

营养与食品卫生学

主编 厉曙光



复旦大学出版社



博学·预防医学国家级教学团队教材

营养与食品卫生学

Nutrition and Food Hygiene

主 编 厉曙光

编写者

厉曙光	复旦大学公共卫生学院
郭红卫	复旦大学公共卫生学院
何更生	复旦大学公共卫生学院
沈新南	复旦大学公共卫生学院
陈 波	复旦大学公共卫生学院
薛 琨	复旦大学公共卫生学院
蔡美琴	上海交通大学医学院
蔡东联	第二军医大学附属长海医院
顾振华	上海市食品药品监督管理局
王兰芳	同济大学医学院
孙桂菊	东南大学公共卫生学院
王 茵	浙江省医学科学研究所
王力强(兼秘书)	复旦大学公共卫生学院

復旦大學出版社

主编简介

厉曙光,现任复旦大学公共卫生学院营养与食品卫生教研室主任,教授、博士生导师。先后主持国家自然科学基金“烹调剩油和人参对果蝇寿命影响及分子机制的研究”、“酞酸酯类化学物与子宫内膜异位症相关性的研究”;国家社科基金重点项目“我国食品药品安全与监管制度创新研究”;铁道部、卫生部、上海市等“铁路餐车厨房食用油烟雾中的有害物质研究”、“果蝇生存试验中不同蝇龄的研究”、“不育症患者体内酞酸酯类化合物分布及其意义”、“食品包装材料中增塑剂污染的风险评估”等课题,在国内外发表学术论文 100 余篇。主编和参编《全科医学概论》、《营养与食品卫生学》、《临床营养学》、《现代营养学》、《女人美丽从营养开始》等 8 部医学教材和著作。已撰写各类科普论文 300 余篇,在全国各地开展科普讲座 800 余场。

曾获 1993 年铁道部优秀教师、1994 年铁道部“有突出贡献的中青年专家”、1995 年上海市优秀青年教师、1998 年全国优秀教师称号;1999 年被评为上海市优秀科技教育工作者;1994 年起享受国务院政府特殊津贴。

学术团体任职:中华预防医学会理事,中国食品科学技术学会理事,中国毒理学会理事,上海市营养学会理事,上海预防医学会理事兼食品安全与营养专委会主任委员,国家 EDA 保健食品审评中心评审专家,卫生部新资源食品评审专家,《环境与职业医学》杂志常务编委等。

内 容 提 要

本书共分 12 章,内容覆盖营养学与食品卫生学两门学科。第一章为绪论。第二章的前三节分别对蛋白质、脂肪和碳水化合物进行了阐述,第四节则从能量的角度对三大产热营养素做了综合描述,第五、六节对矿物质和维生素作了全面重点的表达。第三章对植物化学物进行了重点和选择性的介绍。第四章描述了各类食品的营养价值。第四章讲述了所有不同年龄阶段健康人群的营养需求。第六章是临床营养的内容,介绍了肥胖、冠心病和高血压等与营养相关疾病。第七章的社区营养内容有很好的实用性。第八章和第九章分别介绍了食品污染及食品添加剂的内容。第十章叙述了各类食品卫生及其管理,包括保健食品。第十一章介绍了食源性疾病及其预防。最后一章的重点是食品安全及评价体系,结合《中华人民共和国食品安全法》的教学,强调了食品安全的重要性。

本书可供五年制预防医学专业及相关专业的学生使用。



前 言

本书是复旦大学公共卫生学院为适应预防医学专业大学生的专业基础教育和创新能力培养,适应现代医学教学,以本院教师为主邀请部分国内知名专家共同撰写的教材,供预防医学专业五年制的学生教学使用。

本教材编写的指导思想是依据预防医学专业学生的培养目标和“三基”要求,充分考虑学科的宏观发展与微观深入的整体观念,密切联系国内外营养与食品卫生领域的最新动态以及我国营养与食品卫生发展趋势,根据五年制预防医学专业学生的教学需要,满足教学的要求、范围和目的,在分析和总结历年来我国的各类《营养与食品卫生学》教材的精华和经验,力求使本教材达到高质量、高水准、科学性和实用性,以适合五年制预防医学教学改革和教学的需要。在各位参编老师的共同努力下,顺利完成了本教材的撰写、审核、校对等各项工作,按时出版并交付使用。

本教材的主要特点为:①注重科学性、先进性和实用性相结合;②内容比较系统全面、减少篇幅、简练文字,以减轻学生的学习负担;③增加各章中的复习思考题,有利于培养学生的自主学习和思考能力;④结合当前社会的热点需求和学科的发展趋势,强化了食品安全方面的教学内容;⑤增加了食品安全的概念和食品风险评估等方面的相关内容。

本书的编写得到了国内多个医学相关院校及研究所专家的鼎力相助和复旦大学公共卫生学院领导的大力支持,在此表示衷心的感谢!

本书由于编写时间紧、参编人员少,编写任务重,难免会出现一些不妥之处,敬请谅解;也希望使用本书的广大同道、同学在使用过程中发现的问题以及建议或意见给予及时指正和反馈,以便我们能够弥补不足,更上一层楼。

厉曙光

2012年4月



目 录

第一章	绪论	1
第二章	营养学基础	5
第一节	蛋白质	5
第二节	脂类	14
第三节	碳水化合物	20
第四节	能量	26
第五节	矿物质	32
第六节	维生素	48
第三章	植物化学物	65
第一节	植物化学物概述	65
第二节	多酚类、皂甙类化合物	69
第三节	硫化物及其他	74
第四章	各类食品的营养价值	79
第一节	食品营养价值的评定及意义	79
第二节	各类食品的营养价值	82
第三节	食品营养价值的影响因素	91
第五章	特殊人群的营养	95
第一节	孕妇和乳母的营养与膳食	95
第二节	特殊年龄人群的营养与膳食	101
第六章	营养与营养相关疾病	111
第一节	营养与肥胖	111
第二节	营养与动脉粥样硬化及冠心病	115
第三节	营养与高血压	119
第四节	营养与糖尿病	123

第五节	营养与痛风	127
第六节	营养与免疫性疾病	132
第七章	社区营养	141
第一节	中国居民膳食营养素参考摄入量	141
第二节	居民营养状况调查与社会营养监测	146
第三节	居民营养的膳食结构与政策措施	154
第四节	营养配餐和食谱制定	158
第八章	食品污染及其预防	160
第一节	食品的微生物污染及其预防	160
第二节	食品的化学性污染及其预防	172
第九章	食品添加剂及其管理	188
第一节	概述	188
第二节	各类食品添加剂	191
第十章	各类食品卫生与管理	199
第一节	粮豆、蔬菜、水果的安全卫生与管理	199
第二节	畜、禽肉及鱼类食品的卫生及管理	202
第三节	奶及奶制品的卫生与管理	209
第四节	食用油脂的卫生与管理	213
第五节	酒类的卫生与管理	216
第六节	冷饮食品的安全卫生及管理	220
第七节	其他食品的卫生及管理	222
第八节	保健食品的卫生及管理	233
第十一章	食源性疾病及其预防	238
第一节	食源性疾病	238
第二节	生物性食物中毒	243
第三节	有毒动植物食物中毒	250
第四节	化学性食物中毒	253
第五节	食物中毒的调查处理	258
第十二章	食品安全及评价体系	266
第一节	食品安全概述	266
第二节	食品安全风险分析	274
	参考文献	283



绪 论

营养与食品卫生学是预防医学的重要组成部分,主要是研究饮食与营养对人体健康的影响,营养与健康的相互作用及其规律、作用机制,以及由此提出预防疾病、保护和促进健康的措施、政策和法规的科学依据等;因此,营养与食品卫生学不仅具有很强的科学性,而且还具有相当程度的社会性、宏观性和实用性。本学科的任务是介绍和传授营养与食品卫生学的基本科学概念和基础理论知识,保证人体能够获得合理营养和科学膳食,从而达到增进健康和预防疾病的目的。营养与食品卫生学实际上是包括既密切联系又相互区别的两门学科,即营养学与食品卫生学。

一、营养学的意义和内容

人体必须与环境保持平衡才能维持健康。在人类赖以生存的诸多环境因素中,影响人体健康的有空气、土壤、阳光、食品等因素,而食品则是重要的因素之一。人体需要不断从食物中获得营养以保持机体和外界环境的能量平衡和物质代谢的平衡,维持人体的健康水平。营养(nutrition)是指人体摄入、消化、吸收和利用食物中营养成分,维持生长发育、组织更新、满足生理功能、体力活动需要和必要的生物学动态过程。

食物中具有营养功能的物质称为营养素(nutrients),它通过食物获取并能在人体内被利用,这些物质具有供给能量、构成组织及调节生理等功能。但并非所有的营养素都同时具有上述3种功能,而是各有不同,如蛋白质以构成机体组织为主,脂肪和碳水化合物以供给能量为主,维生素、矿物质和水则以调节代谢为主。

营养学(nutriology)是研究人体营养过程、需要和来源,以及营养与健康关系的科学。随着科学的发展和社会的进步,营养学现已形成具有多分支的一门学科,主要包括人类营养学、公共营养学等。人类营养学主要研究营养素以及人体在不同生理状态下和特殊环境下的营养过程的营养需要。临床营养学主要是研究营养与疾病的关系,人体在病理状态下的营养需要以及如何满足这种需要,调整这些营养素的供应,调整人体的生理功能,促进疾病的治疗和康复。公共营养学主要是研究社区人群的营养状态与需求,食物的生产、供应、分配和社会保障体系。分子营养学是研究营养素与基因之间的相互作用(包括营养素与营养素之间、营养素与基因之间和基因与基因之间的相互作用)及其对机体健康影响的规律和机制。预防营养学是研究膳食营养与疾病,尤其是与非传染性慢性疾病的发生、发展与预防的关系。虽然目前尚未形成完整的体系,但其重要性越来越被重视,学科内容在不断发展。合理营养是指通过合理的膳食和科学的烹调加工,向机体提供足够的能量和各种营养素,并保持各营养素之间的平衡,以满足人体的正

常生理需要、维持人体健康的营养。营养素摄入不足会导致营养缺乏病。目前,我国经济发达城市和地区严重威胁居民健康的是与营养过剩和营养不平衡所致的相关慢性疾病。因此,改善中国居民的膳食结构,提倡合理营养和膳食已成为预防和治疗疾病的重要措施之一。

二、营养学的发展史

我国对食物营养及其对人体健康影响的认识历史悠久,源远流长。《黄帝内经·素问》中就提出了“五谷为养、五果为助、五畜为益、五菜为充、气味合而服之,以补精益气”的原则,这是已知最早提出的膳食平衡理念。唐代孙思邈在饮食方面强调要避免“太过”和“不足”的危害,还明确提出“食疗”的概念和药食同疗的观点。明代李时珍在《本草纲目》中有关抗衰老的保健药物及药膳就达 253 种。国外最早关于营养方面的记载始见于公元前 400 多年的著作中。《圣经》中就曾描述将肝汁挤到眼睛中治疗一种眼病。古希腊名医希波克拉底认识到膳食营养对于健康的重要性,并提出“食物即药”的观点,这与中国古代关于“药食同源”的学说有异曲同工之妙。

随着时代的进步,有机化学、无机化学、分析化学、物理学、生物化学、微生物学、生理学、医学等学科突飞猛进的发展以及所取得的突破性成果,标志着现代营养学的良好开端和快速发展。这段时期营养学的显著成果是:在认识到食物与人体基本化学元素组成基础上,逐渐形成了营养学的基本概念和理论;建立了食物成分的化学分析方法和动物实验方法;明确了一些营养素缺乏与相关疾病的关系;1780 年,Lavoisier 首次提出“呼吸是氧化燃烧”的理论;1839 年,荷兰科学家 Mulder 首次提出“蛋白质”的概念;荷兰细菌学家 Eijkman 在 1926 年发现了维生素 B₁;1912 年,Funk 将抗脚气病、抗坏血病、抗癞皮病、抗佝偻病的 4 种物质统称为生命胺,1920 年命名为维生素(vitamin);1942 年,Rose 确认成人有 8 种必需氨基酸等。2005 年的德国《盖森宣言》(Giessen declaration)以及第十八届国际营养学大会上均提出了营养学的新定义,也称之为新营养学,其特别强调营养学是生物学、社会学和环境科学“三位一体”的综合性学科,提出“人人享有安全、营养食品的权利”。

新中国成立后我国的营养学科发展很快,在全国一些医学院校设立了公共卫生专业,开设了营养学课程并开展了富有成效的研究工作,先后进行了“粮食适宜碾磨度”、“军粮标准化”、“5410 豆制代乳粉”、“提高粗粮消化率”等研究工作。1952 年,我国的第一版《食物成分表》发行;1956 年,我国营养学界最具权威的《营养学报》创刊;1959 年,开展了中国历史上第一次全国性营养调查,此后分别在 1982 年、1992 年和 2002 年进行了 3 次全国营养调查,2012 年将开展第五次全国营养调查。1997 年和 2007 年,我国分别修订了膳食指南,并发布了《中国居民平衡膳食宝塔》;2000 年,发布了《中国居民膳食营养素参考摄入量》。我国在克山病、碘缺乏病、佝偻病及癞皮病等营养素缺乏病的防治研究和基础营养学研究领域已接近世界先进水平并取得了重要成果。

三、食品安全和卫生学的意义和内容

食品安全和卫生学是研究食品中可能存在危害人体健康的有害因素及其对机体的作用规律和机制,在此基础上提出具体、宏观的预防措施,以提高食品卫生质量,保护食用者安全的科学。

食品安全和卫生学的研究内容主要包括:①食品的污染,主要阐明食品中可能存在有害因素的来源、种类、性质、数量和污染食品的程度,对人体健康的影响以及防止食品污染的措施等;②食品及其加工技术的卫生问题,主要包括食品在生产、运输、贮存、销售等各个环节可能或容

易出现的卫生问题及预防管理措施,以及由于食品新技术的应用与形成的新型食品存在的卫生问题及管理;③食物中毒、食源性肠道传染病、人畜共患传染病、食源性寄生虫病等食源性疾病及食品安全评价体系的建立;④食品安全法律体系、食品安全标准、食品生产企业自身安全管理等食品安全的监督管理。

从20世纪90年代以来,食品安全又出现了一些亟待解决的新问题、新挑战:①在食品腐败变质等传统的食品卫生问题已基本得到解决的发达国家中出现了新的生物性污染物,同时一些传统的细菌性食物中毒又有上升的趋势。因此,食品安全和卫生学今后的一个发展方向或亟待解决的问题是:不断发现、认识和研究食品中新出现的生物性污染物;建立和执行生物性有害因素污染食品及引起食源性疾病的常规监测制度和监测网络;采用风险评估方法评价微生物性危害,通过定量微生物危险性评价和危害分析与关键控制点体系的建立,实现降低微生物性危害的最终目标。②食品卫生学今后的任务是继续发现、鉴定食品中新的化学性污染物,建立高效、灵敏、特异、高通量的检测方法,以便加强对化学性污染物的监督、监测和危险性分析,从而为国家和地方标准的建立、采取预防措施提供科学依据。此外,还需要研究多个化合物低剂量长期接触的累积和联合毒性。③食品新技术和新型食品的出现,带来了食品安全的新问题。因此,食品安全和卫生学要进一步密切注意并加强该领域的研究。④在食品安全监督和管理方面,加强食品污染与食源性疾病的实验室和流行病学监测,全面系统地评估食品污染物的危害性;建立“从农田(或养殖场)到餐桌”食品安全的全过程管理模式。建立全球性监测网络与信息平台,以便各国之间迅速交换信息,共同采取应对措施和建立国际标准。

四、食品安全和卫生学的发展史

文献记载约公元前7000年,古巴比伦尼亚首次酿造啤酒;约公元前3000年,阿拉伯半岛的游牧民族首次制作奶酪和黄油。18世纪末,法国的“化学革命”为食物中化学污染物的发现与研究奠定了基础;1837年,巴斯德第一次证明牛奶变酸是由微生物引起的;1860年,他第一次用加热的方法杀死了葡萄酒和啤酒中的有害微生物(即“巴氏消毒法”),巴斯德为现代食品微生物的发展奠定了基础。科学家们逐渐了解食品中的化学性污染物(如汞、镉、砷、铅等)和生物性污染物(如伤寒沙门菌、肉毒梭菌等)的性质与结构,并建立了相应的分析、检测与鉴定方法,明确了微生物污染在食品腐败变质及食物中毒过程中的作用,开始尝试用高压灭菌消毒、防腐剂及各种科学方法来延长食品保存期。

史书记载我国早在周朝时就能制造出酒、醋、酱等发酵食品,出现了腌制、熏制、自然风干和冷冻等食品保存技术和食品添加剂的应用。随着农业的发展,在该历史时期也出现玉米、小麦被真菌污染而发生中毒等事件。食品卫生问题曾引起了当时统治阶层的高度重视,并制定了相应的法律。如周朝就已设置“凌人”的职位,专司食品冷藏防腐;唐朝制定的《唐律》规定了处理腐败食品的法律,如“脯肉有毒曾经病人,有余者速焚之,违者杖九十;若与人食,并出卖令人病者徒一年;以故致死者,绞”。

近代的科学技术快速发展带动了工农业和商业等的迅猛发展,促进了食品卫生学科的进一步发展与完善,并取得了令人瞩目的成就。如食品毒理学理论与食品安全性评价程序的建立及危险性分析方法的应用,为评价食品中各种有害因素的毒性及制定食品卫生标准提供了依据与保证;食品卫生监督管理概念及理论体系的提出,为确保食品卫生及安全提供了强有力的保障;高精度仪器的发明和在食品安全领域的广泛应用,使发现与鉴定食品中新的化学性污染物及检测食品中痕量污染物成为可能;生物技术及同位素示踪技术等的应用,进一步阐明了食品污染

物在体内的代谢、毒性作用和机制,为进一步修订污染物的食品卫生标准奠定了基础。

五、营养学与食品卫生学的研究方法

营养学与食品卫生学虽然有密切联系,但在研究内容上又各不相同。从广义上讲,两者共同的研究对象为食物和人体,即研究食物(饮食)与健康的关系;从狭义上讲,两者区别在于其具体研究目标、研究目的、研究方法、理论体系等方面各不相同。营养学是研究食物中的有益成分与健康的关系,食品卫生学则是研究食物中有害成分与健康的关系。

1. 营养学的研究方法

(1) 营养流行病学方法:主要应用于人群营养状况的调查、制定膳食指南以及研究营养与疾病的关系。

(2) 营养代谢研究方法:包括能量代谢研究方法、营养素研究、放射性同位素示踪技术以及营养素代谢的动力学研究等。

(3) 营养状况评价方法:包括体格的各项物理指标与机体生化指标的测量以及各种营养素的营养状况评价等。

2. 食品安全和卫生学研究方法

(1) 食品化学分析方法:主要是应用各种先进的仪器检测食物中化学性污染物。目前发展的趋势是建立检测新污染物的快速、灵敏方法。

(2) 食品毒理学方法:主要采用细菌、果蝇、大鼠、小鼠等各种生物进行食品污染物的急性、慢性和致癌、致畸、致突变等毒性检测,也可进行体外实验的毒性检测。

(3) 食品微生物学方法:主要采用细菌、病毒和真菌等微生物培养的方法检测食品的微生物及其毒素的污染情况。

(4) 风险评估方法:是目前国际上食品安全评价中普遍使用的科学方法。其主要目的是评估在特定条件下,人或环境暴露于某危险因素后出现不良反应的可能性和严重程度。其内容包括危害识别、危害特征描述、暴露评估、风险特征描述等。

营养与食品卫生学可根据具体研究对象的不同,而采用实验研究和人群调查两种研究方式。前者可分为体外实验(*in vitro*)和体内实验(*in vivo*)。体外实验是研究传统营养素及植物化学物的生物活性、研究营养相关疾病的分子机制的常用手段。体内实验通常指动物实验,通过动物实验及建立的相关动物模型,可发现营养素及其功能并研究相关营养缺乏病等,还可了解并掌握食品及食品中有害物质的毒理学性质,其研究结果较体外实验更可靠和更有说服力。人群研究可分为:人群流行病学调查、突发食品安全事件的人群流行病学研究等。

3. 营养学与食品卫生学未来的发展趋势 进一步加强营养学的基础研究,重点从传统中药材、药食两用植物、食物中提取、分离和纯化的植物化学物;开展分子营养学基础工作研究,如营养基因组学、营养代谢组学以及基因多态性对营养素代谢的影响;从细胞、分子生物学水平探讨与营养素缺乏有关的生物标志物,重点研究膳食结构、膳食成分与慢性病的关系,从微观与宏观两方面探讨防治慢性病的有效措施;积极开展对转基因食品、新资源食品、保健食品等以及各种食品添加剂、食品包装材料的安全性评价和风险评估工作;加强与其他相关学科交叉融合形成新的交叉学科,如现代营养学与祖国传统医学的融合性研究。

(厉曙光)



营养学基础

第一节 蛋白质

蛋白质(protein)是一切生命的物质基础,而一切生命的表现形式,本质上都是蛋白质功能的体现,蛋白质是生命存在的表现形式。人体内的蛋白质始终处于不断地分解和合成的动态平衡之中,从而达到组织蛋白更新和修复的目的。

一、氨基酸

蛋白质分子是生物大分子,其基本构成单位是氨基酸(amino acid),各种氨基酸按一定的排列顺序由肽键(酰胺键)连接。由于其排列顺序的不同,链的长短不一,以及其空间结构的千差万别,就构成了无数种功能各异的蛋白质。

(一) 氨基酸及其分类

蛋白质被分解后的次级结构称为肽(peptide)。含 10 个以上氨基酸残基的肽称为多肽(polypeptide),含 10 个以下氨基酸残基的肽称为寡肽(oligopeptide),如含 3 个或 2 个氨基酸残基的肽分别称为三肽(tripeptide)和二肽(dipeptide)。肽的最终分解产物是氨基酸。

构成人体蛋白质的氨基酸有 20 种(不包括胱氨酸,cystine),见表 2-1-1。

表 2-1-1 构成人体蛋白质的氨基酸

氨基酸	英文	氨基酸	英文
必需氨基酸		精氨酸	arginine (Arg)
异亮氨酸	isoleucine (Ile)	天门冬氨酸	aspartic acid (Asp)
亮氨酸	leucine (Leu)	天门冬酰胺	asparagine (Asn)
赖氨酸	lysine (Lys)	谷氨酸	glutamic acid (Glu)
蛋氨酸	methionine (Met)	谷胺酰胺	glutamine (Gln)
苯丙氨酸	phenylalanine (Phe)	甘氨酸	glycine (Gly)
苏氨酸	threonine (Thr)	脯氨酸	proline (Pro)
色氨酸	tryptophan (Trp)	丝氨酸	serine (Ser)
缬氨酸	valine (Val)	条件必需氨基酸	
组氨酸*	histidine (His)	半胱氨酸	cysteine (Cys)
非必需氨基酸		酪氨酸	tyrosine (Tyr)
丙氨酸	alanine (Ala)		

* 组氨酸为婴幼儿必需氨基酸,成人需要量相对较少。

1. 必需氨基酸(essential amino acid) 必需氨基酸是指人体不能合成或合成速度不能满足机体需要,必须从食物中直接获得的氨基酸。构成人体蛋白质的氨基酸有 20 种,其中 9 种氨基酸为必需氨基酸,即异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸和组氨酸。组氨酸是婴幼儿的必需氨基酸。

2. 条件必需氨基酸(conditionally essential amino acid) 半胱氨酸和酪氨酸在体内分别由蛋氨酸和苯丙氨酸转变而成。如果膳食中能直接提供半胱氨酸和酪氨酸,则人体对蛋氨酸和苯丙氨酸的需要可分别减少 30%和 50%。所以半胱氨酸和酪氨酸这类可减少人体对某些必需氨基酸需要量的氨基酸,称为条件必需氨基酸,或半必需氨基酸(semiessential amino acid)。因此,在计算食物必需氨基酸组成时,通常将半胱氨酸和蛋氨酸、丙氨酸和酪氨酸合并计算。

3. 非必需氨基酸(nonessential amino acid) 非必需氨基酸是指人体可以自身合成,不一定需要从食物中直接供给的氨基酸。

(二) 氨基酸模式和限制氨基酸

人体蛋白质以及各种食物蛋白质在必需氨基酸的种类和含量上存在着差异,在营养学上用氨基酸模式(amino acid pattern)来反映这种差异。所谓氨基酸模式,就是蛋白质中各种必需氨基酸的构成比例。其计算方法是将该种蛋白质中的色氨酸含量定为 1,分别计算出其他必需氨基酸的相应比值,这一系列的比值就是该种蛋白质的氨基酸模式(表 2-1-2)。

表 2-1-2 几种中国食物和人体蛋白质氨基酸模式

氨基酸	人体	全鸡蛋	鸡蛋白	牛奶	猪瘦肉	牛肉	大豆	面粉	大米
异亮氨酸	4.0	2.5	3.3	3.0	3.4	3.2	3.0	2.3	2.5
亮氨酸	7.0	4.0	5.6	6.4	6.3	5.6	5.1	4.4	5.1
赖氨酸	5.5	3.1	4.3	5.4	5.7	5.8	4.4	1.5	2.3
蛋氨酸+半胱氨酸	3.5	2.3	3.9	2.4	2.5	2.8	1.7	2.7	2.4
苯丙氨酸+酪氨酸	6.0	3.6	6.3	6.1	6.0	4.9	6.4	5.1	5.8
苏氨酸	4.0	2.1	2.7	2.7	3.5	3.0	2.7	1.8	2.3
缬氨酸	5.0	2.5	4.0	3.5	3.9	3.2	3.5	2.7	3.4
色氨酸	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

摘自《营养与食品卫生学》,第 6 版,人民卫生出版社,2007 年。

食物蛋白质氨基酸模式与人体蛋白质氨基酸模式越接近,必需氨基酸被机体利用的程度就越高,食物蛋白质的营养价值也相对越高。这类含必需氨基酸种类齐全,氨基酸模式与人体蛋白质氨基酸模式接近,营养价值较高,不仅可维持成人的健康,也可促进儿童生长、发育的蛋白质被称为优质蛋白质(或称完全蛋白),如动物性食物中的蛋、奶、肉、鱼蛋白质以及大豆蛋白等。其中,鸡蛋蛋白质与人体蛋白质氨基酸模式最接近,在实验中常以它作为参考蛋白(reference protein)。参考蛋白是指可用来评定其他蛋白质质量的标准蛋白。

有些食物蛋白质中虽然含有种类齐全的必需氨基酸,但是氨基酸模式与人体蛋白质氨基酸模式差异较大。其中一种或几种必需氨基酸相对含量较低,导致其他的必需氨基酸在体内不能被充分利用而浪费,造成其蛋白质营养价值降低,虽可维持生命,但不能促进生长发育,这类蛋白质被称为半完全蛋白。大多数植物蛋白都是半完全蛋白,而这些含量相对较低的必需氨基酸称为限制氨基酸(limiting amino acid),其中含量最低的称为第一限制氨基酸,余者以此类推。

植物性蛋白往往相对缺少下列必需氨基酸:赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸,所以其营养价值相对较低,如大米和面粉蛋白质中赖氨酸含量最少。为了提高植物性蛋白质的营养价值,往往将两种或两种以上的食物混合食用,从而达到以多补少、提高膳食蛋白质营养价值的目的。这种不同食物间相互补充其必需氨基酸不足的作用叫蛋白质互补作用(complementary action),如肉类和大豆蛋白可弥补米、面蛋白质中赖氨酸的不足。

那些含必需氨基酸种类不全、既不能维持生命又不能促进生长发育的食物蛋白质称为不完全蛋白,如玉米胶蛋白、动物结缔组织中的胶质蛋白等。

为更好地发挥蛋白质的互补作用,应遵循以下3个原则:①搭配的食物种类越多越好。因为搭配的食物种类越多,提供的氨基酸种类就越齐全,有利于发挥蛋白质的互补作用,所以在日常生活中提倡饮食多样化,同时也能提高食欲。②食物的种属越远越好。因为种属差别大,食物蛋白质的氨基酸模式差别大,所以动、植物之间搭配比单纯植物搭配更有利于提高蛋白质的营养价值。③各种食物进食时间间隔越短越好,此时各种不同种类食物的蛋白质之间才能相互取长补短,所以平日膳食质量差,节假日大吃大喝的做法并不能发挥蛋白质的互补作用。

二、蛋白质的功能

(一) 构成和修复人体组织

人体的任何组织和器官都以蛋白质作为重要的组成成分,所以人体在生长过程中就包含蛋白质的不断增加。人体的瘦组织(lean tissue)中,如肌肉、心、肝、肾等器官含大量蛋白质;骨骼和牙齿中含有大量的胶原蛋白;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,蛋白质是人体不能缺少的构成成分。同时,机体衰老组织的更新、损伤后组织的修补都需要蛋白质,因此每天都应摄入一定量的蛋白质。

(二) 构成体内各种重要的生理活性物质

蛋白质在体内构成酶、激素、抗体等多种重要生理活性物质。如酶能催化体内物质代谢;激素调节各种生理过程并维持内环境的稳定;抗体可以抵御外来微生物及其他有害物质的入侵;细胞膜和血液中的蛋白质担负着各类物质的运输和交换;在体内可分解为阴、阳离子的可溶性蛋白质,使体液的渗透压和酸碱度得以稳定;此外,血液的凝固、视觉的形成、人体的运动等都与蛋白质有关。

近来研究发现,许多蛋白质降解的肽也具有特殊的生理功能,如酪蛋白磷酸肽(casein phosphopeptide, CPP)能促进钙和铁的吸收;来自于酪蛋白和鱼贝类的某些肽类能起到降血压的作用;由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸缩合而成的谷胱甘肽能够清除体内的自由基,保护细胞膜。某些外源性氨基酸的特有生理功能目前也受到关注和应用。如精氨酸具有利于婴儿生长发育、增强机体免疫功能、促进机体创伤的修复等作用;牛磺酸能促进中枢神经系统发育;谷氨酰胺对小肠具有保护作用等。

(三) 供给能量

虽然蛋白质在体内的主要功能并非供能,但由于蛋白质中含碳、氢、氧元素,当机体需要时蛋白质可被代谢分解并释放出能量。1g食物蛋白质在体内约产生16.7kJ(4.0kcal)的能量。

三、蛋白质的消化、吸收和代谢

(一) 蛋白质的消化、吸收

膳食中的蛋白质消化从胃开始。胃酸先使蛋白质变性,破坏其空间结构以利于酶发挥作

用,同时胃酸可激活胃蛋白酶分解蛋白质。但蛋白质消化吸收的主要场所在小肠,由胰腺分泌的胰蛋白酶(trypsin)和糜蛋白酶(chymotrypsin)使蛋白质在小肠中被首先分解为含10个以上氨基酸残基的多肽,然后分解为含10个以下氨基酸残基的寡肽(oligopeptide),进而分解为含3个或2个氨基酸残基的三肽和二肽,蛋白质的最终分解产物是氨基酸。氨基酸和部分二肽及三肽,再被小肠黏膜细胞吸收。在小肠黏膜刷状缘中肽酶的作用下,进入黏膜细胞中的肽进一步分解为氨基酸单体。被吸收的这些氨基酸通过黏膜细胞进入肝门静脉,然后被运送到肝脏和其他组织或器官被利用。近年也有报道,少数蛋白质大分子和多肽可被直接吸收。

氨基酸通过小肠黏膜细胞是由3种主动运输系统来进行的,它们分别转运中性、酸性和碱性氨基酸。具有相似结构的氨基酸在共同使用同一种转运系统时,相互间具有竞争机制。这种竞争的结果使含量高的氨基酸相应地被吸收多一些,从而保证了肠道能按食物中氨基酸的含量比例进行吸收。如果在膳食中过多地加入某一种氨基酸,由于这种竞争作用会造成同类型的其他氨基酸吸收减少。如亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸有共同的转运系统,若过多地在食物中加入亮氨酸,异亮氨酸和缬氨酸的吸收就会减少,从而造成食物蛋白质的营养价值下降。

肠道中被消化吸收的蛋白质,除了来自于食物外,还有来自于肠道脱落的黏膜细胞和消化液等,每天约有70g。其中大部分可被消化和吸收,未被吸收的由粪便排出体外,这种蛋白质中的氮元素称为内源性氮或粪代谢氮。

(二) 蛋白质代谢

吸收的氨基酸先储存于人体各组织、器官和体液中,存在于这些部位的游离氨基酸统称为氨基酸池(amino acid pool)。氨基酸池中的游离氨基酸除了来自食物外,大部分来自体内蛋白质的分解。

氨基酸出入细胞是靠氨基酸转运子即细胞膜结合蛋白质来实现的。细胞膜上有各种类型的氨基酸转运子,每种氨基酸载体(或转运子)可以识别不同氨基酸的构型和性质,载体对氨基酸的亲力和转运机制决定了细胞内氨基酸水平。

进入细胞的氨基酸少数用于合成体内含氮化合物,大多数被用来重新合成人体蛋白质,以达到机体蛋白质的不断更新和修复。大约30%用于合成肌肉蛋白,50%用于体液和器官的蛋白质合成,其余20%用于合成白蛋白、血红蛋白等其他机体蛋白质。未被利用的氨基酸则经代谢转变成尿素、氨、尿酸和肌酐等,由尿和其他途径排出体外或转化为糖原和脂肪。因此,由尿排出的氮也包括来自食物中的氮和内源性氮两种,尿氮占总排出氮的80%以上。

机体每天由于皮肤、毛发和黏膜的脱落,妇女月经期的失血及肠道菌体死亡的排出等损失约20g以上的蛋白质,这种氮排出是机体不可避免的氮消耗,称为必要的氮损失(obligatory nitrogen losses, ONL)。当膳食中的碳水化合物和脂肪不能满足机体能量需要或蛋白质摄入过多时,蛋白质才分别被用来作为能源或转化为碳水化合物和脂肪。因此,理论上只要从膳食中获得相当于必要的氮损失量的蛋白质,即可满足人体对蛋白质的需要。

(三) 氮平衡

营养学上将摄入蛋白质的量和排出蛋白质的量之间的关系称为氮平衡(nitrogen balance)。氮平衡关系式如下:

$$B = I - (U + F + S)$$

式中, B 为氮平衡; I 为摄入氮; U 为尿氮; F 为粪氮; S 为皮肤等氮损失。

当摄入氮和排出氮相等时为零氮平衡(zero nitrogen balance),即 $B=0$ 。健康的成人应维持在零氮平衡并富裕 5%。如摄入氮多于排出氮则为正氮平衡(positive nitrogen balance),即 $B>0$ 。儿童处于生长发育阶段、妇女怀孕期间、疾病恢复时以及运动和劳动需要增加肌肉时等均应保证适当的正氮平衡,以满足机体对蛋白质额外的需要。而摄入氮少于排出氮时为负氮平衡(negative nitrogen balance),即 $B<0$ 。人在饥饿、疾病及老年时往往处于这种状况,应注意尽可能减轻或改变负氮平衡,以保持健康、促进疾病康复和延缓衰老。

四、食物蛋白质营养学评价

评价食物蛋白质的营养价值,对于食品品质的鉴定、新资源食品的研究与开发、指导人群膳食等许多方面都是十分必要的。各种食物的蛋白质含量、氨基酸模式等都不一样,人体对不同蛋白质的消化、吸收和利用程度也存在差异,所以营养学主要是从食物的蛋白质含量、消化吸收程度和被人体利用程度 3 个方面来全面地评价食品蛋白质的营养价值。

(一) 蛋白质的含量

虽然蛋白质的含量不等于质量,但是没有一定数量,再好的蛋白质其营养价值也有限,所以蛋白质含量是食物蛋白质营养价值的基础。食物中蛋白质含量测定一般使用微量凯氏(Kjeldahl)定氮法测定食物中的氮元素含量,再乘以由氮元素的重量换算成蛋白质重量的换算系数,就可得到食物蛋白质的含量。换算系数对同种食物来说,是根据氮元素重量占蛋白质的百分比而计算出来的。一般来说,食物中氮元素含量占蛋白质重量的 16%,其倒数即由氮元素重量计算蛋白质重量的换算系数,为 6.25。

(二) 蛋白质消化率

蛋白质消化率(digestibility)是反映蛋白质在消化道内被分解和吸收程度的指标,是指在消化道内被吸收的蛋白质占摄入蛋白质的百分数,是评价食物蛋白质营养价值的重要生物学指标之一。由于蛋白质在食物中存在形式、结构各不相同,食物中含有不利于蛋白质吸收的其他影响因素等,不同的食物,或同一种食物的不同加工方式,其蛋白质的消化率都有差异,如动物性食品中的蛋白质一般高于植物性食品(表 2-1-3)。大豆整粒食用时,消化率仅 60%,而加工成豆腐后,消化率提高到 90%以上。这是因为加工后的制品中去除了大豆中的纤维素和其他不利于蛋白质消化吸收的影响因素。

表 2-1-3 几种食物蛋白质的消化率 (%)

食物	真消化率	食物	真消化率	食物	真消化率
鸡蛋	97±3	大米	88±4	大豆粉	87±7
牛奶	95±3	面粉(精制)	96±4	菜豆	78
肉、鱼	94±3	燕麦	86±4	花生酱	88
玉米	85±6	小米	79	中国混合膳食	96

摘自 WHO Technical Report Series 724, 1985 年。

测定蛋白质消化率时,无论以人或动物为实验对象,都必须检测实验期内摄入的食物氮、排出体外的粪氮和粪代谢氮,再用下列公式计算。粪代谢氮,是指肠道内源性氮,是在试验对象完全不摄入蛋白质时粪中的含氮量。成人 24 h 内粪代谢氮一般为 0.9~1.2 g。

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

上式计算结果是食物蛋白质的真消化率(true digestibility)。但在实际应用中通常不考虑粪代谢氮。这样不仅实验方法简便,而且因所测得的结果比真消化率要低,具有一定安全性,这种消化率为表观消化率(apparent digestibility)。

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

(三) 蛋白质利用率

蛋白质利用率是指蛋白质被消化吸收后在体内利用的程度,是食物蛋白质营养评价常用的重要生物学方法之一。衡量蛋白质利用率的指标有很多,它们分别从不同角度反映蛋白质被利用的程度。几种常用的指标如下。

1. 生物价(biological value, BV) 蛋白质生物价是反映食物蛋白质消化吸收后被机体利用程度的指标。生物价的值越高,表明其被机体利用程度越高,最大值为 100。计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{生物价} &= \frac{\text{储留氮}}{\text{吸收氮}} \times 100 \\ \text{吸收氮} &= \text{食物氮} - (\text{粪氮} - \text{粪代谢氮}) \\ \text{储留氮} &= \text{吸收氮} - (\text{尿氮} - \text{尿内源性氮}) \end{aligned}$$

尿氮和尿内源性氮的检测原理和方法与粪氮、粪代谢氮一样。生物价对指导肝脏疾病、肾脏疾病病人的膳食具有很重要的意义。生物价高,表明食物蛋白质中氨基酸主要用来合成人体蛋白,极少有过多的氨基酸经肝、肾代谢而释放能量或由尿排出多余的氮,从而大大减少肝、肾的负担。

2. 蛋白质净利用率(net protein utilization, NPU) 蛋白质净利用率是反映食物蛋白质被利用的程度。它包括了食物蛋白质的消化和利用两个方面,因此可以更全面表达其结果。

$$\text{蛋白质净利用率}(\%) = \text{消化率} \times \text{生物价} = \frac{\text{储留氮}}{\text{食物氮}} \times 100\%$$

3. 蛋白质功效比值(protein efficiency ratio, PER) 蛋白质功效比值是用处于生长阶段的幼年动物(一般为刚断奶的雄性大鼠),在 28 天实验期内,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。显然,动物摄食持续时间、年龄、实验开始的体重和所用动物的种类都是很重要的变量。由于所测蛋白质主要用来提供生长之需要,所以该指标被广泛用来作为婴幼儿食品中蛋白质的评价。实验时饲料中被测蛋白质为 10%,是唯一的蛋白质来源。

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

同一种食物在不同的实验条件下,所测得的功效比值会有明显差异。为使实验结果具有可比性,实验期间用标化酪蛋白作为参考蛋白设对照组,将上面计算得到的 PER 与对照组的 PER 相比,再用标准情况下酪蛋白的 PER(2.5)进行校正,得到被测 PER。

$$\text{被测 PER} = \frac{\text{实验组功效比值}}{\text{对照组功效比值}} \times 2.5$$

4. 氨基酸评分(amino acid score, AAS)和经消化率修正的氨基酸评分(protein digestibility