

# 紫薯全粉面条的制备及其品质影响研究

范会平<sup>1,2</sup>, 李菲菲<sup>1</sup>, 符锋<sup>3</sup>, 许梦言<sup>1</sup>, 艾志录<sup>1,2</sup>

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002)(2. 农业部大宗粮食加工重点实验室, 河南郑州 450002)

(3. 河南省粮油饲料产品质量监督检验中心, 河南郑州 450000)

**摘要:** 为了研究高占比紫薯全粉面条的最佳制作条件, 在单因素实验的基础上, 选择紫薯全粉添加量、谷朊粉添加量、食盐添加量为自变量, 紫薯全粉面条的熟断条率、感官评分为评价指标, 利用 Box-Behnken 中心组合原理设计 3 因素 3 水平实验, 研究各自变量交互作用及其对紫薯全粉面条品质的影响。实验结果表明, 高占比紫薯全粉面条的最佳工艺条件为: 紫薯全粉与小麦粉的比例为 44:56、谷朊粉添加量为 7.0%、食盐添加量 1.6%。在此条件下紫薯全粉面条的熟断条率为 0.42%, 感官评分为 84.08。经中试验证, 此工艺可规模化生产。

**关键词:** 紫薯全粉; 面条; 品质影响; 优化

文章编号: 1673-9078(2019)05-151-158

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.5.022

## Process Optimization of Purple Sweet Potato Noodle

FAN Hui-ping<sup>1,2</sup>, LI Fei-fei<sup>1</sup>, FU Feng<sup>3</sup>, XU Meng-yan<sup>1</sup>, AI Zhi-lu<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China)

(2. Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China)

(3. Henan Center for Supervision & Inspection of Grain, Oil and Feed Product Quality, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** The purple potato powder content, gluten content and salt content were chosen as independent variables, the broken rate and sensory score of the cooked purple potato noodles were used as evaluation index, the best production conditions for high proportion of purple potato noodles were studied. The three-factor and three-level experiments were designed using Box-Behnken center combination principle to study the interaction of each variable and its effect on the quality of purple sweet potato noodles. The experimental results showed that the optimal processing conditions of purple sweet potato noodles were as follows: The ratio of whole purple sweet potato powder to wheat flour was 44:56, the amount of wheat gluten added was 7.0%, and the amount of salt added was 1.6%. Under these conditions, the broken rate of the cooked purple sweet potato noodles was 0.42%, and the sensory score was 84.08. According to the pilot test, this process can be scaled up.

**Key words:** purple potato whole powder; noodles; quality impact; optimization

紫薯富含花青素、硒元素、膳食纤维等营养物质, 它具有抗氧化、抗突变、减轻肝机能障碍、预防心血管疾病等作用<sup>[1]</sup>。紫薯全粉在加工过程中最大限度保留了紫薯原有的营养、色泽、风味, 保健功能成分损失率极低, 利用率可达 85%以上。将其作为辅料或添加剂添加到一些加工性食品中, 既保留了紫薯的风味和口感, 又增加了产品的感官特色<sup>[2]</sup>。既解决新鲜紫薯不易保存的难题, 同时最大限度地保持了紫薯营养的完整性。

传统的紫薯面条生产多是加入少量紫薯全粉, 或

收稿日期: 2018-12-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0401303)

作者简介: 范会平 (1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏、功能活性成分开发与应用

通讯作者: 艾志录 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品精深加工

将紫薯泥直接加入到小麦粉中, 李雅芳等<sup>[3]</sup>研究了紫薯全粉与小麦粉比例为 8:100 的挤压生产风味食品, 潘润淑等<sup>[4]</sup>研究了紫薯全粉比小麦粉为 20:80 的紫甘薯面条, 王坤<sup>[5]</sup>在用紫薯全粉比小麦粉为 15:85 的混合粉制备紫薯面条, 以上研究均是基于紫薯全粉添加比例较低条件下制作的甘薯面条。在面条压延的过程中, 面筋网络会将面粉中的淀粉颗粒包裹起来, 形成结构更加稳固的面筋网络体, 使面片具有一定的强度和韧性。但由于紫薯全粉不含有能够形成面筋网络结构的面筋蛋白, 紫薯全粉面条中加入部分紫薯全粉后使面筋蛋白被稀释, 加水搅拌成面团后黏性很大、没有筋性, 所以制作的紫薯面条特别是高占比甘薯面条易出现浑汤、熟断条率高等现象, 造成面条品质的下降。本研究将紫薯全粉的添加量提高至 35%~55%, 并通过在制作过程中加入谷朊粉和食盐来改善紫薯全粉面条的品质, 研究高占比紫薯全粉面条的生产工艺

配方及其品质,为进一步开发甘薯全粉主食产品,推进甘薯主食化进程提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

紫薯全粉:由河南天豫薯业股份有限公司提供;小麦粉:特一粉,由金苑面业有限公司提供;谷朊粉:新乡封丘粉业;食盐:食用级,卫群牌,超市零售。

### 1.2 仪器与设备

TA-XA PLUS 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;DMT-5 型电动面条机,山东龙口复兴机械有限公司;B5A 变频调速搅拌机,广州威尔宝酒店设备有限公司;DHG-9245A 鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;DFD-III 多福多面条生产线,河南兴泰科技实业有限公司。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 紫薯全粉面条制作

称量→和面→醒面→压延→切条

准确称量紫薯全粉、小麦粉共 100 g (二者按实验设定比例混合),谷朊粉 0~10 g,食盐 0~2.5 g,将称量好的原辅料混合均匀置于和面机中,加入占混合粉比例为 34%、30℃~40℃的蒸馏水,置于和面机中搅拌 2 min,将上述食材均匀混合为面絮。将制成的面絮用保鲜膜封口,醒面 20 min,将面絮进行压延,轧距为 5 档,反复压延 6 次至面片组织细密、表面光滑,最终制成厚 1 mm,宽 3 mm,长 220 mm 的面条备用。

### 1.3.2 紫薯全粉面条感官评价

组建 10 人评定小组进行感官评价。评价方法如下:取适量面条成品,放入干净容器内,观察产品颜色,并品尝其口感。感官评分细则如表 1 所示。

表 1 紫薯全粉面条的感官评定标准

Table 1 The sensory evaluation criteria for purple potato noodles

项目	描述	满分	评分标准	得分
颜色	指面条的颜色和亮度。	20	面条紫色,光亮	18~20 分
			亮度一般	15~17 分
			色发暗,发灰,亮度差	1~14 分
表现状态	指紫薯面条表面光滑和膨胀程度。	10	表面结构比较光滑、细密	8.5~10 分
			中间	6.0~8.4 分
			表面粗糙、膨胀、变形严重	1~5.9 分
适口性	用牙咬断一根面条所需力的大小。	20	力适中,适口性好	17~20 分
			稍偏硬或软	12~16 分
			太硬或太软	1~11 分
黏弹性	指在咀嚼过程中,面条粘牙程度。	30	有咬劲,富有弹性	25~30 分
			一般	20~24 分
			咬劲差或弹性不足	1~19 分
滑腻性	指在品尝面条时口感的光滑程度。	15	口感滑腻	10~15 分
			中间	7~9 分
			光滑程度差	1~6 分
食味	指品尝面条时的味道。	5	具有紫薯清香味	4~5 分
			基本无薯香味	2~3 分
			有异味	1 分

### 1.3.3 熟断条率

参照梁卓然<sup>[6]</sup>的方法,结合产品实际情况略有改动。从制作好的湿面条中取出长度相等的 40 根,放入盛有 500 mL 沸水的不锈钢锅中煮 4 min,观察面条有不断条,记录断条根数,根据下式进行计算:

$$\text{熟断条率} = \frac{N}{40} \times 100\%$$

式中: N 为断条根数。每组样品测定 5 次,实验结果取平均值。

### 1.3.4 蒸煮损失率

称取 3 根质量为  $M_1$  (含水量为  $M\%$ ) 左右的湿面条,在 500 mL 已煮沸的蒸馏水中煮 4 min,捞出面条,待面汤冷却至室温后转移至 500 mL 容量瓶中,定容混匀,转移至烧杯,放入 105℃烘箱中烘至恒重,测

得固形物含量(W),则面汤中固形物含量与面条干基的比值即为烹煮损失<sup>[7]</sup>。

计算公式:

$$\text{烹煮损失率} = \frac{W}{M_1 \times (1 - M)} \times 100\%$$

式中: M-紫薯全粉面水分含量, %;  $M_1$ -湿面条质量, g; W-固形物含量, g。

每组样品测定 5 次, 实验结果取平均值。

### 1.3.5 质构的测定

称取 200 g 面条放入 600 mL 沸水中煮 4 min 后, 捞入 4 °C 左右蒸馏水中冷却 10 s, 用漏勺捞出沥水 1 min, 用质构仪测定。每组样品测定 7 次<sup>[8]</sup>。

TPA 试验参数: 采用 P50 探头; 测前速度为 2.0 mm/s, 测试速度为 0.8 mm/s, 测后速度为 0.8 mm/s, 形变量为 70%, 触发力为 0.05 N<sup>[9]</sup>。

剪切试验参数: 探头 A/SFR, 测前速度 2.0 mm/s, 测试速度 0.8 mm/s, 测后速度 0.8 mm/s, 压缩比 90%, 触发力 5 g<sup>[10]</sup>。

拉伸试验参数: 探头 A/SPR, 测前速度 2.0 mm/s, 测试速度 2.0 mm/s, 测后速度 10.0 mm/s, 距离 100 mm, 触发力 5 g。

## 1.4 实验设计

### 1.4.1 原料添加量对紫薯全粉面条品质的影响

#### 1.4.1.1 紫薯全粉与小麦粉的添加比例对紫薯全粉面条品质的影响

在谷朊粉添加量为 6%、食盐添加量为 1.5%的条件下, 考察紫薯全粉与小麦粉比例分别为 0:100、35:65、40:60、45:55、50:50、55:45 对紫薯全粉面条品质的影响。

#### 1.4.1.2 谷朊粉添加量对紫薯全粉面条品质的影响

在紫薯全粉与小麦粉比例为 45:55、食盐添加量为 1.5%的条件下, 考察谷朊粉添加量分别为 0%、2%、4%、6%、8%、10%对紫薯全粉面条品质的影响。

#### 1.4.1.3 食盐添加量对紫薯全粉面条品质的影响

在紫薯全粉与小麦粉比例为 45:55、谷朊粉添加 6%条件下, 考察食盐添加量分别为 0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%对紫薯全粉面条品质的影响<sup>[11]</sup>。

### 1.4.2 响应面设计

综合单因素试验结果, 根据 Box-Behnken 中心组合设计原理, 采用响应面分析法, 通过回归得出自变量与响应函数之间的统计模型<sup>[12]</sup>。

## 1.5 中试试验

在实验室试验基础上, 扩大 500 倍生产, 比较实

验室小规模品质与中试品质差异, 做成面条后, 测定其熟断条率、蒸煮损失率、感官、TPA、剪切和拉伸。

### 1.5.1 中试地点

郑州多福多食品有限公司, 鲜湿面条生产线。

### 1.5.2 中试过程

按照优化得出的最佳工艺配方将小麦粉、紫薯全粉、谷朊粉加入和面机中、高、低速搅拌分别 2 min, 加水, 高、低速搅拌, 醒面 20 min 后, 经过 6 道压延最终轧出厚度 1.5 mm 的鲜湿面条。

## 1.6 数据处理

单因素实验结果采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行统计学分析, 采用 Design-Expert 6.0.5 软件对数据进行二次多元回归拟合。

## 2 结果与分析

### 2.1 原料添加量对紫薯全粉面条品质的影响

按照单因素实验方法调配紫薯全粉面条, 分析紫薯全粉添加量、谷朊粉添加量和食盐添加量对紫薯全粉面条熟断条率、蒸煮损失率、感官、硬度、弹性、咀嚼性的影响, 结果如表 2 所示。

由表 2 知, 食盐添加量的不同对紫薯面条的蒸煮损失率、感官、硬度和咀嚼性有显著性影响; 随食盐添加量增加, 其硬度和咀嚼性呈下降趋势。紫薯面条蒸煮损失率和熟断条率随着食盐添加量增加呈先降低后逐渐上升趋势, 当食盐添加量为 1.5%时, 其蒸煮损失率和熟断条率达到最低值, 相应的感官评分最高。这可能是由于面粉中加入一定比例的食盐后提高了面团内渗透压<sup>[13]</sup>, 促进面筋蛋白质吸水, 使面筋组织变得更加致密。且食盐能增大面筋蛋白质的相互吸附作用, 从而使面条的粘附性和胶黏性增强。而随着食盐添加量越来越多, 蒸煮损失率和熟断条率越来越多, 这可能是由于过量的食盐促使蛋白质收敛, 使其吸水率降低<sup>[14]</sup>。在紫薯全粉面条的制作中, 加入食盐可以增加混合粉中面筋筋力, 提高其吸附能力, 在蒸煮过程中, 淀粉、蛋白质及糖的溶出量减少, 使得面条在煮制过程中不容易糊汤, 食用品质大大改善。当食盐添加量为 1.5%时, 紫薯全粉面条的感官评分最高, 熟断条率和蒸煮损失率最低, 因此, 选择食盐添加量为 1.5%。陈霞等<sup>[15]</sup>认为面条中添加食盐后, 能促进面筋蛋白质吸水, 促进面筋网络结构的形成, 使面筋组织变得更加致密, 从而增大面条的硬度和咀嚼性。栗丽萍等<sup>[16]</sup>认为在面条中加入谷朊粉可增强面筋筋力, 提高面条的弹性和韧性。本文研究结果与以上结果一致。

谷朊粉添加量对紫薯全粉面条的熟断条率、蒸煮损失率、感官、硬度和咀嚼性有显著性影响,弹性变化无明显规律,随着谷朊粉添加量增加,其硬度和咀嚼性逐渐上升,熟断条率逐渐下降;当谷朊粉添加量为6%时,其蒸煮损失率达到最低值,相应的感官分值最高。这可能是因为谷朊粉是从小麦粉中提取出来的面筋蛋白,因此在紫薯面条中加入谷朊粉会对面条

口感的筋道程度有明显改善,可提高面条的弹性和咀嚼性,使紫薯面条在制作过程中,既能维持全粉中的营养成分不易散失,又能维持面条的形状,煮时不易断裂。随着谷朊粉添加量的增加面条的硬度值逐渐增大,这是因为谷朊粉具有很强的吸水性。在谷朊粉添加量为6%时,紫薯全粉面条的感官评分最高,蒸煮损失率最低,因此,选取谷朊粉添加量为6%。

表2 原料添加量对紫薯全粉面条品质的影响

Table 2 Effect of raw material addition on quality of purple sweet potato noodle

项目	添加量/%	熟断条率/%	蒸煮损失率/%	感官/分	硬度/g	弹性	咀嚼性
食盐	0	3.33±1.44 <sup>a</sup>	14.65±0.68 <sup>c</sup>	75.67±1.53 <sup>d</sup>	6526.66±120.26 <sup>a</sup>	0.91±0.02 <sup>a</sup>	3889.20±96.32 <sup>a</sup>
	0.5	1.67±1.44 <sup>a</sup>	13.86±1.27 <sup>c</sup>	79.17±1.76 <sup>c</sup>	6002.45±85.20 <sup>b</sup>	0.88±0.04 <sup>a</sup>	2963.94±340.93 <sup>b</sup>
	1	0.83±1.44 <sup>a</sup>	11.48±0.43 <sup>d</sup>	79.67±0.76 <sup>c</sup>	5676.16±59.24 <sup>c</sup>	0.87±0.04 <sup>a</sup>	2628.06±115.71 <sup>c</sup>
	1.5	0.00±0.00 <sup>a</sup>	10.77±0.18 <sup>d</sup>	86.17±2.25 <sup>a</sup>	5504.99±159.35 <sup>c</sup>	0.88±0.05 <sup>a</sup>	2561.62±278.30 <sup>c</sup>
	2	2.50±2.50 <sup>a</sup>	16.47±1.26 <sup>b</sup>	83.50±2.60 <sup>ab</sup>	4259.92±131.42 <sup>d</sup>	0.92±0.04 <sup>a</sup>	2300.84±426.94 <sup>c</sup>
	2.5	3.33±2.89 <sup>a</sup>	19.33±0.82 <sup>a</sup>	82.00±2.18 <sup>bc</sup>	3915.82±249.11 <sup>e</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>	1843.08±176.48 <sup>d</sup>
谷朊粉	0	11.67±1.44 <sup>a</sup>	19.19±3.10 <sup>a</sup>	77.17±1.04 <sup>d</sup>	3997.20±47.86 <sup>f</sup>	0.84±0.07 <sup>a</sup>	1493.90±252.74 <sup>d</sup>
	2	10.00±2.50 <sup>ab</sup>	18.07±3.71 <sup>a</sup>	79.67±0.58 <sup>cd</sup>	4210.40±77.46 <sup>e</sup>	0.88±0.03 <sup>a</sup>	2062.20±79.26 <sup>c</sup>
	4	6.67±2.89 <sup>b</sup>	14.19±1.54 <sup>ab</sup>	81.00±3.00 <sup>bc</sup>	4352.10±66.76 <sup>d</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>	2140.00±115.79 <sup>bc</sup>
	6	1.67±2.89 <sup>c</sup>	10.77±0.18 <sup>b</sup>	86.17±2.25 <sup>a</sup>	4620.40±99.72 <sup>c</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	2188.90±207.98 <sup>bc</sup>
	8	0.83±1.44 <sup>c</sup>	14.79±3.71 <sup>ab</sup>	84.00±1.00 <sup>ab</sup>	4830.30±86.57 <sup>b</sup>	0.89±0.03 <sup>a</sup>	2377.10±264.45 <sup>ab</sup>
	10	0.00±0.00 <sup>c</sup>	16.80±0.38 <sup>a</sup>	81.67±0.58 <sup>bc</sup>	4975.50±60.88 <sup>a</sup>	0.91±0.03 <sup>a</sup>	2521.20±218.07 <sup>a</sup>
紫薯全粉: 小麦粉	0:100	0.00±0.00 <sup>c</sup>	5.13±0.48 <sup>d</sup>	76.33±2.31 <sup>d</sup>	6596.80±218.28 <sup>a</sup>	0.81±0.04 <sup>b</sup>	3882.70±238.89 <sup>a</sup>
	35:65	0.83±1.44 <sup>c</sup>	7.54±0.16 <sup>cd</sup>	81.33±2.31 <sup>bc</sup>	5026.50±310.06 <sup>b</sup>	0.90±0.03 <sup>a</sup>	2520.50±133.86 <sup>b</sup>
	40:60	0.83±1.44 <sup>c</sup>	9.42±0.16 <sup>cd</sup>	82.83±1.76 <sup>ab</sup>	4796.90±116.54 <sup>c</sup>	0.90±0.02 <sup>a</sup>	2595.20±205.37 <sup>b</sup>
	45:55	1.67±2.89 <sup>c</sup>	10.77±0.18 <sup>c</sup>	86.17±2.25 <sup>a</sup>	4658.50±41.36 <sup>c</sup>	0.89±0.03 <sup>a</sup>	2436.00±217.49 <sup>b</sup>
	50:50	15.00±4.33 <sup>b</sup>	16.12±2.14 <sup>b</sup>	81.83±2.47 <sup>b</sup>	4438.00±61.23 <sup>d</sup>	0.88±0.03 <sup>a</sup>	2121.90±149.53 <sup>c</sup>
	55:45	25.00±5.00 <sup>a</sup>	24.88±5.28 <sup>a</sup>	77.83±1.26 <sup>cd</sup>	4210.40±69.40 <sup>e</sup>	0.88±0.03 <sup>a</sup>	1910.00±152.42 <sup>c</sup>

注:平均值±标准差,同一列上标字母不同则表示均值之间存在显著性差异( $p<0.05$ )。

紫薯全粉添加量对面条的熟断条率、蒸煮损失率、感官、硬度、弹性、咀嚼性有显著性影响,随紫薯全粉添加量增加,其熟断条率、蒸煮损失率逐渐上升,硬度、咀嚼性逐渐下降;当紫薯全粉与小麦粉比例为45:55时,其感官评分达到最高值。这可能是因为紫薯全粉的化学组分不同于小麦粉,不含面筋蛋白,加水和面后形成的面团无法维持面筋网络结构,制备的紫薯全粉面条易出现浑汤、熟断条率高的现象。随着紫薯全粉添加量的增加,面条的硬度和咀嚼性下降,说明紫薯全粉的添加阻碍了面筋网络结构的形成,导致面筋网络结构疏松,面条质构品质变差。在紫薯全粉与小麦粉比例为45:55时,紫薯全粉面条熟断条率和蒸煮损失率在持续下降后又呈现增大趋势,但和最小值并无显著差异,且此时感官评分最高,而本研究目的在于保持面条品质的基础上尽可能增大紫薯全粉的添加比例,因此,选取紫薯全粉与小麦粉比例为45:55。

## 2.2 紫薯全粉面条工艺参数优化配比实验

### 2.2.1 模型的建立与显著性分析

结合单因素试验结果,利用 Box-Behnken 响应面优化技术优化紫薯全粉面条生产工艺,采用三因素三水平的响应面法进行试验,试验方案设计见表3。

表3 响应曲面优化实验的因素水平

Table 3 The factor level of response surface optimization experiment

因素	水平		
	-1	0	1
A 紫薯全粉与小麦粉比例	40:60	45:55	50:50
B 谷朊粉添加量/%	4	6	8
C 食盐添加量/%	1	1.5	2

通过 Design-Expert 数据处理软件,输入数据设计响应曲面优化实验,见表4。

表4 Box-Behnken 实验设计与结果

Table 4 Box-Behnken design matrix and extraction results of purple sweet potato noodle

试验号	A	B	C	Y <sub>1</sub> 感官得分	Y <sub>2</sub> 熟断条率	Y <sub>3</sub> 加权指标
1	45:55	6	1.5	77.7	0	0.5
2	45:55	8	2	83.5	0.83	0.87
3	45:55	6	1.5	83.7	0	0.95
4	45:55	6	1.5	79	2.5	0.4
5	50:50	4	1.5	76.8	5	0.04
6	40:60	6	2	76.3	0	0.4
7	40:60	6	1	84.2	2.5	0.79
8	45:55	8	1	83.8	2.5	0.77
9	45:55	4	1	76.8	4.17	0.11
10	45:55	6	1.5	78.2	3.33	0.27
11	50:50	8	1.5	84	0.83	0.91
12	40:60	4	1.5	80	0	0.68
13	50:50	6	1	76.8	0	0.44
14	45:55	6	1.5	82.7	0.83	0.81
15	50:50	6	2	83.2	0.83	0.85
16	40:60	8	1.5	84.3	1.67	0.87
17	45:55	4	2	83.7	1.67	0.82

表5 紫薯全粉面条感官响应曲面优化分析结果

Table 5 Sensory response surface optimization of purple sweet potato noodles

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
模型	160.08	9	17.79	25.51	0.0002
A	18.91	1	18.91	27.12	0.0012
B	67.86	1	67.86	97.33	<0.0001
C	8.40	1	8.40	12.06	0.0104
A <sup>2</sup>	36.27	1	36.27	52.02	0.0002
B <sup>2</sup>	5.42	1	5.42	7.78	0.0269
C <sup>2</sup>	7.79	1	7.79	11.17	0.0124
AB	3.61	1	3.61	5.18	0.0570
AC	5.52	1	5.52	7.92	0.0260
BC	1.82	1	1.82	2.61	0.1500
残差	4.88	7	0.70		
失拟检验	3.89	3	1.30	5.25	0.0714
纯误差	0.99	4	0.25		
总回归	164.96	16			

注:  $R^2=0.9704$ ;  $R_{adj}^2=0.9324$ ; 信噪比=13.897。

### 2.2.2 感官的优化分析

运用 Design-Expert 数据处理软件对数据进行处理,取感官指标进行响应曲面优化,分析结果具体见表5。

感官得分 =  $-151.12 + 9.60A + 1.60B + 1.27C - 0.12A^2 - 0.28B^2 - 5.44C^2 + 0.10AB + 0.47AC - 0.68BC$

由表5可以看出,该模型的  $p < 0.001$ ,呈极显著

水平;失拟项 P 值为  $0.0714 > 0.05$ ,表明该模型失拟不显著,说明该回归方程能较好的拟合真实的响应面;复相关系数  $R^2=0.9704$ ,校正决定系数  $R_{adj}^2=0.9324$ ,说明拟合程度较好,实验误差较小。因此,可以用该回归方程预测紫薯全粉面的感官评分。一次项 A、B、C 显著,二次项  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$  显著,交互项 AC 显著,AB、BC 不显著。

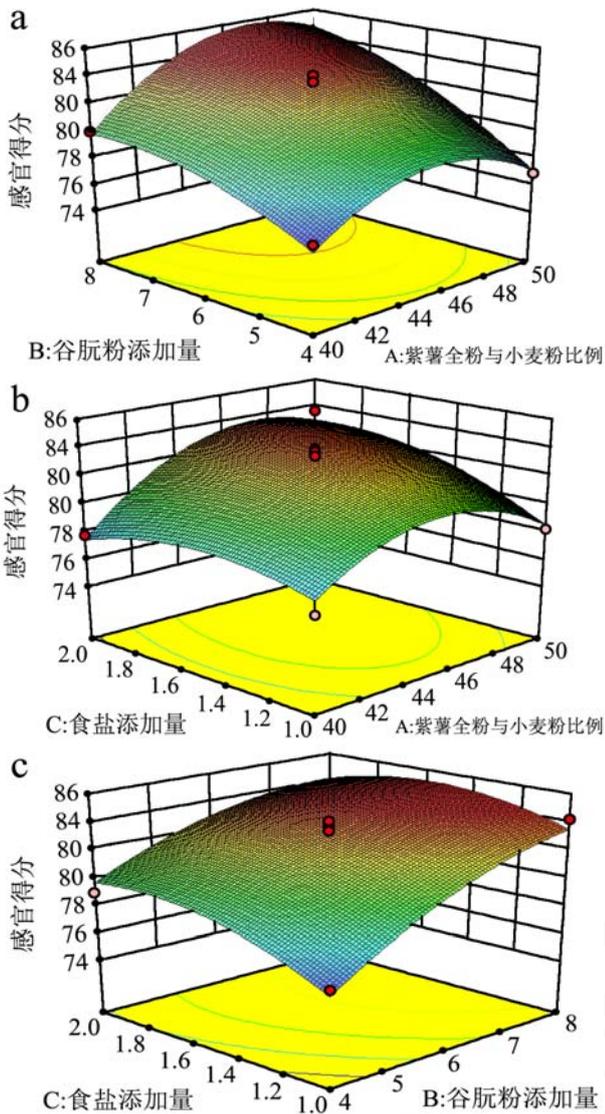


图1 原料添加量对感官评分的响应面分析

Fig.1 Response surface analysis of raw material addition to sensory score

2.2.3 熟断条率的优化分析

运用 Design-Expert 数据处理软件对数据进行处理, 取熟断条率指标进行响应曲面优化, 分析结果得表6。

$$\text{熟断条率} = 27.82 + 1.38A - 0.32B - 9.37C - 4.98000E - 003A^2 + 0.28B^2 + 3.67C^2 - 0.08AB - 0.08AC + 0.21BC$$

表6 紫薯全粉面条熟断条率响应曲面优化分析结果

Table 6 Response surface optimization analysis results of purple sweet potato noodles cooked broken rate

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
模型	37.68	9	4.19	27.28	0.0001
A	19.53	1	19.53	127.29	< 0.0001
B	4.25	1	4.25	27.69	0.0012
C	1.39	1	1.39	9.03	0.0198
A <sup>2</sup>	0.065	1	0.065	0.43	0.5351

由表6可以看出, 该模型的  $p < 0.0001$  呈极显著水平, 失拟项  $p$  值为  $0.3988 > 0.05$  表明该模型失拟不显著, 决定系数  $R^2 = 0.9366$  说明拟合程度较好, 试验误差较小, 本模型可以用来预测紫薯全粉面的熟断条率。模型中一次项 A、B、C 显著, 二次项  $B^2$ 、 $C^2$  显著,  $A^2$  不显著, 交互项 AB 显著, AC、BC 不显著。

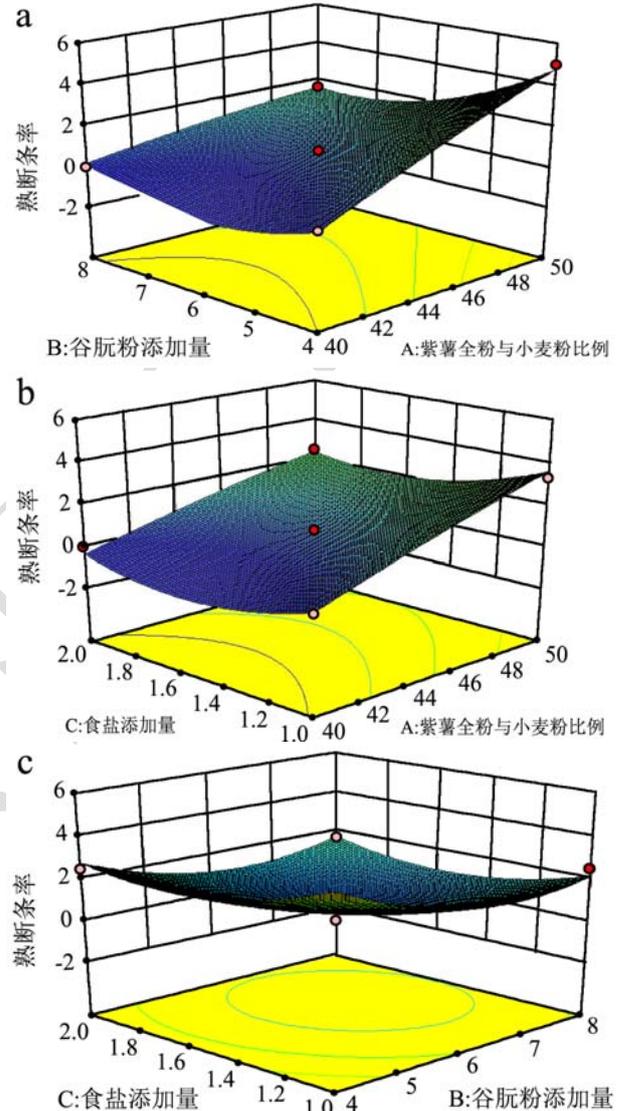


图2 原料添加量对熟断条率的响应面分析

Fig.2 Response surface analysis of raw material addition to cooked broken rate

转下页

接上页

B <sup>2</sup>	5.36	1	5.36	34.92	0.0006
C <sup>2</sup>	3.55	1	3.55	23.13	0.0019
AB	2.77	1	2.77	18.07	0.0038
AC	0.17	1	0.17	1.12	0.3246
BC	0.18	1	0.18	1.15	0.3192
残差	1.07	7	0.15		
失拟检验	0.52	3	0.17	1.27	0.3988
纯误差	0.55	4	0.14		
总回归	38.75	16			

注:  $R^2=0.9723$ ;  $R_{Adj}^2=0.9366$ ; 信噪比=16.993。

表7 紫薯全粉面条品质对比分析

Table 7 Comparative analysis of the quality of purple potato starch noodles

项目	熟断条率/%	感官/分	硬度/g	弹性	咀嚼性	剪切力/g	拉伸力/g
验证实验	0.42±1.02	84.08±1.16	4815.67±132.27	0.89±0.03	2603.66±224.62	107.68±9.50	21.74±1.13
中试实验	0.00±0.00	85.92±1.32	8975.56±50.09	0.94±0.02	6021.89±136.32	193.90±2.44	44.71±1.27

### 2.3 响应面优化结果分析及验证试验

利用 Design Expert 6.0.5 软件优化程序对 Box-Behnken 试验设计与结果数据进行优化处理。生产中紫薯全粉面条类产品感官评分越高、熟断条率越低,质量越好。但感官评分和熟断条率的变化趋势不一,利用线性型功效系数法将感官评分和熟断条率指标函数统一量纲,令:

$$\text{感官评分 } Y_1' = (Y_1 - Y_{1\min}) / (Y_{1\max} - Y_{1\min});$$

$$\text{熟断条率 } Y_2' = 1 - (Y_2 - Y_{2\min}) / (Y_{2\max} - Y_{2\min});$$

$$\text{蒸煮损失率 } Y_3' = 1 - (Y_3 - Y_{3\min}) / (Y_{3\max} - Y_{3\min});$$

其中:  $Y_{i\max}$  与  $Y_{i\min}$  ( $i=1, 2$ ) 为试验中各指标最大与最小值。

这样用  $Y_1'$ 、 $Y_2'$  的最大值分别表示感官评分的最大值和熟断条率的最小值<sup>[17]</sup>。理想的紫薯全粉面条应该有较高的感官评分同时拥有较低的熟断条率,为获得较高品质的紫薯全粉面条制作工艺参数组合,对2个试验指标进行加权分配。采用线性加权法,赋予各指标一定的权重系数,再进行综合优化计算。对于紫薯全粉面条等面制品类制品,消费者对其品质的要求是感官性要好,因此对感官和熟断条率的分配权重系数为0.6、0.4。最终优化工艺参数为:紫薯全粉与小麦粉比例为44.28:55.72,谷朊粉为7.01%,食盐为1.58%,此条件下的感官评分为84.3,熟断条率为0.396%。

为了验证回归模型的有效性,根据推断的最佳工艺参数和实际操作过程中的可行性,以紫薯全粉与小麦粉比例为44:56,谷朊粉为7%,食盐为1.6%的条件下进行验证试验。经过验证试验,紫薯全粉面条感官评分为84.08,熟断条率为0.42%,紫薯全粉面条的产

品品质较好,证实了该模型的可靠性。

### 2.4 中试试验

表7为实验室与中试试验之间的品质差异,随着试验规模的扩大,紫薯全粉面条的熟断条率降低,感官评分、硬度、弹性、咀嚼性、剪切力、拉伸力均提高,这可能是由于工厂实验所用原料量大,能搅拌的更为均匀,减小实验误差;而和面机和压延设备也与实验室的有较大的差别<sup>[18]</sup>,实验室小试使用的仪器和设备生产能力小,设备参数的稳定性和企业的生产设备相比有点欠缺,因此实验室和面机的和粉效果和压面机的压延效果无法和中试设备相比拟,故中试生产的面条总体品质明显高于实验室小试产品品质,特别是中试生产面条硬度、咀嚼性、剪切力和拉伸力明显高于实验室小试的面条产品。

## 3 结论

3.1 谷朊粉能显著改善高占比紫薯全粉面条的品质。

3.2 高占比紫薯全粉面条的最佳工艺条件为:紫薯全粉与小麦粉的比例为44:56、谷朊粉添加量为7.0%、食盐添加量1.6%。在此条件下紫薯全粉面条的熟断条率为0.42%,感官评分为84.08。经中试验证,此工艺可规模化生产。

### 参考文献

- [1] 刘倩. 施钾对甘薯产量品质及营养元素吸收的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014
- LIU Qian. Effect of potassium application on yield and quality and nutrient absorption of sweet potato [D]. Tai'an:

- Shandong Agricultural University, 2014
- [2] 张淼,李雯昕,张振宇,等.不同品种紫薯全粉基本成分及特性研究[J].食品工业科技,2013,34(2):126-129  
ZHANG Miao, LI Xie-xin, ZHANG Zhen-yu, et al. Study on basic composition and properties of different varieties of purple sweet potato flour [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 126-129
- [3] 李雅芳,李庆龙,张玉东,等.小麦粉中添加紫薯全粉挤压生产面制风味食品[J].粮食与饲料工业,2015,11:21-24  
LI Ya-fang, LI Qing-long, ZHANG Yu-dong, et al. The extrusion production of wheat flour flavor food by adding purple sweet potato flour to wheat flour [J]. Cereal & Feed Industry, 2015, 11: 21-24
- [4] 潘润淑,周光宏,余小颖,等.紫甘薯面条的加工工艺研究[J].食品科学,2008,29(11):169-172  
PAN Run-shu, ZHOU Guang-hong, YU Xiao-ling, et al. Study on processing technology of purple sweet potato [J]. Food Science, 2008, 29(11): 169-172
- [5] 王坤.鲜切紫薯面条的研究[D].武汉:华中农业大学,2013  
WANG Kun. Study on fresh-cut purple sweet potato noodle [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013
- [6] 梁卓然,苏伟,母应春.挤压红稗营养面条的加工工艺研究[J].食品科技,2014,39(2):162-166  
LIANG Zhuo-ran, SU Wei, MU Ying-chun. Quality improvement of nutrition noodle with baccage sedge by twin-screw extrusion [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(2): 162-166
- [7] 邢本鑫,熊柳,孙庆杰.花生蛋白粉对面筋和面条品质影响的研究[J].粮油食品科技,2009,17(3):10-12  
XING Ben-xin, XIONG Liu, SUN Qing-jie. Study on the effect of peanut protein flour on the quality of noodles [J]. Science and Technology of Cereal Oils and Foods, 2009, 17(3): 10-12
- [8] 潘治利,王涛,王娜,等.冷冻熟制面条保温加热及速冻节能加工工艺[J].农业工程学报,2015,31(6):311-318  
PAN Zhi-li, WANG Tao, WANG Na, et al. Residual heat and quick-freezing energy saving technologies of frozen cooked noodles [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(6): 311-318
- [9] 段维,王立,钱海峰,等.糙米意大利面的制备[J].食品与发酵工业.2015,41(8):84-89  
DUAN Wei, WANG Li, QIAN Hai-feng, et al. Optimization the preparation process of brown rice pasta [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(8): 84-89
- [10] 田萍萍.小麦粉特性对速冻熟制面条在冻结及保藏期间品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2017  
TIAN Ping-ping. Effect of wheat flour on the quality of frozen cooked noodles during freezing and storage process [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017
- [11] 单珊,周惠明,朱科学.紫薯-小麦混合粉的性质及在面条上的应用[J].食品工业科技,2011,9:94-97  
SHAN Shan, ZHOU Hui-ming, ZHU Ke-xue. Study on the properties of blending wheat flour with purple sweet potato flour and application in noodles [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 9: 94-97
- [12] 贾嘉祺,王军,刘莹,等.响应面优化玉竹多糖的提取工艺研究[J].食品工程,2013,1:29-35  
JIA Jia-qi, WANG Jun, LIU Ying, et al. Optimization of the extraction of polysaccharide in *Polygonatum odoratum* by response surface methodology [J]. Food Engineering, 2013, 1: 29-35
- [13] 朱在勤,陈霞.食盐对面团流变学特性及馒头品质的影响[J].食品研究与开发,2017,28(9):40-43  
ZHU Zai-qin, CHEN Xia. Effect of salt on the rheologic peculiarities and properties of steamed bun [J]. Food Research and Development, 2017, 28(9): 40-43
- [14] 杨铭铎,陈健,樊祥富,等.面条水煮工艺条件的研究[J].食品科学,2010,31(18):90-94  
YANG Ming-duo, CHEN Jian, FAN Xiang-fu, et al. Boiling conditions for noodles [J]. Food Science, 2010, 31(18): 90-94
- [15] 陈霞,王文琪,朱在勤,等.食盐对面粉糊化特性及面条品质的影响[J].食品工业科技,2015,2:98-101  
CHEN Xia, WANG Wen-qi, ZHU Zai-qin, et al. Effect of salt on the gelatinization properties of flour and noodle quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 2: 98-101
- [16] 栗丽萍,王寿东.谷朊粉对高含量荞麦面条品质的影响[J].农业机械,2011,8:67-69  
LI Li-ping, WANG Shou-dong. Effect of gluten on quality of noodles with high content of buckwheat [J]. Farm Machinery, 2011, 8: 67-69
- [17] 范会平,吴丹,王娜,等.紫薯全粉面配方及制备工艺的优化[J].食品与发酵工业,2017,9:155-161  
FAN Hui-ping, WU Dan, WANG Na, et al. Study on the optimization of purple sweet potato noodles [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 9: 155-161

(下转第 273 页)