

植物纤维餐具干法热压成型工艺响应面法优化*

刘天舒 李树君 景全荣

(中国农业机械化科学研究院,北京 100083)

【摘要】 以植物纤维为原料干法热压成型制备餐具过程中,上模温度、加压压力和加压时间与产品外观品质直接相关。在已开发的原料配方和干法热压成型机的基础上,利用响应面分析法,研究了上模温度、加压压力和加压时间对植物纤维餐具干法热压成型产品外观品质影响的规律,确定压制成型工艺的最优条件为:上模温度 181℃、加压压力 18 MPa、加压时间 9 s。

关键词: 植物纤维餐具 干法热压成型 外观品质 响应面法

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)09-0116-04

Optimization of Plant Fiber Tableware Dry-hot Molding Process Using Response Surface Methodology

Liu Tianshu Li Shujun Jing Quanrong

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The plant fiber tableware dry-hot forming process was optimized by response surface methodology. Three independent variables, such as molding pressure, molding temperature and molding time have significant effects on the appearance quality of tableware. A three-factor quadratic regression rotation combination design was employed to study the response, and the interaction of the factors on the appearance quality was also investigated. By analyzing the response surface, a polynomial regression equation was obtained and the optimal conditions of dry-hot forming process were gained, they are: molding temperature of 181℃, molding pressure of 18 MPa, and pressure duration time of 9 s.

Key words Plant fiber tableware, Dry-hot forming, Appearance, Response surface methodology

引言

一次性餐具的出现满足了人们餐饮卫生及生活节奏快的要求,但却造成了严重的环境污染^[1]。随着快餐业迅猛发展,快餐盒的原料消耗以及后期的降解处理备受人们关注。为寻求无污染、可降解的绿色包装及餐饮具原材料,世界各国学者进行了研究^[2]。在一次性餐具方面,已经开发出可降解塑料餐具、纸质餐具、植物纤维餐具及可食性餐具等^[3]。利用玉米秸秆、稻壳、木屑等植物纤维为主要原料,

添加防水剂、补强剂等辅料,采用干法热压成型工艺,能一次成型出一次性餐具,原料丰富、成本低廉、环境友好,具有很好的发展前景^[4]。热压成型一次性餐具具有其他类型产品无可比拟的优势,是塑料餐具的理想替代产品^[5]。

本文在前期研究的基础上,利用自制干法热压成型机进行秸秆纤维餐具的试验,研究各因素对产品外观品质影响的规律,并利用响应面法对关键工艺参数进行优化。为与工艺相配套的设备开发提供理论指导和数据支撑。

1 试验

1.1 试验材料与设备

试验材料:选用水稻秸秆为原料,将其用组合式高速粉碎机粉碎,粒度在40~60目之间,含水率控制在10%左右,按配方工艺添加定量的添加剂,并通过医用搅拌机采用三维无死角的方式对物料进行充分混合搅拌。

试验设备:KCJ-160型干法热压成型机,由中国农业机械化科学研究院研制开发^[6]。

1.2 试验方法

植物纤维餐具的热压成型过程中,上模温度、加压压力、加压时间与成型后产品品质直接相关^[7-9]。本文以外观品质为评价指标,借助SAS 6.0软件,利用中心组合设计方法对这3个重要工艺参数进行优化。秸秆纤维餐具热压成型工艺流程见文献^[6]。

1.2.1 外观品质评价方法

作为一种新型餐饮具产品,消费者能否接受,首先看其外观品质的优劣。因此,通过外观指标评定产品品质优劣直观、实用。本文根据日用消费品品质评价的惯例,结合植物纤维餐具的特点,制定评价标准,并采用10分制和加权法对植物纤维餐具压制成型的外观品质进行评价。将外观色泽、完整程度、是否有裂纹、起皮及起泡程度、粘模程度及变形程度等指标用打分形式表示,由得分高低进行综合评定,具体方法如表1所示。

表1 植物纤维餐具外观品质评价权值
Tab.1 Weighted value on appearance quality of plant fiber tableware

指标	状态	分值
色泽	色泽均匀,有光泽	2.0
	色泽较差,有不均匀点	1.0
	色泽差,无光泽	0.5
完整程度	成型完整,无缺损	2.0
	成型较完整,有少量缺损	1.0
	成型不完整,有明显缺损	0.5
裂纹程度	无裂纹,表面光滑	1.5
	局部有少量裂纹	1.0
	有明显大面积裂纹	0.5
起皮、起泡程度	无起皮、起泡,表面光滑	1.5
	局部有起皮、起泡现象	1.0
	有明显起皮、起泡,表面不光滑	0.5
粘模程度	无粘模,表面平滑	1.5
	局部有粘模,表面较平滑	1.0
	粘模严重,表面不光滑	0.5
变形程度	无变形,韧性好	1.5
	有少量变形,韧性较好	1.0
	有明显变形,韧性差	0.5
合计		10.0

1.2.2 试验设计

影响植物纤维餐具压制成型产品品质的主要因素有材料的种类、材料含水率、材料粒度、热压压力、热压温度以及加压时间等^[6]。其中材料的种类、粒度和含水率等因素通过影响热压过程中的物料流动性及颗粒间粘结方式,而影响植物纤维餐具压制成型产品品质。本文将以产品外观品质为评价指标,对植物纤维餐具干法热压成型工艺进行优化,重点考察上模温度、加压压力和加压时间3个关键因素对产品外观品质的影响。

选定上模温度 x_1 (150~200℃)、加压压力 x_2 (15~20 MPa)和加压时间 x_3 (5~12 s)进行正交旋转组合设计。为了统一处理方便,将所有回归问题中的自变量进行编码变换,从而解决量纲不同给设计与分析带来的影响^[10]。各因素水平编码见表2。

表2 因素水平编码表

Tab.2 Independent variables and levels

水平	上模温度 $x_1/^\circ\text{C}$	加压压力 x_2/MPa	加压时间 x_3/s
上星号臂(1.682)	200	20	12
上水平(1)	190	19	10.5
零水平(0)	175	17.5	8.5
下水平(-1)	160	16	6.5
下星号臂(-1.682)	150	15	5
Δ_i	15	1.5	2

2 结果与分析

2.1 二次回归正交旋转组合模型分析

中心组合设计预测模型的方差分析结果和 t 检验分析表明, X_3 ($\alpha = 0.5818 > 0.0001$)对外观品质得分 Y 的影响不显著; X_1 和 X_2 ($\alpha < 0.0001$)对 Y 的影响显著。预测模型的 F 分布随机变量大于 $F(5, 13)$ 的概率为 $\alpha > 0.005$,失拟不显著。

对回归系数的显著性进行检验表明,对响应值 Y 而言, X_1 、 X_2 的一次效应、二次效应和 X_3 的二次效应对 Y 影响显著;而 X_3 的一次效应以及 X_1 、 X_2 和 X_3 的一次效应的两两交互作用对 Y 影响不显著。

2.2 外观品质影响条件拟合模型

根据试验结果,借助SAS软件进行分析模拟,求得 Y 与试验因素之间在编码范围内回归方程的预测模型为

$$Y = 9.248 + 1.443X_1 + 1.034X_2 - 1.134X_1^2 - 1.081X_2^2 - 0.992X_3^2$$

2.3 响应面分析

2.3.1 上模温度和加压压力对产品外观品质影响

从图1中可以看出, X_1 和 X_2 二次效应对 Y 的影

响显著。由等高线可看出, X_1 编码值的理想取值范围在 $-0.08 \sim 1.4$ 之间, 对应实际值范围为 $173.8 \sim 196^\circ\text{C}$; X_2 编码值的理想取值范围在 $-0.2 \sim 1.24$ 之间, 对应实际值的取值范围为 $17.2 \sim 19.36 \text{ MPa}$, 在该范围内 Y 的得分达到 9.3 。在一定温度范围内 Y 随 X_1 的升高呈上升趋势, 当 X_1 实际值为 184°C 时, Y 得分最高, 当 X_1 超过 184°C 时, Y 随着 X_1 的升高呈下降趋势。同样 X_1 在一定压力范围内, 对 Y 的影响呈现相似的变化规律, 即 X_2 实际值是 18.04 MPa 时, Y 最好, 当低于这个压力时呈现上升趋势, 高于这个压力时呈现下降趋势。

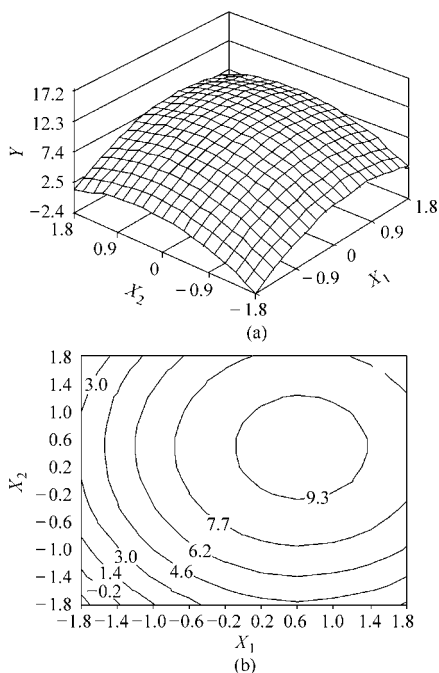


图 1 上模温度和加压压力对外观品质的影响
Fig. 1 Effect on appearance quality caused by the upper model temperature and pressure
(a) 响应面 (b) 等高线

2.3.2 上模温度和加压时间对产品外观品质影响

从图 2 中可以看出, X_1 和 X_3 对 Y 的影响比较显著。从等高线可以看出 X_1 编码值的理想取值范围为 $0 \sim 1.24$, 对应实际值的取值范围为 $175 \sim 193.6^\circ\text{C}$, X_3 编码值的理想取值范围为 $-0.68 \sim 0.68$, 对应实际值的取值范围为 $7.14 \sim 9.86 \text{ s}$, 在该范围内 Y 的得分达到 9.2 。在一定温度范围内 Y 随 X_1 的升高呈上升趋势, 当 X_1 的实际值是 185.1°C 时, Y 最高。当 X_1 超过 185.1°C 时, Y 随 X_1 的升高呈下降趋势。同样, 在一定时间范围内, Y 呈现相似的变化规律, 即 X_3 实际值是 8.62 s 时, Y 最好, 当低于这个时间时呈现上升趋势, 高于这个时间时呈现下降趋势。

2.3.3 加压压力和加压时间对产品外观品质影响

从图 3 中可以看出: 在 X_1 取“零水平”时, X_2 和

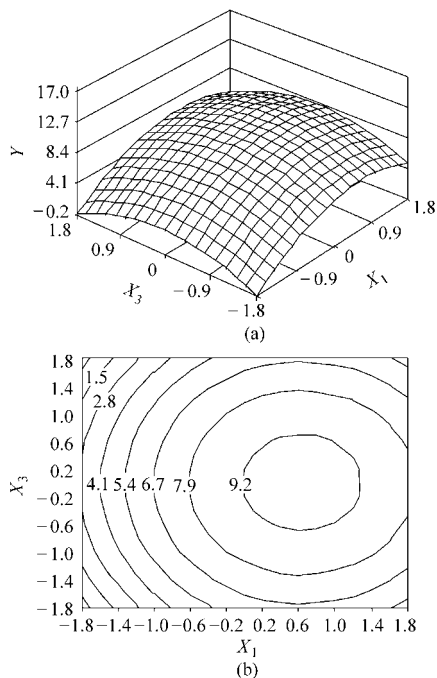


图 2 上模温度和加压时间对外观品质的影响
Fig. 2 Effect on appearance quality caused by the upper model temperature and duration time of pressure
(a) 响应面 (b) 等高线

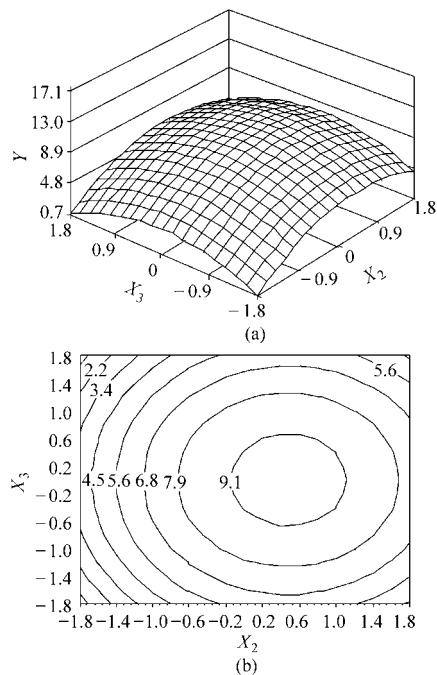


图 3 加压压力和加压时间对外观品质的影响
Fig. 3 Effect on appearance quality caused by the pressure and its duration time
(a) 响应面 (b) 等高线

X_3 二次效应对 Y 有比较显著的影响。从等高线可以看出: X_2 编码值的理想取值范围为 $-0.13 \sim 1.12$, 对应实际值的取值范围为 $17.3 \sim 19.2 \text{ MPa}$, X_3 编码值的理想取值范围为 $-0.66 \sim 0.64$, 对应实际值的取值范围为 $7.18 \sim 9.78 \text{ s}$, 在该范围内 Y 得分达到

9.1。在一定压力范围内 Y 随 X_2 的升高呈上升趋势,当 X_2 的实际值是 18.25 MPa 时, Y 最高,当 X_2 超过 18.25 MPa 时, Y 随 X_2 的升高呈下降趋势。同样 X_3 在一定时间范围内,对 Y 的影响呈现相似的变化规律,即 X_2 实际值是 8.42 s 时, Y 最高,当低于这个时间时呈现上升趋势,高于这个时间时呈现下降趋势。

2.3.4 最佳工艺参数确定

通过对植物纤维餐具外观品质拟合模型的响应面和等高线图分析,得出外观品质得分 Y 的稳定点:上模温度为 180.93℃、加压压力为 17.96 MPa、加压时间为 8.51 s,对应的 Y 值为 9.856。

2.4 验证试验

为了验证上述优化结果,在最优条件下选取可操作的整数值即上模温度 181℃、加压压力 18 MPa、加压时间 9 s,重复 5 次试验,试验结果见表 3,产品照片见图 4。从表 4 可见模型的预测值与试验的实测值较为接近,说明回归模型的拟合度较好。从图 4 可知,经过优化后,采用热压成型工艺制备的植

表 3 最优试验结果验证

Tab.3 Validation of the optimal examination design

试验序号	外观品质(分值)
1	9.40
2	9.60
3	9.80
4	9.50
5	9.60
平均值	9.58
预测值	9.856

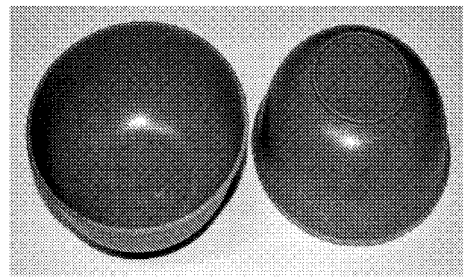


图 4 植物纤维热压成型餐具实物图

Fig.4 Photo of plant fiber tableware prepared by dry-hot molding process

物纤维餐具,表面光滑有亮泽,成型完整,表面无起皮、起泡或裂纹,产品外观品质较佳。

3 结束语

通过研究上模温度、加压压力、加压时间等 3 个因素对植物纤维干法压制成型餐具制品的外观品质影响规律,利用响应面分析法优化了植物纤维干法压制成型餐具制品的工艺条件,建立了植物纤维干法压制成型餐具制品外观品质与三因素间的数学模型,并对模型进行了验证。

结果表明上模温度、加压压力对外观品质影响显著,加压时间对外观品质影响相对较小。确定植物纤维干法压制成型餐具制品的最佳工艺条件为:上模温度 181℃、加压压力 18 MPa、加压时间 9 s。经验证,试验值与模型预测值较接近,模型拟合度较好,产品的感官品质甚佳,感官评价平均得分达 9.58。研究成果可为植物纤维餐具的干法成型设备的开发提供技术和数据支持。

参 考 文 献

- 郝用兴,刘仕平,华林. 集成式植物纤维一次性餐具成型机液压及 PLC 控制系统[J]. 液压与气动,2005(8):53~55.
Hao Y X, Liu S P, Hua L. Integrated shaper for expendable tableware of plant fiber [J]. Chinese Hydraulics and Pneumatics, 2005(8):53~55. (in Chinese)
- 郭文川,朱新华. 一次性可降解餐具的研究与应用现状[J]. 包装与食品机械,2001,19(1):32~34.
Guo W C, Zhu X H. The study and application situation of one-off degradable tableware [J]. Packaging and Food Machinery, 2001,19(1):32~34. (in Chinese)
- 陈洪章. 秸秆资源生态高值化理论与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- 戴宏民,戴佩华. 两类植物纤维制品主要工艺问题及工艺技术分析[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2004,21(4):321~324.
Dai H M, Dai P H. Main technological problems and technological analysis of two kinds of products of plant fiber [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2004, 21(4):321~324. (in Chinese)
- 王忠涛,迟延斌,巨建涛,等. 大力开发植物纤维餐饮具产品[J]. 生态经济,2002(11):69~72.
Wang Z T, Chi Y B, Ju J T, et al. On the development of plant fiber tableware [J]. Ecological Economy, 2002(11):69~72. (in Chinese)
- 刘天舒,李树君,景全荣,等. 植物纤维干法热压成型机的设计[J]. 农业机械,2011(3):98~100.
- 郭康权. 粉粒体技术基础[M]. 西安:西北大学出版社,1995.

- 15 Mulia R, Dupraz C. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in Southern France: what consequences for modeling of tree root dynamics [J]. *Plant and Soil*, 2006, 281(1~2): 71~85.
- 16 Caspari H W, Behboudian M H, Chalmers D J. Water use, growth, and fruit yield of 'Hosui' Asian pears under deficit irrigation [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1994, 119(3): 383~388.
- 17 Mills T M, Behboudian M H. Water relations, growth, and the composition of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1996, 121(2): 286~291.
- 18 Giulivo C, Xiloyannis C. *Liirrigazione in ortofruitticoltura* [M]. Verona: Banca Popolare, 1988.
- 19 Li S H, Huguot J G, Schoch P G, et al. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1989, 64(5): 541~552.
- 20 Marsal J, Rapoport H F, Manrique T, et al. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees [J]. *Scientia Horticulture*, 2000, 85(4): 243~259.
- 21 晏清洪, 王伟, 任德新, 等. 滴灌湿润比对成龄库尔勒香梨树根系分布的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(2): 63~67.
Yan Qinghong, Wang Wei, Ren Dexin, et al. Effects of wetted percentage on the root redistribution of mature Korla fragrant pear trees under drip irrigation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(2): 63~67. (in Chinese)
- 22 Fernandez J E, Moreno F, Cabrera F, et al. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of oil trees [J]. *Plant and Soil*, 1991, 133(2): 239~251.
- 23 Sokalska D I, Haman D Z, Szewczuk A, et al. Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system [J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(6): 917~924.
- 24 McCully M. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1999, 50: 695~718.
- 25 郝树荣, 郭相平, 王为木, 等. 水稻分蘖期水分胁迫及复水对根系生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(1): 149~152.
Hao Shurong, Guo Xiangping, Wang Weimu, et al. Effects of water stress in tillering stage and re-watering on rice root growth [J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2007, 25(1): 149~152. (in Chinese)
- 26 邵光成, 刘娜, 陈磊. 温室辣椒时空亏缺灌溉需水特性与产量的试验[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(4): 117~121.
Shao Guangcheng, Liu Na, Chen Lei. Character of water demand and yield of space-time deficit irrigation for hot pepper in greenhouse [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(4): 117~121. (in Chinese)
- 27 Kramer P J, Boyer J S. *Water relations of plants and soils* [M]. San Diego, California: Academic Press, 1995: 145~147.

(上接第 119 页)

- 8 赵东, 孙艳玲, 赵小津. 植物秸秆杯型容器成型过程的计算机模拟[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(5~6): 208~210.
Zhao D, Sun Y L, Zhao X J. Computer-aided simulation of plant stalk die compaction processes in cup-shaped mold [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(5~6): 208~210. (in Chinese)
- 9 景全荣, 董峰, 高德. 秸秆包装容器成型过程影响因素分析[J]. *包装工程*, 2009, 30(1): 41~44.
Jing Q R, Dong F, Gao D. Analysis on influencing factors in dry-molding process of straw packaging container [J]. *Packaging Engineering*, 2009, 30(1): 41~44. (in Chinese)
- 10 任露泉. *实验优化设计与分析* [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2003.