

# 食品营养成分分析

◦ 罗明泉 编译 ◦

THE ANALYSIS OF NUTRIENTS IN FOODS

中国食品出版社

51.3

R151.3

9  
3

# 食 品 营 养 成 分 分 析

罗 明 泉 编 译

王 秉 瑞 校

中 国 食 品 出 版 社

1 9 8 7 年 · 北 京

479469

## 内 容 简 介

全书分两部分，包括十二章。第一部分主要介绍常量营养物和微量营养物的化学作用和生物作用以及与食品营养成分分析有关的基础理论知识；第二部分则介绍食品中各种营养成分的具体分析方法，包括简单原理、应用范围、所用试剂和仪器、操作步骤、计算方法等。本书注重用新技术取代一些传统的分析方法，而且所介绍的方法，都是切实可行和很有成效的，因此是一本较实用的工作指导书和教学参考书。

本书可供食品、饲料、医药工业和卫生防疫、科研部门中从事食品的检验、营养成分分析和研究的人员参考和应用，也可供大专院校有关专业的教师和学生参考。

## 食 品 营 养 成 分 分 析

罗 明 泉 编 译

王 秉 瑞 校

中国食品出版社

(北京市广安门外湾子)

东城印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

开本787×1092毫米1/16 11.75印张270千字

1987年 12 月第 1 版

1987年 12 月第1次印刷

印数：1—15000

ISBN7—80044—081—8/TS·082

定价：2.65元

## 前 言

食品是人类生存的要素之一，所谓“民以食为天”。人们为了维持生命和健康，保证生产活动的正常进行和科学技术的发展，每天必须摄取足够量的、身体需要的含各种营养成分的食品。就是说人体对营养的要求不是单一的，而是多种多样的、综合的。不同的食物所含的营养成分也不同，但是没有任何一种天然食物能够单独满足人体所需要的全部营养。这就要求人们能合理地搭配食物，充分利用各种食物的营养价值。合理配置食品中的各种营养成分，还可以使同样数量的某一食品具有更高的营养价值，如在面包中添加12%的黄豆粉，可使其蛋白质的功效比值提高近2倍。反之，搭配不当，如将菠菜和豆腐同时食用，就会产生不易消化吸收的草酸钙，从而影响人体对其有益成分铁和蛋白质的吸收。此外，为了提高人们的健康水平，保证食品的品质，就要对食品进行科学的研究，以开发各种营养丰富的、色香味俱全的新食品。所有这些都要求人们对食品的成分特别是营养成分进行分析，当然还需要对食品进行卫生检测和卫生监督，以确保食品绝对安全。

随着我国食品工业和食品科学技术的发展，食品分析工作越来越受到人们特别是食品、农业、医药、卫生防疫、商业等部门的有关科技、教学人员的重视。各有关部门都配备了一定数量的食品分析专职人员，并购置和引进了一些先进的分析仪器和设备，有关高等院校还设置了食品分析专业，这说明我国的食品分析工作目前已提高到一定的重要地位。

但是我国的食品分析工作和整个食品工业一样，目前还比较落后，直到现在一些人们对食品分析所采用的方法，往往仍限于手工操作的传统化学方法和生物学方法。这些方法在人们的生活水平还不太高和食品制造工艺还较简单的时期，大致还能满足一些食品质量控制的需要。但随着社会的进步，生产的发展，对外经济交往的不断增多，这些分析方法的准确度和精密密度已不能适应客观实际的需要和现代食品科学技术发展的要求。还有，现代许多食品加工日益精细的复杂性，这些方法是很难获得省时、准确的分析结果的，特别是非常规的分析，往往费时费力又达不到应有的分析效果。

近30年来，世界仪器分析发展很快，人们已陆续研制出一系列现代仪器分析装置及其应用技术。例如，离子交换、气液色谱、高效液相色谱、质谱、核磁共振、色谱-质谱联用等先进技术的应用，大大提高了人们分析混合食品复杂成分的能力，光谱学分析仪器和其他现代检测装置的出现，使食品化学成分检测的灵敏度和专一性大为提高，机械化、自动化装置为在限定的时间内处理大量样品，提供了卓有成效的手段。近年来，我国已先后引进了一些上述先进分析仪器和技术，使我国的食品分析水平有了一定的提高，但还远远不够。为了达到有朝一日能普遍使用的目的，本书以一定的篇幅，结合使用介绍这些先进技术成果，当然为了照顾不同分析技术条件的差别，对一些虽然不太先进但仍有一定作用，经人们实践验证可靠的传统分析方法，本书也结合使用予以介绍。

本书是在D.R.奥斯本（Osborne）等所著“*The Analysis of Nutrients in Foods*”（《食品中营养物的分析》）一书的基础上，搜集了其他有关资料编写而成。全书内容分为两部分：第一部分为基础理论部分，主要阐述食品中主要营养物的化学作用和生物作

用, 以及与食品营养成分分析有关的基础理论知识。作为一个食品分析工作者, 仅仅掌握一些可靠的和有效的分析方法是不足的, 还需要了解一些有关营养学的知识, 以便对所要进行的食品分析的意义和目的有明确的认识。只有这样才能准确地判断分析所得的结果和数据, 并能正确地合乎情理地予以解释。本书的这一部分正是为这些食品分析工作者特别是青年食品工传者以及高校有关专业低年级学生提供这方面知识的。第二部分为实践部分, 主要介绍食品分析中六大营养成分: 水、蛋白质(包括必需氨基酸)、脂肪、碳水化合物、主要矿物质和重要维生素等的具体分析方法。这一部分结合具体营养物的分析, 着重介绍现代仪器分析方法, 包括试样的制备、分析步骤、所用试剂及仪器设备等, 如用新的高效液相色谱法分析食品中的某些维生素, 用原子吸收法分析食品中的微量金属元素, 用发射光谱分析法一次可同时测定多种元素, 等等。当然也同时介绍一些传统有效的化学分析方法(如比色法)和生物学方法(如酶法和微生物法)。另外还收集了部分国际标准参考方法。所有这些方法都是切实可行和已有成效的方法。对那些有一定基础知识又有一定实际操作经验的食品分析工作者想学习掌握现代仪器分析方法, 本书将是一部有益的专业指导书和自学参考书。总之, 不管是哪一部分读者, 如果本书能对你们有所裨益, 从中学到一点所需要的东西, 将是本书编译者最大的欣慰和希望。当然, 由于编译者水平有限, 书中错漏和不妥之处在所难免, 诚望读者批评指正。

本书在编译过程中曾得到卢大修、应迪之、陈仁芳等同志的关怀、帮助和指正, 在此一并表示衷心感谢。

编译者 罗明泉

1986年8月

## 目 录

第一部分 食品中营养物的化学作用、生物作用和分析 .....	( 1 )
第一章 常量营养物的化学作用和生物作用 .....	( 1 )
一、蛋白质 .....	( 1 )
二、碳水化合物 .....	( 4 )
三、脂类 .....	( 5 )
四、热值 .....	( 10 )
五、水 .....	( 11 )
第二章 微量营养物的化学作用和生物作用 .....	( 13 )
一、矿物质 .....	( 13 )
二、维生素 .....	( 16 )
第三章 食品中营养成分的分析 .....	( 24 )
一、采样的误差和程序 .....	( 24 )
二、常量营养物的分析 .....	( 25 )
三、微量营养物的分析 .....	( 28 )
第二部分 食品营养成分的分析 .....	( 31 )
引言 .....	( 31 )
第一章 一般试样的制备 .....	( 32 )
第二章 水分和固体总量的测定 .....	( 33 )
一、烘干法 .....	( 33 )
二、减压干燥法(真空干燥箱法) .....	( 33 )
三、蒸馏法(迪安-斯达克蒸馏法) .....	( 34 )
四、电位滴定法(费歇尔法) .....	( 35 )
第三章 蛋白质和含氮化合物的测定 .....	( 37 )
一、总氮和天然蛋白质的测定(克耶达法) .....	( 37 )
二、总氮和天然蛋白质的测定(自动比色法) .....	( 39 )
三、蛋白质氮和非蛋白质氮的测定 .....	( 41 )
四、氨基酸成分的测定(自动色谱法) .....	( 42 )
五、利用化学比数估价蛋白质质量 〔密契尔(Mitchell)-(布洛克(Block))法〕 .....	( 48 )
第四章 碳水化合物的测定 .....	( 50 )
一、总的可用碳水化合物的测定(手工操作克莱格(Clegg)蒽酮法) .....	( 50 )
二、总的可用碳水化合物的测定(自动克莱格蒽酮法) .....	( 51 )
三、淀粉和总低分子量糖的测定(卢弗-斯科尔(Luff-Schoorl)法) .....	( 53 )
四、淀粉的测定(酶法) .....	( 56 )

五、肉制品淀粉含量的测定	(58)
六、还原糖和蔗糖的测定(自动苦味酸法)	(62)
七、乳糖的测定(酶法)	(64)
八、糖成分的测定(高效液相色谱法)	(66)
九、粗纤维的测定	(69)
十、酸洗纤维的测定	(71)
<b>第五章 脂类的测定</b>	<b>(72)</b>
一、可提取脂肪的测定〔索格利特(Soxhlet)法〕	(72)
二、总脂肪的测定(魏伯尔法)	(73)
三、总脂肪的测定(氯仿-甲醇提取法)	(74)
四、乳制品脂肪的测定(罗舍-果德勒法)	(76)
五、脂肪酸成分的测定(气液色谱法)	(78)
<b>第六章 灰分、元素和无机成分的测定</b>	<b>(80)</b>
一、灰分的测定	(80)
二、肉和肉制品灰分的测定	(81)
三、淀粉灰分的测定	(82)
四、食品中金属元素的测定(原子吸收法)	(83)
五、钾和钠的测定(火焰光度测定法)	(86)
六、铬的测定(火焰原子吸收分光光度测定法)	(87)
七、硒的测定(荧光分光光度法)	(89)
八、锡的测定(比色法)	(90)
九、食品中多种元素的测定(电感耦合高频等离子体发射光谱分析法)	(92)
十、氯化物的测定〔滴定快速伏哈德(Volhard)法〕	(95)
十一、氯化物的测定(电位滴定法)	(96)
十二、氨的测定(比色法)	(97)
十三、总磷的测定(比色法)	(99)
十四、总磷的测定(自动比色法)	(101)
<b>第七章 脂溶性维生素的测定</b>	<b>(103)</b>
一、维生素A和 $\beta$ -胡萝卜素的测定(分光光度法)	(103)
二、维生素A和 $\beta$ -胡萝卜素的测定(自动高效液相色谱法)	(107)
三、维生素D的测定(气相色谱法)	(109)
四、维生素D的测定(高效液相色谱法)	(113)
五、维生素E的测定(薄层色谱法)	(117)
<b>第八章 水溶性维生素的测定</b>	<b>(102)</b>
一、维生素B <sub>1</sub> 的测定(荧光测定法)	(120)
二、维生素B <sub>1</sub> (硫胺素)的测定(自动高效液相色谱法)	(122)
三、维生素B <sub>2</sub> 的测定(荧光测定法)	(124)
四、维生素B <sub>2</sub> 的测定(自动高效液相色谱法)	(126)
五、烟酸的测定(自动高效液相色谱法)	(128)

六、测定维生素的微生物学方法介绍 .....	(130)
七、维生素B <sub>2</sub> (核黄素)的测定 (微生物学方法) .....	(132)
八、烟酸的测定 (微生物学方法) .....	(134)
九、维生素B <sub>6</sub> 的测定 (微生物学方法) .....	(136)
十、维生素B <sub>12</sub> 的测定 (微生物学方法) .....	(138)
十一、抗坏血酸的测定 (滴定法) .....	(140)
十二、抗坏血酸的测定 (电位滴定法) .....	(142)
十三、抗坏血酸和脱氢抗坏血酸的测定 (荧光测定法) .....	(144)
<b>第九章 热值的计算</b> .....	(147)
<b>附录</b> .....	(148)
附录一 实验数据的统计处理 .....	(148)
附录二 一些发达国家每日膳食中营养物的建议供给量 .....	(156)
附录三 美国和西欧国家部分食物中营养物和能量的平均含量 .....	(165)
附录四 我国每日膳食中营养物供给量 .....	(170)



# 第一部分

## 食品中营养物的化学作用、生物作用和分析

### 第一章 常量营养物的化学和生物作用

#### 一、蛋白质

蛋白质一词英文为Protein，在一百多年以前是由希腊字演变而来的，意思是“第一重要”，就是说蛋白质对于人体是第一重要的物质，所谓“蛋白质是生命的基础”，“没有蛋白质就没有生命”是一点也不夸大的，因为蛋白质是一切细胞和组织的基本组成物质。所以一切有生命的地方，就有蛋白质。蛋白质也是构成人体的基本物质。人体的细胞、组织的一切新陈代谢等活动都是靠从食物中获取新的蛋白质成分来补充的，如果长期缺乏蛋白质，机体就无法生长，就会死亡。

氨基酸是蛋白质组成的基本单元，是蛋白质水解的产物，也是蛋白质消化后的最终产物。氨基酸基本上是由氮、碳、氧和氢组成的，一般含有一个氨基（ $-\text{NH}_2$ ）和一个羧基（ $-\text{COOH}$ ），不过有三种氨基酸还含有硫。现已证明，蛋白质是由20多种氨基酸构成的，各种蛋白质所含氨基酸的组成是不同的。一个蛋白质分子中有数十、数百个，有时有数千个氨基酸单元（如胰岛素是最简单的蛋白质，由51个氨基酸单元构成，木瓜蛋白酶由211个氨基酸单元构成，血红蛋白由574个氨基酸单元构成，...），这些氨基酸是通过肽键连接在一起的，形成长链结合的聚合物。蛋白质的基本结构和氨基酸的一般化学式如图1和图2所示，其中R基可随形成链的氨基酸单元而变化。一个蛋白质分子含有这么多氨基酸单元，而

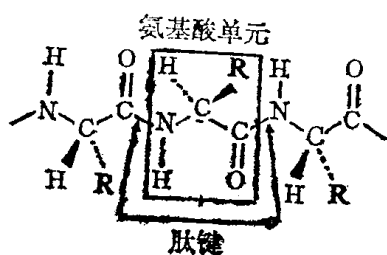


图1 蛋白质的基本结构

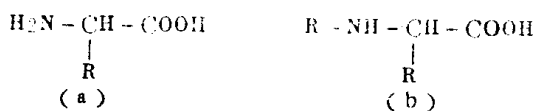


图2 (a)  $\alpha$ -氨基酸和 (b)  $\alpha$ -亚氨基酸的一般化学式

氨基酸又有20多种，这些氨基酸可以按不同的数目相互结合，因而可以产生出无数的蛋白

质。例如一个含有288个氨基酸单元和12种不同氨基酸的蛋白质分子，就能有 $10^{300}$ 种不同的排列顺序。这些氨基酸还可以按不同的顺序构成一种蛋白质，这种不同的顺序就确定了各种蛋白质的不同形状和功能。例如，丝蛋白是纤维状的，是直的、扁平的链；血红蛋白（即血液中能携带氧分子的蛋白质）是球形的；酪蛋白（即牛奶中的蛋白质）则是由不同长度的链按照非常复杂的排列顺序，通过无机钙盐连接起来的。还有很多蛋白质是由几条链按照螺旋结构互相缠绕而成的，这些螺旋结构极为复杂。由此可知，所有蛋白质的分子都是很大的，而且结构很复杂，每一种蛋白质都有它自己的生理特性；不同蛋白质的物理、化学和营养等特性是随其氨基酸组成的数量、蛋白质分子中氨基酸单元的排列顺序和交联、以及形态结构而变化的。

**必需氨基酸和非必需氨基酸：**如前所述，人类每天靠从食物（包括动物性食物和植物性食物）中摄取蛋白质来维持机体的需要，其最主要的来源如肉、鱼、奶、蛋类、谷类、豆类、蔬菜和水果等。当人们摄食这些食物时，其中的蛋白质经胃肠道中的水解酶消化分解为氨基酸被吸收到血液中，并通过血液输送至各个组织，按各器官和组织的需要合成人体细胞生长、维持和修复所需要的各种新蛋白质。人体所需要的氨基酸大约有22种，其中有8种氨基酸是成年人所绝对必需，而且是在人体内不能合成，只能从食物中获取的，这些氨基酸称为必需氨基酸，它们是赖氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、色氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、缬氨酸和苯丙氨酸。对于儿童除以上8种外还需要组氨酸和精氨酸（最近有资料表明，组氨酸可能也是成年人的必需氨基酸）。其他12种（如甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、正亮氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、羟基谷氨酸、脯氨酸、羟基脯氨酸、瓜氨酸、胱氨酸和酪氨酸）称为非必需氨基酸。所谓非必需，并不是说这些氨基酸在生理学的作用方面不大重要，而是因为这些氨基酸在人体内都能自行合成，不必经常由食物供给，何况它们在有些食物中的数量还是比较充裕的。如果食物中没有这些氨基酸，人体可以从食品中的其他成分来合成它们。人体合成其他非必需氨基酸是靠人体中的氮来进行的，而食物中的蛋白质是这种氮的主要来源，因为食物中的糖和脂肪仅能提供人体碳、氢和氧。

**评定食物中蛋白质质量的标准和方法：**

1. 食物蛋白中含有全部必需氨基酸而且比例适当的，叫完全蛋白质或高质量蛋白质，食物蛋白中缺乏某一种或数种必需氨基酸或含量较低的，叫不完全蛋白质或低质量蛋白质。鸡蛋、人奶、大多数肉类、牛奶和奶制品就是属于完全蛋白质食物，谷物、蔬菜、水果等则是属于不完全蛋白质食物。人们想要从不完全蛋白中摄取完全蛋白，就要很好地调配食物，使缺乏的氨基酸得到适当的补充，因而使氨基酸的摄取得到平衡。如精白面中的必需氨基酸赖氨酸含量较低，人体就不能有效地利用这种蛋白质，但如果将白面做成面包，由于加入了赖氨酸含量较高的牛奶和酵母，因而就提高了面粉蛋白的营养价值。又如大豆蛋白缺少蛋氨酸这种必需氨基酸，如果将大豆和肉混合在一起食用，就能更有效地为人体利用。一种食物蛋白中某种必需氨基酸缺乏或含量较少，该氨基酸称为“有限氨基酸”（有的资料定义为：其他食物中各种氨基酸的含量与鸡蛋中相应的氨基酸含量相比时所得的最低比率称为有限氨基酸）。如小麦面粉的有限氨基酸为赖氨酸，玉米和白明胶的有限氨基酸均为色氨酸。大豆的则为蛋氨酸。一种食物蛋白和另一种（或数种）食物混合食用时，其中的必需氨基酸可以互相补充，从而使所有必需氨基酸在比例上接近人体的需要，则这种混合食物就具有较高的营养价值，这样的氨基酸叫做互为补体。（参看图3）

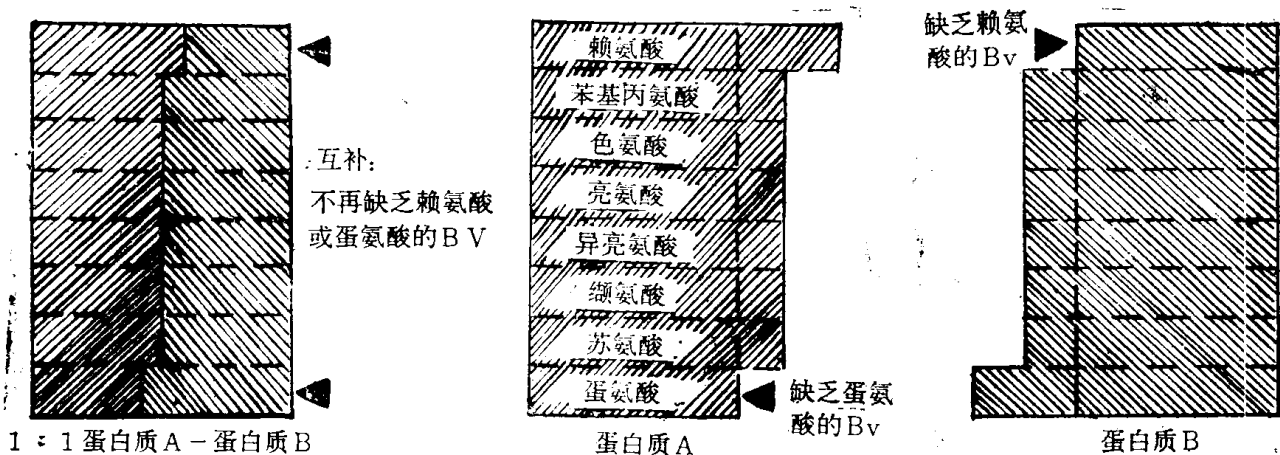


图3 蛋白质的互补原理

如上述的精白面和牛奶、大豆和肉均互为补体，互补蛋白质的例子还有鱼和米饭、玉米和豆类等。蛋白质的互补原理还可以从蛋白质的生物效价（BV）角度来阐述（详见下述）。

2. 衡量食物蛋白质营养价值的高低，可以从它的蛋白质的含量、所含必需氨基酸的数量、蛋白质为人的消化吸收率和蛋白质的生物效价等方面来评定。

（1）化学比数：该法就是通过将一种蛋白质食物的氨基酸含量与某一参考蛋白质（通常为鸡蛋，因为鸡蛋具有最接近于人体需要的平衡的必需氨基酸，所以以它的氨基酸含量为标准，即100%）做对比，所得对比结果即为所谓蛋白质的化学比数。例子如下：

化学比数：鸡蛋100；牛奶95；牛肉93；大豆74；稻米67；小麦53；玉米49。

（2）按生物效价（BV）来确定蛋白质质量：生物效价的严格定义是“正在生长的动物为生长和维持正常生理功能在体内所储留的氮与所吸收的氮的百分比”，即：

$$\text{蛋白质生物效价} = \frac{\text{氮储留量}}{\text{氮吸收量}} \times 100$$

“氮”是指容易测定的蛋白质含量指标。

人体只要摄入足够量的蛋和人奶蛋白质，就能为正常生长和正常生活提供全部必需氨基酸。蛋和人奶蛋白质按营养价值来说，是最高的。它们含有人体需要的、比例适当的氨基酸。如果对在实验条件下正在生长的动物供给所述蛋白质，假设所吸收的100%的蛋白质都用于蛋白质的合成，一点也没有转化成能量，那么，就可以把这种蛋白质的生物效价定为100。没有比这更好的其他蛋白质了。牛奶、肉和鱼次之，再其次是植物蛋白，也就是小麦、稻米、豆类和坚果中的蛋白质。例如，牛奶蛋白质缺少蛋氨酸和胱氨酸，BV为75；小麦蛋白质缺少赖氨酸，BV仅为50。

人类的膳食当然不是由单一蛋白质组成的，而是由许多蛋白质混合组成。这种混合对我们有着重要意义，因为这将往往发生下述的情况，即较低BV的不同蛋白质混合所产生的混合物的BV，比我们根据个别BV的平均值所预料的高。如果出现这种情况，可以说这些蛋白质在营养学上是互为补体。用图解法能很好地说明互补原理（图3）。一个实际例子是BV为50的面包和BV为75的乳酪，按3/4份面包和1份乳酪所制混合食品，其BV为75。原因是面包中缺少赖氨酸而由乳酪中过量的赖氨酸所补充。图3也有助于解释：如果两种混合成分中的蛋白质都缺乏同一氨基酸则为什么不发生互补作用。例如，玉米（BV为36）和面包（BV为50）的混合食品，由于两者都缺乏赖氨酸，其BV为43，是单个值的平均数。同样，如果蛋

白质是在不同时间摄入的，则也不发生蛋白质之间的互补。为保证互补，两种蛋白质必须在同一顿饭同时摄入，因为身体除把蛋白质用作能源外，储存未用氨基酸的能力是很小的。

(3) 净蛋白质利用率 (NPU)：有些蛋白质比另一些蛋白质容易吸收。因此用另外的质量指标即净蛋白质利用率 (NPU) 计及这些差别，NPU 就是为生长和维持正常生理功能所摄入氮的利用百分率。

(4) 蛋白质效率 (PER)：第四种通用的指标是蛋白质效率 (PER)，它可由一组试验动物体重的增加除以所消耗蛋白质的量而得到。用后三种指标表示的大豆蛋白质、牛肉蛋白质和牛奶蛋白质的质量如下：

	BV	NPU	PER
大豆	75	69	2.3
牛肉	76	76	3.2
牛奶	85	83	2.9

## 二、碳水化合物

碳水化合物又称为糖类，是人类最重要的营养物之一，它们存在于所有的植物中。植物中的二氧化碳和水通过光合作用转化为碳水化合物。动物就不能合成碳水化合物，这一点是动物和植物间的基本区别之一。

人类膳食中的碳水化合物主要是从植物性食物原料如谷类（及其制品面粉）、蔬菜、糖蜜饯中获得。除此之外，在营养方面最重要的是获自动物奶（主要为牛奶）和人奶的乳糖。碳水化合物供给人体活动需要的大部分能量（正常情况下为70%）。现行营养学观点倾向于赞成由膳食中的碳水化合物提供总能量需要的50~65%。然而，由于生态的和经济的因素致使来自膳食中碳水化合物占总需要能量的百分数变化很大，甚至在极个别情况中为20~80%。即使这样，仍符合健康要求。

碳水化合物（糖类）以不同的形式存在于不同的食物中。主要有三种形式：第一种是单糖，它是所有糖类的基本结构单元，由3~6个碳原子、12个氢原子和6个氧原子组成。葡萄糖、果糖、半乳糖和核糖就是常见的单糖，但存在量相对较少。第二种是双糖，为两个单糖的化合物，双糖大部分为蔗糖和乳糖（蔗糖就是由一个葡萄糖分子和一个果糖分子结合而成的）其他较少的如麦芽糖。它们大量地或是天然存在于食物中，或是人为地添加到食品中。第三种是多糖，为三个分子以上的单糖构成的糖类，大量存在于自然界中，如淀粉、糖原、纤维素、半纤维素和果胶等。多糖类中有一部分能为人体消化吸收，如淀粉、糊精、糖原等；而纤维素和果胶则不能被消化吸收。另有一种少量以多糖部分分解的产物，如糊精形式存在，不过一般文献多将这类并在多糖类里来叙述。

然而，所有这些碳水化合物在被代谢和为人类提供能量所起的同一作用上不都是同样“可利用的”。例如，食品碳水化合物的主要提供者淀粉（多糖）被认为是“可用的”，因为它被口内和小肠中的酶所破坏，使 $\alpha$ -(1-4)糖苷键断裂，并为反复分解出来的双糖（麦芽糖）单元所降解。这些双糖和已存在于膳食中的其他双糖（例如蔗糖，乳糖）一起被吸收到小肠粘膜内，在这里酶把它们分解成单糖（葡萄糖，果糖，半乳糖），然后被吸收到血液中，再输送到人体各组织中供合成或产生能量用。

相反，作为植物组织主要结构成分的多糖类，如纤维素却被认为是“不可用的”。由于人类消化道不分泌能够裂解 $\beta$ -(1-4)糖苷键的酶，大部分纤维素与其他“不可用的”碳水化合物（如半纤维素等）及不能消化的物质（如木质素）（总称为“膳食纤维”）一道无变化地通过机体，这些难消化的粗糙纤维素食物和大量必需物为人体消化器官下部肠道蠕动起特定作用。

纤维素虽然在人体内不能被消化吸收，也不能提供能量，但它们是重要的膳食成分，它们能促进肠道蠕动，能吸收人体的水分，同其他废物一起使粪便的体积增加，有利于粪便的排泄。人类膳食中的纤维素有50%以上可被肠道细菌中的酶分解，除产生水和二氧化碳外，还形成乳酸，乙酸和其他短链脂肪酸。粪便体积的增加和短链脂肪酸的形成是促进肠道蠕动的主要原因。因此，增加膳食中的纤维可增多便秘的次数和分量，起天然轻度泻药作用。大便次数多（决不是泻肚），使粪便通过肠道的时间缩短，从而降低了大肠内的压力，减少了细菌及其毒素对肠壁的刺激，因而可降低肠内憩室病和肿瘤等的发病率。它还能吸收消化道中的胆固醇，避免其进入血液，从而有利于防止冠心病的发生。

至于某些人对可用的（或不可用的）碳水化合物的需要是否可能比另一些人要多一些，尽管仍有一些争论，并且已观察到不同种族间对不可用的碳水化合物的利用能力存在差异，但是食品中碳水化合物的下述分类是普遍公认的：即食品中“可用”的碳水化合物有单糖、双糖和多糖的糊精、淀粉及糖原。“不可用”的碳水化合物有天然存在的多糖纤维素、半纤维素、树胶、果胶和作为工业助剂可少量添加到食品中的其他多糖（例如琼脂、角叉菜、角豆荚胶等）。

### 三、脂 类

肉类、蛋类、乳制品、脂肪，尤其奶油、人造奶油和烹调用油是膳食中脂类的主要来源。

脂类包括脂肪和类脂。脂肪是由一分子的甘油和三分子脂肪酸化合而成，又名甘油三脂。日常食用的动植物油，主要成分是脂肪，由于其中脂肪酸的组成不同，有的在常温下是固体，如猪油，有的在常温下是液体，如豆油、花生油、菜油等。类脂包括磷脂及固醇类化合物，其性质与脂肪类似。许多食物常常同时存在这两种脂质。

脂类为人类提供大部分能量，按重量计可提供超过两倍的蛋白质或碳水化合物所提供的能量。正如由于生态的和经济的因素影响人类膳食中碳水化合物所提供的能量百分比那样，脂类所提供能量百分比的变化也是相当大的，从不发达和人口过密地区的6~10%到较富裕国家的35~45%。现行营养学观点倾向于赞成膳食脂类提供相当于总需要能量的25~35%。

脂类是天然存在的多相类物质，它不溶于水，但溶于许多有机溶剂（例如氯仿、乙醚、乙烷等）。有三种主要脂类：简单脂类，复合脂类和衍生脂类。其分类、由来、结构和存在如表1~3所示。

概括说来，虽然脂类是多相和复合类天然存在的物质，但其全部都具有重要的生理学作用，从总膳食摄入的脂类来看最大量的成分（即通常 $\geq 95\%$ ）是甘油酯，较少量的（ $\leq 10\%$ ）是蜡、磷脂、固醇和脂肪酸，其他脂类是微量的。

当脂肪（主要为甘油三酸酯）摄入后，经胃进入十二指肠，在此通过酶（例如脂酶）水

解，产生脂肪酸、单酸甘油酯和甘油。这些物质同胆盐一起，把脂肪乳化成非常小的微滴，

表1 简单脂类的分类、由来、结构和存在

分类	由来	一般结构式	取代基(R)
甘油酯 (油类或脂肪)	一元羧酸(脂肪酸) 和甘油的酯	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OCOR} \\   \\ \text{CHOH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CHOCOR} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	
		(一甘油酯)	
		$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OCOR} \\   \\ \text{CHOCOR} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OCOR} \\   \\ \text{CHOH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OCOR} \end{array}$	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}$ $\text{C}_n\text{H}_{2n-3}$ $\text{C}_n\text{H}_{2n-5}$ $\text{C}_n\text{H}_{2n-7}$
		(二甘油酯)	
		$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OCOR} \\   \\ \text{CHOCOR} \\   \\ \text{CH}_2\text{OCOR} \end{array}$	(关于R和OR'的典型结构, 参看表3衍生脂类)
		(三甘油酯)	
蜡	长链和脂环-羟基醇 及脂肪酸的脂	$\text{RCO(OR')}$	(OR') = 胆甾烯基等

(注) 混合三甘油酯是天然油类和脂肪的主要组分。一甘油酯和二甘油酯仅微量存在于天然油类和脂肪中。在工艺过程中,加工的脂肪可能含有达20%的一甘油酯和二甘油酯,例如它们具有乳化特性。蜡在自然界分布很广,但一般地说并不丰富,它通常只存在于动物和植物表层。

进一步消化,然后由小肠粘膜吸收到体内。在体内可能出现脂肪的进一步消化,并由人体血液中的脂肪酸重新合成新的甘油三酸酯的。因此,在消化和吸收过程中食物中的甘油酯失去其某些特性,并被更具脂类特征的甘油三酸酯所取代。

脂肪被吸收之后,作为血液中的脂蛋白复合物,或直接地或间接地经肝脏使之进一步分解和重新合成,然后被输送到脂肪组织储存库内,在这里它们起能量储存器或合成原料的作用。

从一种平衡的膳食中除去全部脂肪,会引起动物生长的停止,皮肤起鳞,再生障碍和肾功能损害。这些异常现象可通过供给适量的不饱和脂肪酸亚油酸和花生四烯酸来进行治疗或预防。看来,虽然动物组织能够合成大部分饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸,但是,除非供给的食物中含有该食物的前体,否则它们是不能够产生在碳原子第6位置上有一个双键的不饱和脂肪酸系的。因此花生四烯酸(或者与亚油酸一起)对正常发育的尤其身体储存脂肪很少的幼小动物来说是必不可少的(因此称为必需脂肪酸)。

脂肪是活组织的必需成分,是人类营养必不可少的。因为脂肪能被储存并可动用,所以它是人体的主要储存物质。为保证膳食能供给必需脂肪酸和脂溶性维生素A、D和E,平衡地摄入脂肪也是必要的。




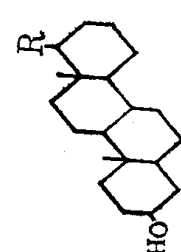

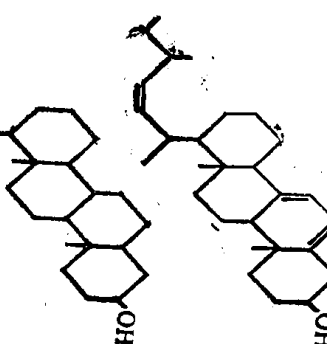
表3 衍生脂类的分类、结构和存在

分类	一般结构式	特殊例子	名称
脂肪酸			
(i) 饱和脂肪酸*	$C_nH_{2n+1}COOH$		棕榈酸
			硬脂酸
(ii) 不饱和脂肪酸	$C_nH_{2n-1}COOH$		油酸
(iii) 多不饱和脂肪酸**	$C_nH_{2n-3}COOH$		亚油酸
	$C_nH_{2n-5}COOH$		亚麻酸
	$C_nH_{2n-7}COOH$		花生四烯酸
(iv) 其他脂肪酸			苹果酸
例如环脂肪酸			
不饱和-羟基脂肪酸			
脂肪酸			蓖麻醇酸



表3

(续)

分 类	一般结构式	特殊例子	名 称
醇 类			
(i) 甘油	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CHOH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$		
(ii) 长链醇	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ 例如 $\text{C}_{15}\text{H}_{33}\text{OH}$	 $\text{H}_3\text{C} \sim \sim \sim \text{OH}$	鲸蜡醇
(iii) 固醇 (甾醇)	$\text{C}_{27}\text{H}_{46}\text{OH}$ 	 	胆固醇 麦角甾醇

其他脂溶性物质 (例如脂溶性维生素A、D、E及K, 其结构参看有关章节)

关于存在的一般注释, 除非食品发生水解或氧化变质 (在这种情况下该食品由于酸败而很可能不合要求), 游离脂肪酸仅痕量存在于食品中。固醇存在于植物和动物脂肪中, 但量通常低于0.5%。其他醇类和脂溶性维生素仅以痕量存在。

- \* 主要是棕榈酸和硬脂酸, 但也有少量许多其他的饱和脂肪酸。一般是没有支链的, 所含碳原子数大部分从 $\text{C}_4$ 到 $\text{C}_{22}$ , 有达 $\text{C}_{26}$ 的。
- \* 如所示, 除有些外, 含碳原子数从 $\text{C}_{18}$ 到 $\text{C}_{24}$ , 具有1到3个双键。