



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

食品营养学

● 姚汉亭 主编

● 农产品贮藏与加工、食品工程等专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

食品营养学

姚汉亭 主编

农产品贮藏与加工、食品工程等专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

食 品 营 养 学

姚汉亭 主编

责任编辑 董江峰

出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 中国农业出版社印刷厂

* * *

开 本 787mm×1092mm16开本

印 张 10 字数 226千字

版、印次 1995年5月第1版

1998年5月北京第3次印刷

印 数 4,901~7,500册 定价 11.20元

书 号 ISBN 7-109-03281-7/R·14

ISBN 7-109-03281-7



9 787109 032811 >

前 言

《食品营养学》是按照农业部“高等学校农科教材编审出版暂行规定”的要求和有关规定编写而成的“八五”规划教材之一。供农产品贮藏与加工、食品工程等专业用。

营养学是一门综合性的学科，食品营养学是营养学的一门分支学科。“民以食为天”，食品中存在着热能和营养素，所以实质上是“民以食品中的热能和营养素为天”。食品营养学不仅与基础医学（人体生理学、人体生物化学、病理生理学等）有关，而且与农业科学、食品科学（食品化学、食品卫生学、食品加工工艺学、贮藏运销学等）密切相关，与食物生产有关。为适应教育改革的需要，高等农业院校前述专业开设食品营养学课程、其他专业开设营养学有关的课程势在必行。为此我们编写了这本教材。在编写中我们力图使它具有中国特色，既要反映当代先进科学水平，又要贯彻理论与实践相结合的精神，使之符合我国农业科技进步、食品加工迅速发展对人才培养的需要。此外我们还注意到本教材与相关学科的有关教材的联系，并减去了不必要的重复内容。

食品营养学的主要内容包括营养学基本原理和基础知识、各类食品的营养价值及加工贮藏对食品中营养素的影响、不同人群食品的营养要求、合理膳食构成及营养调查、食品营养发展方向及途径等。其中特别突出了食品营养与人体健康、与食品加工贮藏的关系。并具体论述了如何根据不同人群的营养特点设计和开发相应的营养食品，如对婴幼儿食品、青少年食品、老年保健食品、特殊环境条件下作业人员的保健食品等的设计原理和研制原则作了全面论述；书中还对强化食品、方便食品、人造食品等的概念和要求也作了系统的介绍。

全书共分五章，其中姚汉亭编写绪论一、二部分；第三章第一、二、三节。王光慈编写第一章第一、二、六、七节；第二章；第三章第四节；第四章第四节。周玉林编写绪论第三部分；第一章第三、四、五节；第五章。高玉平编写第四章第一、二、三节。

全国有关农业院校的一些领导干部和教师曾对本教材的编写提出过宝贵意见，特别要指出的是北京农业大学韩雅珊教授曾提出过指导性建议，南京农业大学蒋宝庆、王薛修、江汉湖、陈伯祥等同志为本书的编写出版工作付出过辛勤的劳动，在此一并致谢。

编 者

1992年6月

目 录

绪论	1
一、食品营养学的研究任务、内容和方法	1
二、营养的科学概念	1
三、食品营养的发展与食品科学、农业科学的关系	3
第一章 营养学基础	5
第一节 食物的消化与吸收	5
一、人体消化系统	5
二、食物中大分子物质的消化	7
三、各类营养物质的吸收	9
第二节 能量	12
一、体内能量的来源、转移、贮存和利用	12
二、决定人体能量消耗的因素	13
三、能量需要量的测定及推算	15
四、我国建议的膳食热能供给量标准	16
第三节 蛋白质	16
一、蛋白质的概念	16
二、必需氨基酸	18
三、食物蛋白质营养价值的评价	20
四、膳食中蛋白质供给量及食物来源	24
第四节 脂类	25
一、脂类的分类	25
二、脂类的生理功能	25
三、必需脂肪酸	26
四、脂蛋白及其生理意义	27
五、脂类供给量及食物来源	27
第五节 碳水化合物	28
一、碳水化合物分类及其生理意义	28
二、碳水化合物在体内的动态变化	29
三、膳食碳水化合物供给量及食物来源	30
第六节 维生素	31
一、脂溶性维生素	31
二、水溶性维生素	35
第七节 矿物质和水	42
一、矿物质	42

二、水	50
第二章 各类食品的营养价值及加工贮藏对其营养价值的影响	54
第一节 各类食品的营养价值	54
一、谷类食品的营养价值	54
二、豆类及硬果类的营养价值	57
三、蔬菜、水果的营养价值	59
四、食用菌的营养价值	61
五、畜、禽肉及水产品的营养价值	61
六、蛋类的营养价值	64
七、乳类的营养价值	64
八、其他	65
第二节 加工、贮藏对食品中营养素的影响	66
一、加工的前处理对食品中营养素的影响	66
二、加热对食品中营养素的影响	66
三、脱水干燥对食品中营养素的影响	70
四、生物加工对食品中营养素的影响	71
五、贮藏对食品中营养素的影响	72
第三节 加工食品的营养价值	75
一、粮、油加工食品的营养价值	75
二、蔬菜、水果加工食品及饮料的营养价值	77
三、乳类加工食品的营养价值	79
四、罐头食品的营养价值	80
五、酿造调味品的营养价值	88
第三章 不同人群食品的营养要求	82
第一节 孕妇和乳母食品的营养要求	82
一、孕妇营养与母婴健康的关系	82
二、孕妇的营养生理特点	83
三、孕妇营养需要	83
四、孕妇膳食和对食品的营养要求	86
五、乳母营养需要	87
六、乳母膳食和对食品的营养要求	88
第二节 儿童食品的营养要求	90
一、婴幼儿营养特点	90
二、婴幼儿食品的营养要求	91
三、儿童、青少年营养	95
四、儿童、青少年食品的营养要求	97
第三节 老年食品的营养要求	99
一、人体的衰老过程	100
二、老年人营养需要	100
三、老年食品的营养要求	104
第四节 特殊环境条件下人群的食品营养要求	105

一、高温环境条件下人群的食品营养要求	105
二、低温环境条件下人群的食品营养要求	108
三、运动条件下人群的食品营养要求	109
第四章 合理膳食构成和营养调查	113
第一节 膳食营养素供给量	113
第二节 国内外膳食结构和营养模式	116
一、膳食结构类型	116
二、我国膳食构成与国外比较	118
三、膳食营养模式	118
四、膳食构成与疾病的关系	120
第三节 我国膳食结构改进目标和膳食指导原则	121
一、我国膳食结构改进目标	121
二、膳食指导原则	122
第四节 营养政策与营养教育	124
一、营养政策	124
二、营养教育	125
第五节 营养调查	126
一、膳食调查	126
二、体格检查	129
三、实验室检查	131
四、营养状况评价及改进意见	131
第五章 食品营养学发展方向及途径	133
第一节 混配食品	133
第二节 食品的营养强化	133
一、食品强化的概念和意义	133
二、食品强化的原则	134
三、强化食品	135
第三节 方便食品与人造食品	138
一、方便食品	138
二、人造营养食品	138
第四节 食品与保健	140
一、食品中营养素与动脉硬化的关系	140
二、营养素不平衡与肿瘤的关系	141
三、功能性食品	142
第五节 食物新资源的开发和利用	145
一、充分利用油料饼粕蛋白质	145
二、利用单细胞蛋白质	146
三、发展食用菌	146
四、培育良种和应用生物技术	147
参考文献	148

结 论

一、食品营养学的研究任务、内容和方法

(一) 研究任务 近10年来随着我国经济状况的明显好转，特别是食品工业迅速发展，使食品种类和数量有较大增长。在此情况下，我们应更重视食品加工、贮藏与营养价值之间的关系问题，使加工成的食品或经贮藏后的食品具有高的营养价值。随着人民生活水平的提高，以往“饥不择食”的现象起了变化，人们开始要求摄取营养价值高的食品。食品营养日益受到重视。食品营养学是营养学的一门分支学科，是研究食品营养与人体健康关系的学科，它是农产品贮藏与加工专业、食品工程专业等基本教材。食品营养学的主要任务是研究食品营养与人体健康的关系；在全面理解各类食品的营养价值和不同人群食品的营养要求基础上，掌握食品营养学的理论和实际技能，并且学会对食品营养价值的综合评定方法，及评定结果在营养食品生产、食物资源开发等方面的应用；在发展我国食品工业上不断地提供具有高营养价值的食品，为调整我国人民的膳食结构、改善人民的营养状况和提高人民的健康水平服务。

(二) 研究内容

1. 营养学基础知识 包括人体内能量来源、能量消耗和能量供给量；蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质、维生素和水的生理功能、营养水平评价、缺乏症、供给量和食物来源等。

2. 各类食品的营养价值 包括谷类、豆类等食品的营养价值；这些食品经不同加工和贮藏后营养素受损失的状况；各种加工食品的营养价值。

3. 不同人群食品的营养要求 包括的人群有孕妇、乳母、儿童、老年和特殊环境作业人员等。

4. 合理膳食结构和营养调查 包括膳食营养素供给量、国内外膳食结构、营养模式、我国膳食结构改进目标、膳食指南、营养政策和营养调查。

5. 食品营养学发展方向及途径 包括食品的营养强化、混配食品、食品与健康、方便食品 and 人造食品、食物资源开发利用等。

(三) 研究方法 研究和解决食品营养学的理论和实际问题所应用的主要方法有：食品分析技术和生物学实验方法，尤其是运用动物代谢实验评价食品营养价值的基本方法，营养调查方法，生物化学、食品化学和食品微生物学方法，食品毒理学方法以及医学研究方法等。

二、营养的科学概念

(一) 营养 (nutrition) 我们通常所说的营养是指滋养或被滋养的行为，也可理解为作用，它是动物或植物摄取和利用食料的总合；在动物包括摄入、消化、吸收和同化等作用。我们经常使用的词组有营生、营业、营造、营救、营私和营养等，这些“营”字的含

意都是“谋求”，而“养”字的含意为“养身”或“养生”。因此，营养的含意应是谋求养身。对“营养”这个词还可有如下解释：(1) 生物由食物内吸取养料供养身体。(2) 有机体从外界吸取需要的物质来维持生长发育等生命活动的作用。(3) 生物从外界摄取需要的养料，以维持其生长的作用。(4) 有机体吸取养料维持生命的作用。由上可知，营养的含义为“作用”、“行为”或“生物学过程”。营养不能被用来代表物质，它不是食物或养料的同义词。目前社会上有些人对“营养”一词理解不够正确，用词不当，如“营养丰富”、“富有营养”、“有无营养”等，我们应将其改为“养料丰富”或“营养成分丰富”等。

综上所述，人体为了维持生长发育、代谢、修补等生命活动而摄取和利用食物养料的生物学过程称为营养 (nutrition)。研究这种综合的生物学过程及其有关因素的学科称为营养学 (nutriology)，营养学是生物学的分支学科。

(二) 营养素概念 人体为了维持生命、促进生长发育、保证健康和提高劳动效率，每天必须通过食物和饮水摄取各种有机和无机物，再经过体内消化、吸收、同化和异化过程，用以供给能量、构成机体组织、调节生理活动等，这种所摄取的有机和无机物质称为营养素 (nutrient)，也称营养成分。

营养素是保证人体健康的物质基础，来自食物和饮水的营养素有数十种，从化学性质和生理功能可分为六大类，即蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质、维生素和水。现在有人把膳食纤维看作第七类营养素。营养素功能总的有三种，即供给能量、构成机体组织和调节生理活动 (图0—1)。由图所示，同一类营养素可有几种功能，如蛋白质既可构成机体组织，也可提供能量。反之，同一种生理功能可为几类营养素所具有，如产生能量的营养素有蛋白质、脂肪和碳水化合物。

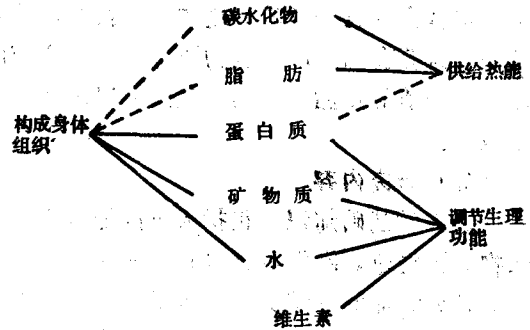


图0—1 营养素类别及其生理功能
——主要生理功能 ——次要生理功能
(饮食营养学, 1982)

(三) 食品营养价值概念 食品的营养价值 (nutritional Value) 是指食品中所含热能和营养素能够满足人体需要的程度，包括营养素种类齐全、数量充足和相互比例适宜，并且易被人体消化、吸收和利用。

事实上，食品的营养价值有相对性。能列为全营养价值的食品品种很少，如适用于婴儿食用的母乳或配方奶、适用于病人的要素膳等。大多数食品都是某些营养素含量高，而另一些营养素含量低，如谷类食品富含碳水化合物、B族维生素，但蛋白质含量少而且质量也差，脂类含量低。又如蔬菜水果类食品虽然矿物质和维生素含量高，但蛋白质、脂类和碳水化合物含量低。即使同一食品，营养素含量由于品系、部位、产地、成熟程度不同而有较大差异。此外，食品的营养价值还应考虑到食品中存在着某些抗营养因子，如草酸含量高的蔬菜影响钙吸收，鞣酸含量高的茶叶影响铁吸收，生大豆中有抗胰蛋白酶因子影响蛋白质消化、吸收。食品烹调加工由于消除了抗营养因子而使营养价值提高，但也可由于预处理、加工时高温条件等损失营养素而使营养价值降低。

(四) 合理营养概念 合理营养是指全面而平衡的营养，或者说全面地提供达到营养素

供给量的平衡膳食。各种食品中所含营养素种类和数量有较大差别，这就告诉我们，只有合理地搭配各种食品，机体才能获得所需的各种营养素。合理营养有以下基本要求。

1. 机体对热能和各种营养素摄入量要满足要求 摄入量长期过低，将产生营养缺乏病，过高，也会发生营养过剩性疾病。
2. 机体通过进食达到各种营养素摄入量比例适当 包括三大产热营养素比例、热能摄入量与代谢上密切相关的硫胺素、核黄素和尼克酸比例、必需氨基酸比例、饱和与不饱和脂肪酸比例、各种矿物质比例、各种维生素比例等。
3. 减少烹调加工和贮藏中营养素损失 要提高技术水平，提高营养素保存率，从而提高食品营养价值。
4. 建立合理的饮食制度 有规律进食可以提高食欲、增加吸收，对健康极为有利。
5. 摄入的食品对人无害 食品不能有腐败变质，受农药和有害化学物质污染极低，加入的食品添加剂量应符合规定要求等。

三、食品营养的发展与食品科学、农业科学的关系

(一) 食品营养与健康 当今世界各国的膳食结构大体上分为三类：第一类，植物性和动物性食品消费量均衡，热量、蛋白质、脂肪摄取量基本上符合人体营养要求，食物结构比较合理。以现在的日本为代表。它既保留了东方膳食的长处，又吸取了西方人膳食的优点。目前日本人的健康状况随着膳食营养水平的提高而大为改善。第二类，植物性食品消费量较少，动物性食品消费量很大，热量、蛋白质和脂肪摄取量均偏高。以欧、美发达国家为代表。这类膳食结构，虽然能提供人体需要的各种营养素，但营养素之间不平衡，常伴随着某些营养素过剩而引起的疾病，如肥胖病、心血管病、糖尿病和肿瘤发病率均较日本人高。第三类，以植物性食品为主，动物性食品相对较少，热能基本能满足人体需要，但蛋白质质量不高，摄入量不足，脂肪、视黄醇、核黄素和钙等摄入量低于供给量标准，常出现营养缺乏或不足。以印度、印度尼西亚等多数发展中国家为代表。

随着社会的科学进步、经济发展和卫生保健事业的改善，中国人口的平均寿命已由50年代初的35岁上升到80年代的68岁。大多数急性传染病在中国已得到控制，营养不足或营养缺乏病已逐年减少，而脑中风、冠心病、肿瘤和肥胖等已逐渐成为致死或影响健康的主要原因。这些疾病与膳食不平衡的关系正在愈来愈受到人们的重视。

(二) 食品营养与食品科学、农业科学 食品营养学是农业、食品科学与营养学有机结合的边缘学科。它与人们的生活息息相关。人体所需的所有营养素是由各类食物（品）提供的，而食物的生产则依赖于农业，食品加工则是农业生产的继续和延伸，是农业产前、产中和产后生产系统中的重要环节。

食品加工一方面可使某些营养素更易被人体消化、吸收和利用，并使食品中营养素供应更为合理；另一方面，食品中的某些成分会发生各种各样的理化反应，导致营养素的损失或降低其利用率等。食品加工的主要任务是保存营养素，提高营养素的利用率。作为食品行业的技术工作者，必须正确运用食品营养学的知识，更好地指导各行业食品加工的科学生产，最大限度地提高原料食物中各类营养素的保存率和利用率。

在食品加工过程中，对食品营养素的保存是多学科的综合，其总的原则包括：

1. 选择优质而适合加工的原料 只有营养素含量充足、结构性状良好的原料,才能生产出高质量的食物。

2. 科学合理的加工工艺以及实现工艺的现代化设备 这是最大限度地保存营养素的根本保证。目前,国内、外采用的气体压缩、真空技术、流态化技术、冷冻浓缩、膜技术、超临界分离技术等再配合相应的设备,可显著改善食物的感官性状和提高食物的营养水平。

3. 科学与美学相结合的食物包装 最初的包装是便于贮藏和运输。但随着生产、流通和消费的变革和进步,食物的包装已成为食物不可分割的重要组成部分,包装的优劣直接影响食物的品质、营养、卫生和消费。

中国是农业大国,在占世界可耕地1/7的土地上要养活占世界1/4人口,却非易事。中国在未来十几年或几十年间,将面临着—个十分尖锐且难以解决的粮食短缺问题。自1984年以来,中国每年粮食消费平均增长 125×10^8 — 150×10^8 kg,到2000年,全国每年消费粮食 5900×10^8 — 6200×10^8 kg,而中国到本世纪末的最高粮食产量为 5000×10^8 kg,需求与产量相比,尚缺口 900×10^8 — 1000×10^8 kg。从港口吞吐量及运输、仓贮等能力看,中国今后十余年间的最大年进口粮食只能到 200×10^8 — 250×10^8 kg。因此,粮食上的缺口不能通过进口来解决。解决中国粮食短缺问题的出路只有两条:—是发展农业和畜牧业生产,提高单位面积的粮食产出率;二是提高粮食的利用率和使用价值,开发新的营养素资源。这是世界各个发达国家和—些发展中国家正在着力走的一—条道路,也是解决目前所面临的营养问题的主要方法。如何提高粮食的利用率,直接关系到人们的营养、健康水平。因为,中国居民以粮食为主食,人体所需的绝大部分营养素来自粮食。因此,食物营养在指导农业生产方面具有重要的意义。具体措施包括①调整农作物结构,增加含蛋白质高的作物的播种面积,如大豆、豆科牧草等。在不增加单位面积产量的情况下,可大幅度地提高粮食的利用率。②调整畜牧业结构,同样可以在不增加饲料资源消耗的情况下,增加更多的动物性食物。

综上所述,要彻底解决中国存在的营养问题,必须按照食物营养科学的原则,发展种植业、养殖业和食物加工业,以最经济的方法获得食物的最大营养效能。

第一章 营养学基础

第一节 食物的消化与吸收

人体在生命活动过程中，不断地从外界摄取营养物质，以供新陈代谢的需要。营养物质主要来自食物，其中的水、矿物质和维生素可以直接被吸收利用，而蛋白质、脂类和碳水化合物一般都是结构复杂的大分子有机物质，不能直接被人体吸收和利用，需先在消化道内经过分解，使其成为结构简单的小分子物质，才能透过肠壁细胞进入血液和淋巴循环而被利用。食物在消化道内进行分解的过程称为消化 (digestion)，食物经消化后透过消化道壁进入血液和淋巴液的过程称为吸收 (absorption)，消化与吸收是两个紧密联系的过程，不能被吸收的食物残渣则由消化道末端排出体外。

一、人体消化系统

(一) 消化道与消化腺 人体消化系统由消化道和消化腺两大部分组成。消化道是指由口腔至肛门粗细不等的弯曲管道，长约9m，包括口腔、咽、食道、胃、小肠（又分十二指肠、空肠及回肠）和大肠（又分盲肠、结肠和直肠）等部分（图1—1）。

消化腺是分泌消化液的腺体，主要有唾液腺、胃腺、胰、肝和小肠腺等。胃腺和小肠腺的分泌液直接进入消化道中，而唾液腺、胰和肝则存在消化道之外，其分泌液经导管入消化道。

消化包括机械性消化和化学性消化两个密切相关的过程。机械性消化由消化道的运动来完成，它的作用如磨碎食物，使其与消化液混合，并推动食团向消化道下端移动等；化学性消化主要由消化液中的各种消化酶来完成。

(二) 各种消化液的成分及作用 各种消化液含有不同的消化酶及与消化有关的一些有机物和无机物。

1. 唾液的成分及作用 由唾液腺分泌的唾液是无色、无味的液体，pH为6.6—7.1，唾液中水分约占99%，有机物主要为粘蛋白、氨基酸、尿素、尿酸以及唾液淀粉酶、溶菌酶等。唾液中的无机物有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和微量的 CNS^- ，此外唾液中还有一定

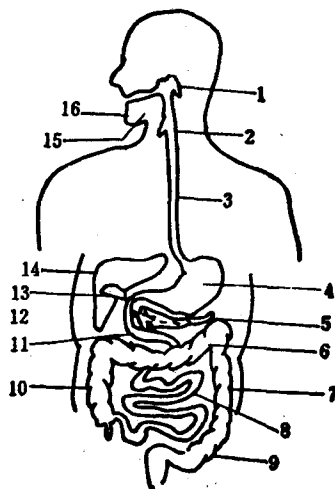


图1—1 人体消化系统模式图

1. 腮腺 2. 咽 3. 食道 4. 胃 5. 胰脏 6. 横结肠
7. 降结肠 8. 空肠 9. 乙状结肠 10. 回肠 11. 升结肠
12. 十二指肠 13. 胆囊 14. 肝脏 15. 颌下腺 16. 舌下腺

量的气体如 O_2 、 N_2 和 CO_2 等。

唾液可以湿润并溶解部分食物，使食物易于吞咽并引起味觉；唾液的流动可以冲洗掉口腔粘膜上的有害物质，唾液中的溶菌酶和微量的 CNS^- 有杀菌作用，唾液淀粉酶可使淀粉水解为麦芽糖，但由于食物在口腔中停留时间较短，水解淀粉有限。

绝大多数的味觉刺激，尤其是酸味能引起大量的唾液分泌，另外当一个人嗅到或吃到他喜爱的食物时，唾液分泌量也远远超过他所厌恶食物的唾液分泌量。正常情况下每日分泌唾液1—1.5L。

2.胃液的成分及作用 纯净胃液是一种无色而呈酸性的混合液体，pH约为0.9—1.5，胃液的主要成分包括水、 HCl 、 Na^+ 、 K^+ 等无机物及粘蛋白、胃蛋白酶等有机物。正常成人每日分泌的胃液量约为1.5—2.5L。

(1)盐酸 胃液中的 HCl 也称胃酸，是由胃腺壁细胞分泌的，在整个机体中只有胃才有这种酸性分泌液，胃液的pH很低，而一般细胞外液如血液的pH则为7.4。

胃中 HCl 具有多种功能，首先是它能抑制和杀灭随食物进入胃内的病菌；胃酸能激活胃蛋白酶原使之转变为胃蛋白酶，并造成胃蛋白酶的最适酸性环境以利水解蛋白质； HCl 使食物中的蛋白质变性易于消化； HCl 进入小肠后能刺激胰液和小肠液的分泌，并引起胆囊收缩，排出胆汁，此外胃酸还有助于小肠对钙、铁等的吸收。胃酸分泌过少会引起消化不良，出现明显的食欲减退如饱闷感等，有时还会腹泻，而胃酸过多对胃壁和十二指肠壁有损伤作用。

(2)胃蛋白酶 它是胃液中的主要消化酶，胃蛋白酶的最适pH为2，胃蛋白酶能使蛋白质水解为肽、肽及少量多肽、氨基酸。

(3)粘液 粘液的主要成分为糖蛋白，其次是粘多糖、蛋白质等大分子，呈弱碱性，由于粘液覆盖在胃粘膜的表面，可以润滑食物使之易于通过，使胃粘膜不受食物中坚硬物质的机械损伤；此外因粘膜呈弱碱性可减弱胃蛋白酶的活性，从而防止胃酸和胃蛋白酶对胃粘膜蛋白的水解作用，因此也有人称它为粘液屏障。

(4)内因子 正常胃液中含有“内因子”，它是一种分子量为53000的糖蛋白，它与维生素 B_{12} 结合形成一种复合物促进 B_{12} 的吸收。胃粘膜萎缩或胃癌患者因胃液中缺乏“内因子”引起维生素 B_{12} 缺乏，从而影响红细胞的生成而患恶性贫血。

一般混合食物入胃30分钟后便开始离胃而进入十二指肠，4—5小时完全排空。液体食物在胃内仅停留2—3小时，脂肪的完全排空则需4—5小时以上。

3.胆汁的成分及作用 肝除了在中间代谢中有许多重要功能外，它是人体中最大的腺体，成人的肝约重1500g，肝细胞具有分泌胆汁的功能，胆汁沿着肝内胆道系统流出，经胆囊浓缩贮于胆囊，再经总胆管流入十二指肠，成人每日进入肠道的胆汁约0.8—1L，人胆汁呈黄褐色或金黄色。胆汁的主要有机物有胆汁酸盐、胆色素、脂肪、磷脂、胆固醇、核蛋白、粘蛋白等；无机物除水外还有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 等，胆汁不含消化酶，其中有消化意义的成分为胆汁酸盐、磷脂和胆固醇，它们作为脂肪的乳化剂降低脂肪的表面张力，从而增加其与胰脂肪酶的作用面积；胆盐还可与被水解出的脂肪酸、甘油一酯结合形成水溶性复合物促进这些物质的吸收；胆盐另一方面又可激活胰脂肪酶使其催化脂肪水解的作用加速。此外胆汁对促进脂溶性维生素的吸收也有重要意义。

胆汁酸是在肝细胞内由胆固醇转变生成的，健康人胆汁中牛磺胆汁酸及甘氨酸胆汁酸的比例约为 1:3。人体每天合成胆固醇约 1—1.5g，其中 0.4—0.6g 在肝内转变成胆汁酸，其结构见图 1—2。

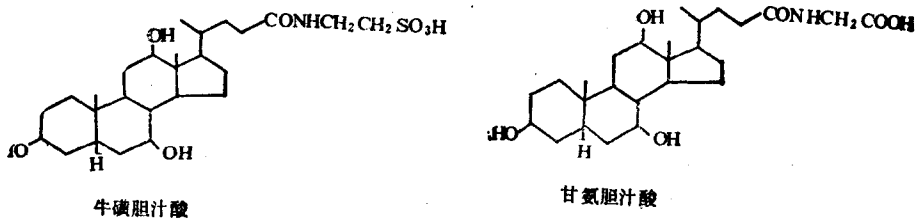


图 1—2 牛磺胆汁酸和甘氨酸胆汁酸的结构

4. 胰液的成分及作用 胰是人体第二大消化腺，胰腺有许多分泌胰液的腺泡，所分泌的胰液流入肠腔。胰液是无色碱性液体，pH 为 7.8—8.4，正常成年人每日约分泌 1—2L，其主要成分有 NaHCO_3 和各种消化酶，如胰淀粉酶、胰脂肪酶、胰蛋白酶、胰糜蛋白酶等。 NaHCO_3 能中和由胃进入小肠的 HCl ，为小肠各种消化酶提供适宜的弱碱性环境。

胰蛋白酶等从胰腺分泌出来时，呈不活动的酶原，需在小肠腔内经肠激酶的作用而被激活。

5. 小肠液的成分及作用 小肠液是小肠粘膜内肠腺分泌的液体，十二指肠分泌的粘液具有保护肠粘膜防止酸、碱浸蚀的作用。小肠液呈弱碱性，pH 为 7.8 左右，成人每日分泌量约 1—3L。小肠液中除含肠激酶外，含有多种消化酶，如羧基肽酶、氨基肽酶、二肽酶、麦芽糖酶、乳糖酶、蔗糖酶、肠脂酶、磷脂酶及维生素 A 酯酶等，小肠液的作用是进一步分解肽类、双糖和脂类使其成为可被吸收的物质，目前认为这些酶主要局限在小肠粘膜的微绒毛区发挥酶解作用，被称为膜消化作用 (Membrane Digestion)。

6. 大肠液的成分及作用 大肠粘膜有肠腺，分泌少量碱性液体，pH 为 8.3—8.4，主要成分是糖蛋白，它能保护肠粘膜和润滑粪便，大肠内有许多细菌，细菌主要来自空气和食物，它们由口腔入胃，最后到达大肠。大肠内的酸碱度和湿度对一般细菌的繁殖极为适宜。细菌中含有的酶能分解食物残渣，糖类发酵的产物有乳酸、醋酸、二氧化碳及沼气等；脂类发酵的产物有脂肪酸、甘油及胆碱等；蛋白质腐败的产物有脲、胨、氨基酸、氨、硫化氢、组织胺和吲哚等，它们有少量可被吸收，其中有些成分是有毒的，在正常情况下，机体一方面通过肝脏对这些毒物进行解毒作用，另一方面通过大肠将这些毒物排出体外。大肠内的细菌还能利用肠内较简单的物质合成某些 B 族维生素的复合物和维生素 K，它们被吸收后对人体具有营养作用。据估计粪便中死的和活的细菌约占粪便固体总量的 20—30%。

二、食物中大分子物质的消化

(一) 碳水化物的消化 一般人的膳食中，碳水化物的主要来源是淀粉，它存在各类谷物食品中，其次是蔗糖和牛奶中的乳糖。食物中的碳水化物经消化道有关的酶作用水解为单糖后才能被吸收，其过程见图 1—3。

(二) 脂类的消化 膳食中的脂类主要是中性脂肪，即甘油三酯，其次为少量的磷脂、胆固醇和胆固醇酯，它们的某些理化特性及代谢特点类似中性脂肪。

以上生成的多肽又进一步在小肠中受羧基肽酶、氨基肽酶（外切酶）的催化，从肽链的C端或N端切断肽链末端的酰胺键，生成的二肽又在二肽酶的作用下水解为氨基酸，二肽酶也有专一性。食物中的蛋白质在消化道内的水解作用见图1—4。

以上是食物中单纯蛋白质的消化过程，至于食物中的结合蛋白质，如核蛋白、血红蛋白等，它们在消化道中酶的作用下辅基先与蛋白质部分分离开，蛋白质部分则按照上述过程逐步水解为氨基酸，辅基部分则分别在相应的酶催化下进行分解代谢。

三、各类营养物质的吸收

（一）吸收的主要部位和原理

1. 小肠是营养物质吸收的主要部位 在口腔和食道内，食物实际上是不被吸收的，在胃内食物的吸收也很少，仅可以吸收酒精和少量水分，大肠主要吸收部分水分和矿物质，小肠则是营养物质吸收的主要部位。成人小肠的长度约5—6m，它的粘膜具有环状皱褶并拥有大量脂状突起的绒毛，绒毛上的每一个柱状上皮细胞可以有600多条微绒毛，至使小肠的吸收面积大为扩大。环状皱褶、绒毛、微绒毛总合在一起，可使小肠粘膜的吸收面积增大约600倍（图1—5）。

2. 吸收机理 胃肠道粘膜吸收营养物质的方式有被动转运、主动转运和胞饮作用。

（1）被动转运 主要包括滤过、扩散和渗透等作用。滤过作用靠膜两边的流体压力

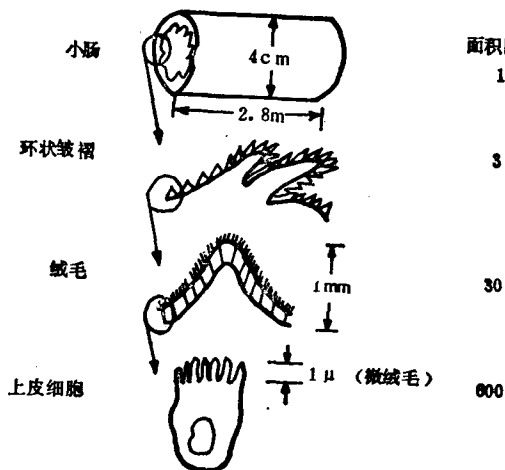


图1—5 小肠粘膜的构造与吸收表面积的关系
(荣养生理学, 昭和55年)

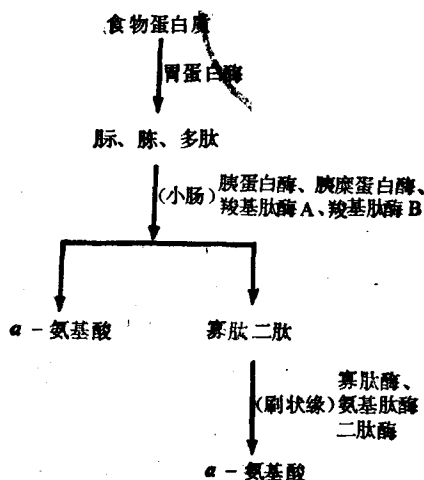


图1—4 蛋白质的消化示意图

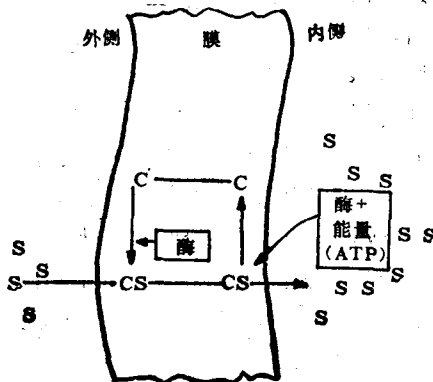


图1—6 物质S的主动转运
C为载体 (食物与营养百科全书, 编辑(2), 饮食与保健, 1989)

差，肠粘膜上皮细胞可看成是一个过滤器，如果肠腔内压力超过毛细血管压或毛细淋巴管压时，水分或其他物质可借压力差滤入毛细血管或毛细淋巴管内。而扩散作用有赖于膜两边溶质的浓度差，溶质分子可以从浓度高的一侧透过薄膜两边存在的渗透压差，水分从渗透压较低的一侧进入渗透压较高的一侧，最后达到两侧的渗透压相等。

(2) 主动转运 细胞膜还能将某些物质的分子由浓度低的一侧向浓度高的一侧转运，这种转运需要载体的协助并要消耗能量称为主动转运。如何完成主动转运的确切机理还不清楚，但有载体系统参与是肯定的，被吸收的营养物质与特定的膜载体相结合，形成能推动营养物质穿过膜的复合物，一旦营养物质通过了膜，载体便和它分开（图1—6）。

(3) 胞饮作用 (pinocytosis) 它是一种通过细胞膜的内陷将物质摄取到细胞内的过程，这一过程能使细胞吸收某些完整的脂类和蛋白质，这也是新生儿从初乳中吸收抗体的方式，此外这种未经消化的天然蛋白质进入体内，可能是某些人食物过敏的原因（图1—7）。

(二) 碳水化物的吸收 食物中的碳水化物一旦被消化成单糖后在小肠上段被吸收，但各种单糖的吸收速度不同，如定葡萄糖的吸收速度为100，则半乳糖为110、果糖为43、甘露糖为19，木糖和阿拉伯糖则吸收更慢，由此可推测葡萄糖等单糖的吸收不是简单的扩散作用，而是需要载体并消耗能量的主动转运。

在小肠上皮细胞刷状缘上有特异的载体蛋白，选择性地地把不同的单糖从刷状缘的肠腔面运入细胞内，再扩散入血，因载体蛋白对各种单糖的结合能力不同，所以其吸收速率也就不同。单糖的这种主动转运可逆着浓度差进行吸收，例如血液和肠腔中葡萄糖浓度比为200:1时，葡萄糖的吸收仍可进行。

葡萄糖的主动转运与 Na^+ 的转运相偶联，当 Na^+ 的转运被阻断后，葡萄糖的转运也不能进行。肠腔内 Na^+ 的浓度为10—14mmol/100g肠液；而小肠上皮细胞内 Na^+ 的浓度只有5mmol/100g细胞内液，而且细胞内的电位比肠腔低10mV，这一电化学梯度的维持，靠上皮细胞内侧“钠泵”将细胞内的 Na^+ 连续地排到细胞外液，有利于葡萄糖的主动转运（图1—8）。

目前认为葡萄糖、半乳糖是以上述主动转运的方式进入体内的，果糖和甘露糖的吸收速度较慢，可

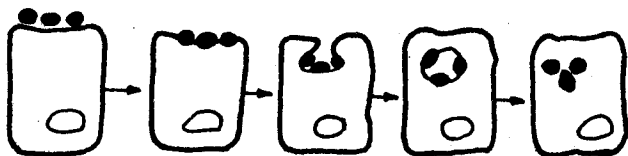


图 1—7 胞饮作用示意图

(食物与营养百科全书, 选辑(2), 饮食与保健, 1989)

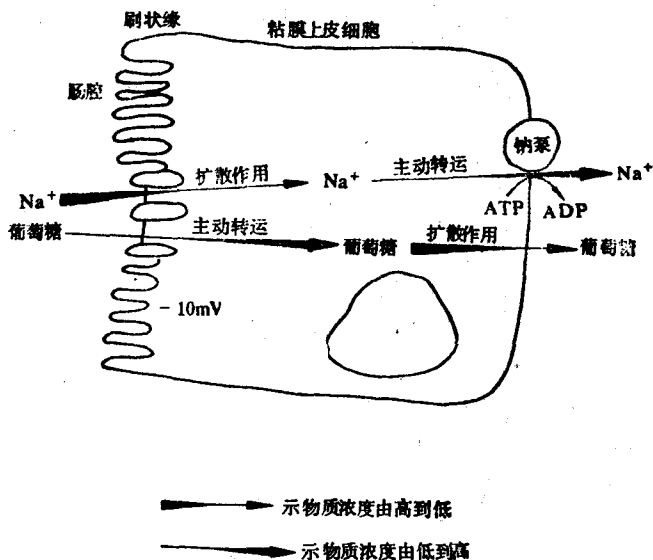


图 1—8 小肠中葡萄糖主动转运示意图