

内 容 提 要

本书由南昌大学、江南大学、南京工业大学、郑州轻工业学院、南京师范大学、扬州大学、河南科技大学等高校的营养学与食品科学领域的博士生导师、教授、博士编写的一部将营养学原理与食品科学紧密结合的高校教材。

本书根据食品科学与工程专业的基础和专业特点,先介绍了消化道结构和食物的消化与吸收;重点介绍了蛋白质、脂类、碳水化合物、矿物质、维生素、水的营养原理;根据营养性疾病的特点,还介绍了营养与营养相关疾病的关系;在公共营养学部分,本书介绍了各类人群的营养特点、公共营养知识;根据食品科学与工程专业特点,本书着重介绍了食品工程中的营养问题如各类食物的营养价值、加工对食物营养成分的影响、食品营养的强化等;最后根据营养学科的发展,本书介绍了分子营养学、植物化学物等营养学发展的热点领域。此外,本书还收集了我国各类食物的营养成分、中国居民膳食营养素参考摄入量、我国食品营养强化剂使用卫生标准等数据,有利于营养配餐、营养工程和食品企业参考使用。

本书为食品科学与工程专业、烹饪与营养专业学生的教材,也可作为有关医学院校学生的教材和参考书,对有关教师以及从事食品行业、餐饮、物流业的有关人员也可作为参考书。

图书在版编目(CIP)数据

食品营养学/邓泽元,乐国伟主编. —南京:东南大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-5641-0452-8

I. 食... II. ①邓...②乐... III. 食品营养学 IV. TS201.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 108191 号

食 品 营 养 学

出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江 汉
责任编辑 顾金亮
地 址 南京市四牌楼 2 号(210096)
电 话 025-83795801(发行科)/025-83362442(传真)
经 销 江苏省新华书店
印 刷 兴化印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 530 千字 21 印张
版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-0452-8/TS·22
印 数 1—4000 册
定 价 35.00 元

* 若有印装质量问题,请直接向读者服务部调换。电话:025-83792328

高等学校食品专业系列教材

编写委员会

(以姓氏笔画为序)

- 王晓曦 河南工业大学粮油食品学院副院长、教授
- 毛多斌 郑州轻工业学院食品与生物工程学院院长、教授
- 邓泽元 南昌大学生命科学学院副院长、教授,博士生导师
- 艾志录 河南农业大学食品科学技术学院副院长、副教授
- 刘建学 河南科技大学食品与生物工程学院副院长、教授
- 张 灏 江南大学食品学院院长、教授,博士生导师
- 孟岳成 浙江工商大学食品科学与工程系主任、教授
- 陆兆新 南京农业大学食品科技学院院长、教授,博士生导师
- 陈正行 江南大学食品学院副院长、教授,博士生导师
- 陈锦权 福建农林大学食品科学学院院长、教授,博士生导师
- 杜云建 淮海工学院海洋学院副教授
- 郑铁松 南京师范大学食品科学与营养系主任、副教授
- 姜绍通 合肥工业大学生物与食品工程学院院长、教授,博士生导师
- 赵丽芹 内蒙古农业大学食品科学与工程学院副院长、教授
- 赵希荣 淮阴工学院食品系主任、副教授
- 钱建亚 扬州大学食品科学与工程学院教授
- 董 英 江苏大学食品与生物工程学院总支书记、教授,博士生导师
- 蒋爱民 华南农业大学食品学院教授,博士生导师
- 熊晓辉 南京工业大学食品科学与工程系主任、教授
- 鞠兴荣 南京财经大学食品科学与工程学院院长、教授,博士生导师

前 言

营养学课程的教学主要在医学院校和食品院校。医学院校是以人体解剖学、人体生理学和生物化学等课程为基础,强调基础营养学和临床营养学。食品院校的营养学的课程既要有营养学的基本知识,也应有自己专业的针对性和适应性,我们习惯称为食品营养学。本书根据食品科学与工程专业的基础和特点,既介绍了消化道结构和食物的消化与吸收、营养学基础、营养与营养相关疾病、各类人群的营养特点、公共营养等营养学基础知识,也根据食品科学与工程专业特点,介绍了各类食物的营养价值、加工对食物营养成分的影响、食品营养的强化,同时根据营养学科的发展,还介绍了分子营养学、植物化学物等营养学发展的热点领域。

本书为食品科学与工程专业、烹饪与营养专业学生的教材,也可作为有关医学院校学生的教材和参考书,对相关教师,从事食品行业、餐饮、物流业的有关人员也可作为参考书。

江南大学乐国伟老师编写“食品的消化与吸收”部分,南京师范大学金邦荃博士编写“营养与营养相关疾病防治”和“特殊人群的营养”部分,郑州轻工业学院申瑞玲博士编写“维生素”和“社区营养”部分,河南科技大学侯玉泽老师编写“脂类”和“碳水化合物”部分,扬州大学彭景博士编写“能量”和“分子营养学”部分,南京工业大学熊强老师编写“蛋白质”、“矿物质”和“水”部分,南昌大学李静博士编写“植物化学物”和“各类食品的营养价值”部分,本人主要编写“绪论”、“脂类”和“食品的营养强化”部分,并对各章节进行了一定的调整、修改、完善和统稿。

由于水平有限,书中难免有不当和错误之处,请读者批评指正。

邓泽元

2007年3月于南昌大学

总 序

受编辑之托,为我等所著的高等学校食品专业系列教材作序,真是诚惶诚恐,迟迟难以下笔。苏轼《与孙子思》云:“余空纸两幅,留与五百年后跋尾也!”此一戏语道出了作序之尴尬。回想起当时来自各地高校食品院系的学者们共同讨论系列教材时认真而热烈的场景,我就勉为其难,介绍一下我们编写这套系列教材的来龙去脉和想法。

2005年11月18—20日,经东南大学出版社和江南大学食品学院的联合组织,在江苏无锡召开了“普通高等教育‘十一五’国家级教材规划·食品专业系列教材”编写和申报研讨会,来自江南大学、南昌大学、南京农业大学、合肥工业大学、江苏大学、内蒙古农业大学、福建农林大学、河南工业大学、郑州轻工业学院、河南农业大学、河南科技大学、浙江工商大学、扬州大学、华南农业大学、南京工业大学、南京财经大学、南京师范大学、淮阴工学院、淮海工学院等19所大学食品院系的30余名学者参加了会议。在两天的会议中,学者们探讨了近几年来食品专业教育的得失,研讨了新形势下为进一步推进食品学科创新型人才培养的系列教材的编写要求、体例和分工,明确了31部教材的编写任务。时间过去不到一年,硕果满园的金秋季节在望,这31部教材中已有5部列入普通高等教育“十一五”国家级教材规划,第一部教材《食品添加剂》将正式付梓,其他多部教材也将孕育而生,在近期内陆续出版,真是欣慰之极。

古人曰:教人以道者,师也。作为教师,不仅要教会学生如何掌握知识,更重要的是要教会学生如何运用知识和创造知识。这套系列教材的编者们,少则有十多年、多则有二十年左右从事相应课程教学和本专业领域科研的经历。我们一致的想法是希望把多年实践中的感悟和积累融入到这套教材中,使本系列教材的阅读者在理解和掌握知识的同时,也能对知识的运用和创造有所领悟。

食品工业的GDP在我国国民经济中已连续几年居首位,现已接近2万亿元,食品科技进步与产业发展在国民经济发展中越来越发挥举足轻重的作用。目前全国约有200所高校办有食品专业,每年招收学生2万多人,食品专业的教育教学在一定程度上关系到我国食品工业的健康和可持续发展,编写一套反映当今科技发展现状,符合创新创业型人才培养要求的食品专业系列教材,是我们

所有编者的愿望,也是我们义不容辞的责任和义务。

愿我们的国家明天更美好,愿我们的食品工业发展更健康,愿我们在着力创建的和谐社会中享用的食品更安全。让我们所有编写和阅读本系列教材的同仁们共同为此尽绵薄之力!

张 灏

2006年8月3日晚于无锡

0	绪论	1
0.1	营养学发展概况及近年的研究状况	1
0.2	食品营养学的概念及其研究内容	4
0.3	营养学的意义	4
1	食物的消化与吸收	5
1.1	消化道系统	5
1.2	食物的消化	10
1.3	吸收	15
2	蛋白质	26
2.1	蛋白质的功能	26
2.2	蛋白质的消化、吸收和代谢	28
2.3	氨基酸和必需氨基酸	30
2.4	食物蛋白质的营养学评价	32
2.5	蛋白质需要量及食物来源	38
2.6	食品加工对蛋白质和氨基酸的影响	43
3	脂类	46
3.1	脂类的分类及功能	46
3.2	脂类的消化、吸收及转运	55
3.3	脂类的食物来源及供给量	55
3.4	脂类在食品保藏、加工中的营养问题	57
4	碳水化合物	62
4.1	碳水化合物的分类	62
4.2	碳水化合物的功能	65
4.3	碳水化合物的消化吸收与代谢	67
4.4	碳水化合物的供给及食物来源	71
5	能量	72
5.1	概述	72
5.2	影响人体能量需要的因素	75
5.3	人体能量的需要与食物来源	79
5.4	食品加工过程中能量的变化	82
6	维生素	85
6.1	概述	85

6.2	水溶性维生素	85
6.3	脂溶性维生素	95
6.4	维生素在食品加工中的损失	101
7	矿物质	105
7.1	矿物质概述	105
7.2	人体重要的矿物元素	106
7.3	食品加工对矿物质含量的影响	126
8	水	128
8.1	水的功能	128
8.2	水的需要量及其来源	129
9	植物化学物	131
9.1	植物化学物的分类	131
9.2	植物化学物的生理作用	133
9.3	蔬菜水果对健康的保护作用	136
10	各类食品的营养价值	138
10.1	食品营养价值的评定	138
10.2	各类食品的营养价值	141
11	特殊人群营养与膳食	167
11.1	孕妇和乳母营养与膳食	167
11.2	不同年龄人群营养与膳食	180
11.3	运动营养与膳食	197
12	营养与营养相关疾病	205
12.1	营养与代谢性疾病	205
12.2	营养与心脑血管疾病	220
13	分子营养学	228
13.1	分子营养学的定义及发展简史	228
13.2	营养素对基因表达的调控	231
13.3	基因多态性对营养素吸收、代谢和利用的影响	235
13.4	营养素与基因相互作用在疾病发生中的作用	239
13.5	分子营养学研究的应用前景	242
14	社区营养	245
14.1	膳食营养素参考摄入量	245
14.2	营养调查与社会营养监测	249
14.3	居民营养的膳食结构和膳食指南	257
15	食品的营养强化	263
15.1	概述	263
15.2	食品营养强化剂	272

15.3	食品营养强化技术	278
15.4	强化食品的种类	280
15.5	我国强化食品的对策	289
附录	292
附录一	常用食物营养成分表	292
附录二	中国居民膳食营养素参考摄入量表(DRIs)	310
附录三	我国食品营养强化剂使用卫生标准	315
参考文献	321

0

绪 论

为了保持健康及延年益寿,人类必须每天从膳食中获取各种各样的营养物质。早期,人类对食品和营养的认识仅仅是为了生存,现在随着生活水平的提高,人类摄食不仅为了生存,而且还要健康,甚至要利用食物治病。正常人体需要的各种营养素都需从饮食中获得,因此必须科学地安排每日膳食以提供数量及质量适宜的营养素。人体对某种营养素的需要量会随年龄、性别和生理状况而异。如果某种营养素长期供给不足或过多就会产生相应的营养不足或营养过多的危害。成年人需要营养素来维持体重及保障机体功能;儿童、青少年除了维持机体功能外还需要更多的营养素以满足生长发育的需要;妊娠和哺乳的妇女需要额外的营养素以保证胎儿及母体相关组织增长和泌乳的需要。

0.1 营养学发展概况及近年的研究状况

营养学形成和相关学科的发展与国民经济和科学技术水平密切相关。远在 2 000 多年前,《黄帝内经》中就提出了“五谷为养、五果为助、五畜为益、五菜为充”的饮食模式,这是我们祖先根据实践经验加以总结而形成的古代朴素的营养学说,迄今仍为国内外营养学家所称道,认为这是理想的饮食模式,应加以推广。

现代营养学起源于 18 世纪末期,整个 19 世纪到 20 世纪初,是发现和研究各种营养素的鼎盛时期。法国人拉瓦锡是“营养学之父”,他从事呼吸、氧化及测热法的研究。他用豚鼠做试验,测定了豚鼠在进食前后以及活动中的氧摄入量,首次证实人体内热能的产生同氧的利用有关。从 19 世纪初开始,经过漫长的探索,逐渐发现并认识到蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质以外的营养素,特别是维生素的生理作用。证明了原以为是由有毒物质引起的或有传染性的脚气病、坏血病、佝偻病、癞皮病,实际上全是缺乏某些营养素的结果。1930 年之后,当时世界上有些地方出现原因不明的人畜地区性疾病,经研究和调查认为与微量元素有关。1931 年发现人患斑釉牙与饮用水中氟含量过多有关,1937 年发现仔猪营养性软骨障碍是因锰的缺乏所致,等等。从此揭开微量元素研究的热潮,在以后的 40 多年里,先后发现铜、锰、硒、锌等多种微量元素,并相继被确认为人体必需的微量元素。

自 1955 年来,先后出现了电子显微镜、超速离心机、微量化学技术、同位素等新事物,现在已经充分证实,如果缺少某种必需营养素,那么就无法形成细胞的各种成分,细胞就会死亡。近 20 多年来,随着分子生物学理论与实验技术在生命科学领域各个学科的渗透及应用,产生了许多新兴学科,分子营养学就是营养学与现代分子生物学原理与技术有机结合而产生的一门新兴的边缘学科。1985 年 Artemis P. Simpopoulos 博士在西雅图举行的“海洋食物与健康”的学术会议上,首次提出并使用分子营养学这个名词术语。

近年来,对基础营养研究又有许多新进展,如对食物纤维的生理作用及其预防某些疾病的重要性逐渐被人们所认识。对多不饱和脂肪酸特别是 $n-3$ 系列 α -亚麻酸及其在体内形成二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)的研究越来越受到关注。亚麻酸被许多学者认为是人体必需营养素。叶酸、维生素 B₁₂、维生素 B₆ 与出生缺陷及心血管疾病病因关联的研究,已深入到分子生物学水平。微量营养素、天然抗氧化成分在体内的抗氧化作用及其机制的研究,共轭亚油酸生理作用等是当前研究的热点课题。

营养素生理功能研究进展,说明营养素已不仅具有预防营养缺乏病的作用,营养素发挥这些新功能,通常都需要比以往的人体需要量或推荐供给量(RDA)更高的摄入量。因此,营养素新功能的发现对传统的 RDA 提出挑战。因为营养素 RDA 的定义是使人群中绝大多数个体不发生营养缺乏症的摄入量,目的很明确,就是为了预防营养缺乏病。这显然已不能满足当前消费者为了预防慢性疾病和延缓衰老,而增加营养素摄入量的需求。由于这些因素,由美国学者首先提出称为每天参考摄入量(daily reference intake, DRI)的新概念,是在 RDA 的基础上,增加适宜摄入量(adequate intake, AI)和最高耐受限制量(upper limit, UL)。AI 包括与上述新功能相适应的推荐摄入量;UL 为不引起不良副反应的最高摄入量。中国营养学会已于 2000 年修订我国在 1988 年制订的 RDA,提出适合我国国情的 DRI,并制订了相关配套文件。

饮食、营养与某些重要慢性病,如癌症、心脑血管病、糖尿病、肥胖等疾病的关系,已成为现代营养学研究的重要内容。越来越多的研究资料表明,营养与饮食因素是这些疾病的重要病因,或是防治这些疾病的重要手段。如高钠饮食可引起高血压,蔬菜和水果对多种癌症有预防作用;叶酸、维生素 B₆ 和维生素 B₁₂,同型半胱氨酸(homocysteine)与冠心病的关系;食物血糖生成指数(glycemic index)与糖尿病的关系,能量、脂肪酸与肥胖的关系等。这些研究仍在深入。另外,有些研究表明癌症、高血压、冠心病、糖尿病、肥胖,甚至骨质疏松症等疾病的发生和发展都与某些共同的饮食因素有关。尤其是因营养不平衡而导致的肥胖,是大多数慢性病共同的危险因素。所以世界卫生组织(WHO)强调,在社区营养干预中,采用改善饮食结构和适当增加体力活动为主的策略,是防治多种主要慢性病的重要手段。

营养与遗传密切相关,营养状况直接或间接地影响基因和基因表达。营养因素与遗传基因的相互作用是营养学研究的新热点。每种人类主要慢性疾病都有其特异的易感基因。人体内特异性疾病基因的存在对于决定个体对某种疾病易感性有重要影响。包括饮食因素在内的环境因素则对于特异性疾病基因的表达有重要作用。有资料表明,遗传基因是不断变化的。要预防疾病,首先要防止疾病基因的表达;其次是通过长期努力,减少人群中疾病特异性基因。目前,营养因素与基因相互关系的研究已经起步,但还没有足够结果可用于指导实践。但从长远来看,营养学将来能为控制与营养相关的疾病提供有效的措施。

食物成分除营养素外,近来食物中非营养素生物活性成分成为研究热点。这是因为有些流行病学观察结果难以用营养素来解释,如蔬菜、水果对癌症的保护作用,难以用所含维生素和矿物质解释。同时,有越来越多的动物实验结果和流行病学调查资料表明这些成分有重要功能。目前最受到重视的有茶叶中的茶多酚、茶色素,大蒜中的含硫化物,蔬菜中的胡萝卜素及异硫氰酸盐,大豆的异黄酮(isoflavones),荷叶中的生物碱和荷叶黄酮,蔬菜和水果中的酚酸类,魔芋中的甘露聚糖及姜黄素、红曲等。如再加上某些药食两用食品及保健食品人参皂苷、枸杞多糖、灵芝多糖、决明子多糖等,已形成众多的不同理化性质和生理、生化

功能的成分。这些成分大多数有不同强度的抗氧化作用和免疫调节功能。有较多动物实验和少数流行病学研究表明,这些成分对心血管病和某些癌症有预防作用。尽管目前还没有可靠流行病学证据表明,从日常饮食中摄入这些成分确实对健康有促进作用,或对某些慢性病有保护作用。但多数学者认为此新领域无论在理论上,还是在实际应用中,均具有广阔的前景。

营养学进展和研究成果,只有在被民众了解和应用之后,才能发挥更大作用。为了指导民众合理地选择和应用食物,提高全民的营养水平,世界各国都制订了饮食指南(*Dietary Guidelines*)。饮食指南内容随着营养学研究进展而不断被修改。国际趋势是制订以食物为基础的饮食指南(*Food-based Dietary Guidelines*)。因为在过去相当长时间内,西方发达国家饮食指南重视营养素摄入,而忽视饮食模式。这类饮食指南第1条通常是“将饮食脂肪提供能量控制在总能量30%以内”。但不强调以植物性食物为主的饮食模式,只要求控制脂肪摄入,效果不甚理想。为此,针对我国居民营养状况和饮食结构存在的主要问题,中国营养学会重新修改制订,于1997年4月正式公布的《中国居民膳食指南》及其说明,有着普遍的指导意义。因特定人群对饮食营养有特殊的需求,故又进一步提出《特定人群膳食指南》作为补充。同时以简明扼要、通俗易懂的宝塔图形方式,提出每人每天食物指导的方案,称为“中国居民平衡膳食宝塔”,以方便群众的理解和实行。

世界营养大会1992年在罗马召开,全球159个国家的政府领导人参加了会议,并发布《世界营养宣言》和《营养行动计划》,号召各国政府保障食品供应、控制营养缺乏病、加强宣传教育,并制订国家营养改善行动计划。我国国务院于1997年颁布《中国营养改善行动计划》,其总目标为:“通过保障食物供给,落实适宜的干预措施,减少饥饿和食物不足,降低能量、蛋白质营养不良的发生率,预防、控制和消除微量营养素缺乏症;通过正确引导食物消费,优化饮食模式,促进健康的生活方式,全面改善居民营养状况,预防与营养有关的慢性病。”然而,要真正做到改善国民营养、增强全民体质和预防疾病,除政府制订和颁布有关政策、法规和标准外,全民参与十分重要。因此,广泛开展营养宣传教育,将营养改善作为健康促进的重要内容,具有十分重要的意义。目前,我国的《营养改善法》正在起草之中,并正在进行营养师的培训,即将实行营养师制度。

由于社会和经济的发展,加工食品在饮食中的比重也越来越大,因此加工食品中的营养密度、营养平衡,加工对食品营养成分的影响、对食品营养价值和功能性成分的影响,食品的强化、食品营养的安全、加工食品对健康的影响等问题越来越受到食品科学、营养学、预防医学等领域的关注,营养学在食品科学与工程学科中也越来越受到重视,加工过程中的有关营养学问题也成为营养与食品交叉的新热点。

基础营养学在发展的过程中,与其他相关学科互相渗透,派生出许多新的各具特色的学科,如人体营养学、人群营养学、医学营养学、特殊营养学、临床营养学、应用营养学、饮食治疗学、运动营养学、护理营养学、食品营养学等。目前方兴未艾的有分子营养学、营养药理学、免疫营养学等。高等级的营养研究机构相继建立,高水平营养学的课题正在进行,营养科学将为人类健康做出更大贡献。

0.2 食品营养学的概念及其研究内容

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。“营”字的含义有“谋求”的意思,而“养”字的含义为“养身”或“养生”。因此,营养的含义应是谋求养身。综上所述,营养(nutrition)是指获得人体必需营养素并利用它们合成人体需要物质的过程,包括摄食、消化、吸收、利用或代谢食物或营养素的过程,也是人类通过摄取食物满足机体生理需要的生物学过程。

“好的营养”(good nutrition)是指人体从食物中获得保持人体正常生理功能和最佳健康状况所需数量的必需营养素。简单地说,吃数量正好的适宜食物,以使人体能有效地完成体力和脑力工作。

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。按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,把抗氧化成分看作“半必需营养素”。

营养学是研究人体营养规律及其改善措施的科学。所谓的人体营养规律指一般普通成年人在一般生活条件下和特殊生理条件下的营养规律;所谓的改善措施指食物营养的干预措施和社会性的干预措施。

营养学是研究食品与人体健康关系的一门科学。它除了研究如何使人类取得最合理的营养素之外,主要研究:食品的营养成分及其检测;人体对食物的摄取、消化、吸收、代谢、排泄等过程;营养素等的作用机制和它们之间的相互关系;营养与膳食的问题;营养与疾病的防治;食品加工对营养素的影响。

0.3 营养学的意义

营养是关系到整个国民素质的关键,也是反映一个国家经济发展的重要指标。世界卫生组织将合理营养定为保证健康的四大基石之一,使营养学在医学中的作用和地位不断提高。我国人民一直以来对饮食营养非常重视,食物品种无可计数,烹饪方式多种多样,中国的厨艺举世闻名。“民以食为天”,科学、合理的饮食结构与民族昌盛、国家繁荣息息相关。但是,由于受到历史发展条件的限制和缺乏科学营养知识的普及,人们往往受地方传统风俗习惯的影响,在对营养的认识上存在着许多误区,因此,加强营养知识普及的宣传、教育很有必要。

健康自古以来就是人类追求的美好目标,随着社会经济的发展和人们物质生活水平的提高,人们已越来越重视饮食营养在生命过程中所起的重要作用,合理营养既是人体健康的重要物质保证,又是智力发展的基础。现代医学已阐明了许多疾病的起因、治疗、预防均与营养有着密不可分的联系。因此,营养的优劣关系到中华民族的身体素质,关系到国家的未来。

1

食物的消化与吸收

平衡的营养供给是人与动物器官正常发育、抗御疾病及最佳工作能效的保障。食物是营养的载体,它首先由口腔摄取进入消化道,经机械咀嚼和研磨食物颗粒变碎。在消化过程中,食物颗粒再经化学消化分解成基本组分,这些组分通过消化道细胞吸收而进入机体。吸收的营养被利用作为能量来源或被同化成生物体自身组成,未被消化的残渣经过消化道作为粪便,少量水溶性分子从尿液排出体外。本章从消化道开始,主要讲述食物在体内消化吸收及其所涉及的一些激素和酶的生化作用,讨论了抗消化营养因子和肠道微生物与宿主的关系等。

1.1 消化道系统

1.1.1 消化道的组成

消化道从口腔开始,经咽、食管由贲门进入胃,再经幽门到小肠、大肠和肛门,全长8~10 m。小肠由三部分组成,依次为十二指肠、空肠、回肠。小肠后段为大肠,大肠也由三部分组成,依次为盲肠、结肠(升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠)和直肠(如图1-1)。

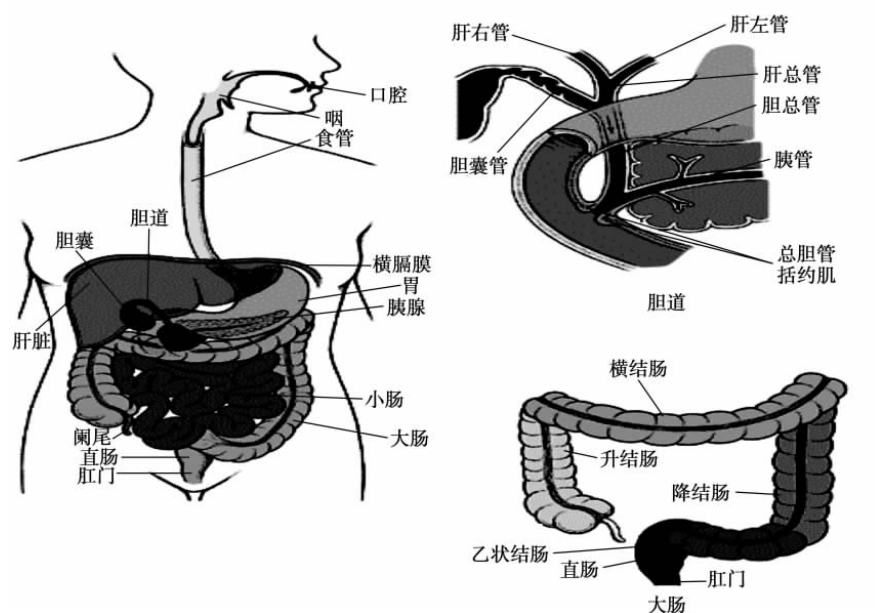


图 1-1 消化道组成

胃上部分为基底部,下部分为幽门部。大肠和小肠的内部空间叫做内腔。内腔的上皮细胞包括分泌黏液的杯状细胞,消化道被覆黏膜,分泌有黏液,形成湿而滑的内表面。胃的上皮表面光滑,然而小肠的上皮表面因为有指状的绒毛而粗糙,每根绒毛的外表面都由肠细胞覆盖,每个肠细胞的内腔表面都含有数以百计的小绒毛,即微绒毛。绒毛和微绒毛大大增强了小肠表面的吸收。大肠上皮表面光滑且没有绒毛。

消化系统附属器官有唾液腺、胰腺、肝脏和胆囊。唾液腺产生唾液进入口腔,并且在咀嚼的过程中与食物混合。由胰腺产生的液体经胰腺管到内脏,胰腺管在十二指肠附近与胆管相连,形成一个共同的通道。胰腺也分泌胰岛素等物质进入血液。由肝脏分泌的胆汁流入胆囊,胆囊储存胆汁,当需要时释放胆汁至十二指肠。

1.1.2 消化道活动特点

消化道的运行机能由消化道肌肉层的活动完成。消化道中除咽、食管上端和肛门的肌肉是骨骼肌外,其余均由平滑肌组成,并具有以下特点:

- (1) 兴奋性低、收缩缓慢。
- (2) 富于伸展性,能适应需要做很大的伸展,最长时可为原来长度的2~3倍。消化道的特殊部位胃,通常可容纳几倍于自己初始体积的食物。
- (3) 有一定的紧张性。消化道的胃、肠等各部位能保持一定的形状和位置,肌肉的各种收缩均是在紧张性的基础上发生。
- (4) 进行节律性运动。收缩和舒张的运动,使食糜与消化液充分混合,有利消化;增强食糜与肠黏膜的接触,利于吸收;挤压肠壁,有助于血液和淋巴液的回流。
- (5) 对化学、温度和机械牵张的刺激比较敏感,对内容物等的各种刺激引起的内容物推进或排空有重要意义。

1.1.3 各种消化液的成分及作用

1.1.3.1 唾液的成分及作用

唾液成分: pH 6.6~7.1,其中水约占99%,有机物主要为黏液蛋白,还有唾液淀粉酶和少量无机盐(Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 及微量 CNS^-),另有少量气体如 N_2 、 O_2 和 CO_2 等。正常人日分泌唾液1~1.5L。

唾液作用:湿润与溶解食物并刺激味蕾引起味觉;清洁和保护口腔;唾液淀粉酶可使淀粉水解成麦芽糖,对食物进行化学性消化。

1.1.3.2 胃液的成分及作用

胃是消化道的一个袋状膨大部分,其位置和形状随人的体型体位及胃内充盈度不同而有所改变。中等度充盈时,胃的大部分位于正中左侧,小部分位于右侧。主成分是水、 HCl 、 Na^+ 、 K^+ 等无机物,以及胃蛋白酶、黏蛋白等有机物。纯净胃液是一种无色透明的酸性液体(pH 0.9~1.5)。主成分是水、 HCl 、 Na^+ 、 K^+ 等无机物,以及胃蛋白酶、黏蛋白等有机物。

(1) 胃酸

由胃腺壁细胞分泌,胃酸的质子 H^+ 来源于 CO_2 水合酶作用下 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 生成的 H_2CO_3 ,而 Cl^- 来自食物,只有胃中才有此酸性分泌液。

作用：激活胃蛋白酶原，为其形成适宜的酸性环境，能使蛋白质变性以利于蛋白质水解；增强小肠对 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 的吸收；抑制和杀灭胃内细菌的作用。胃酸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。

(2) 胃蛋白酶

主细胞分泌出来时为无活性的蛋白酶原，在 HCl 作用下被激活（最适 pH 2），是胃液中的主要消化酶，能对蛋白质进行初步水解。

(3) 黏液

胃黏膜表面的上皮细胞和胃腺中的黏液细胞分泌。主成分是糖蛋白，其次为黏多糖等大分子。在正常情况下胃黏膜表面常覆盖一层黏液，弱碱性，可中和 HCl 和减弱胃蛋白酶的消化作用，故可保护胃黏膜，使其免于受到 HCl 和蛋白酶的消化作用。同时，黏液还有润滑作用，可减少胃内容物对胃壁的机械损伤，对胃有保护作用。

(4) 内在因子

正常胃液中含“内在因子”。它是相对分子质量为 53 000 的一种糖蛋白，与维生素 B_{12} 结合并促进其吸收。内在因子的缺乏，会引发维生素 B_{12} 缺乏症。

1.1.3.3 胆汁的成分及作用

胆汁的成分为胆盐、胆色素、磷脂、胆固醇及黏蛋白等，无机物除水外，还有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 。胆汁 pH 7.4 左右。一般认为胆汁中不含消化酶。胆汁酸盐的作用主要是对脂肪乳化，以便于脂肪酶作用，对脂类的消化吸收具有重要意义。

1.1.3.4 胰液的成分及作用

胰腺是重要的消化酶的分泌器官，它包含 82% 体积的腺泡细胞，这些细胞分泌各种不同的酶和酶原至胰腺管。胰腺含有 3.9% 的管细胞，它们分泌液体和重碳酸盐进入胰腺管。腺泡细胞和导管细胞是外分泌细胞；胰腺仅包含 1.8% 体积的内分泌细胞，内分泌细胞分泌胰高血糖素和胰岛素到血液中去，血管占胰腺体积的 3.7%。胰液的 pH 为 7.2~7.4，离子组成有近 120 mM 重碳酸盐、140 mM 钠、70 mM 氯、5 mM 钾和 2 mM 钙。外分泌细胞大约每天分泌 1 000 mL 液体进入十二指肠。是无色无臭的碱性液体， pH 7.8~8.4。主成分有 NaHCO_3 和各种消化酶。

作用：胰液含大量的 NaHCO_3 ，能中和由胃进入小肠的盐酸，使肠内保持弱碱性环境，以利肠内消化酶的作用，对食物的消化有重要作用。

1.1.3.5 小肠液的成分及作用

成分： pH 7.8 呈弱碱性。成人分泌 1~3 L/d。小肠中除含有多种黏蛋白、肠激酶外，还含有多种消化酶，此外还常混有脱落的上皮细胞、白细胞和微生物等。

作用：进一步分解肽类、二糖和脂类，使其成为可被吸收的物质。如蔗糖酶分解 GF；麦芽糖酶分解麦芽糖；乳糖酶分解乳糖。

1.1.3.6 大肠液的成分及作用

成分：分泌少量碱性液体， pH 8.3~8.4，主成分为黏液蛋白，保护黏膜和润滑粪便。

作用：含酶很少，没有明显的消化作用。大肠内容物主要受细菌的分解作用。细菌所含的酶能使食物残渣与植物纤维素分解。对糖类和脂肪进行发酵式分解，蛋白质进行腐败式分解。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。大肠内细菌还能合成少量维生素 K 和某些维生素 B 族。其中一部分

可被人体吸收,对机体的营养和凝血有一定生理意义。

1.1.4 调节消化与吸收中的激素

胃肠道、胰腺中已发现三十余种生物活性肽,二十余种胃肠多肽也存在于大脑组织中,其中重要的胃肠激素有胃泌素、胃动素、促胰泌素、羧胆素(CCK)。胃泌素是由胃腔内的G细胞分泌的,它促进壁细胞分泌胃酸,当胃酸到达十二指肠又促进促泌素的释放,随后促泌素又刺激胰腺分泌液体和重碳酸盐,饮食中的脂肪和蛋白质进入小肠促进CCK释放进入血液,CCK既刺激酶和酶原释放进入肠腔,也刺激胆囊释放胆汁酸盐进入肠腔。胃肠道激素已在包括脑和胃肠壁内神经系统中发现。机体内外的环境变化可作用于胃肠内分泌细胞,引起激素或多肽的释放,胃肠道激素可直接释放进入血液循环运至靶细胞道;也可通过细胞间隙从源细胞弥散至邻近的靶细胞;或直接分泌进入肠腔发挥作用。

影响胃液分泌的主要内源性物质:①乙酰胆碱:乙酰胆碱是大部分支配胃的迷走神经及部分肠壁内在的神经末梢释放的递质。可直接作用于壁细胞上的胆碱能受体刺激胃酸分泌。其作用可被胆碱能受体阻断剂阿托品阻断。②胃泌素:使G细胞释放的一种肽类激素。主要通过血液循环作用于壁细胞引起胃酸分泌增加。由胃幽门部的G细胞和十二指肠上段黏膜分泌。迷走神经冲动以及对幽门部的机械或化学性刺激(主要是蛋白质的消化产物),均可引起胃泌素的释放。胃泌素的主要作用是促进胃腺壁细胞分泌大量盐酸,而对胃蛋白酶分泌的作用较弱。胃泌素还可促进胃窦的运动。③组胺是由胃泌酸区黏膜中的肠嗜铬样细胞分泌的,具有很强的刺激胃酸分泌的作用。可通过局部扩散到达邻近的壁细胞,作用于组胺受体,甲氰咪呱及其类似物可阻断组胺与壁细胞结合而刺激胃酸分泌。④抑胃肽:食物中的葡萄糖、脂肪等可引起小肠释放抑胃肽。其主要作用是抑制胃的分泌和运动。所以,吃脂肪多的食物可使胃液分泌减少,消化力降低,胃排空延缓,饱腹感更加持久。现已证明胃ECL细胞上存在胃泌素受体和胆碱能受体,胃泌素和乙酰胆碱可通过作用于各自的受体引起ECL细胞释放组胺而调节胃酸分泌。在动物实验中,用组氨酸脱羧酶抑制ECL细胞合成组胺后,胃泌素对胃分泌的刺激作用明显减弱。

胃酸的反馈控制通常阻止过量的胃酸释放于胃内,包括3个步骤:第一,通过食入的肽或氨基酸刺激迷走神经能控制G细胞放胃泌素。然而,有研究表明血清胃泌素也可能不提高,由于食物使得胃膨胀也会刺激产生胃泌素。第二,血液中增加了的促胃液也会诱引壁细胞释放0.1N HCl的pH=1.0胃酸,能使胃中内容物的pH为2.0。第三,胃腔中强酸的存在阻止了G细胞释放胃泌素,这个阻碍代表着反馈循环的结束。胃泌素分泌受阻开始于pH为3.0~3.5,当胃腔内的pH降到1.5时分泌完全被阻止。

十二指肠的细胞分泌促泌素和CCK。十二指肠的内分泌细胞包括I细胞和S细胞。胃液和一部分已消化的食物和残留的酸刺激S细胞释放促泌素进入血液,其与胰腺中与胰腺管细胞浆膜面上的促泌素受体结合,促进细胞释放重碳酸盐和液体进入胰腺管,进入十二指肠。重碳酸盐抑制胃酸的产生,使小肠pH接近中性而许多消化酶具有催化活性。

小肠黏膜I细胞分泌CCK。CCK是一种进入血液的激素,通过血液到达各器官,如胃、胆囊、胰腺等在血浆膜上含有CCK受体。引起胆囊收缩素释放的因素(由强至弱)为蛋白质分解产物、脂酸钠、盐酸、脂肪。糖类没有作用。影响胰液分泌的体液因素还有胃窦分泌的胃泌素、小肠分泌的血管活性肠肽等,它们的作用分别与胆囊的收缩素和促胰液素相似。

近年来的资料表明,促胰液素和胆囊收缩素对胰液分泌的作用是通过不同机制实现的,前者以 cAMP 为第二信使,后者则通过磷脂酰醇系统在 Ca^{2+} 介导下起作用。CCK 与受体结合,产生的作用取决于目标细胞或器官。

① CCK 对胆囊的作用: CCK 可引起胆囊收缩,从而使胆囊内的胆盐经胆管排出,进入十二指肠。胆盐对于消化和有效地吸收脂肪是必需的,胆盐也是高效的吸收脂溶性维生素所必需的。

② CCK 对胰酶分泌的作用: 促进胰液中各种酶的分泌是胆囊收缩素的一个重要作用,因而也称促胰酶素; CCK 能刺激用来水解脂肪的脂酶、磷酸酶、淀粉酶和蛋白质水解的各种酶原及核酸酶释放入十二指肠。这些蛋白质产生并存储于胰泡细胞里,胰泡细胞聚集成团,像葡萄串一样包围在胰管的一端,管的另一端离开胰与其他许多类似的管连接形成大的总管,该总管经十二指肠乳头与十二指肠相通。胆囊收缩素对胰腺组织还有营养作用,它促进胰组织蛋白质和核糖核酸的合成。

③ CCK 对碳酸氢盐的作用: CCK 能刺激碳酸氢钠及大量液体从胰管流出,这些皮上细胞排列于官腔上。碳酸氢盐中和胃酸后经幽门进入十二指肠, CCK 对管细胞的作用将在后续章节中讲述。

④ CCK 对胃的作用: CCK 影响胃的运动,又会影响食物的通过速度。幽门处于胃和十二指肠连接处, CCK 与幽门特定肌肉组织中的受体部位作用,使幽门括约肌或幽门收缩。括约肌是一种环形肌肉,控制着食物通过的通过率。

促胰液素和胆囊收缩素之间具有协同作用,即一个激素可加强另一个激素的作用。此外,迷走神经对促胰液素的作用也有加强作用,例如阻断迷走神经后,促胰液素引起的胰液分泌量将大大减少。激素之间,以及激素与神经之间的相互加强作用,对进餐时胰液的大量分泌具有重要意义。

内在因子的功能是吸收维生素 B_{12} 。在烹饪过程中维生素 B_{12} 从食物蛋白质中释放出来,或在胃环境下,与胃分泌的内源因子紧紧结合。尽管内在因子是蛋白质,它与维生素 B_{12} 形成复合体不会因胃酸的潜在变性作用而被破坏,复合物经由十二指肠和空肠进入回肠,在回肠中,维生素 B_{12} 与内在因子分离,而被肠细胞吸收进入血液,在血液中与另一蛋白质结合,该蛋白质为转钴胺蛋白。维生素 B_{12} 与转钴胺蛋白的复合体随血液循环,被不同器官吸收利用。该复合物的吸收与膜细胞上的特定受体蛋白相结合。由维生素 B_{12} 、转钴胺蛋白和受体形成的复合体,进入到由原生质膜的套叠所形成的腔内,在细胞内形成囊,这种将分子运入细胞的过程叫细胞内摄作用。含有维生素 B_{12} 的囊泡复合体与细胞内的溶酶体相融合,使得囊中的内容物进入溶酶体内部。溶酶体是一种小的细胞器,含有多种消化酶,是酸性环境,类似于一个微型的胃。酶使维生素 B_{12} 从复合体上释放出来,并使维生素 B_{12} 从溶酶体内部运动到细胞之中。

胃壁细胞缺乏会导致内在因子分泌不足,肠道不能有效地吸收维生素 B_{12} 。内在因子缺乏多见于恶性贫血,患有此病的人的壁细胞成为人体所产生的抗体的靶细胞。这些抗体可以识别并与各种壁细胞蛋白相结合,这些蛋白包括内源因子,导致细胞的破坏。免疫系统的主要作用在于产生抗体并识别与易感染因子相结合,例如细菌、病原和病毒。抗体与致病因子通常以白血细胞的吞噬作用和对复合体的硝化作用来结合。然而在自动免疫疾病中,像恶性贫血这样的病中,抗体与机体的正常组分相结合,恶性贫血也会导致机体不能产胃酸。