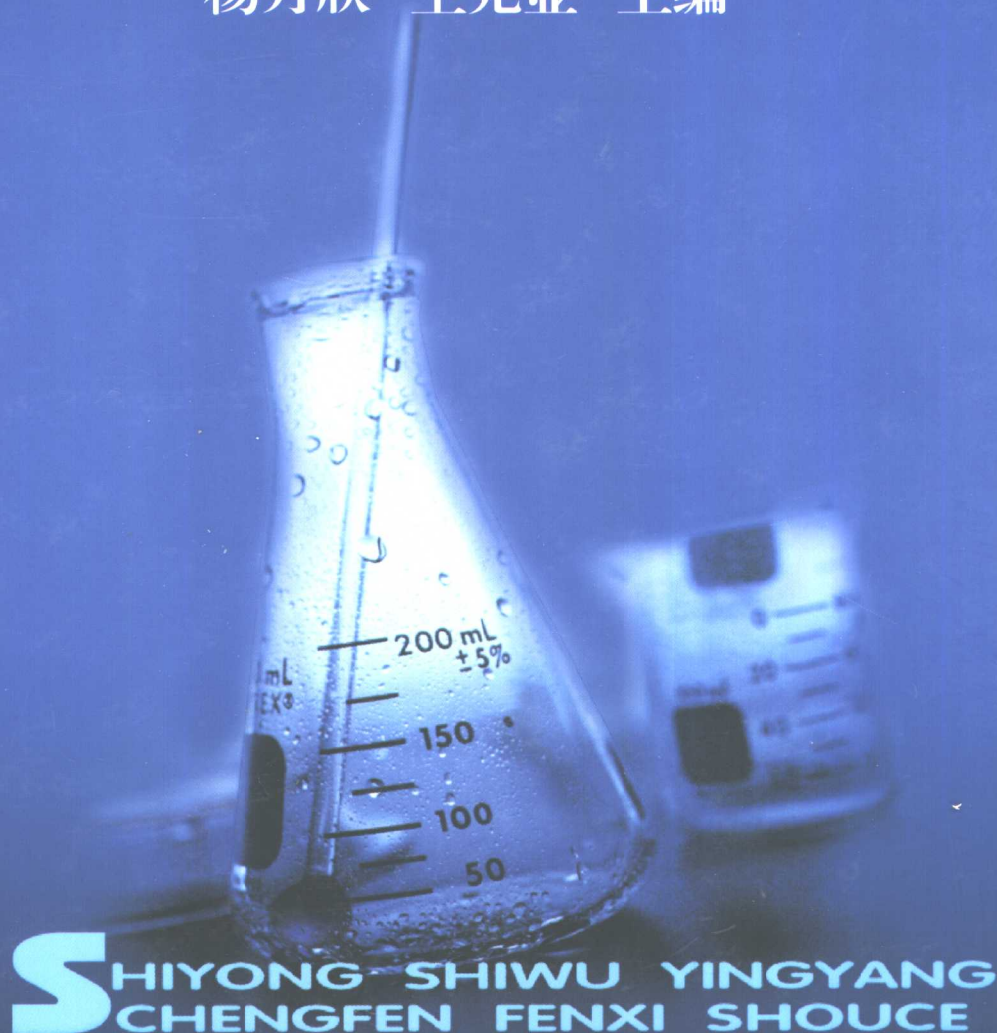


# 实用食物营养成分 分析手册

杨月欣 王光亚 主编




**S**HIYONG SHIWU YINGYANG  
CHENGFEN FENXI SHOUCHE



中国轻工业出版社

# 实用食物营养成分 分析手册

杨月欣 王光亚 主编

 中国轻工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

实用食物营养成分分析手册/杨月欣,王光亚主编.  
北京:中国轻工业出版社,2002.1

ISBN 7-5019-3276-X

I.实… II.①杨…②王… III.食品营养分析-手册 IV.R151.3-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第047725号

责任编辑:沈力匀

策划编辑:沈力匀 责任终审:滕炎福 封面设计:崔云  
版式设计:丁夕 责任校对:燕杰 责任监印:胡兵

\*

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话:010-65241695

印 刷:三河市宏达印刷有限公司

经 销:各地新华书店

版 次:2002年1月第1版 2002年1月第1次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:16.25

字 数:376千字 印数:1—3000

书 号:ISBN 7-5019-3276-X/TS·1979

定 价:38.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

# 序言

食物营养成分分析是一门研究食物的组成及含量的方法和原理的科学,食物营养成分的数据是描述食物中营养素分布和含量的资料。定量了解食物或食品中营养素含量的多寡,是食物资源的利用和开发、食品工业生产质量控制、食品检测和监督、农业生产和商业流通等发展的基础和技术支持,也是了解人群的营养状况,评价膳食的营养质量,设计和实施营养改善计划所必不可少的依据。

进入 21 世纪,随着化学分析新技术和营养学新理论的飞速发展,营养成分的分析和测定技术发生了较大的进步,许多灵敏度高、技术先进的方法得到广泛应用;这些进步促进了人们对食物中未知成分的不断发现,及对原有营养素或成分的更加深入地研究。例如碳水化合物、膳食纤维的分析测定技术,促进了其组成成分和分类学认识的改变。许多以前较难测定的营养成分,如叶酸、生物素、胆碱、可溶性膳食纤维等,随着对其测定数据的日益积累和方法学的完善,他们的功能性质及其对人类的营养作用已受到了广泛关注。另外,新资源食品、功能性食品的兴起,使得食物营养成分和功能因子的测定成为必需。营养成分的分析也从科学研究走上产品营养标签、监督检查、出具证据等的法律文件的高度。

1991 年我们曾经出版了《食物营养成分测定方法》一书,在过去的 10 年中,它给食品分析工作者带来较大的帮助,现仍有不少读者索求此书。因 10 年中分析技术的进步,其内容和分析方法已不能适应目前需要,特别是中国即将加入 WTO,食品的分析方法和标准与世界接轨已成为必然的趋势。为此我们重编了此书,即《实用食物营养成分分析手册》。这是我们在整理归档国家食品标准、国际法典委员会(CAC)和美国公职分析化学家协会(AOAC)方法接轨的基础上编写而成的,全部编写人员均为本方法的实际操作人员和国家标准的撰写者。希望编写中的注释部分能让读者有“实用”之感。它是一本现代的、能与国际标准方法接轨的应用手册,是从事食物营养成分分析的实验人员,包括食品卫生监

督、食品工业、营养学研究、大专院校有关人员的必备工具书。

本书除介绍国家或 AOAC 的标准方法外,还介绍了其他可行的方法。由于时间仓促和水平所限,书中难免有不妥之处,希望读者及时提出以便更正。

杨月欣 王光亚

2001 年 6 月

于北京

# 目 录

<b>第一章 食物营养的基础知识</b> .....	1
<b>第一节 营养素</b> .....	1
一、近似成分 .....	1
二、维生素 .....	3
三、矿物质 .....	6
<b>第二节 食物中的营养素</b> .....	9
一、营养素的食物来源 .....	9
二、食品和营养素的标识 .....	14
(一) 国际食品法典委员会(CAC)有关营养标签的主要指导原则 .....	14
(二) 国内有关食品营养标准和食品营养素标识的现状 .....	16
<b>第三节 食物和营养需要</b> .....	18
一、中国居民膳食营养素参考摄入量(DRIs) .....	18
二、维生素与矿物质功效常识 .....	22
<b>第二章 食物分析基础知识</b> .....	24
一、样品的采集与试样的制备 .....	24
(一) 概论 .....	24
(二) 取样方法在各种类型物品上的应用 .....	26
(三) 试样的预处理 .....	30
(四) 试样的保存 .....	31
二、分析误差与数据处理 .....	31
(一) 食物分析中误差的表示法 .....	31
(二) 分析方法的质量鉴定 .....	32
(三) 有效数字运算规则 .....	33
三、分析结果的表述 .....	34

四、实验室的质量控制	34
五、检测人员的职责(技术职责、行为规范)	35
<b>第三章 宏量营养素的分析</b>	<b>36</b>
<b>第一节 蛋白质及氨基酸的测定方法</b>	<b>36</b>
一、蛋白质的测定方法	36
(一) 凯氏微量法	36
(二) 自动定氮分析法	39
二、食物中氨基酸的测定方法	41
(一) 氨基酸自动分析仪法	41
(二) 胱氨酸的测定——氨基酸自动分析仪法(过甲酸氧化)	44
(三) 食物中色氨酸的测定——荧光分光光度法	45
(四) 柱前衍生法	47
(五) 柱后衍生法	52
<b>第二节 碳水化合物的测定方法</b>	<b>55</b>
一、总碳水化合物	56
二、葡萄糖的测定——葡萄糖氧化酶法	56
三、还原糖的测定方法	59
(一) 高锰酸钾滴定法	59
(二) 直接滴定法	62
四、蔗糖的测定方法	64
五、淀粉的测定方法	67
(一) 酶水解法	67
(二) 酸水解法	69
(三) 可消化淀粉和抗性淀粉的测定方法	70
六、粗多糖的测定方法	72
七、膳食纤维的测定方法	75
(一) 中性洗涤剂法	75
(二) 酶-重量法	77
<b>第三节 食物中脂肪的测定方法</b>	<b>81</b>
一、食物脂肪的测定方法	81
(一) 索泰(HT)抽提法	81
(二) 罗高氏法	83
二、食物中脂肪酸成分的测定方法	84
三、食物中胆固醇的测定方法	85

第四节	水分测定方法	87
<b>第四章</b>	<b>脂溶性维生素</b>	89
第一节	食物中胡萝卜素的测定方法	89
一、	纸层析法	90
二、	柱色谱法	93
第二节	维生素 A 和维生素 E 的测定方法(HPLC)	94
第三节	维生素 A 测定方法(比色法)	98
第四节	维生素 D 的测定方法(高效液相色谱法)	101
第五节	维生素 K 的测定方法	104
一、	蔬菜中维生素 K <sub>1</sub> 的测定方法(HPLC 法)	104
二、	食物及饲料中水溶性维生素 K <sub>3</sub> (甲萘醌)的测定方法	110
<b>第五章</b>	<b>水溶性维生素</b>	112
第一节	维生素 B <sub>1</sub> (硫胺素)的测定方法	112
第二节	维生素 B <sub>2</sub> (核黄素)的测定方法(硅镁吸附剂净化荧光法)	116
第三节	维生素 B <sub>6</sub> 的测定方法	119
第四节	食物中维生素 B <sub>12</sub> 的测定方法(微生物测定法)	121
第五节	维生素 C(抗坏血酸)的测定方法	127
一、	荧光法	127
二、	2,4-二硝基苯肼法	130
第六节	维生素 PP(烟酸)的测定方法	132
一、	微生物法	133
二、	比色法	137
三、	复合维生素制剂中的烟酰胺测定——分光光度法	140
第七节	叶酸的测定方法(微生物测定法)	142
第八节	食物中生物素的测定方法(微生物测定法)	149
第九节	食物中泛酸的测定方法(微生物测定法)	153
第十节	总胆碱的测定方法	159
<b>第六章</b>	<b>灰分及无机成分</b>	162
第一节	灰分的测定方法	162
第二节	钙的测定方法	163
一、	原子吸收光谱分光光度法	163
二、	滴定法(EDTA 法)	165
第三节	磷的测定方法	166
第四节	钾、钠的测定方法	168



第五节 铁、铜、锰、镁、锌的测定方法 .....	170
第六节 食物中硒的测定(荧光法) .....	172
第七节 食物中铅的测定方法(石墨炉原子吸收光谱法) .....	175
第八节 食物中汞的测定方法 .....	179
第九节 食物中砷的测定方法 .....	184
一、银盐法 .....	184
二、氢化物原子荧光光度法 .....	190
三、氢化物发生原子吸收光谱法 .....	193
第十节 食物中氟的测定方法 .....	196
一、扩散-氟试剂比色法 .....	196
二、扩散-电极法 .....	199
第十一节 食物中镉的测定方法(石墨炉原子吸收光谱法) .....	201
第十二节 食物中碘的测定方法 .....	205
第十三节 水溶性氯化物的测定方法 .....	208
<b>第七章 分析检测常用数据</b> .....	212
一、常见标准滴定溶液 .....	212
二、常用洗涤液的配制和使用方法 .....	219
三、实验室常用标准缓冲液的配制 .....	219
四、实验室常用缓冲液的配制方法 .....	220
五、水的体积和质量换算表 .....	223
六、常用酸碱指示剂及酸碱滴定指示剂的选择 .....	224
七、常用酸碱浓度表 .....	225
八、原子吸收分光光度法中常用的分析线 .....	225
九、溶解性表 .....	226
十、相当于氧化亚铜质量的葡萄糖、果糖、乳糖、转化糖质量表 .....	229
<b>附录</b> .....	234
一、食品营养强化范围参考 .....	234
二、保健食品标识规定 .....	237
三、美国和欧盟对主要营养素含量声明的定义 .....	243
四、国际单位制的基本单位 .....	244
五、美国新营养标签版式 .....	245
元素周期表 .....	246
<b>参考文献</b> .....	247

# 第一章 食物营养的基础知识

食物是人类赖以生存的物质基础,是人类热能和营养素的来源,人们每天必须摄入一定数量的食物来维持自己的生命与健康,以保证身体的正常生长、发育以及从事各项活动。

食物一般包括粮谷类、豆类、蔬果类、禽肉类、鱼类、蛋类、奶类和食用油脂类等。目前所知,食物本身的化学成分多达上百种,包括营养成分、芳香类物质、色素类及生物功能性因子和酶类等。常见的营养素可为五大类:碳水化合物、蛋白质、脂类、无机盐(矿物质)和维生素。

评价一种食物营养价值,食物的营养成分的含量测定是其重要的方面,食物中所含的热能和营养素的种类和含量高低,其营养素/能量密度的比例是否合理,对于满足人体需要的程度等等,都需要营养成分的分析测定数值。掌握并研究它们的方法,依靠其进行科学管理人类食物资源和控制食品质量,是营养学家和食品化学家共同的目的。

## 第一节 营 养 素

食物中含有多种营养素,本书中仅就测定方法所检测的各种营养素的特性做一简介,其目的在于试样制备过程中尽可能减少待测营养素的损失,以及在检测过程中根据该营养素的理化特性而使所测营养素在检测过程中减少破坏,从而使食物中营养素的检出量接近真实的含量。将食物中营养素分为三大类,分别列出其理化特性。

### 一、近 似 成 分

食物中的蛋白质、脂肪、碳水化合物和水分、灰分等营养成分在分析方法上称之为近似成分。因为这些检测方法所测出的仅是粗蛋白、粗脂肪和灰分等。例如,食物中的非蛋白氮也被计算成蛋白质,能溶于乙醚中的物质也被算成脂肪;凡能在 100℃ 挥发的物质均被当作水分;凡是在马福炉中不被高温燃烧的均是灰分;碳水化合物不是直接测定的,而是用减差法计算出的。这些营养素在食物中的含量是用近似分析法检测的,故称之为粗的成分或近似的成分。这些“近似成分”在食物中均有其各自的化学结构和理化特性。仅就蛋白质、脂肪、碳水

化合物的理化特性做一概述。

### 1. 蛋白质

动、植物食品中的蛋白质均由 20 余种氨基酸所组成。氨基酸约占蛋白质重量的 16%。故在测定蛋白质时将所测出的氮量乘以 6.25 ( $100 \div 16 = 6.25$ ) 即换算成蛋白质之量;小麦面筋中氨基酸的含量为 17.5%,因此在计算成蛋白质含量时乘以 5.70,其他一些食物中的蛋白质的含量均以其氨基酸组成的含氮比换算成蛋白质的计算因子,由各种计算因子计算相应的食物中蛋白质之量。表 1-1 列出几类食物中蛋白质计算因子。

表 1-1 蛋白质计算因子

食 物	计算因子	食 物	计算因子
蛋	6.25	大麦,燕麦等	5.83
肉及肉制品	6.25	小麦	5.80
鱼及禽类	6.25	玉米,高粱	6.25
乳及乳制品	6.38	小麦面全麦	5.83
动物胶(明胶)	5.55	普通粉及精粉	5.70
水果、蔬菜类	6.25	米	5.95
核桃和榛子	5.30	豆类	6.25
花生	5.46	黄豆(大豆)	5.71
芝麻、向日葵子	5.30	其他食物	6.25
麸皮	6.31		

蛋白质是一类化学结构非常复杂的有机化合物,其基本要素为碳、氢、氧、氮 4 种元素。有些蛋白质还含有硫、磷、铁、硒、碘等其他元素构成特殊的蛋白质。蛋白质的基本组分为氨基酸。常见的氨基酸有 20 余种,它们以不同的数量和排列顺序构成不同生理功能的蛋白质。

### 2. 脂肪和脂肪酸

脂肪是脂类的一种。脂类也称脂质,它包括两大类物质。一类为中性脂肪,一般称为脂肪,化学结构为甘油三酯,由一分子甘油和三分子脂肪酸组成。另一类是类脂,包括磷脂、糖脂、固醇类及脂蛋白等。食物中的脂类中绝大部分是中性脂肪,类脂仅占少量。因此将食物中的脂类统称为脂肪。

脂肪不易溶于水而溶解在有机溶剂中。食物中的脂肪通常用乙醚提取后挥发去乙醚,所剩之物即称之为粗脂肪,因为其中包含有可溶于乙醚的少量非脂肪物质。

脂质的脂肪酸可分为短链(碳原子数少于 6 个)和中链(含 6~11 个碳原子)和长链脂肪酸(含 12 个以上碳原子)。这是按脂肪酸所含碳链的数量而分的。同时也将脂肪酸按饱和及不饱和程度而分为饱和脂肪酸(不含双键)单不饱和脂肪酸(含一个双键)和多不饱和脂肪酸(含 2 个以上双键)。食物中主要的饱和脂肪酸是软脂酸( $C_{16:0}$ )和硬脂酸( $C_{18:0}$ ),主要的单不饱和脂肪酸是油酸( $C_{18:1}$ )。植物性食

物中主要含不饱和脂肪酸而动物性食品中主要含饱和脂肪酸。鱼类油脂中不饱和脂肪酸多于饱和脂肪酸而且还含有多不饱和脂肪酸,如  $C_{20:5}$ (EPA)和  $C_{22:6}$ (DHA)。

### 3. 碳水化合物

食物中的碳水化合物是糖和碳水化合物的复合物(它由碳、氢和氧三种元素组成)。碳水化合物中还可包括膳食纤维,它是一类不为人体消化酶所消化的一组化合物。糖有单糖,如葡萄糖和果糖;双糖,如蔗糖、麦芽糖和乳糖等。碳水化合物包括淀粉、多糖和膳食纤维。淀粉是葡萄糖的聚合体。膳食纤维是来自植物细胞壁的非淀粉多糖,它包括纤维素、半纤维素、果胶、树胶及藻多糖,另外木质素在化学结构上不是多糖类,但因检测方法不能排除,也就将木质素包括在膳食纤维中。

粗纤维是 20 世纪 80 年代以前在食物成分中的一种称谓。粗纤维的检测方法是用强酸和强碱消化方法,所测的粗纤维不能代表人体内不可消化的膳食纤维。由于科学的进步,营养学研究中重视了膳食纤维对人体健康的重要性,而相应地发展和更新了膳食中纤维素的测定方法,并且废弃了粗纤维的检测方法,改用当前国际通用的“酶-重量法”分别检测植物性食物中总的和可溶性及不可溶性膳食纤维。当前各国食物成分表中的碳水化合物的含量基本上是用减差法计算的结果而非检测结果。本书中碳水化合物也采用减差计算法。

## 二、维 生 素

维生素是一类微量营养素,它不能给人类提供能量,也不是人体组织结构的组成成分,但它们是人体内许多酶的成分。人必须从食物中摄取这些微量营养素才能维持健康。现已知的有十余种,根据它们在脂肪或水中溶解的性质,可分为两大类。

### 1. 脂溶性维生素

(1) 维生素 A( $V_A$ ): 维生素 A 的化学结构为视黄醇。动物性食品中含有维生素 A,主要是维生素 A 酯。维生素 A 是脂溶性长链醇,它有许多异构体。在哺乳动物组织中最常见的异构体是全反式视黄醇。维生素 A 溶于脂肪和脂肪溶剂,不溶于水。维生素 A 尤其是它的游离醇,对氧、酸和紫外线很敏感。

自 20 世纪 60 年代起,维生素 A 的含量已改用微克“视黄醇当量”表示,即 1 国际单位(IU) = 0.3 $\mu$ g 视黄醇,1 个视黄醇当量(RE) = 1 $\mu$ g 视黄醇。1 $\mu$ g 视黄醇相当于 0.344 $\mu$ g 醋酸视黄醇酯。

(2) 胡萝卜素。胡萝卜素又称维生素 A 原。植物性食品中含有胡萝卜素,它常以酯化形式存在。胡萝卜素有其特殊结构,它含有两个白芷酮环,在加氧酶的催化下,1 分子  $\beta$ -胡萝卜素可生成 2 分子视黄醇。胡萝卜素有  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  和  $\delta$  等构型。 $\beta$ -胡萝卜素在人体内可转变维生素 A。二者均含有  $\beta$ -白芷酮的环状结构,它是具有生物活性的成分。 $\beta$ -胡萝卜素和维生素 A 所含的双键全部为反式结构。天

然存在约 600 种类胡萝卜素中,只有约 50 种多种有维生素 A 的活性,其中以  $\beta$ -胡萝卜素的活性最强。一个国际单位(IU)的  $\beta$ -胡萝卜素相当于  $0.6\mu\text{g}$  胡萝卜素,  $6\mu\text{g}\beta$ -胡萝卜素相当于  $1\mu\text{g}$  视黄醇,  $12\mu\text{g}$  其他类胡萝卜素(维生素 A 原)。  $1000\text{IU}$  维生素 A  $\approx 300\mu\text{g}$  视黄醇,  $1\mu\text{g}$  维生素 A(RE)  $\approx 3.3\text{IU}$  维生素 A  $\approx 6\mu\text{g}\beta$ -胡萝卜素。胡萝卜素对热不稳定,但对光尤其是紫外线和氧的敏感。

(3) 维生素 D( $V_D$ )。维生素 D 包括两种化合物,即麦角钙化固醇(维生素  $D_2$ )和胆钙化固醇(维生素  $D_3$ )。维生素  $D_2$  来自植物,通过日光中紫外线的照射转变成有维生素活性的维生素  $D_2$ ,维生素  $D_2$  可以人工合成。动物和人皮肤内 7-脱氢胆固醇经过光化学反应转化成维生素  $D_3$ 。人经常接受日光照射,皮肤内的 7-脱氢胆固醇就能内源生成,可以不需由膳食提供。维生素 D 不溶于水,易溶于酒精和其他有机溶剂,在植物油中的溶解度较小。

(4) 维生素 E 的化学结构为生育酚。在自然界中存在着  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  型和  $\delta$  型的生育酚,其构形特点是都具有一个环状结构及一条长饱和侧链,其差别在于环中的甲基数目与位置不同,其生理活性以  $\alpha$ -生育酚最高。一个国际单位的生育酚相当于  $1\text{mg dl}-\alpha$  醋酸生育酚的生物活性。酯类的生物活性比游离生育酚高。在体外试验中生育酚具有抗氧化作用,但生物活性最强的  $\alpha$ -生育酚的抗氧化作用却最弱。维生素 E 是一种天然的生物抗氧化剂,其中  $\delta$ -生育酚是最有效的抗氧化剂。 $\alpha$ -生育酚是黄色的油状物,不溶于水而溶于有机溶剂,如丙酮、乙醇、三氯甲烷、乙醚以及其他的脂肪溶剂中。它很容易氧化,其醋酸盐具有相似生物活性且比较稳定。维生素 E 对可见光稳定但易被紫外光破坏。生育酚受  $295\text{nm}$  波长光线照射可发出荧光。在无氧情况下稳定,它们对热和碱且对酸也较稳定。但在有氧环境中会受逐渐氧化,遇碱则更易破坏。

(5) 维生素 K( $V_K$ )。维生素 K 是指一组酯类的化合物(维生素  $K_1$  存在于植物叶中如蔬菜和大豆油中;维生素  $K_2$  则存在于微生物中如细菌、酵母等),它们都具有抗出血的作用。维生素  $K_1$  和维生素  $K_2$ (分别又称  $\alpha$ -叶绿醌和  $\beta$ -叶绿醌)是自然界存在的维生素 K,已合成的具有活性的类似物有维生素  $K_3$ 、维生素  $K_4$  和维生素  $K_5$ ;它们有生物活性是因为能在人体内转化成有生理作用的维生素  $K_2$ ,即在 3 位碳原子有 20 个碳原子(4 个异戊二烯基)的异戊二烯侧链。天然存在的维生素 K 为脂溶性的、人工合成的为水溶性的。维生素 K 对热和还原剂都稳定但易被光、酸、碱和氧化剂及醇破坏。

## 2. 水溶性维生素

(1) 维生素  $B_1$ ( $V_{B_1}$ ): 又称硫胺素,由一个嘧啶和一个噻唑组成。维生素  $B_1$  存在于植物性食物,如酵母、谷物的麸皮和胚中含量较丰富,但也含在动物性食品中。硫胺素为白色晶体,溶于水,不溶于有机溶剂,很易受热或氧化而遭破

坏,尤其是在碱性环境中更易破坏,但在酸性溶液中加热至  $120^{\circ}\text{C}$  0.5h 也稳定。维生素  $\text{B}_1$  在干燥情况下很稳定,不受空气氧化。维生素  $\text{B}_1$  在食物中有多种形式,如以游离的、和蛋白质结合的,或单、双及三磷酸酯的形式存在。

(2) 维生素  $\text{B}_2(\text{V}_{\text{B}_2})$ : 又称核黄素,它是具有一个核糖醇侧链的异咯嗪的衍生物,是橙黄色晶体。维生素  $\text{B}_2$  广泛存在于动植物性食物中,富含于绿色蔬菜和动物肉中,尤其是肝脏中。维生素  $\text{B}_2$  在常温下不受空气中氧化影响,耐酸和耐热,但在碱和光中不稳定,微溶于水,在溶液中呈强的黄绿色荧光;在强酸溶液中稳定,在碱性条件下或在可见光以及紫外光线中不稳定,但在微弱的人工光源中尚稳定。

(3) 维生素 PP( $\text{V}_{\text{PP}}$ ): 又称烟酸。维生素 PP 的化学结构为吡啶  $\beta$ -羧酸,烟酰胺是相应的胺。维生素 PP 广泛存在于动植物性食物中,特别富含于鱼和肉中;在植物性食物如谷类、蔬菜中维生素 PP 多以人体不能利用的结合型存在,此种结合型可以用碱处理而使它具有生理活性的维生素 PP。维生素 PP 的白色结晶易溶于水,微溶于乙醇,不溶于乙醚。它们对热、光、空气或碱都不敏感。烟酰胺(或称烟酰胺)在酸或碱溶液中被水解成为烟酸。

(4) 维生素  $\text{B}_6(\text{V}_{\text{B}_6})$ : 维生素  $\text{B}_6$  是一类化合物,包括吡哆醇、吡哆醛和吡哆胺。此外还有相应的磷酸盐化合物即 5-磷酸吡哆醇、5-磷酸吡哆醛和 5-磷酸吡哆胺等 6 个构型。它们广泛存在于动、植物性食物中,多与氨基酸结合。维生素  $\text{B}_6$  的各种形式均易溶于水,在空气中稳定,在酸性溶液中吡哆醛和吡哆胺对热比较稳定,但在碱性介质中则对热不稳定。它们在中性或碱性环境中易被光破坏,维生素  $\text{B}_6$  是白色结晶物,易溶于水而不易溶于乙醇。

(5) 泛酸: 又称维生素  $\text{B}_5$ ,有时也称为维生素  $\text{B}_3$ ,现在的统一名称为泛酸。其化学结构为二羟基  $\beta, \beta$ -二甲基丁酰  $\beta$ -丙氨酸。它具有旋光性,只有右旋型才有维生素的生理活性。泛酸是一种黄色黏滞的油状物,但它的盐是泛酸钙,是无色结晶。泛酸钙不溶于有机溶剂,而溶于乙醇和水。泛酸的水溶液在酸性和碱性条件下,对热不稳定。泛酸以结合形式广泛存在于食物中,它在食物中较稳定。酵母、动物肝脏中富含泛酸。

(6) 维生素  $\text{B}_{12}(\text{V}_{\text{B}_{12}})$ : 又称氰钴胺,是一组含钴的类咕啉化合物,其结构为 4 个吡咯环形成的一个大环,中心为一个钴。它的化学名为  $\alpha$ -5,6-二甲基苯并咪唑-氰钴酰胺。维生素  $\text{B}_{12}$  为红色结晶,易溶于水和乙醇,但不溶于丙酮、氯仿和乙醚,在 pH4.5~5.0 的弱酸介质中最稳定,遇强酸或强碱则分解。维生素  $\text{B}_{12}$  易被强光尤其是紫外线破坏。它对常温稳定,但长时间加热则易破坏。维生素  $\text{B}_{12}$  在食品中分布不广,主要含在肉类食品中,尤其是肝脏中含量较多,另外臭豆腐乳中也含有维生素  $\text{B}_{12}$ 。

(7) 叶酸: 叶酸是一种重要的 B 族维生素,其化学名称为蝶酰谷氨酸,是由

一组与蝶酰谷氨酸的生理功能和化学结构相似的一类化合物所组成。蝶酰谷氨酸有蝶啶核、对氨基苯甲酸及谷氨酸组成；蝶酸三个谷氨酸分子组成为蝶酰三谷氨酸，或由 7 个谷氨酸分子组成蝶酰七谷氨酸都具有生物活性。叶酸是橙黄色的结晶状粉末，无臭无味，不溶于醇和乙醚，微溶于水。叶酸对热、光线和酸均不稳定，但在碱性和中性介质中对热也稳定。叶酸存在于所有绿叶蔬菜中，富含在肝脏中，但在肉、蛋及奶中也含有一定量的叶酸。

(8) 胆碱：胆碱是一种强的有机碱，它以磷酸酯或以乙酰胆碱的形式广泛存在于自然界中。胆碱的化学结构为  $\beta$ -羟乙基-3-三甲基氨的氢氧化物。胆碱为无色的黏稠性液体，有很强的吸湿性，易溶于水、甲醇、乙醇和丙酮中。稀的胆碱水溶液比浓溶液对热稳定。胆碱与酸反应生成的盐如氯化胆碱对热比较稳定。胆碱广泛存在于食物中，富含于肝脏、花生、大豆及莴苣中。

(9) 生物素：生物素也称为维生素 B<sub>7</sub> 或维生素 H。它是一个噻吩环的脲环衍生物，共有 8 个异构体，但又有一种具有维生素的生物活性，即 *d*-(+)生物素。生物素为白色结晶，对空气、热和光稳定，但在强酸或强碱介质中易于降解。生物素微溶于水和乙醇，不溶于乙醚、丙酮等有机溶剂。生物素广泛存在于天然食物中，但含量均较少，仅少数食品如酵母、肝脏、肾脏、糖蜜及油脂的种子中较丰富。

(10) 维生素 C(V<sub>C</sub>)：又称为抗坏血酸。化学结构为 6 个碳原子的  $\alpha$ -酮基-L-呋喃古洛糖酸内酯的弱酸。自然界中仅 L-抗坏血酸及其脱氧形式具有生理活性。维生素 C 为无色结晶，易溶于水，微溶于乙醇和丙酮，维生素 C 的晶体在空气中稳定，但在水溶液中易被空气中的氧或其他氧化剂所氧化生成脱氧型抗坏血酸，并可再进一步氧化而失去维生素的生物活性。维生素 C 是蔬菜与水果中的主要维生素，富含于深色蔬菜和酸味水果中。

### 三、矿物质

人体需要的矿物质有 20 余种。在人体中含量较多的有钙、磷、钾、镁、钠、氯、硫等 7 种，称之为常量元素。另外还有 14 种微量元素，它们在人体内含量很少，但各具有一定的生理功能，必须由食物供给。这些元素包括铁、锌、铜、锰、铬、钼、钴、镍、锡、钒和硒、碘、硅以及氟等。它们的化学特性分别简述如下。

#### 1. 常量元素

(1) 金属元素：钙(Ca)、钾(K)、钠(Na)、镁(Mg)是金属元素，均具有金属共有的特性。钙、镁属碱土金属，钙常以 CaCO<sub>3</sub>、CaSO<sub>4</sub> 等化合物形式存在，以二价阴离子组成的盐难溶于水。镁常以二价盐的形式存在，如硫酸镁、磷酸镁以及碳酸镁、氯化镁等。钾和钠均为碱金属，为较活泼的金属，其主要的盐类是 KCl 和 NaCl。

(2) 非金属元素：磷、硫和氯均为非金属元素。磷在自然界中主要以磷石

灰和磷钙土存在,碱金属或碱土金属与  $\text{PO}_4^{3-}$  结合生成磷酸盐类,磷与脂类可形成磷脂,如卵磷脂等。硫的化学性质与氧相似,能与碱金属、碱土金属激烈反应,形成硫化物,多数蛋白质中含有硫。氯在室温下为黄绿色气体,易被液化,其化学性质非常活泼,为强氧化剂。氯与金属及非金属能形成氯化物,最常见的与人体健康有关的为氯化钠。

## 2. 微量元素

(1) 金属元素: 14种人体必需微量元素中铁、锌、铜、锰、铬、钼、钴、镍、锡和钒等10种为金属元素,其中前7种是较为重要的元素。

铁在固态时以金属或铁的化合物形式存在,在水溶液中则以亚铁( $\text{Fe}^{2+}$ )或高铁( $\text{Fe}^{3+}$ )形式存在,两种形式易相互变换。大多数具有生理功能的铁是以血红蛋白的形式存在。

锌常以硫化物存在于矿物质中。锌的化学特性是正电性,但不参与氧化还原作用。锌在人体内为多种酶的组成成分之一。

铜是过渡金属,具有氧化还原性质,可以释放或接受电子。它在生物体内常以  $\text{Cu}^{2+}$  形式存在。在人体内是铜蛋白的组成成分之一,以及为许多氧化酶的组成成分之一。

锰是一种过渡元素,可以有-3价到+7价的化合物,并以11种氧化态存在于自然界中,人体内含锰的酶大多数是  $\text{Mn}^{2+}$ 。

铬是一种耐腐蚀的金属,常见的化合物为氧化铬、铬酸钾等;吡啉甲酸铬是葡萄糖耐量因子,其铬是三价铬,在食物中多为  $\text{Cr}^{3+}$ ,而  $\text{Cr}^{6+}$  有毒性。

铬是一种耐腐蚀的金属,常见的化合物为氧化铬、铬酸钾等;吡啉甲酸铬是葡萄糖耐量因子,其铬是三价在食物中的多为  $\text{Cr}^{3+}$ ,而  $\text{Cr}^{6+}$  有毒性。

钼是过渡元素,极易改变其氧化状态,在体内氧化还原反应中起电子传递的作用,也是许多金属酶的组成成分。钼在体内的另一种形式是钼酸盐。

钴是铁系元素,其化合价有2价和3价,钴的化合物常具颜色,可作为化妆品的颜料。钴是维生素  $\text{B}_{12}$  的重要组成成分,还是几种酶的重要组分。

镍、锡和钒在人体健康中的研究较少,其理化性质在本文中从简。

(2) 非金属元素: 人体需要的非金属微量元素有碘、硒、硅和氟。

碘(I): 碘是卤族元素之一,是一种强氧化剂,在常温下呈黑色或蓝黑色的晶体,在  $0\sim 55^\circ\text{C}$  由晶体升华为气体。碘以  $\text{I}_2$ 、 $\text{I}^0$ 、 $\text{I}^{-1}$  或  $\text{IO}_3^-$  形式存在,并可与多种元素化合。KI 和  $\text{KIO}_3$  是强化食盐的主要碘源。海水中含碘最丰富,但在自然环境中分布不均匀。碘是人类必需的微量元素。

硒(Se): 为非金属元素,有几种同素异形体,可呈无定型或晶体存在。硒的化合物对人、畜均有毒,但也是必需的微量元素。硒的盐类如亚硒酸钠用于强化



表 1-2 某些数量营养素的 ULs

年龄 /岁	钙 /mg	磷 /mg	镁 /mg	铁 /mg	碘 /μg	锌 /mg	硒 /μg	铜 /mg	氟 /mg	铬 /μg	锰 /mg	钼 /μg	维生素 A /μgRE	维生素 D /mg	维生素 E /mg	维生素 C /DFE#	叶酸 /μg	烟酸 /mg NE*	胆碱 /mg
0~				10			55		0.4							400			600
0.5~				30		13	80		0.8							500			800
1~	2000	3000	200	30		23	120	1.5	1.2	200	80					600	300	10	1000
4~	2000	3000	300	30		23	180	2.0	1.6	300	110		2000	20		700	400	15	1500
7~	2000	3000	500	30	800	28	240	3.5	2.0	300	160		2000	20		800	400	20	2000
						男 M 女 F													
11~	2000	3500	700	50	800	37	300	5.0	2.4	400	280			50		900	600	30	2500
14~	2000	3500	700	50	800	42	360	7.0	2.8	400	280			50		1000	800	30	3000
18~	2000	3500	700	50	1000	45	400	8.0	3.0	500	10	350	3000	20		1000	1000	35	3500
50~	2000	3500 <sup>▲</sup>	700	50	1000	37	400	8.0	3.0	500	10	350	3000	20		1000	1000	35	3500
孕妇	2000	3000	700	60	1000	35	400						2400			1000	1000		3500
乳母	2000	3500	700	50	1000	35	400									1000	1000		3500

\* NE=烟酸当量

# DFE=膳食叶酸当量

▲ 60岁以上磷的 UL为 3000mg。

(凡表中数字缺如之处表示未制定该参考值)