

序

2012年9月,教育部印发了《普通高等学校本科专业目录(2012年)》,食品卫生与营养学成为新增的本科专业之一,目前国内已有数十所高校设立了该专业。2015年,由四川大学华西公共卫生学院牵头启动了科学出版社“十三五”普通高等教育本科规划教材/食品卫生与营养学专业系列教材第1版的编写。

自本系列教材面世以来,已成为开办该专业的众多院校学生的必修/选修教材,为我国食品卫生与营养学及相关专业人才培养提供了扎实的理论根基,受到广泛好评。当前,伴随着全球食品产业变革加速、健康中国战略纵深推进、居民营养与食品安全需求迭代升级,以及大数据、AI辅助、合成生物学等新技术带来的挑战,学科知识体系正经历前所未有的交叉、重构与拓展,对食品卫生与营养学相关专业技术人才的需求也越来越大。为顺应时代需求,系统培养兼具“舌尖安全”守护能力与“膳食健康”促进素养的专业人才,我们郑重推出了本系列教材的全新修订版。

本版教材的编写修订工作本着严谨、全面、实用的原则,组织国内相关医药院校和中国疾病预防控制中心、国家食品安全风险评估中心等单位的专家共同完成。教材紧扣学科核心,传承了上版教材的体系及思想,采纳和吸收了使用上版教材各高校师生的意见与建议,进行了多方面的修改、补充和完善。本版教材不仅可作为食品卫生与营养学本科专业的教材,还可作为医学营养学、食品质量与安全、食品营养与健康等相关专业本科生和研究生的参考教材,并可作为食品卫生检验、预防医学、食品科学与工程等相关专业技术人员的参考书。

本次修订在第1版的基础上进行了增补完善,同时对整套教材体系进行了结构性优化。新版教材的优势主要体现在以下几方面:

(1) 紧贴专业培养需求,体系完整规范。

梳理和分析了开设食品卫生与营养学专业各学校的核心课程设置及教学要求,尽量使本系列教材及其相关内容能够满足各学校的需求,力求编写出一套符合本专业课程设置并涵盖食品安全、公共营养、食品科学、药食同源等不同方向的综合性教材。参与第2版教材编写的人员多为一线工作的教师和相关专家,编写中突出食品卫生与营养学专业人才培养的特点,其知识体系可满足相关岗位的需求。

(2) 内容与时俱进,重视实践培养。

近年来,营养与食品安全领域的相关法规标准等有较多更新,故第2版教材也更新了相关的内容,如《中国居民膳食指南(2022)》、《中国居民膳食营养素参考摄入量(2023版)》、《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2024)等,并补充了国家卫生健康委近两年发布的相关慢病食养指南等内容。强调专业理论和案例教学并重,引导学生拓宽视野、重视实践,培养具有扎实的理论基础和较强的专业技术能力的复合型人才。

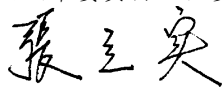
(3) 重视学科融合,培育科学素养。

第2版教材强调“食品安全-食物营养-公众健康”三维知识体系的贯通与融合,优化食品安全全链条风险控制、特殊医学用途配方食品法规、营养毒理学和药食同源等相关内容,纳入最新的循证依据,介绍了多个膳食调查及评估的智能工具,融合了基础理论和部分创新性研究

成果，尤其注重介绍相关的新技术和新方法，力求全面反映学科发展和课程改革的最新成果，培养学生的科研理念和创新能力。

本次教材修订，既凝聚了第1版编委深厚的学术积淀与实践智慧，又融入了参与再版编写的多位中青年学者、教师的创新思维与探索活力，更离不开使用第1版教材的广大师生所贡献的真知灼见与宝贵建议。特别鸣谢国家食品安全风险评估中心、中国疾病预防控制中心、中国营养学会提供的权威指导。知识常新，教无定法。由于编者的综合水平与能力有限，本系列教材（第2版）难免有不足和疏漏之处，恳请广大师生和读者发现后及时指出和反馈给我们，以便进一步修改完善。

食品卫生与营养学专业系列教材
第2届编审委员会主任委员



2025年6月

前言

公共营养学是一门通过研究人群膳食营养与健康现状及动态变化,发现人群营养问题及其影响因素,探讨制订营养改善途径和干预措施,以提高人群营养状况和健康水平的学科。公共营养学是营养学的重要分支,其内容涉及营养学、食品科学、预防医学、临床医学、人类学、社会学、经济学及政治学等学科领域,具有鲜明的宏观性、社会性、政策性、实践性及多学科交叉性的特点。公共营养工作主要包括开展营养监测和营养调查,分析营养健康状况,发现营养问题及原因,提出并推动政府制定和实施相应的营养改善政策和措施,对社会大众和消费者进行营养宣传和咨询等,以使营养科学在社会实践中造福于人民。随着全球科技进步、社会经济发展和营养学研究的深入,公共营养学的概念及其应用范畴不断扩展,在人类疾病预防和健康促进中发挥着越来越重要的作用,受到政府、社会、学术组织及公众的高度关注。

世界公共营养学的发展起源于第二次世界大战后,国外相关专业机构和学者开始研究宏观营养,营养工作的社会性不断得到加强;随后在世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)的努力下,全球营养工作的宏观调控力度不断提升,公共营养学应运而生,推动全球公共营养事业不断发展。为了在全社会推行公共营养的保障、监督与管理措施,除了营养科学研究成果的反馈外,许多国家制定了营养指导方针,采取营养立法手段,建立国家监督管理机构,推行农业经济政策、社会食品经济政策等,使现代公共营养学更富于宏观性和社会实践性。1996年 John Mason 等学者首次提出了公共营养的学科界定和概念框架问题,详细说明了公共营养的理解,进一步推动了公共营养的发展。在消除营养缺乏病方面,通过食物强化、膳食补充剂及营养素辅食,使贫血、维生素 A 缺乏、碘缺乏、生长发育迟缓等营养问题得到有效改善。近 30 年来,营养过剩导致的膳食营养相关慢性病(如高血压、糖尿病、血脂异常等)发病率大幅增加,尤其在中低收入国家中问题更加严峻。营养问题由过去的单一因素转变成多因素的交互作用,公共营养正面临着新的严峻挑战。营养问题的起因变得越来越复杂,使解决问题变得非常困难,公共营养在思想、理论和方法上都在逐渐创新和发展,营养政策、营养经济、营养生态等理论和研究实践正在兴起,将为新的营养问题的解决奠定基础。

我国公共营养学的发展历史悠久,著名的中医典籍《黄帝内经·素问》就曾提出“五谷为养,五果为助,五畜为益,五菜为充”的膳食理论。20 世纪初,我国开始引入并建立现代营养学体系,并编著首本营养学专著《营养概论》。20 世纪 80 年代起,我国公共营养事业快速发展,1984 年正式成立了中国营养学会公共营养委员会和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所公共营养研究室,陆续开展公共营养工作,主要包括营养调查、营养监测、营养教育、营养改善及中国居民膳食指南制定。在我国经济体制改革时期,公共营养研究以宏观营养的观点追踪和研究社会经济等综合因素对人体健康的影响,从而进一步拓展了我国公共营养事业研究领域。2016 年及之后,我国政府先后颁布了一系列重要的营养健康相关政策文件,特别是《“健康中国 2030”规划纲要》和《国民营养计划(2017—2030 年)》,将公共营养事业推向更高的发展阶段。迄今我国公共营养工作主要包括:①营养标准与膳食指南制定;②全国营养调查与监测;③营养队列调查研究;④儿童营养监测与改善;⑤食物营养计划与营养改善;⑥营养政策法规及标准研究;⑦营养与健康数据库建立

与应用；⑧膳食模式与营养问题变迁探索；⑨营养教育与健康促进；⑩食物保障与食品安全。

公共营养研究立足于人群整体健康状况，剖析现存营养相关问题，因此公共营养学的研究对象是以整个国家、省或地区的各类人群为对象，而不局限于个体或个别人群某个营养素过剩与不足的问题上，也不局限在个体食谱的改善建议上，它更侧重于分析营养与购买力的关系，以及与食品经济结构、社会经济发展趋势、国家或地区的营养政策、食品产业发展政策之间的关系。公共营养学是将营养学的成就转化为社会效益。一方面需要基础营养学的知识和技能，是立足于生物科学基础上的营养学的一个重要内容；另一方面，在改善营养与健康的关系上，既要看营养与整体健康水平的联系，还要研究饮食行为、经济条件、社会体制与政策，综合地分析问题和寻找措施，才能使营养科学在社会实践中造福于人民。公共营养学对人群营养问题的思考、研究已超出公共卫生领域，它涉及政治、经济发展、农业政策、环境、人道援助甚至营养相关法律法规的制定、修订与执行，解决营养问题的方法更是考虑到卫生领域之外，如贸易、农业等与食物相关的公共政策等。公共营养学的研究方法主要包括营养状况评价方法和营养流行病学方法，利用这些方法不仅要研究营养缺乏病，还要研究营养相关慢性病，探讨人群营养及其与健康 and 疾病的关系，膳食因素在人类与营养有关疾病中的作用，特别是在慢性病中的作用。

当前我国居民面临着营养不足和营养过剩的双重挑战，主要营养问题包括：①营养不足和营养缺乏问题仍然存在；②微量营养素潜在缺乏问题突出；③肥胖问题已成为我国严峻的健康问题；④营养相关慢性病呈现“井喷”“海啸”趋势。研究表明，正确、有效的营养改善措施可以预防和控制营养缺乏或过剩引起的营养相关疾病。因此，需要全面推进公共营养事业，预防营养缺乏，控制与膳食相关慢性病的发展，提升全民健康水平。

未来的公共营养发展方向如下。

1. 公共营养对策向以社会需求为基础的实践化方向发展 加大对营养政策、法规、标准的研究，在充分科学证据的基础上，明确主要营养问题，采取科学化、规范化的程序，形成解决主要营养问题的体系化营养政策、法规、标准，并在实际应用中检验和修正。近年来，国家对婴幼儿、妇女、老年人进行了重点的营养改善行动，包括营养知识普及和指导、以食物为基础的干预、营养保障机制的建立等，使我国的营养政策相关理论真正走向实践。

2. 营养数据库向大数据集成和共享应用方向发展 通过整理已有的国民营养健康基础调查数据，补充收集健康环境相关信息，如周围餐馆、食品售卖场所、医疗卫生服务、休闲活动场所等地理空间信息，增加城镇化人群、流动及留守人群膳食和健康资料，补充预包装食品、在外就餐及食物价格对居民食物选择和健康影响的信息，逐步建立综合的大数据集成。同时，建立相应的数据共享应用机制，鼓励科研人员广泛开展对数据资料的深入分析，积累以我国人群为基础的研究证据。

3. 公共营养研究向多学科交叉融合、体系化方向发展 针对营养问题的复杂性，公共营养研究将融合更多的学科理论，包括政策学、经济学、社会行为学、生态学、地理空间学、代谢组学、人工智能等，建立相应的研究假说和学术体系，多层次、多角度理解营养问题的原因和影响因素。

4. 营养调查与监测向信息化、智能化方向发展 智能化是近年来新兴科技趋势，将营养调查、监测与现代信息化新技术相结合，借助各类信息设备收集人群的营养、健康及疾病数据，将使营养调查、监测及相关应用更加便利，更好地服务于国家、社会和个人，满足相应的营养需求。

5. 营养评价技术向个体化、精准化方向发展 营养评价正在从单一的营养素评价向多因素的膳食结构、膳食模式方向发展。一方面，研究人员运用数学模型、系统学模型来分析评价人群中营养与健康、营养与疾病之间复杂的关系；另一方面，营养评价也在向个体精准化应用方向发展，更加简便、快速的实用技术和个性化产品正成为今后专业领域的一个研究热点。

第2版《公共营养学》教材在上版基础上，根据国内外营养健康研究新进展，结合当前我国

居民的营养健康问题与需求及国家一系列营养健康政策,对教材进行了整体结构优化和内容更新补充,力求新教材具备科学性、先进性和实用性。本教材分为四篇(公共营养基础,公共营养技术,公共营养与健康,公共营养管理)共十八章,主要涵盖公共营养工作的基本理论、基本方法和基本应用。编写团队汇集了国内重点高校和国家级研究机构长期从事公共营养领域教学、科研及疾病预防与健康促进工作的知名学者教授和营养健康政策管理者,为本教材打造优良内容品质提供了有力支撑。

本教材的修订编写工作历时两年多,各位学者教授及编者贡献了精湛智慧,倾注了大量心血,衷心感谢大家!在本教材立项和修订工作中也得到了四川大学华西公共卫生学院领导及科学出版社领导和编辑的大力支持和指导,深表谢意!此外,还要感谢在本教材的后期整理、校对等工作中给予帮助的研究生们(张诗雨、丁彦曦、赵研言等),在此一并感谢!希望第2版《公共营养学》能成为营养健康相关专业本科生、研究生及相关领域从业人员的一本基础教科书和专业参考书。最后,由于我们的水平所限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者给予批评指正。

曾 果 张 兵

2025年10月

目 录

第一篇 公共营养基础

第一章 基础营养	1
第一节 能量	1
第二节 宏量营养素	2
第三节 微量营养素	10
第四节 水及其他膳食成分	19
第二章 食物营养	25
第一节 食物营养价值	25
第二节 各类食物营养价值	26
第三节 食品	35
第三章 生命周期营养	38
第一节 孕产妇营养	38
第二节 婴幼儿营养	43
第三节 儿童营养	51
第四节 老年营养	56
第四章 饮食行为	62
第一节 概述	62
第二节 饮食行为问题与健康	64
第三节 饮食行为影响因素	71
第四节 饮食行为干预策略	75
第五章 食品安全	79
第一节 食品安全概述	79
第二节 食品污染与食物中毒	79
第三节 食品安全风险监测	87
第四节 食品安全风险评估与交流	89

第二篇 公共营养技术

第六章 膳食营养素参考摄入量	92
第一节 膳食营养素参考摄入量 国内外发展历程	92
第二节 膳食营养素参考摄入量 的基本理论和概念	94

第三节 膳食营养素参考摄入量 的制定原则和建立方法	97
------------------------------	----

第四节 膳食营养素参考摄入量 的应用	102
-----------------------	-----

第七章 膳食模式与膳食指南

第一节 膳食模式	107
第二节 膳食指南	110
第三节 中国居民膳食指南	113
第四节 国外膳食指南简介	123

第八章 食谱编制

第一节 食谱编制依据和原则	128
第二节 食谱编制方法及评价	130
第三节 食谱编制应用	134

第九章 营养教育

第一节 概述	140
第二节 营养教育的常用理论 与方法	141
第三节 营养教育实践	149

第十章 营养调查与营养监测

第一节 营养调查	153
第二节 营养监测	165

第十一章 膳食数据分析与评价

第一节 食物及营养素摄入量计算	178
第二节 膳食营养评价	179
第三节 营养大数据分析与利用	182

第三篇 公共营养与健康

第十二章 营养缺乏

第一节 蛋白质-能量营养不良	187
第二节 维生素 A 缺乏	191
第三节 维生素 D 缺乏症	196
第四节 叶酸缺乏症	199

第五节 缺铁性贫血	203	标准概况	295
第六节 碘缺乏	205	第十六章 食品营养标签	299
第十三章 营养相关慢性病	211	第一节 概述	299
第一节 肥胖	211	第二节 国际食品营养标签	300
第二节 心脑血管疾病	219	第三节 我国预包装食品营养 标签制定与管理	304
第三节 糖尿病	229	第四节 我国餐饮食品营养 标识制定与管理	312
第四节 高尿酸血症及痛风	238	第十七章 人群营养改善	317
第五节 骨质疏松	243	第一节 营养干预与营养改善	317
第六节 肌肉减少症	249	第二节 妇幼人群营养改善	320
第七节 肿瘤	255	第三节 学生人群营养改善	322
第八节 神经退行性疾病	262	第四节 老年人群营养改善	324
第四篇 公共营养管理		第五节 紧急情况下的营养保障	325
第十四章 营养法律法规与政策	270	第十八章 公共营养组织机构与 人才培养	327
第一节 概述	270	第一节 公共营养组织机构	327
第二节 我国营养法律法规与政策	271	第二节 公共营养人才培养	333
第三节 国外营养法律法规与政策	277	附录一 中国居民膳食营养素 参考摄入量 (2023 版)	340
第十五章 营养标准	286	附录二 重要营养素的主要食物来源	350
第一节 我国营养标准的发展	286		
第二节 我国营养标准的制定原 则及程序	287		
第三节 我国营养标准的管理	290		
第四节 国际及发达国家营养			

第一篇 公共营养基础

第一章 基础营养

第一节 能 量

新陈代谢是生命活动的基本特征。机体通过摄取食物中的碳水化合物、脂肪、蛋白质来获取能量，以维持自身各种生理功能及生命活动。

一、人体能量消耗

人体每日能量消耗主要体现在基础代谢、体力活动、食物热效应及生长发育等方面。当能量摄入与消耗处于理想平衡状态时，机体能量需要量等于其能量消耗量。

1. 基础代谢能量消耗 又称基础能量消耗（basal energy expenditure, BEE），是指用于维持基础代谢状态所消耗的能量，是机体维持自身最基本的生命活动所需要的能量消耗，即人体在安静和恒温条件下（一般 18~25℃）禁食 12h 后，静卧、放松而又清醒时仅用于维持体温、呼吸、心脏搏动、血液循环及其他组织器官和细胞的基本生理功能的能量消耗，占人体总能量消耗的 45%~70%。

基础代谢率（basal metabolic rate, BMR）是指每小时每平方米体表面积（或每千克体重）人体基础代谢消耗的能量，其表示单位为 $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、 $\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 或 $\text{kcal}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。

（1）体表面积算法：1985 年我国学者提出适合中国人的体表面积线性回归方程。

体表面积（ m^2 ）= $0.00659 \times \text{身高}(\text{cm}) + 0.0126 \times \text{体重}(\text{kg}) - 0.1603$

基础代谢能量消耗（ kJ ）= 体表面积（ m^2 ） $\times$ BMR [$\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$] $\times 24\text{h}$ ，根据表 1-1 人体每小时的基础代谢率和计算出的体表面积可求人体 24h 的基础代谢能量消耗。

表 1-1 人体每小时的基础代谢率 BMR

年龄（岁）	男		女		年龄（岁）	男		女	
	kJ/m^2	kcal/m^2	kJ/m^2	kcal/m^2		kJ/m^2	kcal/m^2	kJ/m^2	kcal/m^2
1~	221.8	53.0	221.8	53.0	30~	154.0	36.8	146.9	35.1
3~	214.6	51.3	214.2	51.2	35~	152.7	36.5	146.4	35.0
5~	206.3	49.3	202.5	48.4	40~	151.9	36.3	146.0	34.9
7~	197.7	47.3	189.8	45.4	45~	151.5	36.2	144.3	34.5
9~	189.9	45.2	179.1	42.8	50~	149.8	35.8	139.7	33.9
11~	179.9	43.0	175.7	42.0	55~	148.1	35.4	139.3	33.3
13~	177.0	42.3	168.6	40.3	60~	146.0	34.9	136.8	32.7
15~	174.9	41.8	158.8	37.9	65~	143.9	34.4	134.7	32.2
17~	170.7	40.8	151.9	36.3	70~	141.4	33.8	132.6	31.7
19~	164.0	39.2	148.5	35.5	75~	138.9	33.2	131.0	31.3
20~	161.5	38.6	147.7	35.3	80~	138.1	33.0	129.3	30.9
25~	156.9	37.5	147.3	35.2					

由于 BMR 测定的复杂性，1985 年世界卫生组织（World Health Organization, WHO）提出用静息代谢率（resting metabolic rate, RMR）代替 BMR。测定时要求全身处于休息状态，禁食 4h。RMR 的值略高于 BMR，两者相差小于 10%，而且测定方法更为简便。

(2) 直接计算法: 是一种根据体重、身高和年龄直接用哈里斯-本尼迪克特 (Harris-Benedict) 公式计算基础代谢能量消耗的简便方法。Harris-Benedict 公式如下。

男: 基础代谢能量消耗 = $66.47 + 13.75 \times \text{体重 (kg)} + 5.00 \times \text{身高 (cm)} - 6.76 \times \text{年龄 (岁)}$

女: 基础代谢能量消耗 = $655.10 + 9.56 \times \text{体重 (kg)} + 1.85 \times \text{身高 (cm)} - 4.68 \times \text{年龄 (岁)}$

影响人体基础代谢能量消耗的因素包括以下几方面。

(1) 年龄: 人的一生中, 婴幼儿时期的基础代谢率非常高, 至青春期出现一个代谢活跃的高峰, 中年以后逐渐下降, 到老年时期明显降低。

(2) 性别: 实测结果表明, 同年龄、同体表面积情况下, 女性基础代谢率低于男性。

(3) 体型与体质: 基础代谢与体表面积的大小成正比, 体表面积越大, 向外散热越快, 基础代谢能量消耗越高。人体瘦体组织代谢活跃, 其耗能占基础代谢能耗的 70%~80%, 在同等重量下, 瘦高且肌肉发达者的基础代谢高于矮胖者。

(4) 特殊生理状况: 婴幼儿和青少年生长发育迅速, 基础代谢能量消耗相对较高; 妊娠期和哺乳期的基础代谢能量消耗增加。

(5) 内分泌因素: 甲状腺素、肾上腺素等分泌异常时, 能量代谢增强, 基础代谢率明显升高。

其他还有许多因素, 如生活和作业温度、营养状况、神经紧张程度、疾病等都会影响基础代谢能量消耗。

2. 体力活动 (physical activity) 是指任何由骨骼肌收缩引起的导致能量消耗的身体运动。体力活动是人体能量消耗的主要因素, 通常情况下占机体总能量消耗的 25%~50%。体力活动可分为工作、家务、体育及休闲等。其中, 工作能量消耗差异最大, 根据活动的频率、持续时间和强度等可将体力活动分级。

影响体力活动消耗的因素主要包括: ①肌肉量: 肌肉越发达者, 活动时能量消耗越大; ②体重: 体重越重者, 做相同运动所消耗的能量越多; ③工作熟练程度: 工作越不熟练者, 消耗能量越多。

3. 食物热效应 (thermic effect of food, TEF) 是由摄食引起的额外的能量消耗, 又称为食物特殊动力作用 (specific dynamic action, SDA)。

由于产能营养素在体内代谢方式的差异和腺苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP) 转化率不同, 不同产能营养素的食物热效应不尽相同。一般来说, 脂肪为 0~5%, 碳水化合物为 5%~10%, 蛋白质为 20%~30%。混合膳食的食物热效应约占总能量的 10%。

影响食物热效应的因素主要包括: ①摄食量: 与能量消耗呈正相关; ②进食速度: 进食快者比进食慢者的食物热效应高。

二、能量缺乏与过量

人体每日摄入的能量不足, 机体会运用自身储备的能量甚至消耗自身的组织以满足生命活动的能量需要。人体长期处于饥饿状态, 在一定时期内机体会出现基础代谢降低、体力活动减少和体重下降以减少能量消耗, 使机体产生对于能量摄入的适应状态, 此时, 能量代谢由负平衡达到新的低水平平衡, 其结果可导致儿童生长发育停滞, 成人消瘦和工作能力下降。

如果能量摄入过剩, 多余的能量会在体内贮存起来。人体内能量的贮存形式是脂肪, 脂肪在体内的异常堆积, 会导致肥胖和机体不必要的负担, 并可成为心血管疾病、某些癌症、糖尿病等疾病的危险因素。

评价成人能量营养状况的常用指标为体质指数 (body mass index, BMI), 其计算公式为: $BMI = \text{体重 (kg)} / \text{身高}^2 (\text{m}^2)$, 我国成人 BMI 在 18.5~23.9 kg/m^2 为正常范围。

第二节 宏量营养素

一、蛋白质

蛋白质 (protein) 是由氨基酸以肽键连接形成的、具有一定空间结构的高分子有机化合物, 是

细胞、组织、器官的重要组成部分，为人体必需营养素。蛋白质是生命的物质基础，食物蛋白质被人体消化吸收后，用于合成新的组织或维持组织蛋白质分解代谢与合成代谢的动态平衡。一般来说，成人体内每天有 1%~2% 的蛋白质被更新，肠道和骨髓内的蛋白质更新速度较快。

（一）蛋白质的分类及生理功能

1. 蛋白质的分类 20 世纪中叶后，蛋白质的功能被逐渐认识，按结构和功能分类的方法得到公认，一般蛋白质分为 7 类：结构蛋白、运输蛋白、运动蛋白、催化蛋白即酶类、蛋白质激素、免疫球蛋白、储存蛋白。

2. 蛋白质的生理功能

（1）构建机体和修复组织：人体的任何组织和器官均以蛋白质作为重要的组成成分，人体在生长过程中包含着蛋白质的不断增加。人体的瘦体组织（lean tissue）如肌肉、心、肝、肾等器官中含大量蛋白质；骨骼和牙齿中含大量胶原蛋白；指（趾）甲中含有角蛋白；细胞从细胞膜到细胞内的各种结构中均含有蛋白质。总之，蛋白质是人体不可缺少的结构成分。

（2）构成动物机体的调节物质：催化体内新陈代谢的酶类是蛋白质类物质；调节体内物质代谢的激素也大多是多肽类物质；免疫性抗体、脂蛋白和血红蛋白等都是蛋白质。此外，遗传信息传递、血液凝固、视觉形成、人体运动均与蛋白质有关。

（3）供能物质：当碳水化合物摄入缺乏时，蛋白质是能量和葡萄糖的供体。蛋白质氧化后可产生能量，可用于促进合成代谢、维持体温和进行其他生理活动。1g 食物蛋白质在体内氧化可产生约 16.7kJ（4kcal）的能量。

（二）必需氨基酸

1. 定义 必需氨基酸（essential amino acid, EAA）是指人体自身不能合成或合成速度不能满足人体需要，必须从食物中摄取的氨基酸。对成人来讲必需氨基酸共有八种：赖氨酸（lysine, Lys）、色氨酸（tryptophan, Trp）、苯丙氨酸（phenylalanine, Phe）、甲硫氨酸（methionine, Met）、苏氨酸（threonine, Thr）、异亮氨酸（isoleucine, Ile）、亮氨酸（leucine, Leu）、缬氨酸（valine, Val）。而组氨酸（histidine, His）为小儿生长发育期间的必需氨基酸。

2. 氨基酸模式及限制氨基酸 氨基酸模式（amino acid pattern）是指某种蛋白质中各种必需氨基酸的构成比例。在营养学上，用氨基酸模式来反映食物蛋白质和人体蛋白质中必需氨基酸在种类及数量上的差异，其计算方法是将某种蛋白质中色氨酸的含量定为 1，分别计算其他必需氨基酸的相应比值，这一系列的比值为该种蛋白质的氨基酸模式（表 1-2）。

表 1-2 几种食物和人体蛋白质氨基酸模式

氨基酸种类	人体	全鸡蛋	牛奶	牛肉	大豆	面粉	大米
异亮氨酸	5.0	3.2	3.4	4.4	4.3	3.8	4.0
亮氨酸	9.8	5.1	6.8	6.8	5.7	6.4	6.3
赖氨酸	7.5	4.1	5.6	7.2	4.9	1.8	2.3
甲硫氨酸+半胱氨酸	3.7	3.4	2.4	3.2	1.2	2.8	2.8
苯丙氨酸+酪氨酸	6.3	5.5	7.3	6.2	3.2	7.2	7.2
苏氨酸	3.8	2.8	3.1	3.6	2.8	2.5	2.5
缬氨酸	6.5	3.9	4.6	4.6	3.2	3.8	3.8
色氨酸	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

食物蛋白质的氨基酸模式与人体蛋白质越接近，其营养价值也相对越高。如果食物中任何一种必需氨基酸缺乏或过量，均可造成体内氨基酸的不平衡，使其他氨基酸不能被利用，影响蛋白质合成。这些相对含量较低的必需氨基酸称为限制氨基酸（limiting amino acid）。因此，在膳食中提倡食物多样化，将多种食物混合食用，使必需氨基酸互相补充，模式更接近人体需要，以提高蛋白质

的营养价值, 这种现象称为蛋白质互补作用 (protein complementary action)。

(三) 食物蛋白的营养学评价

1. 食物蛋白质含量 评价食物蛋白质的营养价值, 首先应考虑该食物中蛋白质的含量。各种蛋白质含氮量相近, 约占蛋白质的 16%。目前国际上比较常用的方法为经典的凯氏定氮法 (Kjeldahl determination) 是通过测定食物中的氮含量, 再乘以换算系数 6.25 得到食物蛋白质的含量。

2. 食物氨基酸组成和评价 氨基酸评分 (amino acid score, AAS), 也称蛋白质化学评分, 是目前广为应用的一种食物蛋白质营养价值评价方法, 不仅适用于单一食物蛋白质的评价, 还可用于混合食物蛋白质的评价。该法的基本步骤是将被测食物蛋白质的必需氨基酸组成与推荐的理想蛋白质或参考蛋白质氨基酸模式进行比较, 并按下式计算氨基酸评分。

确定食物蛋白质的氨基酸评分步骤: 首先计算被测蛋白质中每种必需氨基酸的评分值, 然后从中找出最低的必需氨基酸 (第一限制氨基酸) 评分值, 即为该蛋白质的氨基酸评分。

$$AAS = \frac{\text{每克被测蛋白质中氨基酸含量 (mg)}}{\text{每克参考蛋白质中氨基酸含量 (mg)}}$$

氨基酸评分法较为简单, 但未考虑食物蛋白质的消化率。为此, 美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 于 1991 年推出了一种经消化率修正的氨基酸评分 (protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS), 其计算公式为

$$PDCAAS = AAS \times \text{真消化率}$$

2013 年, 联合国粮食及农业组织 (FAO) 膳食蛋白质质量评估的专家咨询会认为蛋白质消化率和氨基酸消化率均存在较大差别, 建议采用可消化必需氨基酸评分 (digestible indispensable amino acid score, DIAAS) 替代 PDCAAS 来评价蛋白质质量, 其计算公式为

$$DIAAS(\%) = \frac{\text{每克膳食蛋白质中可消化的必需氨基酸含量 (mg)}}{\text{每克参考蛋白质中相同的可消化的必需氨基酸含量 (mg)}} \times 100\%$$

3. 食物蛋白质利用率

(1) 消化率: 蛋白质消化率 (digestibility) 不仅反映了蛋白质在消化道内被分解的程度, 还反映消化后的氨基酸和肽被吸收的程度。蛋白质消化率受人体自身和食物两方面影响, 包括机体的消化功能、精神状态、饮食习惯, 食物的属性、加工方式等。根据是否考虑粪代谢氮 (指肠道里的内源性氮, 是实验对象完全不摄入蛋白质时, 粪中的含氮量) 的因素, 可分为真消化率 (true digestibility) 和表观消化率 (apparent digestibility) 两种方法。

在实际应用中, 往往不考虑粪代谢氮, 这样不仅实验方法简单, 而且因所测得的结果比真消化率要低, 具有一定安全性。其计算公式为

$$\text{蛋白质真消化率}(\%) = \frac{\text{食物氮} - (\text{粪氮} - \text{粪代谢氮})}{\text{食物氮}} \times 100\%$$

$$\text{蛋白质表观消化率}(\%) = \frac{\text{食物氮} - \text{粪氮}}{\text{食物氮}} \times 100\%$$

(2) 蛋白质生物价 (biological value, BV): 是反映被消化吸收后的待测蛋白质被机体利用的程度。其计算公式为

$$\text{氮吸收量} = \text{食物氮} - (\text{粪氮} - \text{粪代谢氮})$$

$$\text{氮储量} = \text{吸收氮} - (\text{尿氮} - \text{尿代谢氮})$$

$$BV(\%) = \frac{\text{氮储量}}{\text{氮吸收量}} \times 100\%$$

通常采用动物或人体实验, 一组实验期间动物食用含被测蛋白质的合成饲料, 收集实验期动物饲料和粪、尿样品, 测定氮含量; 另一组实验动物实验前给无氮饲料, 收集粪、尿样品, 测定氮含量, 获得粪代谢氮和尿内源氮数据。生物价高表明食物蛋白质中的氨基酸主要用于合成人体蛋白,

没有过多的氨基酸经肝肾代谢或由尿排出,从而减轻了肝肾负担(表 1-3)。

表 1-3 常见食物蛋白质的生物价

蛋白质	生物价	蛋白质	生物价
鸡蛋	94	熟大豆	64
鸡蛋白	83	扁豆	72
鸡蛋黄	96	蚕豆	58
脱脂牛奶	85	白面粉	52
鱼	83	小米	57
牛肉	76	玉米	60
猪肉	74	白菜	76
大米	77	红薯	72
小麦	67	马铃薯	67
生大豆	57	花生	59

(3) 蛋白质净利用率 (net protein utilization, NPU): 是反映被测食物蛋白质被机体利用程度的指标,包括食物被消化和利用两个方面,能更全面地反映被测食物蛋白质的实际利用程度。计算公式为

$$\text{NPU}(\%) = \text{消化率} \times \text{生物价} = \frac{\text{储留氮}}{\text{食物氮}} \times 100$$

(4) 蛋白质功效比值 (protein efficiency ratio, PER): 是指平均每摄入 1g 蛋白质所增加的动物体重,是用处于生长阶段中的幼年动物(一般用刚断奶的雄性大白鼠)在实验期内,其体重增加(g)和摄入蛋白质的量(g)的比值来反映蛋白质营养价值的指标。由于所测蛋白质主要被用来提供生长的需要,所以该指标被广泛用作婴幼儿食品中蛋白质的评价。实验时,饲料中的被测蛋白质是唯一的蛋白质来源,占饲料的 10%,实验期为 28 天。计算公式为

$$\text{PER} = \frac{\text{动物增加的体重(g)}}{\text{摄入食物蛋白质(g)}}$$

(四) 蛋白质的需要量及食物来源

理论上成人每天摄入约 30g 蛋白质即可维持零氮平衡,但从安全性和消化吸收等原因考虑,成人按 0.8g/(kg·d) 摄入蛋白质为宜。我国 18 岁以上成人蛋白质推荐摄入量为男性每天 65g,女性每天 55g。按能量计算,我国成人蛋白质供能比为 10%~12%,儿童青少年为 12%~14%。

蛋白质广泛存在于动植物中。其中,动物性蛋白质容易消化吸收、质量好,属于优质蛋白质,但富含饱和脂肪酸和胆固醇。例如,肉类、鱼类、蛋类、乳类都是较好的蛋白质来源。植物性食物如谷类、豆类、蔬菜类、菌藻类、坚果类的蛋白质也是我们膳食中蛋白质的主要来源,但是植物性蛋白质利用率较低。

(五) 蛋白质-能量营养不良

蛋白质缺乏常与能量缺乏共同存在。蛋白质-能量营养不良 (protein-energy malnutrition, PEM) 是一种因缺乏能量和蛋白质引起的营养缺乏病,主要发生在婴幼儿,在经济落后、卫生条件差的地区较多见。蛋白质-能量营养不良一般分为三种类型:①水肿型:能量摄入基本满足而蛋白质严重不足的营养性疾病,以全身水肿为特点;②消瘦型:主要由能量严重不足所致,临床表现为消瘦、皮下脂肪消失、体弱无力等;③混合型:蛋白质和能量摄入均严重不足,临床表现为上述两种类型的混合。

二、碳水化合物

碳水化合物 (carbohydrate, CHO) 也称为糖类,是自然界最丰富的能量物质。碳水化合物由

碳、氢、氧三种元素组成。碳水化合物是一个大家族，1998年WHO/FAO按照聚合度（DP）将碳水化合物分为三类：糖、寡糖和多糖。膳食纤维是碳水化合物的重要组成部分，如部分寡糖和非淀粉多糖等。碳水化合物的重要功能是提供能量，是人类膳食能量的主要来源。随着营养科学的发展，人们对碳水化合物的生理功能的认识已从“提供能量”扩展到对慢性病的预防，如调节血糖、血脂、改善肠道菌群等。

（一）碳水化合物的分类

FAO/WHO按照DP将碳水化合物分为糖（1~2个单糖）、寡糖（3~9个单糖）、多糖（≥10个单糖），见表1-4。

表 1-4 主要的膳食碳水化合物的分类

分类（DP）	亚组	组成
糖（1~2）	单糖	葡萄糖，半乳糖，果糖
	双糖	蔗糖，乳糖，麦芽糖，海藻糖
	糖醇	麦芽糖醇，山梨醇，木糖醇，乳糖醇
寡糖（3~9）	低聚异麦芽糖	麦芽糊精
	其他寡糖	棉子糖，水苏糖，低聚果糖
多糖（≥10）	淀粉	直链淀粉，支链淀粉，变性淀粉
	非淀粉多糖	纤维素，半纤维素，果胶，亲水胶质物

注：DP，聚合度。

1. 糖

（1）单糖（monosaccharide）：指通常条件下不能再被水解为更小分子的糖，也是构成寡糖和多糖的基本单元。根据其碳原子的数目，可分为乙糖、丙糖、丁糖、戊糖、己糖及庚糖等。碳原子数目大于3的单糖因其不对称性，有D-和L-两种构型，天然存在的单糖多为D-构型。葡萄糖和果糖是食物中最常见的单糖，它们都是己糖。自然界中只有葡萄糖和果糖有大量的游离态存在，其他单糖主要存在于双糖或多糖中。葡萄糖又名右旋糖，是人体禁食的情况下，体内唯一存在的单糖。果糖几乎与葡萄糖同时存在于植物中，是糖类中甜味最高的，其甜度为蔗糖的1.2~1.8倍。除此之外，单糖还包括半乳糖、甘露糖、阿拉伯糖等。

（2）双糖（disaccharide）：自然界中最常见的双糖是蔗糖、乳糖和麦芽糖。其中蔗糖由一分子葡萄糖和一分子果糖构成，主要来源于甘蔗和甜菜；而由一分子葡萄糖和一分子半乳糖组成的乳糖只存在于哺乳动物的乳汁中，浓度约为5%。

（3）糖醇（sugar alcohol）：是单糖的衍生物，由于其代谢不依赖胰岛素，常用于糖尿病患者膳食。同时也是食品工业重要的甜味剂和湿润剂。目前常用的包括甘露醇、麦芽糖醇、木糖醇、乳糖醇等。

2. 寡糖（oligosaccharide） 又称低聚糖，是由3~9个单糖分子通过糖苷键构成的聚合物，根据糖苷键的不同而有不同的名称。低聚果糖主要存在于蔬菜、水果中，被认为是一种水溶性膳食纤维，难以被人体吸收，但易被结肠益生菌利用，产生短链脂肪酸。目前已知的几种重要的寡糖有棉籽糖、水苏糖、异麦芽糖、低聚果糖等。其甜度为蔗糖的30%~60%。

3. 多糖（polysaccharide） 是由10个及以上单糖分子脱水缩合并通过糖苷键聚合而成的高分子碳水化合物。与单糖和低聚糖不同，多糖类一般不溶于水，无甜味，不能形成结晶，无还原性。在酶或酸的作用下，水解成单糖残基不等的片段，最后成为单糖。

按照多糖组成和消化性能，也可以分为均一性的可消化性淀粉多糖、非均一性的抗消化性非淀粉多糖。

（1）淀粉（starch）：存在于谷类、根茎类蔬菜中，由葡萄糖聚合而成，因聚合方式不同分为直链淀粉和支链淀粉。直链淀粉是由几十至几百个葡萄糖残基以α-1,4-糖苷键依次相连成的一条直链，分子量从1万到10万。天然直链淀粉分子呈卷曲螺旋状，在热水中可溶解，遇碘会产生蓝色

反应,且易“老化”,形成难消化的抗性淀粉。支链淀粉分子量相对较大,一般由几千个葡萄糖残基组成,其中每25~30个葡萄糖残基以 α -1,4-糖苷键相连成许多短链,每两个短链之间又以 α -1,6-糖苷键连接,如此形成许多分枝、再分枝的树杈状结构。支链淀粉难溶于水,与碘可产生棕色反应,易使食物糊化,从而提高消化率。食物中直链和支链淀粉含量变化取决于淀粉的来源或加工方式。食物淀粉中,支链淀粉含量较高,一般为65%~81%。支链淀粉含量越多,糯性越大。

(2) 抗性淀粉(resistant starch, RS): 是因人体肠道不能吸收而被发酵的淀粉及其分解产物,被认为是膳食纤维的一种。RS 因其来源或加工方法不同,消化性有所不同,一般可分为三类:

①RS1: 物理包埋淀粉,指那些因细胞壁的屏障作用或蛋白质的隔离作用而不能被淀粉酶接近的淀粉。②RS2: 抗性淀粉颗粒,指那些天然具有抗消化性的淀粉,主要存在于生的马铃薯、香蕉和高直链玉米淀粉中。其抗酶解的原因是具有致密的结构和部分结晶结构,其抗性随着糊化而消失。③RS3: 回生淀粉,指糊化后冷却或在储存过程中结晶而难以被淀粉酶分解的淀粉,也称为老化淀粉。它是抗性淀粉的重要成分,是通过食品加工形成的,因而也是重要的一类抗性淀粉。这类淀粉即使经加热处理,也难以被淀粉酶类消化,因此可作为食品添加剂使用;这类淀粉存在于放冷的熟马铃薯等谷类食物中。

(3) 变性淀粉(modified starch): 又称改性淀粉,指经过物理或化学方法处理后,某些性质改变的淀粉,如预糊化淀粉(α -淀粉)、高黏度淀粉、糊精、淀粉衍生物等。变性淀粉仍保持原有颗粒结构,外观与原淀粉无差别,但黏度及其稳定性、色泽、凝沉性、胶黏性等性质发生了明显改变。

大多数的非淀粉多糖(non-starch polysaccharide, NSP)是由植物细胞壁成分组成,包括纤维素、半纤维素、果胶等,即传统概念中的膳食纤维。

(二) 相关概念

食物血糖生成指数(glycemic index, GI)简称生糖指数,是表示某种食物升高血糖效应与标准食品(通常为等量葡萄糖)升高血糖效应之比,指的是人体食用一定食物后会引引起多大的血糖反应。当血糖生成指数在55以下时,可认为该食物是低GI食物;当血糖生成指数在55~70之间时,该食物为中等GI食物;当血糖生成指数在70以上时,该食物为高GI食物。GI可作为糖尿病患者选择食物的参考依据,也可广泛用于高血压和肥胖者的膳食管理等(表1-5)。

表 1-5 常见食物的血糖生成指数

食物名称	GI	食物名称	GI	食物名称	GI
葡萄糖	100	大麦粉	66	梨	36
馒头	88.1	菠萝	66	苹果	36
面包	87.9	蔗糖	65	苕粉	34.5
大米	83.2	荞麦面条	59.3	薯粉	34.5
面条	81.6	荞麦	54	藕粉	32.6
烙饼	79.6	甘薯(生)	54	鲜桃	28
玉米片	78.5	香蕉	52	牛奶	27.6
熟甘薯	76.7	猕猴桃	52	绿豆	27.2
南瓜	75	山药	51	菜豆	27
油条	74.9	酸奶	48	柚子	25
西瓜	72	乳糖	46	果糖	23
小米	71	葡萄	43	大豆	18
胡萝卜	71	柑	43	花生	14
玉米粉	68	可乐	40.3		
熟马铃薯	66.4	扁豆	38		

（三）碳水化合物的生理功能

碳水化合物是生命细胞结构的主要成分及供能物质，并且有调节细胞活动的重要功能。机体中碳水化合物的存在形式主要有三种，葡萄糖、糖原和含糖的复合物，碳水化合物的生理功能与摄入食物的碳水化合物种类和在机体内存在的形式有关。

1. 储存和提供能量 膳食碳水化合物是人类获取能量的最主要来源，1g 葡萄糖在体内完全氧化分解，可以释放 16.7kJ (4kcal) 能量；最终产物为二氧化碳和水。维系人体健康所需的能量中，55%~65%由碳水化合物供给。糖原是碳水化合物在体内的储存形式，在肝脏和肌肉中含量最多，肝脏约储存机体内 1/3 的糖原。

2. 构成机体的重要物质 碳水化合物也是构成机体组织的重要物质，参与细胞的组成和多种活动。每个细胞均含有碳水化合物，其含量为 2%~10%，主要以糖脂、糖蛋白和蛋白多糖的形式存在。糖结合物广泛存在于各组织中，它是细胞与神经组织的结构成分之一。糖蛋白如黏蛋白是软骨、骨、角膜、玻璃体的组成成分；某些酶如核酸酶等都是糖蛋白；一些具有重要生理功能的物质如抗原、抗体、酶、激素等，其组成成分也包括碳水化合物。

3. 节约蛋白质作用 机体的一切生命活动都以能量为基础。当碳水化合物供应不足时，机体为了满足自身对葡萄糖的需要，将通过糖异生 (gluconeogenesis) 产生葡萄糖，供给能量；当食物能提供足量的可利用碳水化合物时，人体首先利用其作为能量来源，从而减少了蛋白质作为能量的消耗，使更多的蛋白质参与组织构成等更重要的生理功能，因此碳水化合物起到了蛋白质节约作用 (protein sparing action)。

4. 抗生酮作用 脂肪在体内分解代谢，需要葡萄糖的协调作用。脂肪酸被分解产生的乙酰基需要与草酰乙酸结合进入三羧酸循环，最终被彻底氧化和分解产生能量。当膳食中碳水化合物供应不足时，草酰乙酸供应相应减少；而体内脂肪或食物脂肪被动员并加速分解为脂肪酸来供应能量。这一代谢过程中，由于草酰乙酸不足，脂肪酸不能彻底氧化而产生过多的酮体，酮体在体内蓄积，导致酮血症和酮尿症。膳食中充足的碳水化合物可以防止上述现象的发生，该作用被称为碳水化合物的抗生酮作用 (antiketogenesis)。

5. 解毒作用 经糖醛酸途径生成的葡萄糖醛酸 (glucuronic acid) 是人体内一种重要的结合解毒剂，在肝脏中能与许多有害物质如细菌毒素、酒精、重金属等结合，以消除或减轻这些物质的毒性或生物活性，从而起到解毒作用。

6. 调节肠道功能 非淀粉多糖类如纤维素和果胶、抗性淀粉、功能性低聚糖等抗消化的碳水化合物，虽不能在小肠消化吸收，但刺激肠道蠕动，提高了结肠发酵率，发酵产生的短链脂肪酸和肠道菌群的增殖，有助于正常消化和增加排便量。

近年来已证实某些不消化的碳水化合物在结肠发酵时，可有选择性地刺激肠道菌的生长，特别是刺激某些益生菌如乳酸菌、双歧杆菌的生长。这种不能被消化的碳水化合物称为“益生元” (prebiotics)。

（四）碳水化合物的需要量及食物来源

膳食碳水化合物的比例过少，可造成蛋白质浪费，组织蛋白和脂肪分解增加及阳离子丢失等。而过高比例的碳水化合物，势必引起脂肪和蛋白质摄入减少，同样会对机体造成不良影响。研究表明膳食碳水化合物的比例大于 80% 或小于 40% 都是不利于健康的两个极端。《中国居民膳食营养素参考摄入量 (2023 版)》(DRIs) 建议，除 1 岁以下婴儿外，膳食碳水化合物的适宜供能比为 50%~65%。

碳水化合物的主要食物来源于谷类 (水稻、小麦、玉米、大麦、燕麦、高粱等)、薯类 (红薯、马铃薯等)、水果蔬菜类和纯能量食物 (包括淀粉和糖) 等。谷类一般含碳水化合物为 60%~80%，薯类含量为 15%~29%，豆类为 40%~60% (表 1-6)。糖类的主要来源是白糖、糖果、甜食、糕点及含糖饮料等。

表 1-6 常见食物碳水化合物的含量 (g/100g 可食部分)

食物	碳水化合物含量	食物	碳水化合物含量	食物	碳水化合物含量
稻米	77.3	腐竹	22.3	猕猴桃	11.9
方便面	60.9	豇豆	58.9	核桃	9.6
高粱米	74.7	豆腐	3.4	苹果	13.7
挂面	75.1	奶糖	84.5	芝麻	21.7
月饼	52.3	巧克力	51.9	大白菜	3.4
馒头	47.0	芸豆	54.2	菠菜	4.5
面条	58	红薯	23.1	番茄	3.3
麻花	51.9	胡萝卜	8.1	西瓜	6.8
面包	58.1	牛奶	3.4	香蕉	20.8
花生	17.3	木耳	35.7	芹菜	3.3

三、脂 类

脂类是指由脂肪酸和醇作用生成的酯及其衍生物的统称,一般不溶于水而溶于脂溶性溶剂的化合物。人体脂类总量约占体重的 10%~20%,包括脂肪(甘油三酯)和类脂(磷脂、固醇类)。脂类是人体必需的重要营养素之一,它与蛋白质、碳水化合物统称为三大产能营养素,在供给人体能量方面起着重要作用。脂类也是人体细胞组织的组成成分,能够促进维生素 A、维生素 E 等脂溶性维生素的吸收和利用,对维持人体健康发挥着重要作用。

(一) 脂类的分类及生理功能

1. 甘油三酯(triglyceride, TG) 是三分子长链脂肪酸(fatty acid, FA)和一分子甘油(glycerol)形成的脂肪分子。甘油三酯是人体内含量最多的脂类,约占体内总脂量的 95%,大部分组织均可利用甘油三酯分解产物供给能量,同时肝脏、脂肪等组织还可以进行甘油三酯的合成,在脂肪组织中贮存。主要生理功能包括:①贮存和提供能量;②保温及润滑作用;③节约蛋白质;④参与机体物质和能量代谢。

2. 必需脂肪酸(essential fatty acid, EFA) 是指人体维持机体正常代谢不可缺少而自身又不能合成或合成速度无法满足机体需要,必须通过食物供给的脂肪酸。*n*-6 系列的亚油酸和 *n*-3 系列的 α -亚麻酸是人体必需的两种脂肪酸。中国 DRIs (2023) 建议成人亚油酸适宜摄入量(adequate intake, AI)为 4%E, α -亚麻酸为 0.6%E。必需脂肪酸的主要功能:①磷脂的重要组成部分;②前列腺合成的前体;③与胆固醇的代谢有关。

3. 磷脂(phospholipid) 是一类含有磷酸的脂类,机体中主要含有两大类磷脂,由甘油构成的磷脂称为甘油磷脂(glycerophosphatide);含鞘氨醇的磷脂称为鞘磷脂(sphingomyelin)。鞘磷脂由鞘氨醇、脂肪酸及磷酸胆碱组成,是构成生物膜的重要磷脂,它常与卵磷脂并存于细胞膜外侧。磷脂的主要功能:①细胞膜成分;②提供能量;③乳化作用;④改善神经系统功能。

4. 固醇(sterol) 又称甾醇。它是一类有多个环状结构的脂类化合物,广泛存在于动植物中。胆固醇的来源有二:外源性胆固醇来自膳食,内源性胆固醇来源于人体自身的合成。胆固醇的营养意义是促进脂肪运输,构成细胞的膜结构,构成神经髓鞘,合成胆汁酸盐、维生素 D、肾上腺皮质激素和性激素。胆固醇是非必需营养素,人体内肝、小肠黏膜、皮肤等组织细胞均能合成胆固醇,即使膳食中没有胆固醇,体内也不会缺乏。若膳食中有少量胆固醇,吸收后可反馈抑制肝中胆固醇的合成。胆固醇主要存在于动物性食物中。

(二) 脂类的运输及储存

食物中的脂肪在小肠被消化后,分解为甘油、短链和中链脂肪酸,在小肠黏膜细胞内再合成甘油三酯,与磷脂、胆固醇、蛋白质形成乳糜微粒(chylomicron)。血中的乳糜微粒是颗粒最大、密度最低的脂蛋白,是食物脂肪的主要运输形式。

脂肪分布在动物的皮下、大网膜、肠系膜等组织。体内脂肪是储备能量的物质。不同的动物储存的数量不同。个体间随营养和生理状况的不同而有明显的差异。动物以脂肪作为能量储存物质, 1g 脂肪彻底氧化释放的能量 (38.1kJ) 远比糖类和蛋白质 (17.2kJ) 多, 而且同样重量的脂肪比糖类或蛋白质所占的体积要小, 有利于储存。脂肪储存在皮下和器官周围, 还具有防止能量散发, 稳定和保护器官不受机械损伤的作用。

(三) 脂类的供给量及食物来源

中国 DRIs (2023) 建议膳食脂肪适宜供能比为 20%~30%, 一般认为必需脂肪酸摄入量不应低于 3%E。其中, 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的比例为 1:1:1, 建议成人二十二碳六烯酸 (DHA) 和二十碳五烯酸 (EPA) 的宏量营养素可接受范围 (AMDR) 为 (0.25~2.0) g/d。

人体膳食脂肪的主要来源为动物性食物和植物的种子。动物性食物以畜肉类含脂肪最丰富, 且多为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。海生动物和鱼类富含不饱和脂肪酸, 如 EPA、DHA, 这两种脂肪酸具有扩张血管、降低血压和血脂等作用, 可预防高血压、脑血栓等老年病的发生。植物油中普遍含有亚油酸, 在菜油和茶油中含量相对较少, 豆油、亚麻籽油、紫苏油中含量较多。蛋黄、肝脏、大豆、花生等食物中磷脂含量较多。胆固醇只存在于动物性食物中, 植物性食物不含胆固醇。

第三节 微量营养素

一、矿物质

人体组织中含有自然界的各种元素 (element), 目前在地壳中发现的 92 种天然元素在人体内几乎都能检测到。矿物质是构成人体组织和维持正常生理功能必需的, 除碳、氢、氧、氮以外的其他元素的总称, 也称为无机盐或灰分, 是人体必需的七大营养素之一。一般将人体内含量高于 0.01% 的矿物质称为常量元素或宏量元素 (macroelement), 含量低于 0.01% 的称为微量元素 (microelement)。常量元素包括钙、磷、钾、钠、硫、氯、镁。微量元素包括铁、铜、锌、锰、钴、碘、硒、氟、钼、铬等。目前发现有 20 余种矿物质是构成人体组织、参与代谢、维持生理功能的必需元素。1996 年 FAO/IAEA/WHO 专家委员会重新界定必需微量元素的定义并按生物学作用将其分为三类: ①人体必需微量元素, 共 8 种, 包括碘、锌、硒、铜、钼、铬、钴、铁。②人体可能必需的元素, 共 5 种, 包括锰、硅、硼、钒、镍。③具有潜在的毒性, 但在低剂量时可能具有人体必需功能的元素, 共 8 种, 包括氟、铅、镉、汞、砷、铝、锡、锂。

(一) 常量元素

1. 钙 (calcium) 在人体内的含量仅次于氢、氧、碳、氮而列第五位, 是人体内含量最多的矿物质元素, 占成人体重的 1.5%~2.0%, 其中 99% 的钙集中在骨骼和牙齿中, 剩下 1% 的钙则以游离或结合形式存在于细胞外液、血液和软组织中, 这部分钙称为混溶钙池 (miscible calcium pool), 与骨骼钙维持着动态平衡。血浆中离子化钙正常浓度为 0.94~1.33mmol/L, 这部分钙对维持体内细胞正常生理状态、调节机体生理功能起着重要作用。

体内约 99% 的钙以羟基磷灰石 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 的形式分布于骨骼和牙齿, 参与骨骼和牙齿的构成; 体液中的钙多以离子 (Ca^{2+}) 形式存在, 是血液凝固及某些神经递质发挥作用所必需的因素; 钙离子是许多酶系统的激活剂, 如活化磷酸激酶, 在糖原代谢中能激活肌细胞内的肌纤凝蛋白 ATP 酶, 促进肌肉收缩; 维持细胞膜的稳定性; 钙离子作为细胞内最重要的“第二信使”之一, 参与体内多种激素和神经递质的释放, 介导激素的调节作用。膳食中的钙大多以不可溶的复合物形式存在。通过胃酸及酶的作用, 钙从复合物中游离出来, 只有溶解状态的钙才能被吸收。

儿童长期缺乏钙和维生素 D 可导致生长发育迟缓、骨软化、骨骼变形, 严重者可导致佝偻病。中老年人尤其是绝经女性, 钙丢失加快, 易引起骨质疏松。高钙尿是肾结石的一个重要危险因素, 过量钙可影响铁、锌吸收, 对镁代谢有潜在不良反应; 乳碱综合征以高钙血症、代谢性碱中毒和急