

研究进展

植物纤维多孔缓冲包装材料的研究现状与展望

罗瑜莹, 肖生苓, 李琛, 穆丽新

(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:目的 综述植物纤维多孔缓冲包装材料的研究现状,指出已有植物纤维缓冲包装材料研究中存在的问题,并对其研究趋势进行展望。方法 通过对国内外有关植物纤维缓冲包装材料研究文献的梳理,将已有研究从原料及组分、发泡方法和成型工艺等3个方面进行分类,并对研究现状进行分析评价。结论 植物纤维多孔缓冲包装材料的应用对自然资源的有效利用和减轻泡沫塑料对环境的压力均具有重要意义,通过解决现阶段存在的发泡机理等问题,为植物纤维缓冲包装材料的进一步研究提供参考。

关键词: 缓冲包装材料; 植物纤维; 发泡方法; 成型工艺

中图分类号: TB484.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)07-0017-06

Status and Trends of Researches on Plant Fiber Porous Cushioning Packaging Materials

LUO Yu-ying, XIAO Sheng-ling, LI Chen, MU Li-xin

(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: The purpose of this paper was to summarize the current researches on development of the plant fiber porous cushioning packaging materials. The research status was analyzed by combing foreign and domestic literatures about plant fiber porous cushioning packaging materials and classifying the existing researches by raw materials and components, foaming methods and molding processes. In conclusion, the application of plant fiber porous cushioning packaging materials plays a very important role in improving the utilization of natural resources and easing the pressure on the environment caused by usage of foamed plastic. And this summary provides reference for the further research on plant fiber cushioning packaging materials though suggestions on solving the problems such as foaming mechanism.

KEY WORDS: cushioning packaging materials; plant fiber; foaming method; molding process

植物纤维作为自然界中储量较丰富的天然高分子材料,主要来源于自然生长的植物,具有密度小、力学性能较高、可降解、可再生、可循环利用和环境友好等特性^[1]。按照来源,植物纤维可分为韧皮纤维(如亚麻纤维、黄麻纤维、苧麻纤维、大麻纤维等),种子纤维(如棉纤维、椰纤维等),叶纤维(如剑麻纤维等),茎秆类纤维(如木纤维、竹纤维以及草茎纤维等)^[2]。其中,木纤维、麻纤维和草纤维的应用最为广泛。

缓冲包装是以缓和冲击为目的的包装,在所有包

装形式中,缓冲包装所占的比例最大,而在缓冲包装材料领域,我国主要以泡沫塑料为主。泡沫塑料虽然具有质轻等优点,但是其在自然条件下很难降解,加剧了白色污染^[3],因此,合理开发利用自然资源,实现包装材料的绿色发展、创新发展和循环发展是当前的首要任务。

植物纤维多孔缓冲包装材料是以植物纤维和淀粉为主料,胶粘剂、发泡剂、交联剂以及其他助剂等为辅料,经过发泡成型生产出一种绿色环保缓冲包装材

收稿日期: 2015-07-30

基金项目: 国家林业公益行业科研专项(201304506)

作者简介: 罗瑜莹(1992—),女,辽宁鞍山人,东北林业大学博士生,主攻生物质包装材料。

通讯作者: 肖生苓(1961—),女,黑龙江哈尔滨人,东北林业大学教授,主要研究方向为生物质包装材料。

料。由于植物纤维细胞中空、细长、呈纺锤状,并且有柔韧性,在制成的缓冲材料中起到支撑作用,使缓冲材料具有良好的物理强度^[4];淀粉和胶粘剂的作用即增加纤维间的粘结强度;发泡剂则是通过产生气体使材料形成泡孔,使材料具有缓冲性能,可以说泡孔的均匀性是决定缓冲材料缓冲性能的重要因素之一;交联剂、增塑剂等其他助剂的最终目的也都是改善材料的整体性能。由于植物纤维所具备的一系列优良特性,采用植物纤维制作缓冲材料势必有着发展优势和广阔空间。

1 研究现状

目前,国内外植物纤维类多孔缓冲材料的研究重点主要是原料及组分、发泡方法和成型工艺等,并且已经取得了不同程度的阶段性成果。

1.1 国外研究现状

国外对于植物纤维类多孔缓冲材料的研究起步较早,现将国外植物纤维类多孔缓冲材料的研究现状分述如下。

1.1.1 原料及组分

组成缓冲材料的原料及组分种类繁多,作用也各不相同。虽然不同的原料配方有着不同的最佳参数条件,但均可以得到性能良好的缓冲包装材料。

Soykeabkaew^[5]通过将质量分数为5%~10%的麻纤维加入淀粉胶粘剂中进行发泡成型,得出麻类纤维可以显著改善淀粉发泡材料的弯曲强度和弯曲模量的结论。G.M.Glenn^[6]等研究了只采用淀粉发泡的材料和分别添加纤维与CaCO₃所制得的发泡材料的功能特性,研究发现,淀粉与纤维的比例为5:1时所制得的发泡材料的断裂弯曲应变较只由淀粉制得的材料高5%,断裂伸长率是只由淀粉制得的材料2倍,而CaCO₃的添加不仅没有改善材料的性能,反而增加了材料的密度,降低了材料的断裂弯曲应变和断裂伸长率。J.W.Lawton^[7]等通过添加杨木纤维来提高玉米淀粉发泡材料的力学性能,研究发现,当纤维质量分数在15%以下时,发泡托盘的强度随着纤维质量分数的增加而增加;当纤维质量分数在15%~30%之间,发泡托盘的强度没有明显的变化;当纤维质量分数大于30%时,发泡托盘的强度反而降低,这可能是由于纤维含量较高会导致纤维分布不均匀。Carr L G^[8]等用纤维、木薯淀粉、水和添加剂制备发泡材料,研究结果表明,随着纤维含量的增加,材料的密度增大,弹性减小,但并非纤维含量越高,材料强度越大。

1.1.2 发泡方法

植物纤维多孔材料的成型过程一般要经历3个阶段,即气泡的成核、气泡核的膨胀和胚体的稳定固化,其中第1个阶段即为发泡过程^[9-10],植物纤维多孔材料的发泡方法优于一般发泡塑料的发泡方法,植物纤维多孔材料生产工艺简单,无需多次发泡和冷却。国外大多数采用物理发泡法,即以水蒸气为发泡剂,通过水的汽化过程进行发泡,但此种方式对设备和成本的要求较高,且发泡工艺相对较难控制^[11]。

Tsutomu Noguchi^[12]等采用物理发泡法,以水蒸气为发泡剂,将粉碎的纸浆颗粒、塑料微球和改性淀粉按一定比例混合制备了用于音响设备等产品的包装缓冲材料。德国不莱梅公司^[13]以书报废纸和淀粉为主要原料,采用物理发泡法制备了发泡缓冲材料。制备过程中,水分在高温高压条件下形成大量水蒸气,使混合物中产生大量的气孔,形成发泡颗粒。再利用发泡纸浆颗粒,制备不同用途的缓冲包装。

1.1.3 成型工艺

材料的成型工艺直接影响着材料的整体性能。通过对不同成型工艺的分析,研究得到合理的工艺参数,从而得到具有理想的物理化学性能和稳定结构的缓冲材料^[14]。植物纤维多孔缓冲包装材料的成型工艺有热压成型、挤出成型、微波成型和烘焙成型等。

Chih Pong Chang和Szu Chia Hung^[15]采用热压成型工艺,将废纸浆与酚醛树脂以及有机发泡剂混合均匀,加入模具进行加热成型,从而得到一种阻燃型的发泡材料,研究发现,该材料具有很好的缓冲性能。G. M. Ganjyal^[16]将经过碱处理的玉米茎纤维填充到乙酰化淀粉中挤出成型,研究发现,两者有良好的相容性。Preechawong^[17-18]等采用烘焙成型工艺制备发泡材料,并研究了淀粉、聚乙烯醇等混合物和相关添加剂的烘焙发泡条件。Shogren R.L.^[19]等人参考食品烘焙方法,以淀粉糊为原料制备了淀粉泡沫材料。

1.2 国内研究现状

国内对于植物纤维类多孔缓冲材料的研究主要也是原料及组分、发泡方法和成型工艺等。国内植物纤维类多孔缓冲材料的研究现状分述如下。

1.2.1 原料及组分

曹斌^[20]以木纤维为原料,以淀粉、聚乙烯醇(PVA)为胶粘剂,再加入偶氮二甲酰胺(AC)发泡剂以及其他助剂,制得缓冲包装材料,这种材料的密度为0.201 g/cm³,抗压强度为0.74 MPa,回弹率为82.1%,整体缓冲性能良好,这说明木纤维可以作为制备缓冲材料的

原材料。王沛^[21]以粒径为2~5 mm的玉米秸秆纤维作为多孔材料的骨架,加入淀粉和乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA),制得缓冲发泡材料,但材料的成型性不好,力学强度差,因此,没有得到利用与推广。王瑜^[22]等研究发现,玉米秸秆纤维含量对多孔材料的缓冲性能有较大影响,即当纤维质量分数为15%时,发泡材料表观密度最小(0.568 g/cm³),拉伸强度最大(8.031 MPa),综合性能最好,这说明适宜的纤维含量可提高发泡材料的表观密度和力学性能。

1.2.2 发泡方法

国内对于植物纤维类多孔缓冲材料的研究由于技术原因,一般多采用化学发泡法。化学发泡法是通过化学发泡剂受热产生的气体进行发泡。不同的化学发泡剂具有不同的发泡温度,有些发泡剂在发泡时吸热,如NaHCO₃;有些在发泡时放热,如偶氮二甲酰胺和偶氮二异丁腈等^[23]。有些发泡剂在发泡过程中,释放气体的速度和泡孔大小难以控制,泡孔的分散性也比物理发泡剂差,并且使用过程中会对环境造成破坏,因此在发泡剂的选择方面应慎重。张惠莹^[24]采用碱处理的方法对废纸纤维进行改性,并添加淀粉、PVA、甘油以及碳酸氢钠和偶氮二甲酰胺2种发泡剂等,制备了缓冲材料。

除了物理发泡法和化学发泡法之外,机械发泡法也是发泡方法的一种,其原理是通过机械搅拌达到发泡的效果。谢拥群^[25]等采用机械发泡法将处理好的浆料与起泡剂、表面活性剂搅拌以速度为1450 r/min混合5 min,实现溶液的发泡,然后通过静置,脱水成型和干燥得到纤维材料。结果表明:此种方法制备的植物纤维材料具有立体交叉的网状结构,具有较好的强度和力学性能。

1.2.3 成型工艺

高德^[26]等采用模压成型的方法,以玉米秸秆、马铃薯淀粉和PVA为主要原材料,制备出有一定强度和缓冲性能的绿色包装材料,并确定了体系反应的最佳温度为210~230 ℃。由研究可知,较高的成型温度可能会使发泡剂在单位时间内发气量较大,造成泡孔的合并破裂,并且对纤维的性质有影响,而较低的成型温度会使发泡不完全,甚至未进行发泡,温度过高或过低均对材料的缓冲性能有很大影响。陈利科^[27]等采用加压加热成型,制得缓冲包装材料,并且研究得出最佳成型压力为50~60 kPa,最佳成型温度为150~170 ℃,成型时间为6~10 min。研究发现,过高的成型压力会降低孔隙率,破坏材料的中空结构,降低材料的缓冲性能;过高或过低的温度虽然可以提高材料的

抗压强度,但会降低材料的缓冲性能;随着成型时间的增加,材料的缓冲性能也随之增强,但过长的时间可能减小材料的孔隙率,影响材料的整体性能。

赵东方^[28]等将柑橘皮渣、玉米淀粉和其他助剂混合均匀并进行挤出加工,双螺杆挤出机第1到第4区的温度分别为155,175,160,130 ℃,螺杆转速为130 r/min。通过扫描电镜和傅里叶红外分析以及对材料密度、抗压强度等的测试可以看出,通过挤出成型得到的材料缓冲性能较好。

微波辐照成型是采用电磁辐射原理,使物料中的极性分子在快速变化的电磁场作用下,发生有规律的周期运动,极性分子因受到附近分子的干扰和阻碍,产生类似摩擦的效应,使物料温度升高,发泡并得到成型材料^[29]。柴希娟^[30]等将甘蔗渣、木纤维、玉米淀粉、PVA溶液和碳酸氢钠等混合均匀,放入微波炉中进行加热发泡,得到缓冲发泡材料,通过对发泡材料性能的测试得出最佳工艺参数:微波功率为800 W,微波加热时间为60 s。研究发现,材料的压缩应力随微波功率的升高呈先增大后减小的趋势,当微波功率为800 W时,材料的压缩应力达到最大值。这是因为微波功率较低时,发泡剂分解不完全,导致制品的发泡效果差,缓冲性能不好;微波功率较高时,由于制品内部达到的温度较高,致使胶粘剂发生性质上的改变,制品开始硬化,导致缓冲性能较差。则微波功率控制在800 W时,材料的压缩应力达到最大,缓冲性能最好。

刘杨^[31]等采用烘焙发泡的成型工艺将物料充分搅拌均匀后倒入成型模具,然后放入65 ℃的电热恒温鼓风干燥箱中15~18 h进行加热发泡,即得到发泡缓冲包装材料。通过正交实验,分析了各因素对发泡材料性能的影响,得到了最佳发泡温度为65 ℃左右,发泡时间为16 h左右。黄君^[32]等以秸秆为原料,加入玉米淀粉、甘油、胶粘剂、填充剂和交联剂后烘焙发泡,通过对实验的中心组合设计以及单因素实验分析,得出最佳反应温度为65~67 ℃。通过以上研究发现,温度过低或过高均对材料的性能有较大的影响,当温度较低时,发泡剂未反应完全,产气量较少,导致材料缓冲性能不好;当温度过高时,发泡剧烈,容易出现泡孔合并,同时材料失水过多,导致变硬或者出现塌陷等现象,缓冲性能差,因此应选择合理的工艺参数以制备性能良好的缓冲材料。

2 研究中存在的不足

从国内外植物纤维发泡缓冲材料的研究现状可

以看到,虽然取得了一定的阶段性成果,但是也存在着许多不足,一些问题尚需揭示和解决。

1) 对发泡成型机理研究甚少。目前,国内外植物纤维发泡缓冲材料的研究重点主要在材料的制作工艺与技术参数、原料改性及配方、缓冲性能及使用寿命等方面。由于植物纤维自身的理化性质及结构特点,与PS,PE等有极大的区别,发泡成型机理及制备技术尚不成熟。

2) 对泡孔结构参数的表征较欠缺。随着人们对植物纤维多孔缓冲材料研究的愈发深入,研究成果也逐渐成熟,但在研究过程中,对泡孔结构参数的表征还不成熟,泡孔结构参数主要包括孔率、孔径、孔型、孔隙尺寸、比表面积等^[33-34]。现阶段只是通过评价材料的缓冲性能来判断最佳配方或是成型工艺参数,并未建立泡孔结构参数与缓冲性能的关系。而泡孔结构在植物纤维多孔缓冲材料的研究中起到很重要的作用,它直接决定着材料的缓冲性能。由于植物纤维多孔材料的孔隙结构不规则,不适合采用一般的测量方法进行测量,因此,应对泡孔结构进行深入的研究,并找到适当的方法进行表征,将其与材料的缓冲性能紧密的结合。

3) 发泡方法主要是化学发泡。现阶段,绝大多数实验采用的均是添加化学发泡剂的发泡方式,对环境和科研工作者有一定的危害。

4) 材料的制备仅限于实验室阶段。已有的对于植物纤维多孔缓冲材料的研究大多还停留在实验室阶段,距离大规模的工业化生产还存在一定的差距。

3 研究展望

1) 对发泡成型机理进行深入研究。随着材料制备工艺的日趋成熟,材料的发泡成型机理的重要性逐渐凸显,通过模型的建立,探究发泡成型机理,以用于确定原料配方及工艺参数等,对制备出性能良好的缓冲材料起到指导性的作用。

2) 对泡孔结构参数进行定义与表征。从泡孔结构的角度对缓冲材料的缓冲性能进行分析对研究发泡机理具有指导性的作用。应将微观的泡孔结构与宏观材料的缓冲性能紧密的结合在一起,探究不同的泡孔结构对缓冲性能的影响。可以在一般的发泡材料泡孔表征方法的基础上,结合植物纤维发泡材料自身的特点,找到合适的方法,例如引入图像分析法,借助显微镜等仪器和Matlab等软件^[35-39]对材料的孔隙率进行计算与分析,或者探究更适合的表征方法,为制

备出性能优良的缓冲包装材料提供依据。

3) 多采用物理发泡法。物理发泡法较化学发泡法对环境的污染相对较小,国外大都使用水蒸气发泡,但利用水蒸气发泡的工艺难以控制,因此需要寻求新的物理发泡技术。利用超临界流体发泡技术制备发泡木塑复合材料是近年来研究的热点。在超临界液体中,CO₂以其温和的临界条件(超临界点的温度为31.1℃,压力为7.3 MPa)、无毒、无味、阻燃、经济易得等特点倍受青睐,是木塑复合材料超临界发泡的首选发泡剂^[40]。研究者可以尝试将超临界CO₂发泡技术引入到植物纤维缓冲材料的制备中,使制备绿色缓冲包装材料成为可能。

4) 达到工业化生产。通过对发泡成型机理的探究以及与微观分析手段相结合的方式,对现阶段的原料配方、工艺等研究成果进行优化,使植物纤维缓冲材料的制备技术趋于成熟,进而实现大规模的工业化生产。

4 结语

利用植物纤维制备缓冲包装材料,不仅可以提高植物纤维的利用率,同时极大的缓解了泡沫塑料对环境的压力。在资源日渐匮乏,人类生存危机逐渐增加的情况下,植物纤维多孔缓冲包装材料势必有着广阔的应用空间。鉴于这种材料在缓冲包装领域的潜力,我们应致力于成熟的材料制备技术等研究,为分担环境压力贡献力量。

参考文献:

- [1] 姜爱菊. 剑麻纤维增强聚乳酸复合材料的制备及性能研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
JIANG Ai-ju. Research on the Performance and Preparation of Sisal Fibers Reinforced Polylactic Acid Composites[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2012.
- [2] 鲁博,张林文,曾竟成,等. 天然纤维复合材料[M]. 北京:化学工业出版社,2005:16.
LU Bo, ZHANG Lin-wen, ZENG Jing-cheng, et al. Natural Fiber Composite[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2005: 16.
- [3] 李刚,李方义,管凯凯,等. 生物质缓冲包装材料制备及性能实验研究[J]. 功能材料,2013,44(13):1969-1971.
LI Gang, LI Fang-yi, GUAN Kai-kai, et al. Experimental Study on Preparation and Properties of Biomass Cushion Packaging Materials[J]. Functional Materials, 2013, 44(13): 1969-1971.

- [4] 杨淑慧. 植物纤维化学[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
YANG Shu-hui. Lignocellulosic Chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2002.
- [5] SOYKEABKAEW N, SUPAPHOL P, RUJIRAVANIT R. Preparation and Characterization of Jute- and Flax-Reinforced Starch-Based Composite Foams[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58(1):53—63.
- [6] Gleen G M, Orts W J, Nobes G A R. Starch, Fiber and CaCO₃ Effects on the Physical Properties of Foams Made by a Baking Process[J]. Industrial Crops and Products, 2001, 14(3):201—212.
- [7] LAWTON J W, SHOGREN R L, TIEFENBACHER K F. Aspen Fiber Addition Improves the Mechanical Properties of Baked Cornstarch Foams[J]. Industrial Crops and Products, 2004, 19(1):41—48.
- [8] CARR L G, PARRA D F, PONCE P, et al. Influence of Fibers on the Mechanical Properties of Cassava Starch Foams[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2006, 14(2):179—183.
- [9] 刘培生. 多孔材料引论[M]. 北京:清华大学出版社,2004:259.
LIU Pei-sheng. Introduction to Porous Materials[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004:259.
- [10] 吕禹,贾秀杰,李方义,等. 生物质全降解材料微观组织结构与性能关系研究[J]. 功能材料,2011,42(S5):855—858.
LYU Yu, JIA Xiu-jie, LI Fang-yi, et al. Research on the Relationship between Microstructure and Properties of Biomass Degradation Materials[J]. Functional Materials, 2011, 42(S5):855—858.
- [11] 肖生苓,曹斌. 木塑复合缓冲包装材料发泡及其界面的研究动态[J]. 森林工程,2011,27(6):54—57.
XIAO Sheng-ling, CAO Bin. Dynamic Research on Foaming and Interface of Wood-plastic Composite Cushioning Material for Packaging[J]. Forest Engineering, 2011, 27(6):54—57.
- [12] NOGUCHI T. A New Recycling System for Expanded Polystyrene Using a Natural Solvent.Part 1.A New Recycling Technique[J]. Packaging Technology & Science, 1998, 11(1):19—27.
- [13] 陈红. 德国开发泡沫包装纸新工艺[N]. 中国包装报,2003-01-09(4).
CHEN Hong. New Technology for Developing Foam Packaging Paper in Germany[N]. China Packaging Newspaper, 2003-01-09(4).
- [14] 李琛. 木质剩余物纤维多孔型材料制备及缓冲特性研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2013.
LI Chen. Research on Preparation and Cushioning Properties of Wood Residues Fiber Porous Material[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [15] CHANG C P, HUNG S C. Manufacture of Flame Retardant Foaming Board from Waste Papers Reinforced with Phenol-formaldehyde Resin[J]. Bioresource Technology, 2003, 86(2):201—202.
- [16] GANJYAL G M, REDDY N, YANG Y Q, et al. Biodegradable Packaging Foam of Starchacetate with Corn Stalk Fibers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 93(6):2627—2633.
- [17] PREECHAWONG D, PEESAN M, SUPAPHOL P. Characterization of Starch/Poly ([var epsilon]-caprolactone) Hybrid Foams[J]. Polymer Testing, 2004, 23(6):651—657.
- [18] PREECHAWONG D, PEESAN M, SUPAPHOL P, et al. Preparation and Characterization of Starch/poly(l-lactic acid) Hybrid Foams[J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 59(3):329—337.
- [19] SHOGREN R L, LAWTON J W, TIEFENBACHER K F. Baked Starch Foams:Starch Modifications and Additives Improve Process Parameters, Structure and Properties[J]. Industrial Crops and Products, 2002, 16(1):69—79.
- [20] 曹斌. 木质剩余物缓冲包装材料制备工艺的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2013.
CAO Bin. Study on Preparation Process of Foam Wood Residual Fiber Cushion Packaging Material[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [21] 王沛. 玉米秸秆缓冲包装材料的研制及性能测试[J]. 包装工程,2009,30(2):16—18.
WANG Pei. Preparation and Performance Test of Corn Straw Cushion Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2):16—18.
- [22] 王瑜. 基于聚乳酸/玉米秸秆纤维食品包装材料发泡性能及其模型研究[D]. 杭州:浙江大学,2012.
WANG Yu. Foaming Properties and Model Research of Food Packaging Material based on PLA/corn Straw Fiber[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [23] 瞿波,张柳钦. AC发泡剂的发泡机理以及改性[J]. 化工管理,2013(22):61—65.
QU Bo, ZHANG Liu-qin. Foaming Mechanism and Modification of AC Blowing Agent[J]. Chemical Management, 2013(22):61—65.
- [24] 张惠莹,张晶,江兴亮,等. NaOH预处理对废纸纤维发泡材料性能的影响[J]. 包装学报,2012,3(4):11—15.
ZHANG Hui-ying, ZHANG Jing, JIANG Xing-liang, et al. Influence of Pretreatment with NaOH on Property of Waste Paper Fiber Foamed Material[J]. Journal of Packaging, 2012, 3(4):11—15.
- [25] 谢拥群,陈彦,魏起华,等. 机械发泡技术制备网状植物纤维材料的研究[J]. 福建林学院学报,2008,28(3):203—207.
XIE Yong-qun, CHEN Yan, WEI Qi-hua, et al. Study on Forming a Truss-like Reticular Structure Made from Nature Fiber under the Effect of Liquid Frothing[J]. Journal of Fujian

- College of Forestry, 2008, 28(3): 203—207.
- [26] 高德, 常江, 巩雪. 玉米秸秆缓冲包装材料的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(1): 27—29.
GAO De, CHANG Jiang, GONG Xue. Research on Corn Straw Cushion Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(1): 27—29.
- [27] 陈利科, 张钦发, 雷张峰, 等. 稻草纤维复合缓冲材料成型工艺研究[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 11—14.
CHEN Li-ke, ZHANG Qin-fa, LEI Zhang-fei. Study on Molding Technology of Straw Fiber Composite Cushion Material[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 11—14.
- [28] 赵东方, 赵春霞, 应丽莎, 等. 柑橘皮渣/淀粉基可降解复合缓冲材料的制备及性能表征[J]. 包装工程, 2012, 33(21): 1—4.
ZHAO Dong-fang, ZHAO Chun-xia, YING Li-sha, et al. Preparation and Characterization of Citrus Pericarp Residue/Starch Based Biodegradable Composite Cushioning Material[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 1—4.
- [29] SCHUBE H, REGIER M. 食品微波加工技术[M]. 徐树来, 郑先哲, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
SCHUBE H, REGIER M. The Microwave Processing of Foods [M]. XU Shu-lai, ZHENG Xian-zhe Translate. Beijing: China Light Industry Press, 2008.
- [30] 柴希娟, 张加研, 扈焕军. 微波辐照蔗渣制备可降解发泡材料的工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2009, 29: 165—168.
CHAI Xi-juan, ZHANG Jia-yan, HU Huan-jun. Study on Preparation of Biodegradable Foamed Material from Bagasse Fiber Using Microwave Irradiation[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2009, 29(S1): 165—168.
- [31] 刘杨, 乔兆磊, 李珊珊, 等. 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, et al. Development of Foamed Cushion Packaging Material Using Cassava Residue [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 39—41.
- [32] 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, 2(37): 21—24.
HUANG Jun, WANG Hua-lin. Synthesis and Characterization of Foamed Corn Straw/Starch Material[J]. Anhui Chemical Industry, 2011, 2(37): 21—24.
- [33] AJAYAN V, TOSHIYUKI M, KATSUHIKO A. New Families of Mesoporous Materials, Science and Technology of Advanced Materials[J]. Sci Techn Adv Mater, 2006, 10: 1.
- [34] STEIN A, WANG Z Y, FIERKE M A. Functionalization of Porous Carbon Materials with Designed Pore Architecture[J]. Adv Mater, 2008, 20: 1.
- [35] 唐爱民, 刘远, 赵姗. 纳米纤维素/阳离子聚合物复合三维组织工程支架的性能[J]. 材料研究学报, 2015, 1(29): 1—9.
TANG Ai-min, LIU Yuan, ZHAO Shan. Performance of 3D Tissue Engineering Scaffolds of Nano Cellulose/High Cationic Polymers Composite[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2015, 1(29): 1—9.
- [36] 朱琦. 微细化纤维复合淀粉制备发泡缓冲材料的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
ZHU Qi. Study on the Preparation of Foam Cushioning Material by Micronized Fiber and Starch[J]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [37] 王克奇, 马晓明, 白雪冰. 基于分形理论和数学形态学的木材表面缺陷识别的图像处理[J]. 森林工程, 2013, 29(2): 48—50.
WANG Ke-qi, MA Xiao-ming, BAI Xue-bing. Image Processing of Wood Surface Defect Identification Using Fractal Theory and Mathematical Morphology[J]. Forest Engineering, 2013, 29(2): 48—50.
- [38] 谢永华. 数字图像处理技术在木材表面缺陷检测中的应用研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
XIE Yong-hua. The Application and Research of Digital Image Processing on Wood Surface Texture Inspection[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [39] 王丽艳, 戚大伟. 基于模糊聚类分析的木材缺陷CT图像分割[J]. 森林工程, 2014, 29(3): 59—62.
WANG Li-yan, QI Da-wei. Wood Defect CT Image Segmentation Based on Fuzzy Cluster Analysis[J]. Forest Engineering, 2014, 29(3): 59—62.
- [40] 曾广胜, 徐成, 江太君. 发泡木塑复合材料发泡及成型工艺研究[J]. 包装学报, 2011, 3(4): 27—32.
ZENG Guang-sheng, XU Cheng, JIANG Tai-jun. Investigation of Foaming and Molding of Micro-Foamed Wood Plastic Composites[J]. Packaging Journal, 2011, 3(4): 27—32.