

# 膳食纤维

谢碧霞 李安平 等 编著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

## 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

I. 膳… II. ①谢…②李… III. 膳食-纤维-基本知识 IV. 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 吴伶俐 / 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 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 7 月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—1 000 字数: 366 000

定价: 60.00 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状况有加剧的趋势。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,能螯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:①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;②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;③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;④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

<b>第一章 膳食纤维概述</b> .....	(1)
<b>第一节 膳食纤维</b> .....	(1)
一、膳食纤维的定义 .....	(1)
二、膳食纤维与粗纤维的区别 .....	(4)
<b>第二节 膳食纤维的分类和主要化学组成成分</b> .....	(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)
<b>第三节 膳食纤维的功能作用</b> .....	(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)
<b>第四节 膳食纤维的研究现状及发展趋势</b> .....	(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)
<b>第二章 膳食纤维的分析检测</b> .....	(33)
<b>第一节 膳食纤维的分析原理</b> .....	(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)
<b>第二节 膳食纤维分析检测方法</b> .....	(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)
<b>第三章 膳食纤维的制备</b>	(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)
<b>第四章 膳食纤维功能评价</b>	(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	Prosky 开始对膳食纤维概念及方法一致的看法进行总结
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	Prosky 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,Proskey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Proskey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Prosky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: $\beta$ -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。

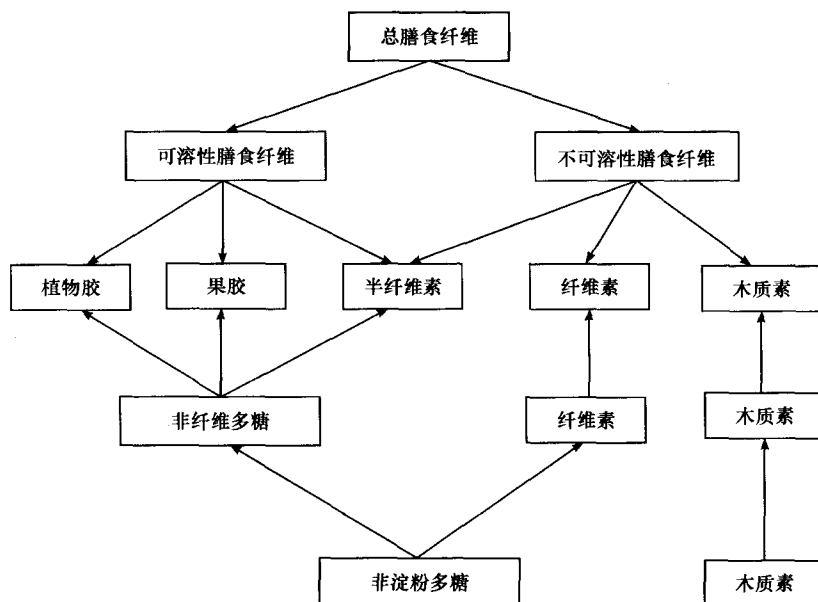


图 1-1 植物性膳食纤维的分类组成

#### 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。

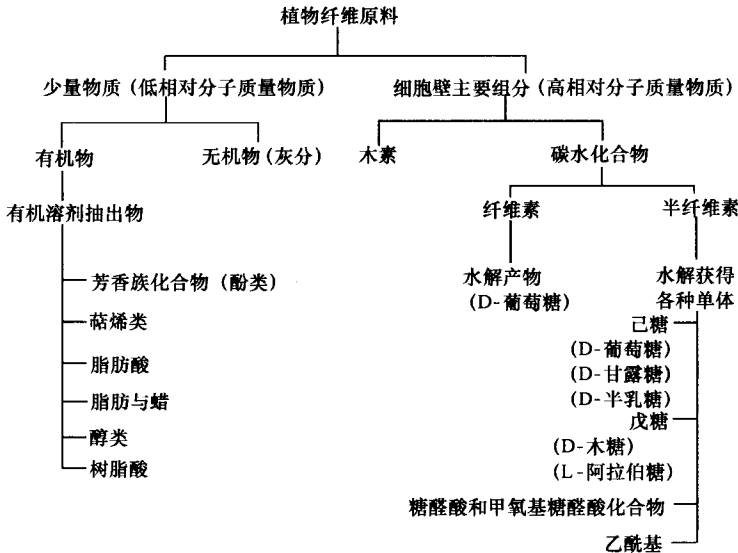


图 1-2 原料的化学组成成分

### 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  $\beta$ -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  $\beta$ -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。

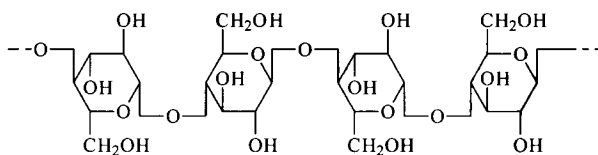


图 1-3 CEL 的化学结构

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。

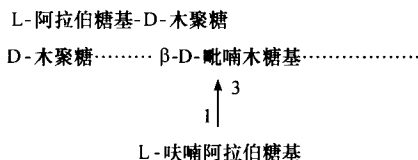


图 1-4 HC 的化学结构

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β-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。β-(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。

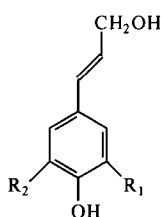


图 1-5 木素的化学结构

## (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。

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,如树脂、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