

玉米秸秆纤维缓冲包装材料制备条件优化

朱琳, 刘壮, 安丽娟, 常江, 林晶, 王君, 孙智慧

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要: 针对制备玉米秸秆缓冲包装材料的 11 个工艺参数, 以材料的强度为响应目标, 采用 Plackett-Burman (PB) 与 Central Composite Design (CCD) 相结合的方法进行筛选优化。PB 实验设计与分析表明: 纤维粒度、纤维目数与胶粘剂含量为制备工艺的 3 个关键因素。经过 CCD 设计及响应面法优化分析得到的制备玉米秸秆纤维缓冲包装材料的最优条件为: 纤维粒度 224.62 目, 纤维体积分数 22.78%, 胶粘剂质量分数 35%, 材料强度可达 1.758 MPa。

关键词: 玉米秸秆纤维; Plackett-Burman 设计; 中心复合设计 (CCD); 缓冲; 优化

中图分类号: TB484.6; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)07-0005-04

Preparation Condition Optimization of Corn Stalk Fiber Cushioning Material

ZHU Lin, LIU Zhuang, AN Li-juan, CHANG Jiang, LIN Jing, WANG Jun, SUN Zhi-hui

(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Plackett-Burman (PB) design and central composite design (CCD) were combined to optimize 11 technological parameters for preparation of corn stalk fiber cushioning materials. PB design and analysis showed that the three key factors, fiber granularity, fiber content and adhesive content are significant for preparation of corn stalk fiber cushioning material. CCD design and response surface analysis showed that the optimal preparation conditions is fiber granularity 224.62, fiber volume fraction 22.78% and adhesive mass fraction 35%; the strength of the prepared material is 1.758 MPa.

Key words: corn stalk fibers; Plackett-Burman; central composite design; cushioning; optimization

目前, 家用电器、精密仪器、电子元器件等缓冲包装仍然使用 EPS 等高分子化学合成物, 其废弃物尚不能完全回收或自然降解, 严重污染了人类赖以生存的自然环境, 包装业迫切需求一种既能与传统高分子缓冲包装有相同性能又环境友好的新型包装缓冲材料^[1]。高德^[2-4]、刘壮^[5-7]、王勇^[8]、常江^[9]等以玉米秸秆为主要材料, 开发了复合缓冲包装材料, 并研究了材料的性能。但部分实验采用传统的单因素实验方法, 而未考虑制备材料的各工艺条件的交互作用。笔者在已有工作基础上, 对玉米秸秆纤维缓冲包装材料制备工艺进行优化, 即采用 Plackett-Burman (PB) 设计方法考察 11 个制备参数, 通过统计学筛选得出关键因素, 并进一步利用响应面优化 (RSM) 中的 (CCD) 方法进行实验, 分析关键因素, 通过实验数据

拟合得到响应面模型, 最终得到最优制备条件, 以高效制备缓冲材料。

1 实验

1.1 材料及方法

本部分参见文献^[5]。

1.2 方案设计

以缓冲材料强度作为响应目标, 首先采用 PB 法对 11 个制备参数进行筛选, 挑选出其中对材料强度性能影响较大的工艺条件, 之后再利用中心复合设计 (CCD) 方法进行实验, 并对上述筛选出的关键参数进行分析以确定最优实验条件, 最后按最优工艺条件实际制备玉米秸秆缓冲材料, 并测试其强度以验证优化

收稿日期: 2011-02-10

基金项目: 黑龙江省教育厅项目 (11531075)

作者简介: 朱琳 (1978—), 女, 吉林人, 博士生, 哈尔滨商业大学讲师, 主要研究方向为包装印刷材料与技术。

精度。

采用 $N = 12$ Plackett-Burman 实验设计对影响缓冲材料性能的 11 个因素即:纤维粒度、胶粘剂质量分数、浸泡时间、氢氧化钠溶液浓度、打浆时间、纤维(占预发泡体的)体积分数、预发泡温度、熟化温度、熟化时间、马来酸溶液质量分数、成形温度进行研究。

表 1 Plackett-Burman 设计因素水平

Tab. 1 Levels of different factors with Plackett-Burman design

因素	纤维粒度	纤维体积	浸泡时间	氢氧化钠溶液	打浆时间	胶粘剂质量	预发泡	熟化温度	熟化时间	马来酸溶液	成形温度
	/目	分数/%	/h	质量分数/%	/h	分数/%	温度/℃	/℃	/h	质量分数%	/℃
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
L	80	20	1	5	6	10	90	15	8	2	100
H	200	80	4	15	24	35	120	30	48	8	150

经 PB 法筛选出关键制备条件基础上,采用响应面法中的中心复合设计(CCD)方法,对已经筛选出的关键工艺参数(本实验筛选出关键参数为:纤维粒度、纤维体积分数、胶粘剂质量分数)进行实验设计,见表 2。

表 2 中心组合设计的各因素水平

Tab. 2 The level of each factors with central composite design

水平	纤维粒度	纤维体积分数	胶粘剂质量分数
	/目	/%	/%
-2	20	10	5
-1	80	20	10
0	140	50	22.5
1	200	80	35
2	260	90	50

根据 CCD 原理,对筛选出的每个关键工艺条件设置 5 个水平,并采用二阶模型对以上 3 个工艺条件对函数强度的响应行为进行分析表征。

2 结果及讨论

2.1 PB 实验设计结果分析

每个制备工艺条件分别确定了高低 2 个水平,

表 4 制备工艺参数分析结果

Tab. 4 The result of preparation parameter analysis

因素	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
重要性	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N
影响权重	0.38	-0.15	0.088	0.057	-0.062	0.15	-0.023	0.051	0.005 2	0.058	0.049
平方和	0.43	0.07	0.023	0.009 7	0.012	0.07	0.001 5	0.007 9	0.000 08	0.010	0.007 2
Contribution	67.27	10.85	3.58	1.50	1.80	10.85	0.24	1.23	0.012	1.55	1.11

对上述的 11 个制备工艺条件进行编码,见表 1,并针对每个制备条件输入 High 和 Low 2 个水平,根据 PB 法原理进行 12 次编码实验,用以确定每个制备条件的权重,即各个制备条件对本玉米秸秆材纤维缓冲材料料强度的影响因子。

根据设计方案共进行了 12 次实验以确定每个因素的影响权重,实验结果见表 3。同时对实验结果进行统

表 3 Plackett-Burman 实验设计结果

Tab. 3 Results of Plackett-Burman experiment design

实验号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	强度 /MPa
1	H	H	L	H	H	H	L	L	L	H	L	1.478
2	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	H	1.097
3	H	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	1.752
4	L	H	L	H	H	L	H	H	H	L	L	0.921
5	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	L	1.338
6	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	1.344
7	H	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	1.499
8	H	H	L	L	L	H	L	H	H	L	H	1.531
9	H	H	H	L	L	L	H	L	H	H	L	1.401
10	L	H	H	H	L	L	L	H	L	H	H	1.195
11	H	L	H	H	H	L	L	L	H	L	H	1.562
12	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	1.045

计学分析,见表 4。

以工艺条件 A 纤维粒度为例:其影响权重为 0.38,权重值为正,表明玉米秸秆纤维粒度与缓冲材料强度正相关,即随着秸秆纤维粒度的增加,缓冲材料的强度呈增加趋势,为增加材料的强度,可以在后续工艺条件优化试验或实际制备材料中提高玉米秸秆纤维的粒度;工艺条件 A 的平方和百分比值为 67.27%,明显高出其他因素的平方和值,因此显著性分析结果为 Significant。另外,表 4 表明因素 A,B,F 为主要影响因子,其影响值分别为 67.27%,10.85%和 10.85%,而其他 8 个因素影响值较低。上述 PB 影响因素筛选后,获得了影响材料强度的 3 个主要因素,并可以得到线性回归方程:强度 = 1.35 + 0.19A - 0.076B + 0.076F。根据系数的正负可知,制备工艺条件 A,F 对缓冲材料的强度影响为正效应,而制备工艺条件 B 的影响为负效应。

对回归模型进行方差分析,结果见表 5,其方差

表 5 回归模型方程的方差分析

Tab.5 Variance analyses of regression model equation

F 值	Prob(P) >F	复相关系数 R ²	平方和	均方	校正决定系数 Adj R ²	精密度	变化系数 (C. V.)
21.52	0.000 3	0.889 8	0.57	0.19	0.848 4	12.6	7.0

分析模型的 Prob(P)>F 值为 0.000 3,可知本 PB 法计算的回归方程极为显著,表明模型在研究的总体回归数值范围线性很好;而复相关系数 R²=0.889 8,越接近 1 说明相关性越好,可见本模型线性相关性较好;模型的校正系数 Adj R²= 0.848 4,说明在所进行实验中 84.84% 的数据可用本模型来表征;变化系数(C. V.)值为 7%,表明本 PB 实验可信度与精度很高;根据 PB 结果提示,精密度大于 4.0 视为合理,本实验为 12.6,可见本模型筛选的关键工艺条件精密度高。

2.2 CCD 实验设计结果分析

根据 PB 实验结果得出 3 个重要影响因素,利用 CCD 法进行优化制备工艺,结果见表 6。

表 6 中心组合设计方差分析

Tab.6 Variance analysis of CCD design

F 值	Prob(P) >F	复相关系数 R ²	平方和	均方	Adj R ²	精密度	失拟性
21.52	0.000 1	0.983 8	0.57	0.19	0.969 3	30.936	1.71

利用响应面分析,对筛选出的关键工艺参数进行实验,并对实验结果进行拟和及二次模型方差分析,结果见表 6。结果表明,本模型的多元相关系数为 R²=0.9838,说明模型与实际实验数据结果情况有良好的一致性;Prob(P) >F 值<0.05,说明本二次模型高度显著,对玉米秸秆缓冲材料的强度值的预测精度很高。模型失拟性不显著,且 Pred R² 与 Adj R² 相符合,都说明了本模型的精确性。

为获得三因素的交互影响,根据多元回归方程式计算获得的响应曲面图及其等高线见图 1—3,可分

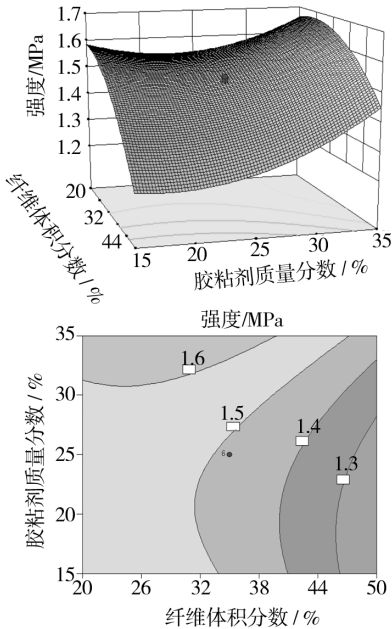


图 1 纤维含量和胶粘剂质量分数交互影响的三维曲面和等高线
Fig. 1 Three-dimensional surface and contour graphics of fiber and adhesive content mutual influence on the strength

别对任意两制备工艺参数的交互影响进行分析与评价。根据三维曲面效应及等高线的形状可知,对强度影响而言 AB 交互作用相对显著。

上述设计可以得到 23 组(未列出)优化条件,确定最优制备工艺为:纤维粒度为 224.62,纤维体积分数为 22.78%,胶粘剂质量分数为 35%,材料强度可达 1.758 MPa。

2.3 实验验证

按照上述条件制备玉米秸秆纤维缓冲材料,实际测得强度为 1.702 MPa。

但实际制备缓冲材料时,考虑材料的环境友好性,一般在强度满足要求的情况下,使用尽量少的胶粘剂,因此在胶粘剂质量分数为 15%的条件下,控制

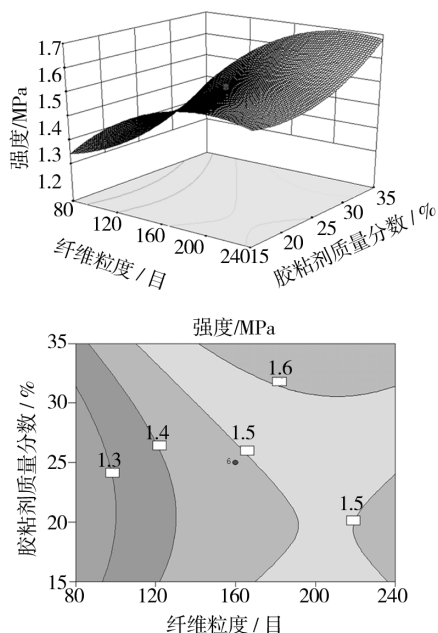


图2 纤维粒度和胶粘剂质量分数交互影响的三维曲面和等高线

Fig. 2 Three-dimensional surface and contour graphics of fiber granularity and adhesive content mutual influence on the strength

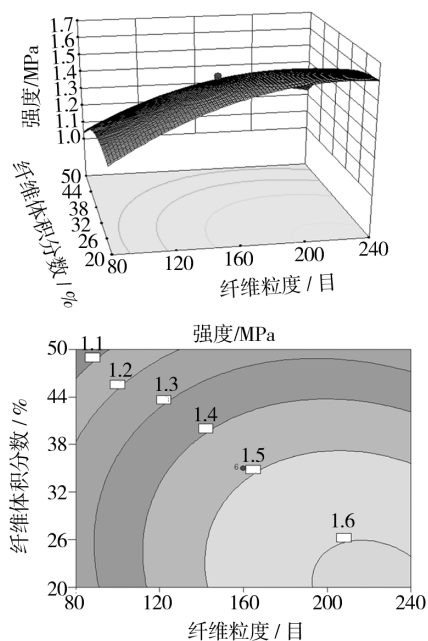


图3 纤维粒度和纤维体积分数交互影响的三维曲面和等高线

Fig. 3 Three-dimensional surface and contour graphics of fiber granularity and content mutual influence on the strength

纤维粒度为 217.44, 纤维体积分数为 20%, 可使强度最大达到 1.646 MPa。

3 结论

利用 PB 与响应面分析相结合法, 对玉米秸秆纤维缓冲材料的制备工艺条件进行优化, 结果表明: PB 设计方法可成功地从影响材料强度的制备工艺条件中精确地筛选出关键的显著的因子; 利用 CCD 设计及响应面分析, 可对 PB 法筛选出的关键材料制备工艺条件进行合理的优化, 按照最佳工艺条件制备的材料强度可达 1.702 MPa, 接近理论预测值 1.758 MPa, 预测精度达 96.15%。

参考文献:

- [1] 高德. 植物秸秆绿色包装材料的研究现状与发展前景[J]. 包装工程, 2008, 29(12): 30-34.
- [2] 高德. 植物秸秆包装容器压缩性能分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 201-204.
- [3] 高德, 常江. 玉米秸秆缓冲包装材料的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(1): 27-29.
- [4] 高德, 刘壮, 孙智慧. 秸秆纤维 EPS 缓冲包装材料性能的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 201-204.
- [5] 刘壮. 植物纤维发泡聚苯乙烯缓冲包装材料及其性能的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2006.
- [6] 刘壮, 高德. 基于有限元玉米秸秆纤维缓冲包装材料性能分析[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 46-48.
- [7] 刘壮, 王勇, 孙智慧, 等. 玉米秸秆纤维复合缓冲包装材料的研究[J]. 哈尔滨商业大学学报, 2006, 22(4): 90-94.
- [8] 王勇. 新型缓冲包装材料及其缓冲性能的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2005.
- [9] 常江. 玉米秸秆包装材料缓冲性能的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2007.