

木薯渣纤维制备发泡缓冲包装材料的研究

刘 杨, 乔兆磊, 李珊珊, 黄崇杏

(广西大学, 南宁 530004)

摘要: 以木薯渣为原料, 加入可溶性淀粉、交联剂、催化剂和发泡剂后烘焙发泡, 制备了新型植物纤维发泡缓冲材料。分析了木薯渣粒度和胶粘剂、发泡剂、催化剂量等对发泡缓冲材料静态缓冲特性的影响; 通过 Statistics Analysis System 9.0 软件对实验进行了中心组合设计。结果显示最佳发泡条件为: 胶粘剂、发泡剂、催化剂添加量分别为 2.0、6.0、2.4 g; 发泡温度为 63~68 ℃, 发泡时间为 14~17 h。

关键词: 植物纤维; 发泡缓冲包装材料; 缓冲性能

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)19-0039-03

Development of Foamed Cushion Packaging Material Using Cassava Residue

LIU Yang, QIAO Zhao-lei, LI Shan-shan, HUANG Chong-xing

(Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: A new-type plant fiber foamed cushion packaging material was developed using cassava residue as raw material by baking method through mixing cassava starch, crosslinking agent, catalytic agent, and foaming agent. The influence of cassava residue particle size and the dosage of adhesive, catalytic agent, and foaming agent on static cushion performance of the material was analyzed. A central composite design was constructed using the software Statistics Analysis System 9.0. The results showed that the optimum dosages of adhesive, foaming agent, and catalyst were 2.0, 6.0, and 2.4 g respectively; foaming temperature is 63~68 ℃; reaction time is 14~17 h.

Key words: plant fiber; foaming cushioning packaging material; cushion performance

塑料的原料主要来自不可再生的石油等化石燃料, 发泡塑料因其具有高强度、低密度、价格低廉等优点, 被广泛用作缓冲包装材料。石油、煤炭等传统化石能源发展面临着日益枯竭、环境污染严重、碳排放量大等一系列制约因素, 因此, 植物纤维发泡材料作为一种环保型缓冲包装材料, 逐渐成为了国内外的研究热点^[1-6]。

木薯是一种灌木状多年生植物, 广泛分布于我国华南地区。广西拥有我国最适宜木薯种植的气候资源和土地资源, 目前广西木薯种植面积约 600 万亩, 年产量约 700 万 t, 种植面积和产量均占全国的 70% 左右。在广西有大量的木薯被用来制作淀粉、酿造酒精, 产生的大量木薯渣除了少量用作饲料以外, 大部分都是作为废弃垃圾进行处理, 不仅造成大量的资源浪费, 而且对环境也产生了一定的危害^[7]。木薯渣的

主要成分是淀粉、纤维素和少量的蛋白质, 纤维较长, 灰分含量低, 是一种优质的植物纤维材料。利用木薯渣制备缓冲包装材料, 不仅对环境有益, 而且也可以增加农民收入, 有着广阔的发展前景。

1 实验

1.1 材料与设备

材料: 木薯渣来自广西某市木薯淀粉厂的生产废料, 经堆放除糖、粉碎过筛(60 目)后放置烘箱内(105 ℃)烘至恒重, 装袋密封后置于干燥器中备用; 聚乙烯醇为化学纯; 可溶性淀粉、甲醛、浓盐酸、碳酸氢钠试剂均为分析纯。

设备: 恒速搅拌器; 粉碎机; 电热鼓风干燥箱; 电子分析天平; WDZ-5KN 弯曲强度试验机。

收稿日期: 2012-06-08

作者简介: 刘杨(1979—), 女, 山东济南人, 广西大学讲师, 主要研究方向为纸质包装材料分析检测。

1.2 方法

1.2.1 发泡缓冲包装材料的制备

称取 2 g 处理后的木薯渣粉放于 150 mL 烧杯中,于 80 °C 下加热,并在搅拌的条件下加入适量的糊化淀粉和发泡剂(碳酸氢钠),使其均匀融入木薯渣中,然后加入一定量的甲醛,最后加入制备好的水基胶黏剂聚乙烯醇水溶液,充分搅拌均匀后,倒入自制的成型模具,压平,放入 65 °C 的电热恒温鼓风干燥箱中,经 15~18 h 加热发泡,取出后,自然风干 3~5 d,即得到发泡缓冲包装材料。

1.2.2 发泡缓冲包装材料性能测定

1) 密度。用定义法测量^[8]。

2) 力学性能。按照 GB 8168—87 中的 A 法进行静态压缩性能测试^[9]。试验为消除材料尺寸的影响,将其按式(1)和(2)换算成应力-应变曲线^[10]。

$$\sigma = P/A \quad (1)$$

式中: σ 为应力(N/cm²); P 为所加载荷(N); A 为试样面积(cm²)。

$$\epsilon = \frac{H_0 - H}{H} \times 100\% \quad (2)$$

式中: ϵ 为应变; H_0 为试样初始厚度(cm); H 为试样压缩过程中的厚度(cm)。

3) 尺寸稳定性。按照 GB/T 8811—1988 对试样进行测试。

2 结果与讨论

2.1 发泡温度和时间对材料缓冲性能的影响

实验选取发泡温度、时间为单因素,压缩应力为测定指标,确定各单因素的最佳工艺条件。发泡温度对材料缓冲性能的影响见图 1,温度对发泡性能的影响

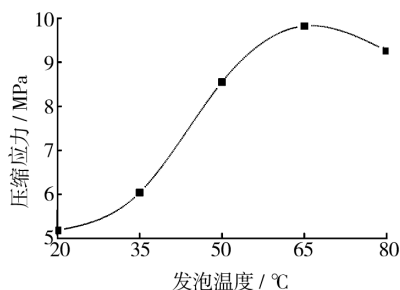


图 1 发泡温度对发泡材料静态压缩应力的影响

Fig. 1 Effect of reaction temperature on static compression stress of the foamed material

响较大。当温度较低时,由于远离发泡剂分解温度范围,产气量较少,致使材料发泡不良,缓冲性能不好;随着温度的升高,产气量逐渐增加,发泡温度达到 65 °C 时,气泡分布均匀,压缩应力值最大,缓冲性能良好;当温度过高时,材料流失过多水分,开始变硬、变脆,表面不平整,部分出现塌陷、开裂等现象,缓冲性能差。发泡时间对材料缓冲性能的影响见图 2,材料

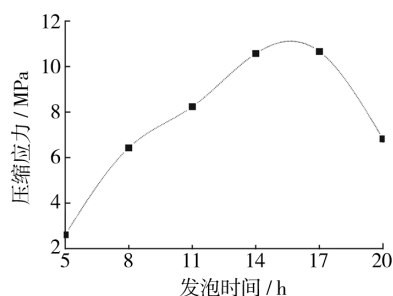


图 2 发泡时间对发泡材料静态压缩应力的影响

Fig. 2 Effect of reaction time on static compression stress of the foamed material

的压缩应力随发泡时间的延长呈先增大后减小的趋势。当发泡时间为 16 h 时,材料的压缩应力值最大。当发泡时间较短时,材料内部温度较低,发泡剂未能分解完全,产气量较少,水分较多,材料湿润,缓冲性能不好;当发泡时间较长时,长时间的加热致使材料变硬、变脆,甚至干燥开裂,缓冲性能不好。所以,最佳发泡温度、时间分别为 65 °C 左右、16 h 左右。

2.2 回归正交旋转组合设计

根据中心点设计原理,结合发泡温度、发泡时间等单因素实验的结果,选取木薯渣粒度、胶粘剂、发泡剂、催化剂添加量 4 个影响因素,以发泡材料的密度为考察指标,在单因素实验的基础上,采用 4 因素 3 水平的相应曲面分析方法,实验因素水平及编码设计见表 1。

表 1 实验因素水平及编码设计

Tab. 1 Factors, levels, and coding of the experiments

因素	水平		
	-1	0	1
X_1 , 木薯渣粒度/目	40	60	100
X_2 , 淀粉添加量/g	1.5	2	2.5
X_3 , 胶黏剂添加量/mL	4.0	6.0	8.0
X_4 , 发泡剂添加量/g	1.6	2.4	3.2

密度为评价指标(响应值),其预测模型由最小二

乘法拟合的二次多项方程预测:

$$E = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i + \sum_{i=1}^n a_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{i \leq j} \sum_j a_{ij} X_i X_j$$

式中: E 为响应值; a_0 为常数项; a_i 为线性系数; a_{ii} 为二次项系数; a_{ij} 为交互项系数; X_i, X_j 为独立变量。实验结果见表 2。

表 2 实验设计及其结果

Tab.2 Experimental design and results

编号	因素 X_1	因素 X_2	因素 X_3	因素 X_4	密度 /(g · cm ⁻³)
1	-1	-1	0	0	0.169
2	1	-1	0	0	0.347
3	-1	1	0	0	0.357
4	1	1	0	0	0.403
5	0	0	-1	-1	/
6	0	0	1	-1	0.328
7	0	0	-1	1	/
8	0	0	1	1	0.324
9	-1	0	0	-1	0.296
10	1	0	0	-1	0.465
11	-1	0	0	1	0.320
12	1	0	0	1	0.443
13	0	-1	-1	0	/
14	0	1	-1	0	/
15	0	-1	1	0	0.315
16	0	1	1	0	0.325
17	-1	0	-1	0	/
18	1	0	-1	0	/
19	-1	0	1	0	0.302
20	1	0	1	0	0.447
21	0	-1	0	-1	0.229
22	0	1	0	-1	0.328
23	0	-1	0	1	0.226
24	0	1	0	1	0.322
25	0	0	0	0	0.287
26	0	0	0	0	0.288
27	0	0	0	0	0.288
28	0	0	0	0	0.287
29	0	0	0	0	0.287

用 Statistics Analysis System 9.0 完成数据处理,得:

$$E = 0.2874 + 0.0645X_1 + 0.0549X_2 + 0.0338X_3 - 0.0009X_4 + 0.0632X_1^2 - 0.0330X_1X_2 + 0.0080X_1X_3 - 0.0115X_1X_4 - 0.0248X_2^2 - 0.0499X_2X_3 - 0.0008X_2X_4 - 0.0011X_3X_4 + 0.0186X_4^2 \quad (2)$$

对模型进行方差分析,结果见表 3。

表 3 方差分析

Tab.3 Analysis of variance

差异源	平方和	自由度	均方差	P	显著性
模型	0.1042	13	0.0080	<0.0001	* *
误差	0.0034	9	0.0004		
C 合计	0.1076	22			
$R^2 = 0.97$					

注: * * 差异极显著($P < 0.01$)

$P < 0.0001$,说明模型方程(2)差异极显著; $R^2 = 0.97$,说明模型拟合度好。根据模型方程(2)预测发泡密度为 0.288 g/cm^3 ,对此补做 5 组实验,实验结果分别为 $0.287, 0.288, 0.288, 0.287, 0.287 \text{ g/cm}^3$,与预测值 0.288 g/cm^3 吻合。

3 结论

通过研究发泡时间等因素对发泡缓冲材料的性能的影响,得到了最佳发泡条件为:木薯渣粒度 100 目,胶粘剂 2.0 g,发泡剂 6.0 g,催化剂添加量 2.4 g。单因素实验显示,最佳发泡温度为 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,发泡时间为 16 h 左右。

参考文献:

- [1] 郭震,黄俊彦.植物纤维类发泡材料的成型机理及生物发泡方法探讨[J].包装工程,2010,31(15):55-57.
GUO Zhen, HUANG Jun-yan. Discussion on the Forming Mechanism of Plant Fiber Foaming Material and Biological Foaming Method [J]. Packaging Engineering, 2010,31(15):55-57.
- [2] KAISANGSRI N, KERDCHOECHUEN O, LAOHAKUNJIT N. Biodegradable Foam Tray from Cassava Starch Blended with Natural Fiber and Chitosan[J]. Industrial Crops and Products, 2012,37:542-546.
- [3] VERCELHEZE A E S, FAKHOURI F M, DALL'ANTONIA L H, et al. Properties of Baked Foams Based on Cassava Starch, Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite [J]. Carbohydrate Polymers, 2012,87:1302-1310.
- [4] BENEZET Jean-Charles, ANDREA Stanojlovic-Davidovic, BERGERET Anne, et al. Mechanical and Physical Properties of Expanded Starch, Reinforced by Natural Fibers[J]. Industrial Crops and Products, 2012,37:435-440.

(下转第 47 页)

范围内,KGM 与 Gel 具有良好的相容性^[5]。

2.3 Gel 含量对共混膜吸水率的影响

Gel 含量对共混膜吸水率的影响见图 4,由图 4

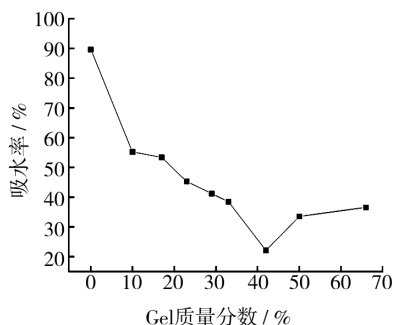


图 4 Gel-KGM 共混膜的吸水率

Fig. 4 The moisture sorption ratio of Gel-KGM composite films

可见,纯 KGM 薄膜的吸水率比 Gel-KGM 共混膜吸水率高,随着 Gel 含量的增加,共混膜的吸水率逐渐降低。可能是由于 KGM 分子中含有大量的亲水性的一OH,Gel 分子中的一OH,—NH₂ 和—C=O 能与 KGM 分子中的一OH 形成分子间的氢键,两组分极性基团之间充分地相互作用导致用于吸湿的亲水性基团数目减少,所以与纯的 KGM 薄膜相比,Gel-KGM 共混膜的吸水率降低;当 Gel 含量为 42%时吸水率达到最低,此后,随着当 Gel 含量的增加,共混膜的吸水率逐渐升高,但仍低于纯 KGM 薄膜的吸水性。原因可能是 Gel 含量为 42%时,KGM 与 Gel 的分子中用于形成氢键的亲水性基团比例最大,即此时共混组分中游离的亲水性基团数目最少,故吸水率达到最低,此后增加 Gel 含量,游离亲水基团数目逐渐增加,导致吸水率升高。吸水率测定结果显示,共混

膜的耐水性要好于纯 KGM 薄膜,表明在研究的 Gel 含量范围内,Gel 组分的加入有利于改善 KGM 薄膜的耐水性。

3 结论

采用溶液共混法,以甘油为增塑剂制备了一系列 Gel-KGM 共混膜,并对其力学性能(拉伸强度、断裂伸长率)、透光率、吸水率进行了测定。结果表明,共混膜的拉伸强度及断裂伸长率随 Gel 含量的增加而增大;共混膜的耐水性要好于纯 KGM 薄膜,Gel 组分的加入有利于改善 KGM 薄膜的耐水性;共混膜中 KGM 与 Gel 具有良好的相容性。

参考文献:

- [1] 刘佩瑛. 魔芋学[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
LIU Pei-ying. Konjac [M]. Beijing: China Agriculture Press,2004.
- [2] PULIERI E, CHIONO V, CIARDELLI G, et al. Chitosan/gelatin Blends for Biomedical Applications[J]. J Biomed Mater Res Part A,2008,86A(2):311—322.
- [3] 宋慧君,孟春丽. 明胶-壳聚糖复合膜的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程,2011,27(8):165—167.
- [4] WEAVER K D, STOFFER J O, DAY D E. Composites [J]. Polym Compos,1993,14:515—523.
- [5] 李思晴,刘华,周超. 聚乳酸与聚甲基丙烯酸甲酯相容性的研究[J]. 塑料工业,2011,39(4):65—69.
LI Si-qing, LIU Hua, ZHOU Chao. Study on compatibility of PLA and PMMA[J]. China Plastic Industry,2011,39(4):65—69.

(上接第 41 页)

- [5] LU Y, WENG L, CAO X. Morphological, Thermal and Mechanical Properties of Ramie Crystallites-reinforced Plasticized Starch Biocomposites[J]. Carbohydrate Polymers,2006,63:198—204.
- [6] AVEROUS L, BOQUILLON N. Biocomposites Based on Plasticized Starch: Thermal and Mechanical Behaviours [J]. Carbohydrate Polymers,56:111—122.
- [7] 蒲跃武,刘坚. 木薯渣厌氧发酵制取沼气的研究[J]. 安徽农业科学,2009,29(7):14308—14310.
- [8] 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.
- [9] 索晓红,李新平. 纤维素纤维发泡缓冲包装材料制备工艺初探[J]. 包装工程,2006,27(6):116—118.
SUO Xiao-hong, LI Xin-ping. Research on Preparation of Fiber for Foaming and Buffering Packaging Material[J]. Packaging Engineering,2006,27(6):116—118.
- [10] 江道海,黄祖强,胡华宇,等. 机械活化甘蔗渣制备缓冲包装材料的研究[J]. 包装工程,2011,32(3):1—4.