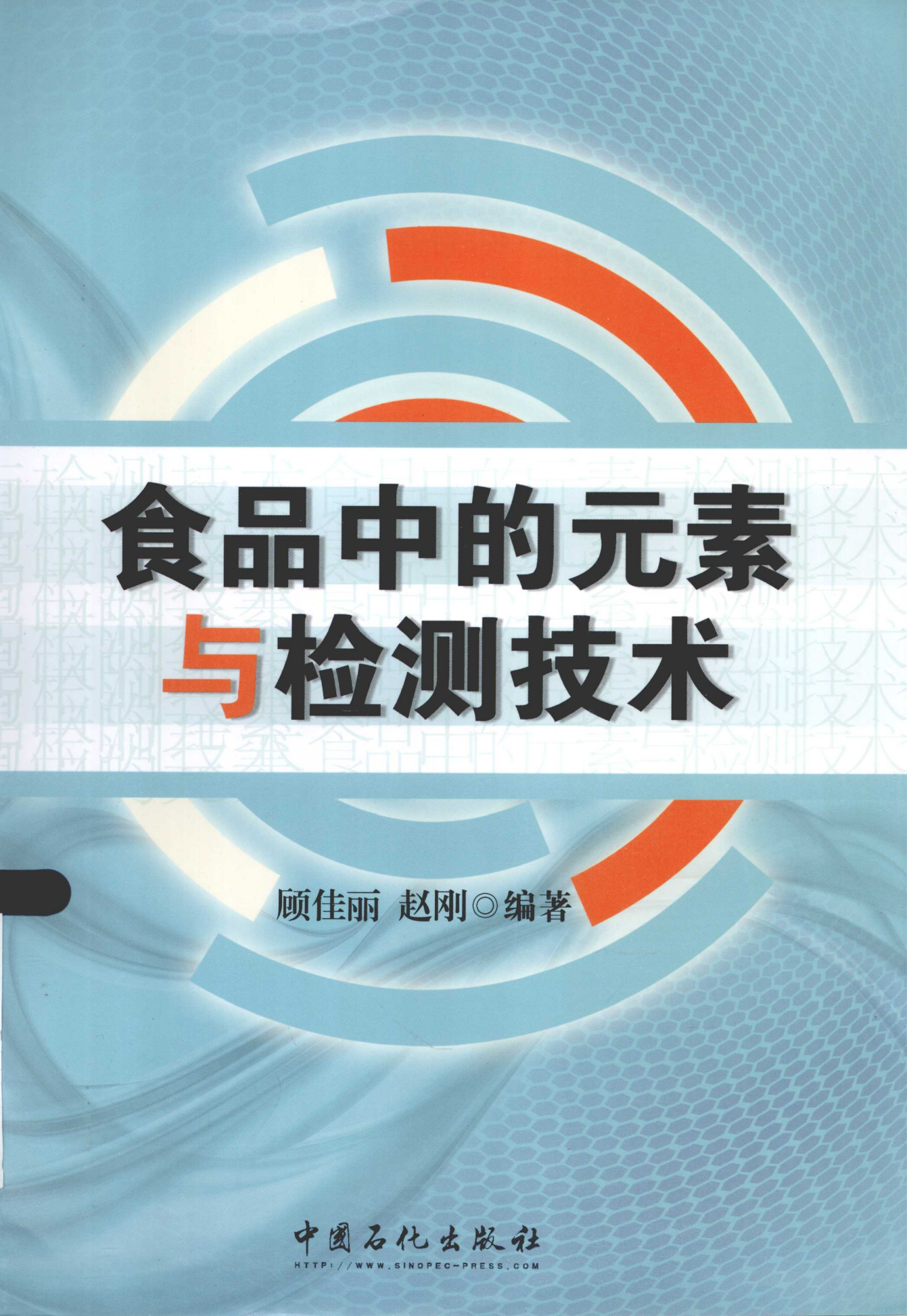




食品中的元素 与检测技术

顾佳丽 赵刚◎编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

013046899

TS207.3
09

食品中的元素与检测技术

顾佳丽 赵 刚 编著



中国石化出版社



北航

C1652633

TS 207.3
09

内 容 提 要

本书共分七章,主要介绍了食品中元素的分类,营养元素和有毒有害元素与人体健康的关系,食品中元素的来源和测定的意义,食品和采集、制备和前处理方法,各类食品中常量元素和微量元素的分析方法原理、仪器试剂、检测技术以及注意事项相关内容。本书引用的国家和行业标准均是现行通用的方法。

本书可作为食品分析部门检验人员以及相关企业、科研、管理部门的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

食品中的元素与检测技术 / 顾佳丽, 赵刚编著.
—北京: 中国石化出版社, 2013. 5
ISBN 978 - 7 - 5114 - 2127 - 2

I. ①食… II. ①顾… ②赵… III. ①食品分析②食品检验 IV. ①TS207

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 091896 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 18.5 印张 459 千字

2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

随着人们生活水平的提高,以及食品种类的日益丰富,各类食品中营养元素的分布情况以及有毒有害元素对食品的污染情况等食品安全问题,越来越受到人们的关注。食品中元素的相关国家和行业检测标准也在不断修订中。为保障人们对食品营养元素的摄入以及防止有毒有害元素对人体健康造成的危害,加强食品中有毒有害元素的检验,我们编写了《食品中的元素与检测技术》。

本书主要论述了食品中营养元素和有毒有害元素与人体健康间的关系、食品中元素的来源和测定的意义、食品的采集、制备和前处理方法、各类食品中元素的分析方法原理、仪器及检测技术等相关内容。本书参考了大量有价值的行业书籍以及相关国家和行业标准,并结合多年的教学和科研经验编著而成。

全书由顾佳丽和赵刚担任主编,参加本书编写和整理工作的有(按姓氏笔画排序)包德才、毕勇、刘玉静、夏云生、蔡艳荣。渤海大学王秀丽教授和鲁奇林教授为本书的编写提供了大量的资料和宝贵的建议;马占玲副教授给予了协助,借此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,错误和疏漏之处在所难免,恳请同行专家和读者批评指正。

编者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 元素的分类	(1)
一、大量元素、常量元素、微量元素和痕量元素	(1)
二、必需元素、非必需元素和有毒元素	(1)
第二节 元素与人体健康的关系	(3)
一、必需常量元素	(3)
二、必需微量元素	(7)
三、非必需元素	(21)
四、有毒元素	(27)
第三节 食品中元素测定的意义	(33)
第四节 食品中元素的来源	(34)
第二章 食品的采集、制备、保存与前处理	(36)
第一节 样品的采集	(36)
一、采样原则	(36)
二、采集程序	(36)
三、采样步骤	(37)
四、常用的采样工具	(37)
五、采样方法	(38)
六、采样量	(40)
七、采样的注意事项	(40)
第二节 样品的制备	(40)
一、固体样品的制备	(41)
二、液体、浆体或悬浮液体样品的制备	(43)
三、互不相溶液体的制备	(43)
四、罐头的制备	(43)
第三节 样品的保存	(43)
第四节 样品的前处理	(44)
一、干灰化法	(44)
二、低温干灰化法	(48)
三、湿法消化法	(49)
四、微波消解法	(51)
第三章 误差与数据处理	(55)
第一节 误差	(55)
一、基本概念	(55)

二、准确度和精密度	(55)
三、系统误差和随机误差	(57)
第二节 有效数字	(58)
一、有效数字	(58)
二、数字的修约规则	(58)
三、有效数字的运算规则	(58)
第三节 显著性检验	(59)
一、 t 检验法	(59)
二、 F 检验法	(60)
第四节 可疑测定值的取舍	(61)
一、 $4d$ 法	(61)
二、格鲁布斯(Grubbs)法	(61)
三、 Q 检验法	(61)
第五节 提高分析结果准确度的方法	(62)
一、选择合适的分析方法	(62)
二、增加平行测定次数,减小随机误差	(62)
三、消除测量过程中的系统误差	(62)
第六节 分析结果的评价	(63)
一、精密度	(63)
二、准确度	(64)
三、灵敏度	(64)
四、检出限	(64)
第四章 食品中金属元素的分析方法	(65)
第一节 滴定分析法	(65)
一、概述	(65)
二、滴定方式	(65)
第二节 吸光光度法	(66)
一、概述	(66)
二、原子吸收方法原理	(68)
三、分光光度计	(69)
第三节 原子吸收光谱法	(69)
一、概述	(69)
二、原理	(70)
三、原子吸收光谱仪	(70)
四、原子吸收分析方法	(72)
第四节 原子发射光谱法	(73)
一、概述	(73)
二、原理	(74)
三、光谱分析仪器	(75)

四、火焰光度法	(78)
第五节 原子荧光光谱法	(79)
一、概述	(79)
二、原理	(80)
三、原子荧光光谱仪	(82)
四、原子荧光分析方法	(84)
第六节 分子荧光光谱分析	(84)
一、概述	(84)
二、原理	(85)
三、荧光分析仪器	(87)
四、荧光分析方法	(88)
第七节 电分析化学法	(89)
一、电位分析法	(89)
二、伏安分析法	(92)
第八节 离子色谱法	(95)
一、概述	(95)
二、原理	(96)
三、离子色谱仪	(97)
四、重金属分析	(100)
第九节 气相色谱法	(100)
一、概述	(100)
二、原理	(101)
三、气相色谱仪	(101)
四、气相色谱分析方法	(103)
第五章 必需元素的测定	(106)
第一节 食品中钾和钠含量的测定	(106)
一、火焰发射光谱法测定食品中钾、钠的含量	(106)
二、火焰发射光度法测定饮用天然矿泉水中钾和钠的含量	(107)
三、火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中钾、钠的含量	(108)
四、离子色谱法测定饮用天然矿泉水中锂、钾、钠的含量	(109)
第二节 食品中钙含量的测定	(111)
一、原子吸收分光光度法测定食品中钙的含量	(111)
二、EDTA 滴定法测定食品中钙的含量	(113)
第三节 食品中磷含量的测定	(114)
一、分光光度法测定食品中总磷的含量	(114)
二、分子吸收光谱法测定食品中总磷的含量	(115)
三、光度法测定食品中磷酸盐的含量	(117)
四、磷钼蓝分光光度法测定水中单质磷的含量	(118)
第四节 食品中铁、镁、锰含量的测定	(121)
一、原子吸收分光光度法测定食品中铁、镁、锰的含量	(121)

二、乙二胺四乙酸二钠滴定法测定饮用天然矿泉水中镁的含量	(123)
三、二氮杂菲分光光度法测定饮用天然矿泉水中铁的含量	(124)
四、过硫酸铵分光光度法测定饮用天然矿泉水中锰的含量	(126)
五、甲醛肟分光光度法测定饮用天然矿泉水中锰的含量	(127)
第五节 食品中铜含量的测定	(129)
一、原子吸收光谱法测定食品中铜的含量	(129)
二、二乙基二硫代氨基甲酸钠法测定食品中铜的含量	(131)
三、二乙基二硫代氨基甲酸钠分光光度法测定饮用天然矿泉水中铜的含量	(133)
四、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中铜的含量	(134)
五、火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中铜、铁、锰、锌、镉、 铅的含量	(135)
第六节 食品中锌含量的测定	(141)
一、原子吸收光谱法测定食品中锌的含量	(141)
二、二硫脲比色法测定食品中锌的含量	(142)
三、二硫脲比色法(一次提取)测定食品中锌的含量	(145)
四、锌试剂-环己酮分光光度法测定饮用天然矿泉水中锌的含量	(146)
五、催化示波极谱法测定饮用天然矿泉水中锌的含量	(147)
第七节 食品中钴含量的测定	(148)
一、5-氯-2-(吡啶偶氮)-1,3-二氨基苯分光光度法测定水质中 总钴的含量	(148)
二、亚硝基-R分光光度法测定饮用天然矿泉水中钴的含量	(151)
三、火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中钴的含量	(152)
四、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中钴的含量	(154)
第八节 食品中铬含量的测定	(155)
一、原子吸收石墨炉法测定食品中铬的含量	(155)
二、示波极谱法测定食品中铬的含量	(157)
三、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中铬的含量	(158)
第九节 食品中氟含量的测定	(159)
一、扩散-氟试剂比色法测定食品中氟的含量	(159)
二、灰化蒸馏-氟试剂比色法测定食品中氟的含量	(162)
三、氟离子选择电极法测定食品中氟的含量	(163)
第十节 食品中钒含量的测定	(165)
一、钼试剂(BPHA)萃取分光光度法测定水中钒的含量	(165)
二、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中钒的含量	(166)
三、催化极谱法测定饮用天然矿泉水中钒的含量	(167)
四、没食子酸催化分光光度法测定饮用天然矿泉水中钒的含量	(169)
第十一节 食品中碘含量的测定	(170)
一、砷铈催化分光光度法测定食品中碘的含量	(170)
二、滴定法测定海带碘的含量	(173)
三、气相色谱法测定婴幼儿食品和乳品中碘的含量	(174)

第十二节 食品中硒含量的测定	(177)
一、氢化物原子荧光光谱法测定食品中硒的含量	(177)
二、荧光法测定食品中硒的含量	(179)
三、二氨基萘荧光法测定饮用天然矿泉水中硒的含量	(181)
四、氢化物发生原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中硒的含量	(183)
五、氢化物原子荧光法测定饮用天然矿泉水中硒的含量	(185)
第十三节 食品中镍含量的测定	(186)
一、原子吸收分光光度法测定食品中镍的含量	(186)
二、比色法测定食品中镍的含量	(188)
三、火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中镍的含量	(189)
四、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中镍的含量	(190)
五、微波消解-电感耦合等离子体-质谱法测定水产品中钠、镁、铝、 钙、铬、铁、镍、铜、锌、砷、镉、钼、镉、铅、汞、硒的含量	(192)
第十四节 食品中锡含量的测定	(197)
一、氢化物原子荧光光谱法测定食品中锡的含量	(197)
二、苯茚酮比色法测定食品中锡的含量	(198)
三、气相色谱-脉冲火焰光度检测器检测食品中有机锡含量	(200)
第六章 非必需元素含量的测定	(206)
第一节 食品中锆含量的测定	(206)
一、原子荧光光谱法测定食品中锆的含量	(206)
二、原子吸收分光光度法测定食品中锆的含量	(208)
三、苯基荧光酮分光光度法测定食品中锆的含量	(210)
第二节 食品中砷含量的测定	(211)
一、氢化物原子荧光光度法测定食品中总砷的含量	(211)
二、银盐法测定食品中总砷的含量	(214)
三、砷斑法测定食品中总砷的含量	(217)
四、硼氢化物还原比色法测定食品中总砷的含量	(218)
五、氢化物原子荧光光度法测定食品中无机砷的含量	(220)
六、银盐法测定食品中无机砷的含量	(221)
七、二乙氨基二硫代甲酸银比色法测定食品添加剂中砷含量	(223)
八、二乙氨基二硫代甲酸银分光光度法测定饮用天然矿泉水中砷的含量	(226)
九、锌-硫酸系统新银盐分光光度法测定饮用天然矿泉水中砷的含量	(227)
十、催化示波极谱法测定饮用天然矿泉水中砷的含量	(228)
十一、氢化物发生原子荧光法测定饮用天然矿泉水中砷的含量	(230)
第三节 食品中铝含量的测定	(231)
一、分光光度法测定面制食品中铝的含量	(231)
二、铬天青S分光光度法测定饮用天然矿泉水中铝的含量	(232)
三、铝试剂分光光度法测定饮用天然矿泉水中铝的含量	(233)
四、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中铝的含量	(235)
五、电感耦合等离子体-原子发射光谱法测定蜂蜜中钾、磷、铁、钙、	

锌、铝、钠、镁、硼、锰、铜、钡、钛、钒、镍、钴、铬的含量	(236)
第四节 食品中锂含量的测定	(240)
一、火焰发射光谱法测定饮用天然矿泉水中锂的含量	(240)
二、火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中锂的含量	(241)
第五节 食品中锑含量的测定	(242)
第七章 有害元素的测定	(245)
第一节 食品中汞含量的测定	(245)
一、原子荧光光谱分析法测定食品中总汞的含量	(245)
二、冷原子吸收光谱法测定总汞的含量	(247)
三、二硫腈比色法测定总汞的含量	(251)
四、气相色谱法(酸提取巯基棉法)测定水产品中甲基汞的含量	(253)
五、冷原子吸收法(酸提取巯基棉法)测定水产品中甲基汞的含量	(255)
六、冷原子吸收法测定饮用天然矿泉水中汞的含量	(256)
七、原子荧光法测定饮用天然矿泉水中汞的含量	(258)
第二节 食品中铅含量的测定	(259)
一、石墨炉原子吸收光谱法测定食品中铅的含量	(259)
二、氢化物原子荧光光谱法测定食品中铅的含量	(261)
三、火焰原子吸收光谱法测定食品中铅的含量	(263)
四、二硫腈比色法测定食品中铅的含量	(265)
五、单扫描极谱法测定食品中铅的含量	(268)
六、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中铅的含量	(270)
七、催化示波极谱法测定饮用天然矿泉水中铅的含量	(271)
第三节 食品中镉含量的测定	(272)
一、石墨炉原子吸收光谱法测定食品中镉的含量	(272)
二、原子吸收光谱法——碘化钾-4-甲基戊酮-2法测定食品中镉的含量	(274)
三、原子吸收光谱法——二硫腈-乙酸丁酯法测定食品中镉的含量	(276)
四、比色法测定食品中镉的含量	(277)
五、原子荧光法测定食品中镉的含量	(278)
六、无火焰原子吸收分光光度法测定饮用天然矿泉水中镉的含量	(280)
附录	(282)
附录 A $t_{\alpha, f}$ 值表(双边)	(282)
附表 B 置信度 95% 时 F 值(单边)	(282)
附表 C $T_{\alpha, n}$ 值表	(282)
附表 D Q 值	(283)
附录 E 单位和换算因数	(283)
附录 F 常用浓酸、浓碱的密度和浓度	(283)
参考文献	(284)

第一章 绪论

第一节 元素的分类

食品种类繁多,各种食品具有不同的特性和营养素,组成复杂,其组成元素达50多种。根据这些元素在食品中的含量和作用可以分为很多种类。

一、大量元素、常量元素、微量元素和痕量元素

根据元素在食品中含量的高低,可将其分为以下四类。

1. 大量元素

大量元素包括碳、氢、氧、氮。这四种元素是构成食品的主要营养成分(蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素等)的元素,约占95%。

2. 常量元素

常量元素在食品中的含量比较高,是人体组织细胞结构中必不可少的元素,包括钾、钠、钙、镁、硫、磷等元素。

3. 微量元素

微量元素在食品中含量微少,包括铁、锰、锌、铜、铝、锂、铯、铷、锶、铬、镍、硅、氟、氯、碘、钴、钼等元素。

4. 痕量元素

痕量元素在食品中含量极微,包括汞、铅、银、镉、硒、铍、砷等元素。

二、必需元素、非必需元素和有毒元素

食品中的各种元素,被人体消化吸收之后,其作用各不相同。因此根据食品中各种元素的营养作用,可将其分为必需元素、非必需元素和有害元素三大类。

1. 必需元素

必需元素为组成生物体内的蛋白质、脂肪、碳水化合物和核糖核酸提供基础的结构单元,是供给人体能量和修补机体组织的主要原料,在人体组织的生理作用中发挥着重要的功能。其不仅与人体的能量转换、激素合成、大脑思维记忆、视力的灵敏度等都有密切关系,而且还是维持人体正常功能(生长、发育、繁殖等),以及影响内分泌、免疫功能与遗传等生理功能所必需的元素。包括碳、氢、氧、氮、磷、硫、氯、钾、钠、钙、镁11种必需常量元素,以及氟、硅、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、硒、钼、锡、碘14种必需微量元素。其中锡还有争议。

人每天的饮食尽管矿物质不同,但必需元素在体内的量却是相对稳定的。机体既可排泄不需要的矿物质,也可保留身体需要的必需微量元素。这些元素在体内不能自行合成,必须由外界环境供给,即通过食品、饮料、药物等途径摄取。机体内的必需元素在一定的浓度范围内有助于人体健康的维持,但当含量低于或超过正常水平时,会使组织功能减弱,甚至可

能导致不同程度的中毒反应，我国人民每日必需元素推荐量见表 1-1。

表 1-1 我国人民每日必需元素推荐量

类别		钙/mg	铁/mg	锌/mg	硒/μg	碘/μg
成年男子(体重 63kg)	极轻体力劳动	800	12	15	50	150
	轻体力劳动	800	12	15	50	150
	中等体力劳动	800	12	15	50	150
	重体力劳动	800	12	15	50	150
	极重体力劳动	800	12	15	50	150
成年女子(体重 53kg)	极轻体力劳动	600	18	15	50	150
	轻体力劳动	600	18	15	50	150
	中等体力劳动	600	18	15	50	150
	重体力劳动	600	18	15	50	150
	孕妇(后 5 个月)	1500	28	20	50	175
	乳母	1500	28	20	50	200
少年男子	16 ~ 19 岁	1000	15	15	50	150
	13 ~ 15 岁	1200	15	15	50	150
少年女子	16 ~ 19 岁	1000	20	15	50	150
	13 ~ 15 岁	1200	20	15	50	150
儿童	10 ~ 13 岁	1000	12	15	50	120
	7 ~ 10 岁	800	10	10	40	120
	5 ~ 7 岁	800	10	10	40	70
	3 ~ 5 岁	800	10	10	40	70
	2 ~ 3 岁	600	10	10	20	70
	1 ~ 2 岁	600	10	10	20	70
	1 岁以下	600	10	5	15	50
	6 个月以下	400	10	3	15	40

注：中国营养学会 1988 年 10 月修订。

2. 非必需元素

非必需元素在机体正常组织中不一定存在，而且对机体正常组织及生理功能无关紧要，如锆、铝、砷、锂、硼、稀土族等。其中砷尚未被公认，硼仅参与植物的生命过程，对动物的作用则尚未确定。

3. 有害元素

有害元素例如汞、铅、镉等元素，人体对其可耐受剂量极低，当摄入极小的剂量被污染的食物即可导致机体呈现反应。而且这些元素在人体中具有蓄积性，随着在人体内蓄积量的增加，机体会出现各种中毒反应。食品中常将铅的残留量作为有害元素的常规分析项目。

必需元素、非必需元素和有害元素的划分不是绝对的，对于不同的生物和不同的元素，其致毒的量不同，即使是必需元素在缺乏和过量时也显示毒性。例如：硒是重要的生命必需元素，成人每天摄取量以 100μg 左右为宜，若长期低于 50μg 可能引起癌症、心肌损害等；但反之过量摄入，又可能造成腹泻、神经官能症及缺铁性贫血等中毒反应，甚至死亡，因此

硒的化合物也被当作剧毒物小心保存；氟是人体必需的微量元素，对牙齿的形成与保护，以及对骨骼的生长具有重要作用，但食品中氟含量过高，易引起氟中毒，发生氟斑牙和氟骨症。关于必需元素的理想生长响应曲线见图 1-1，图中在 a~c 之间，没有表现出异常；而在 a 以下及 c 以上显示反应随浓度的变化呈 s 状曲线；对非必需或有毒元素，则只有在高浓度一侧的曲线。在摄取的营养物质中，必需元素的严重不足会导致物种生长迟缓、繁殖衰退，甚至死亡。但是生物和人对环境中微量元素变化的适应能力也是有限的，当元素变化幅度超过生物忍耐力极限时，生理上就会起反应，产生损害健康的病症。

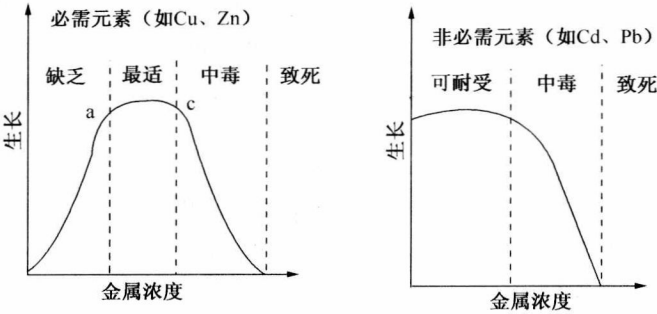


图 1-1 必需和非必需元素浓度对生物生长的影响

此外，生命必需元素的存在形式对人体健康也直接有关，如铁在生物体内不能以游离态存在，只有存在在特定的生物大分子结构(如蛋白质)包围的封闭状态之中，才能担负正常的生理功能，铁一旦成为自由铁离子就会催化过氧化反应产生过氧化氢和一些自由基，干扰细胞的代谢和分裂，导致病变。再如硒、铜、锌、锰、钴等元素，过去一直被列为有害元素，但现在已确定其在人体内具有一定的生理功能。

第二节 元素与人体健康的关系

元素与人类健康有密切关系，尽管它们在人体内含量极小，但它们对维持人体中的一些决定性的新陈代谢却是十分必要的。一旦它们的摄入过量或不足会不同程度地引起人体生理的异常或发生疾病，甚至危及生命。下面简单介绍元素进入人体后，对人体健康起到的不同作用。

一、必需常量元素

1. 钠

钠是人体必需的常量元素之一，人体内钠的总量约为 70~120g/70kg，其中约 50% 存在于细胞外液，40%~45% 存在于骨骼，10% 存在于细胞中。

(1) 钠对人体的作用

① 维持酸碱平衡 钠是细胞外液中带正电的主要离子，起着调节细胞内外的渗透压以及平衡酸和碱的作用。

② 辅助神经、肌肉及各种生理功能的正常运作 钠与其他矿质元素离子在细胞内外形成电位差，产生离子梯度。机体的神经细胞就是依赖这些电位差的改变而产生电脉冲，并通过神经纤维传到肌肉。肌肉的功能也依赖于细胞内外的离子比，尤其是钠钙离子的离子比，

维持肌肉的兴奋性。

③ 帮助消化 摄入人体的食盐，被解离为钠离子和氯离子，可提高淀粉酶催化率，与氢化合成盐酸后，还可帮助消化。

(2) 缺钠的症状

人体缺钠或摄入钠过多都会影响健康。食用不加盐的严格素食或长期出汗过多、腹泻、呕吐以及肾上腺皮质不足等情况下，都会发生钠缺乏，可使人体的水平衡被破坏，引起失水，食欲减退、生长缓慢、肌肉痉挛、恶心、腹泻、头痛、哺乳期的母亲奶水减少等症状。

食盐摄入量过多同样也会引起疾病，特别是老人和婴儿，世界卫生组织建议每人每日食盐用量以不超过 6g 为宜。老人摄入食盐过多，可促使血液中储存水分增多，加重心脏的负担，导致充血性心衰，甚至是高血压。婴儿排泄盐分的能力较差，因而刚出生婴儿饮食中不宜加盐。

(3) 钠的来源

钠以不同量存在于所有食物中，因而几乎不必担心钠摄取不足。人体中钠的主要来源除食盐外，咸菜、带鱼、紫菜、芹菜等食物中也含有一定的钠。

2. 钾

钾是正常生长发育中不可或缺的人体必需常量元素之一。人体内钾的总量约为 160 ~ 200/70，其中约 98% 存在于细胞内液，2% 存在于细胞外液。人体血清中钾浓度约为 3.5 ~ 5.5mmol/L。

(1) 钾对人体的作用

① 维持细胞内外液的渗透压 钾离子和钠离子一样是细胞内的主要阳离子，能维持细胞内外液的渗透压和酸碱平衡，维持神经肌肉的兴奋性以及维持心肌功能。

② 参与营养物质代谢 钾作为某些酶的催化剂，参与糖类、蛋白质和能量的代谢过程，对细胞中营养的吸收起着重要作用。

(2) 缺钾的症状

缺钾可导致神经肌肉应激性降低，身体虚弱、四肢无力、排尿困难，严重的还可引起心律失常，心动过速，心力衰竭，昏迷或神志不清、骨肌麻痹、心脏病、肾上腺机能不足以及细胞内水肿等症状。

(3) 钾的来源

含钾丰富的食物有香蕉、猕猴桃、草莓、柑橘、葡萄、柚子、西瓜等水果，紫菜、海带、土豆等蔬菜以及鸡牛羊等瘦肉；其他如虾米、木耳、菠菜、山药、毛豆、苋菜、大葱、西红柿、花生、蘑菇等食物中也含有一定的钾。

3. 钙

钙的含量仅次于碳、氢、氧和氮，是人体中含量最多的生命必需元素，占体重的 1.5% ~ 2%。正常人体内含钙大约 1 ~ 1.25kg，其中 99% 存在于骨骼与牙齿内，其余的 1% 存在于软组织、细胞外液及血液中。

(1) 钙对人体的作用

① 骨骼和牙齿的主要结构成分 钙是构成骨骼和牙齿的主要成分，对保证骨骼的正常生长发育和维持骨骼健康起着至关重要的作用。

② 参与神经肌肉的应激过程 钙参与神经和肌肉的活动，促进神经介质的释放，调节激素的分泌，抑制神经肌肉的兴奋，维持神经冲动的传导以及维持心肌的正常收缩等活动。

③ 参与凝血过程 钙可以直接作为凝血复合因子，促进凝血过程，还可以直接促进血小板的释放，促进血小板介导的凝血过程。

④ 巩固和保持细胞膜的完整性 神经、肝、红细胞和心肌等的细胞膜上都有钙结合部位，当钙离子从这些部位释放时，膜的结构和功能发生变化，即通过调节细胞内信号的触发，改变细胞膜对钾、钠等阳离子的通透性，防止液体渗出，控制炎症与水肿。

⑤ 参与免疫反应 钙参与免疫反应，加快吞噬细胞的吞噬过程，可以增加人体的免疫力。

(2) 缺钙的症状

缺钙是我国普遍存在的现象，尤其是儿童、老人、妇女和孕妇缺钙现象更为普遍。这种现象与我国人民以植物性食物为主的饮食习惯有关，人体对钙的摄入量和吸收量不足是缺钙的主要原因。缺钙会导致很多症状。例如：

① 儿童佝偻病 佝偻病又称软骨病，是小儿常见病之一，多见于两岁以下的婴幼儿，特别是早产儿或孪生儿。这个时期儿童生长发育旺盛，对钙的需要量较多，严重缺钙可严重影响骨骼发育，发生佝偻病。儿童和青少年长期缺钙还会出现长不高、发育迟缓以及牙齿不齐等症状。

② 中老年人骨质疏松 人到中老年后，身体机能逐渐衰退，当身体缺钙时，血钙降低，一部分骨钙溶解到血液中，随着血钙的增加，骨钙却在减少，因此导致骨质疏松和骨质增生的症状。老年人长期缺钙还可出现肢体麻木、肌肉抽搐、腰酸背痛、脾气暴躁，甚至导致高血压、糖尿病以及结石等症状。

③ 妇女多种疾病 一般来说，男女性的骨量在 35 ~ 40 岁以后开始下降，特别是女性在绝经期以后，由于雌激素水平下降，导致骨细胞活性降低，骨形成减少的骨量丢失远远高于男性，故女性的发病率大大高于男性。缺钙妇女会出现盗汗、潮热、怕冷、头疼、烦躁、抽筋、失眠、便秘、腰酸背痛、浮肿、牙齿松动，甚至出现器质性病变。

④ 孕妇妊娠高血压 女性在怀孕期间丢失钙达到了 3 万毫克，哺乳期间丢失钙每日 300 毫克，因此孕妇缺钙易出现手脚抽搐，甚至是妊娠高血压。钙丢失造成了女人未老先衰和各种病症的发生。

(3) 钙的食物来源

世卫组织推荐的每日钙最佳摄入量为，婴儿 250 ~ 300mg，2 ~ 10 岁的儿童 800mg，少年及青年 1200 ~ 1500mg，25 ~ 45 岁成人 800 ~ 1000mg，孕妇及 65 岁以上老人 1500mg，哺乳期妇女 2000mg。

食物大都含有不同量的钙，含量丰富的有：奶及奶制品、干酪、豆及豆制品、海参、黄玉参、芝麻酱、虾皮、小麦、燕麦片、芥菜、萝卜缨、金针菜等。其次良好来源还有：全蛋粉、小茴香、紫菜、雪里红、芹菜、油菜、香菜、苋菜、海带、炼乳、杏仁、鱼子酱、带有软骨的可食骨鱼。此外木耳、花生米、韭菜、榨菜、毛豆及豆类、腐乳、面包、甘蓝、蛤肉、蟹肉、杏干、桃干、蛋类、豆荚、橄榄、柑桔、葡萄干、菠菜等也还有一定的钙。

4. 磷

磷存在于人体所有细胞中，成年人体内含磷总量为 650 ~ 800g/70kg，约 80% 以上的磷存在于骨骼和牙齿中，其余存在于软组织和血浆中，身体内 90% 的磷是以磷酸根(PO_4^{3-})的形式存在。

(1) 磷对人体的作用

① 磷是骨骼和牙齿的重要构成材料 磷和钙功能相似，也是骨骼和牙齿的主要结构成分。一般骨骼和牙齿钙化不好，主要是缺磷。当骨钙化不好时，磷酸酶会增多，将促使机体释放出磷，而使血液中的钙和磷达到适当的比例，以促进骨骼的生长。

牙釉质的主要成分是羟基磷灰石 $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ 和少量氟磷灰石 $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ 、氯磷灰石 $\text{Ca}_{10}\text{Cl}_2(\text{PO}_4)_6$ 等。羟基磷灰石是不溶性物质。当糖吸附在牙齿上并且发酵时，产生的 H^+ 和 OH^- 结合生成 H_2O 及 PO_4^{3-} ，就会使羟基磷灰石溶解，使牙齿受到腐蚀。如果用氟化物取代羟基磷灰石中的 OH^- ，生成的氟磷灰石能抗酸腐蚀，有助于保护牙齿。

② 磷是细胞和细胞膜的组成成分 脂肪分子和磷酸结合成磷脂，磷脂不仅是生物膜的主要组成部分之一，还是细胞核中遗传物质核酸的基本成分之一，而核苷酸是生命中传递信息和调控细胞代谢的重要物质核糖核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)的基本组成单位。

③ 参与机体调节与释放能量的过程 营养物质在机体内被氧化而产生能量时，一部分用于二磷酸腺苷(ADP)磷酸化，合成高能键化合物三磷酸腺苷(ATP)，使能量以化学能的形式储存起来，即氧化磷酸化过程。

④ 维持机体酸碱平衡 磷在血浆中能与氢离子结合，防止体液酸度发生变化，而维持机体正常酸碱平衡。

(2) 缺磷的症状

成年人每天摄取 800 ~ 1200mg 磷就能满足人体的需要，而磷几乎存在于所有的天然食物中，特别是谷类和含蛋白质丰富的食物，因此一般不会出现磷缺乏症，但当患有肾脏疾病、甲状旁腺激素分泌过多或维生素 D 代谢紊乱时，会出现磷摄入或吸收不足的症状，引起红细胞、白细胞、血小板的异常；因疾病或过多地摄入磷，将导致高磷血症，使血液中血钙降低导致骨质疏松。一般认为成年人膳食中钙与磷的比例以 1.5:1.1 为宜。初生儿体内钙少，钙与磷的比例可接近 5:1。

(3) 磷的来源

食物中含有丰富的磷，例如紫菜、蛋黄、牛奶、虾、鸡、瘦肉等含磷较多；其他如海带、南瓜籽、葵花籽、杏仁、芝麻、红小豆、绿豆、小麦、玉米、荞麦面、红薯、豆腐皮、芹菜、菠菜、韭菜、菜花、洋葱、土豆、蘑菇、杏、李子、葡萄、栗子、柑橘等也含有一定量的磷。

5. 镁

镁在人体内的总量为 21 ~ 28g/70kg，约 60% 存在于骨骼中，其中 1/3 与磷酸紧密结合，2/3 为骨表面吸收，40% 分散于肌肉与软组织中。

(1) 镁对人体的作用

① 构成骨骼及细胞 镁在人体内的作用类似于钙，也是构成骨骼的矿质元素之一。此外镁还是构成细胞的要素，并对细胞的呼吸极其重要。

② 参与蛋白质合成 镁在蛋白质合成时起着催化作用，且是氨基酸活化所必需的元素。

③ 构成人体内多种酶的重要来源 镁离子参与体内糖代谢及呼吸酶的活化，是糖代谢和呼吸不可缺少的辅因子。

④ 维持肌肉和神经系统的兴奋性 镁离子与钾离子、钙离子、钠离子协同作用共同维持肌肉和神经系统的兴奋性，维持心肌的正常结构和功能。

⑤ 预防结石 镁与钙的吸收有关，当食物中含镁较低时，过量的钙会进入肾脏导致结石，而增加镁的摄入会预防肾结石的形成。

(2) 缺镁的症状

① 影响某些酶的活性 例如当卵磷脂酶的活性降低时,可使胆固醇的代谢发生障碍,血液中的胆固醇就会升高,易导致动脉粥样硬化症,出现心肌梗死,心律紊乱,也易引起猝死。心肌梗死的死亡者体内含镁量比正常人少40%。

② 影响心血管系统、肾脏系统 缺镁易发生血管舒张等症状。严重缺镁时,肌肉的收缩、松弛就会失去控制。

③ 影响血管收缩 人体血管的收缩,受到钠、镁、钙三种元素的相互制约。如果血液中镁离子减少,钠含量会同时升高,则钠泵失效,钙离子就相对增加,从而促使血管收缩,可导致血压升高,出现偏头疼,情绪不安、容易激动,神经反射亢进等症状。

④ 影响胎儿发育 孕妇缺镁,易出现水肿,尿蛋白、胆固醇增多等症状,同时对胎盘的供水减少,使胎儿生长缓慢,严重者可形成死胎。

(3) 镁的来源

1974年世界卫生组织提出成人每日需要摄镁量200~300mg。含镁丰富的食物有紫菜、虾皮、海带、芝麻、花生、大豆、糙米、玉米、小麦、小米、无花果、香蕉、杏仁、冬瓜子、玉米、南瓜、土豆、红薯、珍珠粉、蘑菇、黑枣、核桃、柿子、橘子等。

二、必需微量元素

1. 铁

铁是人体中含量最多的必需微量元素之一,成人总含量约为3~5g/70kg,新生儿只有0.5g。其中60%~70%存在于血红蛋白内。

(1) 铁对人体的作用

① 参与氧的循环 人体内27%的铁组成血红蛋白,3%的铁组成肌红蛋白,0.2%的铁构成多种含铁酶。血红蛋白、肌红蛋白与细胞色素具有运送氧、储存氧以及利用氧向细胞提供能量的作用,并形成氧的循环。血红蛋白与肌红蛋白都是依靠血红素中的二价铁离子与氧结合而分别运送与储存氧的。在血液循环中的血红蛋白与吸入肺中的氧结合而运送氧,肌红蛋白再从运送的血红蛋白中获得氧而与之结合,储存于各组织中,向各组织提供氧。细胞色素都是以血红素为活性中心的含铁蛋白,在线粒体内膜主要是它负责传递电子,使肌红蛋白的氧将有机营养物质氧化而获得能量,并且最后都产生二氧化碳与水。然后,血红蛋白又能输送二氧化碳到肺部而排出,使氧的代谢形成一个循环。

② 形成铁的内稳平衡 铁蛋白储存铁,并起铁的内稳调节作用;运铁蛋白结合游离铁,并起着输送铁的作用。运铁蛋白的主要功能是结合三价游离铁,使之成为可溶性易被细胞摄入的状态,并从而清除了游离铁离子,抑制自由基产生,也促进了细胞的增殖。

③ 参与各种生化反应 含铁酶参与各种生化反应过程,可产生能量,清除自由基,提高免疫能力等。

(2) 缺铁的症状

人体每日铁需要量为10~18mg,如果供给不足,可以发生缺铁性贫血,表现为头晕、心慌、体力下降、记忆力减退、注意力不集中、抗病能力低下等症状。

① 缺铁性贫血 妇女在月经期间、哺乳期及分娩时都要损失部分铁;老年人由于牙齿不利、胃酸缺乏、消化减弱、吸收能力下降,如果又不注意食物的选取,对铁的摄入量往往出现不足,另外老年人还常出现慢性疾病出血而导致铁的流失;断奶的儿童在缺乏吃含铁的