

郑建仙 著

功能性膳食纤维



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境·能源出版中心

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

功能性膳食纤维/郑建仙著. —北京: 化学工业出版社, 2005.5

ISBN 7-5025-7026-8

I. 功… II. 郑… III. 膳食-纤维-疗效食品
IV. TS218

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 042715 号

国家自然科学基金资助项目

功能性膳食纤维

郑建仙 著

责任编辑: 刘俊之

文字编辑: 丁建华

责任校对: 凌亚男

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 13¼ 字数 227 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7026-8

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

人类的文明进程就是战胜疾病、灾难甚至毁灭的过程。在工业革命后的100多年间，社会生产力得以空前的解放，人类社会发生了天翻地覆的剧变。人们享受着现代文明带来的富足和舒适。

然而，自20世纪50年代开始，高血脂、高血压、高血糖、肥胖、心脑血管疾病、恶性肿瘤、便秘等所谓的现代“文明病”开始袭击美国。心脑血管疾病、糖尿病、恶性肿瘤等成为美国人的头号杀手。欧洲和日本等发达资本主义国家的情况，也大致相同。

自从20世纪60年代Trowell首次列出现代“文明病”的特征，并提出膳食纤维在对抗“文明病”方面可能带来的重要作用以来，有关膳食纤维的研究和开发受到世界各国的高度重视。临床医学界、营养学界和食品科学界，对此投入大量的精力进行研究。

科学研究业已证实，膳食纤维的缺乏与不足会引起高血脂、高血糖、肠癌、便秘……各种“文明病”。这个结论后来更科学地描述为：膳食中足够数量的膳食纤维，会保护机体免遭这些疾病的侵害。时至21世纪的今日，人们已不再把文明病的发展程度单一归因于膳食纤维的缺乏或不足，在引入高纤维食品的同时，还强调必须是低脂肪的，两者合二为一，就称为低能量食品(low-calorie foods)。

虽然我国是以植物性食物为主，普通居民一般不会缺乏膳食纤维。但改革开放20多年来，我国人民的膳食结构发生了巨大的变化，大中城市特别是沿海经济较发达的城市，已经出现膳食纤维不足甚至缺乏现象，加上脂肪、蔗糖和动物性食品摄入量的增加，肥胖、糖尿病、动脉硬化、冠心病、肠癌、便秘等疾病的发病率逐年增加，业已引起全社会的恐慌。虽然造成的原因是多方面的，但膳食纤维摄入量的不足，是其中一个非常重要的因素。

早在1993年2月9日，我国国务院颁发的《九十年代中国食物结构改革与发展纲要》就已指出：由于膳食不平衡或营养过剩而造成的文明病已在我国登陆，肥胖、高血压、糖尿病、心脑血管疾病和结肠癌等已成为危害我国人民健康的主要疾病。适时开展对功能性膳食纤维的研究与开发，具有十分深

远的社会意义和科学意义。

为此，国家计委“八五”攻关计划首次对“高品质膳食纤维的研究”立项资助，下达给时任无锡轻工业学院院长丁霄霖教授。从1990年起，作者在丁教授的指导下攻读博士学位，开始对膳食纤维和功能性食品进行系统的研究。之后，作者也先后主持了国家自然科学基金资助项目（29772009）、广东省自然科学基金、广东省重点科技攻关计划等多项项目，继续进行这方面深层次的研究与开发。

现在摆在读者面前的这本《功能性膳食纤维》，就是作者在膳食纤维领域研究的系统总结。这里面既有精深的理论探索，又有切实可行的实际应用。本书所有的数据和图表，除第四章及特别注明外，均系作者的研究结果，具有原始文献价值。特别需说明的是，书中第五章和第七章的典型配方和生产技术，均系作者的研究所得，真实可信，具有很强的实用性和可借鉴性。

本书的著成，得到丁霄霖教授的亲切关心和指导，得到化学工业出版社的鼎力支持，在此表示衷心的感谢！书中第三章第三节和第四章第五节，分别由袁尔东和杨程芳参加编写，在此表示真诚的感谢！

不妥之处，敬请来电：020-87112278 或 E-mail: fejxzhen@scut.edu.cn 批评指正，不胜万分感激！

郑建仙

2004年12月于华南理工大学

内 容 提 要

全书共七章。第一章简述膳食纤维的研究简史、物化性质、种类及与其他营养素的相互关系和膳食纤维在促进人体健康方面的积极作用。第二章以大豆膳食纤维为例，系统论述膳食纤维的分离、分级和化学结构鉴定以及大豆膳食纤维的风味分析。第三章探讨膳食纤维的多功能转化理论、多功能大豆纤维的生产技术和生理功效评价。第四章阐述菊粉、葡聚糖、抗性淀粉、壳聚糖和燕麦 β -葡聚糖等五种高品质膳食纤维。第五章举例说明膳食纤维的应用技术，包括高纤维的焙烤食品、早餐谷物食品、饮料、休闲食品的典型配方和生产技术。第六章讨论膳食纤维的分析技术。第七章详细介绍以膳食纤维为原料的瘦身谷物食品的开发实例，包括产品配方、生产工艺、产品说明书、安全毒理学评价和减肥功能学评价以及产品质量标准等。

本书可供食品科学、农产品加工、保健食品、医药卫生等领域科研、生产单位从业人员参考，对相关学科的院校师生也有重要的参考价值。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 膳食纤维的性质和种类	1
一、膳食纤维的研究简史	2
二、膳食纤维的化学组成与物化性质	4
三、膳食纤维的种类	9
四、膳食纤维与其他营养素的相互关系	11
第二节 膳食纤维的生理功效	14
一、无能量、防治肥胖	15
二、调节血糖水平、防治糖尿病	16
三、调节血脂水平、防治心血管疾病	17
四、调节肠道菌群	18
五、抑制有毒发酵产物、润肠通便、防治结肠癌	19
六、预防肠憩室和乳腺癌	22
第二章 膳食纤维的化学	24
第一节 大豆膳食纤维的分离	24
一、大豆膳食纤维的化学组成	24
二、大豆膳食纤维的分级	26
第二节 大豆膳食纤维化学结构的鉴定	28
一、中性果胶类物质的结构鉴定	28
二、酸性果胶类物质的结构鉴定	32
三、糖蛋白的结构鉴定	34
四、戊聚糖的结构鉴定	42
五、木糖葡聚糖的结构鉴定	47
六、木质素-多糖复合物的结构鉴定	53
七、分级残渣的结构鉴定	55
八、大豆膳食纤维的化学结构	56

第三节	大豆膳食纤维的风味分析	58
一、	风味化合物的抽提与浓缩	58
二、	色谱-质谱联机分析	59
三、	脱腥处理对风味的影响	62
四、	影响风味的重要化合物	63
第三章	多功能大豆纤维及其功效评价	64
第一节	膳食纤维的特性与大豆膳食纤维的多功能转化	64
一、	膳食纤维的组成及功能、工艺特性	64
二、	大豆膳食纤维的多功能转化	66
第二节	多功能大豆纤维的生产技术	68
一、	豆渣脱腥	68
二、	挤压蒸煮	70
三、	超微粉碎和微胶囊化	71
第三节	多功能大豆纤维的功效评价	72
一、	多功能大豆纤维润肠通便的功效评价	72
二、	多功能大豆纤维调节血脂的功效评价	73
三、	多功能大豆纤维调节血糖的功效评价	76
第四章	数种膳食纤维	78
第一节	菊粉	78
一、	菊粉的物化性质和生产技术	79
二、	菊粉的代谢	81
三、	菊粉的耐受性	83
四、	菊粉的推荐摄入量	86
第二节	葡聚糖	86
一、	葡聚糖的化学结构	87
二、	葡聚糖的物化性质	88
三、	葡聚糖的食用安全性	91
第三节	抗性淀粉	91
一、	抗性淀粉的性质	92
二、	抗性淀粉的影响因素	93
第四节	壳聚糖	95

一、壳聚糖的物化性质	96
二、壳聚糖的生产技术	98
三、壳聚糖的食用安全性	104
第五节 燕麦 β 葡聚糖	104
一、燕麦 β 葡聚糖的物化性质	105
二、燕麦 β 葡聚糖的生理功效	106
三、燕麦 β 葡聚糖的生产技术	109
四、燕麦 β 葡聚糖的食用安全性	111

第五章 膳食纤维的应用技术

第一节 多功能大豆纤维的应用研究	112
一、多功能大豆纤维的化学成分和物化性质	112
二、多功能大豆纤维对面团流变学特性的影响	114
三、多功能大豆纤维对面包焙烤品质的影响	117
四、多功能大豆纤维对面条烹煮品质的影响	120
五、多功能大豆纤维对饼干品质的影响	121
六、对多功能大豆纤维影响面制品品质的原因解释	122
第二节 高纤维烘烤食品的典型配方和生产技术	125
一、高纤维面包	126
二、高纤维饼干	130
三、高纤维糕点	135
第三节 高纤维早餐谷物食品的典型配方和生产技术	138
一、高纤维颗粒状早餐谷物食品	139
二、高纤维片状早餐谷物食品	139
三、高纤维膨化类早餐谷物食品	142
第四节 高纤维饮料的典型配方和生产技术	143
一、小麦麸皮饮料	144
二、含果皮的果蔬饮料	145
三、高纤维豆乳饮料	145
四、高纤维运动饮料	146
第五节 高纤维休闲食品的典型配方和生产技术	146
一、高纤维马铃薯片	147
二、高纤维膨化小食品	148

三、高纤维焙烤或油炸小食品	149
四、小麦麸皮小食品	151
五、香菇柄小食品	151
六、高纤维口香糖	152
第六章 膳食纤维的分析技术	153
第一节 膳食纤维的分析原理	153
一、洗涤剂法	153
二、酶分析法	155
第二节 AACC 推荐的膳食纤维分析方法	156
一、总膳食纤维含量分析法 (AACC32-07)	156
二、水溶与水不溶膳食纤维含量的快速分析法 (AACC32-06)	159
第三节 对 CNDF 分析方法的简化	161
一、简化 CNDF 法提取大豆膳食纤维	162
二、简化 CNDF 法对提取大豆膳食纤维纯净性与完整性的影响	163
三、简化 CNDF 法与原 CNDF 法的比较	165
第七章 以膳食纤维为原料开发瘦身功能性食品的典型范例 ...	166
第一节 产品配方、生产工艺和说明书	166
一、产品配方及依据	166
二、功效成分、含量及检验方法	168
三、生产工艺及简图	168
四、产品说明书	169
第二节 安全毒理学评价	170
一、急性毒性和三项遗传毒性试验	171
二、30d 喂养试验	175
第三节 减肥功能学评价	179
一、动物试验	179
二、人体试食试验	182
第四节 产品质量标准	185
附录 功效成分的检验方法	193
参考文献	198

膳食纤维，是一类崭新的食品配料和活性成分，在 20 世纪 80 年代其发展达到了顶峰。在国外，膳食纤维在食品工业中的应用已是一件很普遍的事。膳食纤维的生理功效是明确而肯定的，诸如预防便秘与结肠癌、调节血脂、调节血糖以及减肥等。膳食纤维的不足或缺乏，与现代“文明病”的发病率与发病程度有直接的关系。然而，由于膳食纤维化学成分的高度不专一性，并不是所有的膳食纤维都具备这些功效。

由普通膳食纤维向高品质膳食纤维转化，涉及到膳食纤维的多功能转化问题，它要用到多种高新技术。在我国，高品质膳食纤维的开发已成功进入产业化规模，可望在减肥、抗病等多方面发挥重要作用。

第一节 膳食纤维的性质和种类

1972 年 H. C. Trowell 首次引入“膳食纤维”（dietary fiber）这一新名词，1976 年他将那些“不被人体消化吸收的多糖类碳水化合物与木质素”定义为“膳食纤维”。根据这个定义，出于分析上的方便，通常就将存在于膳食中的非淀粉类多糖与木质素部分称为膳食纤维。在某些情况下，也将那些不被人体所消化吸收的、在植物体内含量较少的成分，如糖蛋白、角质、蜡和多酚酯等，包括在广义的膳食纤维范围内。

膳食纤维与长期以来一直沿用的“粗纤维”(crude fiber)有本质的区别,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。

虽然膳食纤维在人体口腔、胃、小肠内不被消化吸收,但人体大肠内的某些微生物仍能降解它的部分组成成分。从这个意义上说,膳食纤维的净能量并不严格等于0。而且,膳食纤维被大肠内微生物降解后的某些成分被认为是其生理功能的一个起因。

一、膳食纤维的研究简史

尽管长期以来一直认为史前人主要摄取狩猎和搜寻得到的动物性食物,但近代考古学的研究表明,其食物中也包含有大量的高纤维植物性食物。通过对粪化石的分析认为,生活在美洲西部大盆地地区的印第安人的食物中含有25%的纤维。

约一万年,建立了最早期的农业社会,人们开始有意识地选择脂肪和淀粉含量高、纤维含量低的植物。尽管如此,饥饿的人还是经常摄入那些没除去多纤维外壳、种皮的谷物或豆类植物。后来,出现了谷物粗加工工艺,食物朝着精制的方向发展。埃及人最早使用石头磨制食物,再用草编织的筛网筛出面粉制成早期的面团食品。

在中世纪,有很多年欧洲的谷物持续低产,必须用橡籽、树皮、蚕豆、豌豆和坚果等磨成粉混入谷物粉中,此外日常膳食中的蔬菜含量也逐渐增加。但后来随着谷物产量的提高,这些粗制食品又逐渐被抛弃。在这之后的很长一段时间内,人们都是努力从谷物中尽可能干净地除去所含的纤维组分。至19世纪50年代,由于出现了代替笨重石磨的钢磨,同时出现了更精细、更有效的筛理设备,使生产几乎不含麸皮的精制面粉的目标得以实现。

第一次世界大战期间,部分国家如英国和丹麦政府,强制使用高出粉率的小麦粉,以最大限度地利用有限的粮食,可战后又恢复精制面粉的生产。第二次世界大战期间,由于物资短缺,麸皮含量较多的黑面包也被强制供应,但战后这种有益的实践又不时兴了。

其实很早以来,就有人对富含纤维质的粗食品(roughage)与便秘间的关系问题进行了持久的争论,普遍认为粗面粉具有轻泻作用。公元9世纪波斯物理学家Hakim这样记载:“小麦是一种有用的谷物,粗面粉(称为chuppatis)

的麸皮含量较多，它在人体消化道内的蠕动速度较快，但营养价值要差些，麸皮含量很少的精面粉所需的排泄时间较长。”

美国人 Graham 于 1839 年和英国人 Allinson 于 1889 年均指出精制碳水化合物的危害性。Allinson 认为假如食物中完全不含纤维或麸皮不但易引起便秘，而且还会引起痔疮、静脉曲张及迷走神经痛等疾病，为此他提倡食用富含麸皮的面包。可是由于他未能解释这其中所包含的原因，当时人们无法接受这一观点，他因此而被赶出所从事的医学界。然而，今天以他的姓命名的英国 Allinson 面粉厂就是为了纪念这位先驱者在这方面的杰出贡献。

之后，Robert McCarrison 博士以敏锐的眼光观察到生活在印第安北部的 Hunza 部落人要比生活在南部的人健康得多；他认为这是由于北方人摄取粗面粉、豆类食物和新鲜水果较多，而南方人食用大米较多。显然，Robert 并没有将之专一归因于两者膳食中纤维含量的不同。1923 年 J. H. Kellogg 博士论述了小麦麸皮的作用。在这之后的 17 年内，至少有 35 篇论文论述了麸皮对人体的治疗价值。

1936 年，英国医生 E. M. Dimmock 通过自己艰辛的实验研究得出结论，认为小麦麸皮对治疗便秘和痔疮是有效的，可是这一工作未能引起人们的兴趣。直到 30 多年后，Burkitt 的流行病学研究证实了精制碳水化合物的危害性后，Dimmock 的研究价值才得以肯定。

20 世纪 40 年代后期，Walker 深入研究了小麦麸皮对人体健康的巨大影响。虽然他的第一篇论文只涉及到纤维对人体肠道健康的影响，但其后续的研究几乎涉及到该领域的所有方面。

在膳食纤维研究方面，T. L. Cleave 的贡献很值得一提。他是最早观察到西方发达国家最常见疾病在不发达国家很少存在这一现象的观察者之一，并认为与这些常见疾病有关的一个重要因素就是精制碳水化合物，并且第一次比较有理有据地提出改变这种易引起疾病的不合理食物结构的建议。由于 Cleave 的重要发现，人们开始把对糖的重视逐渐转移到纤维上而认为糖与纤维是一样重要的。1960 年，H. C. Trowell 博士第一次列出西方文明病的特征并论证了富含膳食纤维食品的重要性。显然，Cleave 和 Trowell 在各自不同的研究环境中得出相似的结论。

N. S. Painter 传播了 20 世纪 60 年代这些开拓者的研究成果，明确指出纤维的缺乏与不足是心血管疾病产生的主要原因之一；这就完全改变了当时绝大多数人的流行看法。

在这之后，美国的 Van Soest 和英国的 Southgate 首次提出分析纤维的方

法并将纤维分级成几种不同的组分，同时对其在各种食物中的含量作了估算与测定，这两种分析法经修正后一直沿用至今。在很长一段时间内，由于沿用过时的易令人误解的“粗纤维”（crude fiber）这一概念，极大妨碍了进一步研究的开展，也由于不甚准确而受到批评，1972年 Trowell 首次引入“膳食纤维”（dietary fiber）这一更好的措辞。

早期的研究作业已表明，膳食纤维的缺乏与不足会引起各种疾病。这个结论现在这样表述：膳食中足够数量的膳食纤维会保护人体免遭这些疾病。现在，已不把西方文明病的发病程度专一归因于某个单独的食物成分，所以在引入高纤维食品时必须指出它同时是低脂肪的。

用来解释膳食纤维能够保护人体免遭各种疾病侵害的理论学说也逐渐为人们所接受，便秘的预防保护理论第一个被接受，接下去是心血管疾病、痔疮、糖尿病、结肠癌和肥胖症等，有人还警告说，缺乏纤维的食物可能会引起间歇式疝的出现。虽然有很多实例表明高膳食纤维食物会保护人体免受阑尾炎、胆结石、静脉曲张和局部贫血型心脏病的侵害，但这方面的热心研究者较少。

近二三十年来，由于科研人员的不断努力、新闻媒介的尽力宣传及在大量的事实面前，膳食纤维的重要生理功效在更大范围内为人们所广泛接受。回想这一颇具戏剧性的转变过程，究其原因就在于以前缺乏对膳食纤维本质与功效的认识。人们经常会除去那些不甚了解的东西，如目前对扁桃体和阑尾的看法也是如此。

二、膳食纤维的化学组成与物化性质

（一）膳食纤维的化学组成

膳食纤维的化学组成包括 3 大类：

- ① 纤维状碳水化合物（纤维素）；
- ② 基质碳水化合物（果胶类物质、半纤维素等）；
- ③ 填充类化合物（木质素）。

其中，①、②构成细胞壁的初级成分，随着细胞的生长而生长；③为细胞壁的次级成分，通常是死组织，没有生理活性。来源不同的膳食纤维，其化学组成的差异可能很大。

1. 纤维素

纤维素是 β -GlcP（吡喃葡萄糖）经 β (1 \rightarrow 4) 糖苷键连接而成的直链线性多糖，聚合度大约是数千，它是细胞壁的主要结构物质。在植物细胞壁中，由

于葡聚糖链内与链间强烈的氢键作用力，使得纤维素分子链呈规律性排列，形成结晶状的微纤维束（microfibril）结构单元。但这种结晶性结构并不是连续的，不同结晶结构间微纤维排列的规律性差异形成非结晶结构。非结晶结构内的氢键结合力较弱，易被溶剂破坏。纤维素的结晶区与非结晶区之间没有明确的界限，转变是逐渐的。不同来源的纤维素，其结晶程度也不相同。

通常所说的“非纤维素多糖”（noncellulosic polysaccharides）泛指果胶类物质、 β -葡聚糖和半纤维素等物质。

2. 半纤维素

半纤维素是植物细胞壁中除纤维素和木质素之外的另一类重要组分，由于总是与纤维素共同存在于植物细胞壁中而得名。但半纤维素的生成和化学结构与纤维素并没有关系，它是另一类植物多糖。另外，一些水溶性胶也属于半纤维素。

半纤维素的种类很多，它们由各种不同的单糖分子组成主链和支链，可根据主链分子中单糖种类的不同而分类。不同种类的半纤维素其水溶性也不同，有的可溶于水，但绝大部分都不溶于水。不同植物中半纤维素的种类、含量均不相同，其中组成谷物和豆类膳食纤维中的半纤维素有阿拉伯木聚糖、木糖葡聚糖、半乳糖甘露聚糖和 β （1 \rightarrow 3，1 \rightarrow 4）葡聚糖等数种。

阿拉伯木聚糖的主链由 β -Xylp（吡喃木糖）通过（1 \rightarrow 4）糖苷键连接而成，Xyl残基的2-C和3-C位上连有取代基，其中最主要的是单一的 α -Araf（呋喃阿拉伯糖），此外 α -GlcP及其4-O酯也比较常见。一般说来，主链上的取代基越少，分子越呈线性结构，则水溶性越差。阿拉伯木聚糖在小麦和大豆纤维中含量较多，其中小麦纤维中阿拉伯木聚糖主链Xyl残基上2-C和3-C位的取代机会相当。

木糖葡聚糖的主链结构由 β -GlcP通过（1 \rightarrow 4）糖苷键连接而成，6-C分支点连有Xylp，Xyl与Ara或Man等取代基。木糖葡聚糖是豆类纤维中最重要的一种（水）不溶性半纤维素，但在小麦或大麦纤维中并不存在。

半乳糖甘露聚糖的主链由 β -Manp通过（1 \rightarrow 4）糖苷键连接而成，6-C位置与Galp（吡喃半乳糖）取代基相连。它是豆类纤维中最重要的一种水溶性半纤维素，也是瓜尔胶、洋槐豆胶的化学组成。

β （1 \rightarrow 3，1 \rightarrow 4）葡聚糖是由（1 \rightarrow 3）或（1 \rightarrow 4）糖苷键连接而成的线性分子。根据两种糖苷键的相对含量不同，有水溶性与水不溶性两种。 β -葡聚糖在大麦和燕麦纤维中的含量较高，在黑麦、小麦和高粱等谷物纤维中也有少量存在。分析表明，大麦和燕麦中的水溶性 β -葡聚糖含有70% β （1 \rightarrow 4）糖苷键

和 30% β (1 \rightarrow 3) 糖苷键。

3. 果胶及果胶类物质

果胶主链是经 α (1 \rightarrow 4) 糖苷键连接而成的聚 GalA (半乳糖醛酸), 主链中连有 (1 \rightarrow 2) Rha (鼠李糖), 部分 GalA 经常被甲基酯化。

果胶类物质主要有阿拉伯聚糖、半乳聚糖和阿拉伯半乳聚糖等。阿拉伯聚糖的主链由 Araf 通过 (1 \rightarrow 5) 糖苷键连接而成, 其 2-C 或 3-C 位有时连有支链。半乳聚糖则是由 β -Galp 通过 (1 \rightarrow 4) 糖苷键连接而成的线性结构, 在此线性链 Galp 3-C 位上若连有 Ara 或其低度聚合物, 就成为阿拉伯半乳聚糖。

果胶或果胶类物质均能溶于水, 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。果胶能形成凝胶, 对维持膳食纤维的结构有重要的作用。任何可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。

4. 木质素

木质素是由松柏醇、芥子醇和对羟基肉桂醇 3 种单体组成的大分子化合物。天然存在的木质素大多与碳水化合物紧密结合在一起, 很难将之分离开来。木质素没有生理活性。

(二) 膳食纤维的物化特性

从膳食纤维的化学组成来看, 其分子链中各种单糖分子的结构并无独特之处。但由这些并不独特的单糖分子结合起来的大分子结构, 却赋予膳食纤维一些独特的物化特性, 从而直接影响膳食纤维的生理功能。

1. 高持水力

膳食纤维化学结构中含有许多亲水基团, 具有很强的持水力。不同品种膳食纤维, 其化学组成、结构及物理特性不同, 持水力也不同。源自初级细胞壁结构的膳食纤维, 其持水力普遍高于源自次级细胞壁结构的膳食纤维。对于含有带电基团的膳食纤维 (如含有羧基的果胶纤维和海藻纤维), 溶液 pH 值、离子浓度以及离子性质等因素都会对其持水力产生影响。溶液的介电常数因可能使纤维表面的带电特性发生变化, 从而影响到纤维的持水性。碾磨、干燥、加热、挤压等各种加工手段, 可能引起纤维基质物理特性的变化, 而影响其持水力。研究显示, 反复的水浸泡冲洗和频繁的热处理会明显减小纤维的持水力; 而高温、高剪切或挤压力的作用可使某些水不溶性的纤维大分子断裂, 形成较小分子的可溶性 (水溶性) 组分, 使其持水力增加。

测定方法不同, 膳食纤维持水力的具体数值也不相同。常用方法是使膳食纤维被水饱和后, 经离心、过滤等方法去除多余水分后再测定。但此法测

出的持水力与膳食纤维在人体肠道内的实际持水力有较大差别，因为膳食纤维在肠道内会被微生物部分发酵，从而对其持水能力产生影响。另一种方法是模拟膳食纤维在大肠中的生理环境，将膳食纤维在体外发酵后，将纤维残渣和微生物团块用渗透吸引法进行测定。虽然这种方法比较麻烦，但不失是一种比较有实际生理学意义的测定方法。根据这种方法测定的各种膳食纤维的持水力大小，结合其发酵能力的不同，即可基本确定其在增加粪便排出量方面的功效强弱。

膳食纤维的高持水力对大肠功能有重要影响，它有利于增加粪便的含水量及体积，促进粪便的排泄。膳食纤维的持水力大小及其束缚水的存在形式均会影响生理功能的发挥，但似乎后者的影响更大些。

2. 吸附作用

膳食纤维分子表面带有很多活性基团，可以吸附螯合胆固醇、胆汁酸以及肠道内的有毒物质（内源性毒素）、化学药品和有毒医药品（外源性毒素）等有机化合物。膳食纤维的这种吸附螯合的作用，与其生理功能密切相关。

其中研究最多的是膳食纤维与胆汁酸的吸附作用，它被认为是膳食纤维降血脂功能的机理之一。不同品种膳食纤维对胆汁酸的吸附能力不同，同时与pH值及胆汁酸的性质也有关。酸性条件下，膳食纤维对胆汁酸的结合最多，随pH值增加则结合力下降。某些品种的膳食纤维会优先吸附未结合的胆汁酸，而对与牛磺胆酸、甘氨酸胆酸等结合的胆汁酸的吸附能力较弱。体外试验显示，木质素吸附胆汁酸的能力很大，果胶及其他酸性多糖对胆汁酸的吸附能力也较好，而纤维素的吸附作用则较小。肠腔内，膳食纤维与胆汁酸的作用可能是静电力、氢键力或者疏水键间的相互作用，其中氢键力结合可能是主要的作用形式。

3. 阳离子交换作用

膳食纤维化学结构中所包含的羧基、羟基和氨基等侧链基团，可产生类似弱酸性阳离子交换树脂的作用，可与阳离子尤其是有机阳离子进行可逆的交换。这种可逆的交换作用，并不是单纯的结合而减少机体对离子的吸收，而是改变离子的瞬间浓度，一般是起稀释作用并延长它们的转换时间，而影响消化道的pH值、渗透压及氧化还原电位等，并出现一个更缓冲的环境以利于消化吸收。

膳食纤维组成单糖残基上游离羧基和糖醛酸的含量会影响其阳离子交换能力，高甲氧基果胶的阳离子交换能力低于低甲氧基果胶。

当然，膳食纤维对阳离子的交换作用也必然影响到机体对某些矿物元素的

吸收，这些影响作用并不都是积极的。

4. 无能量填充剂

膳食纤维体积较大，缚水膨胀后体积更大，在胃肠道中会发挥填充剂的容积作用，易引起饱腹感。同时，由于膳食纤维还会影响可利用碳水化合物等成分在肠内的消化吸收，也使人不易产生饥饿感。所以，膳食纤维对预防肥胖症十分有利。

5. 发酵作用

膳食纤维虽不能被人体消化道内的酶所降解，但却能被大肠内的微生物所发酵降解。降解的程度、速度与膳食纤维的水溶性、化学结构、颗粒大小以及摄取方式等多种因素有关，其中多糖分子中单糖和糖醛酸的种类、数量及成键方式等结构特性在很大程度上决定了该纤维在肠道内的发酵情况。以 β 糖苷键构成的纤维素、由 Ara 和 Xyl 构成的某些半纤维素很难被发酵，而糖醛酸却易被菌群作用。果胶等水溶性纤维几乎可被完全酵解，纤维素等水不溶性纤维则不易为微生物所作用。同一来源的膳食纤维，颗粒小者较颗粒大者更易降解，而单独摄入的膳食纤维较包含于食物基质中的更易被降解。

膳食纤维被肠内微生物降解后，产生乙酸、丙酸和丁酸等短链脂肪酸。这些短链脂肪酸可被结肠细胞吸收利用为能量物质，同时还可能影响到肝脏中葡萄糖和脂质的代谢。膳食纤维的发酵作用使大肠内 pH 值降低，从而影响微生物菌群的生长和增殖，诱导产生大量的好气有益菌，抑制厌气腐败菌。由于好气菌群产生的致癌物质较厌气菌群少，即使产生也能很快随膳食纤维排出体外，这是膳食纤维能预防结肠癌的一个重要原因。另外，由于菌落细胞是粪便的一个重要组成部分，因此膳食纤维的发酵作用也会影响粪便的排泄量。

6. 溶解性与黏性

膳食纤维的溶解性、黏性对其生理功能有重要影响，水溶性纤维更易被肠道内的细菌所发酵，黏性纤维有利于延缓和降低消化道中其他食物成分的消化吸收。

膳食纤维有序和无序结构的稳定性决定了其溶解性能。多糖结构的分子排列若有如结晶体般的有序排列，则它在固体状态下比在溶液中更为稳定。纤维素等线性有序结构为水不溶性，瓜尔胶等由于其主链与侧链的不规则性使其水溶性较好。果胶等含带电基团的纤维在盐溶液中易于溶解，因为电斥力的作用抑制了有序结构的形成。某些纤维在冷水中不能溶解，但在高温下却易溶解，这也是由于温度升高破坏了键合力而形成无序结构的缘故。

果胶、瓜尔胶、琼脂等具有良好的黏性与胶凝性，能形成高黏度的溶液。