

基于 Box-Behnken 设计-响应面法优化蜜麦麸的制备工艺

王俐桦¹, 应泽茜¹, 孙贝贝¹, 汤璐璐¹, 杜伟锋^{1,2,3*}, 葛卫红^{2,3}, 李昌煜⁴

1. 浙江中医药大学药学院, 浙江 杭州 310053
2. 浙江中医药大学 中药炮制技术研究中心, 浙江 杭州 311401
3. 浙江中医药大学 中药饮片有限公司, 浙江 杭州 311401
4. 浙江中医药大学中医药科学院, 浙江 杭州 310053

摘要: 目的 采用 Box-Behnken 响应面法优化蜜麦麸的制备工艺。方法 根据《浙江省中药炮制规范》(2015 版) 中蜜麦麸制备方法, 通过单因素试验筛选影响蜜麦麸制备工艺的关键因素, 以麸皮与炼蜜比例、加热温度、加热时间为考察因素, 蜜麦麸含水量、堆积密度和色度及阿魏酸含量的总评归一值作为综合指标, 利用 Box-Behnken 设计-响应面法优选蜜麦麸制备工艺, 并进行预测分析及工艺验证。结果 蜜麦麸最佳制备工艺为麸皮与炼蜜比例为 10:3, 加热温度为 90 °C, 加热时间为 90 s; 含水量、堆积密度、色度、阿魏酸含量均符合蜜麦麸要求, 综合指标平均值为 0.676 0, 与预测值 (0.692 7) 相对误差为 2.41%, 相对误差较小。结论 优选的制备工艺稳定可靠, 且简单可行, 适用于蜜麦麸的制备应用。

关键词: Box-Behnken 设计; 响应面法; 蜜麦麸; 堆积密度; 色度; 阿魏酸; 总评归一值

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2021)12-3538-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.12.009

Optimization of processing technology of honey wheat bran based on Box-Behnken response surface methodology

WANG Li-hua¹, YING Ze-xi¹, SUN Bei-bei¹, TANG Lu-lu¹, DU Wei-feng^{1,2,3*}, GE Wei-hong^{2,3}, LI Chang-yu⁴

1. College of Pharmacy, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China
2. Research Center of TCM Processing Technology, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 311401, China
3. Chinese Herbal Pieces Co., Ltd., Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 311401, China
4. Academy of Chinese Medical Sciences, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China

Abstract: Objective To optimize the processing technology of honey wheat bran by Box-Behnken response surface methodology. **Methods** On the basis of the processing method of honey wheat bran in “Zhejiang Traditional Chinese Medicine Processing Standards” (2015 edition), the single factor experiments combined with Box-Behnken design was used to optimize the processing technology, with four factors (water content, bulk density, chromaticity and ferulic acid content) as indexes, in order to detect four factors (material ratio, heating temperature and heating time), and perform predictive analysis and processing verification. **Results** The optimum processing technology for honey wheat bran was as follows: material ratio of 10:3, heating temperature of 90 °C and a heating time of 90 s; The moisture content, bulk density, chromaticity and content all met the requirements of honey wheat bran, and the average value of the comprehensive index was 0.676 0, with a relative error of 2.41% from the predicted value (0.692 7), which was relatively small. **Conclusion** The optimization of the processing technology of honey wheat bran is stable, reliable, simple and feasible, as well as suitable for the preparation and application of honey wheat bran.

Key words: Box-Behnken design; response surface methodology; honey wheat bran; bulk density; chromaticity; ferulic acid; overall desirability value

收稿日期: 2021-01-24

基金项目: 国家重点研发计划“中药饮片质量识别关键技术研究”(2018YFC1707001); 宁波市“科技创新 2025”重大专项(20201ZDYF020069); 中华中医药学会青年人才托举工程项目(QNRC2-C12)

作者简介: 王俐桦(1995—), 女, 硕士研究生, 从事中药炮制及中药药理研究。Tel: 15223807842 E-mail: 741086139@qq.com

*通信作者: 杜伟锋(1984—), 男, 河北任县人, 副研究员, 从事中药炮制及质量控制研究。

Tel: (0571)87195895 E-mail: duweifeng_200158@sohu.com

麦麸为禾本科植物小麦 *Triticum aestivum* L. 麦粒结构中的外种皮和糊粉层, 性平, 味甘、淡, 具有和中益脾的功效^[1], 其主要成分为阿魏酸^[2]。《本草蒙荃》中记载“麸制抑醋性, 勿伤上膈”的理论, 《本草通玄》中也提到“麦麸资本谷气”, 可见麦麸能缓和药物的燥性, 增强疗效, 除去药物的不快气味^[3]。蜜麦麸为麦麸与蜂蜜共制后的产物, 使用方法同麦麸, 经蜜制后作为辅料可增强共制药物的色泽和疗效, 是中药炮制中常用的固体辅料^[4]。蜜麸炒法的特色在南方古药帮中广泛应用, 目前, 全国四大药帮中樟帮与建昌帮均使用蜜麸炮制药物。蜜麦麸炮制后的饮片能起到更好的矫味赋色作用, 更能缓和药物燥性, 增强补脾益气作用^[5-6], 其多用于炮制白术、苍术、僵蚕、山药^[7-10]等中药。然而, 用传统方法蜜制麦麸的工艺性极强^[6], 而且不同地区对于蜜麦麸的制备工艺各不相同, 主要通过人为对其外观性状进行判断, 导致蜜麦麸的质量难以把控, 进而影响到蜜麦麸制品的质量。

响应面法是一种整合试验设计和数学建模的优化方法, 已广泛运用于中药炮制、中药提取、中药制剂等工艺的优选^[11-13]。本研究以蜜麦麸含水量、堆积密度、色度、阿魏酸含量的总评归一值为考察指标, 以物料比例、加热温度、加热时间为考察因素, 采用 Box-Behnken 设计-响应面法对蜜麦麸制备工艺进行优化, 优选出最佳制备工艺, 为进一步提高蜜麦麸质量提供参考。

1 仪器与试药

1.1 仪器

U3000 高效液相色谱仪, 日本 Dionex 公司, 配有四元梯度泵、在线真空脱气机、自动进样器、恒温柱温箱, 变色龙色谱数据工作站; Agilent Zorbax Eclipse Plus Phenyl-Hexyl 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); NT-xs105 电子分析天平, 0.01 mg, 瑞士 Mettler Toledo 公司; DHZT-9070A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; DFD-700 电热恒温水浴锅, 天津市泰斯特仪器有限公司; C21-SDHCB9E10 SUPOR 电磁炉, 浙江绍兴苏泊尔生活电器公司。

1.2 试药

麦麸 (批号 20190701)、炼蜜 (批号 20190701) 均由浙江中医药大学中药饮片有限公司提供, 并经浙江中医药大学中药饮片有限公司钱敏主管中药师按照《浙江省中药炮制规范》(2015 年版) 检测为

合格产品; 阿魏酸对照品, 批号 110773-201012, 购于中国食品药品检定研究院, 质量分数为 99.8%; 乙腈为色谱纯, 美国 Tedia 公司; 水为娃哈哈纯净水; 其他试剂为分析纯。

2 方法与结果

2.1 样品的制备

根据《浙江省中药炮制规范》(2015 年版)^[14] 记载, 蜜麦麸制备方法为麸皮与炼蜜 (加适量开水稀释) 拌匀, 搓散, 过筛, 干燥至不粘手为度, 粉碎, 过三号筛。

2.2 蜜麦麸指标检测

2.2.1 水分的测定 按照《中国药典》2015 年版四部“0832 水分测定法”中“第二法 (烘干法)”^[15] 计算蜜麦麸中含水量。

2.2.2 堆积密度的测定 蜜麦麸性状为黄褐色皮状颗粒, 质较轻, 手摸微有黏性, 无霉变、无结块, 味淡具有麦麸特殊香气, 略带甜蜜香气。堆积密度按照颗粒质量与颗粒自然堆积所占据的表观体积之比计算。测定每 100 dm³ 单位体积内蜜麦麸的质量, 通过比值计算其堆积密度。

2.2.3 色度的测定^[16]

(1) 供试品溶液的制备: 取蜜麦麸粉末 1 g, 精密称定, 置具塞离心管中, 加 95%乙醇 20 mL, 连续振摇 1 h, 离心, 吸取滤液 5 mL, 定容至 10 mL, 即得供试品溶液。

(2) 吸光度 (A) 测定: 蜜麦麸颜色在可见光区最大吸收波长为 597 nm 左右, 选择 597 nm 作为检测波长, 测定样品 A 值。

2.2.4 阿魏酸含量测定^[17-18]

(1) 对照品溶液的制备: 精密称取阿魏酸对照品 4.43 mg, 置于 50 mL 量瓶中, 加甲醇溶解并稀释至刻度, 配成 88.60 μg/mL 的对照品溶液, 备用。

(2) 供试品溶液的制备: 精密称定样品粉末 5 g, 置于 150 mL 量瓶中, 加入甲醇 50 mL, 称定质量, 超声 (250 W, 40 kHz) 30 min, 放至室温, 用甲醇补足减失的质量, 滤过, 取续滤液 25 mL, 挥干溶剂, 残渣加甲醇溶解稀释并定容至 5 mL, 即得。

(3) 色谱条件: 色谱柱为 Agilent Zorbax Eclipse Plus Phenyl-Hexyl 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 柱温 35 °C; 流动相为乙腈-0.1%磷酸水溶液; 梯度洗脱: 0~15 min, 10%~16%乙腈, 体积流量 0.8 mL/min; 15~25 min, 16%乙腈, 体积流量 0.8 mL/min; 25~50 min, 16%乙腈, 体积流量 0.6

mL/min; 50~55 min, 16%~20%乙腈, 体积流量 0.6 mL/min; 55~60 min, 20%~30%乙腈, 体积流量 0.6 mL/min; 检测器: 紫外检测器; 检测波长 320 nm; 进样量 10 μ L。

(4) 专属性考察: 按“2.2.4 (3)”项下色谱条件测定空白甲醇溶液、阿魏酸对照品溶液和蜜麦麸供试品溶液, 色谱图见图 1, 结果显示, 各组分离度好, 无干扰。

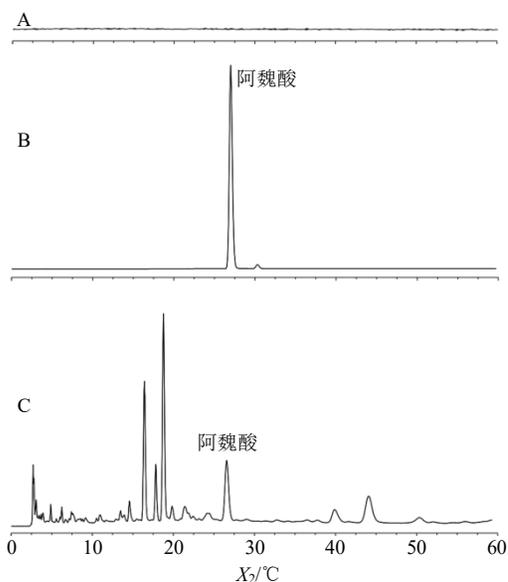


图 1 空白甲醇 (A)、阿魏酸对照品 (B)、蜜麦麸供试品 (C) 的 HPLC 图

Fig. 1 HPLC spectrogram of blank methanol (A), ferulic acid reference substance (B) and testing sample of honey wheat bran (C)

(5) 线性关系考察: 精密量取阿魏酸对照品溶液 (108.6 μ g/mL) 1、2、4、6、8、10 μ L, 按“2.2.4 (3)”项下色谱条件进行, 测定峰面积。以对照品浓度为横坐标 (X), 各自对应的峰面积为纵坐标 (Y), 绘制标准曲线, 得回归方程 $Y=0.6268X+9.687$, $R^2=0.9981$, 表明阿魏酸在 10.86~108.60 μ g/mL 线性关系良好。

(6) 精密度考察: 取阿魏酸对照品溶液, 按“2.2.4 (3)”项下色谱条件, 连续进样测定对照品 6 次, 记录峰面积, 计算阿魏酸峰面积 RSD 值为 2.69%, 表明实验仪器精密度良好。

(7) 稳定性考察: 取蜜麦麸供试品溶液, 按“2.2.4 (3)”项下色谱条件, 分别于 0、2、4、8、12、16、24 h 进样测定同一供试品溶液峰面积, 记录峰面积, 计算阿魏酸峰面积 RSD 值为 2.80%, 表明供试品溶液在 0~24 h 的稳定性良好。

(8) 重复性考察: 取同一蜜麦麸样品 6 份, 每份 5 g, 按“2.2.4 (2)”项下方法制备供试品溶液, 按“2.2.4 (3)”项下色谱条件测定, 记录峰面积, 计算阿魏酸质量分数 RSD 值为 4.88%, 表明重复性良好。

(9) 加样回收率试验: 取已测定阿魏酸含量的样品 9 份, 每份 5 g, 根据样品中阿魏酸含量按照高、中、低质量浓度比例分别加入对照品阿魏酸对照品溶液, 按“2.2.4 (3)”项下色谱条件测定峰面积, 计算 RSD 值。结果阿魏酸平均回收率为 99.21%, 其 RSD 值为 3.50%, 结果表明本方法回收率良好。

2.3 蜜麦麸单因素考察

2.3.1 麸皮与炼蜜比例 采用麸皮与炼蜜比例分别为 10:2、10:3、10:4、10:6, 拌匀, 搓散, 过筛, 干燥, 进行蜜麦麸制备, 按“2.2”项下方法检测所得蜜麦麸水分、堆积密度和色度及阿魏酸含量 4 个指标, 考察炼蜜用量对试验中所得蜜麦麸各指标结果的总评归一值^[13] (overall desirability value, OD), 利用 Hassan 法对各效应值进行归一化, 其归一值 $d_i=(y_i-y_{\min})/(y_{\max}-y_{\min})$, 并对归一值求几何平均值, $OD=(d_1, d_2, \dots, d_n)^{1/n}$, 本实验的效应值为综合指标, 综合指标越高越好。综合指标为 0.3518、0.6520、0.5150、0.1638。蜜麦麸的综合指标随着炼蜜比例的增加呈上升趋势, 在 10:3 (30%) 到达最高点后下降, 故选择 10:2 (20%)、10:3 (30%)、10:4 (40%), 因此, 选择这 3 个水平进行后续优化实验。

2.3.2 加热温度 麸皮与炼蜜比例为 10:3 不变, 采用不加热及 80、90、100、120 $^{\circ}$ C 加热, 加热时间均为 90 s, 拌匀, 搓散, 过筛, 进行制备。按“2.2”项下方法检测所得蜜麦麸水分、堆积密度和色度及阿魏酸含量 4 个指标, 归一化后计算综合评分方法同上, 其综合指标分别为 0.0841、0.4624、0.5488、0.3250、0.1638。随着温度的上升而升高, 至 90 $^{\circ}$ C 达到最大后呈下降趋势, 因此选择 80、90、100 $^{\circ}$ C 3 个水平进行后续优化实验。

2.3.3 加热时间 麸皮与炼蜜比例为 10:3 不变, 采用 90 $^{\circ}$ C 加热, 加热时间为 70、80、90、100、120 s, 拌匀, 搓散, 过筛, 进行制备。测定归一化综合指标, 其综合指标分别为 0.2764、0.4384、0.5765、0.3156、0.2720。综合指标随着制备时间的增加而升高, 制备时间 90 s 达到最高后下降, 因此选择 80、90、100 s 3 水平进行后续优化实验。

2.3.4 炮制用蜜种类 麸皮与炼蜜、生蜜的比例为 10 : 3 不变, 采用 90 °C 加热, 加热时间均为 90 s, 拌匀, 搓散, 过筛, 进行制备。测定归一化综合指标, 其综合指标分别为 0.377 3、0.590 0。炼蜜与生蜜对蜜麦麸制备的影响明显, 生蜜制备蜜麦麸不利于过筛, 综合指标比炼蜜制备的蜜麦麸低, 因此选用炼蜜进行蜜麦麸制备。

2.3.5 加水量 麸皮与炼蜜比例为 10 : 3 不变, 分别不加开水和加入适量开水 (炼蜜与开水比例分别为 2 : 1、1 : 1、1 : 2、1 : 3), 采用 90 °C 加热, 加热时间为 90 s, 拌匀, 搓散, 过筛, 进行制备。同上文测定归一化综合指标, 其综合指标分别为 0.453 5、0.159 0、0.268 8、0.181 2、0.213 5。加水与否对蜜麦麸制备影响明显, 不同比例的加水量对蜜麦麸制备影响差异较大, 加水制备蜜麦麸便于拌匀, 但水分含量过高, 不易于搓散, 综合指标比不加水制备所得蜜麦麸低, 因此采用不加水制备。

2.4 Box-Behnken 设计-响应面优化试验

2.4.1 试验设计 根据 Box-Behnken 设计-响应面法原理, 根据单因素试验结果, 选取麸皮与炼蜜比

例 (X_1)、加热温度 (X_2)、加热时间 (X_3) 作为因素, 每个因素选取 3 个水平, 以综合指标为因变量, 用 Design-Expert 10.0 设计实验, 试验因素及水平、试验设计与结果见表 1。

2.4.2 模型拟合与响应面结果分析 响应值与各因素进行回归拟合后, 得到回归方程如下: $Y=0.63-0.015 X_1-0.033 X_2+0.004 577 X_3-0.071 X_1X_2-0.044 X_1X_3-0.023 X_2X_3-0.092 X_1^2-0.13 X_2^2-0.068 X_3^2$, 由表 2 可知, 该模型 $P<0.000 1$, 具有显著性差异, 而失拟项 $P=0.278 9>0.05$, 无显著性, 说明响应值与预测值之间有较好的拟合度和可信度, 因此该模型可用来作为蜜麦麸最佳制备工艺参数的预测模型。根据分析结果, 因素中加热温度的 $P<0.05$, 具有显著性差异, 说明加热温度对蜜麦麸制备工艺具有显著影响; 麸皮与炼蜜比例与加热温度的交互效应、麸皮与炼蜜比例与加热时间的交互效应、麸皮与炼蜜比例二次效应、加热温度二次效应、加热时间二次效应均 $P<0.05$, 说明该因素对蜜麦麸制备工艺具有显著影响。

采用 Design Expert 10.0.1 软件绘制响应值与其

表 1 Box-Behnken 试验设计及响应值

Table 1 Box-Behnken experiment design and response value

试验号	X_1	$X_2/^\circ\text{C}$	X_3/s	含水量/%	堆积密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	色度	阿魏酸/%	综合指标
1	10 : 3 (0)	90 (0)	90 (0)	10.9	194.8	0.211	0.010 2	0.636 0
2	10 : 3 (0)	90 (0)	106.8 (+1.68)	12.5	232.4	0.175	0.009 8	0.476 5
3	10 : 1.32 (-1.68)	90 (0)	90 (0)	10.5	186.0	0.176	0.010 1	0.348 4
4	10 : 3 (0)	73.2 (-1.68)	90 (0)	10.8	189.0	0.203	0.010 2	0.305 6
5	10 : 3 (0)	90 (0)	90 (0)	11.0	182.8	0.193	0.009 5	0.658 8
6	10 : 4 (+1)	100 (+1)	100 (+1)	12.0	221.1	0.180	0.010 1	0.163 8
7	10 : 2 (-1)	100 (+1)	100 (+1)	11.6	186.5	0.211	0.010 1	0.397 5
8	10 : 2 (-1)	80 (-1)	80 (-1)	10.9	184.0	0.183	0.010 2	0.252 0
9	10 : 3 (0)	90 (0)	90 (0)	10.9	183.0	0.174	0.009 9	0.576 4
10	10 : 3 (0)	90 (0)	90 (0)	9.6	177.7	0.217	0.010 1	0.662 4
11	10 : 4.68 (+1.68)	90 (0)	90 (0)	10.9	188.0	0.212	0.010 2	0.364 7
12	10 : 3 (0)	90 (0)	90 (0)	11.8	174.0	0.193	0.010 3	0.575 0
13	10 : 3 (0)	106.8 (+1.68)	90 (0)	9.6	185.3	0.159	0.010 0	0.174 1
14	10 : 2 (-1)	80 (-1)	100 (+1)	12.1	196.8	0.163	0.010 4	0.413 4
15	10 : 4 (+1)	80 (-1)	80 (-1)	10.8	194.3	0.159	0.009 9	0.478 8
16	10 : 2 (-1)	100 (+1)	80 (-1)	10.8	190.5	0.169	0.010 1	0.435 0
17	10 : 3 (0)	90 (0)	73.2 (-1.68)	11.6	199.8	0.190	0.009 0	0.376 1
18	10 : 4 (+1)	100 (+1)	80 (-1)	12.0	204.2	0.214	0.009 5	0.272 0
19	10 : 3 (0)	90 (0)	90 (0)	10.2	189.3	0.155	0.009 0	0.677 2
20	10 : 4 (+1)	80 (-1)	100 (+1)	11.2	197.3	0.223	0.010 3	0.356 9

表2 方差分析结果

Table 2 Analysis result of variance

方差来源	平均平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性	方差来源	平均平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	0.46	9	0.051	18.53	<0.000 1	极显著	X_1^2	0.12	1	0.12	44.57	<0.000 1	极显著
X_1	0.002 9	1	0.002 9	1.05	0.328 7		X_2^2	0.26	1	0.26	93.38	<0.000 1	极显著
X_2	0.015	1	0.015	5.48	0.041 2	显著	X_3^2	0.066	1	0.066	23.91	0.000 6	极显著
X_3	0.000 3	1	0.000 3	0.1	0.753 6		残差	0.027	10	0.002 75			
X_1X_2	0.04	1	0.04	14.62	0.003 4	极显著	失拟项	0.017	5	0.003 49	1.74	0.278 9	
X_1X_3	0.016	1	0.016	5.7	0.038 1	显著	纯误差	0.01	5	0.002 01			
X_2X_3	0.004 3	1	0.004 3	1.56	0.240 1		总值	0.49	19				

中任意 2 个因素的交互作用等高线图 (图 2) 及响应面 3D 曲面图 (图 3)。由等高线图可知, 等高线图均为椭圆形, 表明麸皮与炼蜜比例与加热温度的交互效应、麸皮与炼蜜比例与加热时间的交互效应及加热温度与加热时间的交互作用均显著。由图 3 可知, 加热温度的曲面变化幅度大于麸皮与炼蜜比例曲面变化幅度; 加热时间的曲面变化幅度与麸皮与炼蜜比例曲面变化幅度差异不大; 加热温度的曲面变化幅度大于加热时间曲面变化幅度。因此, 所选的各因素水平范围内, 加热温度影响对蜜麦麸的制备工艺影响最大。通过求解回归模型的方程, 以综

合指标为评价指标优选蜜麦麸的最佳制备工艺为麸皮与炼蜜比例为 10 : 2.95, 加热温度为 89.88 °C, 加热时间为 90.07 s, 此时综合指标值为 0.692 7。

2.4.3 最佳工艺验证 结合试验情况, 调整方案为麸皮与炼蜜比例为 10 : 3, 加热温度为 90 °C, 加热时间为 90 s, 在此条件下进行试验, 测得综合指标值分别为 0.663 7、0.687 2、0.677 2, 接近预测值, 说明该制备工艺稳定、可行。根据该试验结果, 将蜜麦麸制备工艺应用于生产进行验证, 结果显示该工艺在实际生产中可行、稳定。结合实际生产的实用性, 使用该制备工艺制备蜜麦麸操作方便, 易搓

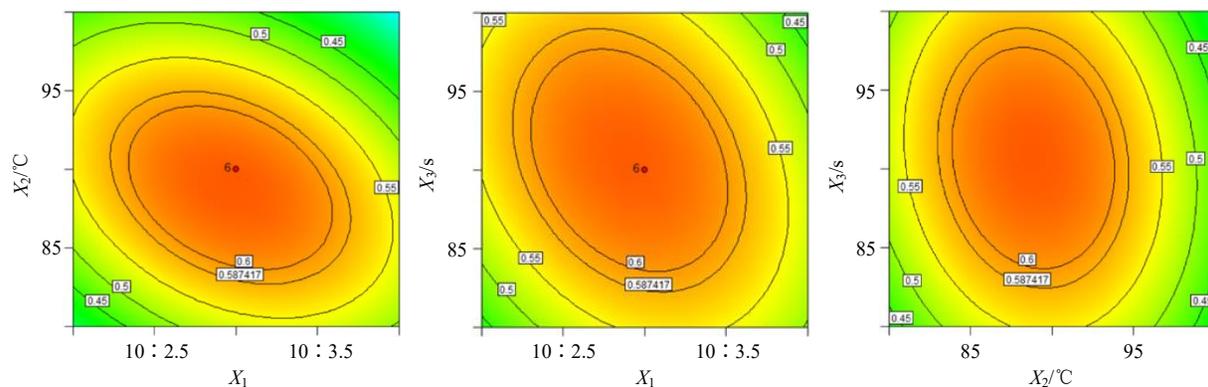


图2 3因素之间的交互作用图

Fig. 2 Graph of interaction between three factors

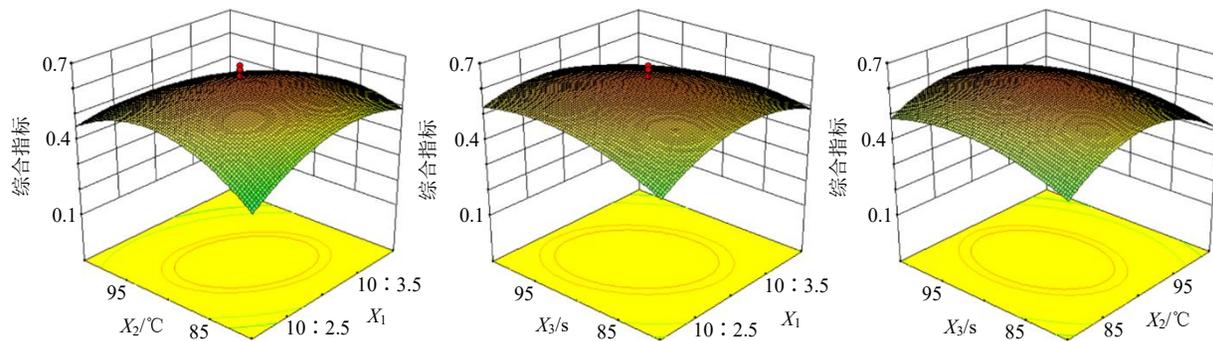


图3 三因素之间的交互作用 3D 图

Fig. 3 3D Graph of interaction between three factors

散, 过筛, 黏性适中。

3 讨论

随着对蜜麦麸使用范围变大, 不同省份对于蜜麦麸的制备工艺各有不同, 并且对于蜜麦麸的评价指标只局限于外观形状, 作为重要的炮制辅料, 目前尚无完整的质量标准。本研究根据《浙江省中药炮制规范》(2015年版)中蜜麦麸制备工艺, 通过单因素考察结果, 确定麸皮与炼蜜比例、加热温度、加热时间为影响蜜麦麸制备的3个因素, 由于制备蜜麦麸的过程中, 成分变化复杂, 与其炮制品产生作用的成分尚不明确, 阿魏酸作为麦麸的主要成分之一, 本课题组发现在蜜制过程中其含量会发生变化^[2], 因此选取含水量、堆积密度和色度及阿魏酸含量的总评归一值作为评价指标, 采用 Box-Behnken 设计-响应面优化试验对蜜麦麸制备工艺进行优化实验。

在实验过程中, 本课题组发现在制备蜜麦麸时, 由于生蜜黏度较炼蜜低, 拌匀耗时长, 并且在炮制饮片的过程中, 饮片上色时间长且不易上色, 还容易导致饮片炮制过度而引起焦片。加水后可便于拌匀, 但会使蜜麦麸水分含量过高, 在炮制饮片时容易起烟, 进而影响饮片的质量, 因此本实验采用炼蜜和不加水的方法制备。通过生产验证, 使用该工艺炮制的蜜麦麸易搓散, 黏性适中, 证明该工艺在实际生产中稳定、可行。

目前, 对于蜜麦麸的制备工艺研究较少, 主要集中在其炮制饮片的化学成分和药效学研究^[19-21], 蜜麦麸作为一种重要的炮制辅料, 其质量的优劣直接关系到饮片的临床药效, 本研究采用实验室小试的方法, 对其最佳工艺进行探索, 希望能为蜜麦麸中药质量控制的标准提供思考。后续还会继续将该工艺运用到炮制饮片及后续的药效学研究, 将此工艺进一步完善。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 贾天柱. 中药炮制学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008: 127.
- [2] 周利茗, 张志清. 麦麸中阿魏酸检测方法及其提取工艺研究进展 [J]. 粮油加工, 2009(11): 110-113.
- [3] 孟莉, 陈缤, 贾天柱. 中药麸炒古今研究概述 [J]. 中

成药, 2006, 28(9): 1311-1313.

- [4] 吴慧, 单国顺, 赵文龙, 等. 不同麦麸对白术炮制品质量的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(6): 55-60.
- [5] 祝婧, 钟凌云, 龚千锋, 等. 樟帮特色升麻炮制工艺的星点设计-效应面法优选 [J]. 时珍国医国药, 2015, 26(9): 2147-2149.
- [6] 王文凯, 张正, 翁萍, 等. 樟帮炮制辅料蜜麸的制备工艺研究 [J]. 时珍国医国药, 2015, 26(5): 1136-1138.
- [7] 朱慧萍, 曹岗. 多指标综合评价蜜麸炒白术的炮制工艺 [J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(6): 2160-2163.
- [8] 张金莲, 何敏, 谢一辉, 等. 正交法优选蜜麸炒樟帮枳壳炮制工艺 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(10): 8-10.
- [9] 赵清, 冯静, 崔桂华, 等. 中药僵蚕炮制工艺研究 [J]. 医学研究与教育, 2011, 28(6): 66-71.
- [10] 王苏玲, 卢金朝, 许益民, 等. 炮制对山药磷脂成分的影响 [J]. 中国中药杂志, 1993, 18(6): 340-341, 381.
- [11] 李莉, 张赛, 何强, 等. 响应面法在试验设计与优化中的应用 [J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(8): 41-45.
- [12] 宋艺君, 郭涛, 吕慧锋, 等. 响应面法优化甘草制款冬花微波炮制工艺 [J]. 中国药学杂志, 2020, 55(22): 1853-1860.
- [13] 赵重博, 王晶, 吴建华, 等. 响应面法优化秦皮产地加工与饮片炮制一体化工艺研究 [J]. 中草药, 2018, 49(20): 4753-4759.
- [14] 浙江省食品药品监督管理局. 浙江省中药饮片炮制规范 [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 附录 7.
- [15] 中国药典 [S]. 四部. 2015: 104, 374-376.
- [16] 沈昱翔. 丹参药材形态特征与其质量的相关性研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2011.
- [17] Karimi R, Azizi M H, Xu Q, et al. Enzymatic removal of starch and protein during the extraction of dietary fiber from barley bran [J]. *J Cereal Sci*, 2018, 83: 259-265.
- [18] Yang X W. Analysis of the chemical composition of *Angelicae Pubescentis Radix* by ultra-performance liquid chromatography and quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry [J]. *J Chin Pharm Sci*, 2019, 28(3): 145-159.
- [19] 赵文龙, 杨彦华, 贾天柱. 白术生、制品对脾虚大鼠血清 SS、GAS、CHE 的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(14): 212-215.
- [20] 杨武德, 李白玲, 冯靖. 山药及不同炮制品多糖含量分析 [J]. 贵阳中医学院学报, 2004, 26(3): 61.
- [21] 赵清, 秦桂芳, 桂雪虹, 等. 蜜麸炒僵蚕的质量标准研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(8): 120-125.

[责任编辑 郑礼胜]