

新材料技术

生物质纤维基包装复合材料的研究现状

徐铭梓^{1a,1b}, 黄丽婕^{1a,1b}, 张晓晓^{1a,1b}, 黄崇杏^{1a,1b}, 柴坤刚^{1a,1b}, 梁东武², 宗梦婷^{1a,1b}
(1.广西大学 a.轻工与食品工程学院 b.广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室, 南宁 530004, 中国; 2.齐鲁工业大学 制浆造纸科学与技术教育部/山东省重点实验室, 济南 250353)

摘要: **目的** 综述纤维基复合材料在包装中的应用和研究现状。**方法** 介绍国内外生物质纤维基复合材料在发泡型材料、薄膜、板材等不同种类包装材料中的应用现状, 分别总结各类包装材料使用的基材及制备工艺, 比较不同纤维基复合材料的性能差异, 指出复合材料在制备工艺及性能上的不足, 并展望纤维基包装复合材料的发展前景。**结果** 纤维素具有天然的化学结构, 使纤维基材料具有良好的力学性能、阻隔性、可降解性, 较好地应用在不同包装材料中。**结论** 纤维基复合材料具有性能优良、可生物降解、经济环保等特点, 在包装领域具有较大发展潜力, 在原料的选择、制备工艺绿色化及性能的可控性等方面还有较大的研究空间。

关键词: 生物质; 纤维基; 复合材料; 包装材料

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0016-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.004

Research Status of Biomass Fiber-based Packaging Composites

XU Ming-zi^{1a,1b}, HUANG Li-jie^{1a,1b}, ZHANG Xiao-xiao^{1a,1b}, HUANG Chong-xing^{1a,1b},
CHAI Kun-gang^{1a,1b}, LIANG Dong-wu², ZONG Meng-ting^{1a,1b}

(1.Guangxi University, a. College of Light Industry and Food Engineering, b. Guangxi Key Laboratory of Clean Pulp & Papermaking and Pollution Control, Nanning 530004, China; 2.Pulp & Papermaking Science and Technology Ministry of Education/Key Laboratory of Shandong Province, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

ABSTRACT: The work aims to review the application and research status of fiber-based composites in packaging. The application status of biomass fiber-based composites in different types of packaging materials (such as foamed materials, films and plates) at home and abroad was introduced. The substrates and preparation technology of various packaging materials were respectively summarized. The differences in the properties of different fiber-based composites were compared. The deficiencies in the preparation technology and properties of the composites were pointed out. The development of the fiber-based packaging composites was also prospected. The natural chemical structure of cellulose enabled the fiber-base materials to have good mechanical property, barrier property and biodegradability, so that it had better application in different packaging materials. Fiber-based composite materials featured by excellent performance, biodegradability, economical efficiency and environmental protection have great development potential in the field of packaging. There is still more room for the research on the selection of raw materials, completely green preparation technology and performance controllability.

KEY WORDS: biomass; fiber-based; composite; packaging materials

当今,我国非常重视生物质能的利用,连续 4 个 国家五年计划中将生物质能利用技术的研究和应用

收稿日期: 2017-11-30

基金项目: 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室开放基金 (ZR201602); 制浆造纸科学与技术教育部/山东省重点实验室基金 (KF201628)

作者简介: 徐铭梓 (1994—), 女, 广西大学硕士生, 主攻生物质原料的开发与应用。

通信作者: 黄丽婕 (1983—), 女, 博士, 广西大学副研究员, 主要研究方向为生物质材料的开发与应用。

列为国家的重点科技攻关项目之一^[1]。生物质能主要包括天然植物木材、农作物、杂草、藻类、动物的排泄物等，其中天然植物纤维是生物质材料最为广泛的来源之一，具有生物可降解的优质性能，受到各个领域的广泛关注。近年来，随着我国经济的快速发展，包装已经成为人们生活中不可或缺的一部分，传统的包装多为塑料包装的一次性产品，塑料包装难以自然降解，长期在自然环境中形成“白色污染”，给环境带来巨大负担^[2]。目前，解决废弃塑料包装污染问题主要通过 2 种途径：掩埋和焚烧法，可暂时处理废弃物，但在该过程中会产生新的有毒物质，造成新的污染^[3]；20 世纪 90 年代国际材料界提出的生物质材料代替传统包装材料，以本目、禾本目、竹材、农作物秸秆、废旧纸张、造纸废液、其他加工剩余残渣等为原料，通过物理、化学、生物等手段加工制备新型的包装复合材料^[4-5]。国内外学者近年来的研究多以在聚合物中加入适量植物纤维作为增强材料为主，通过添加少量的纤维，大大提高复合材料力学、阻燃性等性能，但由于其添加量较少^[6]，仍不能解决难降解、成本高、回收率低等问题^[7]。同时，大量的优质植物纤维资源利用率低，也造成资源浪费。由此，合理地利用生物质资源，研究出新的可代替难以降解的包装材料的纤维基材料，是亟待研究的重大问题。

纤维基包装材料主要有纤维基复合板材、纤维基复合薄膜、发泡材料等，通常以木纤维、麦草纤维、秸秆、废纸等为原料，通过发泡、挤出、热压、流延法等技术加工而成。这类原料的主要成分为纤维素，纤维素具有密度小、力学性能好、可再生、可降解的特征，并且其植物纤维细胞中空细长，呈纺锤状，是具有挠曲性、柔韧性的厚壁细胞，在植物体内起到机

械支撑的作用，因此可以使材料具有良好的物理性能^[8]。开发纤维基包装材料不仅可以解决秸秆、废纸等废弃纤维可再生资源回收利用的问题，而且由于该类材料良好的环境友好性和生物可降解性，将会使包装材料的发展发生重要的变革。

1 纤维基包装复合材料国内外的研究进展

1.1 发泡型包装材料

发泡材料是指密度比原材料低 5%~95%的材料，泡沫聚苯乙烯（EPS）是现在使用最广泛的发泡包装材料，其性能优良，多用作防震内衬等。EPS 在自然条件下不能自然分解，许多国家限制了它的使用，因此出现了可代替 EPS 的纸浆模塑材料^[9]，但纸浆模塑材料的力学性能不如 EPS，故纸浆模塑只应用在部分性能要求较低的产品包装。植物纤维发泡材料因具有绿色环保的特性和优良的力学性能，成为发泡塑料替代品的最佳选择。纤维基发泡材料、纸浆模塑与常见传统 EPS 制品三者之间性能的比较见表 1^[10-11]。

在发泡材料的制备过程中，发泡技术的正确选择能使复合材料在降低密度的同时提高力学性能，如材料的延展性、冲击强度、韧性、疲劳周期等^[12]。国内外对此展开了很多研究，发泡技术也有了很大改进，现在主要采用不添加化学发泡剂、利用水蒸气发泡或有机发泡剂发泡等方式，使用植物废旧书籍、报纸、果壳、秸秆等废弃植物材料为基材^[13-14]，制备发泡颗粒，通过二次加工后得到发泡材料。该技术从原料到制备过程中都不会产生任何污染环境的物质，可回收利用、可生物降解，并且可按需制作不同形状，因此在建筑保温、缓冲包装和防静电等方面有广阔的发展前景。日本工业技术研究所^[15]研发出一种新型干式

表 1 植物纤维发泡材料、纸浆模塑、聚苯乙烯 EPS 性能比较
Tab.1 Comparison of plant fiber foamed material, pulp molding and polystyrene EPS performance

项目	植物纤维发泡材料	纸浆模塑	聚苯乙烯 EPS
可回收性	可回收，再生制品	可回收，再生制品	不可再回收
可降解性	可降解（可在酸性或碱性溶液、氧化、微生物、加热、机械作用下降解）	可降解	不可降解
缓冲性能	好	良好	很好
原料来源	农作物秸秆、废纸浆	再生纸制品	天然树脂中提取
资源	可再生资源	可再生资源	难再生
成本	较低	较高	较低
生产周期	较短，但无法连续生产	可控	适中
自燃性	不易自燃	不易自燃	易自燃
毒性	燃烧无毒	燃烧无毒	有毒
堆置空间	较大	较小	庞大
防潮性能	较差	较差	较好
市场前景	发展空间大	发展空间小	面临淘汰

发泡技术用以制备发泡材料,以废纸为原料,淀粉为胶黏剂,将混合后的颗粒吹在金属模具表面加压加热,制得包装产品,发泡成型过程中无需用水溶化,与传统的湿法发泡相比,生物可降解率高,更有利于环境保护。美国学者 Chang^[16]用水稀释废纤维后,加入酚醛树脂和有机发泡剂,通过加热成型制备出一种阻燃且缓冲性能良好的发泡材料,但存在污染严重、成本高的缺点。在材料的选择上, Aguilar 发现椰子纤维和马铃薯淀粉等天然植物淀粉制备的生物降解缓冲材料具有良好的缓冲性能和生物可降解的优势。Shibata^[17]以废旧的甘蔗渣纤维为原材料,与玉米淀粉及生物可降解树脂共混,模压制成了具有一定厚度的包装材料,利用 Cox 的模型发现可以通过改变纤维与淀粉的混合比例来制备不同力学强度的材料。

国内针对植物纤维发泡材料的研究起步比较晚,且大多是使用化学发泡剂进行发泡,但也取得了长足的发展。相关研究证明,使用碳酸氢钠作发泡剂可有效改善生物质纤维基复合材料的实测密度、静曲强度、弹性模量、冲击强度、吸水后膨胀率等物理性能。张桂兰等^[18]在高压下使用酚醛树脂和发泡剂(碳酸氢钠),对松木材纤维进行热压、冷却后得到物理性能良好的复合材料。使用碳酸氢钠为发泡剂的还有广西大学的刘杨等^[19],对一种优质的长纤维、灰分含量低的植物纤维材料——木薯渣原料进行了研究,加入胶黏剂聚乙烯醇、可溶性淀粉,得到了密度、力学性能、尺寸稳定性良好的发泡材料,对木薯渣进行了有效的废物利用。此外,使用的 NH_4HCO_3 作为发泡剂^[20]也可有效改善复合材料的抗压强度、形变、缓冲系数、回弹性等力学性能。江南大学巨杨妮^[21]以废弃瓦楞纸为原料,通过微波发泡法制备了一种新型环保发泡材料,该材料使用含水量为 60% 的湿纸浆添加玉米淀粉、甘油、聚乙烯醇、碳酸钙等助剂制备得到,且通过实验发现,该新型环保材料具有良好的生物可降解性。江南大学彭慧丽^[22]以废纸纤维添加质量分数为 20% 的玉米淀粉为材料,再添加环保型助剂尿素和甘油,制备了一种可以应用于护角的生物质包装材料,对环保型包装材料的研究提供了很高的参考价值。

添加化学发泡剂可以有效提高复合材料的力学性能,但其带来的污染问题尚未解决。水蒸气发泡技术制备大尺寸的植物纤维衬垫,具有无污染、发泡率高、泡孔密度大且均匀的优点,但国内相关研究较少,仍具有很大的研究空间。

1.2 纤维基复合薄膜

1.2.1 纤维基包装膜

纤维素薄膜是瑞士化学家 Erlande-Brandenburg^[23]在 1908 年首次提出的,这是现代透明软包装的先河,为纤维素的广泛应用和研究奠定了基础。大多的食品

包装膜为聚乙烯薄膜,如今也有玻璃纸、可食纤维水溶包装膜、草纤维复合薄膜等材料。聚乙烯膜具有良好的透气性、防潮性,但存在不耐热、易老化、难以降解、易致癌的缺点;以淀粉、植物原料(蔬菜)等为原料研制的水溶包装膜透气性良好,可生物降解,但强度差,存在原料成本高、应用范围不广泛、水溶性差等问题;草纤维膜制备工艺与黏胶纤维、玻璃纸的制备工艺类似,草纤维薄膜喷口幅宽小、无气味、无毒、透明、具有一定强度、3 个月内可降解。1979 年, Akzona 公司提出了将 N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)纤维素薄膜应用在包装袋及其他包装材料上的方法,德国 TITK 实验室使用亚麻、聚丙烯制备纤维素薄膜应用在农用包装袋,但都未做进一步的研究,使得纤维素薄膜发展进度缓慢。日本的 Nishiyama 等^[24]使用纤维素为基材,将纤维素、甲壳素及明胶按 10:1:4 的质量比混合,所制备的薄膜具有良好的干燥强度和润湿强度,且成本低,在食品、化妆品、洗涤剂和日用品的包装方面有很广阔的应用前景。国内大多选用稻秆、麦秆、玉米秆^[25]的草浆制备粘胶直接成膜,经过后处理技术制备新型草纤维包装薄膜,不仅具有资源丰富、成本低、可降解的优点,且工艺也较为简单,便于产业化。

从植物原材料中直接溶出纤维素制备生物质材料也是生物质材料开发的方法之一。纤维素溶剂一般分为衍生化溶剂和非衍生化溶剂,衍生化溶剂在溶解纤维素过程中容易发生衍生化反应。近几年出现的一系列新型纤维素水溶剂体系(NaOH /尿素、 NaOH /硫脲、 LiOH /尿素水溶液体系),可在低温下快速溶解纤维素,这是迄今为止已有报道中纤维素溶解最快速的方法。Zhou 等^[26]发现利用 NaOH 和尿素的质量分数分别为 6% 和 4% 的 NaOH /尿素水溶液溶解纤维素,可以得到重均相对分子质量为 6.7×10^4 的透明纤维素溶液。东华大学童贤涛等^[27]采用新型的纤维素溶解体系(NaOH /硫脲/尿素体系)为溶剂,经溶解、过滤、脱泡得到澄清的纤维素溶液,通过对不同的凝固浴制备纤维素膜力学性能等方面的测试发现, $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Na}_2\text{SO}_4$ 的凝固浴体系得到的纤维素膜具有最致密均匀的微孔结构,力学结构最好,拉伸强度和断裂伸长率可分别达到 148.3 MPa 和 12.3%。

离子液体是一种特殊的极具潜在应用价值的绿色溶解体系,溶解纤维素的同时不使纤维素发生链的裂解(水解),且容易再生,离子型液体回收方法简单、无毒无味,近年来也有较多研究。目前已有近 300 种离子液体在实验中用于溶解纤维素,其中氯化锂/1,3-二甲基-2-咪唑烷酮,氯化锂/ N 、 N -二甲基乙酰胺,氨/铵盐和磷酸可以有效地溶解纤维素^[28—30],但其毒性大、需要高温溶解、高耗能等问题不利于大规模利用。研究表明,在纤维素溶解体系中 NMMO

对纤维素的溶解性最好, 由于 NMMO 溶解纤维素是通过断裂纤维素分子间的氢键进行溶解的, 因此没有衍生物的生成, 工艺流程污染小、不产生有毒物质, 且 NMMO 溶解得到的纤维素性能优异, 具备合成纤维和天然纤维的优点, 因此这种新工艺成功取代传统衍生溶剂并大量应用于工业生产中。NMMO 溶剂的成本很高, 实际生产中 NMMO 的回收率必须达到 99.5% 以上才有经济效益, 这对回收设备和技术提出了很高的要求, 限制了其广泛使用。目前, 国内外对 NMMO 工艺纤维素包装薄膜只处于产品研发阶段, 专利较少, 对该领域深入细致的系统性理论研究报告较少。史晓娟等^[31]使用棉浆、漂白木浆、芦苇等为原料, 选取环保纤维素溶剂 NMMO 制备了一种透氧率、阻湿性、耐油性等性能优良, 且适用于低含水量油脂类食品的透明包装膜, 为环保型食品类功能包装材料的研究奠定了一定基础。

Swatloski 等^[32]研究了 1-丁基-3-甲基咪唑氯盐 ([Bmim][Cl]) 等多种离子液体, 发现 [Bmim][Cl] 的纤维素溶解度最好, 可达到 25%^[33-35]。通常将植物原料与 [Bmim][Cl] 直接高温加热混合后得到凝胶, 将凝胶涂布在玻璃板上刮制成膜, 放入凝固浴中进行相分离得到再生纤维素膜。该纤维素薄膜主要应用于糖果、糕点、药品、水果等包装, 可以减小高分子薄膜对环境的污染。Zhang 等^[36-37]合成了一种新型离子液体 1-烯丙基-3-甲基咪唑氯盐 [Amim][Cl], 在不超过 100 °C 下可溶解 30% 的纤维素, 与 [Bmim][Cl] 相比, [Amim][Cl] 不仅对纤维素的溶解度更高, 而且熔点更低, 粘度更低, 稳定性更高, 有着更大的应用前景。较为常用的离子液体还有 1-乙基-3-甲基咪唑醋酸盐 [Emim][OAc]^[38], 它 also 具有良好的纤维素溶解性。另外, 制备纤维素膜的简易方法是使用质量分数为 64%~72% 的 ZnCl_2 溶液溶解纤维素^[39], 通过添加 Ca^{2+} 可提高 Zn-纤维素链之间的相互作用, 使纤维素膜的拉伸强度增加 250%。无机盐溶液溶解纤维素膜的成本低, 可回收, 为纤维素在包装膜、生物制药等方面的应用开辟了新窗口。

1.2.2 纤维基可食性包装膜

食品包装方面, 可食性包装膜因其具有良好的可降解、安全、透氧、阻湿、耐油等性能, 近年来得到较多研究者的关注。国内外近年来研究和应用的可食性包装膜主要有多糖膜、蛋白膜、脂质膜和复合膜。多糖膜多以纤维素及其衍生物为主, 使用天然植物制备甲基纤维素 (MC)、羟丙基甲基纤维素 (HPMC)、羟丙基纤维素 (HPC) 和羧甲基纤维素 (CMC) 等, 这类材料强度适中、柔韧透明、无味, 具有良好的油脂阻断性能, 但水蒸气渗透率较高, 因此国内外专家大多采用将 CMC 或 HPMC 与蛋白混合制备复合膜,

从而提高其阻隔水分的性能^[40]。

国外有专家使用豆腐渣、淀粉等原料, 生产可食用纸、可食用薄膜, 但制备工艺较为复杂并且成本较高; 我国也有使用玉米醇溶蛋白、植物或蔬菜等原料制备水溶性包装膜或药物缓释材料, 但该类膜的强度差, 不能封口且成本较高。淮海工学院的赵玉巧^[41]使用 CMC、豆腐渣、海藻酸钠、甲基纤维素 (CM)、蜂蜡、甘油制备了一种成本低、性能好、可广泛应用的可食纤维水溶包装膜, 该可食性膜不仅无公害, 可以给人们提供营养, 而且表面光滑、溶解速度快、吸水率低、阻水性好, 力学强度可达到 24 MPa。刘琳^[42]以桑葚桑枝皮为原料制备纳米晶须-丝素蛋白复合膜, 结果表明纤维素纳米晶须和丝素蛋白相容性良好, 复合膜的拉伸强度及弹性模量得到显著提高, 分别为 35.79 MPa 和 2.10 GPa。新疆农业大学的贺昱^[43]使用自制的甜菜 CMC 与谷朊粉 (WG) 以质量比为 7:3 混合制备的 CMC-WG 可食性膜, 力学性能及阻隔性能良好, 具有一定的耐水、耐油和透气性, 可用于一般食品及果蔬的短期包装。李晨^[44]等同样使用 CMC 为基材, 通过与质量分数为 30% 的增塑剂 PEG-400 混合, 通过乙醇润湿助溶流延法制备薄膜, 所制薄膜虽不如 CMC-WG 膜各项性能优良, 但各项性能指标也要远远优于蛋白质、淀粉等其他生物基材料。

1.3 纤维基复合板材

针对植物秸秆人造板技术开展的研究较多, 美国 Howard 等在 1977 年研制了秸秆保温板, 日本 Maloney^[45]等使用洋麻为原料研制了一种无粘合剂板材, 国内研究和使用的植物纤维板材多应用在地板板材等方面^[46]。纤维基复合板材在包装材料上的应用主要在绿色包装容器等方面, 造型以盒、罐、管、桶、盘等为主。使用玉米秸秆为原料的研究较多, 通常使用热压直接成型法制备, 这类板材可以应用在果蔬、禽蛋等农产品的小型食品包装及墙体隔热建材等方面^[47-48]。此外, 添加干酪素等胶黏剂^[49], 可以提高材料的防水等性能。

近年来, 随着餐饮互联网+的出现, 快餐、外卖行业的不断发展, 一次性塑料餐具带来巨大的浪费和环境污染^[50]。为了研制出可以代替传统聚苯乙烯的一次性餐具材料, 解决传统一次性餐具的不可降解、不环保等问题, 选用植物为原料制备一次性餐具的研究层出不穷。植物秸秆作为一种废弃材料, 无毒无害, 得到很多研究者的青睐, 多用于研制食品级的一次性餐饮容器和筒、盒包装制品, 见图 1。

刘志忱^[51]使用秸秆配以自制淀粉粘合剂和少量助剂制备了一种具有良好性能的新材料。湖南环保宝实业股份有限公司^[52]使用稻谷壳添加质量分数为 20%



图 1 一次性秸秆餐具

Fig.1 Disposable straw tableware

的粘合剂和辅助材料,为顾客制备了一种环保型片状包装材料,旨在用于一次性餐具。该材料结构紧密且具有一定韧性,含水量、拉伸率都较低,具有良好的适用性。东北林业大学的周威^[53]基于绿色包装的设计理念,通过对物料特性及热压干法成型机理的研究,针对不同工艺参数对包装容器力学性能影响的分析,设计开发了一种以植物秸秆为原料且体积感和空间感良好的包装容器,以减少材料的消耗。王昌荣^[54]发明了一种利用植物秸秆制备一次性餐具、包装容器及板材的新方法,在秸秆中加入食用胶、硫酸盐并与硬质酸盐混合搅拌后热成型,通过表面喷涂防水膜剂提高防水性能。生产过程绿色环保,无任何废弃物产生,材料无毒无害,可完全降解,还可以直接用作饲料和肥料。除了秸秆基的板材包装外,侯宇琦等^[55]提出了一种使用蔗渣、淀粉、石灰石制作水杯、餐盒、饭碗等一次性包装的方法,该包装利用甘蔗制糖后产生的大量蔗渣,以及广西特有的木薯淀粉为原料制备而成,所制备的材料各项性能良好,并且设备成本较低,工艺简单,适用于微型企业和小型企业。

1.4 其他包装材料中的应用

现如今大部分的包装以纸基和塑料为主,为实现高分子领域生物质原料对石油的高效替代,充分利用自然界中最丰富的可再生资源纤维素,除上述所提的发泡材料、薄膜、板材类包装材料,近年来有研究者开发了热塑性的纤维基共混塑料包装材料、海绵衬垫、包装内涂层、电池包装中空板等。日本纸业公司^[56]使用全木浆为原料,未添加任何合成树脂,成功开发了一种可直接压制成型的纸基包装,这种新型纸张的伸缩性比普通纸张大 5~10 倍。荷兰瓦赫宁根农业大学^[57]使用小麦、玉米、马铃薯淀粉,并掺入大麻纤维研制了一种可降解塑料,可用于包装、涂层、食品贮藏箱、垃圾箱衬里、购物袋等。金立维等^[58]研究了微晶纤维素、木粉与聚己内酯、聚乳酸等可降解高聚物混合,以己内酯与马来酸酐开环共缩聚的嵌段共聚物作为相容剂,制备共混材料。当纤维素和相容剂质量分数分别为 60%和 10%时,纤维

素与聚乳酸完全相容,材料的拉伸性能提高,储存模量、与水的接触角达到最高,表面张力和分解活化能达到最小值。相关研究发现,即使在增溶剂的作用下,未经处理改性的纤维素也很难有热塑性,因此成本较高,难以推广。东华大学的杨海茹等^[59]以离子液体[Bmim][Cl]为溶剂、棉浆粕为原料、脱脂棉为增强纤维素,使用 Na_2SO_4 为成孔剂,制得具有均匀而饱满通孔、截面呈蜂窝状的孔隙结构且吸水保湿性能和力学性能均较好的纤维素海绵,可以用于包装衬垫等方面。

2 发展趋势

通过国内外的研究现状以及各类发泡材料性能之间的比较,发现植物型发泡材料从性能到市场前景都有比较好的优势。国内的研究大多采用添加化学发泡剂来进行发泡,不利于环境保护和可持续发展战略;国外大多采用环境友好型水蒸气的形式进行发泡,更有利于环境的保护。

国内外对纤维基薄膜的制备方法多以相转换法直接制备,国外的研究大多应用于工业薄膜、地膜及渗析膜等方面,国内起步较晚,但近年来有研究提出使用离子液体的制备方法,比传统常用的黏胶的工艺方法在透湿性、湿态抗张强度和撕裂强度等性能上更有优势,并且离子液体是一种绿色试剂,回收率接近 100%,但成本较高,同样为绿色试剂的无机盐液体在成本方面较有优势,均具有很大的发展前景。国内外针对可食性包装膜的研究主要集中于使用纤维素及其衍生物与蛋白共混制备而得,其力学性能远远优于淀粉基、蛋白基等可食膜,但工艺较为复杂,纤维素衍生物的制备过程多使用酸解或碱处理,可能会造成回收成本加大及污染,因此有待研究。

近几年生物基板材在包装的研究和应用发展迅速,以秸秆为原料的板材从各项性能到市场前景都有较强的优势^[60],已经有研究使用完全绿色的工艺过程,并且可保证良好的力学性能。其他基材包装复合材料的研究较少,在绿色助剂的选择上也有待深入探究。

纤维基包装复合材料从原料到制备工艺,都向着环境友好型包装材料发展,但在某些特定的包装材料中,不适合具有过高的可降解性,因此如何适当地通过改变原料的添加比例,提高材料可降解的可控性,使材料能够重复使用,是今后仍需研究的方向之一;如何通过改变工艺方法、优化制备流程,使原料、助剂、添加剂及工艺过程都绿色环保,也是需要解决的问题之一;除此之外,为了降低费用,应不断优化工艺和设备,尽可能降低生产成本,从而提高材料的综合性能。真正实现用科技推动绿色包装的发展,使包

装工业进入可持续发展的健康轨道。

3 结语

为了保护环境, 开发可代替塑料等石油基材料的新型可降解环保材料, 已经成为近年来包装及各领域的研究重点。大量的植物纤维资源被浪费, 得不到合理充分的利用, 纤维基包装材料由于受到成本、技术条件的限制, 在我国还未实现商业化, 因此天然植物纤维基复合材料具有巨大的发展和应用前景。

参考文献:

- [1] 朱思润, 潘文彬. 生物质能开发利用进展[J]. 科学与财富, 2016(7): 276.
ZHU Si-run, PAN Wen-bin. Development and Utilization of Biomass Energy[J]. Science and Wealth, 2016(7): 276.
- [2] CINELLI P, CHIELLINI E, LAWTON J W, et al. Properties of Injection Molded Composites Containing Corn Fiber and Poly(Vinyl Alcohol)[J]. Journal of Polymer Research, 2006, 13(2): 107—113.
- [3] 杨青华, 贺德先, 刘华山. 液体地膜覆盖对棉花产量与土壤环境的影响[J]. 农业工程学报, 2005(5): 123—126.
YANG Qing-hua, HE De-xian, LIU Hua-shan. Effects of Liquid Plastic Film Mulching on Cotton Yield and Soil Environment[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2005(5): 123—126.
- [4] 刘鹏, 李方义, 李剑峰, 等. 植物纤维增强的生物质复合材料微观机理及力学性能研究[J]. 功能材料, 2015(11): 11017—11020.
LIU Peng, LI Fang-yi, LI Jian-feng, et al. Studies on the Microscopic Mechanism and Mechanical Properties of Plant Fiber Reinforced Biomass Composites[J]. Function Materials, 2015(11): 11017—11020.
- [5] 郭安福. 生物质全降解一次性餐饮具制品关键技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.
GUO An-fu. Biomass Degradation of Disposable Tableware Products of Key Technologies[D]. Jinan: Shandong University, 2011.
- [6] IMMONEN K, LAHTINEN P, PERE J. Effects of Surfactants on the Preparation of Nanocellulose-PLA Composites[J]. Bioengineering, 2017, 4(4): 91.
- [7] ZHAO X Q, BAI F W. Mechanisms of Yeast Stress Tolerance and Its Manipulation for Efficient Fuel Ethanol Production[J]. Journal of Biotechnology, 2009, 144(1): 23—30.
- [8] 杨淑慧. 植物纤维化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
YANG Shu-hui. Plant Fiber Chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [9] 戴宏民, 戴佩华. 发泡植物纤维制品关键工艺技术研讨[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 9—11.
DAI Hong-min, DAI Pei-hua. A Study on the Key Technology of Foaming Plant Fiber Products[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 9—11.
- [10] 张祖力. 我国首家植物纤维可降解包装材料工程技术中心成立[J]. 功能材料信息, 2009(1): 53.
ZHANG Zu-li. China's First Plant Fiber Degradable Packaging Material Engineering Technology Center was Established[J]. Functional Material Information, 2009(1): 53.
- [11] 陈玉芬. 植物纤维发泡缓冲材料的制备及其性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
CHEN Yu-fen. Preparation of Plant Fiber Foam Cushioning Material and Its Performance[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [12] TUNGJITPORNKULL S, SOMBATSOMPOP N. Processing Technique and Fiber Orientation Angle Affecting the Mechanical Properties of E-glass Fiber Reinforced Wood/PVC Composites[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(6): 3079—3088.
- [13] 陈红. 德开发泡沫包装纸新工艺[J]. 中国包装报, 2003(1): 12.
CHEN Hong. Development of Foam Packaging Paper New Technology[J]. China Packaging News, 2003(1): 12.
- [14] 肖俊芳, 肖生苓, 高献策. 发泡型植物纤维缓冲包装材料研究现状及发展趋势[J]. 森林工程, 2013, 29(2): 62—64.
XIAO Jun-fang, XIAO Sheng-ling, GAO Xian-ce. Research Status and Development Trend of Foam-type Plant Fiber Cushion Packaging[J]. Forestry Engineering, 2013, 29(2): 62—64.
- [15] 吴其叶, 曹绍文. 发泡型植物纤维缓冲包装材料[J]. 中国包装工业, 2002(9): 8—11.
WU Qi-ye, CAO Shao-wen. Foaming Plant Fiber Cushioning Packaging Materials[J]. China Packaging Industry, 2002(9): 8—11.
- [16] CHANG C P, HUNG S C. Manufacture of Flame Retardant Foaming Board from Waste Papers Reinforced with Phenol-formaldehyde Resin[J]. Bioresource Technol, 2003, 86(2): 201—202.
- [17] SHIBATA S, CAO Y, FUKUMOTO I. Effect of Bagasse Fiber on the Flexural Properties of Biodegradable Composites[J]. Polymer Composites, 2005, 26(5): 689—694.
- [18] 张桂兰, 王正. 生物质纤维基发泡复合材料性能研究[J]. 木材加工机械, 2007(1): 20—25.
ZHANG Gui-lan, WANG Zheng. Study on Properties of Biomass Fiber Based Foam Composites[J]. Wood Processing Machinery, 2007(1): 20—25.
- [19] 刘杨, 乔兆磊, 李珊珊. 木薯渣纤维制备发泡缓冲包装材料的研究[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 39—41.
LIU Yang, QIAO Zhao-lei, LI Shan-shan. Studies on Preparation of Foamed Cushioning Packaging Materials by Cassava Slag Fiber[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 39—41.

- [20] 李媛媛. 发泡植物纤维模压制品的关键生产技术研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2008.
LI Yuan-yuan. Foamed Plant Fiber Molded Products of The Key Production Technology Research[D]. Chongqing: Chongqing Technology and Business University, 2008.
- [21] 巨杨妮. 环保型纸纤维发泡缓冲材料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
JU Yang-ni. Environmentally Friendly Paper Fiber Foam Cushioning Material[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [22] 彭慧丽. 基于挤出工艺的生物质包装材料研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
PENG Hui-li. Based on the Extrusion Process of Biomass Packaging Materials[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [23] ERLANDE-BRANDENBURG A. Jacques Choux, Lorraine: Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges. Dictionnaire des Châteaux de France[J]. Bulletin Monumental, 1979(2): 196—197.
- [24] NISHIYAMA Y, LANGAN P, CHANZY H. Crystal Structure and Hydrogen-bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction[J]. Journal of the American Chemical Society, 2002, 125(31): 74—82.
- [25] 骆鸿琨, 王晓东. 草纤维食品包装膜[J]. 中外食品工业, 2003(2): 30—31.
LUO Hong-kun, WANG Xiao-dong. Grass Fiber Food Packaging Film[J]. Chinese and Foreign Food Industry, 2003(2): 30—31.
- [26] ZHOU J, ZHANG L. Solubility of Cellulose in NaOH Urea Aqueous Solution[J]. Polymer Journal, 2000, 32(10): 866—870.
- [27] 童贤涛. 纤维素膜的制备及性能研究[J]. 高分子通报, 2013(10): 151—155.
TONG Xian-tao. Preparation and Properties of Cellulose Membrane[J]. Acta Polymerica Sinica, 2013(10): 151—155.
- [28] MEDRONHO B, LINDMAN B. Brief Overview on Cellulose Dissolution/Regeneration Interactions and Mechanisms[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2015, 222: 502—508.
- [29] ZHANG Y, XU A, LU B, et al. Dissolution of Cellulose in 1-allyl-3-methylimidazolium Carboxylates at Room Temperature: A Structure-property Relationship Study[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117: 666—672.
- [30] GU Y, HUANG J. Ultrathin Cellulose Film Coating of Porous Alumina Membranes for Adsorption of Superoxide Dismutase[J]. Journal of Materials Chemistry B, 2013, 41(1): 5636—5643.
- [31] 史晓娟, 李超, 黄俊彦, 等. 天然植物纤维包装膜的制备及性能[C]// 2015 中国印刷与包装学术会议, 2015.
SHI Xiao-juan, LI Chao, HUANG Jun-yan, et al. Preparation and Properties of Natural Vegetable Fiber Packaging Films[C]// 2015 China Printing and Packaging Conference, 2015.
- [32] SWATLOSKI R P, HOLBREY J D, ROGERS R D. Ionic Liquids are not Always Green: Hydrolysis of 1-butyl-3-methylimidazolium Hexafluorophosphate[J]. Green Chemistry, 2003, 5(4): 361—363.
- [33] 赵明旭. 离子液体制备纤维素包装膜的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
ZHAO Ming-xu. Development of Edible Fiber Water-soluble Packaging Film[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2010.
- [34] XU A, WANG J, WANG H. Effects of Anionic Structure and Lithium Salts Addition on the Dissolution of Cellulose in 1-butyl-3-methylimidazolium-based Ionic Liquid Solvent Systems[J]. Green Chem, 2010, 12(2): 268—275.
- [35] ISIK M, SARDON H, MECERREYES D. Ionic Liquids and Cellulose: Dissolution, Chemical Modification and Preparation of New Cellulosic Materials[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(7): 11922—11940.
- [36] ZHANG H, WU J, ZHANG J, et al. 1-Allyl-3-methylimidazolium Chloride Room Temperature Ionic Liquid: A New and Powerful Nonderivatizing Solvent for Cellulose[J]. Macromolecules, 2005, 38(20): 8272—8277.
- [37] WU J, ZHANG J, ZHANG H, et al. Homogeneous Acetylation of Cellulose in a New Ionic Liquid[J]. Biomacromolecules, 2004, 5(2): 266—268.
- [38] FUKAYA Y, SUGIMOTO A, OHNO H. Superior Solubility of Polysaccharides in Low Viscosity, Polar, and Halogen-free 1, 3-dialkylimidazolium Formates[J]. Biomacromolecules, 2006, 7(12): 3295—3297.
- [39] XU Q, CHEN C, ROSSWURM K, et al. A Facile Route to Prepare Cellulose-based Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 149: 274—281.
- [40] WURZBURG O B. Modified Starches: Properties and Uses[J]. International Conference on Thermoelectrics, 1986, 311: 334—337.
- [41] 赵玉巧. 可食纤维水溶包装膜的研制[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2003(3): 51—54.
ZHAO Yu-qiao. Development of Edible Fiber Water-soluble Packaging Film[J]. Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Science Edition), 2003(3): 51—54.
- [42] 刘琳. 可食性抗菌膜在肉类食品保鲜率的应用[J]. 肉类研究, 2007(12): 44—47.
LIU Lin. Application of Edible Anti-membrane in Preservation of Meat Products[J]. Meat Research, 2007(12): 44—47.
- [43] 贺昱. 改性甜菜纤维素—植物蛋白可食性复合膜成膜工艺及性质研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2005.
HE Yu. Study on Film-forming Technology and Prop-

- erties of Modified Beet Cellulose-vegetable Protein Edible Composite Film[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2005.
- [44] 李晨, 肖乃玉. 高强度羧甲基纤维素食品包装膜的制备[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2017(1): 20—23.
LI Chen, XIAO Nai-yu. Preparation of High Strength Carboxymethyl Cellulose Food Packaging Film[J]. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2017(1): 20—23.
- [45] MALONEY. Particle and Fiber Building Products from Residue Raw Material[J]. USDA Forest Service General Technical Report, 1981(3): 28—30.
- [46] YANG Wen-bin, JIAN Yi-xing. Study on Plant Fiber/plastic Composites as the Substrate of Floor-board[J]. 2005, 16(3): 245—246.
- [47] 杨中平, 杨林青, 郭康权, 等. 玉米秸外皮碎料板制板工艺的初步研究[J]. 西北林学院学报, 1995(3): 67—72.
YANG Zhong-ping, YANG Lin-qing, GUO Kang-quan, et al. Study on Technology of Crushing Board with Corn Stalk[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1995(3): 67—72.
- [48] 吴婷婷. 利用玉米秸秆制作生物质板材的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.
WU Ting-ting. The Use of Corn Stalks for the Production of Biomass Sheet[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2011.
- [49] 丁武, 杨中平. 热压成型工艺对秸秆复合餐具耐水性能的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003(2): 137—140.
DING Wu, YANG Zhong-ping. Effect of Hot Forming Process on Water Resistant Properties of Straw Composite Tableware[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2003(2): 137—140.
- [50] 陈玺撼. 外卖一次性餐具带来的严重污染[J]. 现代阅读, 2017(11): 54—55.
CHEN Xi-han. Severe Pollution Brought by Take-away Disposable Tableware[J]. Modern Reading, 2017(11): 54—55.
- [51] 刘志忱, 王延江. 正在崛起的一次性植物秸秆餐具[J]. 包装与食品机械, 1998(4): 26—28.
LIU Zhi-chen, WANG Yan-jiang. The Rise of Disposable Plant Straw Tableware[J]. Packaging and Food Machinery, 1998(4): 26—28.
- [52] 葛立, 吴静. 绿色环保碗成型工艺的研究及模具设计[J]. 模具技术, 2003(4): 39—41.
GE Li, WU Jing. Study on Green Molding Process and Mold Design[J]. Material Technology, 2003(4): 39—41.
- [53] 周威. 植物秸秆包装容器造型设计研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
ZHOU Wei. Modeling of Plant Straw Packaging Design[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.
- [54] 王昌荣. 利用秸秆制作一次性餐具和各行业用的包装容器及板材的系列产品新方法, 中国: 1191795[P]. 1998-11-18.
WANG Chang-rong. New Method for Producing Disposable Tableware and Various Product Packaging Containers and Plates Using Straws, China: 1191795[P]. 1998-11-18.
- [55] 侯宇琦, 聂燕. 用于一次性餐具包装用材的改进研究[J]. 中国外资, 2013(1): 219—220.
HOU Yu-qi, NIE Yan. Improved Research on Disposable Tableware Packaging Materials[J]. Foreign Capital, 2013(1): 219—220.
- [56] 蒋忠道. 日本开发成功可直接制成包装容器的纸张[J]. 造纸信息, 2006(7): 34.
JIANG Zhong-dao. Japan's Successful Development can be Made Directly into the Packaging Container of Paper[J]. Paper Information, 2006(7): 34.
- [57] GALANAKIS C. Commercialized Applications in Food Waster Recovery[J]. Leninger Lecture, 2017(5): 55—58.
- [58] 金立维. 木质纤维基热塑性高分子可降解材料的制备、结构与性能研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
JIN Li-wei. Preparation, Structure and Properties of Lignocellulosic Thermoplastic Polymer Degradable Materials[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010.
- [59] 杨海茹, 刘晓辉, 张慧慧, 等. 离子液体法纤维素海绵的制备——成孔剂种类的影响[J]. 纤维素科学与技术, 2013(1): 51—55.
YANG Hai-ru, LIU Xiao-hui, ZHANG Hui-hui, et al. Preparation of Cellulose Sponge by Ionic Liquid Method: Effect of Pore Forming Agent[J]. Cellulose Science and Technology, 2013(1): 51—55.
- [60] 梅志凌. 环保生物质包装材料的热压成型工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
MEI Zhi-ling. Environmentally Friendly Biomass Packaging Materials by Hot Pressing Process[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.