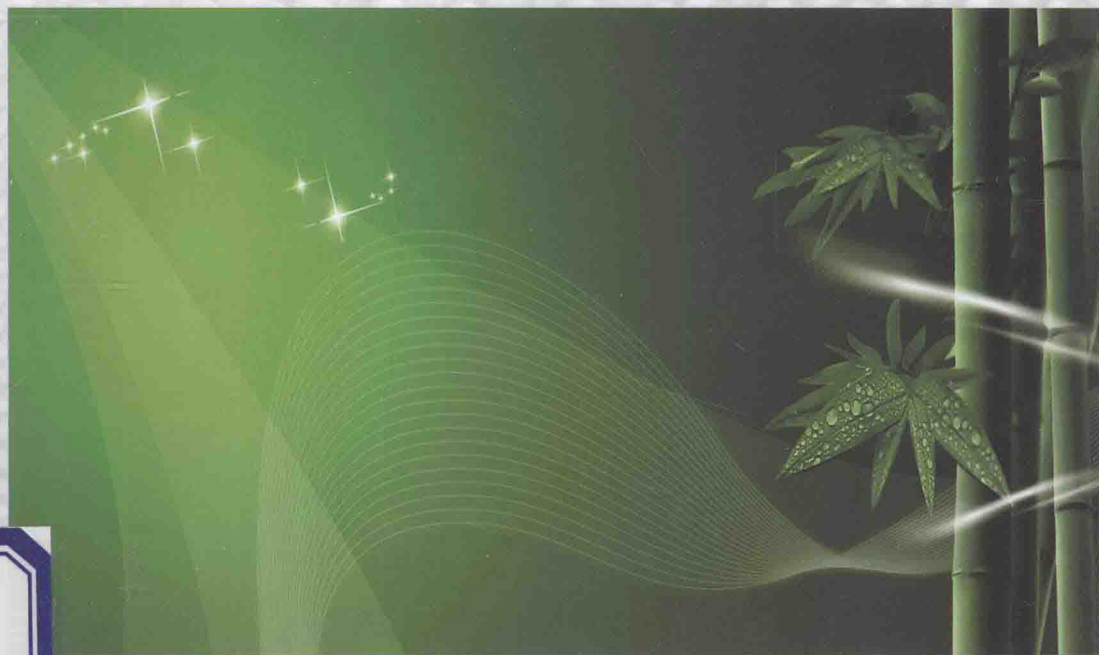


竹原纤维及其 产品的制备与工艺

ZHUYUAN XIANWEI JIQI
CHANPIN DE ZHIBEI YU GONGYI

张 毅 王春红 彭建新 编著



 中国纺织出版社

竹原纤维及其产品的 制备与工艺

张毅 王春红 彭建新 编著

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了竹原纤维的制备技术、竹原纤维纺纱织造技术、竹原纤维非织造布成型技术以及竹原纤维增强复合材料的制备技术,并针对竹原纤维及其相关产品的产业化前景进行了探讨。本书为竹原纤维的综合利用提供了新的思路和解决方案,有利于加速竹原纤维及其产品的产业化进程。

本书可供纺织及复合材料专业的大专院校师生、相关企业的工程技术人员和研发人员以及竹原纤维产业领域的生产、销售及管理人员参考、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

竹原纤维及其产品的制备与工艺 / 张毅,王春红,彭建新编著. —北京:中国纺织出版社,2014.3

ISBN 978-7-5180-0417-1

I. ①竹… II. ①张… ②王… ③彭… III. ①竹—木纤维—纺织纤维—研究 IV. ①TS102.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 016500 号

策划编辑:秦丹红 裘 康 责任编辑:范雨昕
责任校对:余静雯 责任设计:何 建 责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行
地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124
销售电话:010-87155894 传真:010-87155801
<http://www.c-textilep.com>
E-mail:faxing@c-textilep.com
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
三河市宏盛印务有限公司印刷 各地新华书店经销
2014 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
开本:710×1000 1/16 印张:12
字数:187 千字 定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

序

纵观当今世界发展现状,不断增长的人口、飞速发展的科技以及庞大的经济规模使得人类赖以生存的粮食、石油、天然气等关键自然资源的供应逼近极限,人类文明与地球生态系统之间迫切需要重新建立健康、可持续的平衡关系,并驱动能源、工业、农林等产业的创新发展。

更多的人口以及更高的人均纤维消费量,使得纺织纤维原料资源成为产业可持续发展的关键要素之一。在中国纺织工业“十二五”规划中,明确提出了加快发展差别化纤维、高技术纤维、生物质纤维三大类纤维技术研究及产业化应用,充分利用可再生、可降解、可循环利用、对环境友好的生物资源是保护生态环境、解决纺织纤维原料资源短缺的重要途径。

竹原纤维是一种新型的植物纤维,竹子资源的广泛性和竹子的高成活率,竹原纤维的再生性、可降解性和多功能特性,使其成为环保功能型绿色纤维。《竹原纤维及其产品的制备与工艺》一书的出版,作为竹原纤维技术领域的第一本专著,三位编者将他们十余年竹原纤维及相关产品的研发成果和产业化经验,并结合国内外专家学者的最新研究资料,对竹原纤维制备、纺纱织造、非织造布成型以及竹原纤维增强复合材料等专项技术毫无保留地进行介绍和归纳总结,并对竹原纤维产业化前景进行了探讨。此书的出版,有助于推动竹原纤维制备技术的进一步提升,有助于促进竹原纤维下游应用产品的系列开发,有助于加快竹原纤维产业化和市场化的进程。

中国拥有丰富的竹类资源,深入开发竹原纤维及其产品,对于深化利用林业资源和促进纺织工业发展,均具有良好的社会效益和经济效益。

希望卓有成效的技术研究通过紧密结合市场消费需求和企业产品开发,实现技术价值向时尚价值和商业价值的转化,促进竹原纤维为人类美化生活与环境友好作出重要和积极的贡献。

中国纺织工业联合会副会长



2014年3月于北京

前言

当今世纪全球竹林面积约 3200 多万公顷,占森林面积的 2%左右;年竹材产量 1500 万~2000 万吨。预计 21 世纪全球竹林面积将增加 2~3 倍,可达 5500 万~6500 万公顷,占世界森林面积的 2%~3%;竹材年产量增加 2.5~3.5 倍,达 5500 万~6500 万吨,占世界木材生产量的 5%以上。我国是世界竹资源最丰富的国家,被誉为“竹子王国”,全国自然竹林面积约为 670 多万公顷,2011 年全国竹材产量为 15.39 亿根,年产竹材 500 多万吨。目前竹资源除了传统的竹筐、竹篓及竹工艺品、竹地板等的应用外,还可被加工成竹原纤维,并被进一步加工成竹原纤维纱线、面料、非织造布及复合材料等。

《竹原纤维及其产品的制备与工艺》一书是在编者十余年竹原纤维及相关产品研发、生产、管理及销售的基础上,结合国内外专家、学者的最新研究成果及相关专著、论文等,通过分析、研究、精选和整理编辑而成。全书共分四章,系统地阐述了竹原纤维的制备技术、竹原纤维的纺纱织造技术、竹原纤维非织造布成型技术、竹原纤维增强复合材料制备技术的最新研发成果、工艺实践及应用现状,并针对竹原纤维及其相关产品的产业化前景进行分析,并提供了对策。

本书特别针对竹原纤维因单纤维长度短、纤维粗硬而导致的纺纱技术难点给出了具体的应对技术措施,此外,针对竹原纤维因自身长度及细度等物理指标不匀、在复合材料中排布随机及与树脂之间界面黏合性差等导致的竹原纤维增强复合材料力学性能可设计性差,专门设计了理论预报模型,对纺织及复合材料行业中竹原纤维制品的研发与生产具有实际及理论指导意义。

本书在编写过程中得到了天津工业大学、浙江农林大学、福建师范大学等科研院校在竹原纤维制备、纺纱织造、非织造布及复合材料制备方面的技术支持,得到了姚文斌、陈定、段作哲、郭秉臣、林小聪、黄建忠、陈春、张蔚、俞伟鹏、李庆春等专家学者在竹原纤维制备及产品开发方面的指导和资料支持。此外,本书编写过程中参考了一些已出版的文献和资料。在此,对提供技术支持、文献资料 and 数据的单位、作者表示诚挚的谢意。同时,本书作者指导的天津工业大学研究生任子龙、何顺辉、贺文婷、赵玲、叶张龙、李洪昌等做了大量富有实效的实验工作和资料

2 竹原纤维及其产品的制备与工艺

汇编整理工作,向他们表示衷心的感谢。最后,特别感谢杨仁慧先生对竹原纤维研发与产业化事业所作出的开拓性贡献。

本书由张毅、王春红、彭建新共同编写,感谢中国纺织工业联合会孙瑞哲副会长为本书作序。由于作者水平有限,竹原纤维开发涉及一个全新的材料应用领域,书中难免出现疏漏和不足,衷心希望读者批评指正。

张毅

2014年3月

目录

第一章 竹原纤维的制备技术	1
第一节 绪言	1
一、纺织纤维的分类	1
二、新型植物纤维	2
三、植物纤维原料的主要化学成分	4
第二节 认识竹材	6
一、竹材的内部结构	6
二、竹材的物理性质	9
三、竹材的化学性质	11
四、适宜开纤的竹种	13
第三节 竹原纤维的概述	14
一、竹资源及竹原纤维的产业状况	14
二、竹纤维的分类	16
三、竹原纤维的特性	18
四、竹原纤维的鉴别方法	22
五、竹原纤维的检测标准	25
六、竹原纤维制备的工艺流程	31
第四节 竹材的软化及开纤	33
一、竹材的软化	33
二、竹材的开纤	34
第五节 竹原纤维的脱胶工艺	46
一、化学脱胶	46
二、生物酶脱胶	48
三、化学/生物酶脱胶	59
第六节 竹材的综合利用	60
一、竹沥的提取	60
二、糠醛的提取	60

2 竹原纤维及其产品的制备与工艺

三、半纤维素的提取	62
四、木质素的提取	65
第二章 竹原纤维的纺纱织造技术	71
第一节 竹原纤维纺纱工艺实践	71
一、竹原纤维纺纱对纤维技术指标的要求及工艺特点	71
二、竹原纤维纺纱的工艺实践	72
三、竹原纤维纱线品种	82
四、竹原纤维纱线的质量检测技术与标准	83
第二节 竹原纤维织造及染整工艺实践	83
一、竹原纤维织造工艺流程	83
二、竹原纤维织物的品种	85
三、竹原纤维织物的质量检测技术与标准	86
第三章 竹原纤维非织造布的成型技术	92
第一节 竹原纤维非织造布成型工艺实践	92
一、非织造工艺对竹原纤维技术指标的要求及工艺特点	92
二、竹原纤维非织造布的工艺实践	99
第二节 竹原纤维非织造布的应用前景	105
一、竹原纤维非织造布在卫生抗菌材料领域中的应用前景	105
二、竹原纤维非织造布在汽车内饰材料领域中的应用前景	107
三、竹原纤维非织造布在家纺用品领域中的应用前景	109
第四章 竹原纤维增强复合材料的制备技术	110
第一节 竹原纤维作为复合材料增强体的特征	110
一、长度、细度、强度等物理指标及不匀性特征	110
二、表面及化学特征	115
第二节 竹原纤维增强热塑性复合材料的制备技术及性能表征	119
一、竹原纤维增强聚丙烯基复合材料的制备技术及性能表征	119
二、竹原纤维增强低熔点聚酯基复合材料的制备技术及性能表征	126
三、竹原纤维增强聚乳酸基复合材料的制备技术及性能表征	130
第三节 竹原纤维增强热固性复合材料的制备技术及性能表征	143

一、竹原纤维增强环氧树脂基复合材料的制备技术及性能表征	143
二、竹原纤维增强酚醛树脂基复合材料的制备技术及性能表征	148
三、竹原纤维增强不饱和聚酯树脂基复合材料的制备技术及性能表征	152
第四节 竹原纤维增强复合材料力学性能预报模型	154
一、竹原纤维增强复合材料模量预报模型	155
二、竹原纤维增强复合材料强度预报模型	163
第五节 竹原纤维增强复合材料的应用	167
一、竹原纤维增强复合材料在汽车工业中的应用	167
二、竹原纤维增强复合材料在建筑业中的应用	170
三、竹原纤维增强复合材料在风力发电工业中的应用	172
四、竹原纤维增强复合材料在电器工业中的应用	172
五、竹原纤维增强复合材料在其他工业中的应用	174
参考文献	176
主题词	180
索引词	181

第一章 竹原纤维的制备技术

第一节 绪言

一、纺织纤维的分类

人们常说“衣、食、住、行”，这种排列虽有音韵之需，但也体现了“衣”之对人类的重要。“衣”大都离不开“纤维”，即“纺织纤维”。纺织纤维经过几千年的变革，现在已是种类繁多，但它们都必须具有一定的细度和弹性，足够的强度、柔韧性，相互间有抱合力以及化学性能稳定的特性。

纺织纤维主要分为以下几类：

(一)天然纤维

天然纤维是自然界存在和生长的且具有纺织价值的纤维，可分为植物纤维、动物纤维和矿物纤维。

1. 植物纤维 植物纤维的主要组成物质是纤维素，又称天然纤维素纤维，是由植物上种子、果实、茎、叶等处获得的纤维。根据纤维在植物上生长的位置不同，又分为种子纤维(棉、木棉、椰子等)，叶纤维(剑麻、蕉麻等)和茎纤维(可分为韧皮纤维如苧麻、亚麻、大麻、黄麻等及木质纤维如竹、香蕉等)。

2. 动物纤维 动物纤维的主要组成物质是蛋白质，又称天然蛋白质纤维，可分为毛发(绵羊毛、山羊毛、骆驼毛、兔毛、牦牛毛等)和腺分泌物(蚕丝、柞蚕丝)等。

3. 矿物纤维 矿物纤维的主要成分是无机物，又称天然无机纤维，为无机金属硅酸盐类，如石棉纤维。

(二)化学纤维

化学纤维是以天然的或人工合成的高分子化合物为原料，经化学纺丝而制成的纤维。可分为人造纤维、合成纤维、无机纤维。

1. 再生纤维 再生纤维又称人造纤维，是以纤维素、蛋白质等天然高分子物质为原料，经化学加工、纺丝、后处理而制成的纺织纤维。可分为再生纤维素纤维(粘胶纤维、富强纤维、铜氨纤维等)和再生蛋白质纤维(大豆纤维、花生纤维等)。

2. 合成纤维 合成纤维是以人工合成的高分子化合物为原料,经纺丝加工制得的纤维。分为普通合成纤维(涤纶、锦纶、腈纶、丙纶、维纶、氯纶等)和特种合成纤维(芳纶、氨纶、碳纤维等)。

3. 无机纤维 无机纤维是以矿物质为原料制成的纤维,如玻璃纤维、金属纤维等。

二、新型植物纤维

由于人类对纤维的需求量不断增加,以及环保压力的推动,人们正在不断开发多种天然纤维。

(一)剑麻纤维

剑麻原产于墨西哥的龙加丹半岛,大多分布于南北纬 30°间的美洲、非洲、亚洲、大洋洲及太平洋、印度洋的一些岛屿和热带、亚热带广大地区,主产国家有墨西哥、巴西、坦桑尼亚等国。我国剑麻栽培主要集中在广东、广西、福建及海南等地,云南、浙江、四川等地有少量试种。

剑麻叶的硬质纤维具有拉力强、耐海水浸、耐摩擦、富有弹性等特性,可作渔业、航海、工矿、运输用绳索、帆布、防水布等原料。加工后的粕渣可作造纸的原料。此外,生产过程中产生的短纤维(包括乱纤维),可制一般用的绳索、鞋垫、缆绳及手提袋等日常用品,也可用作家具的填充物,还可与塑料混合压成硬板,制成家具。叶汁通过发酵可产生沼气,还可提取糖及饲料干酵母,加工后的大量叶渣是良好的饲料,麻渣是优质的有机肥料。

剑麻纤维具有纤维长、色泽洁白、质地坚韧、拉力强、耐摩擦、耐酸碱、耐腐蚀、不易打滑等特点。广泛用于制作绳缆、钢丝绳芯、纱线、剑麻布、抛光轮、地毯、纸浆、建材和门垫及工艺品等各种产品。

(二)罗布麻纤维

罗布麻因罗布泊而得名。在中国淮河、秦岭、昆仑山以北各省及自治区都有罗布麻分布。罗布麻纤维属韧皮纤维,在已发现的野生纤维植物中,品质最优,是纺织、造纸的原料。但其纤维长度不一致,纺织时落麻率高,成纱率较低。

罗布麻纤维细度为 0.3~0.4tex,长度与棉纤维相近,平均长度为 20~25mm,但长度差异较大,差异幅度为 10~40mm。但由于其表面光滑无卷曲,抱合力差,在纺织加工中容易散落,制成率低,且影响成纱质量。

(三)蕉麻纤维

蕉麻从叶柄中制取纤维,其重要性在叶纤维中居第二位。

蕉麻由于强度高、柔软、有浮力和抗海水侵蚀性好,主要用作船用的绳缆、钓鱼线、吊车绳索和渔网。有些蕉麻可用来制作地毯、桌垫和纸。内层纤维可不经纺线而制造出耐穿的细布,主要被当地人用来制作衣服和鞋帽。

(四)香蕉纤维

与棉和化纤相比,香蕉纤维不仅光泽好,而且具有很高的吸水性,用它织成的衣物穿着舒适、美观耐用。

由于香蕉纤维轻且有光泽,吸水性高,也可以制成窗帘、毛巾、床单等。香蕉纤维和棉纤维的混纺织物可织造牛仔服、网球服以及外套等,目前香蕉纤维的混纺率为30%,混纺纤维是49.2~84.3tex(7~12英支)的粗支纱,可进一步开发细支纱和100%香蕉纤维。香蕉纤维还可用于制造高强度纸和包装袋等。

(五)菠萝叶纤维

菠萝纤维是从菠萝叶片中提取的纤维,属于叶脉纤维。将菠萝叶脉去其两侧锐刺及胶质后,取出之纤维每根长度为80~100cm,直径仅为真丝直径的1/4。纤维质软,强度较低,无法满足纺纱的要求,因此以往只能将菠萝纤维与其他纤维混纺,可制成渔网、面料、纸张等。菠萝布质软、抗湿性强、颜色稍黄带有光泽。

近年来,纺织技术的进步对菠萝纤维的化学处理(脱胶和改性)已有相当的改善,对纺织加工的流程和技术也有一定的水平,已可成功地利用不同的纺纱工艺流程纺制出菠萝叶纤维的纯纺纱与混纺纱。

(六)椰壳纤维

椰壳纤维是从椰子壳中提取的木质纤维。同植物纤维一样,它被列为硬质纤维,它的木质素含量最高,而木质素是一种天然聚合物。椰壳纤维比棉花的强度大,但柔软性较差,主要用于家具填料和垫子的填充物,也用来制作刷子、绳索和麻线。椰壳纤维的弹性和生物降解性还被用于土工布(如排水过滤器)、绝缘材料以及船只使用的嵌缝材料。涂胶椰壳纤维布用于汽车座椅和面板。

这种纤维可以从未成熟的青绿色椰壳或已成熟的棕色椰壳中提取。当椰壳在水中浸泡变软或腐烂后,便可通过手工或机械手段提取纤维,然后进行筛洗清理。一般来说,未成熟的绿色椰壳产出的是白色椰壳纤维,适合制造地毯。成熟的棕色椰壳产出的是棕色椰壳纤维,用于制作土工布、垫子、汽车座椅和各类刷子、麻线和纱线等产品。

(七)桑皮纤维

桑皮纤维作为一种新型天然纺织原料有着相当好的纤维性能,具有棉的一些特性,又兼备麻的一些优点。我国作为蚕丝出口大国,有着丰富的桑树资源,这为桑皮

纤维的研究开发提供了极有利的条件。桑皮纤维的开发为纺织原料的拓展提供了一个极大的空间,肯定会产生一定的经济和社会效益。

(八)竹原纤维

竹原纤维属植物茎木质纤维。与其他天然纤维相比,竹原纤维有许多独特的优点。由于竹原纤维具有特别的结构形态,可以在瞬间吸收并传递水分,其吸汗、排汗、透气,导热性能是棉纤维的30多倍,被业界称为“会呼吸的纤维”。此外,竹原纤维还具有天然抑菌、除臭等许多优良的性能,根据国家纺织服装产品质量监督检验中心的检测,竹原纤维对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和白色念珠菌的抑菌率都达到了99.5%以上。因此,竹原纤维将成为“21世纪的环保功能型绿色纤维”。

目前市面上所谓的竹纤维大部分是竹浆纤维,其制作加工过程基本与粘胶纤维相似,一般是将竹片制成浆,然后将浆制成浆粕,再湿法纺丝制成纤维,属于化学再生粘胶纤维。

国内消费者对市场上竹纤维产品概念还比较模糊,分不清竹浆纤维和竹原纤维,这给竹原纤维产品市场化过程带来严重的困扰。不过,在加拿大、美国、德国、日本等国家已经明文规定,竹浆纤维不能称作竹纤维,就像麻浆纤维不能称作麻纤维一样,而只能称作“竹粘胶纤维”或者称作“粘胶来自竹”。同样,竹炭纤维也不能称作竹纤维。

本书所述的竹原纤维是采用物理、化学或生化相结合的方法制取的天然纤维,是真正的竹纤维,是继棉、麻、毛、丝之后的第五大类天然纤维。

三、植物纤维原料的主要化学成分

植物纤维原料的主要化学成分为:纤维素、半纤维素和木质素,这三种成分占原料总质量的80%~95%。其中,纤维素、半纤维素属碳水化合物,常占原料质量的60%~90%。它们由植物吸收太阳能进行光合作用合成而成。

(一)木质素

木质素广泛存在于较高等的维管束植物(蕨类植物、裸子植物、被子植物)中。木质素是结构复杂、种类繁多的一类高聚物。它的主要单基有以下三类:

(1)对羟基苯基丙烷。

(2)愈疮木酚基丙烷(对羟基苯基丙烷上带有一个甲基酚基团,针叶木质素的主要成分)。

(3)紫丁香基丙烷(对羟基苯基丙烷上带有两个甲基酚基团,阔叶木质素的主要成分)。

木质素是由这些单基形成多支链的、聚合度比较高的三维立体结构的复杂高聚

物。不同植物的木质素分子结构不同。

木质素本身是一种白色或接近无色的粉末。木质素从植物中分离出来时,随分离方法不同,带有灰黄至灰褐的颜色。一般情况下,木质素的密度约 $1.35 \sim 1.50 \text{ g/cm}^3$,折射率高达 1.61,热值达 26 J/g ,通常提取得到的木质素的重均分子量在 $2800 \sim 17800$ 。木质素干燥状态的玻璃化转变温度随结构和相对分子质量不同而不同,一般在 $127 \sim 135^\circ\text{C}$,但它和一般天然纤维一样,在吸湿后,随回潮率的上升,玻璃化转变温度将大幅度下降。在空气温度 20°C ,相对湿度 65% 的条件下,玻璃化转变温度将比干燥时下降 $50 \sim 120^\circ\text{C}$,完全润湿时,玻璃化转变温度均在 0°C 左右。

木质素在植物中与纤维素伴生,在针叶木形成层中含 $23\% \sim 35\%$,在阔叶木形成层中含 $20\% \sim 25\%$,在单子叶禾木科植物茎中含 $15\% \sim 25\%$,在各种麻类韧皮中含 $5\% \sim 15\%$,在棉纤维和棉短绒中不含木质素。

(二)纤维素

纤维素是 D-葡萄糖的线型高聚物。植物原料中,除棉纤维和木棉纤维中纤维素含量特别高外,其他韧皮、形成层(秆芯)等纤维素含量均在 $35\% \sim 55\%$,由其提取纤维素为主的物质用于纺织和造纸已有 3000 年甚至 7000 年的历史。近代已系统产业化,中国每年纸和纸板产量已近 8000 万吨,天然纤维和再生纤维加工量已近 1300 万吨,其主要成分是纤维素。

原生纤维素的提纯过程,历史上一般采用酶处理或化学处理,溶解、洗涤除去木质素、半纤维素、脂蜡质、果胶、部分灰分(金属氧化物)等方法完成。

(三)半纤维素

植物细胞中的纤维素和木质素是由聚糖混合物紧密地相互贯穿在一起的,此聚糖混合物被称为半纤维素。半纤维素是一大类聚糖高分子物质,此术语于 1891 年由 Schulze 提出,用以表述植物中能够用碱液抽取出来的各种聚糖。当时发现在植物细胞壁中,这些聚糖总是和纤维素结合在一起,误认为是纤维素合成过程的低聚合度的中间产物。现已证明,半纤维素不是纤维素合成的前驱体,其产生与纤维素合成无关。1962 年 Aspinall 定义为:“半纤维素是来源于植物的聚糖,它们含有 D-木糖基、D-甘露糖基、D-葡萄糖基或 D-半乳糖基的主链,其他糖类可以成为支链而连接在主链上”。因而,半纤维素是非纤维素的碳水化合物。半纤维素的单基除上述 4 种糖以外,还有 L-阿拉伯糖基、4-O-甲基-D-葡萄糖醛酸基、D-半乳糖醛酸基,以及少量的 L-鼠李糖基、L-岩藻糖基和多种氧甲基、乙酰基的中性糖基。它一般是由 2~4 种结构单元构成的、带支链的、不均一的高聚物。值得注意的是,果胶不属于半纤维素,它是聚阿拉伯糖、聚半乳糖和聚半乳糖醛酸的混合物。

第二节 认识竹材

竹子是一种神奇的植物,在分类上竹类植物归为禾本科竹亚科。竹材是竹子砍伐后除去枝条的主干,又称竹秆。竹秆由数十个节和节间组成,形似圆锥壳体,中空,其周围部分称竹壁。竹壁由竹青、竹肉、竹黄三层组成,是竹材的主要部分。不同竹种节间长度、粗细及竹壁厚度不同。

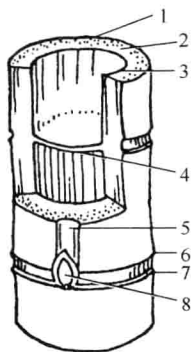


图 1-1 竹材的结构

- 1—竹青 2—竹肉 3—竹黄
4—横隔板 5—沟 6—秆环
7—箨环 8—芽

竹节外有两个环,上者称秆环,下者称箨环;竹节内有木质横隔膜,称为竹隔;竹隔将竹秆分隔成一个个空腔,称为竹腔;竹腔内是髓组织,髓组织有膜状(称箨膜)、片状和屑状等。

竹材的结构如图 1-1 所示。

竹材纤维在竹秆中纵向排列,细长坚韧,含量10%~50%;竹材自外而内纤维含量减少,因此,竹材的顺纹抗拉、抗压强度大,弹性好,但易劈裂,竹材利用时,应注意这些特性。

一、竹材的内部结构

从宏观上讲,竹材切面主要分为三部分:竹青、竹肉、竹黄。竹材(毛竹)的内部结构如图 1-2 和图 1-3 所示。

(一)竹青

竹青是表皮和近表皮含叶绿素的基本组织部分,所以呈绿色。

1. 表皮层 表皮层是竹秆壁外的一层细胞,由长形细胞、栓质细胞、硅质细胞及气孔器等构成。竹秆中段表皮层的长形细胞数量最多,呈长方柱形,纵行排列整齐。栓质细胞和硅质细胞形状短小,常成对结合,散生于长形细胞纵行的行列之中。每平方毫米竹秆表皮上有数个至十几个气孔。栓质细胞略呈梯状(六面体)。小头向外。硅质细胞近于三角状(六面体或五面体)顶角朝内,含硅质,折光力强,气孔器正面看为长方形,在秆茎下段表皮上分布最多,每平方毫米约有 28 个,秆茎上段每平方毫米 22 个,秆茎中段较少,每平方毫米仅 6~7 个。新竹补茎表皮上尚有许多单细胞和毛茸。

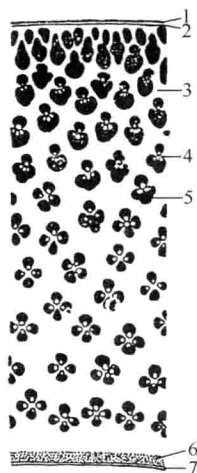


图 1-2 毛竹茎局部横切面

1—表皮层 2—皮下层 3—基本组织
4—维管束 5—纤维 6—石细胞层
7—髓腔边缘组织

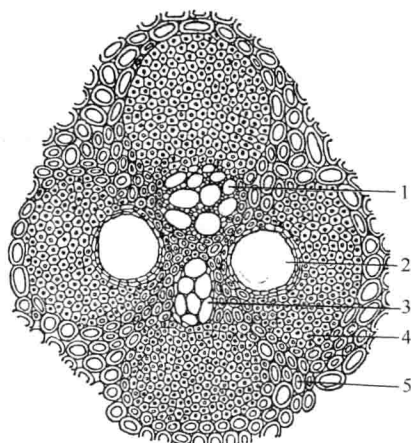


图 1-3 毛竹茎维管束

1—筛管 2—后生木质部的孔纹导管 3—由薄壁细胞填充的
原生木质部腔隙 4—纤维 5—基本组织

2. 皮下层 竹秆中段的皮下层,由 1~2 层柱形细胞构成。胞壁较厚,丛生竹皮下层胞壁较薄,和皮层细胞无明显区别。皮下层细胞的大小和壁的厚度,因竹秆部位而不同。例如毛竹、刚竹和淡竹的竹秆基部的皮下层细胞大而细胞壁薄,中部次之,梢部最厚。

3. 皮层 皮层,竹壁外缘皮下层以内,没有维管束分布。皮层细胞大于皮下层细胞,成柱状,纵向排列 5~6 列。秆茎基部的皮层较厚,细胞列数较多,常达 10~12 列;往上皮层变薄,细胞列数减少,至梢部仅为 2~3 列。横切面上皮层细胞呈椭圆形,外侧的细胞小于内侧的细胞,秆茎梢部的细胞小于中部和基部的细胞,垂周平均直径为 $16\mu\text{m}$,平周直径为 $21\mu\text{m}$ 。径切面为长方形,长约 $51\mu\text{m}$ 。

(二)竹肉

竹肉是介于竹青和竹黄之间的基本组织部分,也是纤维的主要分布区域。

1. 维管束 如图 1-3 所示,纤维管束主要由筛管、后生木质部的孔纹导管、由薄壁细胞填充的原生木质部腔隙、纤维、基本组织构成。

竹材中维管束的大小和密度,与竹秆部位,竹秆粗度和竹种有密切的关系。同一竹秆自基部至梢部,维管束的横断面积逐步缩小,密度逐步增大。

根据 12 种竹材的平均值来看,竹材外侧(竹青)维管束密度最大(14 个/ mm^2),其次是中部(4.8 个/ mm^2),内侧(竹黄)最小(2.9 个/ mm^2)。在竹材横切面上,维管束

的长度(径向)以竹壁中部最大(0.43mm),其次是竹青(0.34mm)和竹黄(0.32mm);维管束的宽度(弦向)以竹黄部最宽(0.44mm),其次是中部(0.37mm)和竹青(0.23mm),见表1-1。

表 1-1 不同竹种的竹材中维管束的密度和大小

竹种	密度(个/cm ²)			长度(μm)			宽度(μm)			导管直径(μm)		
	外	中	内	外	中	内	外	中	内	外	中	内
矢竹	13	5	3	510	440	250	340	300	360	28	67	
凤凰竹	9	3	3	170	440	290	120	360	480	16	66	110
凤尾竹	29	8	4	140	180		110	230		19	63	41
短穗	13	6	3	360	410	250	270	400	260	41	110	78
方竹	10	3	2	300	310	250	190	280	280	28	72	72
浙江箬	11	6	3	340	470	240	250	280	290	22	57	57
仕竹	7	2	2	510	620	480	320	500	630	44	132	153
淡竹	10	4	3	480	510	360	240	360	450	28	91	116
毛竹	6	2	1	510	540	460	320	510	630	25	122	147
苦竹	9	3	2	390	510	360	290	470	320	41	99	103
绿竹	18	2	1	230	650	390	180	530	770	19	113	172
鹅毛竹	33	13	8	150	150	130	140	150	19	48	51	
平均	14	4.8	2.9	380	420	320	230	370	28	87	98	

2. 纤维 如图1-3所示,每个维管束包含4个纤维组(柱),每个纤维组(柱)内又包含若干单纤维。

竹材中纤维的含量、长度、宽度以及纤维细胞腔的直径和壁厚等的变化,与竹秆部位和竹种有密切的关系。资料表明,不同竹种的横截面上,纤维组织所占面积的比例是不同的,同一竹种的竹材,自竹秆基部至梢部,单位面积上纤维的含量逐步提高。

(三)竹黄

竹黄是髓腔的壁。

1. 髓环(竹黄主要成分) 髓环为数层及十数层横向整齐排列的砖形细胞,胞壁木质化增厚或较薄,与髓细胞无明显区别。

2. 髓 髓为一些大形薄壁细胞。一般成膜状(竹衣、箬膜),有的成片状(如短穗竹)或海绵状(如矢竹、绿竹)。髓破坏后留下的空隙即竹秆中空部分称为髓腔。不同