

营养米糊膨化工艺及配方优化

东方¹, 王鑫², 李冉¹, 马苏蒙¹, 司泽慧¹, 徐春¹
(1.江苏食品药品职业技术学院 健康学院, 江苏 淮安 223003;
2.哈尔滨商业大学 食品工程学院, 哈尔滨 150076)

摘要: **目的** 为了拓展具有健脾安神功能的食品加工贮藏新形式, 研究营养米糊的膨化工艺及配方。**方法** 以粳米、莲子、山药、茯苓为主料, 在单因素考察的基础上, 选取主料含水率、机筒温度、螺杆转速为影响因素, 采用 Box-Behnken 设计优化主料挤压膨化工艺, 确定主料挤压膨化的最优工艺。以优化工艺制备的主料为基础原料, 利用正交设计优化龙眼粉、蔗糖、麦芽糊精添加量, 通过感官评价确定最优配方。**结果** 最终确定了主料最佳工艺, 主料含水率(质量分数)为 14%, 机筒温度为 160 °C, 螺杆转速为 160 r/min, 综合得分为 307.2, 表明优化方案可行。得到了最佳米糊配方, 在由粳米、莲子、山药、茯苓(质量比为 4:2:2:1)组成的 100 g 膨化主料中加入龙眼粉 15 g、蔗糖 10 g、麦芽糊精 15 g。**结论** 优化的米糊膨化工艺和配方合理可行。

关键词: 营养米糊; Box-Behnken 设计; 挤压膨化工艺; 正交设计

中图分类号: TS213.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)13-0040-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.006

Optimization of Extrusion Process and Formulation of Nutritional Rice Paste

DONG Fang¹, WANG Xin², LI Ran¹, MA Su-meng¹, SI Ze-hui¹, XU Chun¹

(1.College of Health Sciences, Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, Huai'an 223003, China;

2.College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT: The work aims to study the extrusion process and formulation of nutritional rice paste, so as to expand the new form of processing and storage of food with spleen strengthening and tranquilizing effect. With japonica rice, lotus seed, yam and poria cocos as main materials, water content of main materials, barrel temperature and screw speed were selected as influencing factors on the basis of single factor investigation. Box-Behnken design was used to optimize the extrusion process of main materials and determine the optimum extrusion process of main materials. With the main materials prepared by the optimum process as the basic materials, the orthogonal design was used to optimize the addition of longan powder, sucrose and maltodextrin. The optimum formulation was determined by sensory evaluation. Finally, the optimum process of the main materials was determined as follows: water content of main materials of 14%, barrel temperature of 160 °C, screw speed of 160 r/min and comprehensive score of 307.2. The results showed that the optimization scheme was feasible. The optimum formulation of rice paste was: adding 15 g longan powder, 10 g sucrose and 15 g maltodextrin into the 100 g extruded main materials that was composed of japonica rice, lotus seed, yam and tuckahoe (mass ratio of 4:2:2:1). The optimized process and formulation of rice paste were reasonable and feasible.

收稿日期: 2019-09-19

基金项目: 江苏省重大科技示范基金(BE2018678-3); 2018年江苏高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养计划; 江苏省大学生创新创业训练计划(201813104008Y); 江苏食品药品职业技术学院博士科研启动基金(3011600025)

作者简介: 东方(1984—), 男, 博士, 江苏食品药品职业技术学院讲师, 主要研究方向为功能性食品开发。

通信作者: 徐春(1975—), 女, 硕士, 江苏食品药品职业技术学院副教授, 主要研究方向为食品营养与健康。

KEY WORDS: nutritional rice paste; Box-Behnken design; extrusion process; orthogonal design

莲子、山药、茯苓、龙眼均为药食同源的食品，是理想的健脾安神佳品^[1]。莲子有补益脾肾、涩精止带、安神养心之功效^[2]，具有镇静、强心、降血糖、提高免疫力等作用^[3]。山药有养胃补脾、涩精止泻、益肺生津之效用^[4]，能改善消化功能，延缓衰老，调节免疫力^[5-6]。茯苓可以利水渗湿、健脾和胃、宁心安神^[7]，尤其适合心神不安、失眠多梦者^[8]，还有显著的抗肿瘤作用^[9]。龙眼具有长智补虚、益胃补脾、养血益肾、安神补心之功效^[10]，能改善记忆、镇静催眠^[11-13]。由于其营养丰富，莲子、山药、茯苓、龙眼若保存不当易造成吸潮腐烂、虫蛀霉变，因此亟需通过现代食品加工贮藏技术延长食品原料的保质期。

此外，随着生活节奏的加快和生活水平的提高，人们希望通过便捷食品补充营养的同时，也能达到食疗养生的效果。米糊既利于贮存也方便食用，更因口感细腻、易于消化等优点备受人们青睐^[14-16]。米糊可以采用膨化技术制备，挤压膨化技术是利用挤压机螺杆将物料向前推动并挤压，物料在此过程中受到高摩擦力和高剪切力等的联合作用而达到高压高温，出现膨化现象。此方法生产成本低、营养损失少、消化吸收率高、贮存方便^[17-19]。

文中首先选用粳米、莲子、山药、茯苓为米糊主料，利用挤压膨化技术，选取主料含水率（质量分数）、机筒温度、螺杆转速进行膨化单因素考察，并利用 Box-Behnken 设计进行米糊主料的挤压工艺响应面优化^[20-21]，确定主料挤压膨化的最佳工艺；最后利用正交设计优化米糊配方，获得健脾安神米糊。文中一方面开发具有健脾安神作用的功能性食品，以方便人们日常保健，改善睡眠；另一方面，探索食品加工贮藏的新形式，为类似产品开发和食品加工贮藏提供理论和实践参考。

1 实验

1.1 材料

主要材料：粳米，海安市天香米业有限公司；莲子，淮安市白马湖投资发展有限公司；山药，焦作市众源信诚商贸有限公司；茯苓，康美药业股份有限公司；龙眼肉，福建盛耳食品有限公司；麦芽糊精，山东西王糖业有限公司；蔗糖，南京信捷汇生物科技有限公司。

1.2 试剂

主要试剂：柠檬酸（食品级），潍坊英轩实业有限公司；硫酸、盐酸、氢氧化钠、硫代硫酸钠、碘（均为分析纯），国药集团化学试剂有限公司； α -1,4-葡萄

糖水水解酶，上海金穗生物科技有限公司。

1.3 仪器

主要仪器：800A 型多功能粉碎机，永康市红太阳机电有限公司；RN-32 型双螺杆挤压膨化机，济南霖奥机械设备有限公司；HG-9050A 型鼓风干燥箱，上海慧泰仪器制造有限公司；LD4 型台式离心机，常州金坛良友仪器有限公司；TA-1204 型电子天平，上海亚津电子科技有限公司；HH-2 型双孔水浴锅，常州金坛良友仪器有限公司。

2 方法

2.1 制备工艺及流程

将粳米、茯苓和龙眼肉筛除杂质，莲子去芯，山药去皮，然后用质量分数为 1% 的柠檬酸水浸泡护色。将上述材料洗净烘干，使含水率（即加入纯净水后，水在物料中所占的质量分数）降至 5%~6%，分别粉碎，过 100 目筛。将粳米、莲子、山药、茯苓按照质量比 4:2:2:1 混合，加入一定量的纯净水，双螺杆挤压膨化机膨化，调整机筒温度和螺杆转速，将膨化后的材料干燥后粉碎，过 100 目筛，得到主料粉。将龙眼粉、蔗糖和麦芽糊精按比例加入主料粉中混合均匀后干燥 40 min，制得健脾安神营养米糊。具体流程见图 1。

2.2 膨化工艺单因素考察

主料含水率单因素考察：在主料含水率为 10%~18%，机筒温度（一区温度）为 160 °C，螺杆转速为 130 r/min 的条件下对主料进行挤压膨化，然后进行主料粉的吸水率和糊化度。

机筒温度单因素考察：在主料含水率为 14%，机筒温度（一区温度）为 140~180 °C，螺杆转速为 130 r/min 的条件下对主料挤压膨化，然后测定主料粉的吸水率和糊化度。

螺杆转速单因素考察：在主料含水率为 14%，机筒温度（一区温度）为 160 °C，螺杆转速 130~170 r/min 条件下对主料挤压膨化，然后测定主料粉的吸水率和糊化度。

2.3 膨化工艺响应面优化

在单因素考察基础上，依据 Box-Behnken 原理，以综合得分（Y）为指标进行响应曲面优化^[22-23]。综合得分经加权处理计算得出，综合得分=吸水率×50%+糊化度×50%。具体内容见表 1。

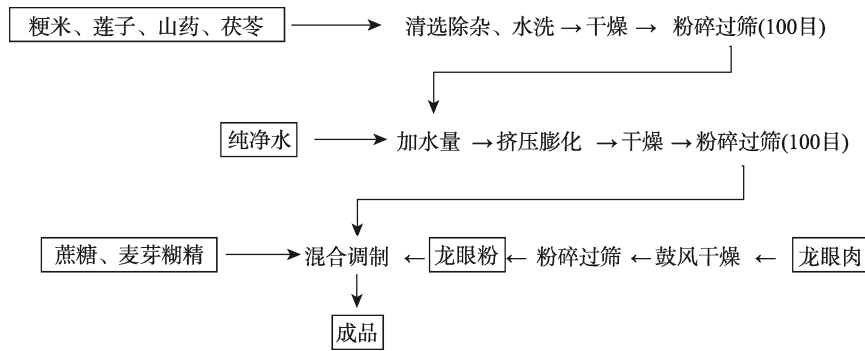


图1 健脾安神营养米糊制备工艺流程

Fig.1 Procedure for preparation of nutritional rice paste with spleen strengthening and tranquilizing effect

表1 主料膨化 Box-Behnken 设计因素和水平
Tab.1 Factors and levels of Box-Behnken design of main materials extrusion

水平	影响因素		
	主料含水率(质量分数) $X_1/\%$	机筒温度 $X_2/^\circ\text{C}$	螺杆转速 $X_3/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$
-1	12	150	140
0	14	160	150
+1	16	170	160

2.4 米糊配方单因素考察

龙眼粉添加量单因素考察：在 100 g 膨化主料粉中分别添加龙眼粉 5~25 g, 蔗糖 10 g, 麦芽糊精 10 g, 混匀得到米糊粉, 通过感官评定标准评定品质。

蔗糖添加量单因素考察：在 100 g 膨化主料粉中分别添加龙眼粉 15 g, 蔗糖 5~25 g, 麦芽糊精 10 g, 混匀得到米糊粉, 通过感官评定标准评定品质。

麦芽糊精添加量单因素考察：在 100 g 膨化主料粉中分别添加龙眼粉 15 g, 蔗糖 10 g, 麦芽糊精 5~25 g, 混匀得到米糊粉, 通过感官评定标准评定品质。

2.5 米糊配方正交优化

根据单因素分析结果, 选取龙眼粉、蔗糖、麦芽糊精添加量 3 个主要因素正交实验, 通过感官评定确定米糊配方的最佳配比, 主要因素和水平见表 2。

表2 米糊配方正交设计因素和水平
Tab.2 Factors and levels of orthogonal design of rice paste formulation

水平	影响因素(质量)/g		
	龙眼粉 A	蔗糖 B	麦芽糊精 C
1	10	5	5
2	15	10	10
3	20	15	15

2.6 评价指标测定

2.6.1 吸水率测定

称取 2 g 膨化主料粉装入已标识重量的离心管中, 精密称定, 加入 30 mL 纯净水混匀后, 30 °C 水浴 40 min, 旋转振荡, 在转速 3500 r/min 下离心 15 min, 去除上清液, 按式(1)计算吸水率^[14]。

$$\text{吸水率} = [(m_2 - m_1) / m_0] \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_0 为膨化主料质量 (g); m_1 为离心管质量 (g); m_2 为离心后膨化主料沉淀和离心管总质量 (g)。

2.6.2 糊化度测定

称取 2 份过 100 目筛的主料粉 1 g, 精密称定, 分别倒入 1[#], 2[#]锥形瓶中, 0[#]锥形瓶作为空白对照, 不加入主料粉。各锥形瓶中加入 50 mL 纯净水, 混匀。1[#]样品煮沸糊化 20 min。各锥形瓶分别加入 10 mg α -1,4-葡萄糖水解酶, 50 °C 下水浴水解 1 h 后加入浓度为 1 mol/L 的 HCl 溶液 2 mL 中, 纯净水定容至 100 mL。分别精密吸取供试品液 10 mL 至碘量瓶中, 加入浓度为 0.05 mol/L 碘液 10 mL, 浓度为 0.1 mol/L NaOH 溶液 18 mL, 15 min 后加入 2 mL 质量分数为 10% 的 H₂SO₄ 溶液, 浓度为 0.05 mol/L 的 Na₂S₂O₃ 标准溶液滴至无色。根据式(2)计算糊化度^[14]。

$$\text{糊化度} = [(V_0 - V_1) / (V_0 - V_2)] \times 100\% \quad (2)$$

式中: V_0 为 0[#]锥形瓶消耗 Na₂S₂O₃ 溶液的体积 (mL); V_1 为 1[#]锥形瓶消耗 Na₂S₂O₃ 溶液的体积 (mL); V_2 为 2[#]锥形瓶消耗 Na₂S₂O₃ 溶液的体积 (mL)。

2.6.3 米糊感官评定标准

由 15 名有品评经验的人员组成鉴定小组, 从气味、色泽、口感、冲调等 4 个方面对米糊粉进行感官质量评定, 感官评价评分细则见表 3。

表 3 感官评分标准
Tab.3 Sensory scoring criteria

评分标准	好	较好	良好	中等及以下
色泽(20分)	色泽呈均一的乳白色,无杂色, 18~20分	色泽均一略暗,微黄,无杂色, 14~17分	色泽发暗,微黄,有少量杂色, 10~13分	色泽不均一,发暗,有杂色, <10分
气味(20分)	浓郁的米香莲子香,龙眼香气明显, 18~20分	清雅的米香莲子香,有龙眼香气, 14~17分	米香莲子香,龙眼香气淡, 10~13分	米香莲子香偏淡,有焦味, <10分
口感(30分)	粘度适宜,口感润滑细腻, 25~30分	粘度适中,口感润滑, 20~24分	粘度略稠或略稀,口感略粗糙, 15~19分	粘度不适口,口感粗糙不均一, <15分
冲调(30分)	溶解性、流动性好,无结团和分层现象,粘度适中, 25~30分	溶解性、流动性较好,略有结团或分层现象, 20~24分	溶解性、流动性一般,有结团或分层现象, 15~19分	溶解性、流动性差,有明显结团或分层现象, <15分

3 结果与分析

3.1 主料膨化工艺单因素考察结果

3.1.1 主料含水率对膨化后主料吸水率和糊化度的影响

由图 2 所知,在主料含水率为 10%~14%的范围内,主料的吸水率呈逐渐下降,糊化率呈上升趋势,当主料含水率继续增加,吸水率和糊化度均呈下降趋势。这主要是由于主料中的淀粉颗粒润湿后在挤压膨化过程中膨胀破裂发生糊化反应,使得主料中水溶性物质增加,吸水能力降低,从而造成吸水率下降及糊化度增加;当主料含水率超过 14%,水的润滑作用增大,使得主料与螺杆间的剪切力减小,导致主料受到的挤压力减少,主料粘度降低,进而糊化度下降^[24]。综合实验效果,主料含水率为 14%时,主料的吸水率和糊化度较理想。

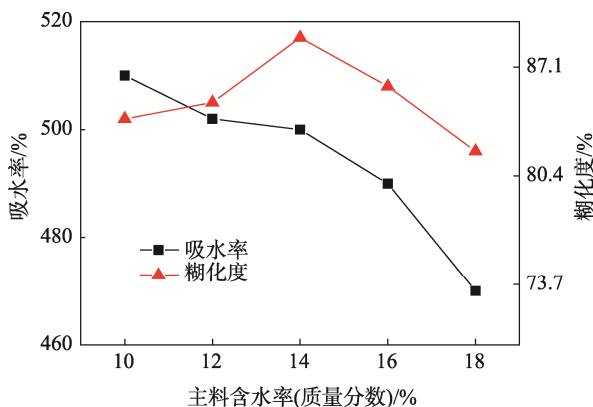


图 2 主料含水率对吸水率和糊化度的影响

Fig.2 Effect of water content of the main materials on water absorption and gelatinization

3.1.2 机筒温度对膨化后主料吸水率和糊化度的影响

由图 3 可知,在 140~160 °C 的机筒温度条件下,主料的吸水率呈上升趋势,当温度继续升高,吸水率

呈下降趋势,这是因为随着机筒温度增加,使得水分获得的动能增加,挥发加快,当超过 160 °C 时,过高的温度造成主料表面焦糊干扰内部水分蒸发,导致吸水率下降。在 140~180 °C 的机筒温度条件下,主料的糊化度总体呈先降后升趋势,这是由于适当地增加温度有利于主料的淀粉、蛋白质等分子键断裂,淀粉颗粒膨胀破裂,糊化度增加,当温度过高时,水分过度挥发,造成糊化度下降^[25]。综合实验效果,机筒温度控制在 160 °C 时,主料的吸水率和糊化度较理想。

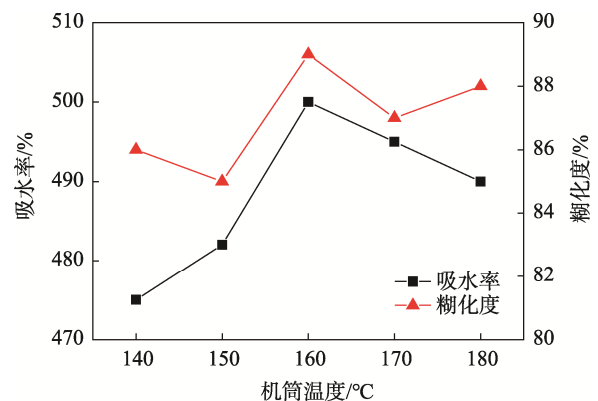


图 3 机筒温度对主料吸水率和糊化度的影响

Fig.3 Effect of barrel temperature on water absorption and gelatinization of main materials

3.1.3 螺杆转速对膨化后主料吸水率和糊化度的影响

由图 4 可知,在 130~150 r/min 转速条件下,主料的吸水率呈上升趋势,当转速继续升高,吸水率呈缓慢下降趋势;在螺杆转速为 130~150 r/min 时,主料的糊化度缓慢上升,当转速继续升高,糊化度呈明显下降趋势。主要原因是螺杆转速逐渐增加使得剪切力增加,从而使吸水率和糊化度增加;而当转速过快,使得主料在机筒内停留时间减少,为充分挥发水分从而使吸水率和糊化度降低^[26]。综合实验效果,转速控制在 150 r/min 时,主料的吸水率和糊化度较理想。

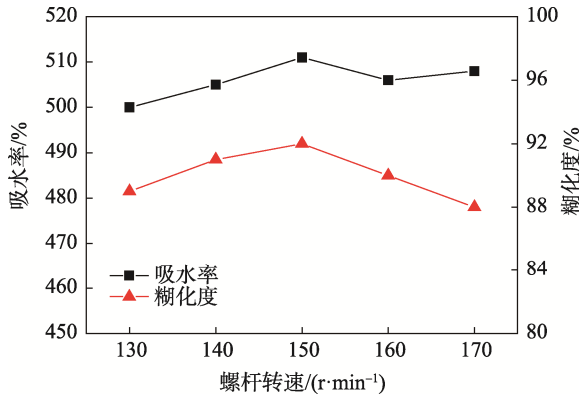


图4 螺杆转速对吸水率和糊化度的影响
Fig.4 Effect of screw speed on water absorption and gelatinization

3.2 主料膨化工艺响应面优化结果

主料膨化的响应曲面优化方案及结果见表4。

表4 主料膨化的 Box-Behnken 设计及结果
Tab.4 Box-Behnken design and results of main materials extrusion

编号	因素及水平			吸水率/%	糊化度/%	综合得分
	X ₁ /%	X ₂ /°C	X ₃ /(r·min ⁻¹)			
1	-1	-1	0	484.6	87.1	285.9
2	1	-1	0	465.4	81.9	273.7
3	-1	1	0	486.3	82.9	284.6
4	1	1	0	486.1	86.1	286.1
5	-1	0	-1	491.5	89.5	290.5
6	1	0	-1	484.4	88.1	286.3
7	-1	0	1	497.9	90.6	295.4
8	1	0	1	496	91.2	293.6
9	0	-1	-1	489.7	83.4	286.6
10	0	1	-1	510	88.1	298.1
11	0	-1	1	505.4	87.9	296.7
12	0	1	1	512.1	84.9	298.5
13	0	0	0	517.2	85.8	301.5
14	0	0	0	515.6	88.9	302.3
15	0	0	0	515.1	88.4	301.8
16	0	0	0	514.7	90.4	302.6
17	0	0	0	512.1	91.1	301.6

通过回归分析，得到了主料膨化回归方程：

$$Y=301.96-2.09X_1+3.05X_2+2.84X_3+3.42X_1X_2+0.60X_1X_3-2.42X_2X_3-11.46X_1^2-7.93X_2^2+0.95X_3^2$$

由表5可知，模型 $P<0.0001$ ，失拟项 $P>0.05$ ，说明回归模型拟合程度高。 R^2 为 0.9905，表明实测值

和预测值间有较高的拟合度，可用于主料膨化的预测。其中，一次项 X_1, X_2, X_3 ，二次项 X_1^2, X_2^2 和交互项 X_1X_2, X_2X_3 影响极显著， X_3^2 影响显著， X_1X_3 影响不显著。由 F 值大小可知，影响因素的次要顺序为机筒温度>螺杆转速>主料含水率（质量分数）。

表5 回归模型分析
Tab.5 Regression model analysis

参数	平方和	自由度	均方	标准偏差	F 值	P 值
X ₁	34.86	1	34.86	0.29	52.83	0.0002**
X ₂	74.42	1	74.42	0.29	122.77	<0.0001**
X ₃	64.41	1	64.41	0.29	97.60	<0.0001**
X ₁ X ₂	46.92	1	46.92	0.41	71.10	<0.0001**
X ₁ X ₃	1.44	1	1.44	0.41	2.18	0.1831
X ₂ X ₃	23.52	1	23.52	0.41	35.64	0.0006**
X ₁ ²	552.49	1	552.49	0.40	837.20	<0.0001**
X ₂ ²	264.78	1	264.78	0.40	401.22	<0.0001**
X ₃ ²	3.76	1	3.76	0.40	5.70	0.0484*
模型	1105.57	9	122.84	—	186.14	<0.0001**
残差	4.62	7	0.66	—	—	—
失拟项	3.73	3	1.24	—	5.57	0.0652
净误差	0.89	4	0.22	—	—	—
总和	1110.18	16	—	—	—	—

注： $R^2=99.58$ ，校正 $R^2=99.05$ ，变异系数为 0.28，信噪比为 44.856；* $P<0.05$ 表示影响显著；** $P<0.01$ 表示影响极显著

从图5可知，主料含水率与机筒温度、机筒温度与螺杆转速的交互作用对主料膨化影响最显著。

3.3 主料膨化方案的确定和验证

模型分析给出了最优主料膨化方案：主料含水率为 13.88%，机筒温度为 160.25 °C，螺杆转速为 160 r/min，综合得分为 305.8。为了验证模型的准确性，将主料膨化方案改为：主料含水率为 14%，机筒温度为 160 °C，螺杆转速为 160 r/min，在此方案综合得分为 307.2。此结果与理论预测值非常接近，表明优化方案可行，模型准确可靠。

3.4 米糊配方单因素考察结果

3.4.1 龙眼粉添加量对米糊配方品质评定的影响

龙眼粉添加量对米糊感官评价的影响见图6。由图6可见，随着龙眼粉添加量的增加，米糊的龙眼味明显增加，继续添加龙眼粉，米糊的粘度逐渐增加，吸湿结块，冲调性下降。经综合考虑得出，龙眼粉添加量在 10~20 g 范围内较合适。

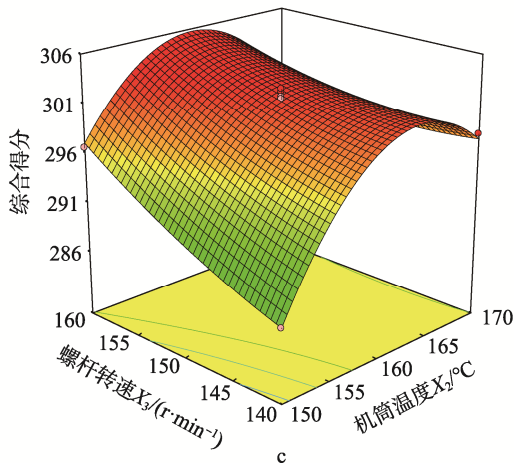
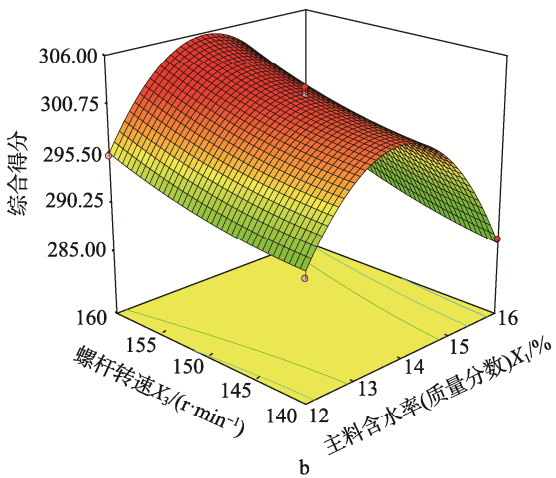
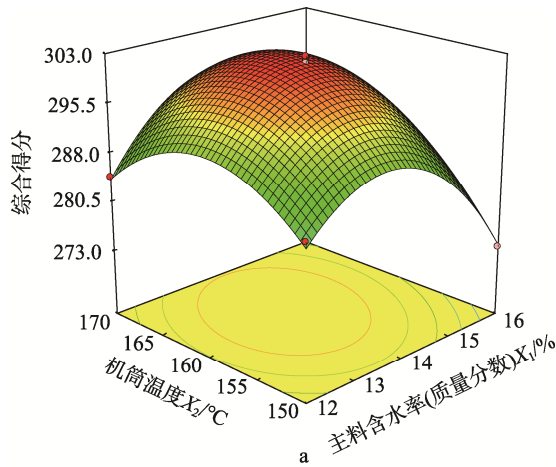


图 5 各影响因素之间的交互作用对综合得分的影响
Fig.5 Effect of the interaction between the factors on the comprehensive score

3.4.2 蔗糖添加量对米糊配方品质评定的影响

蔗糖添加量对米糊感官评价的影响见图 7。由图 7 可见，随着蔗糖的增加，米糊的甜味明显增加，随着蔗糖继续增加，甜味过高，评分逐渐下降，综合考虑热量等综合因素，蔗糖添加量在 5~15 g 范围内较合适。

3.4.3 麦芽糊精添加量对米糊配方品质评定的影响

麦芽糊精添加量对米糊感官评价的影响见图 8。

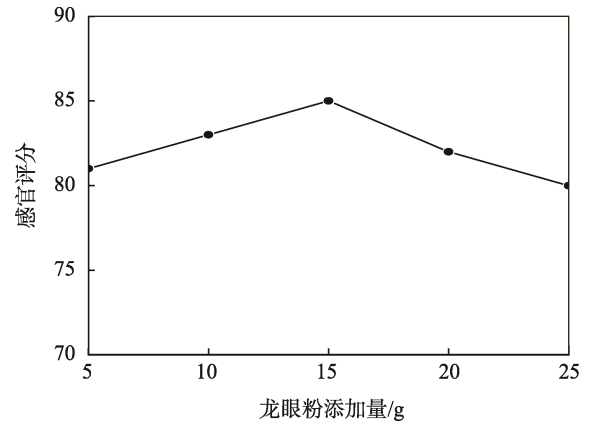


图 6 龙眼粉添加量对米糊感官评价的影响
Fig.6 Effect of longan powder addition on sensory evaluation of rice paste

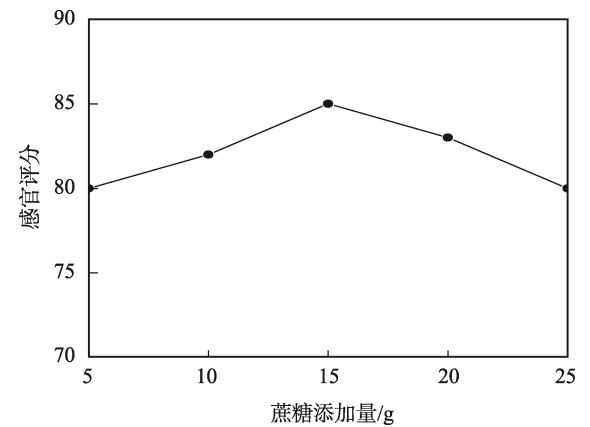


图 7 蔗糖添加量对米糊感官评价的影响
Fig.7 Effect of sucrose addition on sensory evaluation of rice paste

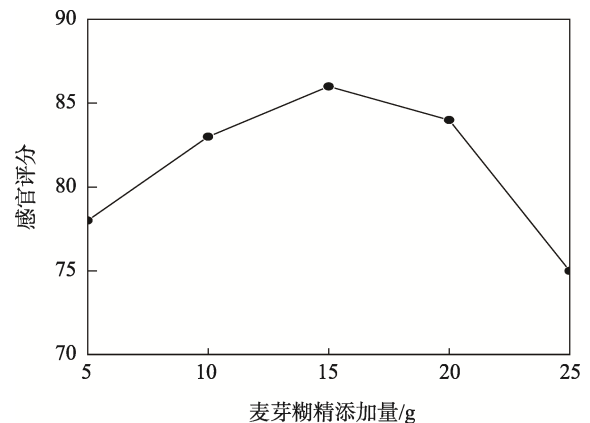


图 8 麦芽糊精添加量对米糊感官评价的影响
Fig.8 Effect of maltodextrin addition on sensory evaluation of rice paste

由图 8 可见，随着麦芽糊精的增多，米糊的口感润滑度明显增加，随着麦芽糊精继续增加，特别是添加量超过 15 g 以后，米糊的粘度逐渐增加，口感黏腻，评分明显下降，综合考虑，麦芽糊精添加量在 5~15 g 以内较合适。

3.5 米糊配方正交优化结果分析

通过表6可以分析出,龙眼粉、蔗糖、麦芽糊精对米糊感官质量的影响大小依次是 $A>B>C$,其主要影响因素是龙眼粉添加量,其次是蔗糖、麦芽糊精添加量,最佳条件为 $A_2B_2C_3$,即100g主料粉中,龙眼粉添加量为15g,蔗糖添加量为10g,麦芽糊精添加量为15g。

表6 米糊配方正交优化结果
Tab.6 Orthogonal optimization results of rice paste formulation

实验 编号	添加量			评分
	龙眼粉 A/g	蔗糖 B/g	麦芽糊精 C/g	
1	10	5	5	78.2
2	10	10	10	80.4
3	10	15	15	79.3
4	15	5	10	83.6
5	15	10	15	88.4
6	15	15	5	81.8
7	20	5	15	79.5
8	20	10	5	81.4
9	20	15	10	82.2
K_1	79.3	80.4	80.5	
K_2	83.6	83.4	82.1	
K_3	81.0	81.1	82.8	
R	4.3	3.0	2.3	

4 结语

通过单因素及响应面法优化了主料粉挤压膨化工艺:主料含水率(质量分数)为14%,机筒温度为160℃,螺杆转速为160 r/min,综合得分为307.2。此结果与理论预测值非常接近,表明优化方案可行,模型准确可靠。以膨化后的主料粉为基料,设计优化龙眼粉、蔗糖、麦芽糊精配比,最佳配方为:100g膨化主料粉中加入龙眼粉15g,蔗糖10g,麦芽糊精15g。在优化健脾安神米糊的制备工艺的基础上,为进一步延长产品保质期,后续将继续开展健脾安神米糊贮藏技术及工艺的研究。

参考文献:

[1] 孙伏嘉. 药食同源饮食对心脾两虚型不寐患者的影响[D]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2017: 21—22.
SUN Fu-jia. The Homology of Medicine and Food Af-

fects the Quality of Life Patients the Heart and Spleen Two Deficiency Insomnia[D]. Harbin: Heilongjiang University of Chinese Medicine, 2017: 21—22.

- [2] 安昌, 陈鸣, 蔡杏粟, 等. 莲子的本草考证[J]. 中药材, 2018, 41(10): 2457—2461.
AN Chang, CHEN Ming, CAI Ta-li, et al. Textual Research on the Herbs of Lotus Seeds[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2018, 41(10): 2457—2461.
- [3] ZHU M, LIU T, ZHANG C. Flavonoids of Lotus (Nelumbo Nucifera) Seed Embryos and Their Antioxidant Potential[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(8): 1834—1841.
- [4] 侯婧霞, 丁厚伟, 朱星宇, 等. 不同加工工艺山药药效对比研究[J]. 中药材, 2019, 42(1): 74—77.
HOU Jing-xia, DING Hou-wei, ZHU Xing-yu, et al. Comparative Study on Pharmacodynamics of Dioscoreae Rhizoma with Different Processing Techniques[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2019, 42(1): 74—77.
- [5] NIU X, HE Z, LI W, et al. Immunomodulatory Activity of the Glycoprotein Isolated from the Chinese Yam (Dioscorea Opposita Thunb)[J]. Phytotherapy Research, 2017, 31(10): 1557—1563.
- [6] CHEN Y F, ZHU Q, WU S. Preparation of Oligosaccharides from Chinese Yam and Their Antioxidant Activity[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 1107—1110.
- [7] 陈卫东, 彭慧, 王妍妍, 等. 茯苓药材的历史沿革与变迁[J]. 中草药, 2017, 48(23): 5032—5038.
CHEN Wei-dong, PENG Hui, WANG Yan-yan, et al. Historical Evolution and Changes of Poria Cocos[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(23): 5032—5038.
- [8] 姚晓晴. 双五茯苓膏的安全性及改善睡眠功能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 8—9.
YAO Xiao-qing. Study on the Safety and Improving Sleep Function of the Double Five Poria Cream[D]. Changchun: Jilin University, 2017: 8—9.
- [9] 王灿红, 霍小位, 何晓山, 等. 羧甲基茯苓多糖对肠癌小鼠生命延长及对环磷酰胺的减毒作用[J]. 食品科学, 2016, 37(21): 229—233.
WANG Can-hong, HUO Xiao-wei, HE Xiao-shan, et al. Effect of Carboxymethyl Pachyman on Life Extension and Attenuation of Cyclophosphamide-induced Toxicity in CT26 Tumor-bearing Mice[J]. Food Science, 2016, 37(21): 229—233.
- [10] 黄建蓉, 李琳, 李冰. 龙眼肉生理功效和活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2007(3): 221—224.
HUANG Jian-rong, LI Lin, LI Bing. Research Progress on Physiological Efficiency and Active Components of Longan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007(3): 221—224.
- [11] 白亚娟, 刘磊, 张瑞芬, 等. 龙眼果肉提取物改善东莨菪碱诱导小鼠学习记忆功能[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4203—4213.

- BAI Ya-juan, LIU Lei, ZHANG Rui-fen, et al. Longan Pulp Extracts Ameliorate Scopolamine-induced Learning and Memory of Impairment Mice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(21): 4203—4213.
- [12] 冉玉兵, 刘磊, 张瑞芬, 等. 龙眼果肉提取物改善 SAMP8 小鼠学习记忆功能[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(6): 1—8.
- RAN Yu-bing, LIU Lei, ZHANG Rui-fen, et al. Ameliorative Effect of Longan Pulp Extracts on the Learning and Memory Deficits in SAMP8 Mice[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(6): 1—8.
- [13] 朱建平, 谢梦洲, 邓文祥, 等. 桂圆酒对小鼠镇静催眠作用的实验研究[J]. *深圳中西医结合杂志*, 2016, 26(20): 6—8.
- ZHU Jian-ping, XIE Meng-zhou, DENG Wen-xiang, et al. Experimental Study on Guiyuan Wine Sedative Hypnotic Action on Mice[J]. *Shenzhen Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2016, 26(20): 6—8.
- [14] 李检, 王浩, 刘璇, 等. 蓝莓速溶米糊的工艺与配方研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(19): 93—98.
- LI Jian, WANG Hao, LIU Xuan, et al. Study on the Technology and Formula of Blueberry Instant Rice Paste[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(19): 93—98.
- [15] 石红. 谷基配方营养米粉酶法工艺关键技术及模拟消化分析[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2017: 1—7.
- SHI Hong. Study on Key Technologies and Simulated Digestion of Cereal-Based Formula Nutrition Rice Flour[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2017: 1—7.
- [16] 李新华, 姜金宏, 祁琨杰. 碎米和米糠制备营养米糊的工艺与配方研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2012, 43(1): 72—75.
- LI Xin-hua, JIANG Jin-hong, QI Kun-jie. Technical Measures for Using Broken Rice and Rice Bran to Make Nutrient Rice Paste[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2012, 43(1): 72—75.
- [17] 刘霏莎, 白永亮, 李敏, 等. 青稞粉挤压膨化工艺优化、品质研究及产品开发[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(15): 118—123.
- LIU Ai-sha, BAI Yong-liang, LI Min, et al. Process Optimization, Quality Research and Product Development of Extrusion on Barley Powder[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(15): 118—123.
- [18] KALLU S, KOWALSKI R J, GANJYAL G M. Impacts of Cellulose Fiber Particle Size and Starch Type on Expansion during Extrusion Processing[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(7): 1647—1656.
- [19] 刘兴丽, 赵双丽, 靳艳军, 等. 挤压膨化紫薯粉对小麦面团糊化特性和热机械学特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(15): 106—111.
- LIU Xing-li, ZHAO Shuang-li, JIN Yan-jun, et al. Effect of Extruded Purple Sweet Potato Flour on the Pasting and Thermomechanical Properties of Wheat Dough[J]. *Food Science*, 2019, 40(15): 106—111.
- [20] ZHANG X, GU C M, AHMAD B, et al. Optimization of Extract Method for *Cynomorium Songaricum* Rupr by Response Surface Methodology[J]. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2017, 6(12): 1—7.
- [21] 梁佳钰, 杨春莉, 车丹, 等. 响应曲面法橄榄油微胶囊化工艺优化研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(7): 11—18.
- LIANG Jia-yu, YANG Chun-li, CHE Dan, et al. Optimization of Microencapsulation of Olive Oil by Response Surface Methodology[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(7): 11—18.
- [22] MARTÍN-GARCÍ B, PASINI F, VERARDO V, et al. Optimization of Sonotrode Ultrasonic-assisted Extraction of Proanthocyanidins from Brewers' Spent Grains[J]. *Antioxidants*, 2019, 8: 282.
- [23] 刁岩, 陈斌, 王蕊, 等. 响应面法优化松多酚微粒制备工艺[J]. *食品科学*, 2019, 40(6): 281—288.
- DIAO Yan, CHEN Bin, WANG Rui, et al. Optimization of Preparation Process for Pinecone Polyphenol Microparticles by Response Surface Methodology[J]. *Food Science*, 2019, 40(6): 281—288.
- [24] 王庆, 张光, 杨春华, 等. 挤压膨化对大米粉糊化度及蛋白质体外消化率的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(7): 230—234.
- WANG Qing, ZHANG Guang, YANG Chun-hua, et al. Effect of Extrusion on Gelatinization Degree and Protein Digestibility of Rice Flour[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(7): 230—234.
- [25] 李晟, 许秀颖, 李浩, 等. 杂粮营养粉挤压工艺优化及加工特性研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(8): 87—92.
- LI Sheng, XU Xiu-ying, LI Hao, et al. A Coarse Grain Nutrition Powder of Twin-screw Extrusion Research[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(8): 87—92.
- [26] 韩文凤, 林晓丽, 吕广英, 等. 复合膨化早餐粉加工关键工艺技术研究[J]. *粮食加工*, 2017, 42(2): 39—44.
- HAN Wen-feng, LIN Xiao-li, LYU Guang-ying, et al. Study on the Key Processing Technology of Compound Extruded Breakfast Powder[J]. *Grain Processing*, 2017, 42(2): 39—44.