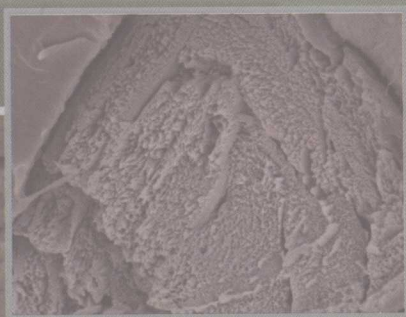
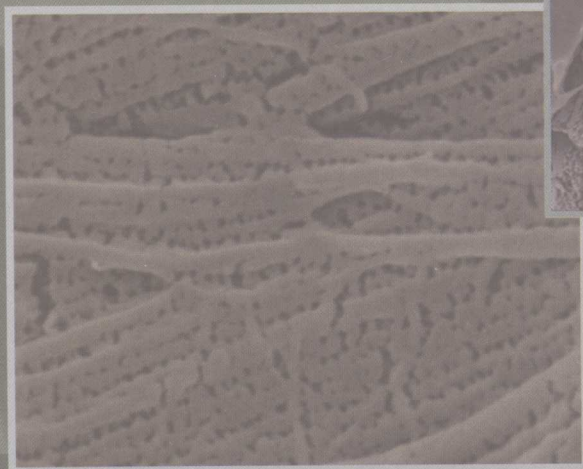


Structure and Properties of
China Hemp Fibre

汉麻纤维的 结构与性能

张建春 等编著



化学工业出版社

Structure and Properties of
China Hemp Fibre

汉麻纤维的 结构与性能

张建春 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了国内外汉麻纤维的研究现状；系统分析了汉麻纤维的结构与性能，包括汉麻纤维的化学组成、超分子结构、形态结构、吸湿性、抗菌性、吸附性、防紫外性、绿色环保性等；全面探讨了各种加工处理对汉麻纤维结构与性能的影响，内容涉及鲜茎皮秆分离、机械与生物脱胶、高温蒸煮处理、闪爆加工、碱处理、液氨处理、超临界萃取处理、柔软整理、抗皱整理、精细化加工、潮态纺纱、热胀染色等；还介绍了汉麻秆芯黏胶纤维和汉麻秆芯木质纤维素超细粉体改性聚氨酯材料的生产工艺和产品性能。

本书可供高分子化工、天然纤维、纺织轻工等行业的科研、生产技术人员及高等院校相关专业的师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

汉麻纤维的结构与性能/张建春等编著. —北京:
化学工业出版社, 2009. 4
ISBN 978-7-122-05151-6

I. 汉… II. 张… III. ①汉麻纤维-纤维结构②汉麻纤维-
纤维性能 IV. TS102. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 040777 号

责任编辑: 傅聪智 徐世峰
责任校对: 李 林

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
720mm×1000mm 1/16 印张 21¼ 彩插 3 字数 259 千字
2009 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

序

一、汉麻悠久的历史

汉麻又名大麻，是人类最早使用的纺织纤维原料之一。在中国大地上，无数远古文化遗址出土的实物，包括山西大同许家窑 10 万年前文化遗址出土的 1000 多个石球及投石索（绳索制成网兜，投石打击捕猎野兽）遗迹，浙江余姚河姆渡遗址（公元前 4900 年）出土的双股绳和三股绳，陕西西安半坡遗址（公元前 4100 年至公元前 3500 年）、河南郑州青台遗址（公元前 2500 年）、浙江吴兴钱山漾遗址（公元前 2700 年）、江西贵溪遗址（公元前 600 年）、湖北江陵马山遗址（公元前 300 年）、湖南长沙马王堆汉墓遗址（公元前 150 年）等地出土的织物、服装、织纹、纺织工具等；以及甲骨文、钟鼎文和历代著作文学、包括《诗经》（内容成于公元前 1100 年至公元前 600 年）、《周礼》（成书于公元前 470 年至公元前 220 年）、《礼记》（成书于公元前 221 年至公元前 207 年）、《尚书》（公元前 480 年前后）、《管子》（公元前 650 年至公元前 450 年）、《尔雅》（公元前 190 年前后）、《汜胜之书》（公元前 206 年至公元前 24 年）、《神农本草经》（原书成于公元 1 世纪）、《四民月令》（成书于公元 1590 年以前）等古代文学，均描述了我国从远古开始，使用大麻（Hemp）、苕麻（Ramie）、葛藤皮纤维（Kudzu bast fibre）、桑蚕丝（Mulberry silk）作为纺织纤维原料的历史。《诗经》的“陈风”（陈国位于今河南东部及安徽部分地区，公元前 479 年被楚国所灭）中“东门之池”篇有“东门之池、可以沤

麻；……东门之池、可以沤纆；……”。前句中的“麻”指大麻，后句中的“纆”指苕麻。它们在人类发展的十万年间，为人类提供了绳索、网罟、服装、用品、纸张，为人类生活和社会发展做出了重要贡献。同时，在公元10世纪以前的漫长岁月中，中华民族还将汉麻作为农产品中包括养蚕、缫丝、染色、裘皮、服装及食品的主要内容。《诗经》中“豳风”的“七月”不仅写了：“七月流火，九月授衣；……无衣无褐，何以卒岁。……”；写了“七月流火，九月授衣；……女执懿筐，……爰求柔桑，……”；“七月流火，八月佳苇；蚕月条桑，得彼斧斯；……载玄载黄，我朱孔阳，为公子裳。（染上黑色，染上黄色；我染的红色很鲜亮，为公子做衣裳），”；“……一之日于貉，取彼狐狸，为公子裘；……”等等之外，还写到：“……六月食郁及薁”（注：郁是李子，薁是葡萄），七月亨葵及菽（注：亨是烹，葵是葵菜，菽是大豆），八月剥枣，十月获稻；……食我农夫。九月筑坊圃，十月纳禾稼，黍稷重穋，禾麻菽麦。……”汉麻籽仁也是粮食中的重要成员。在《诗经》、《尔雅》、《吕氏春秋》及孔子的弟子所著的《礼记》中也都记载了汉麻不仅是服装的重要组成，也是食物的重要组成。所谓“六谷”；或写成“菽（大豆）、麦（小麦）、蕡（汉麻籽）、稻、黍（小米）、粱”，或写成“禾（小米）、粟、稻、菽、麻、麦”。在漫长的发展历史中，中国古代人民为汉麻的种植、开发、利用做了大量的工作，汉麻的名称也有许多专用术语：火麻（使用最广的术语）、黄麻（日常用词）、汉麻（见《本草纲目》）。汉麻的雌雄异株，雄株称枲（xǐ）麻（《礼记》、《本草纲目》）、牡（mǔ）麻（《诗经》）、花麻、花叶麻；雌株称苧（jū）麻（《诗经》）、苧（zì）麻等。此外，幼果称麻蕒（fén），花朵称麻勃（《本草纲目》），籽内称麻仁，麻仁榨出的脂液称麻油，本茎根称麻根。这些不仅可以食用，而且均属中药材（见《本草纲目》）。

二、汉麻的三次大传播

历史资料提供的大量信息说明，近3000余年中，汉麻在全球

有过三次大传播。

(一) 第一次大传播：在公元前的千余年间，从亚洲中部（包括中国黄河流域）为主的纤维用、籽仁用汉麻向四方传播。向东到达太平洋沿岸；东北到达西伯利亚；东南亚到达闽粤；向南到达阿富汗、巴基斯坦、印度；向西到达东欧。其后向东越海传至日本。根据现有资料，当时汉麻中精神活性最强的物质四氢大麻酚（THC）含量并不高，可以说，那时传播的汉麻并非毒品大麻。但是，公元前汉麻传入印度后，形成了四氢大麻酚含量很高的毒品大麻品种，这可能与印度当地紫外线强度高有关。

这些品种也有回传到中国中原地区。《神农本草经》卷二上品中“麻”条已载有其会出现精神活性现象：“多食令见鬼狂态，久服通神明轻身”。

(二) 第二次大传播：汉麻的第二次大传播主要发生在公元15~18世纪，重点有两支。一支是纤维用汉麻由东欧经西欧向西，随殖民地扩占而传至北美、中美、南美；向南由中国传至菲律宾及东南亚。另一支主要发生在18世纪，高含量四氢大麻酚的印度毒品大麻向东传至苏门答腊岛，向西传向西亚、非洲北部、非洲南部，并经加勒比海区域传向中美洲。

(三) 第三次大传播：汉麻第三次大传播发生在1835~1890年间，这期间也分两支。一支以中国原种纤维用汉麻由中国及日本传至美国西海岸和中东部。另一支是印度的毒品大麻由泰国传至菲律宾、澳大利亚至美国，同时，由印度、阿富汗、南非、哥伦比亚、巴拿马、墨西哥等多条渠道传至美国。这些毒品大麻在19世纪末，20世纪前中叶恶性膨胀，严重损害了一些国家，包括中南美洲和美国的安全和稳定，受到了国际禁毒组织的强烈反对。国际禁毒组织于1925年起草了禁止种植大麻的公约，美国政府于1927年签署管制大麻的种植、运输和应用。其后，许多国家陆续签署，中华人民共和国成立后，1955年也在禁种

公约上签字，在此情况下全球大麻种植量锐减。中国大麻纤维产量也锐减到 1953 年的 3%，有关大麻种植工作在中国由公安部禁毒委员会管理。

三、汉麻的萎缩

汉麻纤维在中国和全球曾经有过辉煌的历史，成为纺织纤维中重要的原料之一。

公元 10 世纪以后，汉麻纤维受到棉纤维的冲击。中国早在公元之初，棉花在西北边陲和海南、广西种植。1273 年出版的《农桑辑要》指出西路棉花已发展到陕西西部，1295~1297 年黄道婆为江浙棉纺织加工提供和传授了技术，1289 年中央政府开始设置浙东（包括浙江和江苏、安徽的一部分）、江苏、江西、湖广、福建的木棉提取司，管理并向中央提供棉布。棉与汉麻相比较，其优势在 1313 年出版的王桢的《农书》中表述为“夫木棉为物，……不蚕而绵，不麻而布，又兼代毡毯之用……”说明棉纤维生产加工简便、成本低、效率高，种棉逐渐代替部分种麻和养蚕，棉纤维产量大增，汉麻产量萎缩。即使如此，在中国和全球汉麻纤维并未退出历史舞台。因为汉麻纤维强度高、耐磨性好，特别是韧皮纤维细胞间木质素聚合度高，很少有细菌和酶能降解高聚合度木质素，耐腐蚀，特别耐海水，寿命长；因此船上特别是海船上用的缆绳、风帆、网罟以及运输的袋兜仍优选汉麻纤维。而且汉麻纤维具有一定的抑菌、抗菌、驱虫性能，粮食袋等也优选汉麻纤维，因此在全球仍有一定产量。

1898 年起，Hashishi（有强烈精神活性的毒品大麻）、Marijuana（药用大麻）、Cannabis（由含四氢大麻酚浓度高的麻叶、麻花等生产的糖果和食品）等毒品大麻产品在美国、南非、墨西哥等受到媒体强烈批评。1925 年美国开始禁止一般性种植，1933 年进一步收严控制；1910 年南非宣布种植 Marijuana 为非法作物。虽然第二次世界大战期间，美国为战争需求，扩种部分毒品大麻纤维，

但第二次世界大战结束后，美国仍未给大麻合法种植地位。联合国1961年《麻醉品单一公约》首次将毒品大麻列入国际控制毒品计划。1972年《精神药物公约》和1988年《联合国禁止非法贩运麻醉药品和精神药物公约》的两次修订中均将毒品大麻列入受控毒品名录。在这种情况下，大麻种植受到严格的控制，中国也依旧由公安部禁毒委员会统一管理。

在这种环境下，虽然也有局部的小量发展（例如中国1983～1992年在山东等地一定程度上曾发展纤维大麻的种植，但未能延续），但近百年来汉麻纤维的大趋势仍是走向低潮的。

四、汉麻的新生

纺织纤维的消费比重，近200年来，特别是近30年来有了巨大发展。全球纺织纤维总生产量和消费量由1800年的180万吨、1977年2500万吨到2007年的7600万吨。展望2050年由于产业用纺织品需求的激增，消费量仍将继续增长。但是纺织纤维原料的增长，面临着诸多困难。由于全球人口对粮食需求的压力，棉田播种面积今后不可能再增加，单位面积产量的增长空间已经不大；绵羊毛产量连续20年萎缩，全球洗净毛总量已由1990年的300万吨降到120万吨，受“封山育林，封山育草”的形势影响，不可能大增长；蚕丝产量虽有稳升，但只占纺织纤维总量的0.21%，无法影响大局。亚麻、黄麻、苧麻、槿麻、蕉麻、剑麻等由于各种局限性，只能基本维持年产240万吨的水平；再生纤维素纤维（包括黏胶纤维、醋酸纤维等）所需的木材浆粕、棉短绒浆粕已达极限，还需争取和开辟新的来源。合成纤维目前主要依靠石油化工原料，面对石油这种短期无法再生的资源，按目前开采速度，即使考虑到尚可再勘探发现一倍储量，也只能再开采50～90年。因此，纺织纤维原料面临着必须走“可再生、可降解、可循环、符合环境要求，符合可持续发展，与其它产业和谐协调的生物质资源”的开发道路。

在这种大环境促使下，由 20 世纪 70 年代起，世界许多国家的农业科技工作者，转变思路、克服困难、采用生物新技术，着力培育低毒或无毒的大麻品种。经过十余年的努力，先后培育出近 30 个品种，其四氢大麻酚含量由一般高毒品种的 5%~17% 降到 0.3% 以下，失去了毒品吸食或提取的效益。四氢大麻酚含量最低的品种在 0.1% 以下，例如中国培育的“云麻 1 号”四氢大麻酚含量为 0.09%，已可列入无毒大麻品种。对于这些品种已不属于毒品禁止种植的范围，可以允许种植和生产。

由于近十余年来，许多国家和地区包括加拿大、乌克兰、俄罗斯、欧盟、澳大利亚、智利、丹麦、荷兰、德国、匈牙利、波兰、罗马尼亚及美国的加利福尼亚州和肯特基州等均开始培育、扩种低毒和无毒大麻品种，曾招致一些由混淆引起的误解，甚至一些国家多次在联合国大会发言，指责某些国家违反禁种规定，许多媒体也对此十分关注。

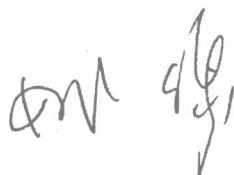
为避免毒品大麻和低毒、无毒大麻的混淆所引起误解产生的纠纷，一些国家强调工业用或纤维用的低毒或无毒大麻不受禁止种植的限制，而将毒品大麻称为大麻。我们为了避免汉字的混淆引起的误解，将低毒或无毒大麻称为“汉麻”(China hemp)，以区别毒品大麻的 Hashishi、Marijuana 和 Cannabis 等词汇。

汉麻——低毒或无毒大麻的种植可以利用丘陵、山坡、盐渍、滩涂等土地，不与粮、棉争地，充分利用土地空间。同时适当轮作还可减少轮作农作物的虫害和病害，施肥量有限，生产成本较低。对于重点收获的汉麻纤维品种，韧皮用于纺织；汉麻秆芯由于具有多孔结构、比表面积大，可经研磨生产木粉、制造活性炭、生产浆粕用于制造黏胶纤维或造纸；麻叶、麻花、麻根可以提取药物。对于重点收获的汉麻籽品种，籽仁除了提取汉麻油（其中不饱和脂肪酸含量高，与深海鱼油相当）之外；油渣可制取生物柴油；籽仁粕可提取蛋白质生产各种食品；汉麻韧皮和麻秆芯可制作纤维增强复

合材料。对生物质资源充分全面利用，对环境友好，增加农民种植收入，延长生产链，支持地方经济，对解决“农业、农村、农民”问题有重要贡献。

五、汉麻纤维结构和性能研究的新篇章

人类对于汉麻纤维经历了长期使用，在汉麻纤维结构、性能、用途、效益等方面积累了大量历史经验、文献和资料。但是，由于在科学技术大发展的近百年中，汉麻因被冠以毒品标识而受到禁种管理，大大制约了研究者对汉麻的接触，使汉麻纤维结构和性能的研究不如棉纤维、毛纤维、蚕丝纤维的系统和深入。棉纤维的日轮层，在1940年已有清晰显微镜照片，纤维素Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ的晶胞参数也早被提供。毛纤维角朊大分子螺旋链在1950年已有论证，1974~1979年由扫描电子显微镜、超薄切片、超高倍透射电子显微镜的深入使用，使棉纤维、毛纤维、蚕丝纤维的超分子结构，基原纤、微原纤、巨原纤的形态和互相联系清晰地呈现在人们眼前，得到广泛的共识，出版了一系列专著。但是，汉麻纤维的精细结构一直付诸阙如。1896年美国 Mathew 的 Textile Fibers 第一版到1949年的第4版，1956年的第8版，1964年的第9版，篇幅扩至1700页，各种纺织纤维均有详细说明和大量图片，但汉麻纤维只有3页，而显微照片只有一张工艺纤维（未脱净胶束纤维）截面照片。对此，以本书作者为主要成员的中国项目组给予了极大的关注，对汉麻纤维进行了系统的测试分析和观察比较，揭示了汉麻纤维一系列结构和性能的新知识，开始了汉麻纤维新时代。



中国工程院院士

前 言

汉麻是一种具有特殊功效的经济作物，汉麻纤维曾经是世界上都在使用的主要纺织原料之一，到 15 世纪它还占据着纺织品纤维市场的 80% 左右。随着棉花和合成纤维的兴起，有关汉麻纤维结构与性能的研究也就基本停止了。从 2003 年开始，中国人民解放军总后勤部军需装备研究所为适应绿色环保、循环经济、可持续发展以及资源节约型后勤的需要，在国内大专院校、科研院所和有关企业的大力支持和帮助下，全面系统地开展了汉麻综合利用创新技术研究。产业技术的发展需要基础理论的支撑，汉麻纤维结构与性能的研究正是为适应汉麻产业的发展而展开的。纤维的结构决定了纤维的性能，而纤维的性能必然是纤维结构的反映，两者是紧密相联的。为了改善汉麻纤维的某些性能，我们首先要从汉麻纤维的结构入手，研究其结构与性能间的关系是确定汉麻纤维加工工艺和加工设备的依据。

在分析测试和大量试验的基础上，本书提出了汉麻纤维的分子结构为以纤维素为主体，加上少量木质素、酚类物质以及微量金属元素组成的具有立体网状结构的复合体，分子间可能以醚键、缩醛键、糖苷键、酯键和氢键结合为主，初步建立了汉麻纤维的分子结构模型；通过扫描电镜和透射电镜测试分析，提出了汉麻纤维的形态结构为若干原纤组成的巨原纤，巨原纤呈层状环形结构，很可能是汉麻昼夜生长形成的日轮；原纤之间为三维网络互穿的纳米级多孔结构，层壁的空隙率明显低于层间；微孔在纤维纵向呈联通交叉

形态。这些分析结果很好地解释了汉麻纤维具有优异的吸湿放湿、透气、吸声和化学吸附等特性。通过对汉麻纤维天然抗菌特性的测试分析,发现汉麻纤维对造成人体脚气病和股癣的须癣毛癣菌、红色毛癣菌、犬小孢子菌三种真菌具有显著的抑制效果,分析探讨了汉麻纤维防菌抗紫外的机理,提出了木质素、酚类物质和微量元素存在是汉麻纤维具有抗菌、防紫外功能的根本原因。

在分析不同地域、不同生长期和植株不同部位化学组成变化规律的基础上,揭示了汉麻纤维从果胶向半纤维素、纤维素、木质素的大分子生长过程,提出了采用建立规模化种植基地、切根分级加工、鲜茎皮秆分离等方法改变汉麻纤维的化学组成和形态结构,显著地提高了汉麻纤维的品质。针对汉麻纤维单纤长度短、木质素含量高等特点,提出了保留少量木质素,使之成为单纤之间的“粘结点”,使汉麻纤维由粗硬变为细软,又达到了纺纱所要求的长度,从而解决了国际纺织界多年来一直未能解决的技术难题。通过汉麻纤维结构与性能的深入研究,为汉麻纤维的加工和应用奠定了坚实的理论基础。

本书由“汉麻综合利用创新技术研究”项目组主要成员张建春、张华、来侃、郝新敏、马天、张杰、季英超、严自力、周永凯、孙润军共同撰写,作者指导的博士研究生张金秋、王杰、冯新星、张辉、金付强,硕士研究生刘晓东、高丽贤、周洋、毕蕾、于莉莉、牛书野、纵瑞龙、曹令、冯家好、唐占伟、吴君南、赵雅飞、姜亮、王晓婷等做了大量富有实效的工作,承蒙中国工程院姚穆院士为本书作序并审阅部分章节,在此表示衷心的感谢。由于作者水平所限,书中难免出现疏漏和不足,衷心希望读者批评指正。

张建春

2009年3月

目 录

1 国内外汉麻纤维研究现状	1
1.1 概述	1
1.2 汉麻纤维的形态结构	3
1.2.1 形态结构	3
1.2.2 微观结构	5
1.2.3 “位错”	6
1.3 汉麻纤维的化学组成	9
1.3.1 化学成分	9
1.3.2 重金属离子	11
1.4 汉麻纤维的形成发育过程	13
1.5 汉麻纤维的性能研究	14
1.5.1 力学性能	14
1.5.2 吸湿性能	15
1.5.3 热性能	16
1.5.4 抗菌性能	17
1.5.5 防紫外线及声学性能	17
1.5.6 电学性能	18
1.5.7 染色性能	18
1.6 加工工艺对汉麻纤维结构和性能的影响	19
1.6.1 脱胶处理	20
1.6.2 碱处理	24
1.6.3 其它处理	28
1.7 目前汉麻纤维研究中存在的问题	32

2 汉麻纤维的结构	34
2.1 汉麻纤维的化学成分	34
2.1.1 基本化学成分	34
2.1.2 特殊化学成分	42
2.2 汉麻纤维的分子结构	43
2.2.1 化学结构式	43
2.2.2 聚合度及分子量	45
2.2.3 特征光谱	45
2.3 汉麻纤维的超分子结构	47
2.3.1 纤维素晶胞结构	47
2.3.2 纤维素聚集态结构理论	48
2.3.3 超分子结构的测定	51
2.4 汉麻纤维的形态结构	55
3 汉麻纤维的性能	63
3.1 形态参数及力学性能	63
3.1.1 基本物理性能	63
3.1.2 不同部位力学性能的差异	63
3.1.3 拉伸曲线	65
3.1.4 重复弯曲性能和重复扭转疲劳性能	65
3.2 热学性能	66
3.2.1 热性能	66
3.2.2 燃烧性能	70
3.3 吸湿性能	71
3.3.1 吸湿放湿曲线	71
3.3.2 芯吸性能	74
3.4 染色性能	77
3.4.1 浸染	77
3.4.2 冷轧堆	85

3.4.3	轧-烘-轧-蒸	90
3.4.4	汉麻等织物染色性能差异	94
3.5	吸附性能	99
3.6	表面性能	102
3.6.1	纤维表面结构	102
3.6.2	摩擦性能	102
3.6.3	织物湿粘贴性	103
3.7	声学性能	103
3.8	光学性能	104
3.8.1	对光的反射与光泽	104
3.8.2	对光波的吸收	109
3.8.3	双折射率	112
3.8.4	耐光性	112
3.9	电学性能	114
3.9.1	介电性能	114
3.9.2	导电性能	115
3.10	刺痒性能	117
3.11	抗菌性能	121
3.11.1	抗菌特性	122
3.11.2	抗菌机理	124
3.12	防紫外性能	127
3.13	绿色环保性	130
3.13.1	重金属吸附特性	130
3.13.2	减缓化肥农药的危害	130
3.13.3	减少 CO ₂ 排放	131
3.13.4	减少化学品的使用	132
4	各种加工对汉麻纤维结构与性能的影响	134
4.1	鲜茎皮秆分离	134
4.2	机械脱胶	136

4.3	生物脱胶	137
4.3.1	生物菌脱胶对汉麻纤维化学组成的影响	138
4.3.2	生物菌脱胶对汉麻纤维形态结构的影响	138
4.3.3	不同生物菌种对汉麻纤维化学组成的影响	139
4.3.4	不同生物菌种对汉麻工艺纤维长度的影响	140
4.4	高温蒸煮	141
4.4.1	高温蒸煮碱用量对汉麻纤维化学组成的影响	141
4.4.2	高温蒸煮温度对汉麻纤维化学组成的影响	144
4.4.3	高温蒸煮时间对汉麻纤维化学组成的影响	146
4.4.4	高温蒸煮对汉麻纤维物理性能的影响	148
4.4.5	高温蒸煮对汉麻纤维形态结构的影响	148
4.5	闪爆加工	150
4.5.1	闪爆工艺流程	151
4.5.2	闪爆对汉麻纤维化学组成的影响	152
4.5.3	闪爆对汉麻纤维表面形态的影响	155
4.5.4	闪爆对汉麻纤维结晶结构的影响	156
4.5.5	闪爆对汉麻纤维染色性能的影响	157
4.5.6	闪爆对汉麻纤维热失重的影响	158
4.5.7	闪爆对汉麻纤维力学性能的影响	160
4.6	碱处理	161
4.6.1	碱处理对汉麻织物吸湿性的影响	162
4.6.2	碱处理对汉麻织物水洗尺寸稳定性的影响	162
4.6.3	碱处理对汉麻织物力学性能的影响	163
4.6.4	碱处理对汉麻织物染色性能的影响	165
4.7	液氨处理	166
4.7.1	液氨处理对汉麻纤维形态结构的影响	166
4.7.2	液氨处理对汉麻纤维结晶结构的影响	167
4.7.3	液氨处理对汉麻纤维回潮率的影响	168
4.7.4	液氨处理对汉麻纤维染色性能的影响	169
4.7.5	液氨处理对汉麻纤维力学性能的影响	170

4.7.6	液氨处理对汉麻纤维摩擦性能和压缩性能的影响	172
4.8	热胀染色	173
4.9	超临界 CO ₂ 萃取处理	175
4.9.1	超临界 CO ₂ 萃取技术	175
4.9.2	超临界 CO ₂ 萃取的基本原理	176
4.9.3	超临界 CO ₂ 处理条件对汉麻纤维脱胶效果的影响	176
4.9.4	联合工艺超临界 CO ₂ 脱胶	181
4.9.5	超临界 CO ₂ 处理对汉麻纤维结构的影响	182
4.9.6	超临界 CO ₂ 处理对汉麻纤维染色性能的影响	185
4.10	柔软整理	186
4.10.1	柔软整理对汉麻工艺纤维长度的影响	188
4.10.2	柔软整理对汉麻纤维拉伸性能的影响	188
4.10.3	柔软整理对汉麻纤维柔韧性能的影响	189
4.10.4	柔软整理对汉麻纤维表面摩擦性能的影响	193
4.10.5	柔软整理对汉麻纤维吸湿性能的影响	194
4.11	汉麻织物的抗皱整理	195
4.11.1	汉麻织物的抗皱整理原理	195
4.11.2	汉麻织物的抗皱整理	198
4.12	精细化加工	212
4.12.1	精细化加工对汉麻纤维化学组成的影响	213
4.12.2	精细化加工对汉麻纤维长度的影响	213
4.12.3	精细化加工对汉麻纤维表面形态的影响	214
4.12.4	精细化加工对汉麻纤维拉伸性能的影响	216
4.12.5	精细化加工对汉麻纤维吸湿性能的影响	217
4.12.6	精细化加工对汉麻纤维结晶度的影响	217
4.13	潮态纺纱	218
4.13.1	汉麻纤维湿态下的刚柔性	219
4.13.2	汉麻纤维的卷曲形态	221
5	汉麻秆芯黏胶纤维的结构与性能	224
5.1	汉麻秆芯分析	227