



维生素

食品化学
曲文娟
江苏大学





概论

- 定义 (**Definition**)
- 维生素的作用 (**Functions**)
- 维生素的分类 (**Classification**)
- 维生素的性质 (**properties**)
- 维生素的命名 (**Numbering**)
- 影响维生素稳定性的因素
- 影响维生素稳定性的加工处理
- 保护维生素稳定性的措施



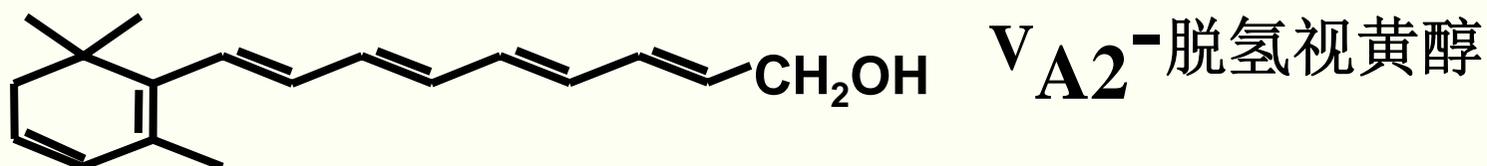
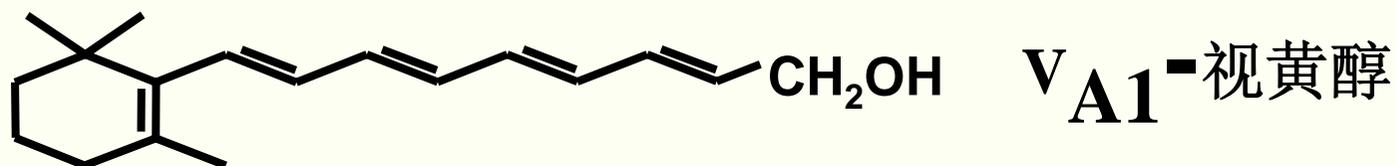
分类(Classification)

- 脂溶性维生素 (Fat soluble vitamins)
 - VA, VD, VE, VK
- 水溶性维生素 (Water soluble vitamins)
 - 复合VB, VC
- 类维生素 (Vitamin-like substance)
 - 类黄酮 (Flavonoid), 胆碱 (choline), 肌醇 (inositol), 肉碱 (carnitine) 等
- 假维生素 (Pseudovitamin)
 - VB13, VB15, VB17, VH3, VU, 葡萄糖耐受因子
- 维生素的特点: 小分子有机物质, 许多是含N或S的杂环类; 必需; 需要量很少; 必须从食物中摄入。
- 类和假维生素: 非必需, 但在某些方面具有维生素的作用。



1. V_A 性质 (properties)

- 20个C构成的不饱和烃类化合物
- 包括视黄醇及相关化合物和一些类胡萝卜素
- 可以是醇、醛、酸或酯的形式
- 多个共轭双键，异戊二烯生物合成而来
- 双键有顺式和反式，当为全反式结构时活性最高



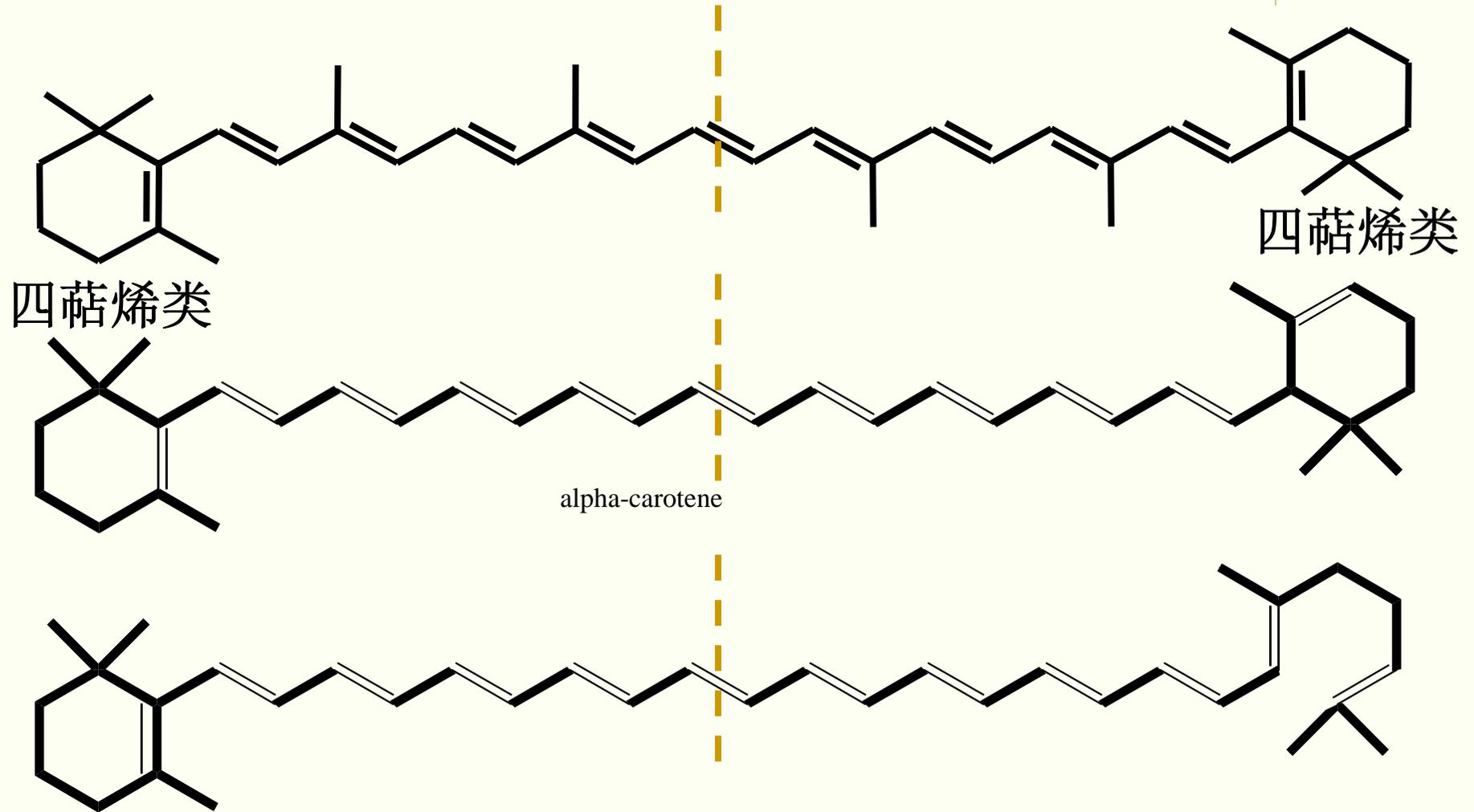


类胡萝卜素 (Carotenoid)

- 类胡萝卜素 (carotenoid)：40个C的类异戊烯聚合物，即四萜化合物。链状或环状含有8个异戊间二烯单位、四萜烯类头尾连接。
- 是一类不溶于水的色素，溶于脂溶剂，不稳定，易氧化。
- 已知600多种，其中不含氧的碳氢类有胡萝卜素 (carotene)、菌脂素等；含氧的非常多，有醇、酮、醚、醛、环氧化物、羧酸和酯等，它们之中大量存在的有岩藻黄质 (fucoxanthin)、叶黄素 (lutein)、莖菜黄质 (violaxanthin)、新黄质 (neoxanthin) 等，均属于胡萝卜醇。
- 普遍存在于动物、高等植物、真菌、藻类和细菌中的黄色、橙红色或红色的色素，主要是β-胡萝卜素和γ-胡萝卜素。



Carotenoid structures





β - carotene (β -胡萝卜素)

- β -胡萝卜素是哺乳动物合成**维生素A**的前体，称为**维生素A原**。
- β -胡萝卜素、 α -胡萝卜素等在动物体内变为**视黄醇（维生素A）**和**视黄醛（维生素A醛）**，与视觉有关。
- 1 β -胡萝卜素 \longrightarrow 2 V_A
- 1 α -胡萝卜素 \longrightarrow 1 V_A
- 1 γ -胡萝卜素 \longrightarrow 1 V_A



V_A 单位(unit)

- 1 IU（国际单位）维生素A = 1IU 维生素A₂(3-脱氢视黄醇)
 - = 0.344 μ g 维生素A 醋酸酯
 - = 0.300 μ g 维生素A 醇(视黄醇)
 - = 0.600 μ g β -胡萝卜素
- 正常成人每天的最低需要量约为3500 IU，儿童约为2000-2500 IU。

V_A 和类胡萝卜素来源

sources



- ❑ 维生素A只存在于动物性食物中，维生素A₁存在于哺乳动物及咸水鱼的肝脏中，而维生素A₂存在于淡水鱼的肝脏中。肝脏、蛋黄、乳类、鱼脂肪为维生素A的主要来源。植物组织中尚未发现维生素A。
- ❑ 黄橙色和绿色植物性食品富含胡萝卜素，包括蔬菜、水果、薯类、谷类等。

V_A 和类胡萝卜素稳定性 stabilization



□ 氧化:

有氧、光照、较低水分活度下易发生，脂氧合酶的作用和脂类氧化促进维生素A和胡萝卜素的损失。

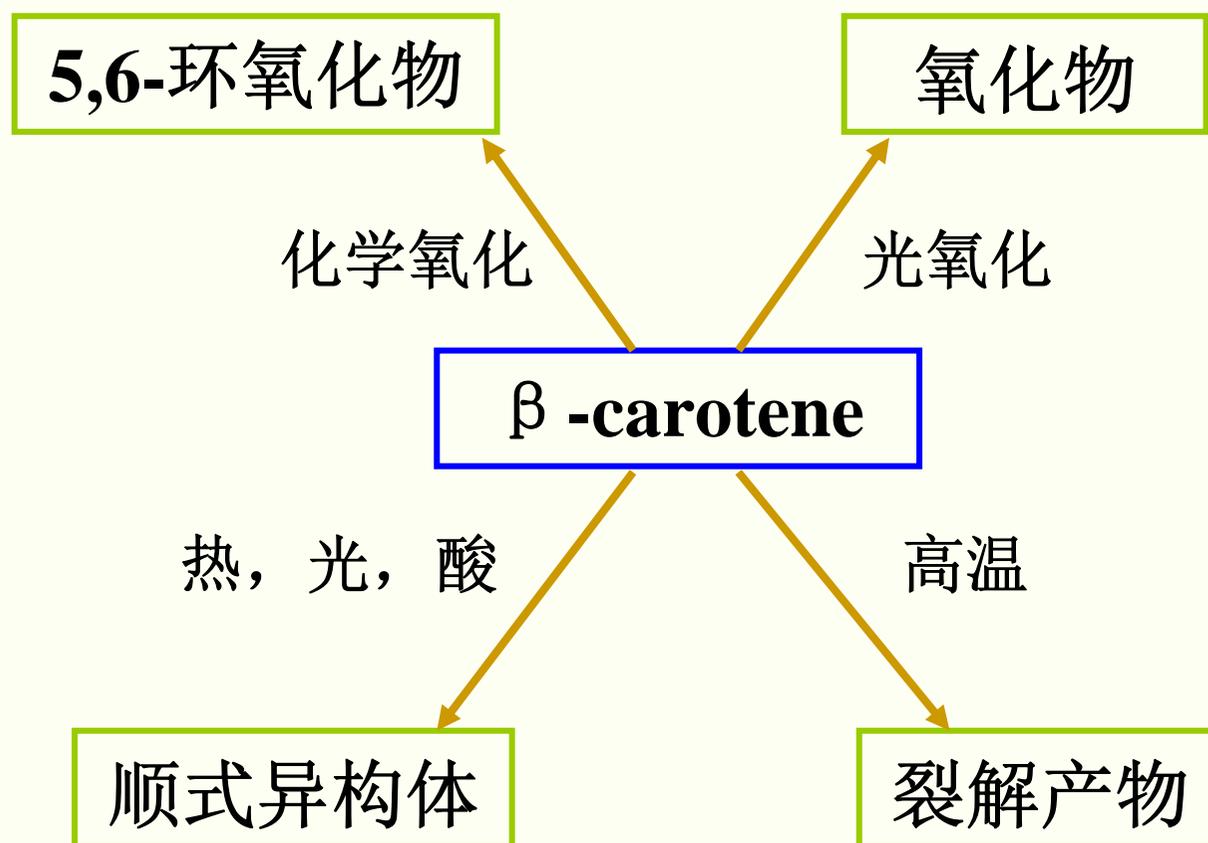
□ 顺反异构:

加热、光照、酸性条件下异构成顺式产物，生物活性下降。

□ 降解:

高温下分解为烃类。

胡萝卜素降解 degradation



2. V_D 性质 properties

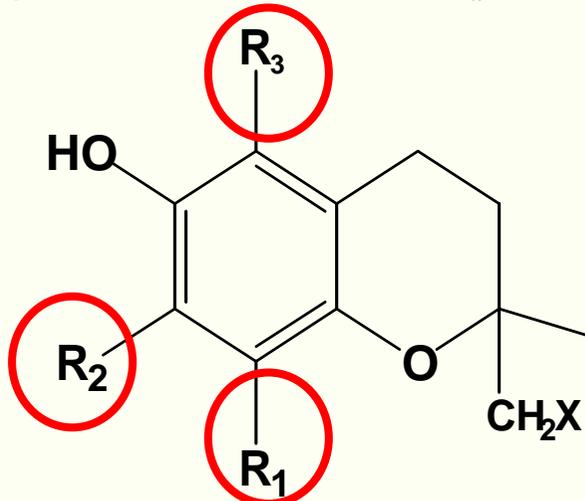


- V_D是具有胆钙化醇生物活性的甾醇类化合物。
 - V_{D2}（麦角钙化甾醇），植物性食品，酵母中存在。
 - V_{D3}（胆钙化甾醇），由人及动物皮肤中7-脱氢胆固醇转化而来。主要来源为动物性食品，如肝脏、蛋黄、黄油、奶制品。
- 1 IU维生素D₃= 0.025 μg结晶维生素D₃
1 μg结晶维生素D₃ = 40 IU维生素D₃
- 日光浴是获得维生素D的主要方式。
- 对热较稳定，但油脂氧化酸败会使其破坏。光、氧会导致其损失。

3. V_E 性质 properties



- V_E 是6-羟基苯并二氢吡喃（母育酚）的衍生物
 - 生育酚类：α-, β-, γ-, δ-, 其中以α-生育酚活性最大。动物性食品中α-生育酚是V_E的主要形式，植物性食品中存在多种形式。
 - 生育三烯酚类：α-, β-, γ-, δ-。
- 酚类物质，可提供氢，具有抗氧化性。



	R ₁	R ₂	R ₃
α	CH ₃	CH ₃	CH ₃
β	CH ₃	H	CH ₃
γ	H	CH ₃	CH ₃
δ	H	H	CH ₃

V_E 来源

sources



- 植物种子中均含有维生素E。
 - 全谷类食品
 - 各种豆类
 - 坚果类
 - 蔬菜类
- 植物油为维生素E的主要膳食来源，精炼后破坏部分维生素E。

V_E 稳定性 stabilization

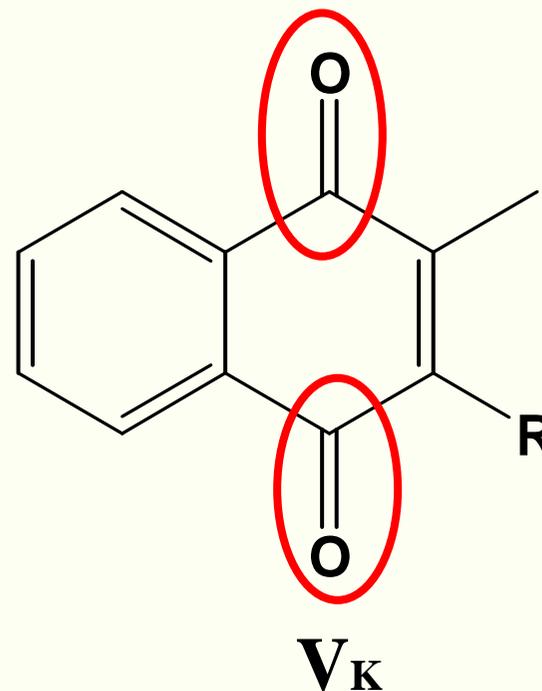


- 氧气、氧化剂使其降解
- 脂类氧化使其损失
- 金属离子催化其氧化
- 强碱性条件下使其降解

4. V_K 性质 properties



- V_K 为2-甲基-1, 4-萘醌衍生物，主要是叶绿醌(维生素 K_1)。维生素 K_2 由细菌合成。
- 醌类物质，具有还原性。



V_K 来源和稳定性

source and stabilization



- 绿叶蔬菜是维生素K的最佳来源。
- 酵母、鱼肉中含有维生素K。

- 主要降解因素：光、射线和pH。
 - 对加热和酸性稳定，碱性下不稳定。
 - 可被空气中的氧缓慢氧化而分解。
 - 遇见光特别是紫外线很快被破坏。

5. Vc 性质 properties



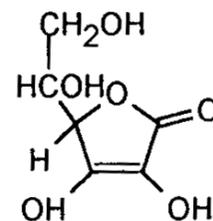
- 羟基羧酸的内酯
- 烯二醇结构具有很强的还原性
- 可以解离出两个氢离子
- 脱氢形式和未脱氢形式可以相互转变
- 自然界存在的抗坏血酸是**L-异构体**，**D-异构体**很少。
- 在食品中使用时，**D-异构体**不是作为维生素的用途而是作为抗氧化剂添加到食品中的。

Vc 来源

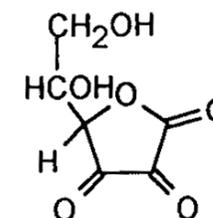
sources



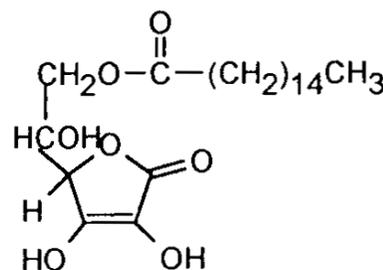
- 主要存在于**蔬菜和水果**当中。**动物**性食品除**肝脏**之外，均不是**维生素C**的来源。
- 富含**VC**的食品包括**绿叶蔬菜**、**椒类**、**花苔类**、**番茄**、**柑桔类**、**莓类**、**猕猴桃**、**鲜枣**、**山楂**等。



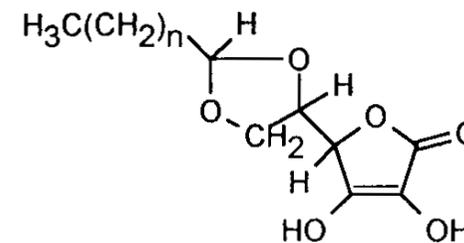
L- 抗坏血酸



L- 脱氢抗坏血酸



抗坏血酸棕榈酸酯



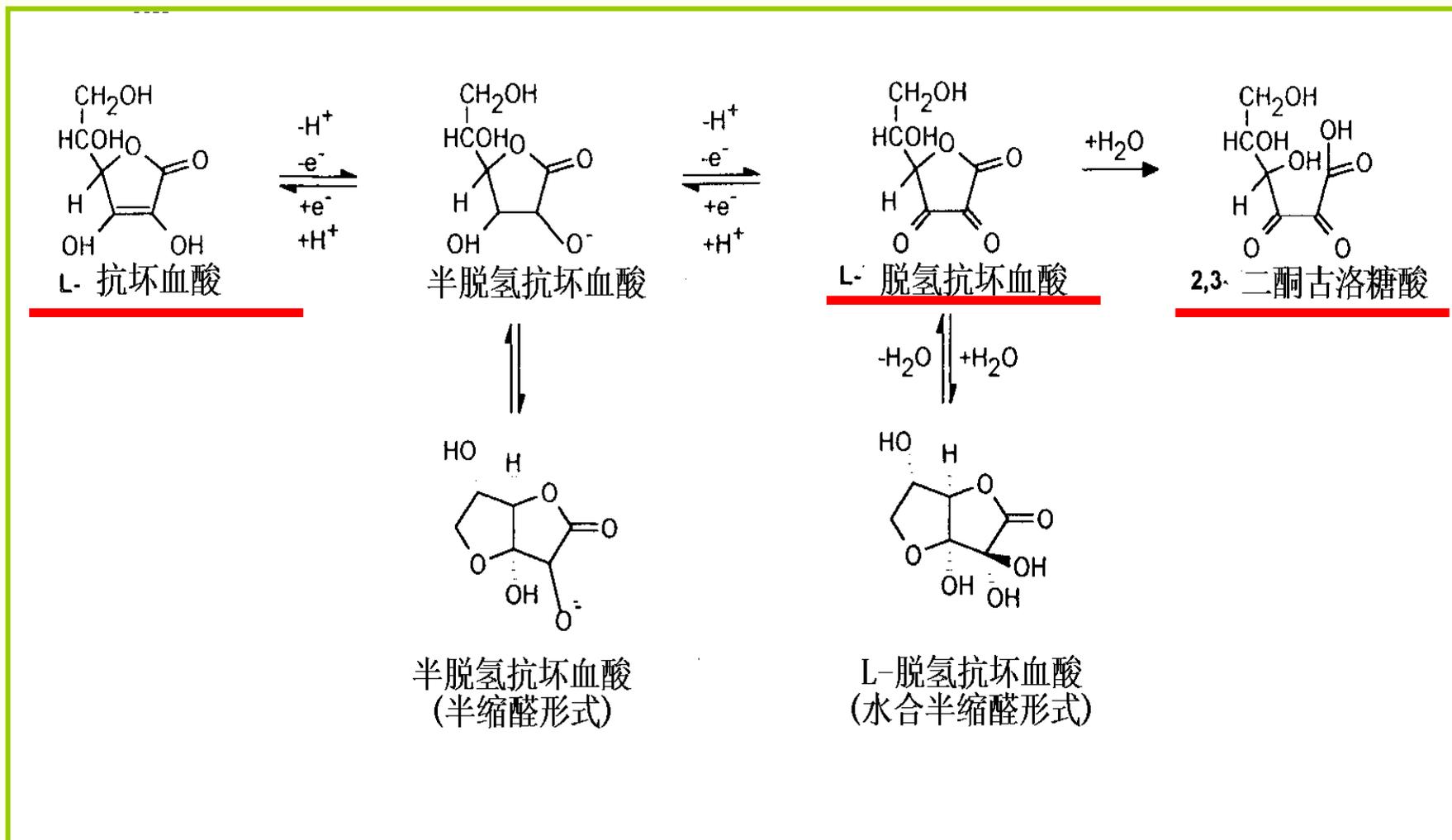
抗坏血酸缩醛

Vc 稳定性 stabilization



- 加热
- 中性和碱性条件下其不稳定
- 氧气
- 氧化酶
- 金属离子:促进其氧化
- 光照和射线
- 水分活度

Vc氧化降解 oxidative degradation



Vc 稳定性 stabilization



- 酸性稳定
- 除去氧气
- 螯合金属离子
- 添加糖和淀粉等物质
- 低温
- 避光
- 热烫灭酶
- 添加亚硫酸盐
- 添加其他还原剂



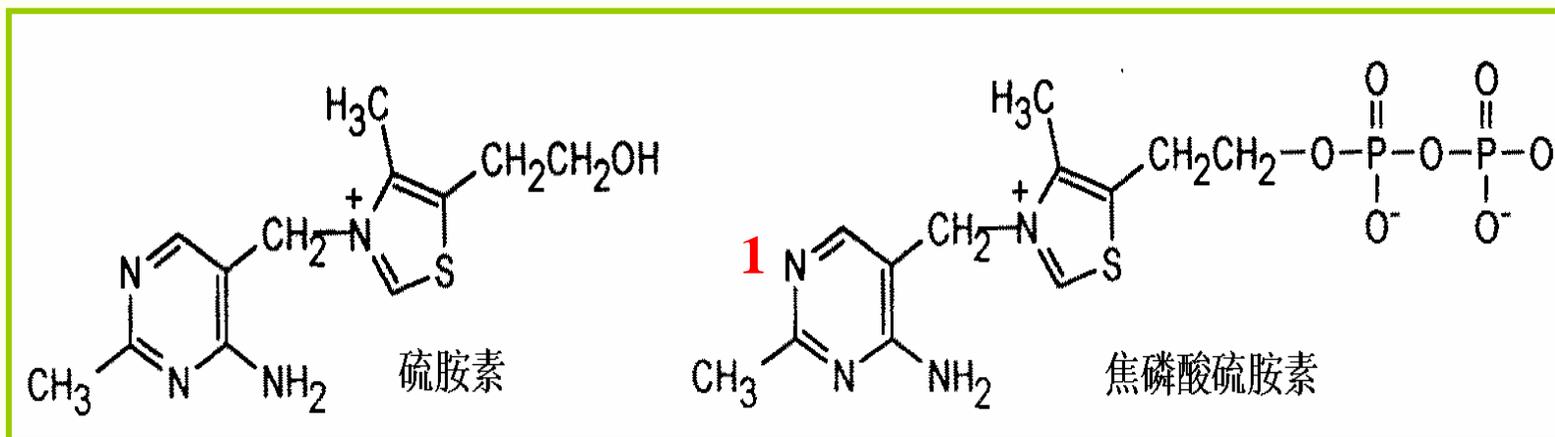
6. V_B 族 family

- V_B 族均为水溶性维生素，在体内的主要作用是作为辅酶发挥生物活性。
- V_B 族有游离形式、辅酶形式和与酶蛋白结合的形式。
- V_B 族多为杂环小分子化合物，含N、S原子。其中 V_{B12} 含有金属原子。
- V_{B1} 、 V_{B2} 、叶酸和 V_{B12} 在膳食中发生缺乏的现象较为常见，其稳定性受到重视。



① V_{B1} properties

- 化学名：硫胺素（Thiamin）
- 结构：取代的嘧啶环通过亚甲基和取代的噻唑环相连，是含S、N杂环。
- 活性形式：焦磷酸硫胺素
- 生理作用：羧化辅酶
- 稳定性：是 V_B 族维生素中最不稳定的。嘧啶环上的N1可以得到或失去质子。





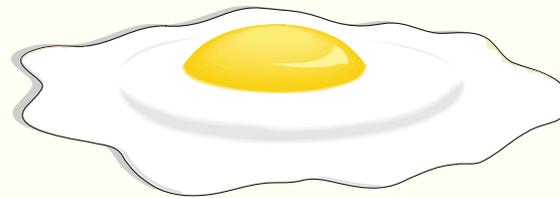
V_{B1} stabilization

- **pH**: 酸性条件下质子化的硫胺素稳定性最高。碱性下硫胺素的噻唑环开环形成硫醇，稳定性低。
- **加热**: 导致亚甲基桥断裂。pH6以上降解速度上升，pH8以上噻唑环完全断裂。油炸的高温可以使硫胺素完全破坏。
- **氧化剂**: 会使硫胺素断裂降解。
- **硫胺素酶或某些蛋白质**: 催化硫胺素分解。
- **SO₂/SO₃²⁻**: 亚硫酸离子取代了噻唑环而失活。pH6时破坏力最大。
- **单宁类物质**: 生成加成物而失活。
- **胆碱**: 使硫胺素分子开裂而降解。
- **水分活度**: 水分活度0.4以下损失小。0.5-0.65损失最大。
- **溶水流失**: 硫胺素极易溶于水损失。



V_{B1} sources

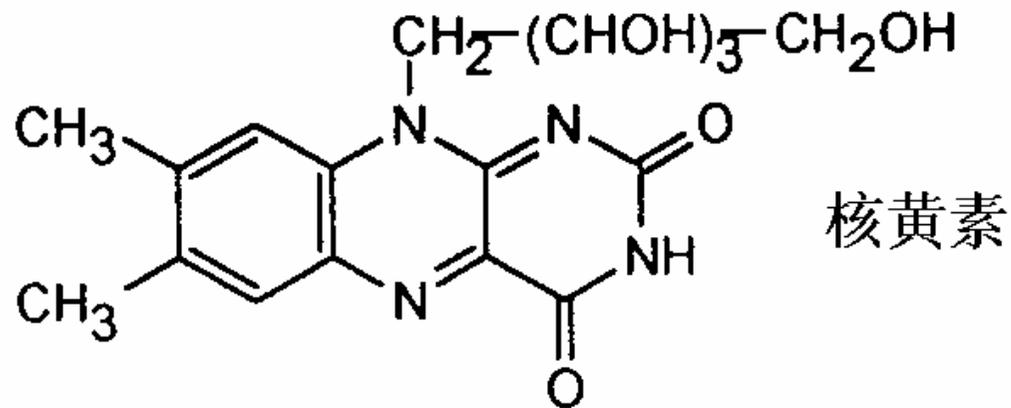
- 动物内脏
- 瘦猪肉
- 鸡蛋
- 豆类
- 坚果
- 全谷类





② V_{B2} properties

- 化学名：核黄素（**Riboflavin**）
- 结构：带有核糖醇侧链的**异咯嗪**衍生物
- 活性形式：**FAD, FMN**
- 生理作用：**氧化还原辅酶**
- 稳定性：烹调加工中较稳定，储藏中损失小。



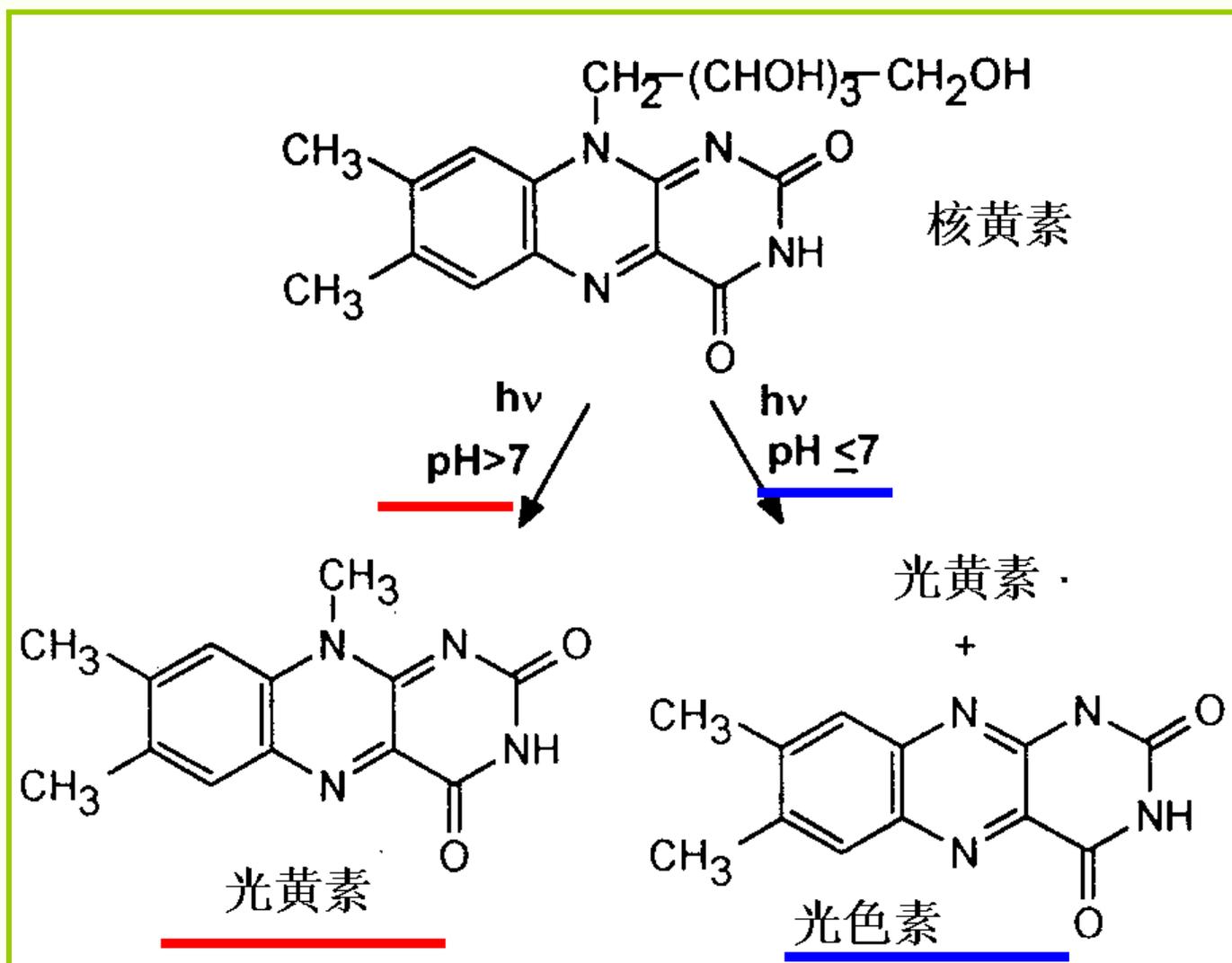


V_{B2} stabilization

- 对酸、热、氧稳定，在碱性下不稳定。
- 光照：光照下快速分解，特别是紫外光。生成光黄素或光色素，是强氧化剂和自由基生成剂。



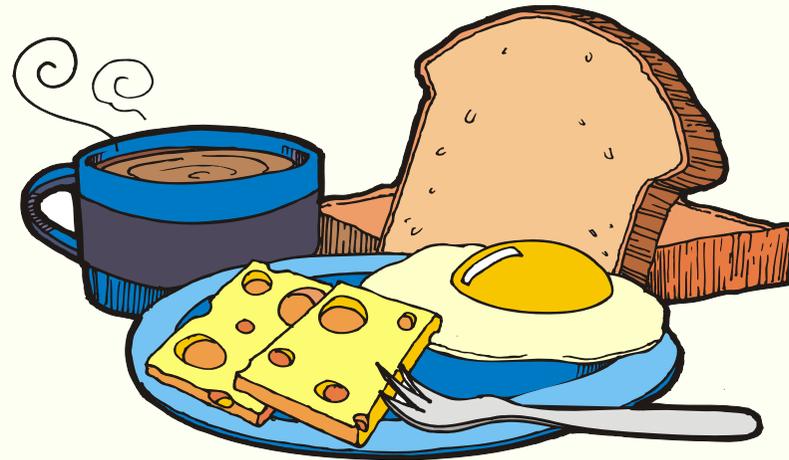
V_{B2} degradation





V_{B2} sources

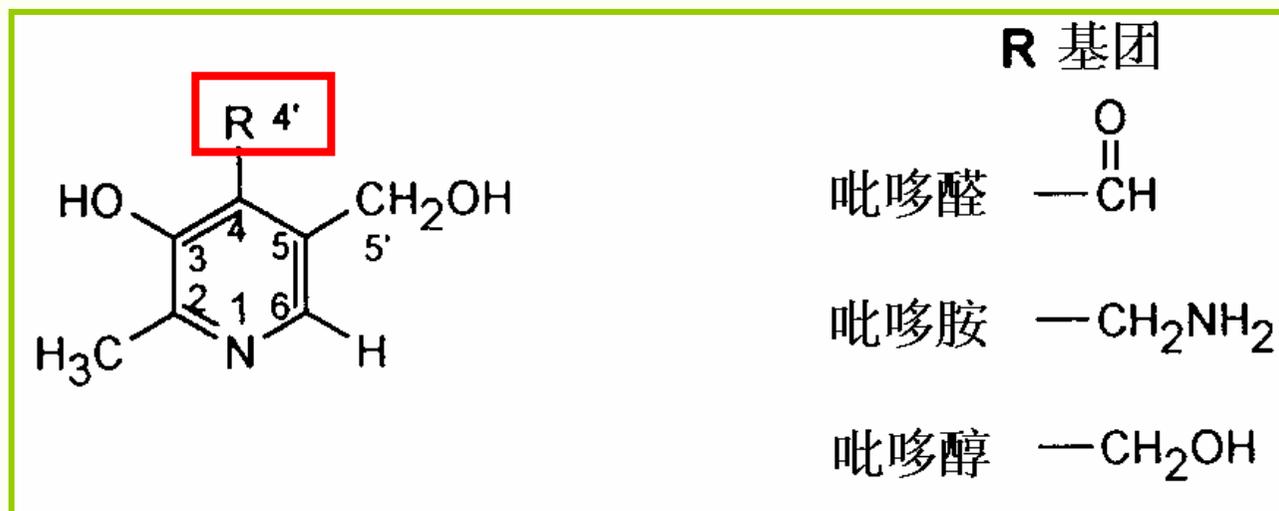
- 脏、肾、心
- 奶类
- 蛋类
- 瘦肉
- 豆类
- 绿叶菜





③ V_{B6} properties

- 化学名：吡哆醇、吡哆醛、吡哆胺
(pyridoxine, pyridoxal, pyridoxamine)
- 结构：吡啉的衍生物
- 活性形式：磷酸吡哆醇/醛/胺
- 稳定性：烹调加工中有一定损失。





V_{B6} stabilization

- **加热**: 吡哆醇较稳定，醛和胺易破坏
- **光照**: 碱性条件下对光和紫外线敏感，形成4-吡哆酸。
- **pH**: 吡哆醛在pH5损失最大，吡哆胺pH7损失最大。
- **氨基酸**: 形成Schiff base而部分失活。
- **自由基**: 形成无活性产物。



V_{B6} sources

- 牛奶：吡哆醛
- 内脏：吡哆醛和吡哆胺
- 瘦肉：吡哆醛和吡哆胺
- 鸡蛋：吡哆醛和吡哆胺
- 全谷类：吡哆醇-5'-糖苷（ β -D-葡萄糖苷）
- 蔬菜：吡哆醇-5'-糖苷（ β -D-葡萄糖苷）

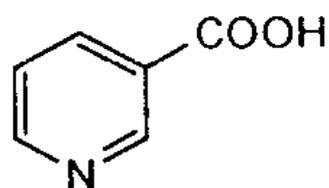


④ V_{B5}/V_{PP} properties

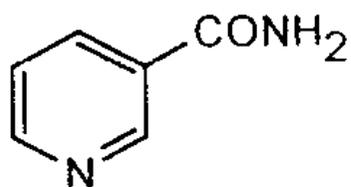
- 化学名：尼克酸/烟酸 (**Niacin**)
- 结构：**3-羧酸吡啶及其酰胺**（烟酸和烟酰胺）
- 活性形式：**NAD, NADP**
- 存在形式：游离型和结合型
- 稳定性：**最稳定的一种维生素**
- 主要损失途径：**溶水流失**



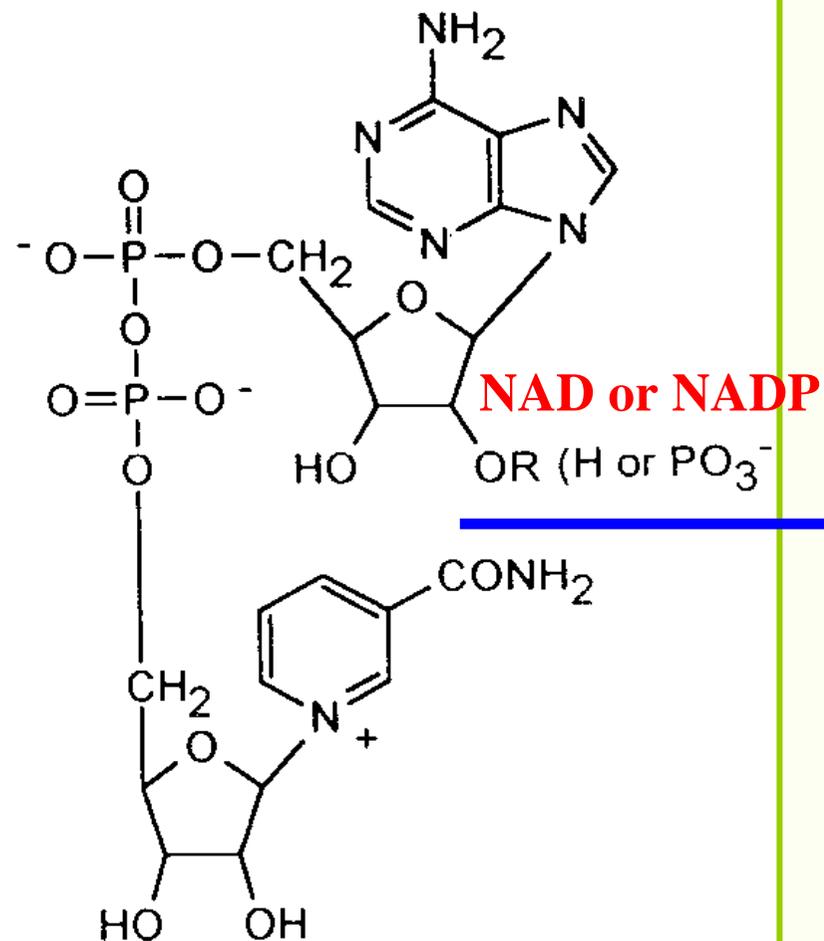
NAD, NADP



烟酸



烟酰胺



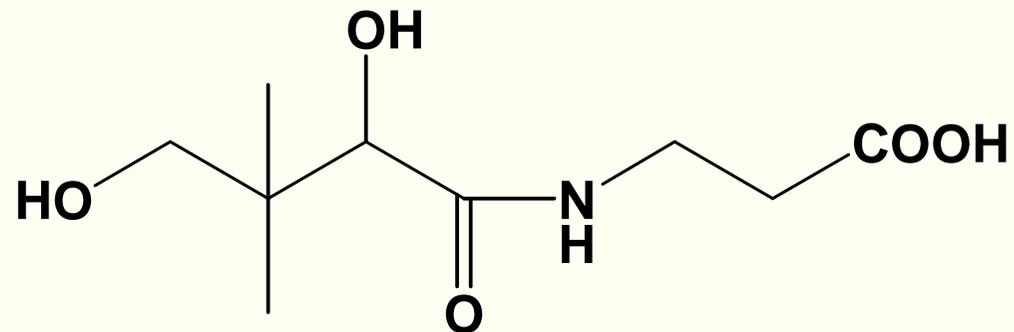
烟酰胺腺嘌呤二核苷酸



⑤ V_{B3} properties

- 化学名：泛酸（Pantothenic acid）
- 结构：D-(+)-N-(2,4-二羟基-3,3-二甲基丁酰)- β -丙氨酸，只有D-型化合物才具有活性。
- 活性形式：辅酶A
- 稳定性：较稳定。pH5-7之间稳定，酸性条件下加热降解。有溶水流失问题。
- 食物存在：各种食物中均含有泛酸。

泛酸



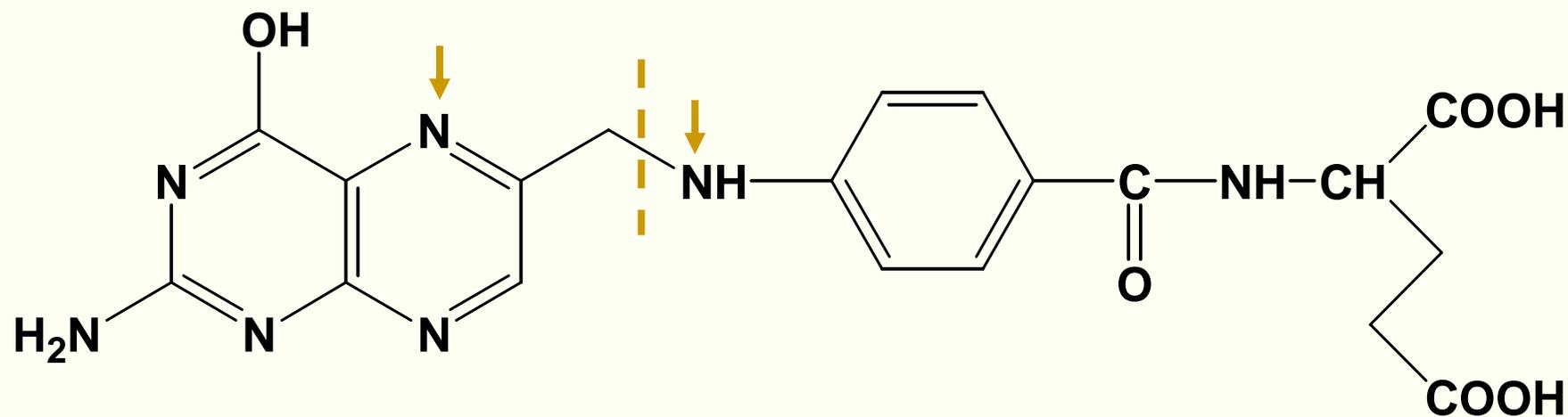


⑥ V_{B11} properties

- 化学名：叶酸（**Folic acid**）
- **结构**：L-谷氨酸与对氨基苯甲酸的羧基相连，后者与2-氨基-4-羟基-6-甲基喋呤相连。
- 活性形式：一碳单位取代的四氢叶酸（四氢叶酸盐和叶酸盐）。
- 稳定性：是最不稳定的维生素之一。



V_{B11} structure



蝶呤

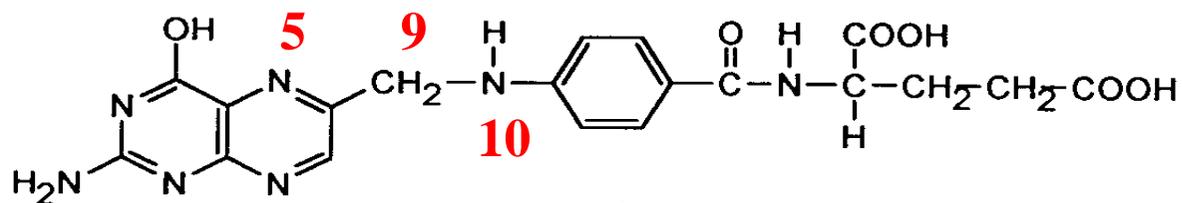
对氨基苯甲酸

谷氨酸

蝶酰-L-谷氨酸（叶酸）的结构

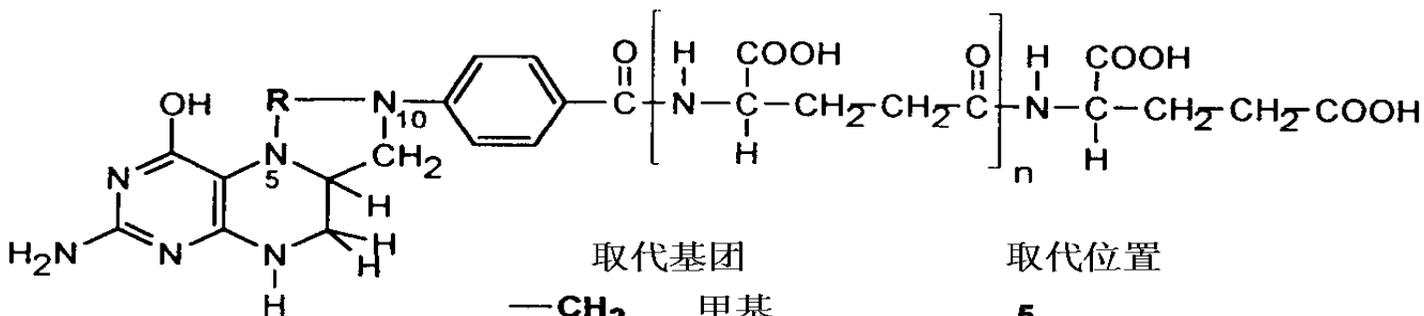


叶酸和多谷氨酸叶酸的结构



叶酸(蝶酰-L-谷氨酸)

多谷氨酸四氢叶酸



取代基团

- CH₃ 甲基
- CHO 甲酰
- CH=NH 甲酰亚胺
- CH₂— 亚甲基
- CH= 甲烯基

取代位置

- 5
- 5 or 10
- 5
- 5 and 10
- 5 and 10



V_{B11} stabilization

- **形式**: 叶酸最稳定, 四氢叶酸最不稳定。N⁵N¹⁰取代物较稳定。
- **pH**: 四氢叶酸仅在pH7和3时稳定, pH4-6最易降解。
- **氧气**: 氧化后发生裂解而失活。
- **氧化剂**: C⁹-N¹⁰键断裂而失活。
- **亚铁离子、还原糖**: 可提高其稳定性。
- **V_C、硫醇**: 作为还原剂可以清除氧自由基, 可提高其稳定性。
- **次氯酸盐**: 造成分子断裂。
- **亚硫酸盐**: 发生还原裂解。
- **亚硝酸**: 促进氧化降解。
- **Cu²⁺和Fe³⁺**: 催化其氧化。
- **有机酸螯合剂**: 减少氧化。



V_{B12} stabilization

- **pH**: pH4-7稳定。中性下长时间加热发生损失。强酸、碱性条件下降解。
- **V_c**、亚硫酸盐、硫胺素和烟酸：促进降解
- **Fe²⁺**：促进降解



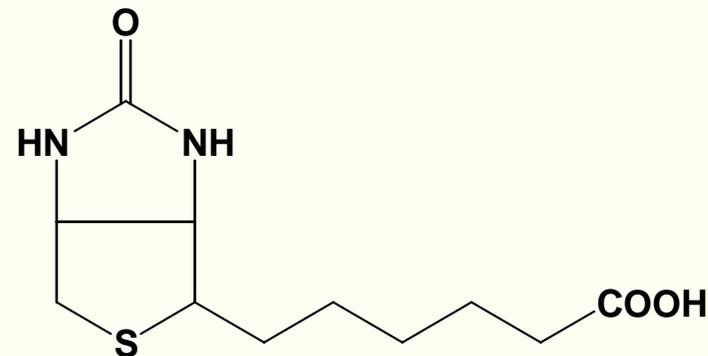
V_{B12} sources

- 各种动物性食品，如肝、肾、心脏等
- 鱼、蛋黄
- 发酵食品
- 是唯一可以由微生物合成的维生素，微生物食品
- 植物性食品中不存在V_{B12}

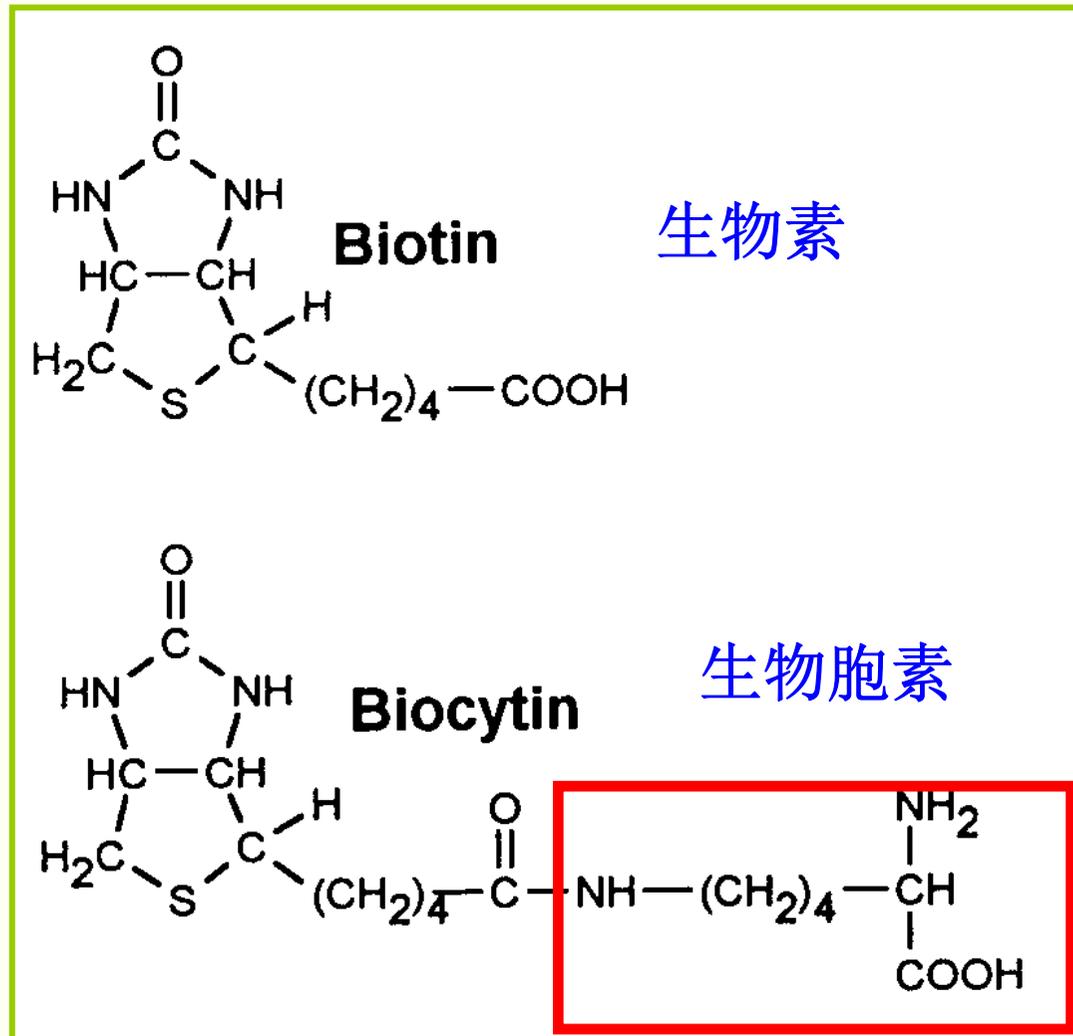


⑧ V_H properties

- 化学名：生物素（**Biotin**）
- 结构：脲和噻吩组成的五员骈环。
- 活性形式（顺式）**N-生物素-L-赖氨酸**，**生物胞素（Biocytin）**
- 稳定性：**温和条件下稳定**，强酸、强碱条件下发生降解，特别是强酸加热时发生降解。
- 食物来源：各种食物中均含生物素，动物性食品 and 全谷类较多。



Biotin (生物素) and Biocytin (生物胞素) structures





维生素命名

字母名	化学名	化学特点	字母名	化学名	化学特点
V _{B1}	硫胺素	含S、N杂环	V _H	生物素	含N、S
V _{B2}	核黄素	异咯嗪	V _C	抗坏血酸	内酯
V _{B3}	泛酸	含氨基酸	V _A	视黄醇	不饱和烃
V _{B5}	尼克酸	吡啶类	V _D	胆钙化醇	甾醇类
V _{B6}	吡哆醇	吡啶类	V _E	生育酚	酚类
V _{B11}	叶酸	含喋呤	V _K	叶绿醌	醌类
V _{B12}	钴胺素	含卟啉环			



影响维生素稳定性的因素

维生素	主要损失因素	烹调损失%
维生素C	热, 碱, 光, 氧化剂, 金属离子	100
胡萝卜素	氧化剂, 光	30
硫胺素	碱性, 加热, 二氧化硫	100
核黄素	光, 碱性	75
吡哆醇	光, 加热, 氨基酸	40
叶酸	酸, 碱, 加热, 氧化剂, 金属	100
维生素B ₁₂	酸, 碱, 加热, 氧化还原剂	10

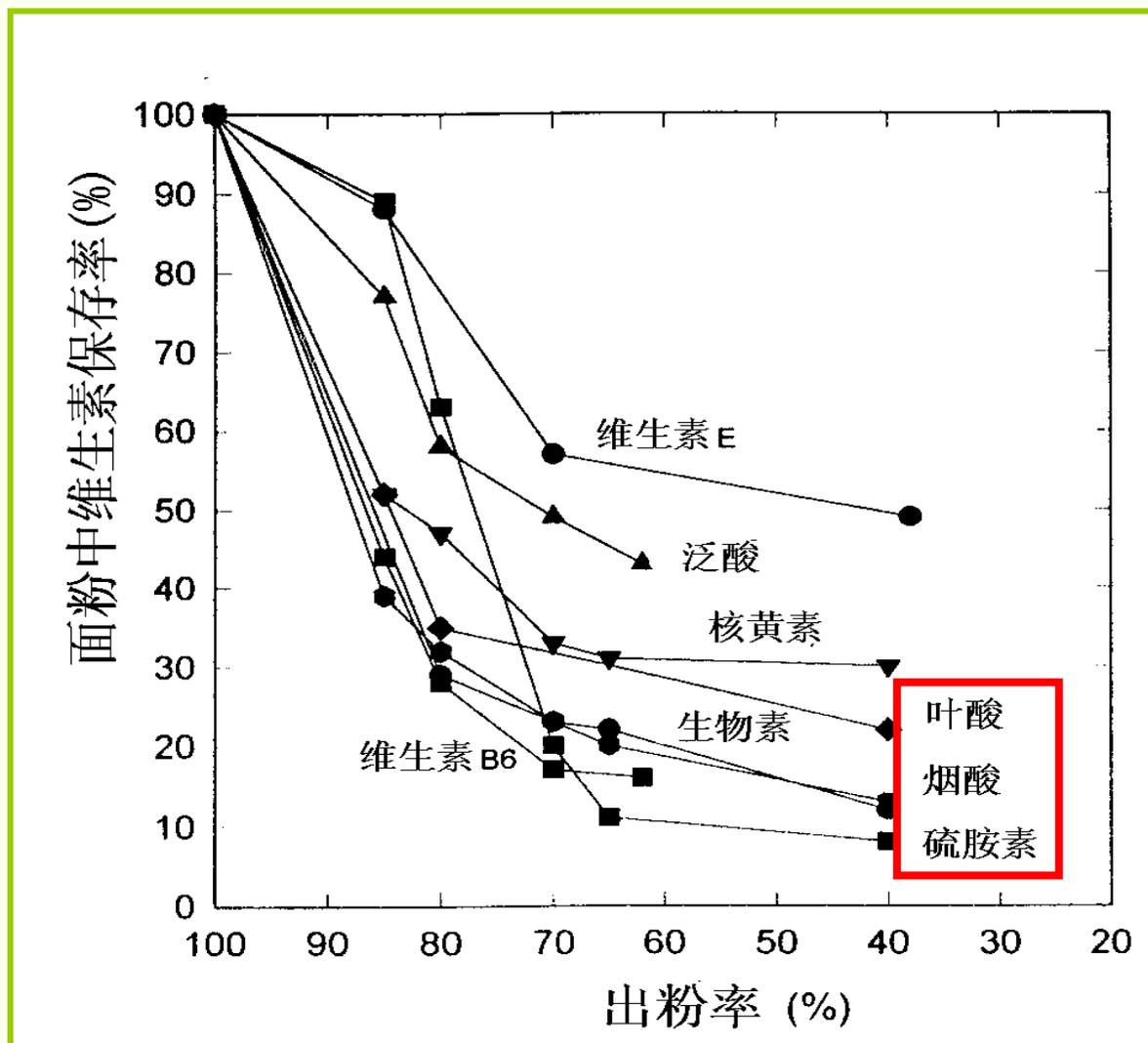


影响维生素稳定性的因素

- 采后（灾后）
- 预处理
- 淋洗与热烫处理
- 加工时添加各种化学物质

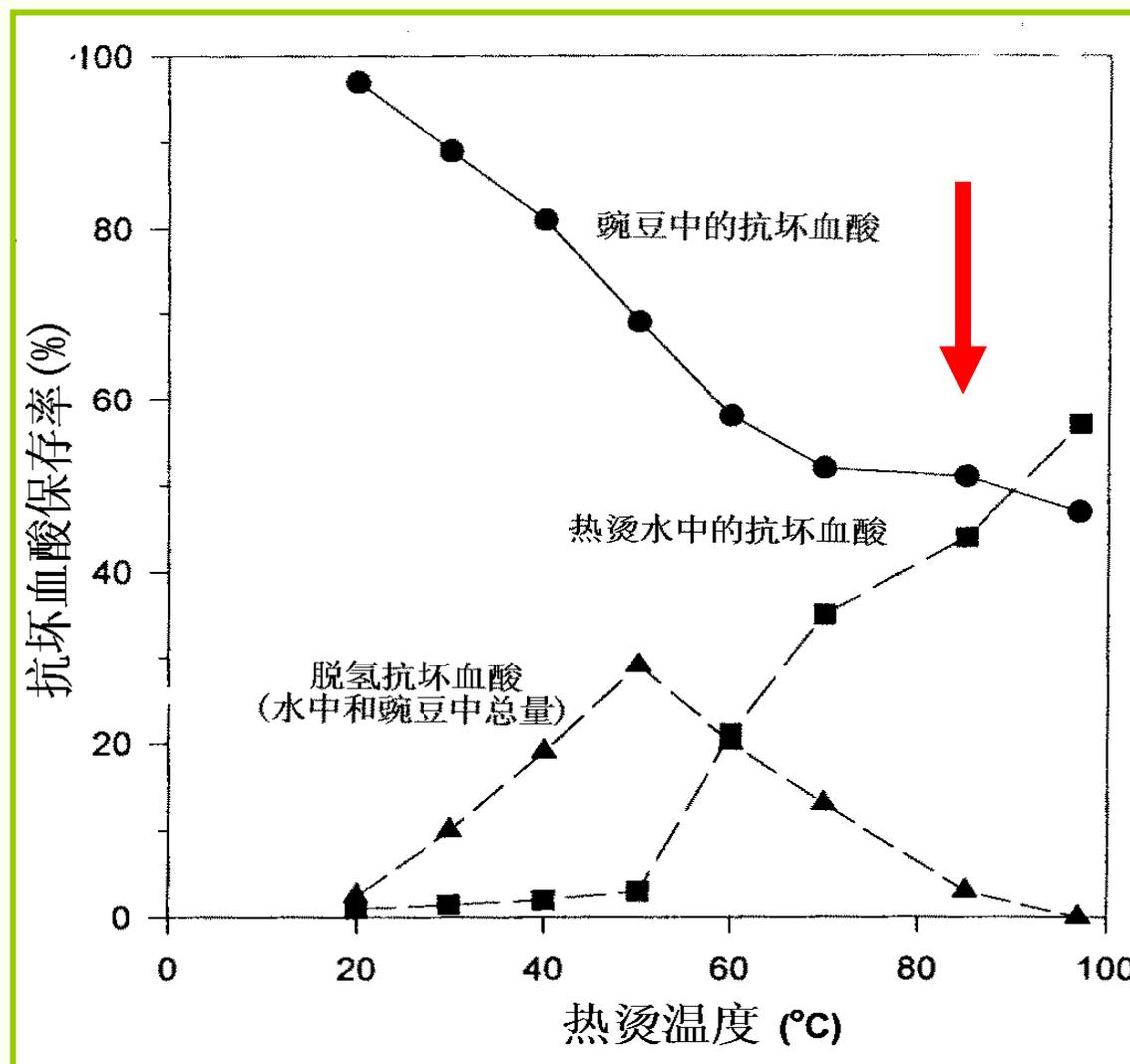


谷类精制中的维生素损失





热烫中的Vc损失





蔬菜烹调后的维生素损失/%

原料	烹调方式	维生素C	胡萝卜素
辣椒	切丝，油炒1.5分钟	22	10
韭菜	切段，油炒5分钟	48	6
小白菜	切段，油炒12分钟	31	6
豇豆荚	切段，油炒25分钟	33	7



蔬菜热烫后的维生素损失/%

原料	维生素C	硫胺素	核黄素	尼克酸
青豆	26	9	5	7
豌豆	24	12	25	27
菠菜	39	23	19	11
芦笋	5	8	10	6

蔬菜罐头灭菌后的 维生素损失/%



食 物	维生素C	硫胺素	核黄素	尼克酸	胡萝卜素
青豆	45	29	4	8	13
豌豆	28	46	18	35	3
菠菜	48	76	24	22	0
番茄	7	4	0	2	20

肉罐头灭菌后的 维生素损失/%



食物名称	硫胺素	核黄素	尼克酸
牛肉丁	67	0	0
牛肉块	81	24	44
原汁猪肉	67	0	23
绞羊肉	84	0	13



抑制维生素损失的方法

- 低温、阴凉处储藏
- 控制加热温度和加热时间
- 加热后迅速降温
- 避光、避射线
- 隔氧、吸氧、加入抗氧化剂，避免脂肪氧化
- 控制酸碱性条件
- 加入金属螯合剂
- 减少溶水流失
- 控制加工精度，减少富含维生素部位的损失
- 注意其它添加剂，如亚硫酸盐和氧化剂的影响

Vitamin-like substance

(类维生素)



	生理功能	膳食来源
类黄酮	防止毛细血管出血，改善血管通透性，对高血压、心血管病人有益，并保护体内维生素C	蔬菜、柑橘类水果、山楂、枣、荞麦等
胆碱	磷脂的成分，神经递质乙酰胆碱的成分，并可预防脂肪在肝脏中的蓄积。缺乏导致肝脏损害。	大豆、蛋、肝、胚芽、花生等；可由蛋氨酸合成
肉碱	将长链脂肪酸从细胞质转移到线粒体进行氧化	各种食物中存在
肌醇	生物膜中磷脂的成分，并可促进脂蛋白的合成，改善脂质代谢，预防脂肪肝。	食物磷脂，谷类、豆类中的植酸

Vitamin-like substance (类维生素)



	生理功能	膳食来源
对氨基苯甲酸	叶酸中的组成成分，防日晒，对皮肤、毛发有益	肝、酵母、全谷、胚芽等
牛磺酸	促进人脑神经细胞发育、神经网络形成和神经细胞存活时间	各种水产品 母乳
辅酶Q	是电子传递链中的成分之一，与维生素E同样具有抗氧化作用，保护生物膜	各种食物中存在
乳清酸	是核酸的构成成分，也是抗脂肪肝因子	各种食物中存在



问题(Questions)

- 各维生素的化学名称和别名是什么？
- 维生素按溶解性如何分类？
- 各维生素的主要食物来源是什么？
- 哪些维生素最容易在加工烹调中受到破坏？
- 加工过程中哪些环节会造成维生素C的损失？
- 加工过程中哪些环节会造成维生素B1的损失？