

柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料加工工艺优化

李婧^{1,2,3}, 赵东方^{1,2,3}, 魏丹^{1,2,3}, 张敏^{1,2,3}

(1. 西南大学, 重庆 400715; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室, 重庆 400715;
3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘要: **目的** 利用响应面分析法对柑橘皮渣/淀粉基材料加工工艺进行优化。 **方法** 在单因素实验基础上选取试验因素与水平, 设计响应面试验进行挤出工艺优化, 通过考察成形材料的膨胀率、表观性能和压缩强度, 筛选出具有较好发泡效果和一定压缩性能的材料成形工艺配方。 **结果** 甘油和水分含量对柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料的成形具有显著影响。柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料的最佳工艺优化参数为皮渣、甘油、水分质量分数分别为30%, 30%, 35%。在此参数条件下得到的材料其表观密度为0.942 g/cm³, 膨胀率为287.82%, 压缩强度为210.58 kPa。 **结论** 利用响应面法分析并优化柑橘皮渣/淀粉基材料加工工艺的方法可行, 获得的响应面模型可用于预测真实值。

关键词: 柑橘皮渣; 淀粉; 甘油; 水分; 响应面法

中图分类号: TB484.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)03-0036-06

Process Optimization for Composite Foam Material Based on Citrus Pericarp Residue and Starch

LI Jing^{1,2,3}, ZHAO Dong-fang^{1,2,3}, WEI Dan^{1,2,3}, ZHANG Min^{1,2,3}

(1. Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation, Ministry of Agriculture, Chongqing 400715, China; 3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: To optimize the process for the composite foam material based on citrus pericarp residue/starch. First of all, one-factor-at-a-time experiments were done to select the factors and levels for the test, then the response surface test was designed to optimize the extrusion parameters. The formulation of material molding with better foaming effect and certain compressing performance was screened out by examining the expansion radius, apparent density and compressive strength of the molding material. The results showed that glycerol and water contents had significant effects on the composite foam material. The optimal parameters of citrus peel/starch-based composite foam material were obtained: bran 30%, glycerol 30%, and water 35%. Under this condition, the apparent density of the material was 0.942 g/cm³, the expansion was 287.82%, and the compression strength was 210.58 kPa. The results indicated that using response surface method to analyze and optimize the processing parameters of the composite foam material based on citrus pericarp residue/starch was feasible, and the obtained response surface model could be used to predict true values.

KEY WORDS: citrus pericarp residue; starch; glycerol; water; response surface methodology

我国柑橘在世界市场上具有重要地位^[1], 然而大量柑橘皮渣废弃物带来了一系列的环境问题, 同时也限制了柑橘产业的发展^[2-3]。将柑橘皮渣作为原料制备天然可降解生物材料可以解决柑橘皮渣的废弃问

收稿日期: 2014-06-24

基金项目: 国家863计划项目(2011AA100805-2)

作者简介: 李婧(1990—), 女, 内蒙古人, 西南大学硕士生, 主攻食品包装材料及技术。

通讯作者: 张敏(1975—), 男, 湖南人, 硕士, 西南大学副教授, 主要研究方向为食品包装材料及技术。

题。泡沫制备材料质量轻盈,具有优良的发泡性能,在日常生活中扮演着重要角色。随着传统泡沫材料市场需求量的持续上升,其难降解性带来的环境问题日益凸显。近年来,使用淀粉基高分子材料作为商业发泡填充包装材料的企业日益增多^[4-6]。

研究表明^[7],将柑橘皮渣和淀粉混合可以实现柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料的成形。在混合体系中加入增塑剂甘油及发泡剂水分,通过挤出成形可以制备出具有较多泡孔的复合发泡材料。柑橘皮渣和淀粉作为主要的基底成分,甘油可以增加各相间分子的柔度,提高混合效果。水分作为体系中的主要发泡剂,在高温挤出过程中被迅速汽化,使复合材料发生膨胀,形成气孔。在复合发泡材料的成形过程中,底物、增塑剂和发泡剂对材料的成形和发泡性能具有重要影响^[8-9]。响应面可以有效地对复合材料制备工艺进行优化^[10-13]。为制备具有较好发泡效果的柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料,文中以柑橘皮渣、甘油和水分作为3个变量因素,设计响应曲面试验,研究柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料的最佳加工工艺。

1 实验

1.1 材料与设备

实验设备:双螺杆挤出膨化机,SX200075,济南赛百诺科技开发有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,DHG-9245A,上海齐欣科学仪器有限公司;物性仪,TA.XT2i,英国 stable micro system 公司。

实验材料:柑橘皮渣,重庆江津柑橘,国家柑橘工程技术研究中心提供;甘油、柠檬酸、碳酸氢铵均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂;玉米淀粉,食用级,产

于陕西西安。

1.2 方法

1.2.1 原材料预处理

将新鲜柑橘皮渣于60℃烘箱中干燥72h,用高速粉碎机将干燥的皮渣粉碎,时间为2min,而后将碎末过80目筛,得到的粉末密封保存备用。

1.2.2 试样的制备

将玉米淀粉以一定比例与干燥后的原材料混合,再加入适量水、柠檬酸、甘油和碳酸氢钠,以转速为20000r/min搅拌混合,时间为2~3min。将得到的混合物在塑料袋中封闭放置24h后进行挤出加工。双螺杆挤出膨化机参数设置:第1到第4区的温度分别为155,175,160,130℃,喂料速率为75r/min,螺杆转速为130r/min。

1.2.3 性能测定

测试样品为挤出样条上随机截取长度为1cm的小样条。将测试样品在相对湿度为(50±10)%,温度为(23±2)℃的环境中处理24h,在接近标准环境下测试材料各项性能。参考GB/T6343—2009测定试样的表观密度。参考GB/T8813—2008测定试样的压缩强度,测前、测中、测后的速度分别为3,1,3mm/s,试样压缩百分比为10%,厚度为10mm。参考Guan等^[14]方法测定试样的半径膨胀率。

1.2.4 试验设计

1.2.4.1 单因素试验

根据柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料的加工工艺,改变柑橘皮渣、甘油或水分的质量分数,加入辅助发泡剂碳酸氢钠及柠檬酸并固定比例,分别设计皮渣、甘油和水分等3组单因素试验。各单因素试验原料成分的具体配比见表1。

表1 单因素试验原料成分配比(质量分数)
Tab.1 Ratio of ingredients in single factor tests

单因素试验	甘油	柑橘皮渣	水分	碳酸氢钠	柠檬酸
甘油试验	20,25,30,35,40	30	20	0.5	0.5
皮渣试验	30	0,15,30,45,60	30	0.5	0.5
水分试验	35	30	15,20,25,30,35,40	0.5	0.5

1.2.4.2 响应面试验

由单因素试验可得出柑橘皮渣、甘油和水分的最佳添加比例,并进一步以皮渣、甘油和水分的质量分数为自变量,利用响应面法进行优化,分析3个成分之

间的交互作用对材料性能的影响。碳酸氢钠及柠檬酸的用量与单因素试验相同。响应面法选择二次正交旋转组合,采用Design-Expert7.1.6软件设计响应面试验方案。试验因素与水平见表2。

表2 响应面试验设计的因素及水平
Tab.2 Factors and levels in response surface experimental design

水平	柑橘皮渣 X_1	甘油 X_2	水分 X_3
-1	25	30	25
0	30	35	30
1	35	40	35

2 结果分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 皮渣单因素试验

由图 1a 可知,当柑橘皮渣的质量分数为 30%时,材料的膨胀率最大,同时材料的表观密度达到最小值。这是因为柑橘皮渣在材料的挤出成形过程中可以起到成核剂的作用^[15],而柑橘皮渣的质量分数为 30%可能最有利于泡孔的形成,故材料的膨胀率最大。

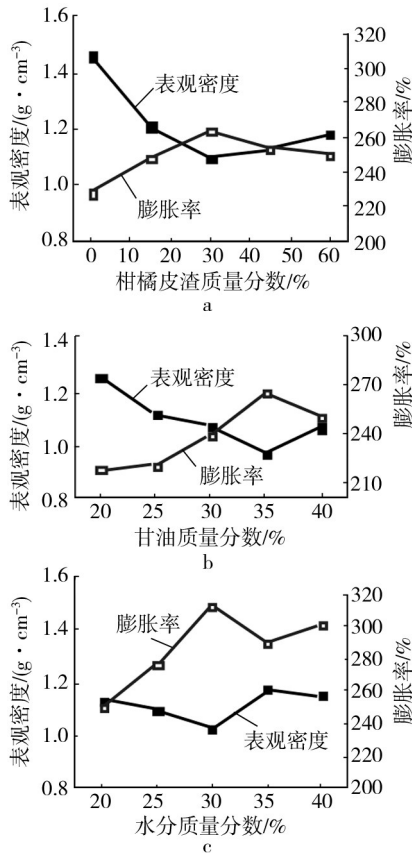


图1 柑橘皮渣、甘油和水分质量分数对复合发泡材料表观密度和膨胀率的影响
Fig.1 Influence of citrus pericarp residue, glycerol and water addition on the apparent density and expansion ratio of the composite foam material

2.1.2 甘油单因素试验

试验发现甘油含量对材料成形具有显著影响^[16]。

当甘油的质量分数为 20%时,挤出得到的材料表面较为粗糙,而增加甘油的添加比例可以使材料外观光滑。甘油对复合发泡材料膨胀率和表观密度的影响见图 1b。由图 1b 可知,随着甘油质量分数的增加,材料的膨胀率逐渐增加,在甘油的质量分数为 35%时达到最大值。

2.1.3 水分单因素试验

由图 1c 可知,当水分的质量分数为 15%时,材料成形效果差,表面粗糙。随着水分含量的增加,材料的流动性加强,发泡性能增加,膨胀率增大,在水分质量分数为 30%时,柑橘皮渣/淀粉基材料的膨胀率最大,表观密度最小。

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 回归模型的建立以及方差分析

将表 3 数据通过数学模型采用多元回归方法分别建立以表观密度(Y_1)、膨胀率(Y_2)、压缩强度(Y_3)为指标的回归方程,回归方程为:

$$Y_1=1.04-0.051X_1+0.099X_2-0.0067X_3+0.0021X_1X_2-0.013X_1X_3+0.0044X_2X_3-0.057X_1^2+0.0033X_2^2+0.0066X_3^2 \quad (1)$$
$$Y_2=319.31+4.45X_1+7.67X_2+18.27X_3+27.36X_1X_2+16.47X_1X_3+0.75X_2X_3-8.23X_1^2-14.39X_2^2-26.94X_3^2 \quad (2)$$

$$Y_3=144.85-34.13X_1+12.68X_2-71.31X_3-27.29X_1X_2+24.33X_1X_3-20.35X_2X_3-17.85X_1^2+48.83X_2^2+80.55X_3^2 \quad (3)$$

对上述模型进行方差分析,结果见表 4。回归分析表明,3 个模型的 F 值检验均达到显著水平($P<0.05$),表明模型的预测值与实际值相关度很高。从方差分析结果还可以看出方程的失拟项较小,表明该模型拟合度好、误差小,模型成立。3 个模型的调整确定系数 R_{adj}^2 分别为 0.9135、0.7019 和 0.9803,表明上述模型能够分别解释 91.35%的表观密度,70.19%的膨胀率及 98.03%的压缩强度。影响材料表观密度的因素主次顺序为 $X_2>X_1>X_3$,影响材料膨胀率的因素主次顺序为 $X_3>X_2>X_1$,影响材料压缩强度的因素主次顺序为 $X_3>X_1>X_2$ 。

2.2.2 响应面交互作用的分析

2.2.2.1 三因素对材料表观密度的影响

由图 2 可知,固定柑橘皮渣或水分的添加比例,材料的表观密度均随甘油比例的增加而增加,这可能是

表3 响应面分析试验设计及结果

Tab.3 Response surface experimental design and corresponding experimental results

试验号	因素			表观密度 $Y_1/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	膨胀率 $Y_2/\%$	压缩强度 Y_3/kPa
	X_1	X_2	X_3			
1	-1	-1	0	0.944	316.52	158.54
2	1	-1	0	0.842	284.52	149.90
3	-1	1	0	1.131	254.13	256.32
4	1	1	0	1.037	331.57	138.53
5	-1	0	-1	1.060	286.29	339.11
6	1	0	-1	0.979	248.43	217.16
7	-1	0	1	1.031	286.88	149.28
8	1	0	1	0.897	314.92	124.65
9	0	-1	-1	0.940	239.78	322.15
10	0	1	-1	1.136	276.62	370.36
11	0	-1	1	0.960	277.82	218.79
12	0	1	1	1.173	317.68	185.61
13	0	0	0	1.037	316.73	141.12
14	0	0	0	1.030	311.59	135.81
15	0	0	0	1.051	328.53	151.44
16	0	0	0	1.032	329.43	148.99
17	0	0	0	1.062	310.27	146.87

表4 复合材料表观密度、膨胀率和压缩强度的响应面回归模型方差分析

Tab.4 Analysis of variance (ANOVA) of the regression model for apparent density, expansion ratio and compressive strength of Citrus Pericarp Residue / Starch based material

变异来源	表观密度				膨胀率				压缩强度			
	平方和	均方	F 值	P 值	平方和	均方	F 值	P 值	平方和	均方	F 值	P 值
模型	0.114	1.3×10^{-2}	19.77	0.0004	11963.5	1329.27	5.19	0.0206	97 977.87	10 886.43	89.45	< 0.0001
X_1	2.1×10^{-2}	2.1×10^{-2}	32.81	0.0007	158.72	158.72	0.62	0.4571	9316.91	9316.91	76.56	< 0.0001
X_2	7.8×10^{-2}	7.8×10^{-2}	121.9	< 10^{-4}	470.62	470.62	1.84	0.2175	1286.31	1286.31	10.57	0.0140
X_3	3.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}	0.567	0.4761	2670.64	2670.64	10.42	0.0145	40 678.99	40 678.99	334.26	< 0.0001
X_1X_2	1.8×10^{-5}	1.8×10^{-5}	0.028	0.8720	2994.34	2994.34	11.68	0.0112	2977.93	2977.93	24.47	0.0017
X_1X_3	7.1×10^{-4}	7.1×10^{-4}	1.10	0.328	1085.69	1085.69	4.24	0.0786	2367.89	2367.89	19.46	0.0031
X_2X_3	7.9×10^{-5}	7.9×10^{-5}	0.123	0.736	2.28	2.28	0.009	0.9275	1655.74	1655.74	13.61	0.0078
X_1^2	1.4×10^{-2}	1.4×10^{-2}	21.27	0.0025	285.45	285.45	1.11	0.3264	1341.61	1341.61	11.02	0.0128
X_2^2	4.6×10^{-5}	4.6×10^{-5}	0.072	0.797	871.63	871.63	3.40	0.1077	10 038.24	10 038.24	82.48	< 0.0001
X_3^2	1.8×10^{-4}	1.8×10^{-4}	0.283	0.611	3056.71	3056.71	11.93	0.0106	27 322.45	27 322.45	224.51	< 0.0001
残差	4.5×10^{-3}	6.4×10^{-4}			1794.28	256.33			851.90	121.70		
失拟项	3.7×10^{-3}	1.2×10^{-3}	6.41	0.0523	1458.95	486.32	5.80	0.0613	691.65	230.55	5.75	0.0620
净误差	7.7×10^{-4}	1.9×10^{-4}			335.33	83.8319			160.25	40.06		
总和	0.119				13 757.7				98 829.76			
	$R^2=0.9621$		$R^2_{Adj}=0.9135$		$R^2=0.8696$		$R^2_{Adj}=0.7019$		$R^2=0.9914$		$R^2_{Adj}=0.9803$	

因为甘油力的塑化作用增加了材料的致密度。当固定甘油或水分含量时,皮渣含量的增加使材料的表观密度出现先升后降的趋势。由表4可知,柑橘皮渣、甘油和水分之间的交互作用对材料表观密度的影响不显著($P>0.05$)。

2.2.2.2 三因素对材料膨胀率的影响

由图3可知,当柑橘皮渣含量较低时,材料膨胀率随甘油的增加呈先升后降的趋势,当皮渣的质量分数

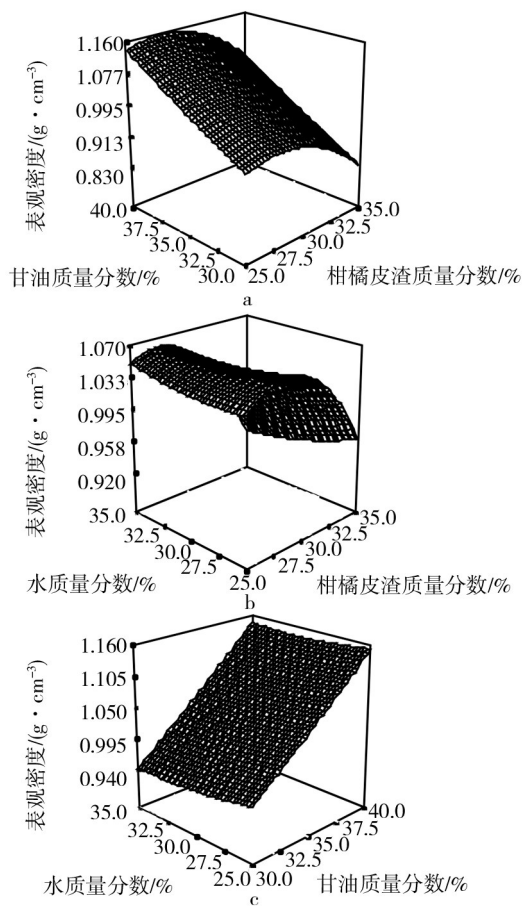


图2 柑橘皮渣、甘油和水分质量分数对复合材料表观密度影响的响应面

Fig.2 Response surface showing effects of citrus pericarp residue, glycerol and water addition on the apparent density of citrus pericarp residue / starch based material

增加到31.5%时,膨胀率随甘油的增加而增加;当甘油质量分数小于30.8%时,材料膨胀率随皮渣含量的增加而减小。随着甘油含量增加,材料膨胀率随皮渣的添加出现先升后降的趋势,当甘油含量继续增加到约36.3%时,膨胀率随皮渣的增加而增大。由表4可知,柑橘皮渣和甘油之间的交互作用达到显著水平($P<0.05$)。

2.2.2.3 三因素对材料压缩强度的影响

由图4和表4可知,柑橘皮渣、甘油和水分等3个成分之间对材料压缩强度存在极显著的交互作用($P<0.01$),材料压缩强度随水分含量或甘油含量的增加呈先降后升的趋势。

2.2.3 响应面工艺参数优化

为了增加材料的发泡率及发泡性能,应尽可能提高材料的膨胀率,并降低其表观密度,同时考虑到环保问题和材料的应用性,应尽可能提高材料中柑橘皮渣的含量及材料的压缩强度^[17-18]。综合筛选条件后,

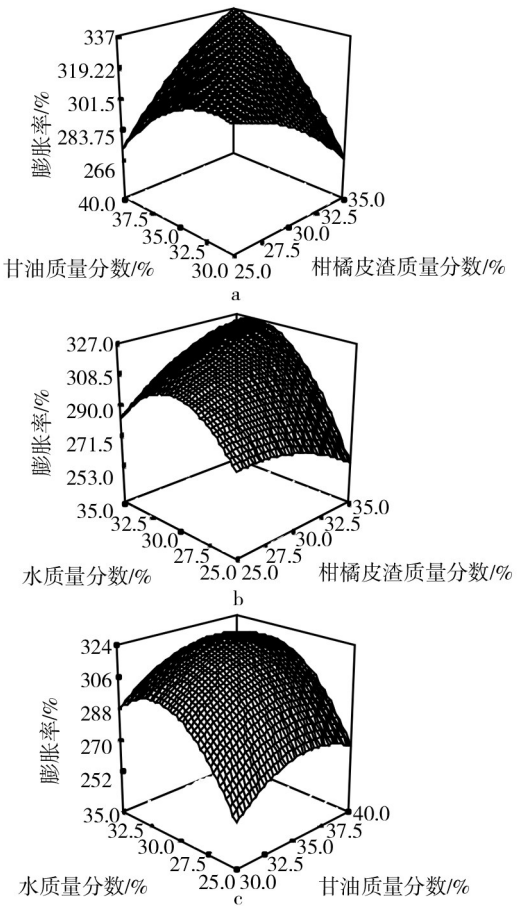


图3 柑橘皮渣、甘油和水分质量分数对复合材料膨胀率影响的响应面

Fig.3 Response surface showing effects of citrus pericarp residue, glycerol and water addition on the expansion ratio of citrus pericarp residue / starch based material

得出柑橘皮渣/淀粉基材料的最优配比:皮渣、甘油、水分质量分数分别为30%,30%,35%,在此条件下得出材料的表观密度为0.942 g/cm³,膨胀率为287.82%,压缩强度为210.58 kPa。以得出的最优配比的材料进行验证试验,测得材料的表观密度为0.935 g/cm³,膨胀率为287.12%,压缩强度为211.68 kPa,与理论值的相对误差分别为0.7%,0.2%,0.52%,说明软件得出的方程与实际拟合度较好,模型可靠。

3 结语

以材料的膨胀率和表观性能为指标,由柑橘皮渣、甘油、水分等3组单因素实验得出柑橘皮渣/淀粉基材料的最佳配比,并以此为零水平值,进行工艺优化。综合考虑材料的发泡性能和压缩强度,由软件得出柑橘皮渣/淀粉基材料的最佳优化参数为:皮渣、甘油、水分质量分数分别为30%,30%,35%。在此条件

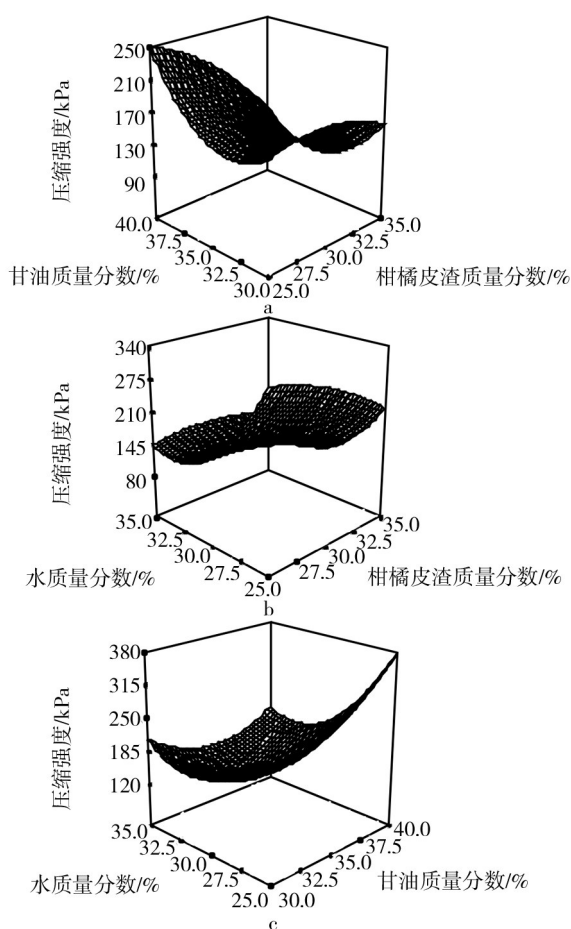


图4 柑橘皮渣、甘油和水分质量分数对复合材料压缩强度影响的响应面

Fig.4 Response surface showing effects of citrus pericarp residue, glycerol and water addition on the compressive strength of citrus pericarp residue / starch based material

下得到材料的表观密度为 0.942 g/cm^3 , 膨胀率为 287.82% , 压缩强度为 210.58 kPa 。

参考文献:

- [1] 黄寿恩,李忠海,何新益. 干燥方法对脱水柑橘皮品质特性的影响[J]. 中国食品学报,2011,11(3):118—122.
HUANG Shou-en, LI Zhong-hai, HE Xin-yi. Effects of Drying Methods on the Quality Perpoties of Dehydration Citrus Peels[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(3): 118—122.
- [2] 游敬刚,张其圣,余文华,等. 柑橘皮渣热风干燥特性及数学模型研究[J]. 食品与发酵科技,2010,46(2):51—55.
YOU Jing-gang, ZHANG Qi-sheng, YU Wen-hua, et al. Modeling and Drying Properties of Dehydration of Citrus Pulp During Hot-air Drying[J]. Food and Fermentation Technology, 2010, 46(2): 51—55.
- [3] MARIA M T, FRANCESCO L, GIUSEPPE M, et al. Citrus Waste Recovery: a New Environmentally Friendly Procedure

- to Obtain Animal Feed[J]. Bioresource Technology, 2004, 91(2):111—115.
- [4] 王高升,张吉宏,陈夫山. 植物型软质聚氨酯泡沫制备及缓冲性能研究[J]. 包装工程,2007,28(3):34—44.
WANG Gao-sheng, ZHANG Ji-hong, CHEN Fu-shan. Preparation of Flexible Polyurethane Foams from Plants[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 34—44.
- [5] 许文才,曹国荣,耿东伟. 环保型缓冲衬垫的研发及应用前景分析[J]. 包装工程,2006,27(8):10—14.
XU Wen-cai, CAO Guo-rong, GENG Dong-wei. Analysis on Development and Application Prospect of Environmental Friendly Buffering Cushions[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(8): 10—14.
- [6] 刘德桃,陈奇峰,李军,等. 植物纤维缓冲材料的研究进展[J]. 包装工程,2007,28(4):15—18.
LIU De-tao, CHEN Qi-feng, LI Jun, et al. Research Development of Plant Fiber-based Cushion Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(4): 15—18.
- [7] 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(11):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(11): 1—5.
- [8] WANG W, FLORES R A, HUANG C T. Physical Properties of Two Biological Cushioning Materials from Wheat and Corn Starches[J]. Cereal Chemistry, 1995, 72(1):38—41.
- [9] LIN Y, HUFF H E, PARSONS M H, et al. Mechanical Properties of Extruded High Amylose Starch for Loose-fill Packaging Material[J]. LWT—Food Science and Technology, 1995, 28(2):163—168.
- [10] PARRA D F, TADINI C C, PONCE P, et al. Mechanical Properties and Water Vapor Transmission in Some Blends of Cassava Starch Edible Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58(4):475—481.
- [11] 熊威,甘忠,许旭东. 基于响应曲面的时效成形材料参数修正[J]. 航空制造技术,2011(19):80—83.
XIONG Wei, GAN Zhong, XU Xu-dong. Material Parameter Modification for Age Forming Simulation Based on Response Surface Model[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(19): 80—83.
- [12] 曾春霞,杨文斌,徐建锋. 响应面法优化制备竹粉-LDPE复合材料[J]. 西南林业大学学报,2012(5):86—91.
ZENG Chun-xia, YANG Wen-bin, XU Jian-feng. Optimization Preparation on Bamboo Powder Filled LDPE Composite

(下转第53页)

- Polymer Emulsifier and Its Application in Waterborne Varnish[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):65—68.
- [2] OVERBEEK A, BUCKMANN F, MARTIN E, et al. New Generation Decorative Paint Technology[J]. Progress in Organic Coatings, 2003, 48(2):125—139.
- [3] 罗弘, 卫志贵. 丙烯酸系乳液共聚物玻璃化转变温度的研究[J]. 精细化工, 1997, 14(5):42—45.
- LUO Hong, WEI Zhi-gui. Study on T_g of Acrylic Emulsion Copolymer[J]. Fine Chemicals, 1997, 14(5):42—45.
- [4] MOAYED S H, FATEMI S, POURMAHDIAN S. Synthesis of a Latex with Bimodal Particle Size Distribution for Coating Applications Using Acrylic Monomers[J]. Progress in Organic Coatings, 2007, 60(4):312—319.
- [5] HANSEN N M, JANKOVA K, HVILSTED S. Fluoropolymer Materials and Architectures Prepared by Controlled Radical Polymerizations[J]. European Polymer Journal, 2007, 43(2):255—293.
- [6] 辛秀兰, 朱贤玲, 杨华, 等. 高粘度高光泽苯丙乳液制备研究[J]. 包装工程, 2008, 29(1):24—26.
- XIN Xiu-lan, ZHU Xian-ling, YANG Hua, et al. Preparation of High Viscosity and High Gloss Styrene-acrylic Ester Emulsion[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1):24—26.
- [7] FOX T. Influence of Different and Copolymer Composition on the Glass Temperature of a Polymer System[J]. Bull Am Phys Soc, 1956, 1(2):123.
- [8] GUO J S, ANDERHOFF J W. Microemulsion Polymerization of Styrene[J]. Poly Sci Polym Chem Ed, 1989, 27(2):691—710.
- [9] 金振华. 环保型水性上光油的研制与应用[J]. 包装工程, 2003, 24(1):16—17.
- JIN Zhen-hua. Study and Application of Keep Condition Watermanship Glaze Oil[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(1):16—17.
- [10] 李红强, 宫瑾, 王雷, 等. 印刷纸张用苯丙水性上光油的研制[J]. 包装工程, 2004, 25(1):59—61.
- LI Hong-qiang, GONG Jin, WANG Lei, et al. Preparation of Water-borne Lustering Oil on Printing Papers[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(1):59—61.
- [11] 高运福, 辛秀兰, 肖阳. 环保型水性上光油的研制及研究进展[J]. 包装工程, 2005, 26(5):109—114.
- GAO Yun-fu, XIN Xiu-lan, XIAO Yang. Study and Development of Environmental Protective Water Based Glaze Oil[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5):109—114.
- [12] 齐晓堃. 印刷材料及适性实验指导书[M]. 北京:印刷工业出版社, 2009.
- QI Xiao-kun. Experimental Instructions of Printing Materials and Printability[M]. Beijing:Printing Industry Press, 2009.
- [13] 赵景菊, 曲丽雯, 张晓东. 环保型上光油的制备及性能研究[J]. 青岛大学学报:工程技术版, 2009, 24(2):85—89.
- ZHAO Jing-ju, QU Li-wen, ZHANG Xiao-dong. The Preparation and Performance Testing of an Environmental Varnish[J]. Journal of Qingdao University: E&T, 2009, 24(2):85—89.
- [14] ISO 11357—2:1999(E), 塑料—差示扫描量热法(DSC)第2部分:测定玻璃化转变温度[S].
- ISO 11357—2:1999(E), Plastic—Differential Scanning Calorimetry (DSC)—Part 2:Determination of Glass Transition Temperature[S].
- [15] 刘杰凤, 黄敏, 金烈. 水性印刷纸张上光油用乳液的合成及性能[J]. 涂料工业, 2007, 36(6):56—58.
- LIU Jie-feng, HUANG Min, JIN Lie. Synthesis and Properties of Clear Finish for Printing Papers[J]. Paint& Coatings Industry, 2007, 36(6):56—58.

(上接第41页)

- Systems by Response Surface Method[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012(5):86—91.
- [13] 张一鸣, 袁媛, 郭明辉. 响应面法优化亚麻纤维/聚乳酸复合材料的制造工艺[J]. 东北林业大学学报, 2012(8):86—89.
- ZHANG Yi-ming, YUAN Yuan, GUO Ming-hui. Manufacturing Process of Flax Fibers/Poly(lactic Acid) Composites Based on Response Surface Methodology[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012(8):86—89.
- [14] GUAN J, HANNA M A. Functional Properties of Extruded Foam Composites of Starch Acetate and Corn Cob Fiber[J]. Industrial Crops and Products, 2004, 19(3):255—269.
- [15] 付庆伟. 淀粉生物降解泡沫材料的制备及性能研究[D]. 天津:天津大学, 2007.
- FU Qing-wei. Preparation and Study on the Performances of Starch-based Biodegradable Foams[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [16] 武娟娟, 康勇刚. 淀粉-纤维复合发泡缓冲材料的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(3):39—42.
- WU Juan-juan, KANG Yong-gang. Development of Starch-fiber Composite Foaming Cushion Material[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3):39—42.
- [17] XU Y, HANNA M A. Preparation and Properties of Biodegradable Foams from Starch Acetate and Poly (Tetramethylene Adipate-co-terephthalate)[J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 59(4):521—529.
- [18] FRDRIC C, ERIC P, PATRICE D, et al. Starch-based Nano-biocomposites: Plasticizer Impact on the Montmorillonite Exfoliation Process[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(4):941—947.