

挤出法制备生物质包装材料

高伟岩¹, 于敏¹, 黄小青³, 孙昊^{1,2}, 张新昌^{1,2}

(1.江南大学, 无锡 214122; 2.江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122;
3.常州天经新型建材有限公司, 常州 213141)

摘要: **目的** 在挤出工艺条件下, 以废纸纤维和农作物秸秆为主要原料制备生物质包装材料, 研究影响其试样力学性能的主要因素并确定较优配方。**方法** 在废纸和农作物秸秆原料中加入一定量的淀粉、甘油、PVA, 经搅拌混合均匀后, 通过单螺杆挤出机连续挤出, 以实现环保生物质包装材料的连续生产。在单因素实验的基础上, 通过正交实验探讨秸秆含量、淀粉含量、PVA 含量、甘油含量对材料力学性能的影响。**结果** 在 85 °C 下水浴加热 15 min 时, 混合物料和淀粉之间具有良好的相容性。试样抗压性能的影响因素及主次顺序为淀粉含量>PVA 含量>基材比例>甘油含量, 试样抗弯性能的影响因素及主次顺序为淀粉含量>基材比例>PVA 含量>甘油含量。**结论** 物料分散的均匀性和粘度是以废纸、农作物秸秆为主要原料通过挤出法制备生物质包装材料的关键。当基材比例(秸秆与废纸的质量比)为 2:3, PVA 质量分数为 2.5%, 淀粉质量分数为 9%, 甘油质量分数为 5%时, 可获得较优的力学性能。

关键词: 生物质纤维; 挤出工艺; 配方

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0085-06

Formula of Biomass Packing Material through Extrusion Processing

GAO Wei-yan¹, YU Min¹, HUANG Xiao-qing³, SUN Hao^{1,2}, ZHANG Xin-chang^{1,2}

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China; 3.Changzhou Tianjing New Building Materials Co., Ltd., Changzhou 213141, China)

ABSTRACT: This work prepares biomass packaging material with wastepaper fiber and crop straw as the main raw material based on extrusion processing, studies the main factors that affect the mechanical properties of the samples and recommends the optimal formula. Wastepaper fiber and crop straw were used as the main raw material in this article, and the raw material was stirred and mixed with a certain amount of starch, glycerin and PVA. And then the biomass packaging material was made through extrusion processing in order to realize the continuous production of the environmental protection packaging materials. On the basis of single factor experiment, how the mechanical behavior of materials was influenced by the ratio of base material, starch content, the content of PVA and the glycerol content was investigated by the orthogonal experiment. The results showed that the starch had good compatibility between wastepaper fiber and crop straw after 15 min water heating under the condition of 85 °C. The degree of the four factors' impact on the compressive properties was: starch content > PVA content > the ratio of base material > glycerol content. The degree of the four factors' impact on the flexural behavior was: starch content > the ratio of base material > PVA content > glycerol content. In conclusion, the production of biomass packaging materials through extrusion processing depends on dispersible uniformity

收稿日期: 2016-03-03

作者简介: 高伟岩(1990—), 男, 河北邢台人, 江南大学硕士生, 主攻包装技术与工程。

通讯作者: 张新昌(1961—), 男, 河南人, 江南大学教授, 主要研究方向为产品包装技术、包装材料与制品。

and viscosity of the mixing materials, which use the wastepaper fiber and crop straw as the main raw material. The mechanical properties are better when the ratio of base material is 2 : 3 (mass ratio), PVA 2.5%, starch 9%, and glycerin 5%.

KEY WORDS: biomass fiber; extrusion process; formula

随着资源的减少与环境问题的恶化,使用生物原材料制备可完全降解的复合材料已成为包装行业的研究热点之一^[1-2]。近年来,我国瓦楞纸箱行业发展迅猛^[3],产生了大量的废旧瓦楞纸箱纸板。我国木材资源短缺^[4],农作物秸秆产量大,利用率低,利用废纸、秸秆等生物质原料制备新型包装材料,既能减少森林资源消耗,又能保护环境^[5]。

受生物质纤维材料本身特性的影响,生物质包装材料的制备方法多为模压成型,属于间歇式生产工艺。使用螺杆挤出机连续加工的材料一般是可以塑化的塑料等原料^[6]。江南大学彭慧丽、张新昌等以废纸为主要原料,通过挤出工艺制备了可完全降解的生物质包装材料^[7],但其增塑剂用量较大,原材料相对单一,且样品性能与实际需要有较大差距。文中提出一种新的基于挤出工艺的生物质包装材料配方及其制备方法,大量添加了农作物秸秆,降低了助剂含量,为实现工业化生产和应用奠定了基础。这里通过单因素实验确定助剂的用量范围;通过混合物料流变性研究物料分散均匀性和粘度对挤出工艺过程的影响;最后,通过实验研究农作物秸秆含量和助剂对试样力学性能的影响,确定最优配方。

1 实验

1.1 材料与设备

材料:国产废旧瓦楞纸板,面纸为普通箱板纸;玉米秸秆,江苏苏北地区玉米秸秆碎料;玉米淀粉,生化试剂 BR,北京宏润宝顺科技有限公司;甘油,分析纯 AR,上海誉洁化工股份有限公司;PVA,生化试剂 BR,国药集团化学试剂有限公司。

设备:电子天平, JCS-600, 凯丰集团有限公司;水力碎浆机, WF4030, 北京碧生源科技有限公司;立式磨浆机, T07-PF1 型, 咸阳通达设备有限公司;电热恒温鼓风干燥箱, DHG-9070A, 宁波市鄞州赛茵仪器有限公司;数显恒温水浴锅, HH-4A, 常州恒隆仪器有限公司;数显恒速强力电动搅拌机, JB200-SH 型, 上海标本模型厂;单螺杆挤出机, 宜兴市凌霞塑料机械有限公司;恒温恒

湿箱, THS-AOC-100AS, 庆声科技股份有限公司;万能材料试验机, LRX PLUS, 英国 LLOYD 公司;旋转流变仪, Discovery 系列 HR2 型号, 美国 TA 公司。

1.2 试样制备方法

1.2.1 预处理

废纸预处理:首先将废旧瓦楞纸板切块并放入清水中浸泡,待纸板浸透变软后将面纸、瓦楞纸、芯纸、里纸分离,在清水中反复冲洗,直至瓦楞纸板中的胶液被清除干净,再放入清水中浸泡 2 h,备用。PVA 预处理:室温下, PVA 在清水中浸泡 2 h 后,对其进行水浴加热,温度逐渐由室温升至 90 °C,并用玻璃棒不停搅拌直至全部溶解。取出少量 PVA 溶液,加入 1~2 滴碘液,若色泽能均匀扩散,说明已完全溶解。

1.2.2 试样制备

取浸泡后的废旧瓦楞纸板,去除多余水分,将纸板在立式磨浆机中打磨 5 min,得到废纸纤维。称量一定的秸秆粉末、淀粉、PVA 溶液、甘油等,将淀粉和秸秆粉末混合均匀后,与湿纸纤维混合均匀,再将甘油和 PVA 溶液加入上述混合物料中并搅拌均匀,然后在恒温水浴锅中水浴加热 15 min,水浴温度 85 °C。启动单螺杆挤出机达到设定转速和温度后,将混合物料填入料筒中,然后通过模头挤出一定截面形状的制品。

1.3 方案设计

在该实验中,湿纸浆含水率为 70%,甘油密度为 1.2613 g/mL,单螺杆挤出机转速设定为 30 r/min,温度为 65 °C。

1.3.1 单因素实验

根据试样制备方法,分别设计基材比例(秸秆与废纸的质量比)、淀粉、PVA 和甘油等 4 组单因素实验,通过观察试样的表观特征,确定各因素的用量范围,以保证试样的顺利挤出。根据预试验结果设定各因素试验水平。各单因素试验原料成分配比见表 1,其中 A 为基材比例, B 为 PVA 质量

分数, C 为淀粉质量分数, D 为甘油质量分数。

表 1 单因素试验原料配比
Tab.1 Ratio of ingredients in single factor tests

单因素 实验	A	$B/\%$	$C/\%$	$D/\%$
1	1:2, 1:1, 2:1	5	7	10
2	1:2	5	3, 7, 11	10
3	1:2	2.5, 5, 7.5	7	10
4	1:2	5	7	7, 10, 13

1.3.2 正交实验

通过单因素实验, 初步确定各因素的用量范围, 在此基础上设计各因素正交实验水平, 研究各因素对混合物料分散均匀性及试样强度的影响。试样均按照前文中的实验方法制备。正交实验因素水平见表 2。

表 2 正交实验因素水平
Tab.2 Factors and levels in orthogonal test

水平	因素			
	A	$B/\%$	$C/\%$	$D/\%$
1	1:3	1.5	5	5
2	2:3	2.5	7	7
3	1:1	3.5	9	9

1.3.3 混合物料流变性实验

先做应变扫描, 确定线性粘弹性区后, 从中选择 1 个应变值作为频率扫描的应变参数。应变扫描: 以应变为横坐标, 储存模量、损耗模量为纵坐标进行扫描。一般流体在应变较小时都会出现线性粘弹区, 即储存模量与损耗模量都为水平应变区域(之后两者都会有所下降), 在此区域内选择一点为频率扫描实验的应变值, 应变值尽可能选较大的值, 这样频率扫描时数据更准确。频率扫描: 以频率为横坐标(一般设为 0.1~100 rad/s), 储存模量、损耗模量为纵坐标进行扫描, 可用来判断流体是粘性还是弹性占主导。温度设定为 65 °C, 频率设为 1 Hz。

1.4 力学性能测定

1) 抗压性能测试。参照 GB/T 1928—2009 的要求裁切制备试样(30 mm×15 mm×8.5 mm), 每组实验取样 8 个, 进行抗压性能测试。对试样匀速施加载荷, 在 1.5~2.0 min 将试样压缩至包装允许最

大变形量(15%), 即压缩 1.275 mm, 并记录载荷。

2) 抗弯性能测试。参照国家标准要求裁切制备试样(150 mm×15 mm×8.5 mm), 每组实验取样 8 个, 进行抗弯性能测试。该实验采用三点式加载, 试样在最大变形处或其附近被破坏, 记录从开始至试样被破坏过程中的最大负载。跨距为 140 mm。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验

按照单因素实验设计, 探讨各因素对试样表现性能和挤出成型的影响, 确定各因素的应用范围, 为设计正交实验水平提供依据。

2.1.1 基材比例

与废纸纤维相比, 干燥的秸秆粉末非常分散, 粉末之间没有连接, 与废纸纤维混合后, 对废纸纤维之间的连接有明显影响, 因此有必要探究基材比例对试样挤出成型的影响。基材比例为 1:2 时, 能够连续挤出表面平整的试样; 基材比例为 1:1 时, 可以连续挤出试样, 试样表面稍粗糙, 有明显的“木质感”; 基材比例为 2:1 时, 无法连续挤出试样。由基材比例单因素实验结果可知, 基材比例(秸秆与废纸的质量比)应小于 1:1。

2.1.2 淀粉用量

淀粉作为胶粘剂, 可增强秸秆粉末和废纸纤维之间的结合, 对试样的挤出和成型至关重要。当淀粉质量分数为 3% 时, 混合物料水浴后分散, 试样无法连续挤出; 当淀粉质量分数为 7% 时, 试样可以连续挤出, 表面平整; 当淀粉质量分数为 11% 时, 试样挤出顺利, 有粘壁现象。通过淀粉用量单因素实验结果可知, 淀粉质量分数应在 7% 左右。

2.1.3 PVA 用量

PVA 的含量对混合物料能否顺利挤出没有影响, 但适量 PVA 能增强混合物料的力学性能。当 PVA 质量分数为 2.5% 时, PVA 溶解均匀, 试样可以连续挤出, 干燥后试样强度有提高; 当 PVA 质量分数为 5% 时, PVA 溶解均匀, 试样可以连续挤出, 干燥后试样有应力集中点; 当 PVA 质量分数为 7.5% 时, PVA 未完全溶解, 试样可以连续挤出, 可以看见 PVA 颗粒。由 PVA 用量单因素实验结果可知, PVA 质量分数应在 2.5% 左右。

2.1.4 甘油用量

甘油在文中用作增塑剂和润滑剂,增强物料塑性,改善加工性能,使物料易于挤出。用量过多会影响试样性能,并增加原材料成本。当甘油质量分数为7%时,挤出过程无粘壁现象,挤出试样良好;当甘油质量分数为10%时,挤出顺利,试样表面有油亮光泽;当甘油质量分数为13%时,挤出非常顺利,未干燥的试样易变形。由甘油用量单因素实验结果可知,甘油的质量分数应在7%左右。

2.2 混合物料流变性实验

应变扫描结果显示,对于生物质纤维混合物料,应变幅度控制在0.25%。频率扫描模式混合物料粘性占主导作用。正交实验的9种试样均可顺利挤出,不同配方下物料的复数粘度-频率曲线呈现相同的趋势,都表现出以下特征:随着频率的增加,混合物料的复数粘度减小。正交试验的9种配方物料体系的复数粘度-频率曲线都表现出较好的重复性,表明上述试样对应的粘度和物料分散均匀性均适合挤出加工工艺。其中试样4重复性相对最好,试样9重复性相对最差。这与混合物料的粘度有一定关系,粘度小的试样,物料分散均匀性好,重复性较好;粘度大的试样,物料分散均匀性差,重复性较差。生物质混合物料粘度太小,无法成型,粘度太大,会挤出困难。复合体系的主要组分对复合材

料的流变行为产生重要的影响^[8],助剂会使物料之间的相互作用增强,复合材料的储能模量和复数粘度升高^[9]。此外,加工工艺也会影响混合物料的粘度。复合体系受到剪切力作用后,纤维会发生运动^[10]。低剪切速率时,纤维之间凝结形成空间网状结构,大多数纤维不能沿切向力方向取向,剪切力与轴向不在同一直线上,杂乱的取向使纤维同复合体系的作用力加大,导致体系粘度升高;高剪切速率时,经过一段时间的滞后,机械外力导致体系网络结构发生形变从而产生流动,体系粘度降低,表现出剪切变稀现象;若剪切速率再提高,机械作用力直接导致网状结构破裂,分散成单个个体,此时大部分纤维能够按照剪切应力方向排列,因此体系的粘度会趋向平稳^[11]。在85℃下水浴加热15min时,废纸纤维、秸秆粉末和淀粉之间有良好的相容性,有效促进废纸纤维、秸秆粉末和淀粉的均匀分散。物料分散的均匀性和粘度是以废纸、农作物秸秆为主要原料通过挤出法制备生物质包装材料的关键。

2.3 性能测试结果与分析

按照正交实验得到试样,对其进行性能测试,探究各组分对试样抗压性能和抗弯性能的影响^[12],结果见表3,其中抗压性能为试样被压缩15%所需负载,抗弯性能为试样被破坏过程中最大负载。

表3 性能测试结果
Tab.3 Performance test result

试样号	因素				抗压性能/N	抗弯性能/N
	A	B/%	C/%	D/%		
1	1:3	1.5	5	5	933.3	50.2
2	1:3	2.5	7	7	590.0	61.9
3	1:3	3.5	9	9	906.7	84.8
4	2:3	1.5	7	9	1046.7	35.9
5	2:3	2.5	9	5	1230.0	100.7
6	2:3	3.5	5	7	673.3	39.4
7	1:1	1.5	9	7	1370.0	53.1
8	1:1	2.5	5	9	663.3	23.5
9	1:1	3.5	7	5	1060.0	31.6

对试样的抗压性能和抗弯性能进行极差分析,见表4。由极差结果分析可知,试样收到各组分影响程度均不相同,影响试样抗压性能的因素显著性

为淀粉含量>PVA含量>基材比例>甘油含量,影响试样抗弯性能的因素显著性为淀粉含量>基材比例>PVA含量>甘油含量。

表 4 力学性能极差分析
Tab.4 The range analysis of the mechanical properties of materials

水平均值	抗压极差分析				抗弯极差分析			
	A	B/%	C/%	D/%	A	B/%	C/%	D/%
k_1	810	1116.7	756.6	1074.4	65.6	46.4	37.7	60.8
k_2	983.3	827.8	898.9	877.8	58.7	62	43.1	51.5
k_3	1031.1	880	1168.9	872.2	36.1	51.9	79.5	48.1
R	221.1	288.9	412.3	202.2	29.5	15.6	41.8	12.7

2.4 讨论

基材比例为 1 : 1 时, 试样的抗压性能最好, 抗弯性能最差。这是因为秸秆的含量越高, 混合体系中的植物纤维占混合物料总体比例就越高, 纤维比例越高, 试样抗压性能越好。秸秆颗粒的长度约为 0.9 mm, 废纸纤维的长度约为 3.5 mm, 秸秆含量越高, 混合物料中的纤维平均长度越低, 纤维取向越无序, 抗弯性能降低。此外, 每份废纸纸浆含水率相同, 秸秆粉末含量增加, 混合物料相对越干燥, 均匀性降低, 抗弯性能下降。

PVA 质量分数为 1.5% 时, 试样的抗压性能最好, PVA 质量分数为 2.5% 时, 抗弯性能最好。在一定范围内, PVA 可固化纤维, 提高试样抗压性能, PVA 含量继续增加, 部分纤维的连接方式由纤维之间直接结合转变为纤维与 PVA 结合, 纤维之间直接结合的程度比纤维与 PVA 结合的程度大, 故抗压性能下降。PVA 过量时, PVA 出现聚集, 脱水硬化, 试样抗压性能增加。在一定范围内, PVA 含量增加, 试样抗弯性能增强, 但 PVA 用量过多时, 不易完全溶解, 未溶解的 PVA 颗粒容易在混合物料中形成应力集中点, 故抗弯性能下降。

淀粉质量分数为 9% 时, 试样的抗压性能与抗弯性能都最好。这是因为淀粉与植物稻草纤维结合, 可以使生物质包装材料的物理性能得到明显增强^[13]。废旧瓦楞纸板经过磨浆后, 端部发生分丝帚化, 纤维端头的羟基增多, 添加淀粉后, 羟基会吸附大量的淀粉, 淀粉紧密地粘在纤维上, 增强 2 种植物纤维之间的结合力, 提升了整个混和物料, 因此淀粉含量越高, 糊化作用越明显, 试样的物理性能增强。此外, 淀粉糊化后使混合物料变为粘稠状, 对混合物料有助流作用, 有利于混合物料的挤出。

甘油质量分数为 5% 时, 试样的抗压性能与抗弯性能都最好。这是因为增塑剂能够破坏聚合物分

子链中的氢键, 并与聚合物分子链上游离的羟基结合形成氢键, 从而发挥其增塑效果^[14], 润滑剂能够使植物纤维在塑料中分散均匀^[15]。这里甘油作为增塑剂和润滑剂, 软化植物纤维, 破坏植物纤维分子链, 降低纤维大分子之间的作用力, 使纤维分子链易于运动, 分子之间的空隙增加, 植物纤维分子流动性增加, 因此甘油含量越高, 纤维之间的结合力越低, 试样抗压性能与抗弯性能降低。

综合以上因素对材料性能的影响, 试样力学性能较优的方案为 $A_2B_2C_3D_1$, 即基材比例为 2 : 3, PVA 质量分数为 2.5%, 淀粉质量分数为 9%, 甘油质量分数为 5%。

3 结语

文中以废旧瓦楞纸板和农作物秸秆为主要原料, 选用环保助剂, 通过挤出工艺, 制备了一种新型环保生物质包装材料, 实现了生物质材料的连续生产, 更重要的是, 大比例地添加了农作物秸秆, 进一步降低了原材料成本, 试样更接近工业化生产的要求。文中研究了各组分对材料性能的影响, 淀粉对材料的成型至关重要, 适量的 PVA 能使材料获得较好的综合性能, 甘油有利于混合物料的挤出。物料分散的均匀性和粘度是以废纸、农作物秸秆为主要原料通过挤出法制备生物质包装材料的关键。当基材比例(秸秆与废纸的质量比)为 2 : 3, PVA 质量分数为 2.5%, 淀粉质量分数为 9%, 甘油质量分数为 5% 时, 可获得较优的力学性能。

参考文献:

- [1] 孙昊, 梅志凌, 张新昌. 利用凤眼莲制作生物质复合包装材料的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 24—27. SUN Hao, MEI Zhi-ling, ZHANG Xin-chang. Study on Utilization of Eichhornia Crassipes for Producing Biomass Composite Packaging Materials[J]. Packaging

- Engineering, 2013, 34(9): 24—27.
- [2] 孙昊, 王万章, 李伟平, 等. 凤眼莲物质复合内包装材料的制备工艺[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 258—264.
SUN Hao, WANG Wan-zhang, LI Wei-ping, et al. Preparation Technique of Eichhornia Crassipes-Based Composite Packaging Materials[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(12): 258—264.
- [3] 王斐, 母军. 瓦楞纸箱抗压强度的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 133—138.
WANG Fei, MU Jun. Research Progress on Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 133—138.
- [4] 李敏, 吴智慧, 毛轶超. 现代红木家具榫卯形式的研究[J]. 包装工程, 2015, 36(4): 88—92.
LI Min, WU Zhi-hui, MAO Yi-chao. The Types of Mortise and Tenon in Modern Mahogany Furniture[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(4): 88—92.
- [5] 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—5.
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—5.
- [6] 班长伟, 牛明军, 段瑞侠, 等. 聚乳酸/壳聚糖复合材料的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 72—74.
BAN Chang-wei, NIU Ming-jun, DUAN Rui-xia, et al. Preparation and Properties of PLA/Chitosan Composites[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(23): 72—74.
- [7] 彭慧丽, 孙昊, 张新昌. 基于挤出工艺的生物质纤维物料加工流变性能[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 53—58.
PENG Hui-li, SUN Hao, ZHANG Xin-chang. Rheological Properties of Biomass Fiber Material Based on Extrusion Process[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 53—58.
- [8] 徐睿杰, 雷彩红, 蔡启, 等. 填料对聚丙烯导热复合材料导电和流变性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(4): 92—95.
XU Rui-jie, LEI Cai-hong, CAI Qi, et al. Effects of Filler on Electrical and Rheological Properties of Polypropylene Thermally Conductive Composites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2015, 31(4): 92—95.
- [9] HUANG H X, ZHANG J J. Effects of Filler-Filler and Polymer-Filler Interactions on Rheological and Mechanical Properties of HDPE-Wood Composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 111(6): 2806—2812.
- [10] MIGNEAULLT S, KOUBAA A, ERCHIQUI F, et al. Effect of Fiber Length on Processing and Properties of Extruded Wood-Fiber-HDPE Composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 110(2): 148—155.
- [11] 林真. 植物纤维多孔吸收材料及工艺性的研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2013.
LIN Zhen. Study on the Plant Fiber Porous Absorption Material and Technology[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2013.
- [12] 王建清, 刘冰, 金政伟, 等. 淀粉/聚乳酸挤出片材的制备及性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(1): 112—115.
WANG Jian-qing, LIU Bing, JIN Zheng-wei, et al. Properties of Starch/PLA Composites Prepared by Extrusion Technology[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(1): 112—115.
- [13] LI Y F, LI J, LIU Y X, et al. Thermoforming of Polymer from Monomers in Wood Porous Structure and Characterization for Wood-Polymer Composite[J]. Materials Research Innovations, 2011, 15(1): 446—449.
- [14] 王建清. 包装材料学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013.
WANG Jian-qing. Packaging Materials[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013.
- [15] 杨文斌, 章耀林, 陈恩惠, 等. 竹粉/高密度聚乙烯复合材料动态流变特性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 288—292.
YANG Wen-bin, ZHANG Yao-lin, CHEN En-hui, et al. Dynamic Rheological Properties of Bamboo Flour/High Density Polyethylene Composite[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 288—292.