

生物质新型纤维的研发综述

李明曦¹ 李毓陵¹ 马颜雪¹ 陈小光² 谢学辉²

1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;

2. 东华大学 环境科学与工程学院, 上海 201620

摘要: 针对石油基材料带来的环境污染与资源消耗的问题, 可持续发展与环境保护日益受到重视。生物质是由光合作用产生的各类有机物质, 生物质纤维是以生物质为原料制备的纤维材料, 包括生物质原生纤维、生物质再生纤维和生物质合成纤维等。近年来, 众多新型生物质纤维因其独特的优势而受到关注, 并成为纺织与材料领域的重要创新方向。系统梳理生物质纤维的分类、制备工艺及应用现状, 重点介绍几种新的生物质原生、再生和合成纤维, 及其在功能纺织品、医疗保健和环境健康领域的应用; 着重总结生物质原生韧皮纤维提取技术——脱胶的研发现状, 为生物质原生韧皮纤维的开发提供新思考; 提出未来研发的重点方向, 以期推动生物质纤维特别是新型生物质原生韧皮纤维及其相关产业的进一步发展。

关键词: 生物质纤维; 原生纤维; 韧皮纤维; 脱胶; 功能纺织品

中图分类号: TS102

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2025)09-0020-08

Review on the research and development of novel biomass fibers

Li Mingxi¹, Li Yuling¹, Ma Yanxue¹, Chen Xiaoguang², Xie Xuehui²

1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China

Abstract: In response to the environmental pollution and resource consumption caused by petroleum-based materials, increasing attention has been paid to sustainable development and environmental protection. Biomass is a variety of organic substances produced by photosynthesis, and biomass fibers are fiber materials prepared from biomass as raw materials, which including biomass primary fibers, biomass regenerated fibers, and biomass synthetic fibers. In recent years, numerous novel biomass fibers have attracted attention due to their unique advantages and have become an important innovative direction in the fields of textiles and materials. A systematic review was conducted on the classification, preparation processes, and application status of biomass fibers, with a focus on introducing several novel biomass primary, regenerated, and synthetic fibers, as well as their applications in functional textiles, healthcare, and environmental health. The research and development status of extraction technology – degumming – for biomass primary bast fibers was emphasized and summarized, providing new insights for the development of biomass primary bast

收稿日期: 2025-09-01

作者简介: 李明曦, 女, 2002年生, 在读博士研究生, 主要研究方向为纺织新材料

通信作者: 李毓陵, 教授, lyly@dhu.edu.cn

fibers. Furthermore, the key directions for future research and development were proposed, aiming to promote the further advancement of biomass fibers, particularly novel biomass primary bast fibers, and their related industries.

Keywords: biomass fiber; primary fiber; bast fiber; degumming; functional textile

生物质是指由光合作用产生的各类有机物质,包括植物、微生物,以及以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物。生物质资源分布广泛,可通过种植、养殖实现不断再生,并持续为人类提供能源和材料。生物质纤维是指以生物质为原料制备的纤维。根据原料获取途径和制备方法的不同,生物质纤维可分为生物质原生纤维、生物质再生纤维和生物质合成纤维等。随着人们对环境保护的重视,传统石油基材料带来的环境污染和不可持续的问题日益凸显,而具备易加工、生态环保和可持续再生等特性的生物质纤维获得了更为广泛的关注^[1]。

近年来,随着对非传统天然生物资源的深入开发与利用,新型生物质纤维因其独特的优势而逐渐受到关注,并成为了纺织与材料领域的重要创新方向。本文将以生物质原生植物纤维为研究重点,系统梳理生物质纤维的分类、制备工艺及应用现状,以期对生物质纤维的发展提供思考,促进新型生物质纤维更广泛的研发与应用。

1 生物质纤维的分类

1.1 生物质原生纤维

生物质原生纤维是指从植物或动物组织中直接提取、分离的天然高分子材料,根据成分可分为植物纤维和动物纤维。目前,棉、麻、毛等传统生物质原生纤维加工和应用技术已较为成熟,而具有优异性能的新型生物质原生纤维亟待深入开发和利用^[2]。

1.1.1 植物纤维

植物纤维是指从植物的种子、韧皮、果实等部位提取的,以纤维素为主要成分的天然高分子材料,如棉纤维、苧麻纤维及椰壳纤维等。这种纤维具有环保可降解、吸湿透气、生物相容性好等特性^[1]。近年,许多学者加强了对植物纤维的研发,并获得了越来越多的新型植物纤维资源。

1.1.1.1 种子纤维

种子纤维是指从植物的种子表面或种子蒴果中获取的天然纤维,又称种毛纤维。其中,以木棉纤维和牛角瓜纤维为代表的新型种子纤维正受到研究者们的高度关注,并展现出极大的应用潜力。

木棉纤维来源于锦葵目木棉科植物的果壳内壁,属单细胞纤维,被誉为“长在树上的羊绒”。该纤维表面平滑且无转曲,截面多呈圆形或椭圆形,未破裂时细胞为气囊状结构,中空度远高于棉纤维,具有优异的保暖、导湿、抗菌和防螨等特性^[3]。然而,木棉纤维存在平均长度短、断裂强度低、可纺性差的问题,通常难以单独纺纱。随着国内纺纱技术的进步,李杨^[4]将木棉纤维与涤纶、黏胶纤维混纺,所得纱线强力提升,且手感蓬松柔软;马琴等^[5]采用紧密纺纱工艺,将木棉纤维与柔丝蛋白纤维混纺,开发出强力和耐磨性优异、能释放负氧离子的木棉/柔丝蛋白纱线。目前,木棉混纺纱凭借其独特的性能逐渐被开发用于服用纺织品。

牛角瓜纤维是指从牛角瓜种子表面提取的冠毛纤维。该纤维表面光滑且无天然扭曲,截面呈椭圆形或不规则圆形,管壁较薄,中空度高于木棉纤维^[6]。该纤维质轻柔软且有光泽,吸湿性强,具备天然抗菌性,且保暖性优异^[7]。靳美琦^[8]通过改进现有方法建立了适合牛角瓜纤维形态特征和力学性能测试的方法。王燕斌等^[9]通过优化微波开果提纤技术,提高了牛角瓜纤维的提取效率和品质。相较于木棉纤维,牛角瓜纤维具有更长的纤维长度和更高的断裂强度,可纺性更优,但其仍需与可纺性及性能较优的纤维进行混纺。蒋晓^[10]将养生处理后的牛角瓜纤维与棉混纺,制得的 31.25 tex 的牛角瓜纤维/棉(70/30)混纺纱线强力偏低但蓬松度较好,适宜用作保暖材料。王静等^[11]开发的 14.5 tex 的牛角瓜纤维/咖啡碳纤维(35/65)混纺针织纱,具有抗菌除臭、保暖舒适等多功能特性。总之,通过纤维混纺技术,牛角瓜纤维的纺织应用价值可得到有效提升。

1.1.1.2 韧皮纤维

韧皮纤维是从双子叶植物茎部韧皮部组织中提取的天然纤维素纤维,其主要存在于木本和部分草本植物中。传统的韧皮纤维如汉麻纤维、亚麻纤维、苧麻纤维和黄麻纤维等,已被广泛应用于纺织工业。桑皮纤维、罗布麻纤维和荨麻纤维等新型韧皮纤维还未得到充分研究和推广。

桑皮纤维是从桑树茎干次生韧皮部组织中提取的,其截面呈三角形或不规则多边形,且分布有大小不等的孔洞、缝隙;纵向表面有条纹、无横节^[12]。桑皮纤维有丝般光泽,手感柔软舒适,性能与亚麻纤维类似,强度高,吸湿透气且天然抗菌^[13]。杨草^[14]指出,化学法制取的桑皮纤维直接纺纱难度较大,可通过特定的工艺处理,改性制备成人造棉。桑皮纤维还可通过与其他纤维混纺,突显其特性。瞿才新等^[15]开发了 18.2 tex 的桑皮纤维/黏胶基甲壳素纤维混纺纱,具有抗菌、护肤等保健功效。张立峰等^[16]采用传统棉纺设备,结合赛络菲尔复合纺纱技术,将桑皮纤维与芦荟黏胶纤维、金银丝结合,制得具备抗菌、防辐射特性及闪光效应的复合功能纱。

罗布麻属野生夹竹桃科草本植物,素有“野生纤维之王”之称。在我国西北地区,特别是新疆等地,分布有大量的野生罗布麻,近年受到多方面的重点关注。罗布麻纤维表面具有丝般光泽,截面呈中空的不规则圆形,纵向表面有竖纹和横节^[17]。该纤维抗腐蚀性能优良、强度高,不易引起刺痒,柔软性较好,具有较高的纺织应用价值^[18]。刘新金等^[19]将罗布麻纤维与长绒棉混纺,制得兼具罗布麻纤维抗菌保健特性与棉纤维吸湿透气性的纱线。王广斌等^[20]将罗布麻纤维与牦牛绒、莫代尔纤维混纺,制得的纱线结合了 3 种纤维的特性,手感顺滑柔软、蓬松保暖且抗菌抑菌。

荨麻是多年生宿根性野生草本植物,具有较强的生长适应性。其韧皮部提取的纤维截面多呈腰圆形,有类似中空结构;纵向轻微转曲,表面有纵向沟槽^[21]。荨麻单纤维长度仅次于苧麻纤维,力学性能优异,还具有保温、抗菌、防皱等特性,是优质的纺织原料^[22]。郭嫣等^[23]采用环锭纺和转杯纺工艺,探究了荨麻纤维的可纺性,发现纯荨麻纤维纺纱难度大,可尝试与其他纤维混纺。郜建锐等^[24]在对荨麻纤维进行预处理后与棉混纺,得到了 33.24 tex 的荨

麻/棉(50/50)混纺纱,发现纱线强力较高且条干均匀。梁华^[25]研究了碱改性、柔软剂改性和接枝改性对荨麻纤维纺纱性能的影响,结果表明:优化改性工艺可以降低荨麻纤维的刚性,提升纤维柔软性,解决荨麻纤维纺纱困难的问题。

1.1.2 动物纤维

动物纤维以角蛋白或丝素蛋白为主要成分,来源于动物毛发、茧或分泌物等。常见的动物纤维有羊毛、牦牛绒、蚕丝等。琥珀蚕丝作为蚕丝的一种,目前国内对其研究较少,但琥珀蚕丝各方面性能均优于桑蚕丝及各种野蚕丝^[26],具有较高的推广价值。

琥珀蚕丝通过对琥珀蚕茧缂丝获得,是一种天然蛋白质纤维。琥珀蚕茧形状不规则,缂丝困难,以致琥珀蚕丝年产量稀少,目前主要在印度和东南亚地区开发使用,商业价值极高^[27]。琥珀蚕丝截面呈近似三角形,纵向表面光滑,粗细均匀。其具有天然金黄色光泽,结晶度较高,热稳定性、吸湿性和生物降解性均优于桑蚕丝,主要应用于高端服饰^[28]。Gogoi 等^[29]采用等离子体处理技术对琥珀蚕丝进行表面改性,发现改性后的琥珀蚕丝拉伸性能受其表面离子浓度和功能基团变化的影响,故基于此可调控琥珀蚕丝力学性能,拓宽其应用范围。朱瑜^[27]探索了琥珀蚕丝在整容缝合线方面的应用潜力,结果显示琥珀蚕丝作为整容外科缝合线材料具有良好的适用性,这进一步拓宽了其在生物医用材料中的应用前景。

1.2 生物质再生纤维

生物质再生纤维以天然高分子为原料,通过溶解、化学处理和再成型工艺制成。这类纤维保留了天然纤维素或蛋白质的化学本质,但结构、性能与加工方式更接近化学纤维,如黏胶纤维、铜氨纤维、莫代尔纤维和莱赛尔纤维等^[30]。生物质再生纤维具有资源利用率高、性能可控、可生物降解等优势。

其中,铜氨纤维兼具环保、低成本及良好的服用特性,展现出多样化的应用潜力。该纤维以棉短绒或木浆为原料,先溶于氢氧化铜和氨水的络合溶液中制成纺丝液,然后通过湿法纺丝并在酸浴中凝固再生而成。其纵向表面光滑,截面呈均匀圆形且无皮芯结构,具有较高的强度、洁白的外观、柔和的光泽,以及蚕丝般柔软的质感^[31]。与黏胶纤维相比,铜氨纤维断裂比强度略高,干强相近,湿强明显更

优,同时其耐磨性和耐疲劳性更佳^[32]。铜氨纤维具有出色的染色性能和吸湿性,制成的织物悬垂性优良,服用性能接近桑蚕丝。此外,铜氨纤维长度整齐度好,含杂量低,因而纺纱性能优良,其常与棉纤维、羊毛或合成纤维混纺,用于生产高档面料^[33]。

1.3 生物质合成纤维

生物质合成纤维是以生物质为原料,通过化学反应或生物工程技术制成的纤维材料^[2]。其原料来源广泛,常见的有淀粉、纤维素和葡萄糖等。生物质合成纤维制备工艺包括植物油裂解、葡萄糖发酵及菌株代谢等多种方式。该类纤维主要包括聚乳酸 (polylactic acid, PLA) 纤维、聚对苯二甲酸丙二醇酯 (polytrimethylene terephthalate, PTT) 纤维、聚羟基脂肪酸酯 (polyhydroxyalkanoates, PHA) 纤维和聚 ϵ -己内酯 (polycaprolactone, PCL) 纤维。其中,PLA 纤维因兼具性能与产业化优势而在生物质合成纤维中具有突出代表性。

PLA 纤维以玉米、木薯等富含淀粉的农作物为原料,经微生物发酵后采用直接缩聚或丙交酯开环聚合工艺,再经熔融纺丝制备而成^[34]。该纤维含大量酯基,具有良好的可生物降解性,可完全降解为二氧化碳和水,实现自然碳循环^[35]。其形态结构由纺丝工艺精确调控,截面形状(圆形或异形)和长度

(短纤维或长丝)会影响纤维的光泽、手感和功能特性。常见的 PLA 纤维表面相对光滑、结构均匀,少有裂缝或孔洞,具有良好的导湿性和较强的疏水性;断裂强度比涤纶、锦纶略低,断裂伸长率较高,初始模量约为涤纶的一半;柔软性和耐热性较差,热稳定性也有待提高(这限制了其高附加值应用)。通过共聚改性或添加助剂,可增强 PLA 纤维的抗菌性、阻燃性,提升其远红外功能,拓展其应用领域^[36]。

2 生物质原生纤维提取技术

生物质原生动植物纤维与植物纤维在提取工艺上存在本质差异,本章将聚焦生物质原生植物纤维中韧皮纤维的提取技术。含韧皮纤维的韧皮部组织中往往共生有果胶、半纤维素和木质素等胶质,这类纤维去除胶质后才能满足纺织加工要求。韧皮纤维一般又称为麻纤维或麻类纤维,韧皮部胶质的去除则习惯被称为麻脱胶或麻纤维脱胶。不同麻纤维含胶量存在差异,故需采用针对性的脱胶方法进行处理^[37]。当前,传统麻纤维如苧麻纤维等的脱胶技术发展较为成熟,新型麻纤维的脱胶工艺常参考其技术路线,主要脱胶方法(表 1)包括物理脱胶、化学脱胶、生物脱胶和联合脱胶等。

表 1 韧皮纤维的脱胶方法

Tab. 1 Degumming methods of bast fibers

脱胶方法	原理	特点
物理脱胶	通过机械外力破坏胶质与纤维的结合力	简便快捷,污染少,对纤维损伤小,但脱胶不彻底
化学脱胶	利用化学药剂与胶质发生化学反应,破坏胶质结构并去除	工艺流程长,能耗高,污染大,对纤维损伤明显
生物脱胶	利用微生物或酶制剂分解胶质	专一性较强,工艺简单,但产酶量少,酶活性低,纤维质量不稳定
联合脱胶	综合 2 种或以上的脱胶方法	高效,环保,工艺复杂,设备成本高

2.1 物理脱胶

物理脱胶利用外力对韧皮部组织施加剪切或冲击作用,破坏或松解胶质结构,从而实现胶质与纤维素纤维的分离^[38]。物理脱胶主要技术涉及机械脱胶、蒸汽爆破脱胶和超声波脱胶等,具有工艺高效、环境污染少的优势。但单独采用物理脱胶难以满足高品质纺织纤维的要求,故通常与其他脱胶方法联合使用。

2.2 化学脱胶

化学脱胶是目前麻纤维脱胶最常用的方法,

其原理基于胶质与纤维素在化学性质上的差异,即胶质易受化学试剂作用而溶解和(或)降解,纤维素则保持相对稳定。化学脱胶主要采用碱性试剂进行处理,辅以氧化剂、膨松剂等助剂,以及适当的高温、高压并结合机械作用,实现胶质与纤维的分离^[39],如传统碱脱胶、氧化脱胶和溶剂脱胶等。化学脱胶效果显著,应用较为广泛,脱胶效率高,可迅速去除大部分胶质,但能耗高,环境污染严重,且易对纤维造成较大损伤,是一种不可持续的脱胶方法^[37]。

2.3 生物脱胶

生物脱胶利用微生物发酵或酶解作用分解果胶、半纤维素、木质素等非纤维组分,从而分离出高品质的纤维素纤维。该方法污染较小、能耗低、对纤维损伤小,已成为脱胶技术领域研究的重点。

2.3.1 天然沤麻法脱胶

天然沤麻法是我国最早采用的麻纤维脱胶技术,其通过由天然微生物、水体和麻茎构成的脱胶体系,在自然环境中实现脱胶。具体方法是,将麻皮捆扎成束,浸于池塘、沟渠或湖泊等天然水域,利用微生物厌氧发酵分解原麻中的胶质^[40]。该方法分为水浸沤麻和雨露沤麻2种,操作简单,资源消耗低,但受日照、温度等环境影响较大,脱胶过程不可控,质量不稳定,周期长,且存在短期环境污染严重的问题^[41]。

2.3.2 微生物脱胶

微生物脱胶特指利用人工筛选的脱胶菌,在人工环境下以胶质为营养源进行代谢繁殖并分泌酶,使胶质降解为低分子物质并溶于水中,从而实现胶质与纤维分离的技术^[42]。天然沤麻法虽然也属于微生物脱胶,但其仅依靠自然环境中的微生物代谢、脱胶。早在20世纪80年代,中国农业科学院麻类研究所筛选出苧麻脱胶菌T66,脱胶后残胶率约为15%^[43]。彭源德等^[44]筛选出的高效脱胶菌株T85-260,能在8h内完成苧麻脱胶,残胶率低,所得纤维满足纺织工艺需求。Li等^[45]利用分离出的裂褶菌处理汉麻纤维14d,其半纤维素质量分数从18.4%降至13.5%,木质素质量分数从6.8%降至4.0%。由于单独菌株分解胶质时会产生纤维素酶损伤纤维,因此,微生物脱胶研究热点转向复合菌群。王慧慧等^[46]基于芽孢杆菌HG-9和HG-25构建复合微生物脱胶技术,缩短了脱胶时间,并将胶质、半纤维素和木质素的去除率分别提高了9.32%、21.24%和17.93%。总之,微生物脱胶存在生产成本低、环境要求苛刻、菌种无法循环使用等问题,导致现有微生物脱胶技术很难在企业大规模生产中应用。

2.3.3 酶法脱胶

酶法脱胶即利用果胶酶、木聚糖酶等特异性酶制剂直接处理,或借助微生物发酵后期产生的胞外酶水解胶质物质^[47]。由于胶质成分较为复杂,酶法

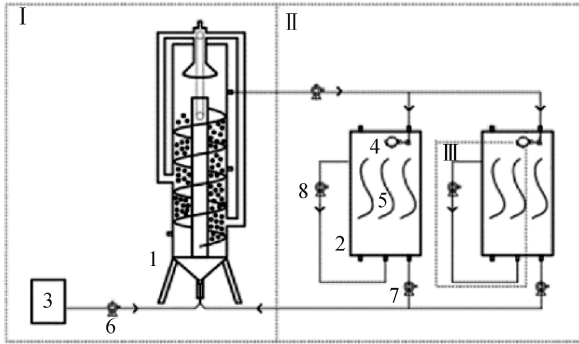
脱胶多采用复合酶体系,即通过多种酶的协同作用实现高效脱胶。刘唤明等^[48]利用果胶酶、木聚糖酶协同作用脱胶后,再采用甘露聚糖酶对苧麻脱胶,发现得到的苧麻纤维残胶率为5.25%。该研究为仅采用酶法脱胶奠定了基础。王楚元^[49]探究了高效苧麻复合酶脱胶工艺,发现当果胶酶、木聚糖酶、甘露聚糖酶复配比为8:1:2(质量比),pH为6,温度55℃时,脱胶效果较好,但纤维残胶率较高,说明果胶酶和半纤维素酶的联合使用虽能去除原麻中的非纤维素胶质,但单纯使用酶法脱胶对苧麻作用有限。陈静等^[50]研究发现,当以果胶酶、半纤维素酶、漆酶复配比1:4:4(质量比),复合酶用量100g/L,温度50℃为条件,处理剑麻4h后,仍需结合化学脱胶才能满足纺纱工艺要求。总之,仅采用酶法脱胶效果差、均一性欠佳、残胶率较高,加之酶制剂成本高,这些都制约了酶法脱胶的产业化应用。

2.3.4 厌氧连续流生物脱胶

厌氧连续流生物脱胶是一种原创的植物原生纤维提取工艺,其利用以螺旋对称流厌氧生物反应器(spiral symmetry stream anaerobic bioreactor, SSSAB)为核心的连续流脱胶系统(图1),实现了“菌产酶、酶脱胶、胶养菌”的连续化脱胶^[51]。该技术的核心机制是,反应器作为厌氧菌群培养、代谢与繁殖的场所,脱胶罐用于纤维脱胶,二者有机联结构成连续流脱胶系统。该系统中,厌氧微生物经过梯度驯化,对纤维损伤小、脱胶效率较高,还可利用胶质实现自我循环。与传统生物脱胶相比,该技术无需大量化学药剂,且不产生有毒有害物质,运行成本低;同时,系统对苧麻、汉麻、亚麻等传统麻纤维,以及罗布麻、桑皮麻等多种新型韧皮纤维,都已取得良好的脱胶效果^[52]。

2.4 联合脱胶

联合脱胶是将多种脱胶技术结合以实现协同作用的脱胶方法,如生物-化学联合脱胶、超声波-生物联合脱胶以及微生物-酶联合脱胶等。管映亭^[53]探讨了果胶酶-化学法在苧麻脱胶中的应用,证明其所得纤维品质优于传统化学脱胶。Ray等^[54]优化了一种生物-化学联合脱胶工艺,其采用苏云金芽孢杆菌MCC2138和枯草芽孢杆菌ABDR01,将少量化学处理与微生物脱胶相结合,解决了传统化学脱胶对环境污染以及对纤维损伤大的问题,同时显著提高



1—SSSAB 反应器;2—脱胶罐;3—补液池;4—水位平衡器;5—麻;
6—补水泵;7—外循环泵;8—内循环泵; I—反应器系统;
II—外循环系统; III—自循环系统

图 1 连续流生物脱胶系统简图^[52]

Fig. 1 Anaerobic continuous flow biological degumming device diagram^[52]

了苧麻纤维的强度与光泽度。Yadav 等^[55]开发了一种超声波-生物脱胶工艺,其通过低强度超声辐照提高枯草芽孢杆菌 ABDRO1 协同产生果胶酶和木聚糖酶的能力,处理后果胶酶和木聚糖酶活力分别提高约 38.15% 和 24.59%。Zheng 等^[56]开发了一种微生物脱胶与酶法脱胶结合的脱胶工艺,即先用由枯草芽孢杆菌 NT-39、NT-53 和 NT-76 组成的复合菌对苧麻进行发酵处理 48 h,再进行酶法脱胶 5 h,所得纤维残胶率降至 9.4%。联合脱胶法结合了物理、化学和生物 3 种形式的脱胶,可充分发挥各方法的优势,脱胶效率更高,可减少化学试剂用量,减轻环境污染,同时保留生物法的低损伤特性,纤维强度损失小,但生产工艺复杂、流程长、成本高^[57]。

3 生物质原生纤维的应用

生物质原生纤维凭借独特的微观结构和天然组分,无需特殊处理即可赋予织物透气、凉感、保暖或抗紫外线等功能,满足多样化的穿着需求^[1]。如:亚麻纤维织物具备出色的温度调控能力,其可根据环境变化及时调整人体皮肤表面的微气候,常被用于夏季服装和床上用品,提升穿着舒适度和改善睡眠质量^[58]。桑皮中富含多种有益成分,其纤维织物具有护肤、降血压等功效,柔软舒适、凉爽透气,适合作为夏季服装面料,也可制成西装、运动服、睡衣、内衣等产品^[59]。牛角瓜纤维的中空结构有助于形成静态空气层,赋予织物保暖与隔热性能,其纤维表面

光滑柔软,织成的面料透气舒适,质感丝滑,适用于开发轻质保暖型功能性服饰^[60]。苧麻纤维织物具有紫外线防护性能,且通过变化织物组织可增强该功能,并达到良好的防护级别,现已开发应用于帽子、窗帘、夹克等紫外线防护类用品中^[61]。

生物质原生纤维具有天然抑菌特性,在经过适当的加工处理后常用于日常防护或医疗保健领域,尤其是在伤口敷料方面,其应用已得到广泛研究,这为相关材料的开发提供了重要基础。Dou 等^[62]研究发现柳树皮纤维与莱赛尔纤维的混纺纱能抑制金黄色葡萄球菌的活性,可将其应用于活性伤口敷料。Yang 等^[63]将海藻酸钠、丝素蛋白与牛角瓜纤维复合制备新型水凝胶伤口敷料,并发现:相较传统敷料,该新型敷料能有效延缓药物释放,且能更好地贴合伤口,适应机体动态运动,进而加速伤口愈合,提升患者舒适度与产品使用安全性。该新型敷料在伤口抗感染治疗及慢性病护理方面具有良好的应用前景。

生物质原生纤维具备良好的生物相容性,可与导电材料结合制备柔性可穿戴纺织品,不仅提升了智能设备的耐用性、柔韧性和灵敏度,还增强了产品舒适性,适用于运动监测或健康检测。Shu 等^[64]用磁流变弹性体封装银纳米线涂覆的亚麻纤维,研发出具有出色磁驱动传感和力-电-磁耦合特性的柔性压阻传感器,其仅对弯曲刺激敏感,可用于监测人体关节活动。Zhang 等^[65]采用浸轧法制备出石墨烯涂层牛角瓜纱线,该纱线展现出优异的导电性和抗干扰能力,且经多次洗涤后仍能保持性能稳定,有效解决了智能纺织品的清洁难题。在此基础上,Liu 等^[66]以氨纶/涤纶包芯纱和牛角瓜纱线为经纬纱构建柔性织物传感器,可应用于运动训练和远程医疗,实现了个人数字健康监测。

4 总结与展望

生物质纤维作为绿色环保材料,可替代传统石油基材料,为纺织行业的可持续发展提供新路径。新型生物质纤维虽然同样具有优良特性,但受提取技术未突破、加工成本高及市场认知不足等的限制,尚未实现产业化。目前,生物质原生纤维提取技术持续优化,已逐步满足绿色脱胶的工艺需求。凭借独特的吸湿透气、天然抗菌、芳香除臭等功能特性,

生物质原生纤维在保健、防护、健康监测等领域展现出较好的应用前景。生物质纤维材料与技术也随之得到了逐步的开发和使用。

未来,应继续开发并利用更多的新型生物质原生纤维,减少化石燃料的使用;不断创新研发新技术,突破现有技术局限,提高其纺纱、织造性能;同时,注重跨学科协同创新,深入开发纤维的功能特性,拓展产品应用场景,使其更好地融入日常生活,助力构建健康生活方式。



期刊采编平台

中国知网下载

参考文献

- [1] 文洪杰,解希娜,张磊,等. 功能性生物质纤维在大健康领域的应用[J]. 针织工业, 2025(1): 1-5.
- [2] 陈丽嫚,汪涛. 生物质纤维材料的研究进展及发展前景[J]. 蚕学通讯, 2014, 34(2): 16-21.
- [3] 胡立霞. 木棉纤维组成、微细结构及相关应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2021.
- [4] 李杨. 木棉纤维性能及纺纱工艺的研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2012.
- [5] 马琴,唐为芳,吴昌祥. 木棉/柔丝蛋白纤维紧密纺纱产品的开发和应用[C]//第十五届全国新型纺纱学术论文集. 杭州, 2010: 155-157.
- [6] 费魏鹤,胡惠民,李璇,等. 牛角瓜纤维的结构与性能研究[J]. 中国纤检, 2011(7): 80-83.
- [7] 靳美琦,谭宇豪,李毓陵,等. 牛角瓜纤维开发的研究进展[J]. 纺织科技进展, 2023(1): 8-15.
- [8] 靳美琦. 牛角瓜纤维形态特征及力学性能检测与分析[D]. 上海: 东华大学, 2023.
- [9] 王燕斌,李毓陵,马颜雪,等. 牛角瓜微波开果提纤设备不同收集区域的提纤质量分析[J]. 国际纺织导报, 2024, 52(5): 1-6.
- [10] 蒋晓. 水晶棉纤维纺织加工与产品性能的相关性研究[D]. 上海: 东华大学, 2013.
- [11] 王静,史善静,郭亭,等. 牛角瓜纤维/咖啡碳纤维混纺针织纱开发[J]. 上海纺织科技, 2019, 47(9): 27-29.
- [12] 陈祥平,方佳,李乔兰,等. 桑皮纤维及其纺织品开发研究[J]. 丝绸, 2013, 50(12): 1-6.
- [13] CUI H, SHI C, DUAN J M, et al. Study on biochemical degumming process of mulberry fiber, part 1: single factor analysis[J]. Journal of Natural Fibers, 2021, 18(11): 1533-1544.
- [14] 杨草. 桑皮生产人造棉工艺[J]. 农村经济与科技, 1995(9): 27.
- [15] 瞿才新,毛雷. 18.2 tex 桑皮纤维/粘胶基甲壳素纤维混纺纱的开发[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(7): 34-35.
- [16] 张立峰,瞿才新,陈贵翠,等. 芦荟粘胶纤维/桑皮纤维/金银丝赛络菲尔纱的开发[J]. 上海纺织科技, 2014, 42(8): 42-44.
- [17] 王丽莎,胡雪敏,青艳,等. 罗布麻的主要化学成分与作用及其在纺织领域的应用[J]. 毛纺科技, 2024, 52(9): 137-143.
- [18] 王桂兰,韦超. 新疆巴州罗布麻纤维性能及开发前景[J]. 中国纤检, 2003(12): 27.
- [19] 刘新金. 一种棉/罗布麻混纺纱的生产方法: CN201710036714.1[P]. 2018-10-26.
- [20] 王广斌. 一种牦牛绒/罗布麻/莫代尔混纺纱线的生产方法: CN201611014924.2[P]. 2020-06-26.
- [21] 刘朝斐,于杨菁华,郭欣芸,等. 荨麻纤维理化性能分析研究[J]. 轻纺工业与技术, 2014, 43(3): 4-8.
- [22] BHARDWAJ D, GIRI A, KUMAR V, et al. Nettle (*urtica spp.*) phytotomy and applications: crop variety selection and advanced product development for the manufacturing of natural fiber composites[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 210: 118180.
- [23] 郭嫣,武海良,孙小寅. 荨麻纤维可纺性能的分析研究[J]. 西安工程科技学院学报, 2006, 20(2): 139-142.
- [24] 郜建锐,单小红,孙晓明,等. 荨麻/棉混纺纱的开发[J]. 上海纺织科技, 2015, 43(11): 43-44.
- [25] 梁华. 荨麻纤维可纺性改性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018.
- [26] 邓婷婷. 家蚕丝、野桑蚕丝及琥珀蚕丝的结构和性能研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [27] 朱瑜. 琥珀蚕丝整容外科缝合线的研究与开发[D]. 上海: 东华大学, 2020.
- [28] 钟健,董占鹏,江秀均,等. 琥珀蚕的生物学特性[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 800-806.
- [29] GOGOI D, CHOUDHURY A J, CHUTIA J, et al. Enhancement of hydrophobicity and tensile strength of muga silk fiber by radiofrequency Ar plasma discharge[J]. Applied Surface Science, 2011, 258(1): 126-135.
- [30] 文美莲. 生物基化学纤维的研究、应用及发展方向

- [J]. 产业用纺织品, 2024, 42(11): 23-29.
- [31] 刘晓妹, 李红霞. 铜氨纤维及其应用[J]. 毛纺科技, 2015, 43(3): 59-62.
- [32] 张淑梅, 庄军祥. 铜氨纤维的性能及纺纱工艺实践[J]. 山东纺织科技, 2006, 47(3): 22-24.
- [33] 卞克玉, 王汇锋, 陈丹凤. 铜氨纤维/棉混纺纱生产实践[J]. 毛纺科技, 2020, 48(7): 13-17.
- [34] 苏凤辉, 张海焯, 江敏, 等. 生物基化学纤维性能及应用现状[J]. 针织工业, 2023(12): 65-68.
- [35] 廖世豪, 王瑄, 沈兰萍, 等. 聚乳酸纤维研究现状及在纺织品中的应用[J]. 针织工业, 2021(9): 27-29.
- [36] 郑芳, 廖世豪, 袁黎姬, 等. 功能化改性聚乳酸纤维的研究进展及应用[J]. 纺织科技进展, 2024, 46(10): 13-16.
- [37] CHENG L F, DUAN S W, FENG X Y, et al. Ramie-degumming methodologies: a short review[J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2020, 15: 1558925020940105.
- [38] 李博雅. 基于有机溶剂两步法的大麻脱胶技术及机理研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2023.
- [39] 杨英贤. 麻纤维脱胶的现状与对策[J]. 山东纺织科技, 2005, 46(1): 51-54.
- [40] 朱洁文, 伍波, 孙焕良. 麻类纤维脱胶工艺现状与展望[J]. 作物研究, 2007, 21(增刊1): 701-704.
- [41] 何绍江, 刘孔鑫, 赵学慧. 红麻沤制对水质污染的研究[J]. 农业环境科学学报, 1990, 9(3): 27-29.
- [42] 郭莹. 亚麻粗纱生物酶脱胶研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [43] 王德骥. 苧麻纤维素化学与工艺学-脱胶和改性[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 210-225.
- [44] 彭源德, 冯湘沅, 刘正初, 等. 苧麻脱胶菌种的特性研究[J]. 中国麻作, 1995, 17(2): 32-35.
- [45] LI Y, PICKERING K L, FARRELL R L. Analysis of green hemp fibre reinforced composites using bag retting and white rot fungal treatments[J]. Industrial Crops and Products, 2009, 29(2/3): 420-426.
- [46] 王慧慧, 张非, 舒潼, 等. 两株芽孢杆菌在苧麻纤维复合脱胶中的应用[J]. 微生物学通报, 2021, 48(8): 2512-2523.
- [47] 王岱笠, 康建平, 马德武, 等. 苧麻脱胶研究进展[J]. 纺织科技进展, 2023(4): 1-5.
- [48] 刘唤明, 梁运祥, 彭定祥. 苧麻酶法脱胶的研究[J]. 中国麻业, 2006, 28(2): 87-90.
- [49] 王楚元. 苧麻复合生物酶脱胶工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2024.
- [50] 陈静, 孙小寅, 武海良, 等. 剑麻原纤生物脱胶工艺研究[J]. 纺织科技进展, 2021(5): 19-22.
- [51] 刘芳, 马颜雪, 陈小光, 等. 苧麻纤维厌氧生物脱胶系统工艺性能研究[J]. 纺织学报, 2020, 41(11): 89-94.
- [52] 马景玄, 杜卫平, 李毓陵, 等. 麻纤维厌氧连续流生物脱胶中试装置的性能研究[J]. 国际纺织导报, 2023, 51(1): 11-17.
- [53] 管映亭. 苧麻酶法脱胶的研究[J]. 上海纺织科技, 1999, 27(4): 4-6.
- [54] RAY C S, GOGOI M, BISWAS T, et al. Optimization of bio-chemical degumming of ramie fiber for improved strength & luster[J]. Biotechnology Reports, 2020, 28: e00532.
- [55] YADAV A, MAHABOOB ALI A A, INGAWALE M, et al. Enhanced co-production of pectinase, cellulase and xylanase enzymes from bacillus subtilis ABDRO1 upon ultrasonic irradiation[J]. Process Biochemistry, 2020, 92: 197-201.
- [56] ZHENG L, DU Y, ZHANG J Y. Degumming of ramie fibers by alkalophilic bacteria and their polysaccharide-degrading enzymes[J]. Bioresource Technology, 2001, 78(1): 89-94.
- [57] 杨培芹. 桑皮微纳米纤维的制备与应用[D]. 苏州: 苏州大学, 2023.
- [58] 何伟坚, 吴霁弟. 亚麻纤维的特性及其应用[J]. 化纤与纺织技术, 2019, 48(4): 36-38.
- [59] 张晓慧, 崔红. 桑皮纤维抗菌保暖混纺纱的开发[J]. 纺织科技进展, 2017(4): 35-37.
- [60] 柴文波, 徐文齐, 王菁, 等. 牛角瓜纤维性能及其应用[J]. 印染助剂, 2024, 41(3): 9-13.
- [61] PARGAI D, GAHLOT M. The utilisation of himalayan nettle (*girardinia diversifolia*) plant for development of UV protective textiles: a new perspective of a traditionally used plant[J]. Indian Journal of Traditional Knowledge, 2020, 19(4): 910-915.
- [62] DOU J Z, ILINA P, CRUZ C D, et al. Willow bark-derived material with antibacterial and antibiofilm properties for potential wound dressing applications[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(44): 16554-16567.
- [63] YANG J, YANG F L, XU W H, et al. Composite hydrogel dressing with drug-release capability and enhanced mechanical performance[J]. Biomacromolecules, 2025, 26(9): 5715-5726.

(下转第 43 页)