

添加花生秸秆的无胶纤维板的制备工艺及优化

潘青青¹, 吴定橙¹, 单伟雄², 向红¹

(1.华南农业大学 食品学院, 广州 510642; 2.广州至简通用设备制造有限公司, 广州 510760)

摘要: **目的** 为了提高花生秸秆的回收利用率, 并为花生秸秆纤维提供一种可行的处理方式, 将其与木纤维一起热压制备无胶纤维板。**方法** 不添加胶黏剂, 用热压成型技术将花生秸秆制备纤维板。分别以热压温度、压力、时间和花生秸秆添加量等4个因素进行单因素试验, 再通过三因素三水平响应面实验进行工艺优化。**结果** 响应面模型 $P < 0.01$, 失拟项 $P = 0.4896 > 0.05$, 模型回归系数 $R^2 = 0.9867$; 响应面优化得到了最佳工艺条件, 即热压温度为 170 °C、热压压力为 8 MPa、热压时间为 6 min、花生秸秆质量分数为 20%, 此条件下静曲强度值最大, 为 10.1815 MPa。**结论** 回归模型达到极显著水平, 模型失拟度不显著, 表明模型相关度好。在最佳工艺条件下进行验证试验得到的静曲强度数值为 (10.182 33±0.157)MPa, 与预测值接近, 表明优化工艺可靠。

关键词: 花生秸秆; 纤维板; 热压成型技术; 工艺优化; 响应面法

中图分类号: TQ352 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)11-0127-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.019

Preparation Technology and Optimization of Peanut Straw Fiberboard without Adhesive

PAN Qing-qing¹, WU Ding-cheng¹, SHAN Wei-xiong², XIANG Hong¹

(1.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2.Guangzhou Zhi Jian General Equipment Manufacturing Co., Ltd., Guangzhou 510760, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the recycling rate of peanut straw and provide a feasible treatment method for peanut straw fiber to be hot pressed together with wood fiber to prepare adhesive-free fiberboard. Peanut straw was prepared into fiberboard without adding adhesive by hot pressing technology. The single factor experiment was carried out with four factors, namely hot pressing temperature, pressure, time and peanut straw addition amount, and then the process was optimized by the three-factor and three-level response surface experiment. The response surface model $P < 0.01$, lack of fit $P = 0.4896 > 0.05$ and model regression coefficient $R^2 = 0.9867$. After the response surface was optimized, the optimal process condition was obtained as follows: the hot pressing temperature was 170 °C; the hot pressing pressure was 8 MPa; the hot pressing time was 6 min and the mass fraction of peanut straw was 20%. Under these conditions, the MOR value was the largest, which was 10.1815 MPa. The regression model reaches the extremely significant level, but the model out-of-fit degree is not significant, which indicates that the model correlation degree is good. The MOR value obtained by the verification test under the optimal process condition is (10.182 33±0.157)MPa, which is close to the predicted value, indicating that the optimized process is reliable.

KEY WORDS: peanut straw; fiberboard; hot pressing technology; process optimization; response surface method

收稿日期: 2019-10-11

作者简介: 潘青青 (1993—), 女, 华南农业大学硕士生, 主攻食品包装。

通信作者: 向红 (1964—), 男, 博士, 华南农业大学教授, 主要研究方向为食品包装、运输包装。

花生是重要的油料作物,集中分布在热带、亚热带和温带地区^[1]。我国花生种植面积约占世界种植面积的20%,居世界第2位,年均总产量在1500万t以上,是世界上生产花生最多的国家^[2],其中河南省年花生秸秆产量为300~400万t^[3]。在《全国大宗油料作物生产发展规划(2016—2020年)》通知中提到:2014年我国花生种植面积为6906万亩(1亩=666.67m²),预计2020年种植面积将达到7200万亩,因此,我国花生秸秆的产量是巨大的。

花生秸秆中各组分及质量分数分别为粗蛋白质(12%~13.5%)、粗脂肪(2%~3%)、碳水化合物(主要为粗纤维,46%~48%)^[4]以及钙和磷,常被用于制备饲料^[5]、食用菌培养基料^[6-7],提取白藜芦醇^[8]等物质,研究花生秸秆生物炭对土壤酸化的抑制作用及作为土壤改良剂用于重金属污染土壤的修复^[9-10]等。花生秸秆中含有大量的纤维素、半纤维素和木质素,难以被畜禽消化吸收,因此抑制了其在饲料资源化领域的应用^[11]。在实际生产中,花生秸秆尚未得到有效利用,常被废弃、焚烧还田和作为燃料燃烧,既浪费了资源,也污染了环境^[12]。在纤维板的研制过程中,为了加强纤维间的粘合,提升成品性能,多采用添加胶黏剂的方法,常用的胶黏剂有脲醛树脂、异氰酸酯和胶水等^[13-14]。由于添加胶黏剂后,成品纤维板会释放出甲醛,危害人体健康,因此越来越多的学者开始研究无胶纤维板,即不添加任何胶黏剂,仅依赖纤维原料含有的化学成分,在特定生产工艺条件下实现自粘结。无胶纤维板的纤维粘合主要是通过机械处理(如微纤化处理纤维、蒸汽爆破处理、水浴处理等^[15-17])或使用化学试剂活化纤维原料(如酸碱处理),导致纤维具有一定热塑性,进而使纤维在高温高压条件下通过氢键网络作用和纳米纤维的有效填充实现自粘。纤维粘结机理主要有纤维的机械交缠和氢键结合、木质素在高温高压条件下产生的原位塑化和流动、纤维素和半纤维素降解产生的糖醛及木质素-糠醛连接等^[18-19]。

目前,热压纤维板应用十分广泛,其主要原材料为木纤维,并要添加一定的化学原料,成品中会有一些的甲醛,严重影响了使用的安全性^[20-22]。若不添加胶黏剂,在热压过程中则需要使用更大的压力才能实现塑化成型,加入的花生秸秆在热压过程中起润滑作用,可减弱木纤维之间的阻力,从而在一定程度上降低了生产成本。文中采用热压成型技术制备添加花生纤维的无胶纤维板,通过单因素实验和响应面实验,研究最佳花生纤维添加比例与热压成型工艺参数,以得到性能最佳的纤维板。

1 实验

1.1 仪器与原料

主要仪器:多功能粉碎机(永康市速锋工贸有限公司);电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);小型热压机(广州至简通用设备制造有限公司);精密裁板机(广州至简通用设备制造有限公司);电子万能试验机(深圳三思纵横科技股份有限公司);DHS系列水分测定仪(上海力辰仪器科技有限公司);电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);电子数显游标卡尺(宁波得力工具(余姚)有限公司)。

主要原料:花生秸秆(购自河南省驻马店市);木纤维板块(中山冠华竹纤维板业有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 原料处理

除去花生秸秆中的杂质并烘干(水分质量分数控制在10%左右),随后置于高速粉碎机中粉碎,经40目过筛,取通过筛网的原料,记为原料A,备用。将纤维板块(组成成分为木纤维,不含胶黏剂)切块、粉碎(每次取相同质量,重复粉碎3次,无粒度要求),记为原料B,备用。

用范氏法测定花生秸秆中纤维素、半纤维素和木质素的含量。

1.2.2 热压制板

设定热压机上、下加热板温度,开始加热,待上下加热板实际温度达到预设温度后,将混合均匀的A、B原料转移至模具框中(模具框尺寸为150mm×150mm,目标密度为0.8g/cm³),铺平、预压,设定压力和时间参数后开始热压,热压结束后取出,得到纤维板,每组板制备5块。

1.2.3 单因素实验

以固定热压温度(170℃)、热压压力(8MPa)、热压时间(6min)、花生秸秆质量分数(20%)为单因素试验条件,以静曲强度(MOE)和弹性模量(MOR)为评价指标,选取热压温度(140,150,160,170,180℃)、热压压力(2,4,6,8,10MPa)、热压时间(2,4,6,8,10min)、花生秸秆质量分数(10%,20%,30%,40%,50%)等4个因素进行单因素实验,考察各因素对材料性能的影响。

1.2.4 响应面实验

在单因素实验基础上,以热压温度、热压时间和秸秆质量分数等3个因素为自变量,以静曲强度为响应值,根据Box-Behnken实验设计原理进行三因素三水平实验设计,因素水平见表1。

表 1 因素水平
Tab.1 Factor levels

水平	因素		
	热压 温度/°C	热压 时间/min	花生秸秆 质量分数/%
-1	160	4	10
0	170	6	20
1	180	8	30

1.2.5 性能检测

根据 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》对添加了花生秸秆的纤维板进行性能检测。

1) 密度测定。用天平称量板的质量 (m), 并用游标卡尺测长 (a)、宽 (b)、厚 (d), 根据式 (1) 计算纤维板的密度 (g/cm^3); 每组重复测定 5 次, 求平均值。

$$\rho = \frac{m}{a \times b \times d} \quad (1)$$

2) 力学性能检测。用电子万能试验机进行 3 点弯曲实验, 试样尺寸为 $120 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ ^[23], 加载速度为 $5 \text{ mm}/\text{min}$; 根据式 (2—3) 计算静曲强度 (MOR, 精确到 0.1 MPa) 和弹性模量 (MOE, 精确到 10 MPa), 每组重复测定 5 次, 求平均值。

$$\sigma = \frac{3 \times F_{\max} \times l}{2 \times b \times d^2} \quad (2)$$

式中: σ 为试样的静曲强度 (MPa); F_{\max} 为试样破坏时的最大载荷 (N); l 为两支座间距离 (mm)。

$$E = \frac{l^3}{4 \times b \times d^3} \times \frac{F_2 - F_1}{a_2 - a_1} \quad (3)$$

式中: E 为试样的弹性模量 (MPa); l 为两支座间距离 (mm); $F_2 - F_1$ 为在载荷-挠曲曲线中直线段内载荷的增加量 (N); $a_2 - a_1$ 为试样中部变形的增加量,

即在力 $F_2 - F_1$ 区间试样变形量 (mm)。

2 结果与分析

2.1 花生秸秆的成分测定

花生秸秆经粉碎、40 目过筛后得到的纤维见图 1a, 粉碎使纤维产生了纤化纤维, 导致纤维的比表面积增大, 并产生了一些空隙。每次称取相同质量的木纤维板块, 粉碎 3 次, 每次粉碎相同时间, 得到的纤维见图 1b, 热压得到添加了花生秸秆的纤维板见图 1c。用范氏法测定了花生秸秆中纤维素、半纤维素和木质素的含量, 结果见表 2。

2.2 单因素实验结果分析

2.2.1 热压温度的确定

热压温度与 MOR 和 MOE 的关系曲线见图 2, 可知, 热压温度在 $140 \sim 180 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内变化时, 随着热压温度的增高, MOR 值先急剧增大, 然后逐渐趋于平稳; MOE 值先急剧增大, 在 $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 时达到最高峰, 随后减小。这是因为在热压过程中, 热量从材料外部传递至内部, 在相同时间和压力条件下, 温度越高, 热量传递速度越快; 高热压温度增加了纤维上木质素的流动性, 改善了木质素纤维板的分布, 并形成了更好的纤维间键合; 木质素和碳水化合物发生水解、缩聚和自由基等反应, 产生了某种具有胶黏性的物质, 在热压时能发挥胶黏剂的作用^[24]。此外, Han 等^[25]研究发现温度在一定范围内增加时, 可以增加木材的结晶度。高度有序的晶体区域有助于改善木材的强度。当温度持续升高时, 木材强度下降, 这主要是因为热量刺激细胞壁分子发生运动, 导致内部摩擦减小, 微纤维松散程度增加。综合考虑, 选取 $160, 170, 180 \text{ }^\circ\text{C}$ 进行响应面实验。

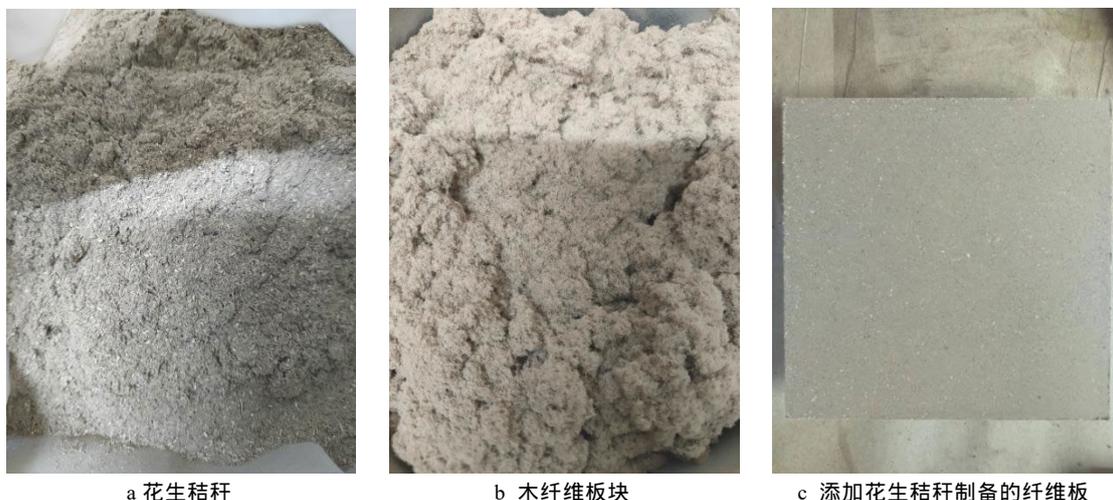


图 1 粉碎后、过筛后得到的原料

Fig.1 Raw materials obtained after crushing and sifting

表2 花生秸秆中纤维素、半纤维素和木质素的含量
 Tab.2 Contents of cellulose, hemicellulose and lignin in peanut straw

成分	质量分数/%
纤维素	42.90±0.81
半纤维素	14.55±0.36
木质素	17.45±0.17

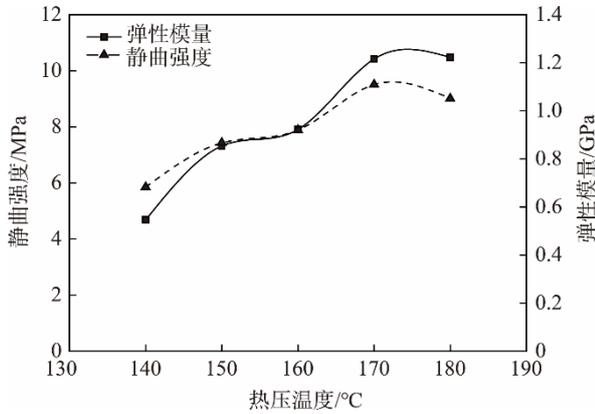


图2 热压温度与 MOR, MOE 的关系曲线
 Fig.2 Curve of relationship among hot pressing temperature, MOR and MOE

2.2.2 热压压力的确定

热压压力与 MOR 和 MOE 的关系曲线见图 3, 可知,热压压力在 2~8 MPa 内变化时,随着热压压力的增大, MOR 值和 MOE 值急剧增大;随着压力进一步增大, MOR 与 MOE 值的增加趋势逐渐减缓。这是因为在压力作用下发生机械缠绕,表面富含木质素的纤维与软化后的木质素分子融合在一起,可能会形成共价键^[16],使纤维间的结合更加牢固。与 Han 的研究一致,即在一定范围内,压力对弹性模量具有积极的影响,压力越大,板材密度越大,弹性模量越大^[25]。考虑到实际操作条件限制,选定 8 MPa 为此次实验的最佳热压压力。

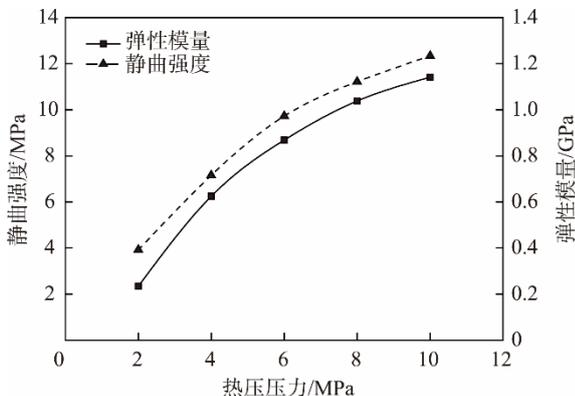


图3 热压压力与 MOR, MOE 的关系曲线
 Fig.3 Curve of relationship among hot pressing pressure, MOR and MOE

2.2.3 热压时间的确定

热压时间与 MOR 和 MOE 的关系曲线见图 4, 可知,热压时间在 2~6 min 内变化时,随着热压时间的延长, MOR 值和 MOE 值急剧增大;随着热压时间的进一步延长, MOR 值和 MOE 值略微减小后逐渐趋于稳定。这是因为在相同的温度和压力条件下,一定范围内,热压时间越长,高温反应将产生更多具有胶黏性的物质,在熔融后会更均匀地分布于纤维间,进而在冷却固化后使纤维粘结在一起。当加热时间过长时,提取物、果胶和半纤维素会部分或完全丧失,导致弹性模量降低^[25],因此,选取 4, 6, 8 min 进行响应面实验。

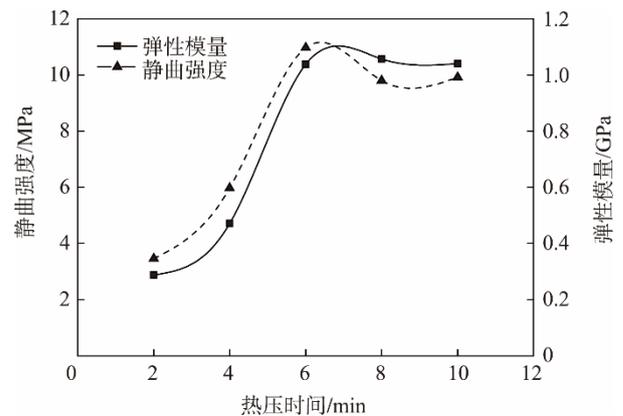


图4 时间与 MOR, MOE 的关系曲线
 Fig.4 Curve of relationship among time, MOR and MOE

2.2.4 花生秸秆添加量的确定

不添加胶黏剂,依赖生物质原料自身所含的化学成分,在高温高压下实现胶合主要有 4 个原因:利用木质素作为原位粘合剂,在高温高压下形成具有胶黏性的物质,且具有流动性,使纤维粘结在一起;部分淀粉和糖发生化学反应合成胶黏剂,且淀粉颗粒能填入细胞间的空隙,促进纤维间的界面粘附;半纤维素和纤维素降解产生的单糖有助于纤维结合;粉碎得到纤化纤维的机械交缠和氢键粘合得到的纤维网络结构也有助于纤维结合^[26-27]。由于纤板块主要成分为木纤维,纤维较硬,因此添加柔软的花生秸秆纤维后,更易热压成型,同时,花生秸秆中的木质素和少量糖类也有助于纤维间的粘合,从而提高了纤维板的性能。实验用木纤维板块粉碎后的纤维比花生秸秆粉末纤维长,前者在热压过程中起“骨架”作用,后者起“填充”作用,更柔软的花生秸秆纤维的加入能减少在热压过程中木纤维产生的摩擦阻力,使热压更易进行。在一定范围内,随着花生秸秆质量分数的增大,花生秸秆纤维与木纤维充分接触并交缠,成品纤维板的性能逐渐升高;随着花生秸秆添加比例进一步增大,原料中木纤维的含量越来越少,因此纤维板性能下降。花生秸秆质量分数与 MOR 和 MOE 的关系曲线见

图 5, 可知, 花生秸质量分数为 10%~50% 时, 随着质量分数的增大, MOR 值和 MOE 值先增大后减小, 二者均在质量分数为 20% 处具有峰值, 因此, 选取 10%, 20% 和 30% 进行响应面实验。

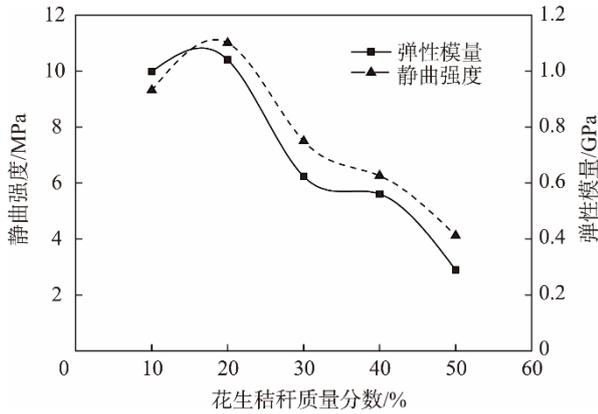


图 5 花生秸秆质量分数与 MOR, MOE 的关系曲线
Fig.5 Curve of relationship among mass fraction of peanut straw, MOR and MOE

2.3 响应面实验结果

根据单素实验结果, 当固定热压压力为 8 MPa 时, 以热压温度、热压时间和花生秸秆添加比例为因素, MOR 值为响应值进行优化实验, 响应面 Box-Behnken 实验设计及结果见表 3。

2.3.1 响应面各组实验材料密度分析

响应面实验各组材料的密度见图 6, 可知各组密度相差不大, 在 0.88~0.94 g/cm³ 范围内波动。

2.3.2 响应面结果分析

用 Design-Expert 8.0.6 软件对数据进行处理, 得到回归方程方差分析结果, 见表 4。由表 4 可知, 该模型 $P < 0.01$ 、失拟项 $P = 0.4896 > 0.05$, $R^2 = 0.9867$, 表明回归模型达到极显著水平、失拟度不显著、模型相

表 3 响应面实验设计及结果
Tab.3 Response surface experiment design and results

编号	热压温度/°C	热压时间/min	秸秆质量分数/%	弹性模量/MPa
1	180	6	10	9.43
2	170	6	20	10.32
3	180	4	20	9.17
4	180	8	20	8.71
5	160	8	20	8.35
6	170	6	20	10.16
7	160	6	30	8.46
8	170	4	10	8.97
9	170	6	20	10.06
10	170	4	30	8.23
11	180	6	30	9.01
12	170	8	10	8.71
13	170	8	30	8.59
14	170	6	20	9.98
15	160	6	10	8.47
16	170	6	20	10.06
17	160	4	20	8.21

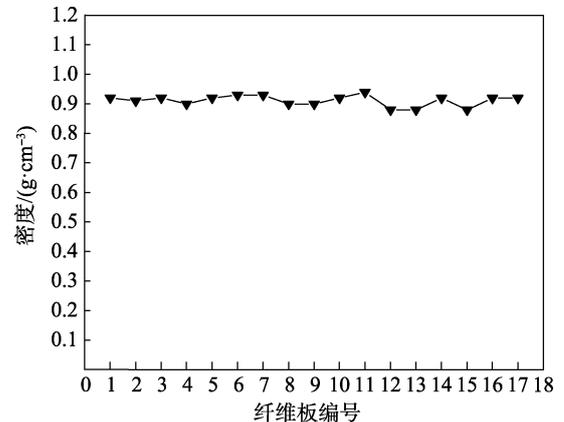


图 6 响应面各组实验材料的密度
Fig.6 Density of each experiment material on response surface

表 4 回归模型方差及可信度分析结果

Tab.4 Analysis results of variance and reliability of regression model

差异源	离均差平方和	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
模型	8.73	9	0.97	57.55	<0.0001	**
A	1.00	1	1.00	59.39	0.0001	**
B	6.050×10 ⁻³	1	6.050×10 ⁻³	0.36	0.5680	不显著
C	0.21	1	0.21	12.34	0.0098	*
AB	0.090	1	0.090	5.34	0.0541	不显著
AC	0.042	1	0.042	2.49	0.1584	不显著
BC	0.096	1	0.096	5.70	0.0483	*
A ²	1.75	1	1.75	103.68	<0.0001	**
B ²	3.13	1	3.13	185.50	<0.0001	**
C ²	1.67	1	1.67	98.90	<0.0001	**
残差	0.12	7	0.017			
失拟项	0.050	3	0.017	0.97	0.4896	不显著
纯误差	0.068	4	0.017			
总和	8.85	16				

注: *表示差异显著, $P < 0.05$; **表示差异极显著, $P < 0.01$; 差异不显著, $P > 0.05$

关度好。 $R^2_{Adj}=0.9695$ ，表明有 96.95% 的响应值变化可以用模型来解释，模型具有良好的拟合度，可以对结果进行准确分析和预测。回归方程中各变量对 MOR 的显著性由 F 检验判断， A, A^2, B^2, C^2 达到极显著水平， C, BC 达到显著水平。经拟合回归，得到的响应值 MOR 对自变量 A, B, C 的回归方程为：

静曲强度=10.11600+0.35375A-0.027500B-0.16125C-0.15000AB-0.10250AC+0.15500BC-0.64425A²-0.86175B²-0.62925C²。各因素对响应值 MOR 的影响顺序：热压温度>花生秸秆添加比例>热压时间。

三因素中任意 2 个因素与 MOR 值的三维响应面和等高线见图 7，能直观反映各因素间的交互作用。3D 图倾斜度越高，坡度越陡，说明两因素交互作用越显著；等高线是相应曲面在水平方向的投影，可以直观地反映两变量交互作用的显著程度，椭圆等高线表示两因素交互作用显著，圆形等高线表示两因素交互作用不显著^[28-29]。由图 7 可知，当热压温度一定时，MOR 值随热压时间的增大先增大后急剧减小、随花生秸秆质量分数的增加先增大后急剧减小；当热压时间一定时，MOR 值随热压温度的增大先急剧增大，随后稍微减小；随花生秸秆质量分数的增大先增

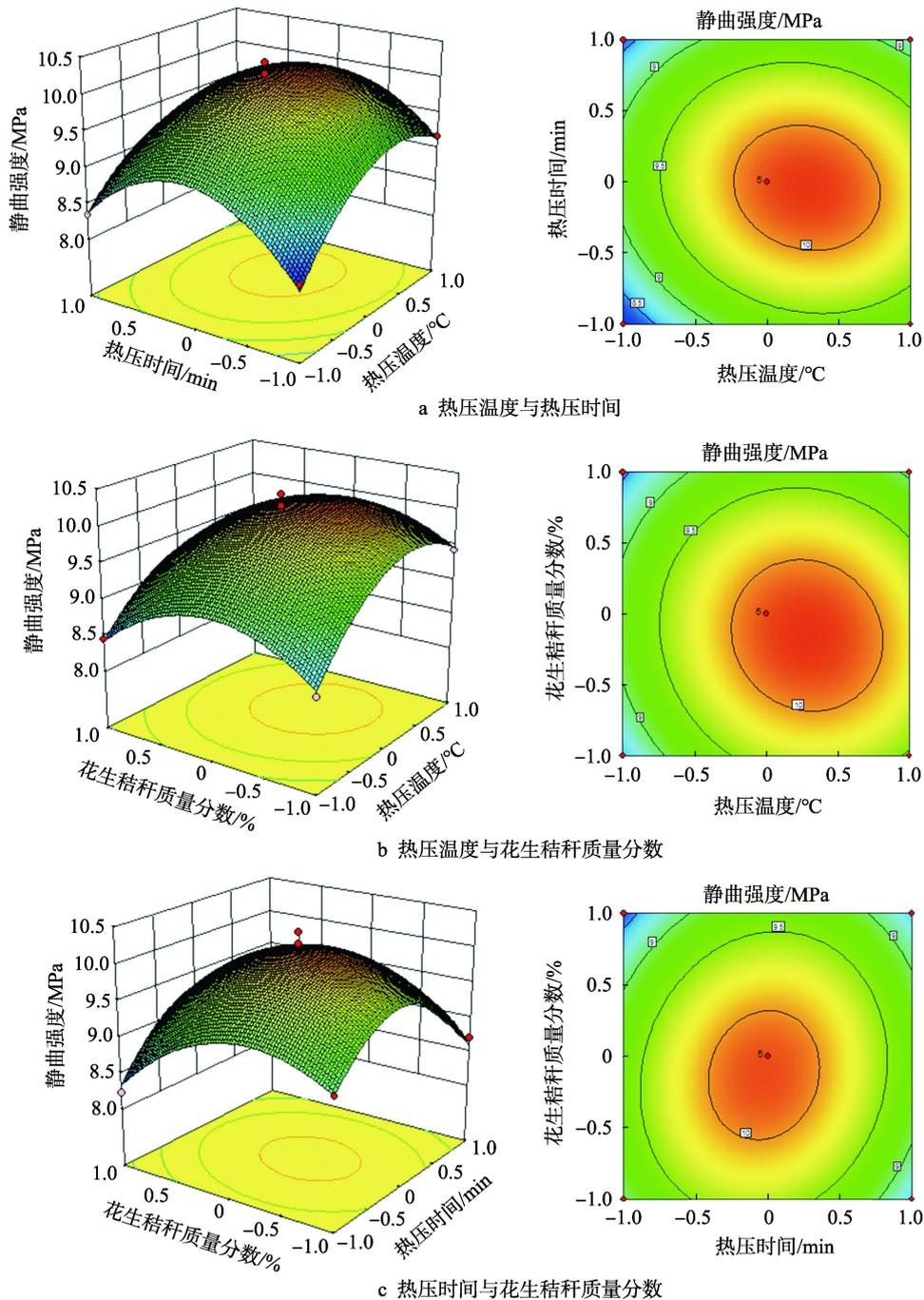


图 7 各因素交互作用与 MOR 值的响应面和等高线分析

Fig.7 Analysis on interactive effects of various factors and response surface and contour of MOR value

大后减小；当花生秸秆质量分数一定时，MOR 值随热压温度的增大先增大后减小（趋势较平缓），随热压时间的延长先增大后减小（趋势较剧烈）。结合等高线分析可知，在热压温度（A）、热压时间（B）和秸秆质量分数（C）的两两交互作用中，BC 显著，其余均不显著，与表 4 结果一致。

2.3.3 工艺参数优化及验证

利用 Design-Expert 8.0.6 软件进行工艺参数组合，优化结果为 $A=0.29$ ， $B=-0.06$ ， $C=-0.16$ ，即纤维板的最佳制备工艺：热压温度为 172.9 °C、热压时间为 5.88 min、花生秸秆质量分数为 18.4%，预测 MOR 值为 10.1815 MPa。考虑到实际操作的便利性，将最佳工艺进行修正，热压温度为 170 °C、热压时间为 6 min、花生秸秆添加比例为 20%，此条件下测定 MOR 值为 (10.182 ± 0.157) MPa，与预测值接近，说明该模型具有准确性和实用性，优化工艺条件可靠。

3 结语

制备添加花生秸秆纤维的无胶纤维板，通过单因素实验和响应面优化实验，得到了最佳工艺，即热压温度为 170 °C、热压压力为 8 MPa、热压时间为 6 min、花生秸秆质量分数为 20%；在响应面实验设计的 3 个因素中，热压温度对静曲强度值具有极显著性影响（ $P<0.01$ ），秸秆添加比例对静曲强度具有显著影响（ $P<0.05$ ）；模型相关性好，验证试验得到的静曲强度数值与模型预测值接近，优化工艺条件可靠。

文中研究了用热压成型技术制备添加花生纤维无胶纤维板的最佳工艺，发现添加比较柔软的花生秸秆纤维后更容易热压成型，且质量分数为 20% 时，成品纤维板的性能最好。这大大降低了生产成本，同时也为花生秸秆纤维的处理提供了合理可行的方法，可以将其资源化，为无化学添加剂的纤维板研究提供了部分参考。为了扩大加入花生秸秆后纤维板材的应用领域，需进一步研究如何提高纤维板的力学性能，以及防水性和防霉性，延长其在潮湿环境中的使用寿命。

参考文献：

- [1] CHI X, YANG Q, PAN L, et al. Isolation and Characterization of Fatty Acid Desaturase Genes from Peanut (*Arachis Hypogaea* L)[J]. Plant Cell Reports, 2011, 30(8): 1393—1404.
- [2] 门爱军, 庞国兴, 胡东青, 等. 中国花生出口面临的困境及应对措施[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(2): 257—258.
MEN Ai-jun, PANG Guo-xing, HU Dong-qing, et al. Dilemma of Peanut Export in China and Countermeasures[J]. Anhui Agricultural Science, 2016, 44(2): 257—258.
- [3] 刘纪成, 张敏, 刘佳, 等. 花生秸秆在畜禽生产中的利用现状及其生物发酵技术[J]. 中国饲料, 2017(20): 36—38.
LIU Ji-cheng, ZHANG Min, LIU Jia, et al. Utilization Status of Peanut Straw in Livestock and Poultry Production and Its Biological Fermentation Technology[J]. China Feed, 2017(20): 36—38.
- [4] ZHAO X, CHEN J, DU F. Potential Use of Peanut By-products in Food Processing: a Review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(5): 521—529.
- [5] HANIM C, MUHLISI N. Nutrient Intake and Digestibility in Merino Sheep Fed Peanut Straw[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 119: 12005.
- [6] 孙瑞祥, 宫志远, 高霞, 等. 花生秧基料化栽培糙皮侧耳效果试验[J]. 食药菌, 2019, 27(2): 132—134.
SUN Rui-xiang, GONG Zhi-yuan, GAO Xia, et al. Experimental Study on the Effects of Cultivation of *Pellucellus Ostreatus* on Peanut Seedlings[J]. Edible and Medicinal Fungi, 2019, 27(2): 132—134.
- [7] 郑向丽, 江枝和, 王俊宏, 等. 花生秸秆代料栽培对秀珍菇的产量及物质转化的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1198—1203.
ZHENG Xiang-li, JIANG Zhi-he, WANG Jun-hong, et al. Effects of Peanut Straw Substitute Cultivation on the Yield and Material Conversion of *Pleurotus Edodes*[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2015, 29(6): 1198—1203.
- [8] WU X, LIANG L, WANG C, et al. Aqueous Two-phase Extraction and Isolation of Resveratrol from Peanut Vine[C]// International Conference on Remote Sensing, 2011: 3865—3868.
- [9] SHI R, HONG Z, LI J, et al. Peanut Straw Biochar Increases the Resistance of Two Ultisols Derived from Different Parent Materials to Acidification: a Mechanism Study[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 210: 171—179.
- [10] XU C, CHEN H, XIANG Q, et al. Effect of Peanut Shell and Wheat Straw Biochar on the Availability of Cd and Pb in a Soil-rice (*Oryza Sativa* L) System[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(2): 1147—1156.
- [11] 高靖, 李爱心. 花生秧在畜禽日粮中的应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2014, 35(10): 27—28.
GAO Jing, LI Ai-xin. Application of Peanut Seedlings in Livestock and Poultry Diets[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2014, 35(10): 27—28.
- [12] 刘纪成, 李黄琨, 李秀, 等. 多菌种混合固态发酵花生秸秆生产蛋白质饲料的工艺研究[J]. 家畜生态学报, 2019, 40(4): 42—47.
LIU Ji-cheng, LI Huang-kun, LI Xiu, et al. Study on

- the Technology of Multi-strain Mixed Solid Fermentation of Peanut Straw for Protein Feed Production[J]. *Acta Zoologica Ecologica Sinica*, 2019, 40(4): 42—47.
- [13] 任丽敏, 王逢瑚, 张利. 包装用薄型稻草刨花板的制备工艺研究[J]. *包装工程*, 2013, 34(11): 10—15.
REN Li-min, WANG Feng-hu, ZHANG Li. Research on Preparation Technology of Thin Straw Particleboard for Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(11): 10—15.
- [14] 严永林, 李新功, 刘晓荣. 稻草碎料板热压工艺研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(1): 126—129.
YAN Yong-lin, LI Xin-gong, LIU Xiao-rong. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2012, 32(1): 126—129.
- [15] GENG X, ZHANG S Y, DENG J. Alkaline Treatment of Black Spruce Bark for the Manufacture of Binderless Fiberboard[J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2006, 26(4): 313—324.
- [16] QUINTANA G, VELÁSQUEZ J, BETANCOURT S, et al. Binderless Fiberboard from Steam Exploded Banana Bunch[J]. *Industrial Crops and Products*, 2009, 29(1): 60—66.
- [17] FERRÁNDEZ-GARCÍA A, FERRÁNDEZ-VILLENA M, FERRÁNDEZ-GARCÍA C E, et al. Potential Use of Phoenix Canariensis Biomass in Binderless Particleboards at Low Temperature and Pressure[J]. *Biore-sources*, 2017, 12(3): 6698—6712.
- [18] LAMAMING J, SULAIMAN O, SUGIMOTO T, et al. Influence of Chemical Components of Oil Palm on Properties of Binderless Particleboard[J]. *Biore-sources*, 2013, 8(3): 3358—3371.
- [19] WIDYORINI R, XU J, WATANABE T, et al. Chemical Changes in Steam-pressed Kenaf Core Binderless Particleboard[J]. *Journal of Wood Science*, 2005, 51(1): 26—32.
- [20] NDAZI B S, KARLSSON S, TESH A J V, et al. Chemical and Physical Modifications of Rice Husks for Use as Composite Panels[J]. *Composites Part a: Applied Science and Manufacturing*, 2007, 38(3): 925—935.
- [21] HAN G, DENG J, ZHANG S, et al. Effect of Steam Explosion Treatment on Characteristics of Wheat Straw[J]. *Industrial Crops and Products*, 2010, 31(1): 28—33.
- [22] MOSHIUL A A K M, BEG M D H, REDDY P D M, et al. Structures and Performances of Simultaneous Ultrasound and Alkali Treated Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Reinforced Poly (Lactic Acid) Composites[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2012, 43(11): 1921—1929.
- [23] SAADAOU N, ROUILLY A, FARES K, et al. Characterization of Date Palm Lignocellulosic By-products and Self-bonded Composite Materials Obtained Thereof[J]. *Materials & Design*, 2013, 50: 302—308.
- [24] 任博文. 三种非木质材料制备无胶碎料板的加工工艺[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010: 2—9.
REN Bo-wen. Processing Technology of Three Kinds of Non-wood Materials to Prepare Glueless Scrap Board[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010: 2—9.
- [25] HAN C, ZHAN T, XU J, et al. Process Optimization for Multi-veneer Hot-press Drying[J]. *Drying Technology*, 2015, 33(6): 735—741.
- [26] HASHIM R, NADHARI W N A W, SULAIMAN O, et al. Characterization of Raw Materials and Manufactured Binderless Particleboard from Oil Palm Biomass[J]. *Materials and Design*, 2011, 32(1): 246—254.
- [27] RAQUEL A, PEIJS T. Binderless All-cellulose Fibreboard from Microfibrillated Lignocellulosic Natural Fibres[J]. *Composites Part a Applied Science & Manufacturing*, 2016, 83: 38—46.
- [28] FAN T, HU J, FU L, et al. Optimization of Enzymolysis-ultrasonic Assisted Extraction of Polysaccharides from Momordica Charabtia L by Response Surface Methodology[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 115: 701—706.
- [29] XU X, GAO Y, LIU G, et al. Optimization of Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Sea Buckthorn (Hippophaë Thamnoides L) Oil Using Response Surface Methodology[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2008, 41(7): 1223—1231.