



# 矿物质

食品化学

曲文娟

江苏大学

11/12/2012



# 矿物质定义

- 定义：除碳、氢、氧、氮主要以有机化合物（**organic compounds**）存在外，其余统称矿物质（无机盐，**minerals**）
- 微量元素虽然在人体中需求量很低，但其作用却非常大。如：“锰”能刺激免疫器官的细胞增值，大大提高具有吞噬、杀菌、抑癌、溶瘤作用的巨噬细胞的生存率。“锌”是直接参与免疫功能的重要生命相关元素，因为锌有免疫功能，故白血球中的锌含量比红血球高**25**倍。“锶、铬”可预防高血压，防治糖尿病、高血脂胆石。“碘”能治甲状腺肿、动脉硬化，提高智力和性功能。“硒”是免疫系统里抗癌的主要元素，可以直接杀伤肿瘤细胞。

# 矿物质分类

## □ 分类:

□ 常量（宏量）元素（**macroelements**）

□ 微量（痕量）元素（**microelements/trace elements**）

■ 常量元素：钙、磷、钠、钾、氯、镁、硫等。

■ 微量元素：

★ 必需微量元素（**Essential microelements**）

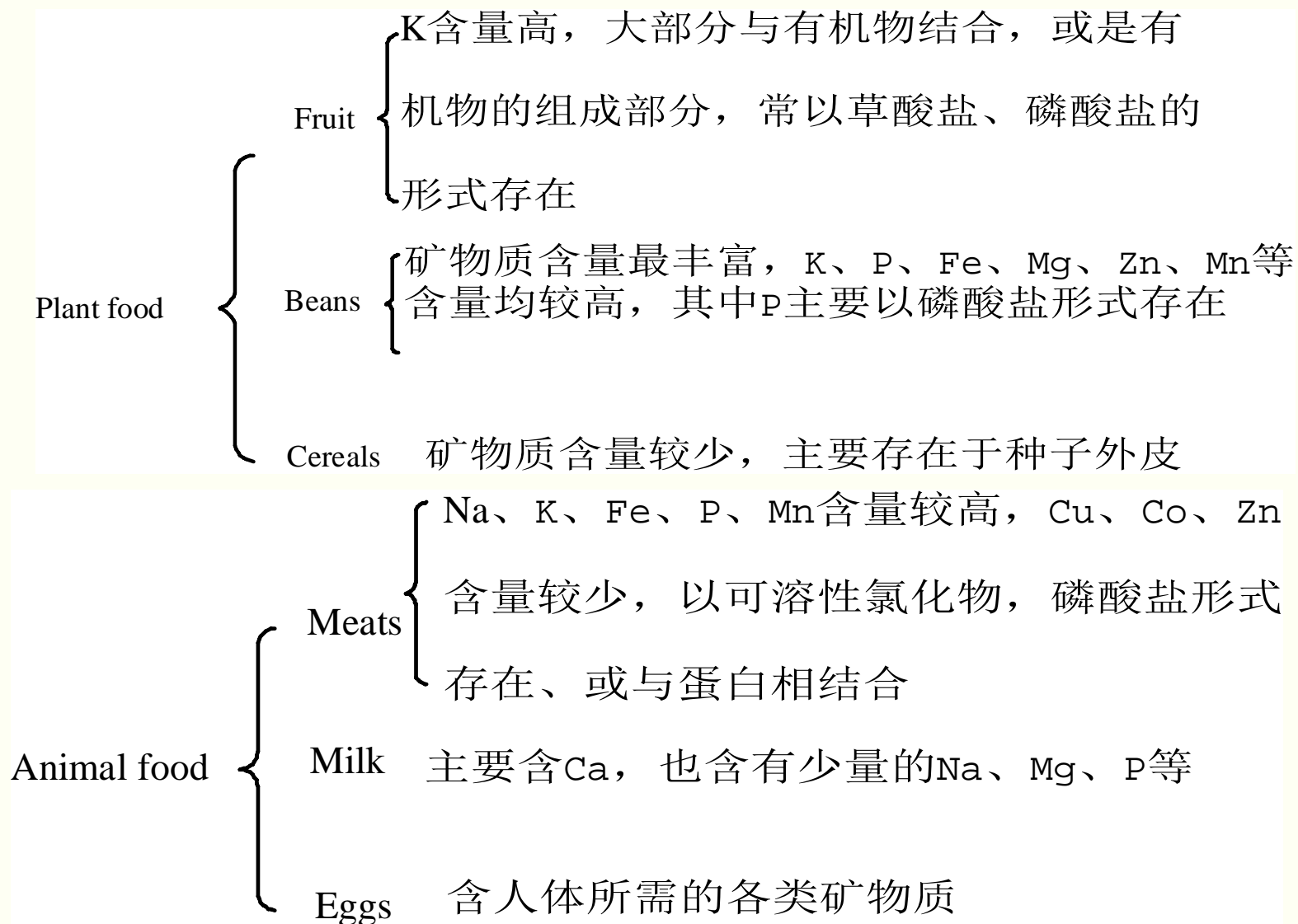
铜、钴、铬、铁、氟、碘、锰、钼、硒、锌

★ 可能必需微量元素（**Possible essential microelements**）

硅、镍、硼、钒

★ 有潜在毒性（**toxicity**），但低剂量（**low dosage**）可能有功能作用的微量元素：铅、镉、汞、砷、铝、锡、锂

# 矿物质资源



# 矿物质性质

## 1、Dissolubility (溶解性)

离子型 (Ionic type)、络合物型 (Complex)、螯合物型 (Chelate)、含氧阴离子型 (Oxoanion)

## 2、酸碱性

Lewis酸 (Lewis acid)、Lewis碱 (Lewis alkali)  
酸性食品 (Acid foods)  
碱性食品 (Alkaline foods)

含有阴离子酸根的非金属元素较多的食品，在体内代谢后的产物多呈酸性，故在生理上称为酸性食品，如肉、鱼  
含有阳离子金属元素较多的食品在生理上成为碱性食品，如蔬菜、豆类等。

# 酸性/碱性食品

## (Acid/Alkaline foods)

- **强酸性食品**：蛋黄、乳酪、甜点、白糖、金枪鱼、比目鱼。
- **中酸性食品**：火腿、培根、鸡肉、猪肉、鳗鱼、牛肉、面包、小麦。
- **弱酸性食品**：白米、花生、啤酒、海苔、章鱼、巧克力、空心粉、葱。

---

- **强碱性食品**：葡萄、茶叶、葡萄酒、海带、柑橘类、柿子、黄瓜、胡萝卜。
- **中碱性食品**：大豆、蕃茄、香蕉、草莓、蛋白、梅干、柠檬、菠菜等。
- **弱碱性食品**：红豆、苹果、甘蓝菜、豆腐、卷心菜、油菜、梨、马铃薯。

# 矿物质性质

□ 3、氧化还原性(Oxidation and reduction)

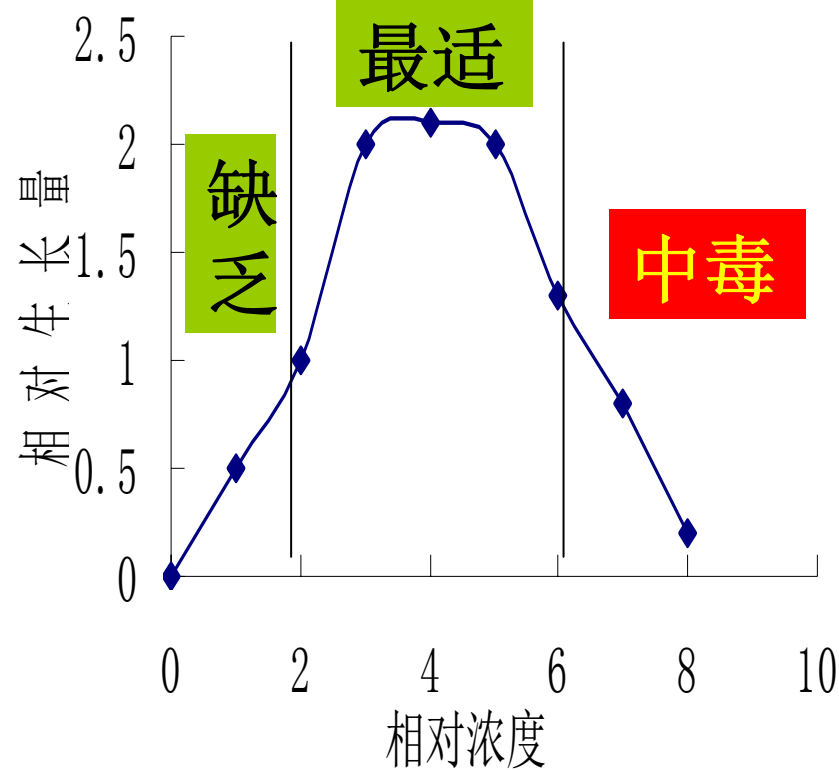
□ 4、螯合效应(Chelate)

与小分子有机物

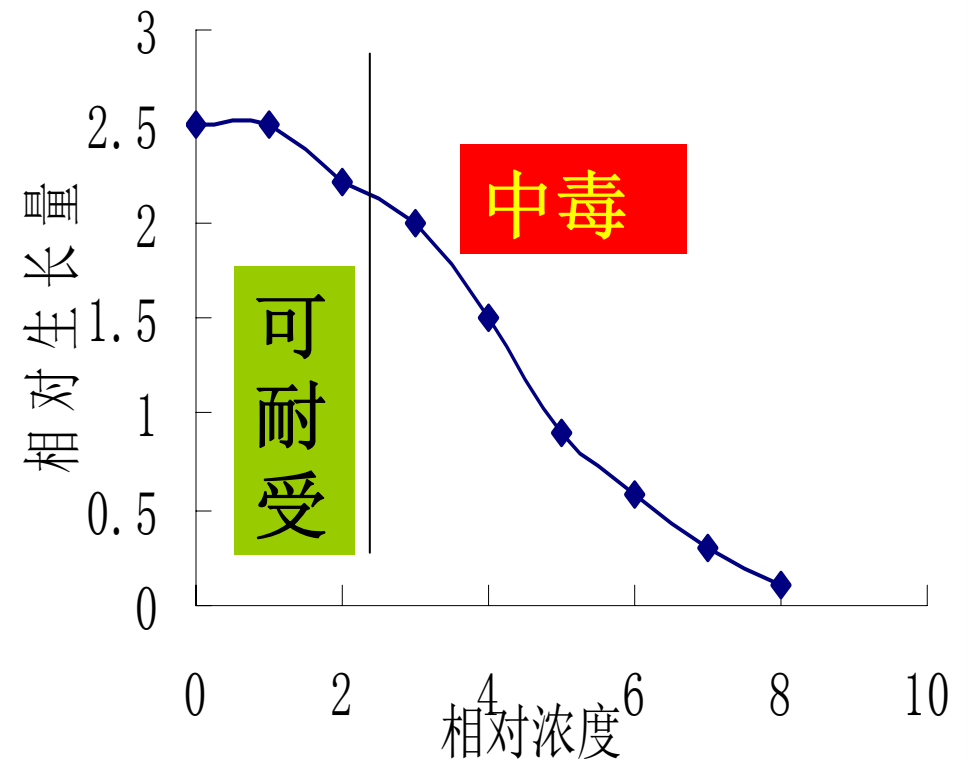
与生物大分子

# 必需矿物质的营养价值

必需元素对生物生长的影响



非必需元素对生物生长的影响





# 必需矿物质的摄入

必需的矿质元素主要有铁、锌、铜、碘、锰、铝、钴、硒、铬、镍、锡、硅、氟、钒。它们的生理功能详见：王夔主编《生命科学中的微量元素》（中国计量出版社，1991）

不同的民族、不同的年龄段、不同的性别、不同的饮食习惯，对允许摄入量都有一定的影响。国家营养学会网站上有**推荐摄入量** (Recommended Nutrient Intake, **RNI**) 和**适当摄入量** (Adequate Intake, **AI**)。

# 食品中矿物质的利用率

## □ 定义

- 生物利用率 (**Bioavailability**): 代谢过程中可被利用的营养素的量与摄入量的营养素的比值。

## □ 影响矿物质吸收的主要因素有:

- 食品的可消化性
- 矿物质的物质、化学形态
- 与其他营养物质的相互作用
- 螯合作用
- 加工方法

# 影响矿物质吸收的主要因素

1、影响  
植物源  
食品中  
矿质元  
素含量

品种

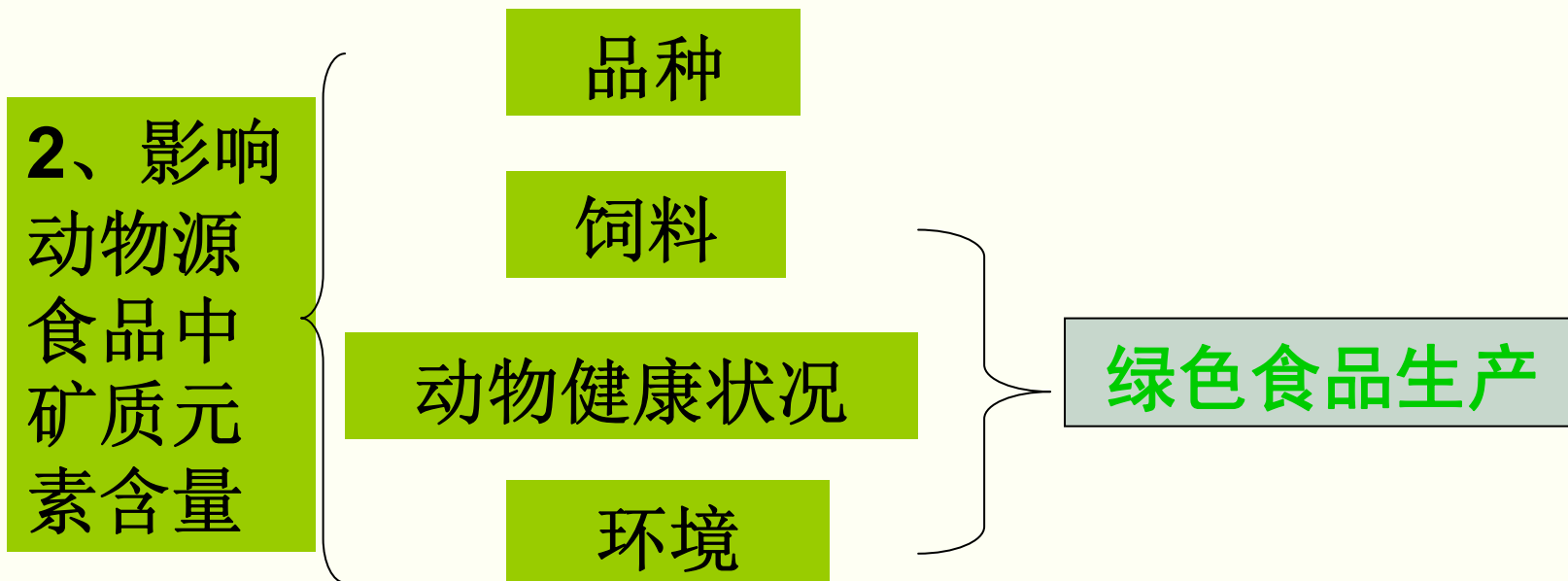
水肥管理

土壤类型

空气状态

绿色食品生产

# 影响矿物质吸收的主要因素



# 食品加工与贮藏中矿物质的变化

- A、一般来讲，矿物质在加工过程中不会因为光、热等而分解，但加工会改变其生物利用度，也会改变其存在量。
  - 精制（**铁、锌**）、溶水等可使其含量下降。
  - 如面粉发酵后，**锌**生物有效性提高**30-35%**。

# 热烫对菠菜中矿物质损失的影响

	未热烫 (g/100g)	热烫 (g/100g)	损失 (%)
钾	6.9	3.0	56
钠	0.5	0.3	43
钙	2.2	2.3	0
镁	0.3	0.2	36
磷	0.6	0.4	36

**B、加工的土豆中铜的含量（mg/100g新鲜重量），有增加有减少，如下表**

类型	铜	类型	铜
原料	<b>0.21</b>	土豆泥	<b>0.10</b>
水煮	<b>0.10</b>	法式炸土豆片	<b>0.27</b>
焙烤	<b>0.18</b>	快餐土豆	<b>0.17</b>
油炸土豆片	<b>0.29</b>	去皮土豆	<b>0.34</b>

## C、贮藏中蔬菜罐头中微量金属元素的含量 (g/Kg)

蔬菜	罐	组分	铝	锡	铁
绿豆	<u>La</u>	L	0.10	5	2.8
		S	0.7	10	4.8
菜豆	<u>La</u>	L	0.07	5	9.8
		S	0.15	10	26
小粒青豌豆	<u>La</u>	L	0.04	10	10
		S	0.55	20	12
旱芹菜心	<u>La</u>	L	0.13	10	4.0
		S	1.50	20	3.4
甜玉米	<u>La</u>	L	0.04	10	1.0
		S	0.30	20	6.4
蘑菇	<u>P</u>	L	0.01	15	5.1
		S	0.04	55	16

La=涂漆罐头, P=素铁罐头; L=液体, S=固体



# 矿物质的特点和生理功能

---

## □ 矿物质的特点

- 体内不能合成，必须从食物和饮水中摄取
- 体内分布极不均匀
- 相互之间存在协同或拮抗作用
- 某些微量元素在体内虽需要量很少，但因其生理剂量与中毒剂量范围较窄，摄入过多易产生毒性作用。

## □ 矿物质的生理功能

- 构成人体组织的重要成分
- 调节细胞膜的通透性
- 维持神经和肌肉的兴奋性
- 组成激素、维生素、蛋白质和多种酶类的成分

## 矿物质缺乏的主要因素

---

- ★地球环境中各种元素的分布不平衡
- ★食物中含有天然存在的矿物质拮抗物
- ★食物加工过程中造成矿物质的损失
- ★摄入量不足或不良饮食习惯
- ★生理上有特殊营养需求的人群

# 食品中矿质元素的存在形态、营养性及功能性

## □ 1、矿质元素在动、植物源食品中赋存状态

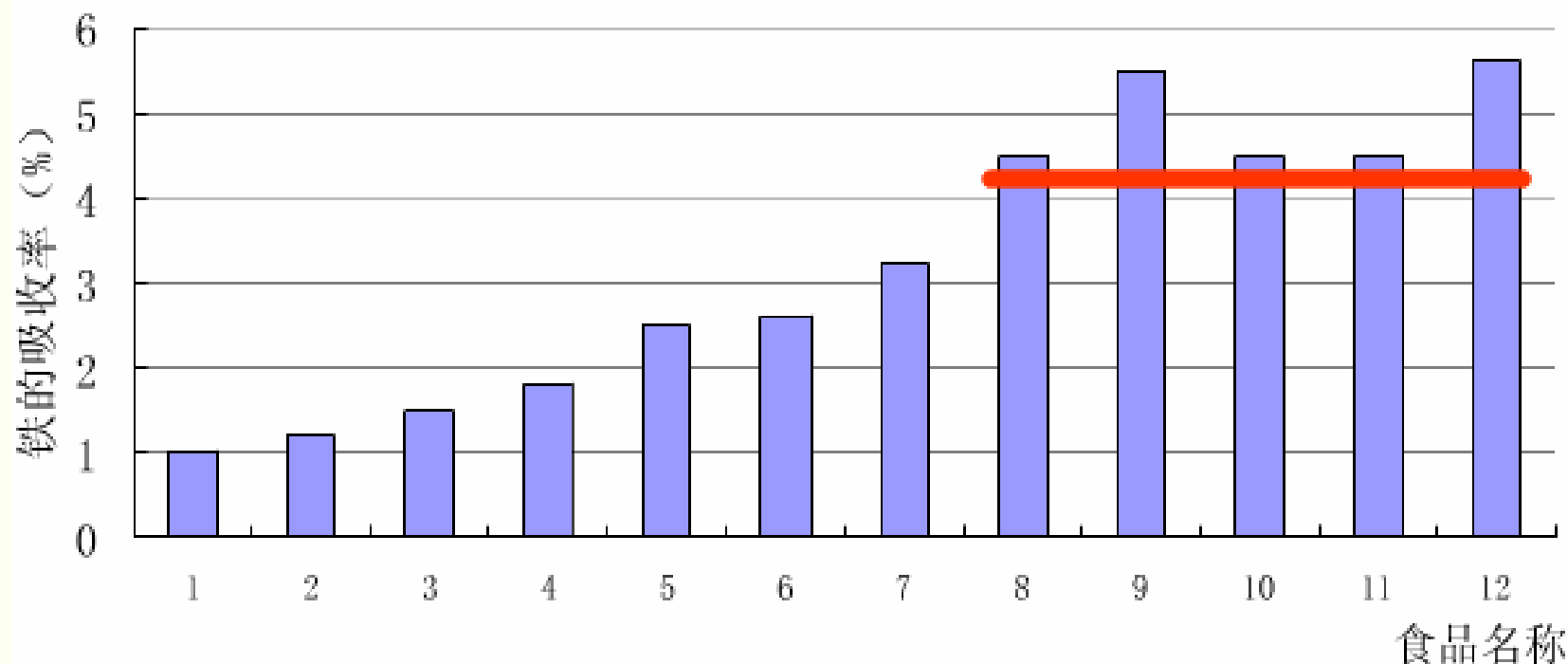
**A**、与有机酸、糖类等结合。如，葡萄糖酸锌、磷酸铁、酒石酸铁等

**B**、与蛋白质结合。如，铁硫蛋白、铜蓝蛋白等

**C**、其它配合物。如，血红素、叶绿素、 $V_{B12}$

## 2、食品中矿质元素的存在形态与营养性

成人对不同的形态铁的吸收



从1-12分别是：稻、菠菜、豆类、玉米、莴苣、小麦、大豆、铁蛋白、牛肝、鱼肉、血红蛋白和牛肉

### 3、食品中矿质元素的存在形态与营养性

---

- 矿质元素的价态与营养性：例如， $\text{Fe}^{3+}$ 难溶，不利吸收，而 $\text{Fe}^{2+}$ 易于吸收；
- 矿质元素之间对营养性的影响：如Fe过多会抑制Zn、Mn的吸收；
- 有机物对矿质元素营养性的影响：如 $\text{V}_C$ 有利于Fe的吸收， $\text{V}_D$ 促进Ca的吸收。

## 5、食品中矿质元素的存在形态与安全性

---

- 矿质元素的不同价态对其安全性影响：如，**Mn**及其化合物中**锰的价态越低毒性越大**；**Cr**的**三价化合物通常是无毒的，六价是有毒的**；
- 矿质元素与不同的配体结合对其安全性的影响。如，**草酸与钙的结合产生结石**。又如**脂多糖可加重银离子的危害**。

# 食品中矿质元素的主要抗营养因子

- 定义：通过把食物中金属元素螯合化，可干扰其吸收；或者说食物中存在有螯合剂也将影响某些金属元素的功效，把影响矿质元素营养性的因子称为**抗营养因子**。
- **1、肌醇六磷酸**  
许多食物中存在有肌醇六磷酸，它的存在常使**钙缺乏**。

---

## □ 2、草酸

过多摄入草酸会引起**缺钙**，严重时会发生病变。

食物：大黄、菠菜、可可、茶叶、橙子、马铃薯、芹菜、卷心菜等。



# 食品中主要矿物元素

---

## (一) 钙 (Calcium, Ca)

出生时体内含钙总量约为28g，成年时达850-1200g（约为体重的1.5-2.0%）

分布极不均匀

是含量最多的无机元素

# 1、钙的存在形式和代谢

---

- (1) 99%以羟磷灰石结晶 $[3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_2]$ 形式集中在骨骼、牙齿，是钙的储存库。
- (2) 其余1%，有一半与柠檬酸螯合或与Pro结合；另一半则以离子形式存在于软组织、细胞外液、血液等组织中组成混溶钙池（miscible calcium pool），与骨骼钙维持着动态平衡，是维持细胞正常生理状态所必需的。

## 2、钙的生理功能

---

- ★构成骨骼和牙齿的成分
- ★促进体内酶的活动
- ★维持神经和肌肉的活动
- ★其他功能
  - 参与血液凝固
  - 激素分泌
  - 维持体液酸碱平衡
  - 调节细胞正常生理功能

# 3、钙的吸收与代谢

---

★钙的吸收主要在小肠上端

★影响肠内钙吸收的主要因素

■草酸、植酸、磷酸、膳食纤维、脂肪酸、碱性药物

□促进肠内钙吸收的因素

■维生素D、某些氨基酸（氨基酸钙）、乳糖（发酵）

□促进钙排泄的因素

■高温作业、乳汁、酸中毒、甲状腺素、肾上腺皮质激素等。

## 4. 钙缺乏

---

主要影响骨骼发育和结构，表现为

儿童佝偻病

成人骨质软化症

老年人骨质疏松症

其他如骨质增生、抽搐等

## 5. 钙过多

高钙血症，影响其他元素的利用，如Zn、Mg等

## 6、钙的供给量

成人**适宜摄入量**(adequate intake,AI)为**1000mg/d**，无明显损害水平(non-observed adverse effect level, NOAEL)为1500mg/d。

**可耐受最高摄入量**(tolerable upper intake level,UL)为**2000mg/d**。

不同人群钙的适宜摄入量(AI)			
年龄	钙	年龄	钙
0~	300	18~	800
0.5~	400	50~	1000
1~	600	孕妇	
4~	800	早期	<b>800</b>
7~	800	中期	<b>1000</b>
11~	1000	晚期	<b>1200</b>
14~	1000	乳母	<b>1200</b>

## 含钙丰富的食物

mg/100g

食物	含量	食物	含量	食物	含量
虾皮	991	牛奶	104	酸枣棘	435
虾米	555	荠菜	294	花生仁	284
河虾	325	雪里蕻	230	紫菜	264
泥鳅	299	苋菜	187	海带(湿)	241
海螺	539	乌塌菜	186	黑木耳	247
河蚌	306	油菜苔	156	全脂牛乳粉	676
鲜海参	285	黑芝麻	780	酸奶	118

## (二) 磷(Phosphorus, P)

---

### 1、磷的生理功能

- ★构成骨骼和牙齿的重要成分
- ★参与能量代谢 (ATP)
- ★构成生命物质成分 (磷脂, 核酸, 信使)
- ★酶的重要成分 (焦磷酸硫胺素, 辅酶)
- ★调节酸碱平衡



## □ 2、磷的供给量

---

磷的适宜摄入量为 1—3岁450mg/d, 4—8岁  
500mg/d, 少年1000mg/d,

成人, 老人, 孕妇, 乳母700mg/d ,

钙磷比例维持在1:1~1.5:1之间比较好

磷的无明显损害水平为1500mg/d

磷的可耐受最高摄入量为3500mg/d

## □ 3、磷的食物来源

瘦肉、禽、蛋、鱼、坚果、海带、紫菜、油料种  
子、豆类等

## (三) 镁 (Magnesium, Mg)

---

### 镁的生理功能

- ★参与**300**多种酶的活性反应
- ★抑制钾通道（可能是多形性室性心动过速的电生理基础）
- ★抑制钙通道（钙通道阻断剂）
- ★维持骨骼生长（影响骨的吸收）
- ★维持神经肌肉兴奋性（镁耗竭引起肌肉痉挛，血压不正常）
- ★维持胃肠道和激素功能

成人无明显损害水平 **700mg**,可耐受最高摄入量 **700mg**

食物来源, 含叶绿素的食物, 荞麦, 麸皮, 黄豆, 苔菜

## (四) 钠 (Sodium, Na)

### 钠的生理功能

★调节水分与渗透压

★维持酸碱平衡(钠在肾小管重吸收时与H离子交换)

★钠泵(渗透压,ATP生成利用,糖代谢,氧利用)

★血压维持

(诸多流行病学支持高食盐摄取与高血压发病率增加有关,但是敏感性问题因人而异,机制尚不明确)

★增强神经肌肉兴奋性

### 适宜摄入量(AI)

0岁	200mg	11-13岁	1200mg
半岁	500	14-17岁	1800
1-3岁	650	18以上	2200
4-6岁	900	孕妇,乳母	2200
7-10岁	1000		

## (五) 氯 (Chlorine, Cl)

### 氯的生理功能

- ★调节渗透压, Cl, Na占总离子的80%
- ★维持体液的酸碱平衡 (与 $\text{HCO}_3^-$ 连动)
- ★参与红血球(红细胞)的 $\text{CO}_2$ 运输
- ★胃酸形成

### 适宜摄入量(AI)

0岁	400mg	11-13岁	2400mg
半岁	800	14-17岁	2800
1-3岁	1000	18以上	3400
4-6岁	1600		
7-10岁	2200		

食物来源———饮水40mg/day, 剩余几乎全部来源于NaCl。

## (六) 钾 (Potassium, K)

### 钾的生理功能

- ★维持糖, 蛋白质的正常代谢
- ★维持渗透压
- ★维持神经肌肉应激性
- ★维持心肌正常功能(心肌自律性)
- ★降血压

#### 适宜摄入量(AI)

0岁	500mg	11-13岁	1500mg
半岁	700	14-17岁	2000
1-3岁	1000	18以上	2000
4-6岁	1500	孕妇,乳母	2500
7-10岁	1500		

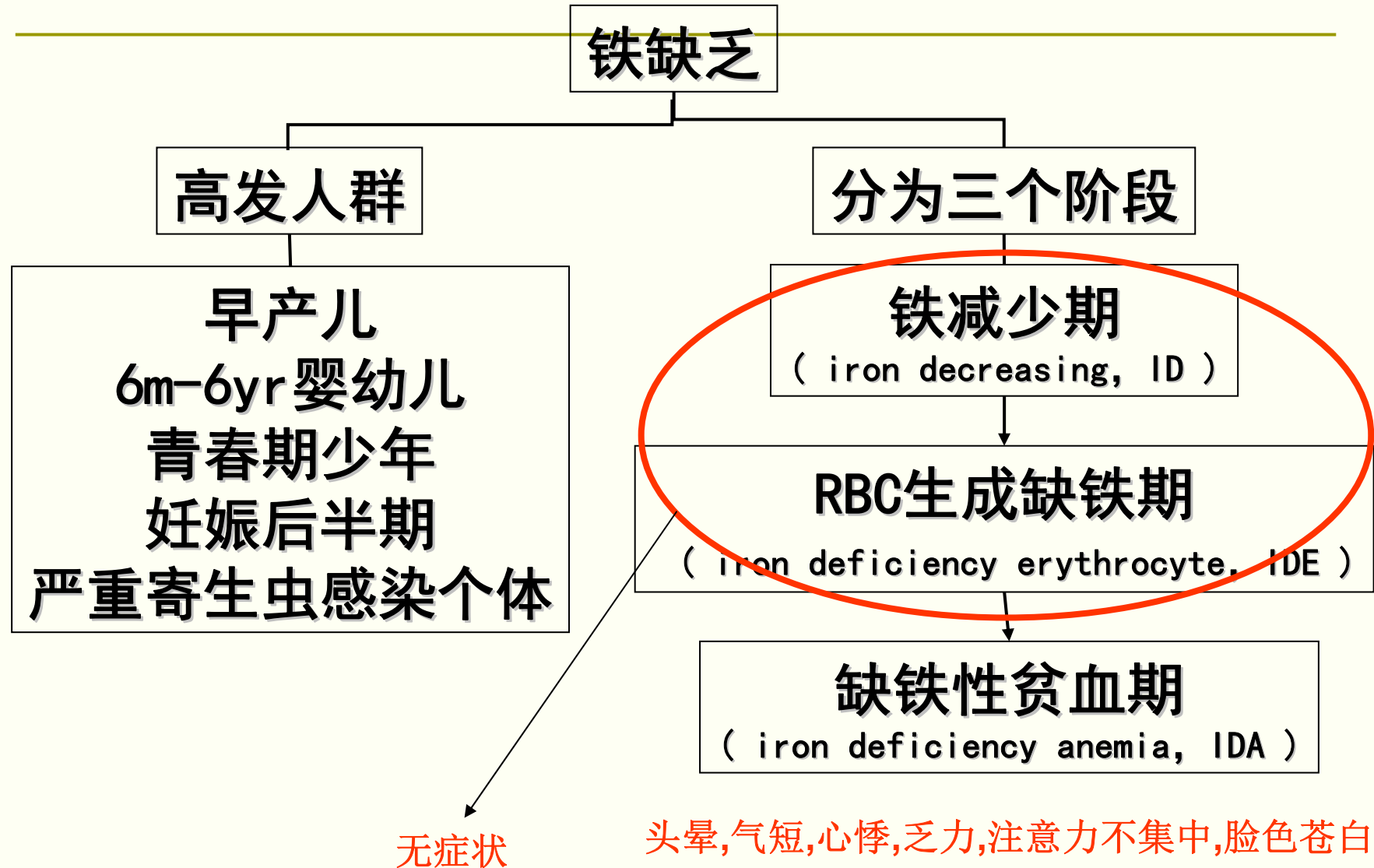
# (七) 铁 (Ferrum, Fe)

---

## 1、铁的生理功能:

- ★参与体内氧的运送和组织呼吸过程  
(血红蛋白, 肌红蛋白, 呼吸酶的成分)
- ★维持正常的造血功能  
(血红蛋白的合成)
- ★参与其他重要功能  
(免疫, VitaminA的转化, 脂质的过氧化)

## 2. 铁缺乏及缺铁性贫血



### 3、不同人群铁的适宜摄入量(AI) mg/d

年龄	性别	铁	年龄	性别	铁
0~	—	0.3	18~	男	15
0.5~	—	10		女	20
1~	—	12	50~	—	15
4~	—	12	孕妇		
7~	—	12	早期	—	15
11~	男	16	中期	—	25
	女	18	晚期	—	35
14~	男	20	乳母	—	25
	女				

成人铁的可耐受最高摄入量UL为50mg/d



## 4、含铁较高的食物

mg/100g

食物	含量	食物	含量	食物	含量
鸭血	30.5	蛭子	33.6	藕粉	41.8
鸡血	25.0	蛤蜊	22.0	黑芝麻	22.7
沙鸡	24.8	刺蛄	14.5	鸡蛋	10.6
鸭肝	23.1	发菜	99.3	地衣	21.1
猪肝	22.6	红蘑	235.1	冬菜	11.4
蚌肉	50.0	冬菇	10.5	苜蓿	9.7

动物性食物中铁吸收的影响因素较少，且存在血红素铁（haem iron），其吸收率多在10-25%，较植物性食物（<10%）的高。

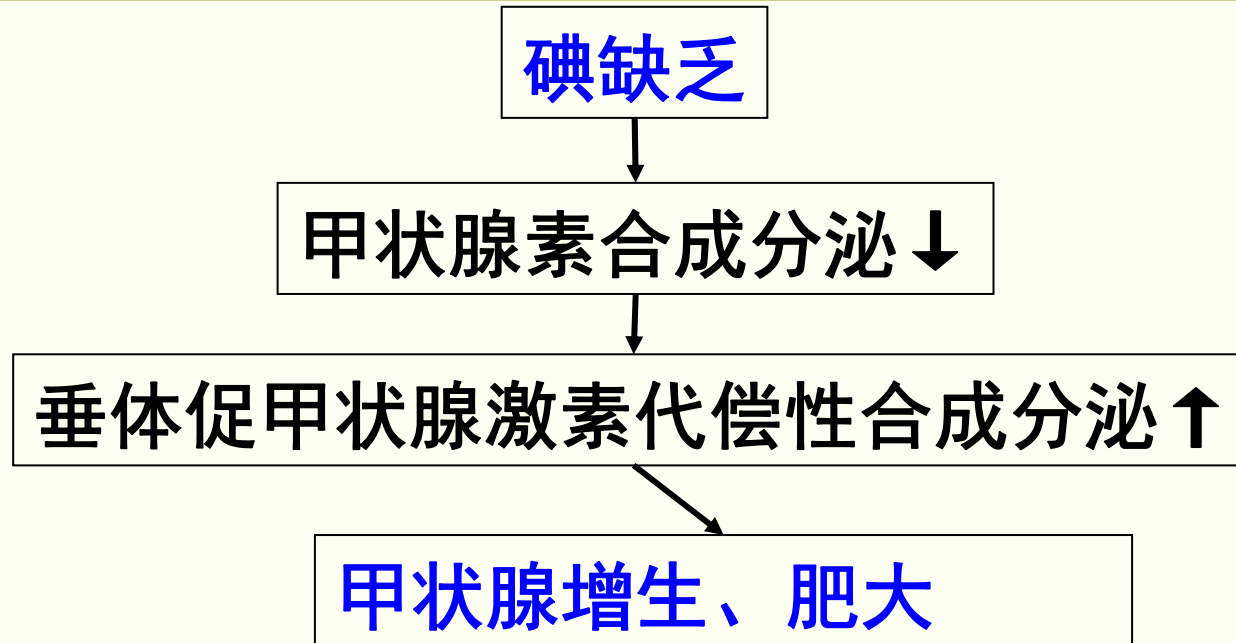
# (八) 碘 (Iodine, I)

---

## 碘的生理功能

- ★促甲状腺素 (thyrotropic stimulating hormone), 四碘甲腺原氨酸 (T4), 三碘甲腺原氨酸 (T3)
- ★促进生物氧化, 参与磷酸化过程, 调节能量转换
- ★促进蛋白质的合成和神经系统发育, 这对胚胎发育期和出生后早期生长发育, 特别是智力发育尤为重要 (怀孕6个月内及时发现, 补充)
- ★促进糖和脂肪代谢
- ★激活体内许多重要的酶
- ★调节组织中的水盐代谢
- ★促进维生素的吸收和利用

# 碘缺失



食物性缺碘有地区性（地方性甲状腺肿），主要在内陆地区



## 碘的推荐摄入量(RNI) $\mu\text{g/d}$

年龄	碘	年龄	碘
0~	50	18~	150
0.5~	50	50~	150
1~	50	孕妇	
4~	90	早期	200
7~	90	中期	200
11~	120	晚期	200
14~	150	乳母	

### 碘的食物来源

碘的可耐受最高摄入量UL为1000  $\mu\text{g/d}$

海带、紫菜、蛤干、蚶干、干贝、淡菜、海参、海蜇等。食盐加碘。

# (九) 锌 (Zinc, Zn)

---

## 1、锌的生理功能

★金属酶的组成成分或酶的激活剂

(例如; 锌金属硫蛋白乙醇脱氢酶)

★促进生长发育

★促进机体免疫功能

★维持细胞膜结构 (缺乏时细胞膜脆性增加)

★合成味觉素

★对皮肤和视力有保护作用

## 2、吸收、代谢

---

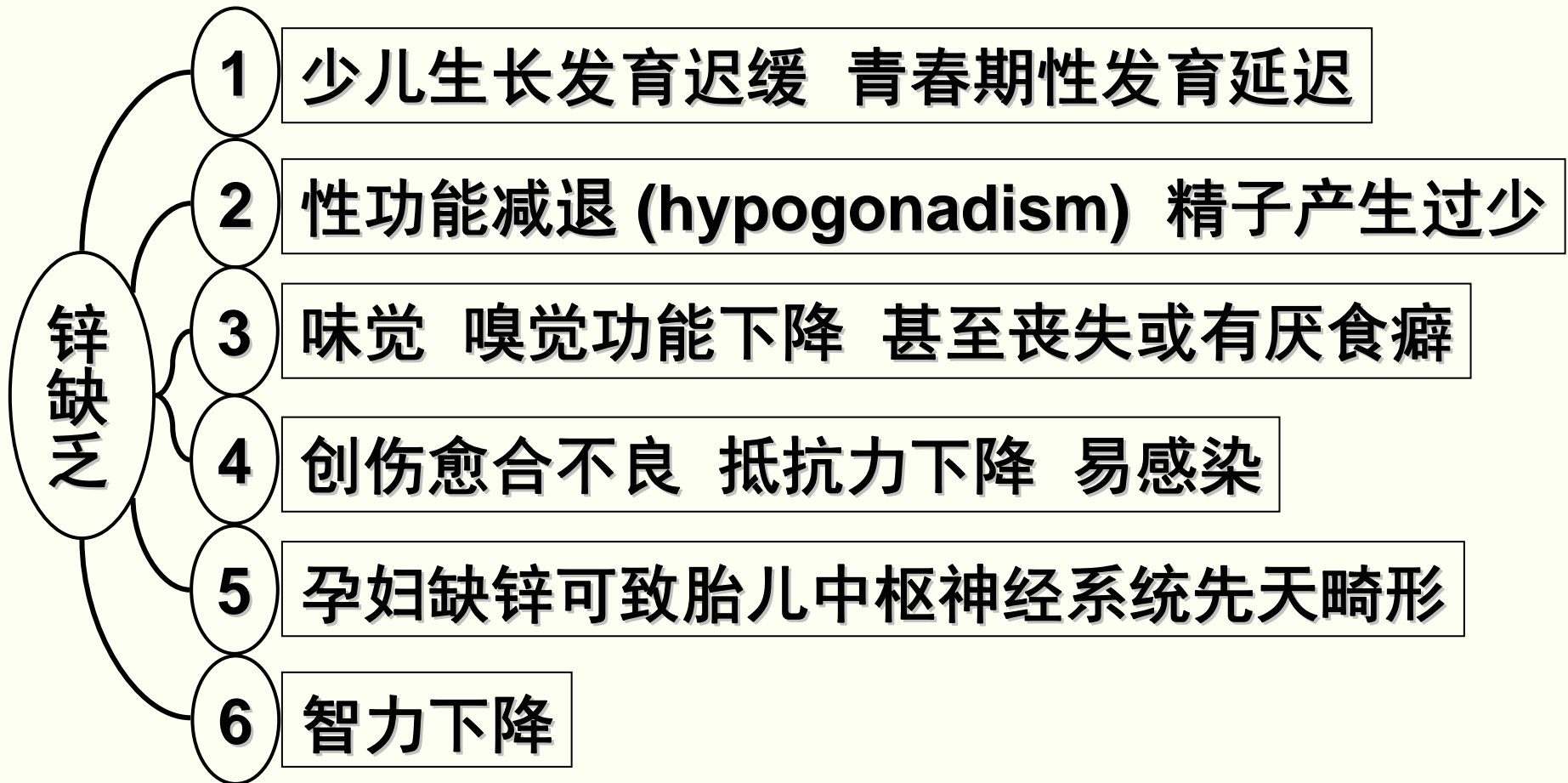
小肠，主动吸收

影响因素：

(1) **植酸**：人奶锌吸收率40%，牛奶32%，一些豆类配方食品仅14%。在牛奶中加入与豆类配方食品等量的植酸钠，则降为16%。

(2) **纤维素、某些微量元素**（如二价铁）过多时可抑制锌吸收。

### 3、锌缺乏





锌的**推荐摄入量**成人男15mg/d、女性11.5mg/d，**无明显损害水平**为30mg/d；**可耐受最高摄入量**成人男为45mg/d，女性37mg/d。

不同人群锌的推荐摄入量(RNI) mg/d

年龄	性别	锌	年龄	性别	锌
0~	—	1.5	18~	男	15.0
0.5~	—	8.0		女	11.5
1~	—	9.0	50~	—	11.5
4~	—	12.0	孕妇		
7~	—	13.5	早期	—	11.5
11~	男	18.0	中期	—	16.5
	女	15.0	晚期	—	16.5
14~	男	19.0	乳母	—	21.5
	女	15.5			

含锌较高的食物 **mg/100g**

食物	含量	食物	含量	食物	含量
小麦胚粉	<b>23.4</b>	山羊肉	<b>10.42</b>	鲜赤贝	<b>11.58</b>
花生油	<b>8.48</b>	猪肝	<b>5.78</b>	红螺	<b>10.27</b>
黑芝麻	<b>6.13</b>	海蛎肉	<b>47.05</b>	牡蛎	<b>9.39</b>
口蘑白菇	<b>9.04</b>	蛭干	<b>13.63</b>	蚌肉	<b>8.50</b>
鸡蛋黄粉	<b>6.66</b>	鲜扇贝	<b>11.69</b>	章鱼	<b>5.18</b>



图 13 - 01 锌缺乏病(侏儒症,埃及 16 岁农村少年)

图谱来源:⑩

# (十) 硒 (Selenium, Se)

---

## 硒的生理功能

★抗氧化作用，作为谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, **GSH-Px**) 的组成成分，与**Vit E**的抗氧化作用具有协同作用。

★有毒重金属的解毒作用 (汞, 镉, 铅形成蛋白质复合体, 并帮助排出)

★保护心血管、维护心肌的功能

动物实验表明硒对心肌纤维、小动脉及微血管的结构及功能有重要作用  
以心肌损害为特征的克山病可能与缺硒有关

★促进生长和繁殖、保护和改善视觉器官功能及抗肿瘤作用

★参与辅酶**A**、辅酶**Q**的合成，在机体合成代谢、电子传递中起重要作用；可增加血中抗体数量，起免疫佐剂作用

## 不同人群硒的推荐摄入量(RNI) $\mu\text{g/d}$

年龄	硒	年龄	硒
0~	15	18~	50
0.5~	20	50~	50
1~	20	孕妇	
4~	25	早期	50
7~	35	中期	50
11~	45	晚期	50
14~	50	乳母	65

成年人硒的UL为400  $\mu\text{g/d}$ 。

## 含硒较高的食物

μg/100g

食物	含量	食物	含量	食物	含量
鱼子酱	203.09	青鱼	37.69	瘦牛肉	10.55
海参	150.00	泥鳅	35.30	干蘑菇	39.18
牡蛎	86.64	黄鳝	34.56	小麦胚粉	65.20
蛤蜊	77.10	鳕鱼	24.8	花豆(紫)	74.06
鲜淡菜	57.77	猪肾	111.77	白果	14.50
鲜赤贝	57.35	猪肝(卤煮)	28.70	豌豆	41.80
蛭子	55.14	羊肉	32.20	扁豆	32.00
章鱼	41.68	猪肉	11.97	甘肃软梨	8.43

# (十一) 氟 (Fluorin, F)

---

## 氟的生理功能

★保护牙齿

★儿童期氟过多,牙釉质变黄(变脆,易碎)

★氟缺乏容易发生虫牙(氟化水)

★防治骨质疏松(离子交换形成氟磷灰石,更坚硬)



图 14 - 01 地方性氟病  
(斑釉牙)图谱来源:⑤



## (十二) 铜 (Copper, Cu)

---

★维持正常的造血功能 (铜蓝蛋白)

★维护中枢神经系统的完整性 (神经髓鞘和神经递质儿茶酚胺的形成)

★促进骨骼、血管和皮肤健康 (胶原蛋白和弹性蛋白的交联)

★抗氧化作用 (SOD重要成分)

★与胆固醇代谢、心脏功能、免疫功能、激素分泌等有关。

★ 2000年中国营养学会提出成人铜

AI为2.0mg/d      UL为8.0mg/d

★铜食物来源

牡蛎、贝类、动物肝、肾及坚果类、谷类胚芽、豆类等。

# (十三) 锰 (Manganese, Mn)

---

★酶的组成成分或激活剂

★维持骨骼正常发育(结缔组织基质粘多糖合成)

★促进糖和脂肪代谢及抗氧化功能(SOD)

★与生殖功能有关

★与神经功能有关

★中国营养学会制订每日锰的AI成人为3.5mg/d, UL为10mg/d。

★食物来源

糙米、米糠、麦芽、麦麸、核桃、海参、鱿鱼、茶叶、花生、干豆、莴苣、土豆、甘蓝。

## (十四) 铬 (Chromium, Cr)

---

★铬是体内葡萄糖耐量因子(glucose tolerance factor,GTF)的重要组成部分，能增强胰岛素的作用。

★有提高高密度脂蛋白和载脂蛋白A的浓度及降低血清胆固醇的作用。

★三价铬与DNA结合，可增加其启动位点的数目，增强RNA和DNA的合成。

★成人AI为 $50 \mu\text{g}/\text{d}$ ，UL为 $500 \mu\text{g}/\text{d}$

★铬的食物来源

肉类、海产品、谷物、豆类、坚果类、黑木耳、紫菜

# 强化食品及生产途径

- 1、强化食品的概念及意义：强化食品就是添加一种或多种营养素，使其成为一种优良的营养素来源
- 2. 其意义在于：老年食品、婴儿食品、区域性食物对某些营养素缺乏等。

## □3.强化食品生产途径

- 1、通过种植业
- 2、通过养殖业
- 3、工业化发酵
- 4、其他途径