

膳食纤维

谢碧霞 李安平 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地叙述了膳食纤维的定义、组成成分以及膳食纤维的提取分离、各种成分含量的测定、结构鉴定、各成分组成的改性、产品开发应用和功能评价。同时,本书注重新技术的应用,并结合作者的研究成果,重点阐述了膳食纤维的分析检测、产品研制及功能评价方面的技术和方法。本书突出实用性,书中列举了一些具有典型特征的膳食纤维产品的改性、功能评价和应用开发的实例,对人们的饮食保健科学化具有指导作用。

本书适合从事食品、轻工、医药、保健、农林等领域的有关技术人员和管理人员使用,也可作为高等院校食品科学与工程及相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

膳食纤维/ 谢碧霞,李安平等编著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016875-5

. 膳... . 谢... 李... . 膳食-纤维-基本知识 . TS201.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 009849 号

责任编辑:霍春雁 吴伶伶 / 责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 1 月第一次印刷 印张:16 1/4

印数:1—1 000 字数:366 000

定价:50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换 科印)

编写人员名单

主 编 谢碧霞 李安平

副主编 陈 训 余江帆 潘晓芳 陈亮明 邓白罗
钟秋平 梁文斌 文亚峰 王 森

编著人员(按姓氏笔画为序)

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 丁之恩 | 王 森 | 王晓明 | 王建新 | 文亚峰 |
| 邓白罗 | 吕芳德 | 杜兰英 | 杜红岩 | 李安平 |
| 李志辉 | 李建安 | 杨少斌 | 何 钢 | 余江帆 |
| 谷战英 | 陈 训 | 陈建华 | 陈亮明 | 张 贵 |
| 张 勛 | 张日清 | 林亲众 | 周根土 | 柳建安 |
| 胡曼辉 | 钟秋平 | 钟海雁 | 姚小华 | 曹清明 |
| 龚榜初 | 梁文斌 | 彭重华 | 谢碧霞 | 颜玉娟 |
| 潘晓芳 | | | | |

前 言

“民以食为天”。人们所需的六大类营养素主要由植物和动物供给,包括碳水化合物、脂肪、蛋白质、维生素、矿物质和水。植物性食物,如谷物、蔬菜、水果等的细胞壁由纤维组成,食用后不能被消化,经肠道排出体外,长期以来被认为是废物,无益于身体。20世纪70年代以后,随着食品营养学的发展,人们逐渐认识到膳食纤维并不是废物,反而对人体有很好的保健作用,能预防多种疾病。于是,营养学家将膳食纤维称为与碳水化合物、脂肪、蛋白质等并列的“第七营养素”。

我国传统膳食是以植物性食物为主。早在秦汉时代的《黄帝内经》就有“五谷为养、五果为助、五畜为益、五菜为充”的食物和养生记载。但是,随着人们生活水平的提高,人们的饮食习惯已经发生了很大的变化。大中城市,特别是经济比较发达的沿海城市,所吃的食物越来越精细。也正是由于食物过于精细,饮食中缺乏膳食纤维,因而引起了各种疾病。虽然造成疾病的原因是多方面的,但膳食纤维摄入量的不足是其中一个重要的原因。

1993年2月国务院颁发的《九十年代中国食物结构改革与发展纲要》明确指出:“食物消费中的不平衡性还十分突出,营养过剩与营养不良并存的情况有加剧的趋势。一方面,由于膳食不平衡或营养过剩所造成的‘富裕疾病’已开始出现;另一方面,由于食品品种单调或营养不全造成了一部分人的营养不良症。”目前,肥胖症、冠心病、糖尿病和结肠癌等已成为危害我国人民健康的主要疾病。

膳食纤维一般是指不被人体消化吸收的多糖类碳水化合物和木质素。由于它具有较强的持水、持油能力,能整合消化道中的胆固醇、卟啉和重金属,阻隔致癌物的产生,并能促进肠的蠕动,有利于废物的排出,减少有害物质的吸收,因此,膳食纤维越来越受到人们的重视。目前,在日本及欧美等发达国家,高纤维食品非常盛行,在欧美地区,高纤维类产品的年销售额已过300亿美元;日本食用纤维素类产品的年销售额近100亿美元。我国膳食纤维的研究工作起步较晚,主要集中于谷物类膳食纤维(如豆渣纤维、米糠纤维)的基础研究,应用技术还很不成熟。所以,高膳食纤维食品在我国至今仍然非常缺乏,具有广阔的市场和发展空间。

膳食纤维的开发、研究工作,已引起有关部门和保健食品的科研、生产及管理人員的日益重视。鉴于此,全书对膳食纤维各成分、膳食纤维的提取分离、各种成分含量的测定、结构鉴定、各成分组成的改性、产品开发应用和功能评价等进行了阐述,其内容构成了一个完整的体系。它的特点是:运用现代技术、多学科交叉知识,并结合编者的研究成果,阐述了膳食纤维的分析检测、产品研制及功能评价等方面的技术和方法;为了增强实用性,书中列举了一些具有典型特征的膳食纤维产品的改性、功能评价和应用开发的实例;在附录中还列出了近期国家对于保健食品开发的管理条例,以便操作和遵守;为膳食纤维的研究与开发提供了一套比较完整的、系统的资料。

本书分为五章,即第一章膳食纤维概述;第二章膳食纤维的分析检测;第三章膳食纤维

的制备;第四章膳食纤维功能评价;第五章膳食纤维在食品工业中的应用。书后另附有相关内容的附录。

本书适合从事保健食品和膳食纤维研究、管理、生产和经营的工作人员使用,也可以作为高等院校相关专业的教学参考书。

在膳食纤维的有关研究中,得到国家科技部、国家林业局和湖南省科技厅的长期科研资助,在此谨向他们致以最衷心的感谢!

本书的出版,得到了众多专家的鼎力支持与帮助,也得到了中南林学院森林培育国家重点学科、贵州省科学院、江西省林业厅和广西大学林学院等单位的大力支持和资助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免有一些不足和疏漏之处,敬请同行和广大读者批评指正,以便我们今后修订、补充和完善。

编者

2005年10月1日

目 录

前言

| | |
|---------------------------------------------|------|
| 第一章 膳食纤维概述 | (1) |
| 第一节 膳食纤维 | (1) |
| 一、膳食纤维的定义 | (1) |
| 二、膳食纤维与粗纤维的区别 | (4) |
| 第二节 膳食纤维的分类和主要化学组成成分 | (4) |
| 一、膳食纤维的分类 | (4) |
| 二、膳食纤维的主要化学组成成分 | (5) |
| 三、各种食物中膳食纤维的含量 | (12) |
| 第三节 膳食纤维的功能作用 | (16) |
| 一、膳食纤维的特性 | (16) |
| 二、膳食纤维的生理功能 | (18) |
| 三、膳食纤维在人体中的消化作用 | (21) |
| 四、膳食纤维与某些疾病的关系 | (23) |
| 五、膳食纤维的摄入量 | (25) |
| 第四节 膳食纤维的研究现状及发展趋势 | (27) |
| 一、膳食纤维的研究进展 | (27) |
| 二、当前膳食纤维研究领域中的热点问题 | (28) |
| 三、我国今后膳食纤维的研究方向 | (30) |
| 第二章 膳食纤维的分析检测 | (33) |
| 第一节 膳食纤维的分析原理 | (33) |
| 一、酸性洗涤纤维法与中性洗涤纤维法 | (33) |
| 二、Prosky 法(AOAC 法) | (34) |
| 三、Englyst 法 | (36) |
| 第二节 膳食纤维分析检测方法 | (38) |
| 一、粗纤维含量的测定(重量法) | (38) |
| 二、用酸性洗涤剂法测定膳食纤维含量 | (39) |
| 三、用中性洗涤剂法测定膳食纤维含量 | (41) |
| 四、用酶法快速测定水溶性膳食纤维(SDF)与水不溶性膳食纤维(IDF)含量 | (43) |
| 五、总膳食纤维含量的测定(Southgate 改良法) | (44) |
| 六、不溶性膳食纤维含量的测定 | (45) |
| 七、果胶物质含量的测定 | (46) |

| | |
|----------------------------|-------|
| 八、纤维素含量的测定 | (49) |
| 九、半纤维素含量的测定 | (50) |
| 第三节 膳食纤维的结构和生物合成 | (51) |
| 一、主要植物纤维细胞的构造 | (51) |
| 二、木素 | (54) |
| 三、纤维素 | (62) |
| 四、半纤维素 | (66) |
| 第四节 实例 | (69) |
| 一、大豆膳食纤维的分离与分级 | (69) |
| 二、大豆膳食纤维化学结构的鉴定 | (75) |
| 第三章 膳食纤维的制备 | (89) |
| 第一节 膳食纤维加工分离技术 | (89) |
| 一、微粉碎和超微粉碎 | (89) |
| 二、膜分离技术 | (95) |
| 三、微胶囊技术 | (101) |
| 四、超临界流体萃取技术 | (103) |
| 五、生物技术 | (108) |
| 第二节 膳食纤维的改性处理 | (109) |
| 一、化学处理法 | (109) |
| 二、机械降解处理法 | (109) |
| 第三节 膳食纤维的制备实例 | (112) |
| 一、谷物类膳食纤维 | (112) |
| 二、果蔬类膳食纤维 | (116) |
| 三、豆渣类膳食纤维 | (118) |
| 四、其他植物类膳食纤维 | (122) |
| 五、复合膳食纤维粉 | (124) |
| 第四章 膳食纤维功能评价 | (126) |
| 第一节 膳食纤维功能评价的要求 | (127) |
| 一、基本要求 | (127) |
| 二、安全性毒理学评价程序规范 | (128) |
| 三、保健食品功能学评价中人体试食实验原则 | (131) |
| 四、膳食纤维评价时需要考虑的因素 | (132) |
| 第二节 膳食纤维的降血糖功能评价 | (133) |
| 一、糖尿病的病理生理 | (134) |
| 二、糖尿病的诊断及鉴别诊断 | (136) |
| 三、辅助降血糖作用检验方法 | (138) |
| 四、膳食纤维降血糖功能实验实例 | (140) |
| 第三节 膳食纤维的降血脂功能评价 | (142) |

| | |
|---------------------------|-------|
| 一、脂类分类与高脂血症的定义 | (143) |
| 二、高血脂的危害 | (143) |
| 三、与血脂有关的因素 | (145) |
| 四、摄取营养时防治高血脂的原则 | (147) |
| 五、血脂调节作用的检测 | (148) |
| 六、膳食纤维降血脂功能实验实例 | (150) |
| 第四节 膳食纤维的减肥功能评价 | (153) |
| 一、肥胖症的定义 | (153) |
| 二、肥胖的测定方法 | (153) |
| 三、肥胖的类型 | (155) |
| 四、肥胖症的病因 | (155) |
| 五、肥胖的危害 | (156) |
| 六、减肥作用的检测 | (157) |
| 七、膳食纤维减肥功能实验实例 | (158) |
| 第五节 膳食纤维的改善胃肠道功能评价 | (160) |
| 一、改善胃肠道菌群的功能食品 | (160) |
| 二、润肠通便的功能食品 | (163) |
| 三、肠道菌群调节作用的检测 | (165) |
| 四、润肠通便作用检测法 | (166) |
| 五、改善消化功能的检测 | (167) |
| 六、排铅作用的检验 | (170) |
| 七、膳食纤维改善胃肠道功能实验实例 | (171) |
| 第五章 膳食纤维在食品工业中的应用 | (174) |
| 第一节 膳食纤维在食品工业中的应用概述 | (174) |
| 一、概述 | (174) |
| 二、不同来源膳食纤维的功能特性 | (179) |
| 第二节 在主食食品中的应用 | (181) |
| 一、在富碘挂面中的应用 | (182) |
| 二、大豆膳食纤维在面包中的应用 | (184) |
| 三、大豆蛋白纤维粉在面包生产中的应用 | (186) |
| 第三节 在焙烤食品中的应用 | (187) |
| 一、大豆膳食纤维在蛋糕生产中的应用 | (188) |
| 二、大豆膳食纤维粉在桃酥中的应用 | (189) |
| 三、高活性竹笋膳食纤维在饼干中的应用 | (190) |
| 四、大豆膳食纤维在广式月饼馅中的应用 | (192) |
| 第四节 在饮料、冰淇淋中的应用 | (193) |
| 一、麦麸膳食纤维在乳酸饮料中的应用 | (193) |
| 二、豆渣膳食纤维在饮料中的应用 | (195) |

| | |
|-----------------------------|-------|
| 三、膳食纤维在固体碳酸饮料中的应用 | (196) |
| 四、玉米膳食纤维在冰淇淋中的应用 | (197) |
| 第五节 在其他食品中的应用 | (199) |
| 一、酶解法制备豆渣膳食纤维在咀嚼片中的应用 | (199) |
| 二、高膳食纤维在甘薯脆片中的应用 | (200) |
| 三、大豆食用纤维在肉灌制品中的应用 | (201) |
| 四、高纤维在膨化玉米粉中的应用 | (203) |
| 参考文献 | (205) |
| 附录 | (211) |
| 附录 1 保健食品管理办法 | (211) |
| 附录 2 保健食品评审技术规程 | (214) |
| 附录 3 保健(功能)食品通用标准 | (218) |
| 附录 4 保健食品通用卫生要求 | (224) |
| 附录 5 保健食品标识规定 | (225) |
| 附录 6 保健食品功能学评价程序和检验方法 | (230) |
| 附录 7 食品安全性毒理学评价程序 | (237) |
| 附录 8 保健食品申报与受理规定 | (242) |
| 附录 9 保健食品申报资料的整理 | (246) |

第一章 膳食纤维概述

第一节 膳食纤维

一、膳食纤维的定义

近年来,随着人们生活水平的提高,膳食结构的变化,由于营养过剩或不平衡所造成的超重、肥胖、糖尿病、动脉粥样硬化、冠心病等所谓的“文明病”的发病率逐年增高。据不完全统计,我国每天约有 15 000 余人死于由于营养过剩或不平衡所导致的慢性病,占全部死亡人口的 70% 以上。在西方,多年来这些疾病要耗去巨额的医疗费用。广泛的调查研究表明,人们食物中的膳食纤维若不足,则可以导致肥胖、糖尿病、动脉粥样硬化、冠心病等众多疾病。因此,膳食纤维在食品营养上和临床医学上的重要作用已受到人们的普遍关注,膳食纤维已经成为人类第七大营养素。我国 1997 年颁布的《中国居民膳食指南》中有两条提到“膳食纤维”:一是食物应多样,以谷类为主;二是多吃蔬菜、水果和薯类。因此,在食品领域中开发利用膳食纤维的前景十分广阔。

膳食纤维这一词的出现可以追溯到 20 世纪 50 年代,之后经过近半个世纪,其概念不断完善,这一概念的发展历史见表 1-1。

表 1-1 不同年份膳食纤维的概念

| 时间 | 膳食纤维概念的提出及其研究情况 |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1953 年 | Hipsley 提出“膳食纤维”术语 |
| 1972 ~ 1976 年 | Trowell 等把膳食纤维定义为“不能被消化道酶消化的植物细胞壁成分” |
| 1976 年 | Trowell 等把膳食纤维的概念拓宽,认为膳食纤维包括纤维素、半纤维素、木质素、树胶、人造纤维素、海藻胶、寡糖、果胶、蜡质、角质、软木脂,即膳食中的非淀粉多糖和木质素等 |
| 1976 ~ 1981 年 | Asp 等发展了针对定量分析食物中的有关成分的相应定义 |
| 1979 年 | Prosby 开始对膳食纤维概念及方法的一致看法进行总结 |
| 1980 年 | 在 AOAC 年会上,多位学者对膳食纤维形成一致看法 |
| 1981 ~ 1985 年 | Prosby 等许多学者合作研究并认可了一致的研究方法 |
| 1985 年 | AOAC 确定了分析总膳食纤维的方法 AOAC 985.29 |
| 1985 ~ 1988 年 | 研究方法的不断发展,对不溶性和可溶性膳食纤维进行研究 |
| 1991 年 | AOAC 确定了食品中可溶性膳食纤维的分析方法 AOAC991.42 |
| 1988 ~ 1994 年 | Lee 等根据膳食纤维的定义,对研究方法进行完善 |
| 1992 年 | 重新确定生理学膳食纤维概念 |
| 1993 年 | 再次对膳食纤维的生理学概念、组分进行国际间讨论 |

续表

| 时间 | 膳食纤维概念的提出及其研究情况 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1994 年 | AOAC 对复杂碳水化合物的概念及膳食纤维的生理学定义及组分进行确定,膳食纤维包括可食的非淀粉多糖、木质素及不能被人的消化酶消化的其他相关物质。这一定义基本上与 1976 年的定义相同,并把 AOAC985 .29 作为膳食纤维的分析方法 |
| 1998 年 | AOAC 委派科学委员会重新评定膳食纤维的定义 |

膳食纤维最早定义为植物细胞壁中的抗消化性组成成分,包括纤维素、半纤维素及木质素。该定义明显区别于以往用粗纤维方法测定的食品中的纤维组成成分及其特性。

1972 ~ 1976 年, Trowell 等建立了大量膳食纤维与健康相关的假说, 被称为“膳食纤维假说”。膳食纤维这一术语用来描述不能被人体内源消化酶作用的植物成分, 包括纤维素、半纤维素及木质素以及与之相关的少量组成成分, 如蜡质、角质、软木脂等, 这些都是可食用的, 具有纤维成分的食物有芹菜及其他蔬菜、可食用的水果皮及谷物麸皮。“膳食纤维假说”指出: 膳食纤维的摄入量与结肠癌及心脏病的发病率成负相关。该假说的提出使人们在营养学、分析化学、食品工程及其他领域开始对膳食纤维进行大量研究。

截至 1976 年, 膳食纤维的定义已被拓宽到包括所有的不可消化的多糖(主要为植物性糖类), 如胶质、改性纤维素、黏胶、寡糖以及果胶, 这基本保留了生理学的定义, 即基于其可食性及抗消化性。

由于对膳食纤维有益作用认识的普及, 大量研究者开始建立分析方法以确定能提供膳食纤维生理功能的食品成分, 其要点是采用酶作为工具, 将食品中的可消化部分从不可消化部分中分离开来, 该研究获得了一定的成功。但该研究所用材料为商业用酶, 它不能完全代替人体内源酶的消化活性, 因此并没有取得完全的成功。

20 世纪 70 年代后期, Prosky 开始致力于在学术界将膳食纤维定义统一化的工作。同时, 为了营养改良及食品标签需要定量检测食物中膳食纤维含量的目的, 他也着手从事符合膳食纤维定义的分析方法的统一工作, 并听取了世界范围内 100 多位科学家的意见。1981 年, 在加拿大渥太华进行的美国职业分析化学家学会(以下简称 AOAC)春季工作会议上, 按照 Trowell 等在 1976 年提出的定义, 就膳食纤维定量分析方法达成共识。其中, Asp、Furda 和 Schweizer 等提出的测定方法被认为是较好的方法, 在 Prosky 的倡导下, 这些研究者(包括 Devries 和 Harland)建立了一种适合国际间合作研究的简单方法, 约有 29 个国家的 43 个实验室参与了这项研究。

研究者对第一次国际间研究产生的酶-重量法达成共识, 此后经过小的改进, 获得了一种较精确的分析方法, 并成功地完成了实验室间的合作研究, 这种方法被 AOAC 首次采纳作为测定总膳食纤维的方法(AOAC985 .29 食品中总膳食纤维的酶-重量法)。基于同样成功的实验室间的合作研究, 同年, 美国谷物化学家学会(以下简称 AACC)也采纳了该方法(AACC32-05)。

分析方法成功的关键是酶的浓度及分析方法中消化步骤的精度。因此, 在研究中必须着眼于那些在消化系统中用于消化食物成分的酶, 而非样品中的抗消化成分。

在分析及营养学研究领域中人们对膳食中膳食纤维的正面影响的关注, 使得酶-重量

法在世界范围内迅速地普及开。该分析方法的设计有效地定量了与膳食纤维相对应的食品的组成含量,加上它广泛的可接受性及应用,AOAC985.29及AACC32-05成为事实上的膳食纤维的测定方法。不溶性膳食纤维与可溶性膳食纤维在营养学上有差异,为了对二者进行分离和定量分析,人们对AOAC985.29进行了进一步的改进。但按照可溶性纤维组分在一定pH(生理条件下)酶溶液中的溶解情况来区别两种纤维组分显得有些不太合理。

这种定义方法是依据可溶性纤维酶水溶液与95%乙醇溶液的体积比为1:4的混合液中的沉淀性来确定的,按照这种方法,其在水溶液中的不溶性及沉淀性并不符合实际上的膳食纤维定义的要求。实验室间的研究对该方法进行了改进,后者被采纳为AOAC法(AOAC991.42)——食品中不溶性膳食纤维的酶-重量法(磷酸缓冲液)。在1993年,AOAC993.16——食品中可溶性膳食纤维的酶-重量法(磷酸缓冲液)也被AOAC采纳。

为了达成统一的标准定义及标准方法,对AOAC985.29法进行了改进并建立了其他方法,其中占主导地位的是AOAC991.43,它可以用来测定总膳食纤维、不溶性膳食纤维和可溶性膳食纤维。该方法除采用MES-TRIS缓冲液外,其余过程与AOAC985.29、AOAC991.42及AOAC993.16类似,该方法被推荐为AOAC/AACC共同的分析测定方法(其中的AACC法为AACC32-07)。

其他被采纳的方法还有AOAC992.16(总膳食纤维的酶-重量法)、AOAC993.21(淀粉含量小于2%食品总膳食纤维的非酶-重量法)、AOAC994.13(总膳食纤维:中性糖、糖醛酸、Klason木质素)、气相-分光-重量法(Uppsala法)。这些方法分别采用不同手段定量食品中的抗性成分,但目前测定总膳食纤维的基准方法仍为AOAC985.29/AACC32-05法。

1992年,为了重新确定测定方法的正确性, Lee及Proskey对世界上该研究领域的147名专家进行了一次调查,结果表明:65%的专家支持当前的生理学定义,而有5%的专家则认为最好将其与化学定义结合起来考虑,59%的专家认为应该包括抗消化的寡糖。在第二次(1993年)调查中发现:65%的专家认为应该包括抗消化的寡糖,80%的专家认为应该包括抗性淀粉。AOAC在孟菲斯(TN)举行的关于复合碳水化合物和膳食纤维的定义及分析的国际工作会议上,与会者普遍认为膳食纤维的生理学定义的组成应该包括抗性寡糖,同时与会者也承认当前AOAC985.29/AACC32-05法并不能定量一些被定义为膳食纤维的特定的组成成分,当前的膳食纤维测定方法仍然存在缺陷,并提议专家们建立能测定这些特定组分的正确方法。在此期间,应膳食纤维技术委员会的要求,AACC对两种测定原理不同的方法测定标准物总膳食纤维、不溶性膳食纤维、可溶性膳食纤维的分析结果进行了比较。1999年,学术界就膳食纤维定义的统一问题的讨论异常活跃,并举行了一系列的会议及专题讨论;1999年6月2~3日,AACC和国际生命科学学会(ILSI)共同成立了关于膳食纤维定义的工作委员会;1999年7月26日,IFT(Institute of Food Technologists)年会在芝加哥就膳食纤维的定义举行了专门的论坛;1999年11月2日,在第84届AACC年会上举行专门会议对膳食纤维的定义进行了讨论。

膳食纤维被定义为“凡是不能被人体内源酶消化吸收的可食用植物细胞、多糖、木质素以及相关物质的总和”。这一定义包括了食品中的大量组成成分,如纤维素、半纤维素、

木质素、胶质、改性纤维素、黏质、寡糖、果胶,还包括了少量组成成分,如蜡质、角质、软木脂。AOAC985.29/AACC32-05、AOAC991.43/AACC32-07法被作为一种事实上的定义方法。尽管如此,目前膳食纤维的定义与测定方法之间仍然存在一定的差距,包含所有膳食纤维组成成分的测定方法有待于进一步建立。

二、膳食纤维与粗纤维的区别

膳食纤维的概念不同于常用的粗纤维(crude fiber)的概念,传统意义上的粗纤维是指植物经特定浓度的酸、碱、醇或醚等溶剂作用后的剩余残渣。强烈的溶剂处理导致几乎100%水溶性纤维、50%~60%半纤维素和10%~30%纤维素被溶解损失掉。因此,对于同一种产品,其粗纤维含量与总膳食纤维含量往往有很大的差异,两者之间没有一定的换算关系。

第二节 膳食纤维的分类和主要化学组成成分

一、膳食纤维的分类

1. 根据溶解性分类

根据膳食纤维(dietary fiber, DF)的溶解性可以把DF分成可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)和不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)。IDF是指不被人体消化道酶消化且不溶于热水的那部分膳食纤维,它主要是细胞壁的组成成分,包括纤维素(CEL)、半纤维素(HC)、木质素和植物蜡(wax)等。SDF是指不被人体消化道酶消化,但可以溶于温水或热水且其水溶液又能被4倍体积的乙醇再沉淀的那部分膳食纤维,它主要指植物细胞内的储存物质和分泌物,还包括部分微生物多糖和合成类多糖,如果胶(pectin)、瓜尔豆胶、海藻酸盐、葡聚糖和真菌多糖。

2. 根据在大肠内的发酵程度分类

DF可以被人体大肠内的菌群所发酵,但不同的DF被发酵的程度不一样,可分为部分发酵类纤维和完全发酵类纤维。部分发酵类纤维包括:纤维素(CEL)、半纤维素(HC)、木质素、植物蜡和角质等。完全发酵类纤维包括:-葡聚糖、果胶、瓜尔豆胶、阿拉伯胶、海藻胶和菊粉等。一般来说,完全发酵类纤维多属于SDF,而部分发酵类纤维多属于IDF。但也有一些例外,如羧甲基纤维素(以下简称CMC),它虽然易溶于水,但几乎不被大肠内的菌群所发酵。

3. 根据来源的不同分类

根据来源的不同,可以将膳食纤维分为植物性来源、动物性来源、微生物性来源、海藻多糖类和合成类膳食纤维。植物性来源的膳食纤维包括:纤维素、半纤维素、木质素、果胶、阿拉伯胶、愈创胶、半乳甘露聚糖、明胶、甘露聚酸等。动物性来源的包括:甲壳质、壳聚糖、胶原等。微生物性来源的包括:黄原胶等。海藻多糖类的包括:海藻酸盐、卡拉胶、琼脂等。合成类的包括:羧甲基纤维素、甲基纤维素等。其中,植物体是膳食纤维的主要

来源,也是研究和应用最多的一类,植物性膳食纤维的分类组成如图 1-1 所示。

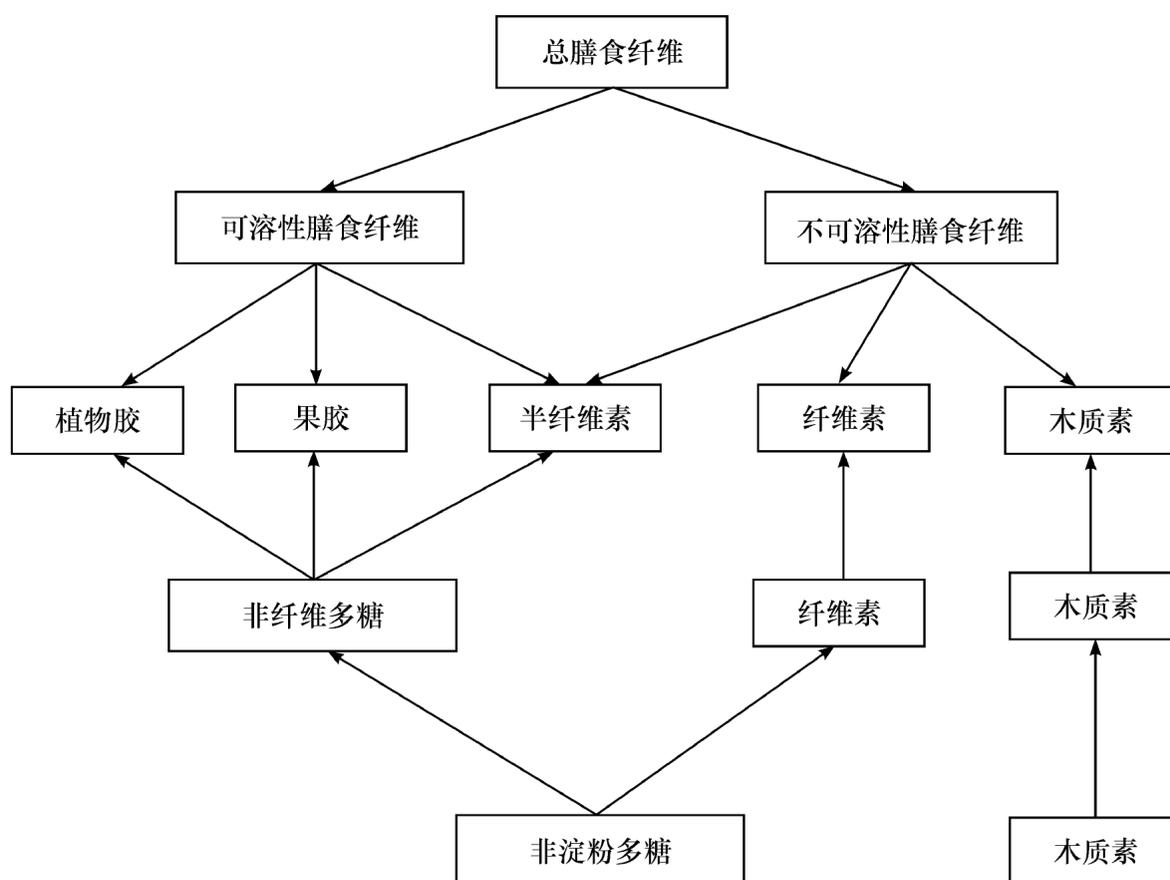


图 1-1 植物性膳食纤维的分类组成

4. 根据定义分类

2001 年 1 月,膳食纤维定义委员会提交给 AACC 一份名为 *The Definition of Dietary Fiber* 的报告,报告中根据定义将 DF 分为:非淀粉多糖和抗消化的低聚糖类,包括 CEL、HC(阿拉伯木聚糖、阿拉伯半乳聚糖)、果聚糖(菊粉、低聚果糖)、树胶、黏浆和果胶;相似的碳水化合物类,包括抗消化糊精(抗消化的麦芽糊精和土豆淀粉糊精)、合成的碳水化合物类(葡聚糖、甲基纤维素);木质素;相关植物次生物质类,包括蜡质、肌醇六磷酸、角质、皂角苷、软木脂和单宁。

5. 根据品质分类

根据膳食纤维的品质可以将膳食纤维分成两类,即普通膳食纤维和高品质膳食纤维。

普通膳食纤维只是一种无能量填充剂,其中可溶性成分很低,一般在 3% 以下,这也是其生理活性较低的原因所在。普通的玉米皮不经任何改性处理即为这种膳食纤维,因此不具备较好的加工特性、生理活性和保健功能。

高品质膳食纤维的可溶性成分含量应该达到 10% 以上,膨胀力大于 $10 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$,持水力不小于 $7 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$,结合水力不低于 $5 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。因此,其生理活性较强,具有明显的保健作用,可以作为各种食品的添加剂以及用于生产保健食品。

二、膳食纤维的主要化学组成成分

膳食纤维原料的化学组成成分是我们利用原料制备膳食纤维生产工艺条件的基本依

据,与产品的产量和质量有密切关系,对生产过程及综合利用等方面也有重要影响。在原料中,除植物光合作用所产生的碳水化合物和木素外,还含有少量的树脂、脂肪、蜡等有机化合物和植物生长所需的原料运输及生产过程中带来的各种金属元素等。原料的这些成分因植物的种类、产地等的不同而异。因此,膳食纤维原料的化学成分是非常复杂的。原料的化学组成成分如图 1-2 所示。

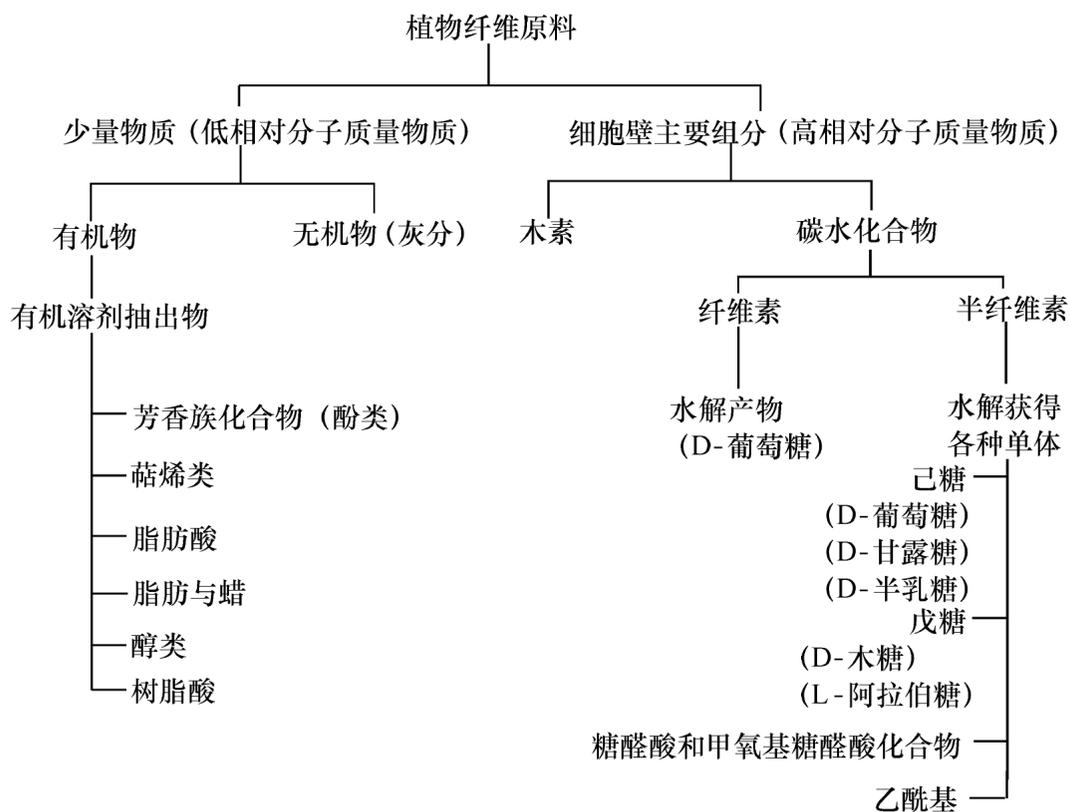


图 1-2 原料的化学组成成分

1. 主要化学成分

所谓膳食纤维原料的主要化学成分是指原料中的纤维素、半纤维素和木素三种成分。在原料中,这三种成分构成植物体的支持骨架。其中,纤维素组成微细纤维,构成纤维细胞壁的网状骨架,而半纤维素和木素则是填充在纤维之间和微细纤维之间的“黏合剂”和“填充剂”。在一般的植物纤维原料中,这三种成分的质量占原料总质量的 80% ~ 95%,故称之为膳食纤维原料的主要化学成分。

(1) 碳水化合物

植物纤维原料中最主要的化学成分是碳水化合物,其含量因原料的不同而异,常占原料质量的 60% ~ 90%。碳水化合物是植物吸收太阳能进行光合作用合成出来的。碳水化合物是绿色植物新陈代谢和能量储藏的基本形式,其主要成分是纤维素和半纤维素;某些植物纤维原料中,还含有少量的单糖、低聚糖、淀粉等碳水化合物。

1) 纤维素。纤维素(cellulose, CEL)是构成植物细胞壁的主要材料,也是膳食纤维的最基本的化学成分。原料的纤维素含量的高低,是评价膳食纤维原料价值的基本依据之一。

纤维素是由葡萄糖通过 β -1,4-糖苷键结合起来的高分子不溶性均一多糖。虽然它的化学结构与淀粉相似,但它的物理性质却与淀粉截然不同。CEL 分子中的 β -葡萄糖基和

D-葡萄糖基含量就是 CEL 分子的聚合度(DP)。天然存在的 CEL 分子的聚合度都是高于 1000 的。例如,葛根纤维初生壁的聚合度为 2000 ~ 4000,次生壁的聚合度为 1400,竹笋纤维的聚合度稍低一些。经过蒸煮及漂白,膳食纤维的聚合度会受到不同程度的降解。因此,在一般情况下,CEL 在生产过程中需要尽可能地保留,以免造成膳食纤维得率减少。

在植物细胞壁中的 CEL 分子是线形分子,因而易于缔合,使得 CEL 分子链成规律性排列,形成结晶状的微晶纤维束结构单元,结晶区由大量氢键连接而成。不同来源的 CEL,其结晶程度也不相同。CEL 不溶于水,但具有吸水膨胀的能力,在消化道内可以大量吸收水。CEL 的化学结构如图 1-3 所示。

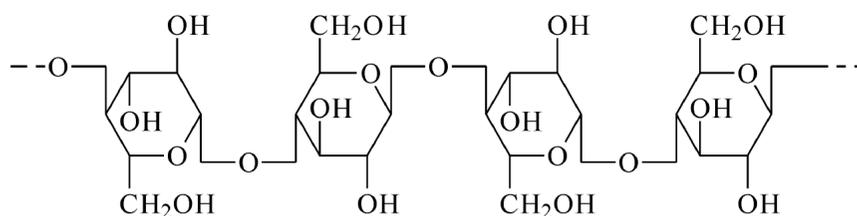


图 1-3 CEL 的化学结构

2) 半纤维素。半纤维素(hemicellulose, HC)是植物细胞壁中除 CEL 和木质素之外的另一类重要组分,由于总是与 CEL 共同存在于植物细胞壁内而得名。但 HC 的生成和化学结构与 CEL 没有直接关系,它是另一类植物多糖。大多数 HC 是含有 2 ~ 4 种不同糖基组成的杂多糖,其化学结构如图 1-4 所示。

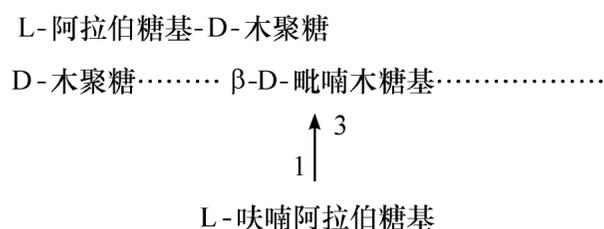


图 1-4 HC 的化学结构

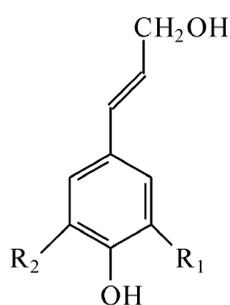
HC 是由多种糖单元组成的,首先,HC 比 CEL 容易水解,它主要由木糖基、葡萄糖基、甘露糖基、半乳糖基、阿拉伯糖基、鼠李糖基等组成;其次,HC 分子中还含有糖醛酸基(如半乳糖醛酸基、葡萄糖醛酸基等)和乙酰基;再次,HC 分子中还常带有数量不等的支链。由此可见,HC 是由多种糖基糖醛酸基所组成的,并且分子中往往带有支链的复合聚糖的总称。

HC 的种类很多,不同种类的 HC 其水溶性也不同,有的可溶于水,但绝大部分不溶于水。不同植物中 HC 的种类、含量均不同,其中组成谷物和豆类 DF 中的 HC 有阿拉伯木聚糖、木糖葡聚糖和 -葡聚糖等数种。阿拉伯木聚糖在小麦和大豆纤维中的含量较多。木糖葡聚糖是豆类纤维中最重要的一种不溶性 HC,但在小麦和大豆纤维中并不存在。-(1 3,1 4)葡聚糖是由(1 3)(1 4)糖苷键连接而成的高相对分子质量的线性多糖,在大麦和燕麦纤维中的含量较高,它在黑麦、小麦和高粱等谷物纤维中也有少量存在。大部分粮食产品和豆科植物产品中都含有丰富的 HC,而蔬菜和水果中的 HC 含量贫乏。

HC 对水的亲和力的大小和戊糖部分紧密相关,阿拉伯糖和木糖这两种成分负责将水团固定于 HC 的不同结构上。这种特性说明,如果一种 HC 对水的亲和力很小,那是因为它所含戊糖的百分率太低,或者是它的空间组织结构使戊糖所处的位置不能与水接近。白菜、小麦麸皮的 HC 固定水的能力最强,小麦麸皮中含有丰富的 HC 且它们对水具有较

强的亲和力,这是能使整个面包完好保存的原因之一。白面粉中的 HC 也具有很强的吸水能力,每克约吸水 100 mL,即为麸皮中 HC 吸水能力的 1/2。

HC 是无定形物质,是填充在纤维之间和微细纤维之间的“黏合剂”和“填充剂”。其聚合度较低(小于 200,多数为 80~120),容易吸水润胀。HC 的存在及含量的多少对膳食纤维的物化特性、生理功能及产品的加工性能都带来不同程度的影响;在加工过程中需要尽可能地保留半纤维素,以便提高产品的得率、生理功能和降低生产成本。



(2) 木素

木素具有非常复杂的三维结构,它是由苯基丙烷结构单元(即 C_6-C_3 单元)通过醚键、碳-碳键连接而成的芳香族高分子化合物,而不属于多糖化合物。由于是多聚芳香族苯丙烷化合物,因而能使细胞壁保持一定的韧性。它亲水性差,是植物结构整体物质,几乎不受生物化学分解。木质素作为一种抗氧化剂,具有与铁、锌结合的能力。

它的化学结构如图 1-5 所示。

图 1-5 木素的
化学结构

在原料中,木素是填充在胞间层及微细纤维之间的“黏合剂”和“填充剂”。木素是原料在加工过程中颜色较深的主要原因之一,原料中的木素含量是制订膳食纤维漂白工艺条件的重要依据。木素的含量越高,则漂白越困难;相反,木素的含量越低,则漂白越容易。木素含量的高低及木素性质的不同,使膳食纤维的白度及白度的稳定性也将不同。因此,生产中应该依据膳食纤维质量对白度及白度稳定性的不同要求,来除去部分木素,可以采用 H_2O_2 和 $Na_2S_2O_4$ 等进行漂白。

2. 少量成分

在原料中,除上述几种主要成分之外,通常还含有少量的其他物质和灰分。尽管这些物质的量不太多,但往往会对膳食纤维的品质有重要的影响。应该指出,原料中少量成分的含量及组成也因原料的种类、部位及产地的不同而异。

原料中的少量物质,一般包括部分无机盐、糖类、植物碱、单宁、色素、黏液、淀粉、果胶质、脂肪、脂肪酸、树脂、树脂酸、萜烯、酚类物质、甾醇、蜡、香精油等。这些物质可以在不同的溶剂中溶解,各种物质的溶解程度是不相同的,因此可以采用不同溶剂而将其分离。采用不同的抽提方法时,膳食纤维原料的抽提物的组成见表 1-2。

水溶性物质包括原料中的部分无机盐类、糖、植物碱、单宁、色素及多糖类物质,如树胶、黏液、淀粉、果胶等成分。

稀碱除溶出原料中能被水溶出的物质外,还可溶出部分木素、聚戊糖、树脂酸、糖醛酸等,也可以在一定程度上检验原料变质、腐朽的程度。

有机溶剂通常包括乙醚、苯、丙酮、乙醇、苯-醇混合液、石油醚等;有机溶剂能溶出的物质包括脂肪、脂肪酸、树脂、树脂酸、植物甾醇、萜烯、酚类化合物、蜡、可溶性单宁、香精油、色素等。由于溶剂的性质不同和溶解能力不同,不同溶剂所溶出的物质的量及组分是不同的。

乙醚能溶解试样中的脂肪、脂肪酸、树脂、植物甾醇、蜡及不挥发的碳氢化合物,由于乙醚能和少量的水混合,故适于抽提含有水分的试样。但由于乙醚的沸点低,抽提过程易

来了不同部位(器官)中金属离子分布等的差异。各种植物纤维较嫩的部位基本上为薄壁细胞,除锰、铁外,其余大部分金属元素的含量均是幼嫩部分高于粗老部分。例如,蔗渣、大豆渣、竹笋渣等各种膳食纤维原料,经过加工、干燥、粉碎、筛分分级后,从筛分出来的产品看,随着筛级目数的增加,样品粒度的变细,纤维含量减少,薄壁细胞含量递增(过 80 目部分基本为薄壁细胞),样品中各种金属的含量也迅速递增。

当我们把原料的样品在 105 左右的温度下干燥后,进一步在 750 左右的高温炉中处理,原料中的碳、氢、氧、氮、硫等成分将以气态化合物的形式散失,剩余的东西即为灰分。灰分中包括多种呈氧化物状态的矿物质元素。当然,在燃烧过程中,也可能有一小部分矿物质元素通过气化或升华散失。原料中的灰分含量以及灰分中各种元素的比例,随原料的品种、植物器官的种类以及植物的老嫩程度等的不同而异,并且植物生长环境中的各种元素含量对植物的灰分含量及组成也会有影响。

一般来说,膳食纤维原料中的灰分含量较低,一般低于 1%,多数在 0.3% ~ 0.5% (对于绝干原料)。

4. 果胶质

果胶酸是聚半乳糖醛酸,它不溶于水,果胶酸中的羟基 80% 以上被甲基酯化,一部分被中和成盐,使其变成部分可溶于水的物质,称为果胶质。由于多价金属离子(如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等)与存在于果胶质中未酯化的羟基作用,将果胶质的链分子连接成网状结构,使之成为不溶于水的果胶质。

果胶质与其他聚糖,如聚阿拉伯糖、聚半乳糖和少量 L-鼠李糖等伴生在一起,形成一个复合体称为果胶物料。从双子叶植物初生壁分离出的果胶分子,其主链是 -D-半乳糖醛酸基通过 1,4-苷键连接而成的。聚半乳糖(聚合度,DP 为 33 ~ 50)和聚阿拉伯糖(DP 为 34 ~ 100)是以共价键与半乳糖醛酸主链相连接的;其中一些羟基可能被乙酰化。聚半乳糖醛酸主链会由于插入 1,2 连接的中性 L-鼠李糖基而被隔开,并使分子链发生转折(图 1-6)。鼠李糖基中 50% 在 C_4 上以共价键与其他糖基连接。

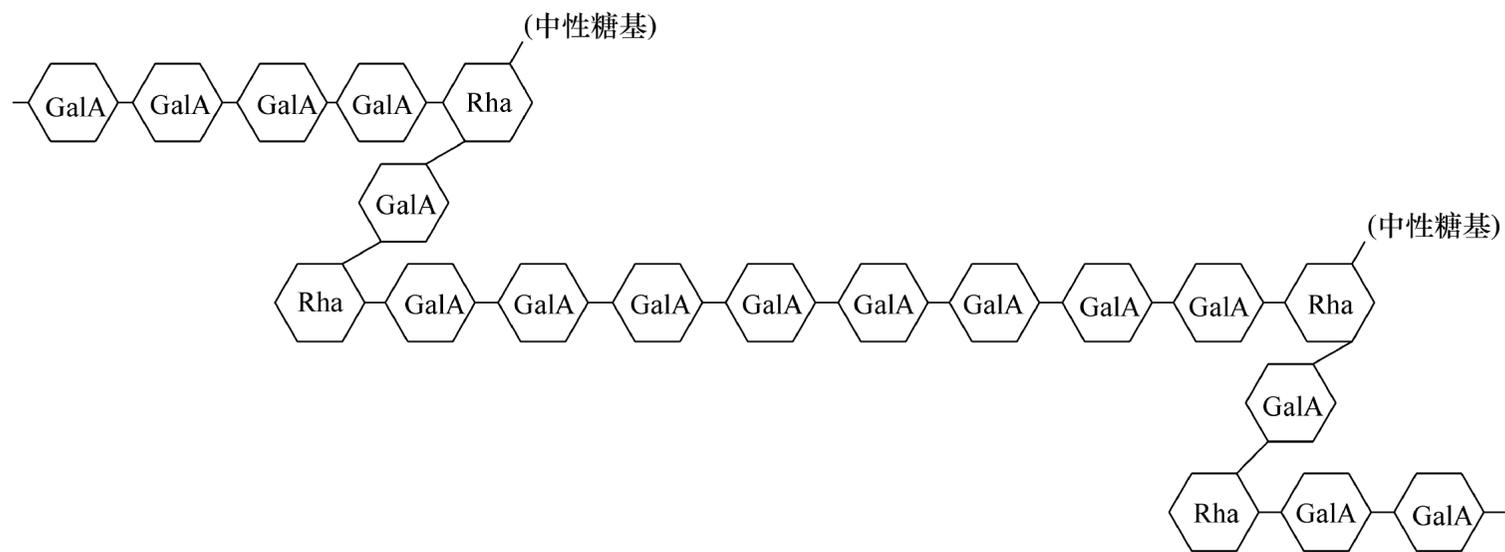


图 1-6 半乳糖醛酸果胶分子主链的转折情况

GalA 为半乳糖醛酸基; Rha 为鼠李糖基

果胶质的性质取决于支链糖基的特性、甲氧基含量的多少(即酯化度的高低)以及聚合度的高低。果胶质中甲氧基含量,一般为 9% ~ 12% (但也有很低的)。果胶质中未被酯化的羟基,与多价金属离子结合成盐,形成网状结构,降低了果胶质的溶解度。在聚合度相同时,果胶质中的甲氧基含量越高,生成盐的羟基越少,则果胶质在水中的溶解度就越大。果胶质的溶液是高黏度的,其聚合度越高,黏度也就越高。浓度为 5% 的高聚合度果胶溶液就能形成坚硬的凝胶。

果胶质主要存在于胞间层,是细胞间的黏结物质;果胶质也存在于细胞壁中,尤其是初生壁中。

果胶质物质中最重要的部分就是多糖胶质。多糖胶质按来源可以分为海藻类多糖胶质和植物类多糖胶质。

海藻类多糖胶质主要由琼脂和海藻酸盐等组成。琼脂是一种存在于红藻族(Rhodophyceae)中某些红紫色海藻细胞壁中的碳水化合物。琼脂由琼脂糖和琼脂胶两种化合物组成。其中,琼脂糖是具有胶凝作用的组分,而琼脂胶没有胶凝的功能。海藻酸盐是棕色海藻的主要多糖结构成分。

植物类多糖胶质主要由果胶、阿拉伯胶和瓜尔豆胶等组成。

果胶易溶于水,它们在谷物纤维中的含量少,但在豆类及果蔬纤维中的含量较高,柑橘类水果中的果胶含量尤其丰富。果胶分子结构中主要包含有 D-半乳糖醛酸,半乳糖醛酸上的羧基部分可以被甲基酯化,酯化的半乳糖醛酸与总半乳糖醛酸之比即为酯化度(degree of esterification, DE),对果胶的性质有很大的影响。果胶按 DE = 50% 为界可以分为高脂果胶(high methoxyl pectin, HMP)和低脂果胶(low methoxyl pectin, LMP)两大类。果胶能形成凝胶,对维持 DF 的结构有重要的作用。任何导致其水溶性和胶凝性改变的因素均有可能影响其生理功能的有效发挥。HMP 至少必须含可溶性糖类的固形物 55% 和 pH 接近于 3.0,才能形成凝胶。对于 LMP 来说,糖类固形物不是凝胶作用的一个因素,而钙才是实现凝胶所必需的。pH 会影响组织结构,但允许幅度为 1.0 ~ 5.0,较低的 pH 可以获得较坚硬的凝胶。果胶的化学结构如图 1-7 所示。

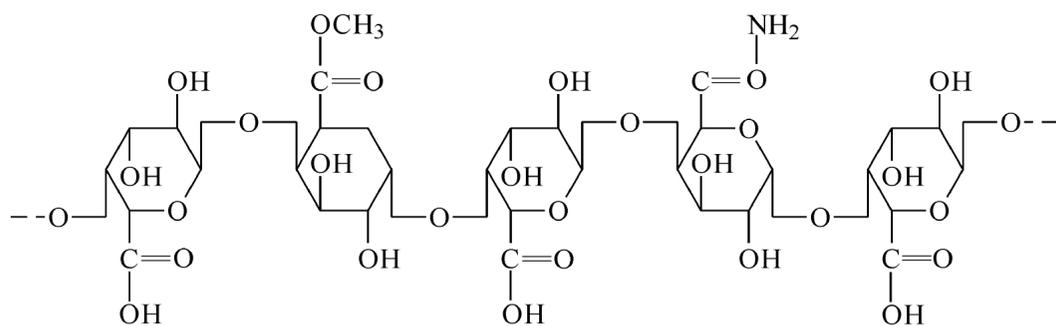


图 1-7 果胶的化学结构

阿拉伯胶是金合欢属(*Acacia*)中的各种树的树皮割流所得的渗出物。主要的品种来源于阿拉伯胶树(*A. senegal*)、华美相思树(*A. laetia*)和塞伊耳相思树(*A. seyal*),但商品阿拉伯胶中的 80% 来自于阿拉伯胶树。最主要的生产地域在非洲的苏丹、尼日利亚、塞内加尔和毛里塔尼亚。阿拉伯胶是一种阿拉伯半乳聚糖和糖蛋白的混合物,相对分子质量为 50 万 ~ 100 万。

阿拉伯胶可完全溶于热水或冷水中,形成清澈而胶黏的溶液,其独一无二的特点就是可以形成浓度超过 50% 的高浓度水溶液而仍具有流动性。阿拉伯胶这种能形成高浓度溶液的能力使得其在有大量不可溶物质存在的情况下仍具有优良的稳定性和乳化性。

瓜尔豆胶是由瓜尔豆 (*Cyamopsis tetragonoloba*) 种子的胚乳,经清理、干燥、磨粉制得。这种豆科植物主要生长在印度和巴基斯坦的干旱和半干旱地区。瓜尔豆胶可被人体大肠内的菌群完全发酵降解。瓜尔豆胶及其衍生物在 pH 为 3 或以下的酸性溶液中会导致降解,被水解的是糖苷键,结果会使黏度急速丧失。加热也可导致瓜尔豆胶降解。瓜尔豆胶溶液加热至 80~95 并持续一段时间,就会丧失黏度。

多糖胶质都具有亲水性,它们溶于水后会产生增稠和凝胶效果,作为食品添加剂可以赋予食品以增稠性、凝胶性、悬浮性、乳化性及成膜性。构成胶的基本单位是中性单糖、糖醛酸等,表 1-3 所示是其来源和结构。从自然中提取这类物质的方法之一是加入乙醇进行沉淀。

表 1-3 植物胶来源及结构

| 名称 | 来源 | 结构 |
|------|-----------|-----------------------------------------------------------------|
| 琼脂 | 红藻 | 由 $-(1,3)-D$ -半乳糖和 $-(1,4)-3,6$ -脱氢-L-半乳糖构成 |
| 海藻酸盐 | 棕色海藻 | 由 $-(1,4)-(1,4)$ -键连的 D-甘露糖醛酸和 L-古洛糖醛酸构成的线形多聚物 |
| 果胶 | 柑橘类水果和苹果渣 | 主链由 $5-(1,5)-D$ -半乳糖醛酸聚合而成,部分半乳糖醛酸基上的羧基被甲酯化 |
| 阿拉伯胶 | 金合欢属植物 | $-D$ -吡喃半乳糖以 $-(1,3)$ -构成主链,半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸以 $(1,6)$ -键相连成侧链 |
| 瓜尔豆胶 | 瓜尔豆种子的胚乳 | $-D$ -吡喃甘露糖以 $-(1,4)$ -构成,侧链是单分子的 $-D$ -半乳糖以 $(1,6)$ -键相连 |

三、各种食物中膳食纤维的含量

测量食物中膳食纤维各组分含量的方法很重要,方法不同会导致结果相差较大。目前,国内外采用的方法有无效碳水化合物分别定量法;酸性、中性洗涤纤维法;酶-NOT法和酶-重量法。赵忠林等用洗涤剂法测定北京市 34 种常见食物中膳食纤维素、半纤维素和木质素的含量,表 1-4、表 1-5、表 1-6 和表 1-7 中分别列出了蔬菜、水果、豆类、谷类中膳食纤维含量的测量结果。

表 1-4 蔬菜、水果可食部分(干样)膳食纤维的质量分数(单位:%)

| 名称 | 可食部分 | 中性洗涤剂纤维 | 酸性洗涤剂纤维 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|--------|-------|---------|---------|-------|------|------|
| 菠菜 | 67.8 | 21.38 | 15.18 | 12.22 | 6.20 | 1.97 |
| 白菜(油菜) | 87.1 | 18.21 | 14.70 | 12.62 | 3.51 | 1.34 |
| 芹菜(茎) | 70.71 | 8.20 | 15.23 | 13.80 | 2.97 | 1.27 |
| 青蒜 | 77.01 | 7.40 | 13.92 | 11.97 | 3.48 | 1.78 |
| 小葱 | 69.11 | 5.73 | 12.11 | 10.12 | 3.62 | 1.17 |

续表

| 名称 | 可食部分 | 中性洗涤剂纤维 | 酸性洗涤剂纤维 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|-----|-------|---------|---------|-------|------|------|
| 圆白菜 | 82.41 | 5.55 | 13.31 | 12.61 | 2.24 | 0.72 |
| 大白菜 | 73.41 | 4.53 | 11.71 | 10.55 | 2.82 | 1.02 |
| 蒜苗 | 87.7 | 14.38 | 12.82 | 10.84 | 1.56 | 1.97 |
| 韭菜 | 89.7 | 14.30 | 11.03 | 9.25 | 3.27 | 1.84 |
| 红萝卜 | 86.0 | 13.64 | 10.78 | 10.25 | 2.86 | 0.45 |
| 水萝卜 | 76.2 | 12.26 | 10.17 | 9.45 | 2.09 | 0.73 |
| 胡萝卜 | 88.7 | 11.66 | 9.48 | 8.75 | 2.18 | 0.56 |
| 藕 | 87.1 | 7.03 | 5.31 | 4.72 | 1.72 | 0.33 |
| 山药 | 81.7 | 4.05 | 2.63 | 2.49 | 1.42 | 0.08 |
| 土豆 | 85.9 | 3.46 | 3.02 | 2.86 | 0.44 | 0.05 |
| 鸭梨 | 85.4 | 11.05 | 5.37 | 4.11 | 5.68 | 1.25 |
| 苹果 | 84.1 | 7.45 | 4.89 | 4.51 | 2.56 | 0.43 |

表 1-5 蔬菜、水果可食部分(鲜样)中膳食纤维的质量分数(单位:%)

| 名称 | 中性洗涤剂纤维 | 酸性洗涤剂纤维 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|--------|---------|---------|------|------|-------|
| 菠菜 | 1.70 | 1.20 | 0.95 | 0.50 | 0.15 |
| 白菜(油菜) | 0.70 | 0.57 | 0.49 | 0.13 | 0.05 |
| 芹菜(茎) | 1.12 | 0.94 | 0.84 | 0.18 | 0.08 |
| 青蒜 | 1.61 | 1.29 | 1.11 | 0.32 | 0.17 |
| 小葱 | 0.93 | 0.72 | 0.59 | 0.21 | 0.07 |
| 圆白菜 | 1.25 | 1.06 | 1.00 | 0.16 | 0.06 |
| 大白菜 | 0.82 | 0.66 | 0.60 | 0.16 | 0.06 |
| 蒜苗 | 2.06 | 1.84 | 1.55 | 0.22 | 0.28 |
| 韭菜 | 1.25 | 0.96 | 0.81 | 0.29 | 0.16 |
| 红萝卜 | 1.94 | 1.55 | 1.47 | 0.39 | 0.97 |
| 水萝卜 | 0.91 | 0.76 | 0.70 | 0.15 | 0.05 |
| 胡萝卜 | 1.33 | 1.08 | 1.00 | 0.25 | 0.06 |
| 藕 | 1.55 | 1.15 | 1.03 | 0.40 | 0.07 |
| 山药 | 0.68 | 0.44 | 0.42 | 0.24 | <0.05 |
| 土豆 | 0.84 | 0.73 | 0.69 | 0.11 | <0.05 |
| 鸭梨 | 1.35 | 0.65 | 0.50 | 0.70 | 0.15 |
| 苹果 | 0.98 | 0.64 | 0.59 | 0.32 | 0.06 |

表 1-6 干豆类可食部分中膳食纤维的质量分数(单位:%)

| 名称 | 中性洗涤剂纤维 | 酸性洗涤剂纤维 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|-----|---------|---------|------|------|------|
| 青豆 | 10.43 | 6.76 | 5.71 | 3.67 | 0.77 |
| 黄豆 | 10.03 | 6.82 | 5.57 | 3.21 | 1.17 |
| 花芸豆 | 8.94 | 7.00 | 6.39 | 1.94 | 0.52 |
| 赤小豆 | 8.41 | 7.34 | 6.81 | 1.07 | 0.18 |
| 白芸豆 | 7.81 | 5.16 | 5.04 | 2.65 | 0.08 |
| 绿豆 | 7.16 | 5.40 | 5.11 | 1.76 | 0.36 |

表 1-7 谷类可食部分中膳食纤维的质量分数(单位:%)

| 名称 | 中性洗涤剂纤维 | 酸性洗涤剂纤维 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|-----|---------|---------|------|------|-------|
| 全麦粉 | 9.70 | 3.41 | 2.32 | 6.65 | 0.75 |
| 玉米 | 8.43 | 3.74 | 2.98 | 4.69 | 0.68 |
| 玉米面 | 4.50 | 2.05 | 1.53 | 2.45 | 0.52 |
| 标准面 | 2.64 | 0.83 | 0.59 | 1.81 | 0.18 |
| 糙米 | 2.37 | 10.40 | 0.68 | 1.33 | 0.34 |
| 小米 | 1.54 | 0.70 | 0.19 | 0.84 | 0.18 |
| 高粱米 | 1.19 | 0.57 | 0.50 | 0.62 | 0.07 |
| 籼米 | 0.70 | 0.34 | 0.25 | 0.36 | <0.05 |
| 糯米 | 0.49 | 0.21 | 0.20 | 0.28 | <0.05 |
| 富强粉 | 0.46 | 0.32 | 0.22 | 0.14 | 0.06 |
| 粳米 | 0.24 | 0.19 | 0.19 | 0.05 | <0.05 |

从表 1-4 ~ 表 1-7 中的数据可以看出,干样的膳食纤维含量与蔬菜的种类有关,嫩茎、叶、薹、花类中膳食纤维的含量高,含淀粉较高的根茎类则低,其他根茎类居中。这种规律不存在于鲜样中。各种蔬菜、水果及谷类膳食纤维中各成分的相对含量见表 1-8、表 1-9 和表 1-10。

表 1-8 蔬菜、水果膳食纤维各成分的相对含量

| 样品 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|-------|-------|-------|-------|
| 土豆 | 82.66 | 12.72 | — |
| 圆白菜 | 81.09 | 14.04 | 4.63 |
| 水萝卜 | 77.08 | 17.05 | 5.95 |
| 芹菜(茎) | 75.82 | 16.32 | 6.98 |
| 蒜苗 | 75.38 | 10.85 | 13.70 |
| 红萝卜 | 75.15 | 20.97 | 3.30 |
| 胡萝卜 | 75.04 | 18.70 | 4.80 |

续表

| 样品 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|--------|-------|-------|-------|
| 大白菜 | 72.61 | 19.41 | 7.02 |
| 白菜(油菜) | 69.30 | 19.28 | 7.36 |
| 青蒜 | 68.79 | 20.00 | 10.23 |
| 藕 | 67.14 | 24.47 | 4.69 |
| 韭菜 | 64.68 | 22.87 | 12.87 |
| 小葱 | 64.34 | 23.01 | 7.44 |
| 山药 | 61.48 | 35.06 | 1.98 |
| 梗菜 | 57.16 | 29.00 | 9.21 |
| 苹果 | 60.54 | 34.36 | 5.77 |
| 鸭梨 | 37.19 | 51.40 | 11.31 |

注:以中性洗涤剂纤维为100,下同。

表 1-9 干豆类膳食纤维各成分的相对含量

| 样品 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|-----|-------|-------|-------|
| 赤小豆 | 81.34 | 12.72 | 5.71 |
| 花芸豆 | 71.48 | 21.70 | 5.82 |
| 绿豆 | 71.37 | 24.58 | 5.03 |
| 白芸豆 | 64.53 | 33.93 | 1.02 |
| 黄豆 | 55.53 | 32.00 | 11.66 |
| 青豆 | 54.74 | 35.19 | 7.38 |

表 1-10 谷类膳食纤维各成分的相对含量

| 样品 | 纤维素 | 半纤维素 | 木质素 |
|-----|-------|-------|-------|
| 标准粉 | 22.35 | 68.56 | 6.83 |
| 全麦粉 | 23.93 | 67.63 | 7.73 |
| 糯米 | 40.82 | 57.14 | — |
| 糙米 | 28.69 | 56.12 | 14.34 |
| 玉米 | 35.35 | 55.63 | 8.07 |
| 小米 | 31.82 | 54.54 | 11.69 |
| 玉米面 | 34.00 | 54.44 | 7.56 |
| 高粱米 | 42.02 | 52.10 | 5.88 |
| 籼米 | 35.71 | 51.43 | — |
| 富强粉 | 47.83 | 30.43 | 13.04 |
| 粳米 | 79.11 | 20.83 | — |

从表 1-8 ~ 表 1-10 中的数据可以看出,各类食物中纤维素、半纤维素的含量是不同

的。其中,蔬菜、干豆类以纤维素为主,谷类绝大部分以半纤维素为主,除蒜苗外,所有样品中均以木质素含量为最低。

目前,欧美各国和日本普遍重视膳食纤维的补充,除直接食用含高膳食纤维的食物外,还注意在食品中添加膳食纤维。这种膳食纤维既可以从食物中提取木质纤维素,也可以从植物纤维中分离出纯纤维素。一般纤维素的聚合度较高,而采用化学或物理降解法得到的微晶纤维素是较为普遍采用的一种纤维素食品添加剂,微晶纤维素的聚合度为15~375,颗粒一般为20~80 μm,是一种可以自由流动的白色粉末。微晶纤维素作为食品添加剂已经取得了联合国粮农组织和世界卫生组织所属食品添加剂联合鉴定委员会的确认,并且也获得了中国食品添加剂委员会的批准。

第三节 膳食纤维的功能作用

一、膳食纤维的特性

虽然我国居民是以植物性食物为主食,一般应该不会缺乏膳食纤维。但是随着生活水平的提高,人们的饮食习惯已发生了很大的变化,在大中城市特别是经济比较发达的沿海城市,人们所吃的食物越来越精细,开始缺乏膳食纤维,因而引起了各种疾病,如便秘、糖尿病、肠癌、肥胖症等,特别是糖尿病和肥胖症的发病率呈逐年上升之势。这些疾病不仅在老年人群中很常见,在中青年人群中也在增加,更可怕的是在少年儿童中有所上升,这些情况应该引起我们足够的重视。虽然造成这种情况的原因是多方面的,但膳食纤维摄入量的不足是其中一个重要原因。

目前,在日本及欧美等发达国家,高纤维食品非常盛行。20世纪90年代初,在美国60亿美元的方便谷物食品市场中,高纤维食品就超过20亿美元;在日本,1992年纤维食品市场销售额高达200亿日元。我国的膳食纤维研究工作起步较晚,高膳食纤维食品至今仍然非常缺乏。膳食纤维之所以越来越受到人们的重视,是因为它具有较强的持水、持油能力,能螯合消化道中的胆固醇、卟啉和重金属,阻止致癌物的产生,并促进肠的蠕动,利于废物的排出,减少人体对有害物质的吸收。

1. 具有很高的持水性

膳食纤维的这一物化特性,使其具有吸水功能与预防肠道疾病的作用。水溶性膳食纤维持水性高于非水溶性膳食纤维。麦麸纤维可以吸收是本身质量2~3倍的水,而果胶则可以吸收其质量4~5倍的水。由此可见,富含膳食纤维的食物进入消化道后,在胃中吸水膨胀,并形成高黏度的溶胶或凝胶,这样将产生饱腹感,减少了进食量和热量的吸收。不仅对肥胖患者是很好的食品,而且增加了胃肠道的蠕动,从而抑制了营养物质在肠道的扩散速度,缩短了食物在肠道内的停滞时间,使食物不能充分被消化酶分解便继续向肠道下部移动,结果增加了排便速度和体积乃至排便次数,由此降低了肠内压,产生通便作用,减少了有害成分在肠道内的滞留时间。所以,膳食纤维可以用于预防便秘、肠憩室症、横膈膜症及痔疮等肠道疾病,降低了肠癌的发病率。

2. 对有机化合物有螯合作用

对有机化合物有螯合作用使膳食纤维具有吸附有机物的功能与预防心血管疾病的作用。因为膳食纤维具有吸附胆汁酸、胆固醇、变异原等有机分子的功能,所以膳食纤维对降低人体和动物血浆和肝脏组织胆固醇水平有着显著的作用。有实验证实,食用膳食纤维后,能显著抑制血清总胆固醇(TC)浓度的升高,明显增加粪便排出量。另外,膳食纤维能螯合胆固醇、降低胆酸及其盐类的合成与吸收,从而阻碍了中性脂肪和胆固醇的再吸收,也限制了胆酸的肝肠循环,进而加速了脂质物质的排泄,可以直接扼制和预防胆石症、高血脂、肥胖症、冠状动脉硬化等心血管系统的疾病。

3. 对阳离子有结合和交换能力

膳食纤维对阳离子有结合和交换能力,使它具有离子交换功能和降血压作用。据有关资料报道,膳食纤维尤其是酸性多糖类,具有较强的阳离子交换功能,膳食纤维可以与钙、锌、铜、铅等阳离子进行交换,且此类交换为可逆性的,并优先交换铅等有害离子。所以,吸附在膳食纤维上的有害离子可以随粪便排出,从而产生解毒作用。据医学研究表明,血液中的 Na^+ 、 K^+ 比值的大小直接影响血压的高低。当食用膳食纤维食品后,在进行离子交换时,改变了阳离子的瞬间浓度,起到了稀释作用,故可以对消化道pH、渗透压以及氧化还原电位产生影响,营造了一个理想的缓冲环境。更为重要的是,一些膳食纤维能与胃肠道中的 Na^+ 、 K^+ 进行交换,使尿中的 K^+ 和粪便中的 Na^+ 大量排出体外,血液中的 Na^+ 、 K^+ 比值随之降低,可以使血压降低。

4. 具有调解代谢功能与降低血糖作用

膳食纤维能抑制糖尿病患者餐后血糖浓度的急剧上升和日平均血糖浓度的升高,但对空腹患者效果不明显。此外,膳食纤维还能改善外周组织对胰岛素的敏感性,进一步增强降血糖作用。

5. 可改变肠道系统中微生物群系的组成

膳食纤维可改变肠道系统中微生物群系的组成,因而它具有改善肠内菌群功能及加速有毒物质的排泄和解毒作用。由非淀粉多糖组成的膳食纤维经过食道到达小肠后,由于它不被人体消化酶分解吸收而直接进入大肠,在大肠内繁殖有100~200种总量约为 1×10^8 个细菌,其中相当一部分是有益菌,在提高机体免疫力和抗病变方面有着显著的功效。如双歧杆菌,不仅能抑制腐生细菌生长,维持维生素的供应,而且对肝脏有保护作用。这些细菌能以部分膳食纤维为营养进行代谢,于是,这些被吸收的膳食纤维不仅为菌群提供了繁殖所需的能量,并产生大量的短链脂肪酸,它们也发挥着重要的生理功能。另外,那些不能让菌群发酵的膳食纤维也会在这时候吸水、膨胀、增加质量后,随同可发酵纤维的剩余物以粪便的形式排出体外,使粪便湿润、松软、量多、表面光滑,在大肠内停留的时间缩短,还能加快肠的蠕动,加快有毒物质的排泄速度,使毒素难以产生或难以停留在肠道中,从而减少因便秘而引起的一系列疾病的发生,对人体健康有着较为明显的有益作

用。可见,膳食纤维是维系人类身体健康所必不可少的一种营养素。

二、膳食纤维的生理功能

1. 膳食纤维的生理功能

从膳食纤维的化学成分分析,根据其糖的含量,它好像没有任何生理学作用。然而,膳食纤维对人体健康有着很重要的生理效应,这已经被国内外大量研究与流行病学调查结果所证实。膳食纤维是一些疾病的防护因子,对于依赖胰岛素的糖尿病患者有良好的治疗效果,可以减少葡萄糖的吸收,减缓淀粉的水解,对血清胆固醇、高血脂、冠心病、高血压等均有良好的预防作用。总之,膳食纤维具有许多生理功能。

(1) 控制体重

膳食纤维以在大肠内发酵的方式代谢,提供的能量低于普通碳水化合物,它具有较强的吸水功能和膨胀功能,在食物中吸水膨胀并形成高黏度的溶胶或凝胶,容易产生饱腹感。膳食纤维能抑止进食,降低人体对淀粉、蛋白质和脂肪的吸收,减少食物的消化率,减慢了胃排空时间。

(2) 防治便秘

长期便秘对人体危害很大,大量毒性物质在人体内积聚,如果超出肝脏的解毒能力,就会引起直肠脱垂、乙状结肠扭转、肠梗阻、尿潴留等并发症,产生口苦、口臭、恶心、腹痛、腹胀等不适感。膳食纤维能在肠道内促进肠壁的有效蠕动,使肠的内容物迅速通过肠道并排出体外,减少了食物在肠道中的停留时间。同时,膳食纤维在大肠内经过细菌发酵,可以直接增加纤维中所含的水分,大便变软变稀,从而起到了通便作用。

(3) 防治结肠癌

结肠中的一些腐生菌能产生致癌物质,而肠道中的一些有益微生物能够利用膳食纤维产生短链脂肪酸,这类脂肪酸特别是乙酸能抑制腐生菌的生长。胆汁中的胆酸和鹅胆酸可以被细菌代谢为次生胆汁酸——石胆酸和脱氧胆酸,两者都是致癌剂的突变剂。膳食纤维能束缚胆酸和次生胆汁酸,将其排出体外,因此可以大大降低结肠中次生胆汁酸的含量。膳食纤维能促进肠道的蠕动,增加粪便体积,缩短排空时间,从而减少致癌物与结肠的接触机会。膳食纤维还能为肠道的有益微生物分解产生丁酸,而丁酸能抑制肿瘤细胞的生长增殖,诱导肿瘤细胞向正常细胞转化,并控制致癌基因的表达。

(4) 防治糖尿病、高血压、心脏病和动脉硬化

在脂质代谢过程中,膳食纤维可以通过某种作用,抑制或延缓胆固醇与甘油三酯(即三酰甘油)在淋巴中的吸收,从而维持体内血脂和脂蛋白代谢的正常进行。能降低血清和肝中的胆固醇,从而防治高血压、心脏病和动脉硬化。能延缓糖分的吸收,抑制血糖生成和胰岛素的上升,而且能改善末梢神经组织对胰岛素的要求量,使胰岛素的分泌下降,从而达到调节糖尿病患者的血糖水平的目的。膳食纤维对阳离子的强结合力,使无机盐在肠道中的吸收受阻,如藻酸具有离子交换能力,能吸收钠离子并随粪便排出体外,从而起到降低血压的作用。

(5) 清除外源有害物质

膳食纤维对矿物质的束缚吸附作用的研究一直是食品工作者所关注的研究领域之

一。近来,大量的研究表明,膳食纤维是靠自身的某些基团与矿物质相互作用的。一些环境污染物质摄入人体后,膳食纤维能将其清除,目前已经报道的有 NO^{2-} 和镉。最近采用离体试验发现,膳食纤维对汞、铅、镉和高浓度的铜、锌都具有清除能力,可以使它们的浓度由中毒水平达到安全水平。最新的科学研究表明,女性容颜衰老的一个重要原因是由肠源性毒素进入了血液引起的,这些肠源性毒素多数是由于大肠杆菌分解食物中的某些成分造成,被称为美容大敌。膳食纤维具有超强吸附毒素和水分的功能,帮助人体每天正常代谢杂质和废物,保持肠胃干净清新,从而可以改善上火、口臭、面部暗疮、青春痘、皮肤粗糙、色素沉淀等“面子问题”。可预见,膳食纤维将成为时尚女性的首选产品。

(6) 其他生理功能

近年来,随着研究工作的深入和临床医学的调查发现,膳食纤维的缺乏还与阑尾炎、间歇性疝、膀胱结石等疾病的发病率和发病程度有很大关系。除上述功能外,膳食纤维由于能减少体内某些激素,因而能防治乳腺癌、子宫癌和前列腺癌。据推测,某些膳食纤维具有抗氧化能力,能延缓人体衰老。

可溶性和不溶性膳食纤维的各种性能比较见表 1-11。

表 1-11 可溶性和不溶性膳食纤维在生理作用方面的差别

| 生理作用 | IDF | SDF | 生理作用 | IDF | SDF |
|------------|------|-----|-------|-------|------|
| 咀嚼时间 | 延长 | 缩短 | 肠黏性物质 | 偶有增加 | 增加 |
| 胃内滞留时间 | 略有延长 | 延长 | 大便量 | 增加 | 关系不大 |
| 对肠内 pH 的变化 | 无 | 降低 | 血清胆固醇 | 不变 | 下降 |
| 与胆汁酸的结合 | 结合 | 不结合 | 食后血糖值 | 不变 | 抑制上升 |
| 可发酵性 | 极弱 | 较高 | 对大肠癌 | 有预防作用 | 不明显 |

2. 影响膳食纤维生理功能的因素

(1) 影响膳食纤维生理功能的内在因素

1) 膳食纤维的发酵。非淀粉多糖组成的膳食纤维不被人体消化酶作用而直接进入大肠。大肠内有 100~200 种总量为 1×10^8 个细菌繁殖,其中相当一部分为有益菌。这些细菌能以部分膳食纤维为营养进行代谢,产生大量短链脂肪酸。另外,不被发酵的膳食纤维也会在这时吸水、膨胀、增重后,随同可发酵纤维的剩余物以粪便的形式排出体外。发酵时产生的短链脂肪酸是膳食纤维生理功能发挥的重要物质,所以,膳食纤维能否被菌群发酵是其发挥生理功能的关键。尽管不能发酵的纤维同样有着不可忽略的生理功能,但比起可发酵纤维产生的生理功能来说还是次要的。

2) 组成膳食纤维的多糖的化学结构组成。组成膳食纤维的非淀粉多糖主要由单糖(戊糖和己糖)和糖醛酸(葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸)组成。对于一个给定的纤维类型,构成其多糖的单糖和醛酸类型、数量及成键方式等结构特性在很大程度上决定了该纤维能否被菌群发酵。如通过 β -葡萄糖苷键组成的纤维素、由戊糖阿拉伯糖和木糖构成的某些半纤维素很难被发酵,而醛酸在大肠内容易被菌群发酵。戊糖组分含量的多少可能会成

为鉴别纤维源中非发酵纤维质量的一个重要因素。可以肯定,非淀粉多糖的化学结构是影响膳食纤维生理功能发挥的重要因素。

3) 膳食纤维的溶解性。溶解性是影响膳食纤维生理功能发挥的重要因素之一。水溶性纤维对于抑制血糖升高、降低血清胆固醇等很可能有密切联系;它还可能具有预防结肠癌、便秘及减肥等生理功效。水溶性纤维(果胶、植物储存多糖和树胶等)在大肠微环境中能很好发酵,水不溶性纤维(纤维素和木质素等)在大肠内就难以发酵。溶解性可能有利于膳食纤维与大肠菌群的直接接触,从而在很大程度上促进了纤维的发酵。

4) 植物的细胞形态。已知水溶性纤维是细胞壁内的储存物质和分泌物,水不溶性纤维则是细胞壁的组成成分。这样,植物细胞外层的不溶性细胞的牢固包围限制了内层水溶性纤维最大限度地发酵。同时,细胞壁组分还与壁内可发酵纤维组分作用,将联结在壁上的可发酵纤维一起随粪便排泄出来,故影响了膳食纤维生理功能的发挥。因此,植物食品的细胞形态是影响膳食纤维生理功能的另一个内在因素。若先将植物食品碾磨或选用适当方式提取出细胞壁组分,就可以增加该植物食用纤维的发酵性,提高其生理功能。

5) 木质素。木质素是苯基丙烷的聚合物,也是植物细胞壁结构的组成成分,在强酸、强碱中不易消化,能与胆汁盐和其他有机物结合。据报道,木质素是通过共价键连接在细胞植物多糖上。有研究发现,玉米、麸皮的发酵率分别为 14% 和 30%,而果蔬的发酵率为 50% ~ 70%。由此可见,木质素是影响谷物类植物多糖发酵率下降的一个较重要因素。在纤维摄入前,若能采用恰当的方式将木质素除去,就会提高膳食纤维的生理功效。

(2) 影响膳食纤维生理功能的外在因素

1) 食品的加工工艺。有资料报道,反复地用水浸泡冲洗和频繁的热处理会明显减少纤维最终产品的持水力与膨胀力,影响其生理功能的正常发挥。因为膳食纤维在增加饱腹感预防肥胖症、增加粪便排出量预防便秘等方面的作用与其持水力、膨胀力有密切关系,持水力和膨胀力的下降会影响纤维在这方面功能的发挥。另外,高温短时挤压处理会对纤维的功能特性产生良好影响。有资料报道,小麦与大豆纤维经过挤压处理后,由于高温、高剪切挤压力的作用,不溶性的大分子纤维断裂,转变成较小分子的可溶性组分,从而就可以增加产品的持水力与膨胀力。

2) 食品中的某些化学成分。植物食品中有许多化学成分与非淀粉多糖相互作用,影响膳食纤维的发酵性能。研究报道,酚酸尤其是肉桂酸、阿魏酸和 -香豆酸与细胞壁内的纤维素键连,限制了与其相连的可发酵性多糖与大肠菌群的接触。

3) 食品中的其他营养素。淀粉、脂肪、蛋白质这三大营养素对纤维的功能性也有影响。虽然对此方面有许多报道,但都缺乏足够的说服力。脂肪摄入量的增加与膳食纤维摄入量的减少密切相关,如未脱脂燕麦经脱脂处理后给受试者食用,膳食纤维的效果明显提高,说明脂肪的摄入降低了膳食纤维的生理功能。

4) 消化道的 pH。膳食纤维对重金属离子具有一定的束缚作用,此作用的效应是将有害金属排出体外。在胃中低 pH(pH=2)的条件下对金属离子清除很不彻底,当 pH 升至肠液的 pH 时,膳食纤维可以将重金属离子降低到最低量。中性条件下,膳食纤维对重金属离子 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 的束缚作用比在酸性条件下更大。

影响膳食纤维生理功能的因素很多,其机理十分复杂。所以,在开发生产纤维食品

时,应该根据国情选择膳食纤维源,科学地选择提取加工方式,根据人群的不同,适当调整水可溶与水不溶纤维的比例,以产生生理效应的最适膳食纤维量,提高产品的食用价值。

三、膳食纤维在人体中的消化作用

有人认为,膳食纤维仅仅是一种食品的填充料,在消化道内通过时,它既不能被消化也不能被人体利用,最后形成渣滓排出体外。但研究结果证明,膳食纤维是膳食的重要组成部分,在肠道内能被分解,与人体的营养和某些疾病有着密切关系。纤维素和非纤维多糖在人体内的消化情况见表 1-12 和表 1-13。

表 1-12 纤维素在人体内的消化率

| 受实验者 | 来源 | 摄取量/ (g·d ⁻¹) | 消化率(变动范围)/ % | 实验者 | 实验年份 |
|------------|------------------|---------------------------|--------------|-------------|------|
| 3 名青年人(男) | 小麦麸皮 | 6.9 | 29(24 ~ 33) | Williams 等 | 1936 |
| | 胡萝卜 | 8.7 | 67(62 ~ 72) | | |
| | 豌豆 | 9.6 | 45(40 ~ 49) | | |
| | 圆白菜(洋白菜) | 9.1 | 55(43 ~ 61) | | |
| | 纤维素粉 | 10.1 | 7(0 ~ 11) | | |
| 18 名小孩 | 混合食物(纤维素 + 半纤维素) | 4 ~ 6 | 71(54 ~ 85) | Hummel 等 | 1943 |
| 6 名青年人(男) | 全部麸皮 | 10 ~ 19 | (0 ~ 6) | Hoppert 等 | 1945 |
| | 莴苣 | 5.6 | 29 | | |
| | 圆白菜 | 4.1 | 42 | | |
| | 芹菜 | 8.0 | 29 | | |
| | 橘 | 7.5 | 24 | | |
| | 苹果 | 10.4 | 57 | | |
| 12 名青年人(男) | 混合食物 | 8.0 | 15(-7 ~ 29) | Southgate 等 | 1970 |
| 14 名青年人(女) | 混合食物 | 5.2 | 26(6 ~ 40) | | |
| 11 名老年人(男) | 混合食物 | 7.9 | 44(21 ~ 59) | | |
| 12 名老年人(女) | 混合食物 | 5.9 | 26(-9 ~ 51) | | |
| 16 名成年人(男) | 混合食物 | 8.5 | 43(15 ~ 87) | | |
| 8 名青年人(男) | 小麦麸皮粗糙的 | 2.7 | 6 | | |
| | 小麦麸皮精细的 | 2.7 | 23 | | |
| 24 名青年人(男) | Solka Floc | — | 20 | Van Scest | 1978 |
| | 圆白菜(洋白菜) | — | 81 | | |
| 14 名成年人(男) | 混合食物 + 麸皮 | 10.5 | 74 | Farrell 等 | 1979 |
| | | 18.7 | 63 | | |
| 4 名成年人(男) | 混合食物 | 6.1 | 82 | Cummings 等 | 1979 |
| 4 名成年人(男) | 混合食物 | 4.9 | 73(62 ~ 81) | Prynne 等 | 1979 |