

# 葛根玉米复合饺子皮的品质改良

邓敏<sup>1,2</sup>

(1. 上海旅游高等专科学校 酒店与烹饪学院, 上海 201418; 2. 上海师范大学 旅游学院, 上海 200234)

**摘要:** 以小麦粉、葛根粉和玉米粉为原料, 添加谷朊粉、黄原胶、食盐 3 种改良剂制作葛根玉米复合饺子皮。以蒸煮损失率、吸水率、透光率、硬度、咀嚼性、剪切硬度为评价指标, 通过单因素试验考察谷朊粉、黄原胶、食盐不同添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响, 筛选出改良剂的最佳添加范围, 并采用响应面结合主成分分析法优化 3 种改良剂的配比。结果表明: 3 种改良剂对葛根玉米复合饺子皮品质的影响程度依次为谷朊粉>食盐>黄原胶, 最佳添加量为谷朊粉 5.0%、食盐 1.4%、黄原胶 0.3% (以混合粉质量为基准), 此条件下制作的葛根玉米复合饺子皮规范化综合评分为  $0.965\pm 0.005$ , 与模型预测值基本一致。

**关键词:** 葛根玉米复合饺子皮; 谷朊粉; 黄原胶; 食盐; 主成分分析

## Quality Improvement of *Pueraria* and Corn Compound Dumpling Wrapper

DENG Min<sup>1,2</sup>

(1. School of Hospitality Management and Culinary Arts, Shanghai Institute of Tourism, Shanghai 201418, China; 2. College of Tourism, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract:** Using wheat flour, *Pueraria* powder, and corn powder as raw materials, and adding gluten powder, xanthan gum, and salt as the three modifiers, *Pueraria* and corn compound dumpling wrappers were made. Single-factor experiments were conducted to investigate the effects of different amounts of gluten powder, xanthan gum, and salt on the quality of the *Pueraria* and corn compound dumpling wrappers, with cooking loss rate, water absorption rate, transmittance rate, hardness, chewiness, and shear hardness as evaluation indicators. The optimal range of modifiers was selected, and the ratio of the three modifiers was optimized using response surface methodology combined with principal component analysis. The results showed that the impact of the three modifiers on the quality of the *Pueraria* and corn compound dumpling wrappers followed this order: gluten powder>salt>xanthan gum. The optimal addition amount was 5.0% gluten powder, 1.4% salt, and 0.3% xanthan gum (based on the mass of the mixed powder). Under these conditions, the standardized comprehensive score of the *Pueraria* and corn compound dumpling wrappers was  $0.965\pm 0.005$ , which was consistent with the predicted value of the model.

**Key words:** *Pueraria* and corn compound dumpling wrapper; gluten powder; xanthan gum; salt; principal component analysis

引文格式:

邓敏. 葛根玉米复合饺子皮的品质改良[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(4): 118-125.

DENG Min. Quality Improvement of *Pueraria* and Corn Compound Dumpling Wrapper[J]. Food Research and Development, 2025, 46(4): 118-125.

饺子作为中国传统面点制品, 是逢年过节、日常饮食的必备食物。目前市面上的饺子皮多是以精制小麦粉为主要原料加工而成, 营养成分及口味都较为单一。随着健康饮食观念的盛行, 具有营养保健功效的复合

饺子皮越来越受到消费者的青睐<sup>[1-4]</sup>。

玉米作为日常食用的杂粮, 富含不饱和脂肪酸、卵磷脂、膳食纤维、胡萝卜素、维生素 E、B 族维生素等成分, 具有健脾养胃、预防心脑血管疾病、明目、延缓衰老

基金项目: 上海市教育委员会/上海市教育发展基金会“晨光计划”项目(16CCGB12); 上海旅游高等专科学校科研项目(KY2021-D1L15)

作者简介: 邓敏(1988—), 女(汉), 讲师, 硕士, 研究方向: 中西面点工艺。

等功效<sup>[5]</sup>。葛根为豆科植物野葛或甘葛藤的干燥根,始载于汉代《神农本草经》,药食两用历史悠久,享有“亚洲人参”的美誉,具有保护心脑血管、抗炎、抗氧化、解酒护肝、养颜护肤等功效<sup>[6-7]</sup>。在传统饺子皮的制作中添加葛根粉与玉米粉,可以改善传统小麦粉饺子皮营养价值低、口味单一等问题,但葛根粉与玉米粉中都缺乏面筋蛋白,与小麦粉混合后,面团的黏弹性降低、加工性能变差,饺子皮成品容易出现表皮不光滑、不耐咀嚼等问题。因此,在葛根玉米复合饺子皮的生产工艺中需要加入改良剂来改善饺子皮的品质。

在饺子皮加工中,谷朊粉、黄原胶、食盐都是常用的品质改良剂。谷朊粉是一种优良的面团改良剂,主要含有麦醇溶蛋白和麦谷蛋白,其蛋白质含量在80%以上,适量添加谷朊粉对小麦粉及玉米粉制作的饺子皮品质有明显的改善作用<sup>[8-9]</sup>。黄原胶是亲水性胶体,能促进面筋网络与淀粉的结合,适量添加可增强饺子皮的弹性和韧性,改善口感<sup>[10]</sup>。小麦粉中添加适量NaCl能有效改善面团中面筋的弹性和延展性<sup>[11]</sup>,从而提高面制品的品质。目前通过添加复合改良剂制作葛根玉米复合饺子皮的相关研究还未见报道。

因此,本研究在前期试验的基础上,考察谷朊粉、黄原胶、食盐3种改良剂不同添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响,在此基础上采用响应面法结合主成分分析法对3种改良剂的添加量进行优化,以期为复合饺子皮的生产与品质改良提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

小麦粉(食品级):内蒙古塞北粮仓农业发展有限公司;葛根粉(食品级):湖北钟祥国森源葛粉实业有限公司;玉米粉(食品级):辽宁顺合农业开发有限公司;黄原胶(食品级):河南豫和食品配料有限公司;谷朊粉(食品级):河南万邦实业有限公司;食盐(食品级):中盐长江盐化有限公司;饮用纯净水:市售;蒸馏水:实验室自制。

QL-L5C 多功能厨师机:徐州乔立烘焙设备有限公司;CT2133 电磁炉:深圳艾美特电器有限公司;FKM-150 电动压面机:深圳艾尔莎科技有限公司;HZY-C6200 电子天平:华志科学仪器有限公司;101-A0 立式鼓风干燥箱:上海捷呈实验仪器有限公司;TA-XT2 型质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;UV-2600 紫外可见分光光度计:日本岛津公司;SUS304 不锈钢饺子皮模具、100 目筛网:余姚市潘帕斯器具有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 葛根玉米复合饺子皮的制备

将小麦粉、葛根粉和玉米粉混合均匀(小麦粉、葛根粉和玉米粉的质量比为7:2:1),过100目筛备用。

准确称取200g混合粉,以混合粉质量为基准,添加一定比例的改良剂(黄原胶、谷朊粉和食盐),加入适量纯净水进行和面;面团在室温条件下熟化醒发20min,醒发好的面团用电动压面机压延4次,制成1mm厚度的光滑面片;用模具将面片切割成大小均匀、厚薄一致的圆形饺子皮,备用。

#### 1.2.2 不同改良剂对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

以混合粉质量为基准,分别固定谷朊粉添加量5%、食盐添加量1.5%、黄原胶添加量0.2%,按照1.2.1方法制作葛根玉米复合饺子皮,以蒸煮损失率、吸水率、透光率、硬度、咀嚼性、剪切硬度为评价指标,考察谷朊粉添加量(3%、4%、5%、6%、7%)、食盐添加量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)、黄原胶添加量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%)对葛根玉米复合饺子皮品质的影响。

#### 1.2.3 响应面优化试验

依据单因素试验结果和Box-Behnken设计原理,以葛根玉米复合饺子皮的规范化综合评分( $Z$ )为响应值进行响应面优化试验,因素与水平如表1所示。

表1 因素与水平

Table 1 Factors and levels

水平	因素		
	A 谷朊粉添加量/%	B 食盐添加量/%	C 黄原胶添加量/%
-1	4	1.0	0.2
0	5	1.5	0.3
1	6	2.0	0.4

#### 1.2.4 葛根玉米复合饺子皮吸水率和蒸煮损失率的测定

将制作好的葛根玉米复合饺子皮样品称质量后放入沸水中,注意翻动使其受热均匀,煮至饺子皮中间白芯完全消失,捞出后滤纸吸干表面水分后称质量;将余下的饺子皮汤倒入恒重烧杯,然后放入105℃干燥箱内干燥至恒重,吸水率( $W_1$ ,%)和蒸煮损失率( $W_2$ ,%)计算公式如下<sup>[12-13]</sup>。

$$W_1 = (M_2 - M_1) / M_1 \times 100 \quad (1)$$

$$W_2 = (M_4 - M_3) / M_1 \times 100 \quad (2)$$

式中: $M_1$ 为煮制前的葛根玉米复合饺子皮质量,g; $M_2$ 为煮制后的葛根玉米复合饺子皮质量,g; $M_3$ 为恒重烧杯的质量,g; $M_4$ 为烘干后烧杯和干物质的总质量,g。

#### 1.2.5 葛根玉米复合饺子皮汤透光率的测定

选取6片葛根玉米复合饺子皮样品放入500mL沸腾的纯净水中煮制7min,然后将煮制后的饺子皮汤冷却到室温,以蒸馏水为空白对照,在620nm波长下测定饺子皮汤的透光率。每组饺子皮样品进行5次平行试验,最终结果取平均值<sup>[14]</sup>。

#### 1.2.6 葛根玉米复合饺子皮质构特性的测定

将葛根玉米复合饺子皮样品放入沸水中,煮至饺

子皮中间没有白芯时捞出,置于蒸馏水中冷却 60 s,用滤纸吸干表面水分后放置于载物台上。选用 P/36R 探头,测前速度设置为 2.0 mm/s,测试、测后速度均设置为 1.0 mm/s,压缩时间间隔 5 s,压缩比 70%,触发类型为自动,触发力 5 g。每组饺子皮样品平行测定 5 次,最终结果取平均值<sup>[15]</sup>。

### 1.2.7 葛根玉米复合饺子皮剪切硬度的测定

葛根玉米复合饺子皮样品放入沸水中,煮至饺子皮中间没有白芯时捞出,置于蒸馏水中冷却 60 s,用滤纸吸干表面水分后放置于载物台上。选用 A/LKB 探头,测前速度设置为 1.0 mm/s,测试、测后速度分别设置为 0.8、10 mm/s,压缩比 90%,触发力 5 g。每组饺子皮样品平行测定 5 次,最终结果取平均值<sup>[16]</sup>。

### 1.2.8 主成分分析及规范化综合评分计算

对响应面试验中的蒸煮损失率、吸水率、透光率、硬度、咀嚼性、剪切硬度等指标数据进行标准化处理及主成分分析<sup>[17-18]</sup>。

综合评分(Y)及规范化综合评分(Z)计算公式如下。

$$Y = (Y_1 C_1 - Y_2 C_2) / C \quad (3)$$

$$Z = (Y - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (4)$$

式中:C为累积特征值; $C_1$ 为主成分1的特征值; $C_2$ 为主成分2的特征值; $Y_1$ 为主成分1得分; $Y_2$ 为主成分2得分; $Y_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 分别为综合评分最小值与综合评分最大值。

### 1.3 数据处理

运用 Excel 2010、SPSS Statistics 26 及 Design-Expert 11 等分析软件对数据进行统计处理,试验结果采用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 谷朊粉添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

表 2 为谷朊粉添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响结果。

表 2 谷朊粉添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

Table 2 Effect of gluten powder addition amount on the quality of Pueraria and corn compound dumpling wrappers

谷朊粉添加量/%	蒸煮损失率/%	吸水率/%	透光率/%	硬度/g	咀嚼性/g	剪切硬度/g
3	6.02±0.02 <sup>a</sup>	83.60±0.05 <sup>d</sup>	79.20±0.08 <sup>e</sup>	2 776.45±120.05 <sup>d</sup>	2 867.24±90.65 <sup>e</sup>	287.40±18.55 <sup>e</sup>
4	5.42±0.13 <sup>b</sup>	86.90±0.14 <sup>c</sup>	79.80±0.09 <sup>e</sup>	3 387.24±137.62 <sup>e</sup>	2 914.54±99.44 <sup>e</sup>	294.25±10.22 <sup>b</sup>
5	5.13±0.06 <sup>c</sup>	89.22±0.22 <sup>b</sup>	86.90±0.10 <sup>a</sup>	3 889.55±104.04 <sup>a</sup>	3 916.45±112.10 <sup>a</sup>	308.05±13.25 <sup>a</sup>
6	5.03±0.08 <sup>c</sup>	89.90±0.25 <sup>ab</sup>	87.40±0.05 <sup>a</sup>	3 843.28±100.23 <sup>a</sup>	3 900.88±117.05 <sup>a</sup>	307.45±12.20 <sup>a</sup>
7	5.50±0.01 <sup>b</sup>	90.35±0.11 <sup>a</sup>	82.50±0.15 <sup>b</sup>	3 581.64±90.58 <sup>b</sup>	3 650.33±80.95 <sup>b</sup>	307.50±12.70 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

由表 2 可知,谷朊粉添加量从 3% 增加到 7% 时,葛根玉米复合饺子皮的吸水率呈上升趋势,透光率先上升后下降,蒸煮损失率则先下降后上升。添加谷朊粉可以增加混合粉中面筋蛋白含量,面团的吸水能力增加;另一方面,谷朊粉的添加可以增强面筋网络结构的稳定性,可以较地将淀粉颗粒包裹于其中,使得淀粉颗粒在蒸煮过程中不易从面筋网络中游离出来<sup>[19]</sup>。蒸煮损失率较低,煮制后的饺子皮汤较为澄清,当饺子皮中谷朊粉添加量为 6% 时,蒸煮损失率最低,透光率达到最高。而当谷朊粉添加量较高时,可能会破坏面团中原有的面筋网络结构,导致面团弱化度增加<sup>[20]</sup>,淀粉颗粒容易从面筋网络中游离出来,从而引起蒸煮损失率增加,煮制后饺子皮汤的透光率下降。

葛根玉米复合饺子皮的硬度、咀嚼性、剪切硬度随谷朊粉添加量的增加整体呈现先上升后下降的趋势。谷朊粉的添加有助于增强面筋网络结构,饺子皮内部结构的稳定性提高,因此硬度、咀嚼性和剪切硬度明显提升;在谷朊粉添加量为 5% 时,葛根玉米复合饺子皮的硬度、咀嚼性、剪切硬度达到最大值。当谷朊粉用量

进一步增加后,其硬度、咀嚼性均略有降低,这可能是由于谷朊粉用量增加造成面团筋力过强,导致饺子皮劲道感降低<sup>[21]</sup>。

综合以上分析,选择谷朊粉添加量为 4%、5%、6% 进行后续响应面优化试验。

### 2.2 食盐添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

表 3 为食盐添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响结果。

由表 3 可知,葛根玉米复合饺子皮的吸水率随食盐添加量的增加呈下降趋势。在食盐添加量为 0.5%~1.5% 时,饺子皮的吸水率差异不显著,当食盐添加量达到 2.0% 时,吸水率出现显著下降( $P < 0.05$ ),这是因为食盐添加量较高时,会与饺子皮面团中的蛋白质竞争吸水,蛋白质结合的水分子减少<sup>[22]</sup>,引起吸水率降低。随着食盐添加量的增加,葛根玉米复合饺子皮的蒸煮损失率逐渐增加,透光率则逐渐降低,这可能是由于食盐的添加会影响淀粉与水的相互作用<sup>[22]</sup>,淀粉颗粒与面筋网络结构的结合较为松散,在蒸煮时淀粉颗粒容易游离出来而散失到饺子皮汤中,使煮制后的

表3 食盐添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

Table 3 Effect of salt addition amount on the quality of *Pueraria* and corn compound dumpling wrappers

食盐添加量/%	蒸煮损失率/%	吸水率/%	透光率/%	硬度/g	咀嚼性/g	剪切硬度/g
0.5	5.37±0.03 <sup>a</sup>	89.80±0.13 <sup>a</sup>	84.50±0.17 <sup>a</sup>	2 894.66±144.25 <sup>b</sup>	2 817.35±133.53 <sup>c</sup>	296.50±13.14 <sup>b</sup>
1.0	5.80±0.10 <sup>b</sup>	89.65±0.15 <sup>a</sup>	80.00±0.06 <sup>b</sup>	2 907.32±150.08 <sup>b</sup>	2 824.88±140.20 <sup>c</sup>	298.42±12.42 <sup>b</sup>
1.5	5.86±0.09 <sup>b</sup>	88.58±0.12 <sup>a</sup>	79.35±0.05 <sup>b</sup>	3 300.20±100.55 <sup>a</sup>	3 496.45±172.55 <sup>b</sup>	313.00±16.25 <sup>a</sup>
2.0	6.24±0.08 <sup>a</sup>	83.60±0.20 <sup>b</sup>	78.50±0.15 <sup>c</sup>	3 313.86±101.65 <sup>a</sup>	3 515.88±167.33 <sup>ab</sup>	313.30±16.44 <sup>a</sup>
2.5	6.32±0.09 <sup>a</sup>	81.00±0.42 <sup>c</sup>	75.05±0.12 <sup>d</sup>	3 335.25±100.92 <sup>a</sup>	3 580.33±180.02 <sup>a</sup>	314.20±16.50 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

饺子皮汤变得浑浊。

在硬度、咀嚼性和剪切硬度方面,随着食盐添加量的增加,葛根玉米复合饺子皮的硬度、咀嚼性、剪切硬度均有所增加,其原因可能是食盐的加入增强了面筋蛋白之间的缔合作用,面筋蛋白的刚性网络结构得到改善<sup>[23-24]</sup>。

综合以上分析,选择食盐添加量为1.0%、1.5%、2.0%进行后续响应面优化试验。

### 2.3 黄原胶添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

表4为黄原胶添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响结果。

表4 黄原胶添加量对葛根玉米复合饺子皮品质的影响

Table 4 Effect of xanthan gum addition amount on the quality of *Pueraria* and corn compound dumpling wrappers

黄原胶添加量/%	蒸煮损失率/%	吸水率/%	透光率/%	硬度/g	咀嚼性/g	剪切硬度/g
0.1	6.46±0.09 <sup>a</sup>	84.90±0.22 <sup>c</sup>	76.80±0.30 <sup>c</sup>	2 455.50±104.93 <sup>d</sup>	2 655.25±81.22 <sup>c</sup>	282.53±13.32 <sup>c</sup>
0.2	6.11±0.03 <sup>b</sup>	87.75±0.04 <sup>b</sup>	81.55±0.20 <sup>b</sup>	2 880.32±147.08 <sup>c</sup>	3 080.60±113.23 <sup>b</sup>	298.08±25.56 <sup>b</sup>
0.3	6.02±0.04 <sup>b</sup>	90.40±0.22 <sup>a</sup>	82.00±0.18 <sup>b</sup>	3 180.47±171.22 <sup>b</sup>	3 380.38±102.90 <sup>a</sup>	313.50±16.32 <sup>a</sup>
0.4	5.60±1.25 <sup>c</sup>	89.95±0.25 <sup>a</sup>	86.35±0.35 <sup>a</sup>	3 224.58±166.03 <sup>ab</sup>	3 424.42±100.02 <sup>a</sup>	314.02±16.30 <sup>a</sup>
0.5	5.52±1.20 <sup>c</sup>	84.42±0.26 <sup>c</sup>	86.60±0.39 <sup>a</sup>	3 250.15±159.82 <sup>a</sup>	3 450.13±100.77 <sup>a</sup>	314.46±16.68 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

由表4可知,黄原胶添加量为0.3%时葛根玉米复合饺子皮的吸水率最高,当黄原胶添加量超过0.4%时,吸水率则出现显著下降( $P<0.05$ )。黄原胶具有良好的水溶性,当饺子皮中的添加量较高时,饺子皮外层淀粉吸水膨胀形成胶团<sup>[18]</sup>,会阻止水分进入里层,从而引起饺子皮的吸水率下降。葛根玉米复合饺子皮的蒸煮损失率随黄原胶添加量的增加呈下降趋势,透光率逐渐增加,其原因可能是黄原胶与淀粉颗粒、面筋蛋白结合形成致密的三维空间网状结构<sup>[25]</sup>,黄原胶的添加使面筋网络结构得到增强,减少了蒸煮过程中淀粉颗粒的溶出,因此饺皮汤的透光率增加。

葛根玉米复合饺子皮的硬度、咀嚼性和剪切硬度均随着黄原胶添加量的增加而增大,在黄原胶添加量为0.4%~0.5%时趋于稳定。这可能是由于黄原胶能增加面筋蛋白与淀粉颗粒的结合<sup>[18]</sup>,提高了饺子皮的致密程度,内部结构的稳定性得到提高。

综合以上分析,选择黄原胶添加量为0.2%、0.3%、0.4%进行后续响应面优化试验。

### 2.4 响应面试验结果

#### 2.4.1 响应面试验设计与结果

三因素三水平响应面优化试验设计与结果见表5。

表5 响应面试验设计与结果

Table 5 Design and results of response surface experiments

试验号	A	B	C	蒸煮损失率/%	吸水率/%	透光率/%	硬度/g	咀嚼性/g	剪切硬度/g
1	0	0	0	4.66	89.90	88.10	3 154.41	4 022.02	319.50
2	-1	0	-1	5.57	80.60	77.90	3 401.32	2 710.57	280.33
3	-1	-1	0	6.45	85.80	79.00	2 486.38	2 481.65	292.50
4	0	0	0	4.60	89.60	86.90	4 044.02	4 006.57	321.82
5	0	1	1	5.58	90.80	79.80	2 504.04	2 032.05	299.20
6	0	-1	-1	4.86	90.50	85.10	2 231.89	2 798.49	308.30
7	0	1	-1	5.08	88.10	84.40	3 948.02	2 848.27	288.00
8	0	0	0	4.58	91.20	86.40	4 054.39	4 301.46	319.30
9	-1	1	0	5.91	79.60	81.20	2 570.88	2 015.13	290.00
10	1	-1	0	5.58	90.50	76.60	2 491.82	2 907.50	299.22
11	0	-1	1	6.12	92.00	81.60	2 526.44	3 062.95	303.60
12	0	0	0	4.65	91.70	87.30	3 110.48	4 202.15	319.50
13	-1	0	1	5.72	84.40	80.00	3 482.05	3 171.97	289.62
14	1	1	0	5.54	89.80	74.60	2 476.65	1 976.22	292.43
15	1	0	-1	4.74	87.40	83.40	2 619.12	2 808.67	292.51
16	0	0	0	4.62	92.10	88.00	4 134.32	4 265.14	314.02
17	1	0	1	5.28	90.90	71.40	2 486.24	2 939.88	294.82

2.4.2 主成分分析

应用 SPSS Statistics 26 分析软件将表 5 中的蒸煮损失率、吸水率、透光率、硬度、咀嚼性、剪切硬度等数据进行标准化处理与主成分分析,主成分特征值与贡献率结果见表 6。

表 6 主成分特征值与贡献率  
Table 6 Principal component characteristic values and contribution rates

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.818	63.629	63.629
2	1.111	18.522	82.151
3	0.446	7.431	89.582
4	0.350	5.841	95.423
5	0.193	3.224	98.647
6	0.081	1.353	100.000

由表 6 可知,主成分 1 和主成分 2 的特征值均大于 1,累积贡献率达到 82.151%,超过 80%<sup>[17]</sup>,说明提取前两个主成分可以反映葛根玉米复合饺子皮的品质信息。

葛根玉米复合饺子皮各指标的特征向量值结果如表 7 所示。

表 7 葛根玉米复合饺子皮主要指标的特征向量  
Table 7 Eigenvector of main indicators for Pueraria and corn compound dumpling wrappers

指标	主成分 1	主成分 2
咀嚼性( $X_5$ )	0.473	-0.084
剪切硬度( $X_6$ )	0.453	0.299
蒸煮损失率( $X_1$ )	-0.434	0.016
透光率( $X_3$ )	0.423	-0.227
硬度( $X_4$ )	0.341	-0.590
吸水率( $X_2$ )	0.294	0.711

由表 7 可知,咀嚼性、剪切硬度、蒸煮损失率、透光率对主成分 1 影响较大,硬度、吸水率对主成分 2 影响较大。主成分 1、主成分 2 表达式分别为  $Y_1 = -0.434 0X_1 + 0.293 8X_2 + 0.422 7X_3 + 0.341 4X_4 + 0.473 4X_5 + 0.453 4X_6$ ;  $Y_2 = 0.016 1X_1 + 0.710 6X_2 - 0.226 7X_3 - 0.590 1X_4 - 0.084 4X_5 + 0.298 9X_6$ 。

根据葛根玉米复合饺子皮各试验组的主成分 1 得分( $Y_1$ )和主成分 2 得分( $Y_2$ ),按公式(3)计算得到葛根玉米复合饺子皮各试验组的综合评分( $Y$ ),并将其按公式(4)进行规范化处理,以消除量纲、变量自身变异和数值大小的影响<sup>[18]</sup>,得到规范化综合评分( $Z$ ),结果如表 8 所示。

2.4.3 葛根玉米复合饺子皮的响应面分析

运用 Design-Expert 11 软件对规范化综合评分结果(表 8)进行回归拟合分析,得到以下多元回归模型方程: $Z = 0.967 + 0.118A - 0.070B - 0.024C - 0.018AB - 0.081AC + 0.010BC - 0.494A^2 - 0.299B^2 - 0.193C^2$ 。

表 8 主成分得分与规范化综合评分结果

Table 8 Principal component score and standardized comprehensive score results

试验号	主成分 1 得分( $Y_1$ )	主成分 2 得分( $Y_2$ )	综合评分 $Y$	规范化综合评分 $Z$
1	2.311	0.166	1.828	0.916
2	-1.938	-2.037	-1.961	0.060
3	-2.268	0.007	-1.755	0.106
4	2.751	-0.564	2.004	0.955
5	-1.210	1.060	-0.698	0.345
6	0.374	1.106	0.539	0.625
7	0.173	-1.273	-0.153	0.468
8	2.941	-0.341	2.201	1.000
9	-2.484	-1.342	-2.227	0.000
10	-0.991	1.069	-0.527	0.384
11	-0.582	1.186	-0.183	0.462
12	2.474	0.556	2.041	0.964
13	-0.941	-1.331	-1.029	0.270
14	-1.982	0.987	-1.313	0.206
15	-0.261	-0.094	-0.224	0.452
16	2.954	-0.432	2.191	0.998
17	-1.319	1.275	-0.735	0.337

方差分析结果见表 9。

表 9 回归模型方差分析  
Table 9 Analysis of variance of regression model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1.89	9	0.210 3	63.90	<0.000 1	**
A	0.111 2	1	0.111 2	33.77	0.000 7	**
B	0.038 9	1	0.038 9	11.83	0.010 9	*
C	0.004 6	1	0.004 6	1.39	0.277 6	
AB	0.001 3	1	0.001 3	0.393 8	0.550 2	
AC	0.026 4	1	0.026 4	8.02	0.025 3	*
BC	0.000 4	1	0.000 4	0.121 5	0.737 6	
A <sup>2</sup>	1.03	1	1.03	312.10	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	0.375 6	1	0.375 6	114.12	<0.000 1	**
C <sup>2</sup>	0.156 7	1	0.156 7	47.62	0.000 2	**
残差	0.023 0	7	0.003 3			
失拟项	0.018 2	3	0.006 1	5.06	0.075 6	
纯误差	0.004 8	4	0.001 2			
总和	1.92	16				

注:\*表示影响显著( $P < 0.05$ );\*\*表示影响极显著( $P < 0.01$ )。

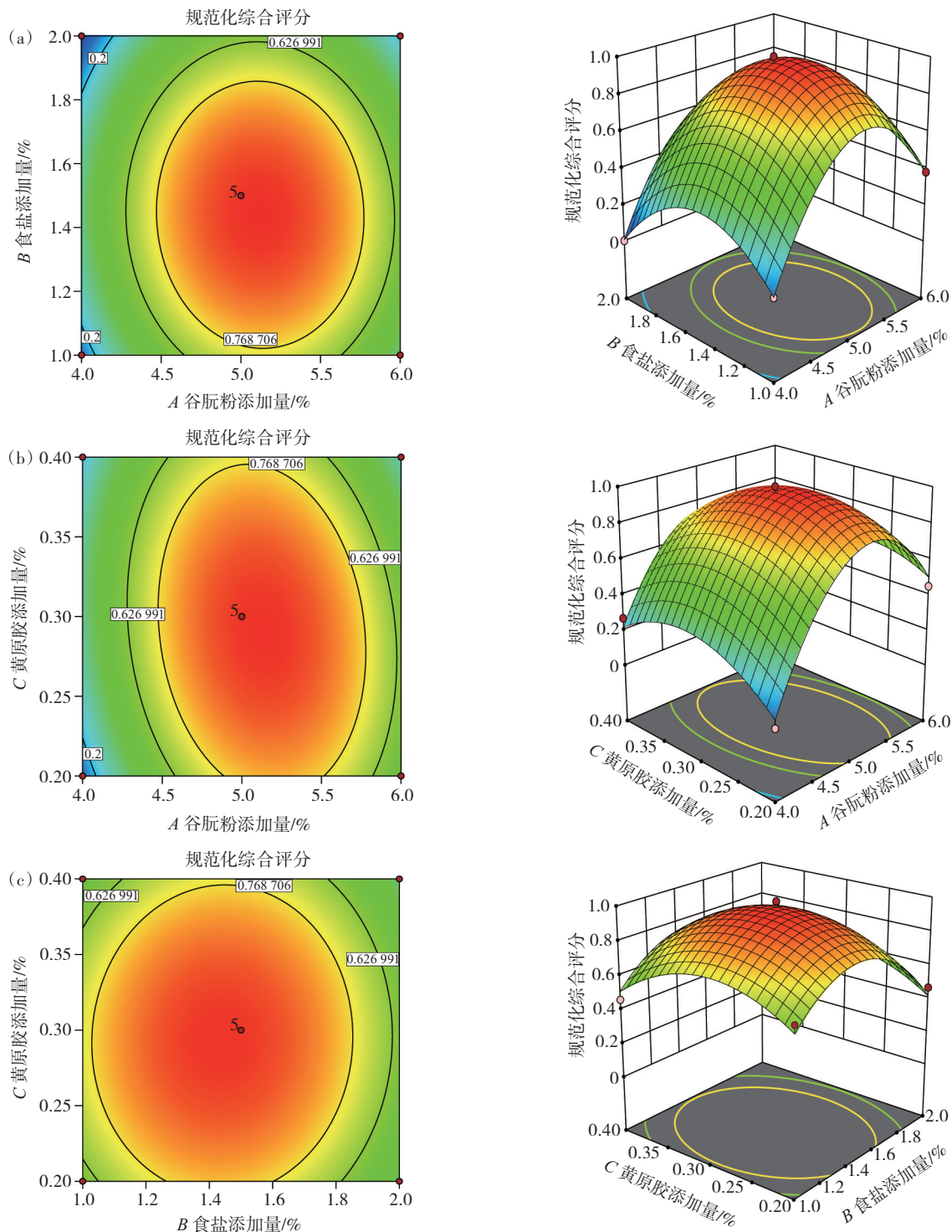
由表 9 可知,方程模型  $P$  值  $< 0.000 1$ ,说明此模型方程差异极显著。失拟项  $P$  值为 0.075 6,大于 0.05,失拟项不显著。模型方程  $R^2$  为 0.988 0,  $R_{Adj}^2$  为 0.972 5,具有较好的拟合度,此模型方程可以用于响应值的分析和预测。3 种改良剂对饺子皮规范化综合评分的影响程度为  $A$ (谷朊粉添加量) $>B$ (食盐添加量) $>C$ (黄原胶添加量)。一次项  $A$  及二次项  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$  对饺子皮规范化综合评分( $Z$ )的影响极显著( $P < 0.01$ ),一次项  $B$ 、交互项  $AC$  影响显著( $P < 0.05$ ),而一次项  $C$  及交互项  $AB$ 、

BC对规范化综合评分(Z)无显著性影响( $P>0.05$ )。

### 2.4.4 各因素交互作用分析

响应曲面图中曲线的弯曲程度越大,表明因素对

响应值的影响程度越大;等高线越密集且形状呈椭圆形,表明因素的交互作用显著<sup>[26]</sup>。各因素间的交互作用如图1所示。



(a)谷朊粉添加量与食盐添加量交互作用;(b)谷朊粉添加量与黄原胶添加量交互作用;(c)食盐添加量与黄原胶添加量交互作用。

图1 各因素间的交互作用

Fig.1 Interaction diagram among various factors

由图1可知,AC(谷朊粉添加量与黄原胶添加量)等高线图呈椭圆形,说明谷朊粉添加量和黄原胶添加量的交互作用对葛根玉米复合饺子皮的规范化综合评

分(Z)影响显著,而AB(谷朊粉添加量与食盐添加量)、BC(食盐添加量与黄原胶添加量)等高线图近似于圆形,说明AB、BC交互作用对葛根玉米复合饺子皮的规

范化综合评分(Z)影响不显著,这与方差分析结果一致。

#### 2.4.5 验证试验

运用 Design-Expert 11 软件进行响应面分析,结果显示饺子皮中 3 种改良剂的最优添加量为谷朊粉 5.13%、食盐 1.44%、黄原胶 0.29%(以混合粉质量为基准),此时模型方程预测的规范化综合评分为 0.980。

验证试验中将改良剂的添加量调整为谷朊粉 5.0%、食盐 1.4%、黄原胶 0.3%(以混合粉质量为基准),在该条件下进行 5 次重复验证试验,测得葛根玉米复合饺子皮蒸煮损失率为(4.62±0.06)%,吸水率为(90.90±1.02)%,透光率为(87.34±0.20)%,硬度为(3 700.20±110.62)g,咀嚼性为(4 160.22±116.82)g,剪切硬度为(318.38±19.15)g,规范化综合评分为 0.965±0.005,与模型方程的预测值(0.980)基本一致,相对误差较小,表明此模型方程具有较好的预测能力。

### 3 结论

为改良葛根玉米复合饺子皮品质,本研究以谷朊粉、食盐、黄原胶为品质改良剂制作葛根玉米复合饺子皮。在单因素试验的基础上,采用响应面结合主成分分析法确定 3 种改良剂的最佳添加量为谷朊粉 5.0%、食盐 1.4%、黄原胶 0.3%(以混合粉质量为基准),3 种改良剂对葛根玉米复合饺子皮品质的影响程度依次为谷朊粉>食盐>黄原胶。此条件下制作的葛根玉米复合饺子皮蒸煮损失率为(4.62±0.06)%,吸水率为(90.90±1.02)%,透光率为(87.34±0.20)%,硬度为(3 700.20±110.62)g,咀嚼性为(4 160.22±116.82)g,剪切硬度为(318.38±19.15)g,规范化综合评分为 0.965±0.005,与模型方程预测值(0.980)基本一致,说明通过响应面结合主成分分析法优化葛根玉米复合饺子皮复合改良剂配比的方法切实可行,本研究为复合饺子皮的生产与开发提供了一定的依据。

#### 参考文献:

- [1] 纪成. 马铃薯玉米复合饺子皮工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 59-62.  
JI Cheng. Optimization of potato and corn compound dumpling wrapper[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(7): 59-62.
- [2] 崔薇, 刘晓伟. 基于响应面法优化沙棘叶饺子皮工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(7): 78-81.  
CUI Wei, LIU Xiaowei. Study on optimization of sea-buckthorn leaf dumpling wrapper technology based on response surface[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(7): 78-81.
- [3] 邓敏. 响应面法结合主成分分析优化葛根山药营养饺子皮配方[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(6): 92-96, 133.  
DENG Min. Optimization of *Radix Puerariae* and yam nutritious dumpling wrapper formula by response surface methodology combined with principal component analysis[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(6): 92-96, 133.
- [4] 姜太玲, 严炜, 白丽娜, 等. 均匀设计结合模糊数学优化紫花苜蓿饺子皮的加工工艺[J]. 食品工业, 2023, 44(7): 82-86.  
JIANG Tailing, YAN Wei, BAI Lina, et al. Optimization of processing technology of alfalfa dumpling skin by uniform design and fuzzy mathematics[J]. The Food Industry, 2023, 44(7): 82-86.
- [5] SHENG S Y, LI T, LIU R H. Corn phytochemicals and their health benefits[J]. Food Science and Human Wellness, 2018, 7(3): 185-195.
- [6] ZOU Y, HONG B, FAN L, et al. Protective effect of puerarin against beta-amyloid-induced oxidative stress in neuronal cultures from rat hippocampus: Involvement of the GSK-3 $\beta$ /Nrf2 signaling pathway[J]. Free Radical Research, 2013, 47(1): 55-63.
- [7] 付旭冉, 叶永丽, 赵晓联, 等. 葛根功效活性及其在食品中的应用进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(13): 197-205.  
FU Xuran, YE Yongli, ZHAO Xiaolian, et al. Research progress into multiple uses for *Puerariae lobatae* and its application in food[J]. Food Research and Development, 2021, 42(13): 197-205.
- [8] 班进福, 魏益民, 郭进考, 等. 谷朊粉对饺子粉品质改良效果的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010(7): 20-22.  
BAN Jinfu, WEI Yimin, GUO Jinkao, et al. A study on effect of wheat gluten on quality improvement of dumpling flour[J]. Cereal & Feed Industry, 2010(7): 20-22.
- [9] 翟爱华, 张钟宇. 面团改良剂对玉米饺子粉流变学特性影响研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(8): 65-71.  
ZHAI Aihua, ZHANG Zhongyu. Effects of dough modifier on the rheological characteristics of corn dumpling flour[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(8): 65-71.
- [10] GASPARRI N, ROSELL C M. Role of hydrocolloids in gluten free noodles made with tiger nut flour as non-conventional powder[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 97: 105194.
- [11] OBADI M, ZHANG J Y, XU B. The role of inorganic salts in dough properties and noodle quality-A review[J]. Food Research International, 2022, 157: 111278.
- [12] 江永利. 高膳食纤维水饺皮的制备及其贮藏稳定性研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2019.  
JIANG Yongli. Development of dietary fiber-rich dumpling wrapper and study of its storage stability[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2019.
- [13] 张麟. 冻藏温度对非发酵面团筋蛋白及冷冻饺子皮品质的影响研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2022.  
ZHANG Lin. Effects of freezing storage temperature on gluten protein of non-fermented dough and quality of frozen dumpling skin[D]. Xinxiang: Henan Institute of Science and Technology, 2022.
- [14] 甘巧, 贾洪锋, 汤思忆, 等. 葡萄叶粉在水饺皮中的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(23): 159-166.  
GAN Qiao, JIA Hongfeng, TANG Siyi, et al. Application of grape leaf powder in dumpling skin[J]. Food Research and Development, 2019, 40(23): 159-166.
- [15] LI Y M, ZHANG C C, JIANG X J, et al. The effects of different additives on the physical properties of dumpling wrapper[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 13(4): 3077-3085.
- [16] 王媛, 娄海伟, 赵仁勇. 糯玉米淀粉对水饺皮品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 71-78.  
WANG Yuan, LOU Haiwei, ZHAO Renyong. Effect of waxy corn starch on the quality of dumpling wrappers[J]. Food Science, 2023, 44(2): 71-78.
- [17] 邓雁方, 陈绍军, 钟焱, 等. 基于主成分分析与聚类分析的面条力学品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 225-231.  
DENG Yanfang, CHEN Shaojun, ZHONG Yan, et al. Evaluation of mechanical qualities of noodles based on principal component

- analysis and cluster analysis[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(8): 225-231.
- [18] 黄婷婷, 白羽嘉, 冯作山, 等. 响应面结合主成分分析优化面团配方[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 197-204.  
HUANG Tingting, BAI Yujia, FENG Zuoshan, et al. Optimization of instant dough slice formula by response surface-principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 197-204.
- [19] 汪磊, 陈洁, 吕莹果, 等. 谷朊粉对烩面面团流变学性质及烩面品质的影响研究[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 182-185.  
WANG Lei, CHEN Jie, LYU Yingguo, et al. Effects of gluten on dough rheological properties and quality of stewed noodles[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(6): 182-185.
- [20] 龙广梅, 周晓燕, 钱建亚. 马铃薯全粉饺子皮品质改良研究[J]. 美食研究, 2020, 37(4): 47-50.  
LONG Guangmei, ZHOU Xiaoyan, QIAN Jianya. A study on quality improvement of potato dumpling wrapper[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2020, 37(4): 47-50.
- [21] 张珊, 任传英, 程建军, 等. 基于主成分和响应面分析三种改良剂对发酵玉米面条品质的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(1): 214-223.  
ZHANG Shan, REN Chuanying, CHENG Jianjun, et al. The influences of three quality improvers on the quality of fermented corn noodles based on principal component analysis and response surface methodology[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(1): 214-223.
- [22] 蔡梦迪, 李玉辉, 沈春霞, 等. 响应曲面设计结合熵权法优化石磨全麦挂面配方[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(5): 259-266.  
CAI Mengdi, LI Yuhui, SHEN Chunxia, et al. Recipe optimization of stone-milled whole wheat noodles by response surface design and entropy weight method[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(5): 259-266.
- [23] 曹蒙, 王雪菲, 柳诚刚, 等. 葛根粉对面条质构和蒸煮品质的影响及葛根面条配方优化[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(7): 149-158.  
CAO Meng, WANG Xuefei, LIU Chenggang, et al. Effect of Pueraria powder on the texture and cooking quality of noodles and Pueraria noodle formula optimization[J]. China Food Additives, 2023, 34(7): 149-158.
- [24] CHEN G J, EHMKE L, SHARMA C, et al. Physicochemical properties and gluten structures of hard wheat flour doughs as affected by salt[J]. Food Chemistry, 2019, 275: 569-576.
- [25] 卫阿枝, 张国治, 张康逸, 等. 复配型改良剂对青麦仁面条品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(3): 52-57.  
WEI Azhi, ZHANG Guozhi, ZHANG Kangyi, et al. Study on the effect of compound modifier on quality of green wheat kernel noodle [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(3): 52-57.
- [26] 肖世娣, 王菁, 薛逸轩, 等. 响应面-主成分分析法优化仙人掌发酵酒工艺[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 113-119, 128.  
XIAO Shidi, WANG Jing, XUE Yixuan, et al. Optimization of Cactus fermented wine process by response surface-principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(15): 113-119, 128.

加工编辑: 张岩蔚  
收稿日期: 2024-03-29