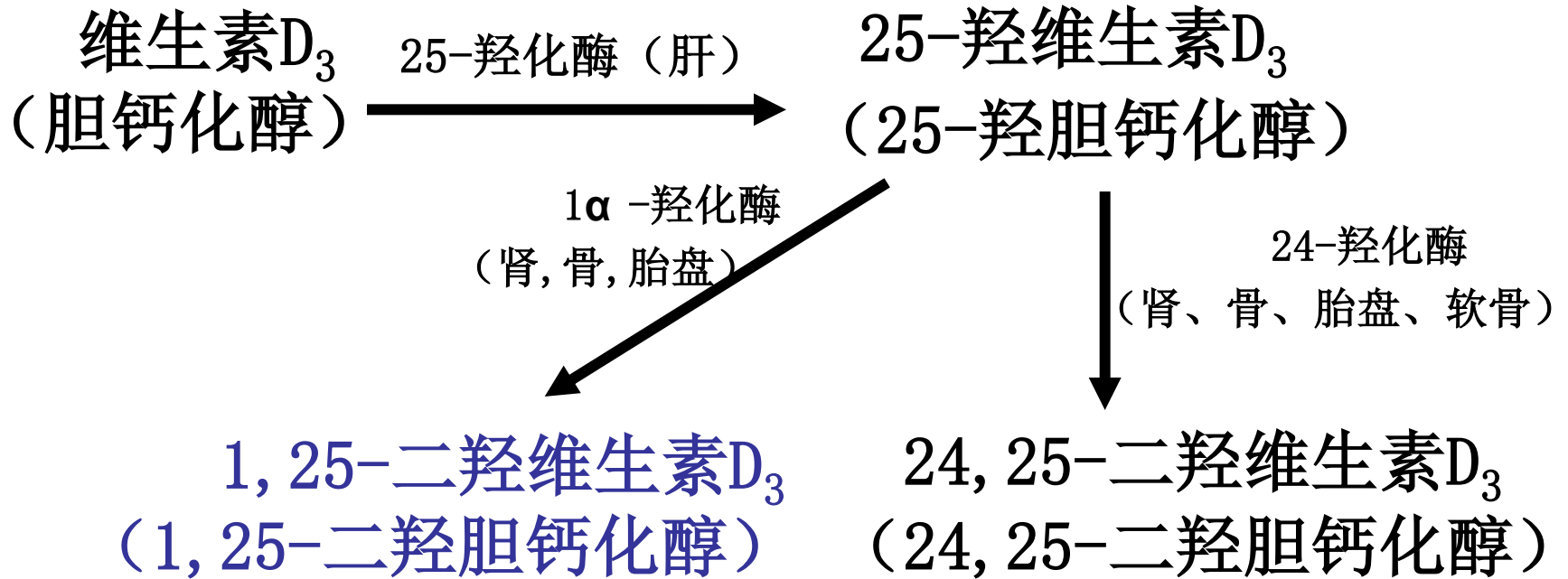
麦角固醇 \rightarrow VitD₂

胆固醇 \rightarrow 7-脱氢胆固醇 \rightarrow VitD₃

} 紫外
照射

■ VitD₃的活性形式: 1, 25-(OH)₂-VitD₃

体内的转变



胆钙化醇的代谢

(二) 生理功能及缺乏症

1. 生理功能

- 调节体内钙、磷平衡
- 影响细胞的分化

2. 缺乏症

儿童——佝偻病

成人——软骨病

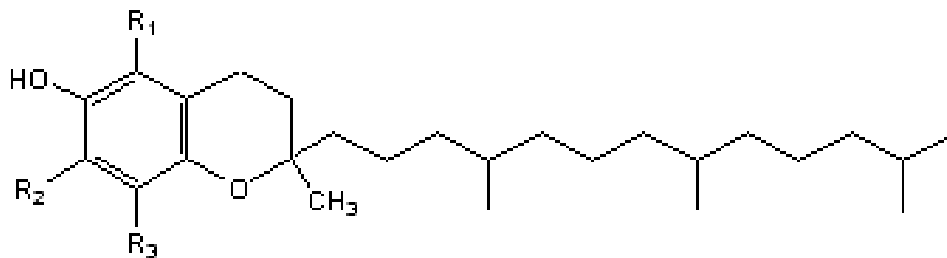
3. 维生素D过量可引起中毒

三、维生素E

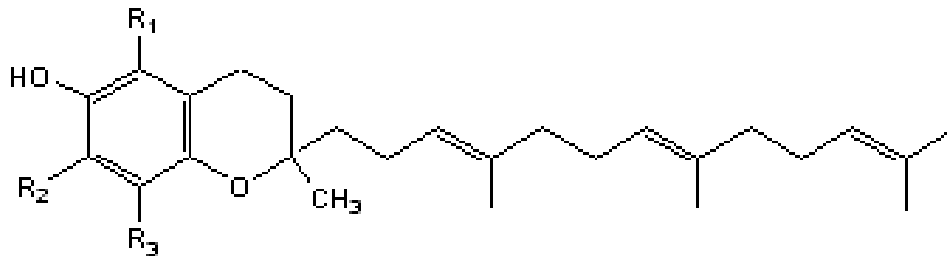
(一) 化学本质及性质

种类：生育酚，生育三烯酚

易自身氧化，故能保护其他物质



生育酚



生育三烯酚

（二）生理功能

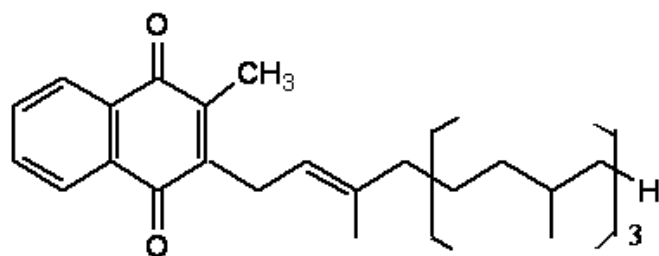
- 与动物的生殖功能有关
- 抗氧化作用
- 促进血红素合成
- 调节基因表达

四、维生素K

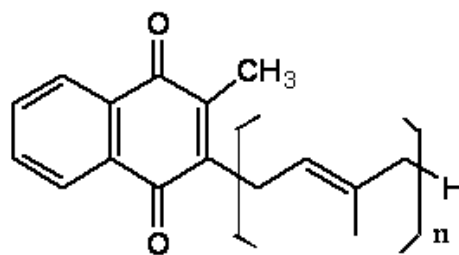
(一) 化学本质及性质

天然形式: K_1 、 K_2

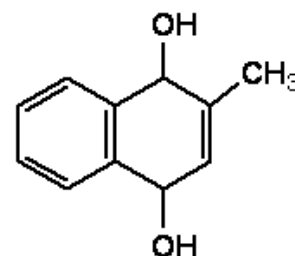
人工合成: K_3 、 K_4



维生素 K_1
(植物甲萘醌)
(叶绿醌)



维生素 K_2



维生素 K_3

(二) 生理功能及缺乏症

1. 生理功能

- 活化多种前体蛋白（凝血因子 II、VII、IX、X）
- 调节骨代谢
- 减少动脉硬化

2. 缺乏症：易出血

第三节 水溶性维生素

(Water-soluble Vitamins)

概述

1. 共同特点

- 体内不易储存，必须经常从食物中摄取。
- 易溶于水，故易随尿液排出。
- 构成酶的辅因子，影响某些酶的催化作用。

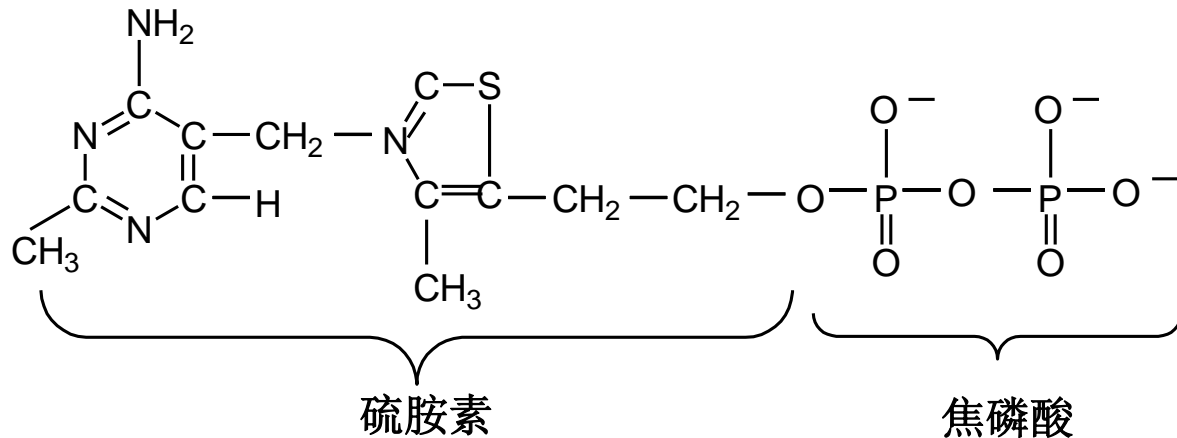
2. 种类

B族维生素和维生素C

一、维生素B₁

(一) 化学本质

- 维生素B₁又名硫胺素(thiamine)
- 体内活性形式为焦磷酸硫胺素(TPP)



焦磷酸硫胺素(thiamine pyrophosphate, TPP)

(二) 生理功能及缺乏症

1. 生理功能

- TPP是 α -酮酸氧化脱羧酶的辅酶，也是转酮醇酶的辅酶。
- 在神经传导中起一定的作用，抑制胆碱酯酶的活性。

2. 缺乏症

脚气病，末梢神经炎

二、维生素B₂

(一) 化学本质及性质

- 维生素B₂又名核黄素(riboflavin)
- 体内活性形式：黄素单核苷酸(FMN)
黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)

(二) 生理功能及缺乏症

- 生理功能：FMN及FAD是体内氧化还原酶的辅基，主要起递氢体的作用。
- 缺乏症：口角炎，唇炎，阴囊炎等。

三、维生素PP

(一) 化学本质及性质

■ 维生素PP包括

尼克酸(nicotinic acid, 又称烟酸)

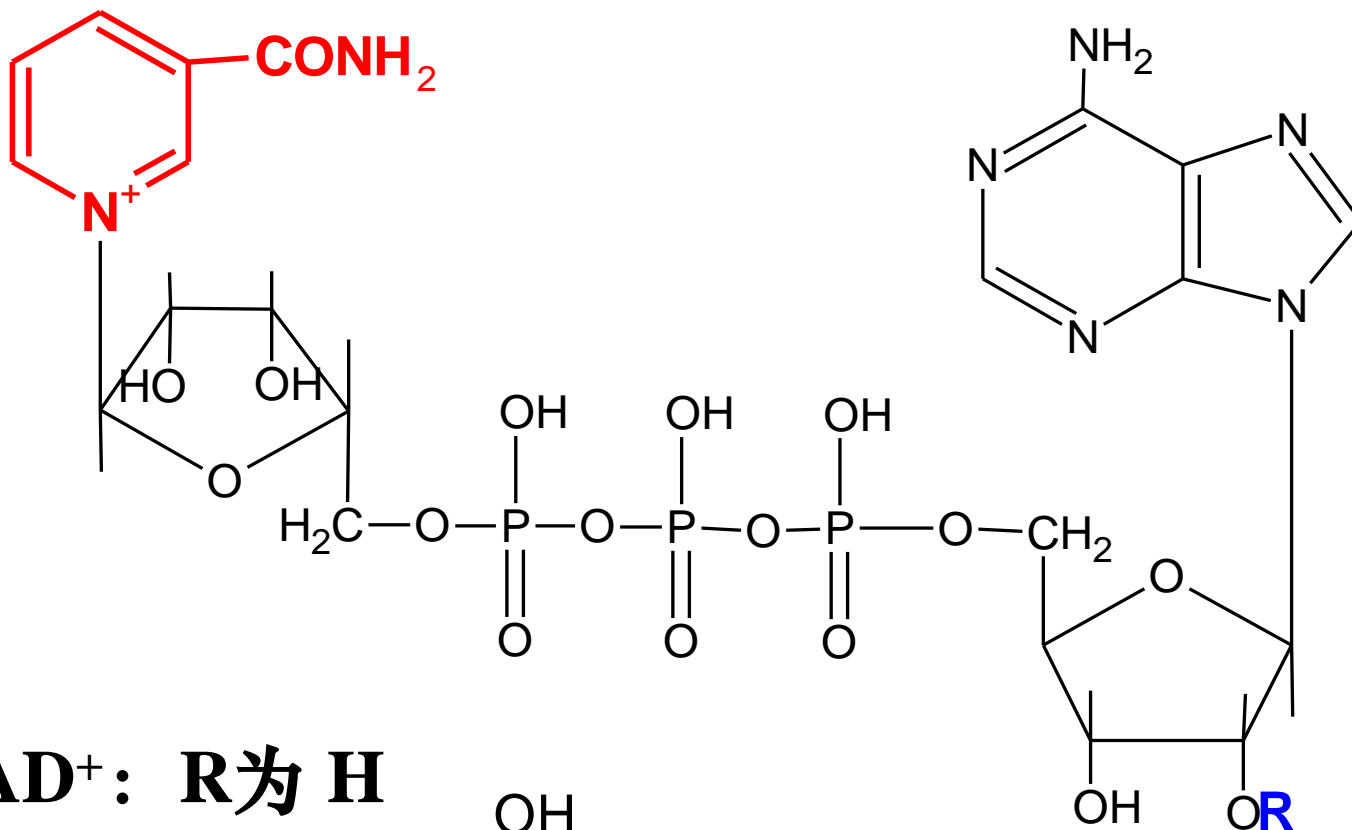
尼克酰胺(nicotinamide, 又称烟酰胺)

■ 体内活性形式

尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD^+)

尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADP^+)

尼克酰胺



NAD⁺: R为 H

NADP⁺: R为 

（二）生理功能及缺乏症

1. 生理功能

- NAD^+ 及 NADP^+ 是体内多种脱氢酶的辅酶，起传递氢的作用。
- 烟酸能抑制脂肪动员，使肝中VLDL合成减少，从而降低血浆胆固醇。

2. 缺乏症

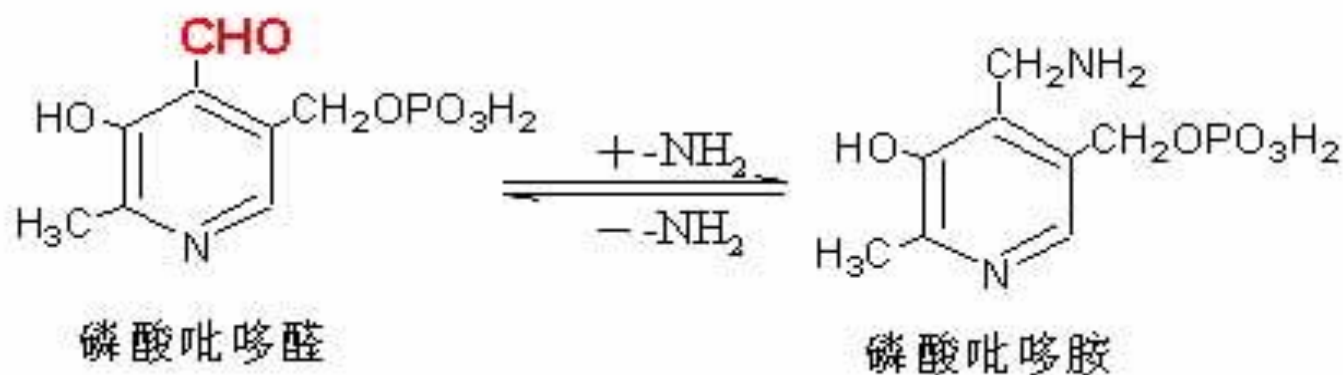
癞皮病

四、维生素B₆

（一）化学本质及性质

- 吡哆醇，吡哆醛及吡哆胺

- 体内活性形式为磷酸吡哆醛和磷酸吡哆胺



（二）生理功能及缺乏症

生理功能

- 磷酸吡哆醛是氨基酸转氨酶及脱羧酶的辅酶，也是 δ -氨基 γ -酮戊酸合酶（ALA合酶）的辅酶。
- 磷酸吡哆醛可终止类固醇激素的作用。

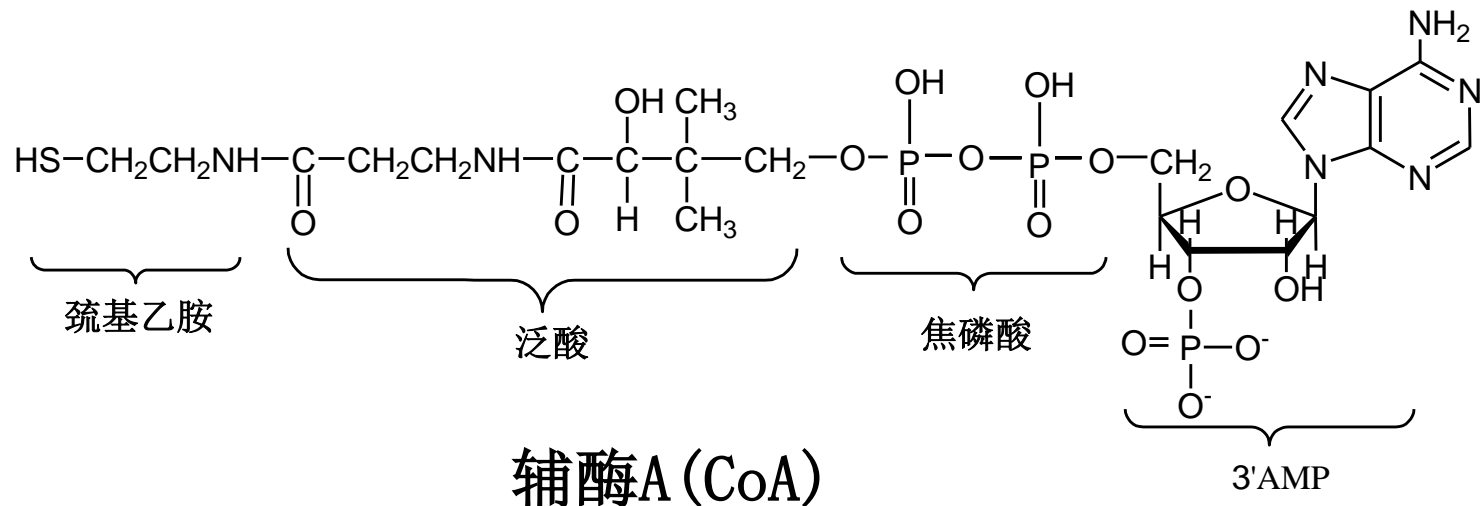
五、泛酸

(一) 化学本质及性质

■ 泛酸（pantothenic acid）又名遍多酸

■ 体内活性形式：辅酶A(CoA)

酰基载体蛋白(ACP)



（二）生理功能及缺乏症

生理功能

- 辅酶A及ACP是酰基转移酶的辅酶，参与酰基的转移作用。
- 辅酶A被广泛用作治疗各种疾病的重要辅助药物。

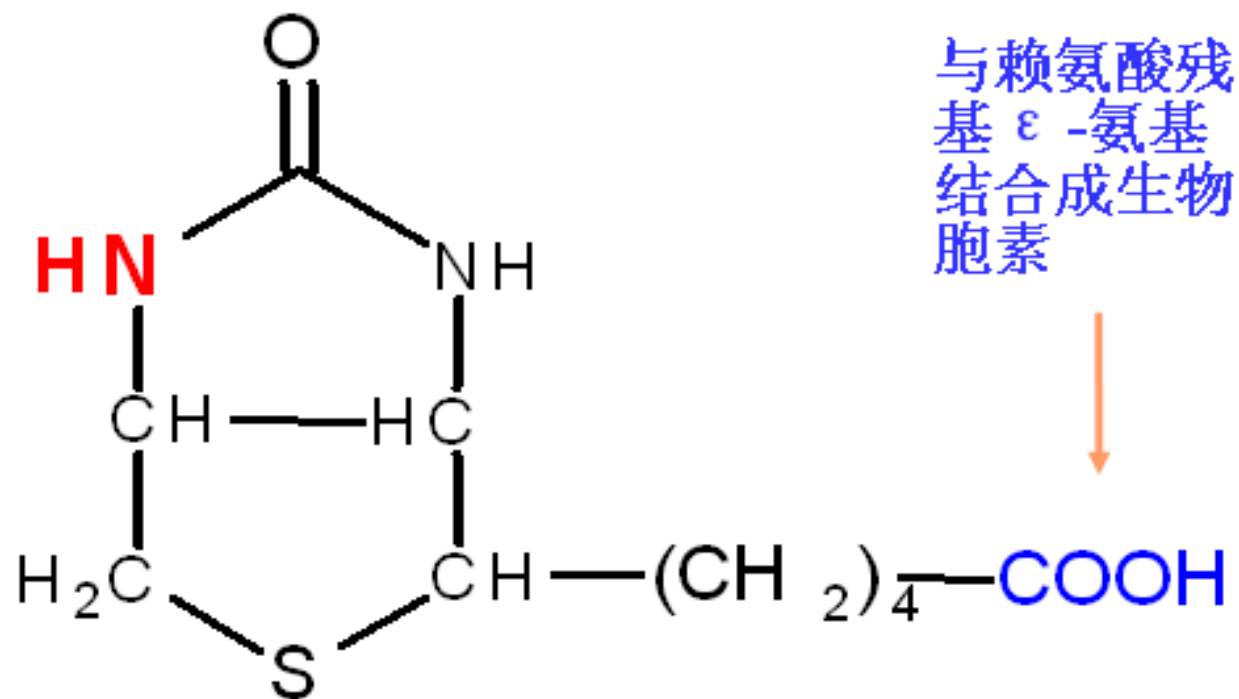
六、生物素

（一）化学本质及性质

生物素（biotin）的来源广泛，人体肠道菌也能合成。

（二）生理功能及缺乏症

- 生物素是体内多种羧化酶（如丙酮酸羧化酶、乙酰CoA羧化酶）的辅基。
- 生物素参与细胞信号转导和基因表达。

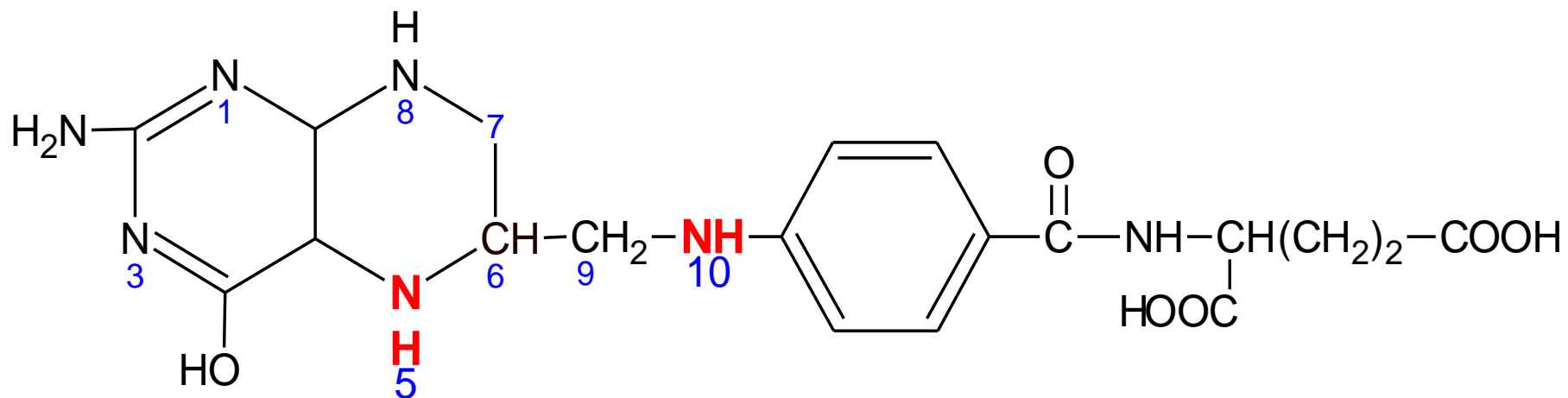


生物素的结构式

七、叶酸

（一）化学本质及性质

- 叶酸（folic acid）又称蝶酰谷氨酸
- 体内活性形式为四氢叶酸(FH_4)



5, 6, 7, 8-四氢叶酸

(二) 生理功能及缺乏症

1. 生理功能

- FH_4 是体内一碳单位转移酶的辅酶
- FH_4 影响甲硫氨酸的生成

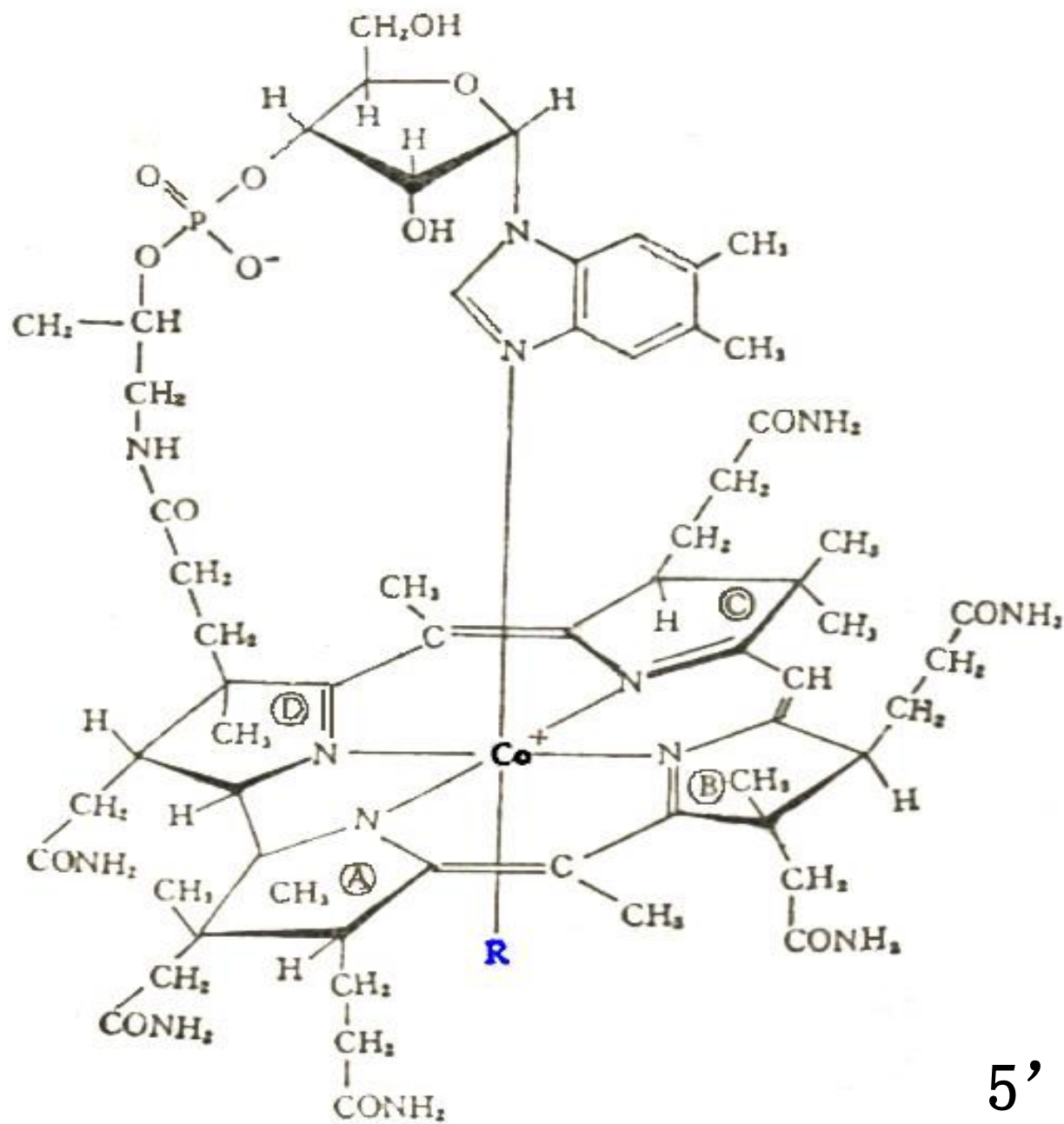
2. 缺乏症

巨幼细胞贫血

八、维生素B₁₂

(一) 化学本质及性质

- 维生素B₁₂又称钴胺素 (cobalamin)
- 体内活性形式： 甲基钴胺素
5'-脱氧腺苷钴胺素



R: $-\text{CH}_3$

甲基钴胺素

R: 5'-脱氧腺苷

5'-脱氧腺苷钴胺素

（二）生理功能及缺乏症

1. 生理功能

- 维生素B₁₂是甲基转移酶（甲硫氨酸合酶）的辅酶
- 维生素B₁₂影响脂肪酸的合成

2. 缺乏症

巨幼细胞贫血、神经疾患

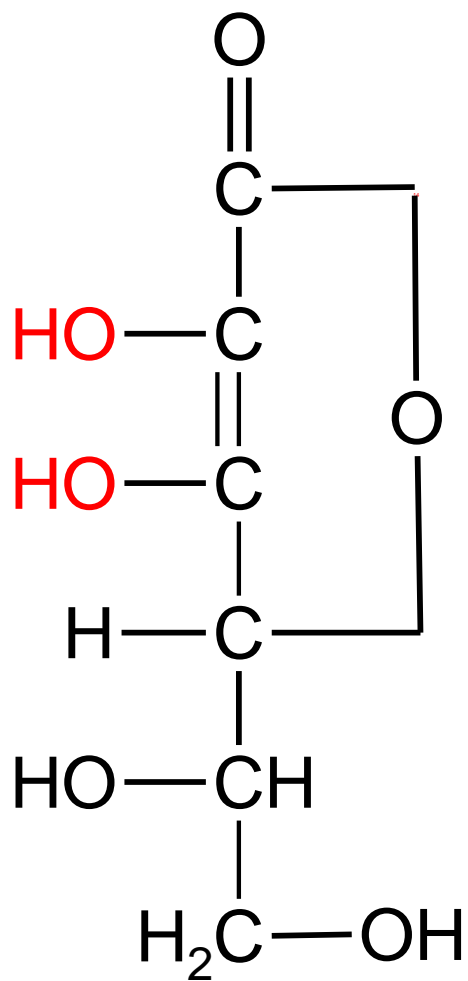
九、维生素C

(一) 化学本质及性质

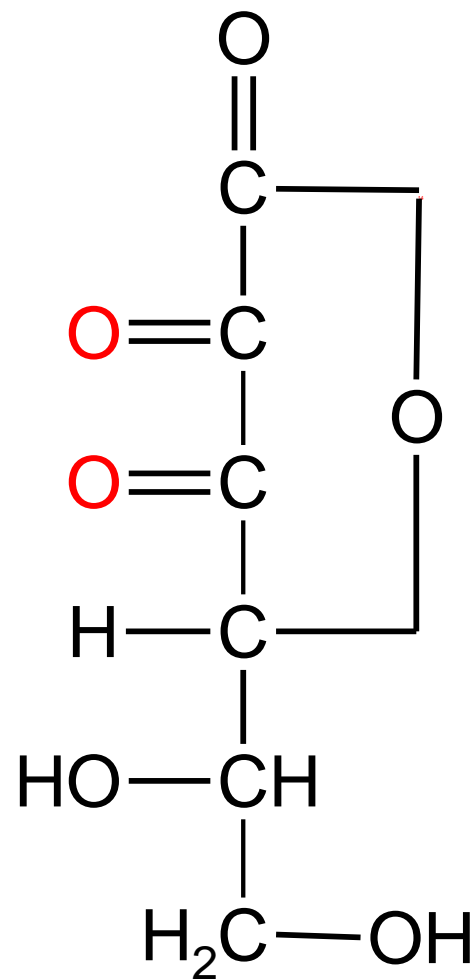
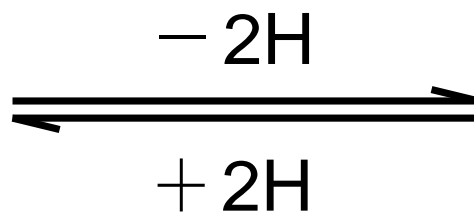
维生素C又称L-抗坏血酸 (ascorbic acid) , 呈酸性, 对热不稳定。广泛存在于新鲜蔬菜和水果中。

动物体内不能合成维生素C, 必需由食物供给。过量摄入的维生素C可随尿排出体外。

抗坏血酸分子中C2和C3羟基可以氧化脱氢生成脱氢抗坏血酸, 后者也可以加氢还原。



维生素C



脱氢维生素C

(二) 生理功能及缺乏症

1. 生理功能

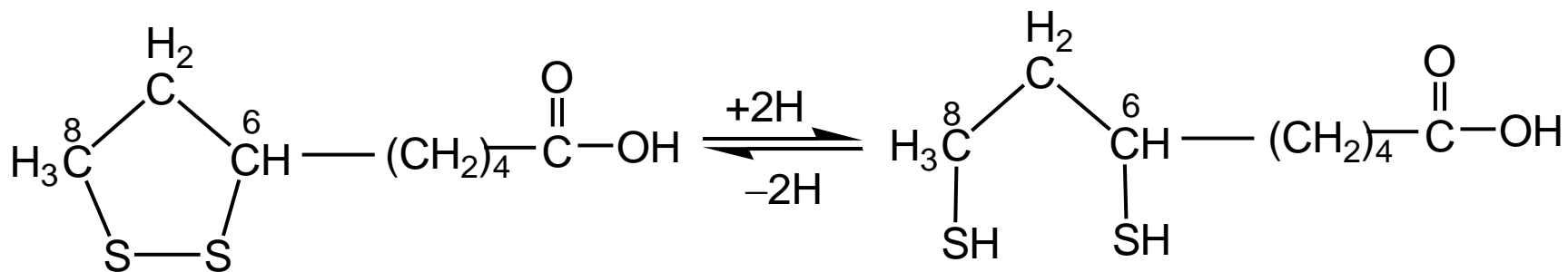
- 参与体内多种羟化反应
- 参与体内多种氧化还原反应
- 增强机体的免疫力

2. 缺乏症

坏血病

十、硫辛酸

硫辛酸 (lipoic acid) 是硫辛酸乙酰转移酶的辅酶，起转酰基作用。



硫辛酸的氧化还原

第四节 必需微量元素

(Essential Trace Element)

概念

微量元素指占人体总重量 $1 / 10000$ 以下，每人每日需要量在 100 mg 以下的元素。虽然所需甚微，但生理作用却十分重要。

种类

主要包括有铁、锌、铜、锰、硒、碘、钴、氟、铬、钼等10余种。

一、铁

1. 体内含量、需要量及分布

- 铁是体内含量最多的微量元素。
- 铁的需要量个体差异很大，成年男性平均含铁量约为每千克体重50 mg，女性约为每千克体重30 mg。

分布：1) 铁卟啉化合物：75%

2) 非铁卟啉类含铁化合物：25%（如含铁的黄素蛋白、铁硫蛋白、转铁蛋白等）。

2. 铁的吸收

- 吸收部位：十二指肠及空肠上段，无机铁以 Fe^{2+} 吸收。络合物中的铁的吸收大于无机铁。
- 铁 (Fe^{3+}) 在血液中与运铁蛋白结合而运输。
- 能将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} 的物质如谷胱甘肽、维生素C及能与铁离子络合的物质有利于铁的吸收。

3. 生理功能与缺乏症

- 铁是血红蛋白、肌红蛋白的主要成分，参与 O_2 、 CO_2 的运输。
- 铁参与过氧化氢酶、过氧化物酶、细胞色素氧化酶等的合成。

铁的缺乏：小细胞低血色素性贫血（缺铁性贫血）

铁摄入过剩：血色素沉着症

二、锌

锌（zinc）在人体内的含量仅次于铁，为1.5~2.5 g。成人每日需锌15~20 mg。

血锌水平：0.1~0.15mmol/L

运输形式：清蛋白或运铁蛋白结合而运输

储存形式：与金属硫蛋白结合

排泄方式：主要经粪排泄，其次为尿、汗、乳汁

生理功能与缺乏症

生理功能：含锌金属酶的组成成分、锌指蛋白
中锌指模体的成分。

缺乏症：皮肤炎、伤口愈合缓慢、儿童发育不良、生殖器官发育受损等。

三、碘

成人体内含碘（iodine）30～50 mg，其中30%集中在甲状腺内，供合成甲状腺激素。

吸收部位：在小肠，吸收后的碘有70%～80%
被摄入甲状腺细胞内贮存、利用。

排出途径：尿碘，约85%，其他由汗腺排出。

生理功能与缺乏症

生理功能：

- 是参与甲状腺激素的合成
- 抗氧化作用

缺乏症：地方性甲状腺肿、呆小病

中毒：高碘性甲状腺肿、碘性甲状腺功能亢进

四、硒

人体含硒（selenium）为14~21 mg。成人日需要量在30~50 μg 。

运输形式：与 α 和 β 球蛋白结合，小部分与VLDL结合而运输。

排泄方式：主要随尿及汗液排泄。

生理功能与缺乏症

- 以硒半胱氨酸的形式存在于硒蛋白。
- 作为谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-P_x) 活性中心的组成部分，具有抗氧化作用，保护细胞膜和蛋白质作用，可加强维生素E的抗氧化功能。
- 硒参与辅酶Q和辅酶A的合成。
- 硒能抵抗汞、镉、砷等元素的毒性作用。

缺乏症： 大骨节病及克山病。

五、铜

成人人体内铜（copper）的含量为80~110 mg，肌肉中约占50%，10%存在于肝。铜主要在十二指肠吸收，受血浆铜蓝蛋白调控。

运输形式： 60%的铜与铜蓝蛋白紧密结合，其余的与清蛋白疏松结合或与组氨酸形成复合物。

排泄方式： 主要随胆汁排泄。

生理功能与缺乏症

生理功能：

- 体内多种酶的辅基，参与构成体内许多含铜的酶及含铜的生物活性蛋白质。
- 含铜酶多属氧化酶类，参与儿茶酚胺类激素、黑色素及神经递质的代谢，对中枢神经系统及内分泌功能等均有重要影响。

缺乏症：小细胞低色素性贫血、神经疾患。

六、锰

人体内含锰（manganese）12~20 mg。成人每日需2~5 mg。

吸收部位：小肠吸收。

运输形式：大部分与血浆中 β_1 -球蛋白(运锰蛋白)结合而运输。

储存部位：骨、肝、胰和肾

排泄方式：主要经胆汁，从肠道排出，尿中排泄很少。

生理功能与缺乏症

- 多种酶的组成成分和激活剂。
- 参与体内的糖、脂肪、蛋白质的代谢。
- 参与体内的免疫功能、抗自由基作用。

缺乏症：生长发育受到影响 。

七、钴

- 人体对钴的最小需要量为 $1\mu\text{g}$ ，主要从尿中排泄，人体排钴能力强，少有钴蓄积的现象发生。
- 钴主要以 B_{12} 的形式发挥作用。
- 钴缺乏可致 B_{12} 缺乏，而 B_{12} 缺乏可引起巨幼细胞贫血等疾病。

八、氟

成人体内含氟(fluorine)2~6g，其中90%分布于骨、牙中，少量存在于指甲、毛发及神经肌肉中。

吸收部位：胃肠和呼吸道。

运输形式：与球蛋白结合，小部分以氟化物形式运输。

血中水平：20 $\mu\text{mol/L}$

排泄方式：尿中排泄

生理功能与缺乏症

- **功能：**氟与骨、牙的形成及钙磷代谢密切相关。
- **缺乏症：**骨质疏松，易发生骨折。
- **中毒：**骨脱钙和白内障，可影响肾上腺、生殖腺等多器官功能。

九、铬

- 正常成人体内含铬（chromium）量约为6mg，广泛分布于所有组织。
- 胰岛素发挥作用必须有铬的参与。
- 铬缺乏的主要症状为葡萄糖耐量降低。
- 铬缺乏还可引起生长停滞、动脉粥样硬化和冠心病等。

十、钼

- 钼（molybdenum）是人体内黄嘌呤氧化酶等活性酶的组成成分。
- 钼可妨碍铜在体内的利用。
- 缺钼地区的人群中食管癌发病率增加。

思考题

1. 维生素的概念是什么？引起维生素缺乏的原因有哪些？
2. 脂溶性维生素包括哪几种？它们各有何生理功能？
3. 水溶性维生素包括哪几种？它们各有何生理功能？