

农作物秸秆废弃物材料化利用现状及发展

徐晓娟^{1,2,3}, 卢立新³, 王立军¹, 龚雪峰¹

(1.浙江科技学院, 杭州310023; 2.浙江省废弃物生物质循环利用与生态处理技术重点实验室, 杭州310023; 3.江南大学, 无锡214122)

摘要: 目的针对各类材料制品原材料短缺的现状, 探讨高效、清洁利用秸秆废弃物的资源方式。方法对造纸、发泡缓冲材料、人造板材、纳米纤维素、餐饮具及包装容器具等几大类材料进行分析与研究。

结论秸秆材料化应用前景广阔, 进一步技术创新解决关键性技术问题后有望迎来新的发展机遇; 利用秸秆纤维制备纳米纤维素是新兴的高科技产业化发展方向。

据统计, 目前全国秸秆年产量已超过8亿t, 其中可回收的秸秆资源约7亿t; 可回收秸秆资源中, 直接还田的约15.0%, 用于生产动物饲料的约30.7%, 用于工业能源的约17.9%, 用于材料制备等其他项目领域的仅占5.25% (其中用作造纸等工业原料量约占2.6%), 直接废弃燃烧的

秸秆资源比例高达31.6%^[1]

。可见, 提高可回收秸秆资源材料化利用率具有重要意义。以秸秆为原料生产各种材料用途非常广泛, 具体包括造纸、发泡缓冲材料、人造板材、纳米纤维素、餐饮具、包装容器具及其他, 以下分别进行阐述。

1 秸秆在造纸工业中的应用

1.1 造纸纸浆原料现状及趋势

目前, 中国年进口木浆和废纸浆量分别达1400万t和2800万t, 约占国内年纸浆消耗总量的40%。预计5年内进口废纸浆消费总量将超过50%, 从全球范围来

看, 废纸浆将占造纸纸浆总用量的40%^[2]

。此外, 结合全球纤维原料供应发展趋势, 为满足未来纤维原料需求, 其中一个很好的解决途径便是发展基于农作物秸秆再利用的清洁制浆技术。一年期农作物秸秆作为原料供应来源广泛, 只要做到合理收储, 原料供应将不成问题。按照国家“十三五”规划中对造纸工业发展预测, 至2020年, 中国纸和纸板产量预计将接近1.5亿t, 纸浆的消耗量达1.2亿t, 其中30%是秸秆浆, 其数量近3600万t^[2]。

1.2 传统秸秆制浆存在的问题

传统秸秆制浆受众多因素制约, 主要有以下方面: 废液处理困难, 秸秆的叶、节、鞘和穗所含杂细胞多、硅含量高, 蒸煮前若未有效去除而直接进入蒸煮环节, 则会造成黑液中溶入部分半纤维素化, 导致其粘度上升而固含量降低, 从而影响有效提取, 资源化利用困难, 同时造成环境污染; 农作物秸秆浆质量差, 如稻草类的化学组成和纤维结构与木材有较大差别; 草浆的理论强度高于阔叶木浆, 但是存在解离点高的缺点。

1.3 秸秆清洁制浆与废液资源化利用

解决传统秸秆制浆问题的关键是尽量减少制浆过程中的纤维损伤, 提高纤维质量, 科学合理处理制浆黑液, 实现清洁生产。山东泉林纸业责任有限公司等企业通过产学研合作, 经过10多年深入研究, 开发出一整套秸秆清洁制浆技术工艺, 使秸秆制浆造纸生产线顺利实现了转型升级。目前, 吉林、黑龙江、安徽、湖北等秸秆资源丰富省份已就秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用新技术与泉林公司实现了技术洽谈及投资建设对接, 部分合作项目已获得批复立项, 并开工建设。

2012年世界首条秸秆综合利用生产线在我国山东省临沂市沂南县正式投产。该生产线能通过一次投料, 联合产出多种产品, 如乙醇、复合肥、纸浆等。秸秆年加工量接近20万t, 产出燃料乙醇2万t, 有机肥10万t, 纤维素纸浆10万t, 实现总产值6亿元, 累计利税8000万元^[3]

。另据报道, 2013年江苏永丰余造纸(扬州)有限公司建立了全球首条采用先进生物技术进行制浆的生产线; 宁夏紫荆花纸业有限公司以小麦、玉米、稻草、芦苇、葡萄藤等农作物为原料进行制浆, 实现了资源—产品—再生资源的良性循环。据此, 以秸秆为原料进行清洁制浆及废液资源化利用, 具有综合成本低、经济效益较好的优势, 同时还可在一定程度上缓解木浆纸原料紧张的局面, 因此, 可预测其未来发展前景良好。

2 秸秆在发泡缓冲材料中的应用

众所周知，发泡聚苯乙烯泡沫缓冲材料因环保问题在很多国家已被限制使用，如何开发出综合性能及经济性上能够替代该类材料的新型缓冲材料是当前该领域亟待解决的问题。

2.1 植物纤维制品

植物纤维制品统指非原生木材来源纤维，采用植物纤维模压工艺成型制品，包括传统纸浆模塑产品。传统纸浆模塑制品属于废物利用，且在使用后能快速自然降解，是非常常见的缓冲发泡材料种类，常见于鸡蛋、水果、红酒、小型设备等的运输缓冲。对于缓冲要求较高的应用场合，相应则需更大壁厚支持，而这对于湿法成型的纸浆模塑工艺而言，将大大增大制品密度，延长干燥时间，增加生产能耗，同时造成制品在厚度方向上的不均匀性及综合制品性能的下降。

新发展的植物纤维模压制品，一般是将废纸或农作物秸秆等采用机械粉碎、打浆、帚化等一系列预处理后，通过配方设计，添加发泡剂、胶黏剂、防潮剂等助剂，经高速搅拌及混炼后置于成型机热压成型。该类制品的发泡过程可在热压时完成，也可根据不同制品特点分2次进行。植物纤维发泡的意义在于可在纤维支撑材料内部形成气泡孔，其泡孔尺寸及分布由助剂配方及工艺决定；储运过程中，根据包装件受载荷情况，发泡材料内部气泡会相应发生挤压变形，同时吸收外界冲击能量，载荷消失后，气泡则自动恢复原始支撑状态，达到持续保护内装物品的功能。

2.2 国外植物纤维缓冲包装制品现状

日本和一些欧洲国家如芬兰等近年在植物纤维发泡领域的实验研究和技术推广取得了非常显著的成绩，其研究及技术成果主要集中在基于物理发泡的两步成型法：不添加化学发泡剂，直接利用物料所含水分在挤出机模头部位挤出时的内外压差，瞬间汽化形成气泡，制成颗粒型发泡制品；将前述制品置于金属模具加热加压最终成型成所需形状和发泡倍率的制品。两步物理发泡工艺较传统化学一步发泡工艺稍复杂，但在生产、使用及废弃物处理整个生命周期内都较安全且环境友好，因而是非常有前景的工艺技术。德国不莱梅PSP公司、日本帝人公司、日本工业技术研究所、日本索尼公司等开发的植物纤维制品已有不错的市场反馈。近年芬兰国家技术研究中心（VTT）不但研究开发技术突破显著，且其植物纤维发泡技术已经实现大批量产业化生产，市场前景非常看好。可见，国外的缓冲包装制品研究与产业化已经进入较为成熟的发展阶段。

2.3 国内植物纤维发泡制品现状

国内关于植物纤维发泡制品的研究已有20多年历史，早期主要集中在添加化学发泡剂进行化学发泡工艺的优化研究，哈尔滨商业大学高德等在此领域的研究较早。此外，山东大学、天津科技大学、华南理工大学、大连工业学院、福建农林大学、南通工学院、陕西科技大学、江南大学等高校也有较多的成果积累。

刘鹏等^[4-6]

研究了加工过程、原料配方、加工参

数对秸秆纤维缓冲材料性能的影响。王立元^[7]

以针叶木漂白硫酸盐浆和马铃薯淀粉共混物为主料，以滑石粉为无机增强剂，以聚乙烯醇等常规醇类为增塑及交联剂，共混后模压成型，制得综合强度及环境降解性良好的包装件和片材。张绍应等^[8]进行了轻质包装材料的干法纸浆模塑制备技术的研究，研究内容包括废纸原料的粉碎、胶黏剂淀粉糊的制备、粒子的膨化发泡及模塑成型等。其中胶黏剂的制备和基础粒子的膨化发泡是整个工艺研究的关键，原因是此干法工艺大大减少了生产过程中水分的蒸发，与传统湿法模塑工艺相比，大幅度减少了此环节的生产能耗。

景晓辉等^[9]以 NaHCO_3 ， NH_4HCO_3

为无机发泡剂，以植物秸秆为原料，添加胶黏剂及其它添加剂，采用整体浇注一步法制备出一种环境友好型缓冲包装材料。丁毅^[10]

等采用秸秆、果皮和淀粉为基料，加入少量助剂，采用先膨化发泡再模压成型制备出绿色环保的缓冲材料。制品性能

试验表

明，该制品的

回弹性能基本满足运输包装

要求，其抵抗冲击和振动的能量吸收性也表现不俗。张

秀梅等^[11-12]

以高粱秸秆为原料，以聚乙烯醇为增塑剂，以可溶性淀粉和水共混为粘结剂，经共混交联发泡制得一种结构疏松的发

泡包装材料。黄君^[13]

等以秸秆为原料,经烘干、粉碎、过筛,并经NaOH预处理后,加入玉米淀粉、甘油、不同胶黏剂(如明胶、羧甲基纤维素及瓜尔胶)、不同填充剂(如淀粉和碳酸钙)和交联剂(十水四硼酸钠)后烘焙发泡,制得复合发泡体。研究表明,NaOH浓度、淀粉、胶黏剂和交联剂添加量对发泡体密度的交互影响显著;发泡体为黄褐色,表面光洁,气孔均密。

周谋志^[14]

以稻草、麦秸、玉米秸秆等为原料,以聚乙烯醇、可溶性淀粉与水混合物为增塑剂和胶黏剂,以甲醛为交联剂,以HCl或HNO₃为催化剂,以NaHCO₃或NH₄HCO₃为发泡剂,发明了一种秸秆纤维发泡减震缓冲包装材料,并成功获得专利。该制品制备工艺简单,综合成本低,制品吸能抗震性能佳,具有良好的市场应用前景,更有望替代传统聚合物发泡泡沫缓冲材料。

此外广东工业大学、武汉远东绿世界公司、重庆青天环保材料有限公司、重庆工商大学也进行了相关发泡工艺的合作研究,并实现了产业化,该

类制品可以较低成本替代传统聚合物发泡缓冲制品。王彤^[15]

等以廉价环保易得的玉米秸秆纤维、废纸纤维和气相缓蚀剂为原料,添加适量的成膜剂、胶黏剂、发泡剂、交联剂等,以微波发泡的方式制备玉米秸秆纤维缓蚀缓冲包装材料。此发泡材料具有良好的缓冲性能与缓蚀性能,提出了通过改变发泡剂和粘合剂用量达到对缓蚀剂进行控释的构想。此外,还有通过添加抗菌剂实现缓释抗菌效果的功能性缓冲包装材料。由此,采用物理发泡等更环保制备方法制备具有特定功能的植物纤维发泡缓冲包装制品,将是未来适应环保和多样化市场需求的重要发展趋势。

2.4植物纤维与聚合物复合发泡制品

除上述植物纤维制品外,农业废弃物还可用于各种复合发泡材料的生产加工。如将各类经预处理后的植物秸秆材料与可发性聚苯乙烯(EPS)、聚丙烯(PP)、回收聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)、聚乳酸(PLA)、水玻璃凝胶等进行复合发泡制备不同特性复合发泡材料。刘壮^[16]

等采用玉米秸秆纤维与可发性聚苯乙烯共混物为原料,制备了一种新型可降解缓冲包装材料。通过大量实验与分析,研究了玉米秸秆纤维长度、使用量、表面处理方法及聚合物成分的预发泡条件、后熟化条件对复合材料回弹性、缓冲特性、密度的影响。王瑜^[17]

等通过SEM、力学性能测试等方法研究了纤维对聚乳酸/玉米秸秆纤维复合发泡材料(PFFM)微观结构、发泡倍率、表观参数、力学性能及热力学性能的影响。扫描电镜结果表明,聚乳酸和玉米秸秆纤维等2种基材之间的共混相容性较好,纤维的加入改变了泡孔成型方式,增强了制品的综合力学性能。力学性能测试表明,当纤维的质量分数达15%时,制品的综合力学性能最好。葛正浩^[18-19]

等分别研究了秸秆粉/PP微孔发泡复合材料、秸秆粉/废旧PE发泡复合材料的发泡工艺,研究了AC发泡剂用量、偶联剂种类、秸秆粉比例和其他助剂添加量等对发泡材料密度、力学强度的影响。

付菁菁^[20]

研究了麦秸秆/聚丙烯发泡复合材料的热稳定性与微观结构,探讨了发泡剂偶氮二甲酰胺(AC)的添加量对麦秸秆/聚丙烯发泡复合材料的热稳定性、微观结构以及化学结构之间的影响,采用热重-差示扫描联用法分析了复合材料的发泡热稳定性,用体视显微镜观察复合材料的微观结构,用傅里叶红外光谱分析材料的化学结构,并测试复合材料的线性膨胀系数、导热系数、表观密度和力学性能。结果表明,AC的添加量及其热分解程度对麦秸秆/聚丙烯发泡复合材料的热稳定性、泡孔结构和热膨胀性能影响显著;当AC质量分数为1%时,其分解程度最高,复合材料泡孔结构均匀,麦秸秆与聚丙烯基体界面稳定,线性膨胀系数最小,具有较好的热稳定性。孙蓉^[21]研究了秸秆纤维/红黏土/聚丙烯三元复合发泡材料的制备及应用,采用依次填充60目、100目/200目的秸秆微粉于PP基体中,分别利用微波辐射接枝、硅烷偶联剂和钛酸酯偶联剂处理等3种途径提升秸秆/聚丙烯界面相容性,同时为了提高发泡成核能力,加入了少量红黏土。

PVC/秸秆复合发泡材料是通过废弃回收PVC粒料与秸秆纤维共混,通过添加助剂形成的一种微孔发泡制品。该制品内发泡孔分布连续且均匀,较未经发泡而直接挤出后热压成型复合材料密度明显减少,力学性能(如抗拉伸及抗弯曲性)都得到较大改善,且吸热隔音效果良好。根据不同应用目标,可通过变更主辅料配方,加工出不同密度及硬度的材料,如较硬的仿红木家具饰面板

,仪器设备的缓冲防震包装衬垫等。薛盘芳^[22]

研究了PVC/秸秆复合发泡材料成形工艺。夏星兰^[23]以农作物纤维和聚氯乙烯(新料或回收料)为主料,制备出一种具有产业化价值的秸秆纤维/PVC发泡制品。为改善纤维与聚合材料界面相容性,夏星兰先对棉秸秆纤维进行碱化和接枝改性,再与聚氯乙烯进行混炼,详细讨论了改性方法、主料配比、助剂的种类及含量、混炼时间与成品性能的影响。

响,并获得了最佳配方和工艺加工数据。林振[24]采用溶胶-凝胶法和机械发泡法相结合制备出水玻璃凝胶复合材料,可用于建筑或包装领域,以取代聚苯乙烯泡沫材料。

秸秆等农业废弃物还可作为发泡混凝土增强材,制备强度、保温隔音效果等综合性能更优的新型轻质建筑材料。孔令鹏[25]等利用正交实验法,在陶粒泡沫混凝土中掺入大量的稻草秸秆纤维,研制出新型环保轻质保温墙体材料,并研究了水泥掺量、水胶比、纤维率和气泡掺量对掺入大量秸秆纤维的泡沫混凝土的干表观密度、抗压强度、吸水率和导热系数的影响,确定了掺入大量秸秆纤维的泡沫混凝土的最佳配合比。何国情[26]等研发出一种凹凸对接的植物纤维增强发泡水泥保温吸隔音屏障板,并获得了专利。

对于农作物秸秆制备发泡材料或作为发泡增强组分的实验研究已非常普遍,主料来源为不同秸秆,种类分布十分广泛,各机构研究重点主要集中在主料的改性、助剂的种类及用量、发泡工艺及参数等方面。此外,热发泡加工过程中纤维的热降解,制品的综合性能,如发泡倍率、表观密度、力学强度、缓冲吸能特性等问题均需进一步解决。

3 秸秆板(瓦)人造板材

随着建筑行业节能环保需求日益增多和汽车等行业的快速发展,利用秸秆等农林废弃物开发具有绝热、隔音、减震等功能的力学性能优良的人造板材,可实现节能环保工业设计和生产目的。这类应用主要是将农业废弃植物纤维加工成高压板、纤维密度板等轻质人造板材,用于建筑板材、家居装饰、汽车装饰、汽车吸音、减震等场合。农作物秸秆板产业的发展,不但可以缓解我国木材供应不足的现状,同时由于其突出的环境友好特点,一方面可成为国家可再生资源战略的有力推进力量,另一方面对促进农村清洁发展,防止秸秆焚烧污染等有重要的意义。据《2016—2022年中国人造板行业运行态势及投资前景预测报告》,2014年我国人造板产量达30212.33万 m^3 ,同比增长11%;2011—2014年我国人造板产量小幅波动,起伏不大。

国外发达国家在秸秆板领域的研究及产业化较国内早很多,德国最早于1905年开展了麦秸等农作物秸秆原料与胶粘剂共混制板的研究;20世纪30年代,美国也进行了利用秸秆原料制造绝缘板的研究。英国Compak公司从20世纪80年代末开始,致力于研制开发以农业剩余物为原料生产人造板的小型设备。德国Schenck人造板机械设备制造公司与美国Phenix公司联合研制生产了麦秸和豆秸的成套设备^[27]。2009年初,荷兰(Panel Board Holdings, PHB)农业纤维板材有限公司独立投资的陕西环球嘉禾板业有限公司,在我国西安杨凌工业示范区内开工生产了世界首条麦秸定向板(OSS B),该类板材能代替传统建材,具有节能、防火、抗震功能,实现又一次产业升级。

早在20世纪40年代,上海就利用麦秸制造了软质纤维板,作为吸声材料,但终因原料收集、运输及工艺设备等问题一直未发展起来^[27]。国内秸秆人造板一般以稻草等禾生植物纤维为主料,采用锤式粉碎机获得粉碎状或刨花状原料后,采用异氰酸酯(PMDI)等粘合剂,经热压成型而成。目前,采用PMDI作为粘合剂的秸秆板总设计产能约270000 m^3

/a,涉及8家秸秆人造板生产企业。由于实际市场消费习惯、产品质量等问题,实际产能远低于该值。郑凤山^[28]指出,对待秸秆板产业投资不可盲目跟风,应客观着重从秸秆板的设备制造、工艺技术如脱模、施胶、铺装、热压等方面发现问题和寻找解决措施。近年来,部分高校和相关企业积极开展综合性能更优良的秸秆制品实验及应用研究。

赵

一兵^[29]

对玉米秸秆采用皮

糠分离技术将其去糠取皮后,经工艺

设计制得满足国标要求的秸秆板材。史宇亮^[30]

将玉米秸和豆秸一起整秆粉碎,经风选及筛选后充分共混,采用环保单宁树脂胶,利用刨花板加工工艺,以预设密度、施胶

量、热压温度

和热压压力为主要因素,得

出了豆秸最小用量的最佳配比,优化出最佳工艺参数。

文全兴^[31]

等研发了一种新型结构的复合秸秆人造板,具有轻质、环保、低成本的特点。该复合增强秸秆板采用了秸秆段和牛皮纸及织物的复合方案:中间层为秸秆段层,主要用于增加板材的厚度,同时承受压力,充分发挥秸秆抗压比抗拉强度好的优点。上下两层内侧为一层牛皮纸,外侧为一层织物层,用以获得好的外观和必要的抗拉强度。牛皮纸层的作用是增加织物层和秸秆层的粘合度,纸和秸秆性质相近,有一定柔性,容易粘合,而织物与秸秆性质相差较大,不容易粘合。华亮^[32]

等研究了用可再生资源稻草秸秆板替代汽车用吸声泡沫塑料，通过测试发现相同厚度的稻草秸秆板平均吸声系数大于泡沫塑料，当用稻草秸秆板替代XMQ6608客车原发动机隔声罩内的泡沫塑料时，新罩的降噪效果优于原罩。

张洪涛^[33]

开展了基于秸秆类材料的秸秆瓦应用研究，设计出一种秸秆瓦主瓦的形状和规格，制定了秸秆瓦的生产工艺参数，并制作了秸秆瓦样瓦。样品测试结果显示，秸秆瓦制品的抗弯强度、吸水率、抗冻防裂性能等均类似或者优于传统屋面覆盖材。此外，该制品还具有较明显的成本优势，其价格较常规混凝土瓦、沥青瓦等低10%~50%。此外，南京林业大学在秸秆板领域投入了大量科研精力^[34—35]，由南京林业大学开发、万华生态板业有限公司生产的零甲醛生态秸秆板已经实现产业化推广。随着设备制造、工艺技术的迅猛发展，秸秆板（瓦）产业必将迎来崭新的发展空间。

4利用秸秆制备纳米纤维素

秸秆等农林废弃物富含纤维素，纤维素功能材料等高附加值产品的精深加工与低碳制造是目前的研究热点。秸秆纤维

素在

强酸条件

下水解，可获得截

面尺寸为5~20nm，长度为10~1000nm

，长径比为1~100的纳米纤维素晶体^[36]

。由于纳米纤维素具有纯度高、结晶性好、弹性模量大、强度高特点，因而在材料合成上显示出极高的物理强度。

由于纳米纤维素晶具有体质轻、降解容易、生物相容性好及易于再生等优势，因而常被用作纳米增强材料，在高性能复合产品制备上具有非常广阔的前景。薛栋杰^[37]

等进行了酸解纳米纤维素为增强剂制备植物纤维缓冲包装材料的研究，结果表明纳米纤维素在缓冲材料中主要通过含有大量羟基增强纤维间的胶粘效果，同时因其具有小分子的结构特点，使其较阳离子淀粉具有更好的分散性和粘合作用，且纳米纤维素能显著改善缓冲材料的性能^[38—46]。

5秸秆在餐饮具、包装容器具及其他领域应用

目前我国植物纤维包装材料相关专利一共有249项，其中植物纤维餐饮具就有100项。如将稻草、玉米秸秆、甘蔗渣等植物纤维原料与聚丙烯充分混炼，添加光敏剂后通过模制工艺生产快餐盒、净菜盘等，更换模具则可生产超市环保托盘、豆腐盒、冰淇淋杯、果蔬包装盒、鸡蛋托、育秧盘等环保制品，相关技术已较为成熟，并实现了产业化。更有不少纯植物纤维原料餐饮具及包装制品见于中高端消费市场，但价格偏高。国内主要生产企业及消费市场集中分布在珠三角、长三角地区。随着环境问题的日益显著，经济发展及老百姓生活水平的不断提高，以及环保意识的增强，植物纤维餐具市场逐年稳步增长。目前主要问题在于较于发泡塑料类餐饮具，纯植物纤维餐饮具成本较高，如何开发出性能更好、成本更低的环保餐饮具及包装制品是未来该类产品研发的方向。

此外，秸秆等农业废弃物材料利用还包括编织品利用，如草编成各种用具、地方特色旅游工艺品等，部分区域已经形成产业链，大大促进了当地经济发展，增加了老百姓收入。这些产品均具有绿色环保、可降解性能好、综合利用价值较高等共同特性。

6结语

秸秆材料化应用前景较广阔，在加工后成为造纸工业原料、发泡缓冲材料、人造板材等领域的研究较多，并已初步实现产业化，但受地方政策、技术与工艺水平等因素影响，产业进程并不一帆风顺，今后经进一步技术创新后有望迎来新的发展机遇。利用秸秆纤维制备纳米纤维素属于高附加值产品的精深加工与低碳制造技术，其制品能广泛适于各类功能材料的复合增强等场合，是新兴的高科技产业化发展方向。餐饮具、包装容器具及如草编等其他应用已日见成熟，随着绿色环保意识的增强，必将步入稳步快速发展轨道。

参考文献：

[1]孙娇.我国农作物秸秆综合利用分析[J].农村牧区机械化，2015(1)：19—21.

[2]2016—2021年中国纸浆制造行业产销需求与投资预测分析报告[R]，2014.

- [3]世界第一秸秆综合利用生产线在山东投产[J].华东纸业, 2013, 44(2): 18.
- [4]LIU Peng, LI Fang-yi, LI Jian-feng, et al.Effect of Starch Plasticizing/Fiber Processing on the Mechanical Properties of Biomass Cushion Packaging Compo-sites[J].Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 2014, 8(2): 214—220.
- [5]GUO A, ZHAO J, LI J.Forming Parameters Optimisa-tion of Biomass Cushion Packaging Material by Ortho-gonal Test[J].Materials Research Innovations, 2015, 19(5): 521—525.
- [6]LI Fang-yi, GUAN Kai-kai, LIU Peng, et al.Ingredient of Biomass Packaging Material and Compare Study on Cushion Properties[J].International Journal of Polymer Science, 2014(1): 1—7.
- [7]王立元.淀粉/纤维降解包装材料及其性能的研究[D].天津:天津科技大学, 2005.
- [8]张绍印, 欧建志, 王晓敏.干法纸浆模铸制备轻体包装材料的技术探讨[J].中国包装工业, 2000, 71(5):35—37.
- [9]景晓辉, 杨静新.植物纤维泡沫包装材料的研究[J].包装工程, 1999, 20(6): 12—14.
- [10]丁毅, 李尧, 曾珊瑚等.植物纤维类缓冲包装材料的研制[J].包装工程, 2006, 27(2): 50-51.
- [11]张秀梅.农作物秸秆发泡包装衬垫缓冲与振动性能的研究[D].武汉:武汉工业学院, 2007.
- [12]张秀梅, 徐伟民.高粱秸秆发泡包装材料的微观结构研究[J].武汉工业学院学报, 2006, 25(1): 50—52.
- [13]黄君, 王华林.秸秆/淀粉发泡材料的制备与表征[J].安徽化工, 2011, 37(2): 21—24.
- [14]周谋志, 陈恩忠, 潘明祥.以秸秆为主要原料制作缓冲衬垫的方法:中国, 1397473[P].2003-02-19.
- [15]王彤, 钱怡.缓蚀型玉米秸秆纤维发泡包装材料的研究[J].包装工程, 2015, 36(2): 1—14.
- [16]刘壮, 朱琳, 高德, 等.玉米秸秆纤维发泡聚苯乙烯缓冲包装材料及其性能的研究[J].包装工程, 2006, 27(6): 27—48.
- [17]王瑜, 张萍, 高德, 等.植物纤维含量对聚乳酸/玉米秸秆纤维发泡材料(PFFM)性能的影响研究[J].化工新型材料, 2012, 40(6): 79—87.
- [18]葛正浩, 石美浓, 田普建, 等.秸秆粉/PP微孔发泡复合材料的发泡工艺研究[J].陕西科技大学学报(自然科学版), 2012, 30(6): 24—27.
- [19]葛正浩, 金龙, 石美浓, 等.秸秆粉/废旧PE发泡复合材料的发泡工艺[J].塑料, 2014, 43(2): 56—59.
- [20]付菁菁.麦秸秆-粉煤灰/PP发泡复合保温材料制备及性能研究[D].南京:南京大学, 2013.
- [21]孙蓉.秸秆纤维/红粘土/聚丙烯三元复合发泡材料的制备及应用[D].珠海:暨南大学, 2006.
- [22]薛盘芳.PVC/秸秆复合发泡材料成型工艺初探[J].工程塑料应用, 2007, 35(8): 36—38.
- [23]夏星兰.秸秆纤维/PVC发泡材料的研究[D].南昌:江西农业大学, 2013.
- [24]林振.水玻璃凝胶复合植物纤维发泡材料力学性能的研究[D].福州:福建农林大学, 2013.
- [25]孔令鹏, 孙家瑛, 李东.农作物秸秆废弃物制备新型墙体材料的研究[J].四川建筑科学研究, 2014, 40(2):209—212.
- [26]何国情.一种凹凸对接的植物纤维增强发泡水泥保温吸隔音屏障板:中国, 201420298986[P].2015-03-04.

- [27]王戈, 余雁.国内外麦秸秆板的研究、生产及发展[J].世界林业研究, 2002, 15(1): 37—42.
- [28]郑凤山, 何磊.我国麦/稻秸秆板工业的发展与思考[J].木材工业, 2006, 20(6): 30—32.
- [29]赵一兵.玉米秸秆板加工特性试验研究[D].长春: 吉林农业大学, 2005.
- [30]史宇亮.混合原料秸秆板加工特性试验研究[D].长春: 吉林农业大学, 2006.
- [31]文全兴, 武向南.复合增强秸秆板的研制[J].北华航天工业学院学报, 2014, 24(4): 15—16.
- [32]华亮, 黄银娣.汽车用新型吸声材料——稻草秸秆板吸声性能的测定[J].生物质化学工程, 2007, 41(6): 29—31.
- [33]张洪涛.基于秸秆类材料的秸秆瓦应用研究[D].南京: 南京农业大学, 2013.
- [34]张洋.麦秸人造板胶合机理[J].林产工业, 2001, 28(1): 41—43.
- [35]黄润州, 周兆兵, 张洋, 等.微细纤维的制备及用于秸秆纤维板的浸渍处理[J].木材工业, 2012, 26(1): 24—26.
- [36]刘志明.纳米纤维素功能材料研究进展[J].功能材料信息, 2013, 10(5/6): 35—42.
- [37]薛栋杰, 李泽龙, 黄崇杏.纳米纤维素在植物纤维缓冲包装材料中的应用研究[J].轻工科技, 2014(5): 33—35.
- [38]FARUK O, SAIN M, Farnood R. Development of Lig-nin and Nanocellulose Enhanced Bio PU Foams for Automotive Parts[J]. Journal of Polymers and The Environment, 2014, 22(3): 279—288.
- [39]SOYKEABKAEW N, LAOSAT N, Ngaokla A, et al. Reinforcing Potential of Micro- and Nano-sized Fibers in the Starch-based Biocomposites[J]. Composites Science and Technology, 2012, 72(7): 845—852.
- [40]ZHANG Hao, SHE Ying, SONG Shu-ping, et al. Improvements of Mechanical Properties and Specular Gloss of Polyurethane by Modified Nanocrystalline Cellulose[J]. Bioresource, 2012, 7(4): 5190—5199.
- [41]RAMBABU N, PANTHAPULAKKAL S, SAIN M, et al. Production of Nanocellulose Fibers from Pinecone Biomass: Evaluation and Optimization of Chemical and Mechanical Treatment Conditions on Mechanical Properties of Nanocellulose Films[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 83(5): 746—754.
- [42]XUE Dong-jie, Li Ze-long, HUANG Chong-xin. The Application Research of Nano Cellulose in Plant Fiber Cushion Packaging Materials[J]. Light Industry Science and Technology, 2014, (5): 33—35.
- [43]LUDUENA LN, FORTUNATI E, MORAN, JI, et al. Preparation and Characterization of Polybutylene-succinate/Poly(ethylene-glycol)/Cellulose Nanocrystals Ternary Composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(15): 43302.
- [44]YIN Ji-ming, WANG Sheng-yue. Improving the Performance of Asphalt Mixture by Addition of Short-thin Wheat Straw Pieces[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2016, 17(6): 528—541.
- [45]VAKALIS S, HEIMANN R, TALLEY A. Introduction to Frictional Pyrolysis (FP)-An Alternative Method for Converting Biomass to Solid Carbonaceous Products[J]. FUEL, 2016, 175(7): 49—56.
- [46]PINTO F, MIRANDA M, COSTA P. Production of Liquid Hydrocarbons from Rice Crop Wastes Mixtures by Co-pyrolysis and Co-hydropyrolysis[J]. FUEL, 2016, 174(6): 153—163.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/112404.html>