

# 基于降维分析优化南瓜籽多糖拉面面团制作工艺

薛山<sup>1,2</sup>, 肖夏<sup>3</sup>, 陈舒怡<sup>1</sup>, 刘伯虎<sup>1</sup>

(1. 闽南师范大学生物科学与技术学院 福建 漳州 363000 2. 菌物产业福建省高校工程研究中心, 福建 漳州 363000 3. 四川理工学院生物工程学院 四川 自贡 643000)

**摘要:**将提取的南瓜籽粗多糖加入传统的拉面面团中,以期改善传统拉面的品质与营养。选取南瓜籽多糖添加量、加水量、盐添加量、速溶蓬灰添加量、面团静置时间5个单因素,以面团TPA质构的综合得分为指标进行优化。结果表明,经主成分分析法提取公因子,确立综合得分计算模型,得到综合得分( $Y$ )与弹性( $X_1$ )、咀嚼性( $X_2$ )、硬度( $X_3$ )的关系为: $Y=0.375X_1+0.351X_2+0.364X_3$ ;在单因素的基础上进行响应面试验,得到南瓜籽多糖拉面面团的最佳制作工艺为:小麦粉约200g(以此为基准),加水量44.6%,南瓜籽多糖添加量7.1%,食盐添加量3%,蓬灰添加量0.6%,静置时间30min,此时面团综合得分最高,拉面面团质构指标优良。

**关键词:**拉面面团;南瓜籽多糖;工艺优化;降维分析

## Optimization of Processing Technology of Ramen Dough Added Pumpkin Seed Polysaccharide Based on Dimensional Reduction Analysis

XUE Shan<sup>1,2</sup>, XIAO Xia<sup>3</sup>, CHEN Shu-yi<sup>1</sup>, LIU Bo-hu<sup>1</sup>

(1. College of Biological Science and Technology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China;  
2. Engineering Research Center of Fujian Province for Fungal Industry, Zhangzhou 363000, China;  
3. College of Bioengineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract:** The pumpkin seed crude polysaccharide was added into the traditional ramen dough to improve its quality and nutrition. Five single factors including additions of pumpkin seed polysaccharide, water, salt, and instant soluble peng gray, as well as dough resting time were selected to optimize the processing technology with comprehensive score of dough TPA texture as the evaluation index. The results showed that, according to the common factors extracted by principal component analysis, a comprehensive score calculation model was established, and the relationship between comprehensive score ( $Y$ ) and elasticity ( $X_1$ ), chewability ( $X_2$ ), hardness ( $X_3$ ) was as follow:  $Y=0.375X_1+0.351X_2+0.364X_3$ . Based on the single factor and response surface experiments, the optimum processing technology of pumpkin seed polysaccharide ramen dough was determined as follows: wheat flour approximately 200 g, on this basis, water addition 44.6%, salt addition 3%, instant soluble peng gray addition 0.6%, pumpkin seed polysaccharide addition 7.1%, and resting time of dough 30 min. Under these conditions, the prepared ramen dough had the highest comprehensive score and better texture index.

**Key words:** ramen dough; pumpkin seed polysaccharide; technology optimization; dimension reduction analysis

基金项目:福建省团队科技特派员项目(T202006003);闽南师范大学博士科研启动基金(2006L21513);  
福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目(4206/B11654);福建省科技特派员项目(SKTP19005);  
闽南师范大学新工科研究与实践项目

作者简介:薛山(1988—),女,汉族,博士,副教授,研究方向:食品科学。

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2021.02.007

拉面又称为甩面、抻面、扯面等,是深受我国人民喜爱的传统面食,具有浓郁的地方特色。在我国手工拉面种类中,兰州拉面凭借其独特的制作及烹调方法被大众所喜爱,在国内市场中占有较高的比例,已被国家贸易部批准为鼓励发展的三大中式快餐食品之一<sup>[1-2]</sup>。我国对于面条制品的研究起步较晚,研究种类以挂面、鲜食面和速食面为主。目前,国内外关于拉面的报道多集中于小麦品质与面条品质相关性<sup>[3-5]</sup>以及一些拉面改良剂(如速溶蓬灰)的研究<sup>[6-8]</sup>。但是从拉面种类来看较为单一,有待进一步的创新。

研究显示,南瓜籽味甘、性温,营养丰富,含有优质油脂(亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸、 $n-3$ 类多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFAs))<sup>[9]</sup>、植物蛋白质成分<sup>[10]</sup>、高活性多糖<sup>[11]</sup>,同时还含锌、锰、铜、铁、钙、磷、镁、钾、钠等矿物质元素,是一种理想的营养健康资源,具有较好的保健功效<sup>[12]</sup>。研究发现,南瓜籽的功效成分具有多种药理活性,尤其是多糖能够抑菌、抗衰老、抗肿瘤<sup>[11,13]</sup>。据报道,南瓜籽中含有一定量的非淀粉多糖,经热水浸提和乙醇沉淀容易制得,受到了广泛关注<sup>[11]</sup>。目前,秋葵多糖<sup>[14]</sup>、菊粉<sup>[15-17]</sup>、麦麸<sup>[18]</sup>、燕麦 $\beta$ -葡聚糖<sup>[19]</sup>等植物类多糖已广泛应用于面类制品中,用于改善质构特性,提升产品品质。因此,本研究将南瓜籽多糖添加至拉面面团制作中,以期对拉面面团新品种的研发提供理论依据与创新思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 材料与试剂

新疆南瓜籽:由大闽集团提供;金沙河高筋小麦粉:邢台金沙河面业有限责任公司产品;中盐福晶盐:中盐福建盐业有限公司产品;食用调和油:益海嘉里食品营销有限公司(金龙鱼)产品;精纯拉面剂(速溶蓬灰):甘肃力司食品科技有限公司产品;以上材料均为食品级。乙醚、乙醇、丙酮均为分析纯,西陇科学股份有限公司产品。

#### 1.1.2 仪器与设备

FW100型高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;AR124CN型电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司;DHG-9030A型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;CT3-10K型质构仪,美国Brookfield博勒飞公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 南瓜籽多糖的提取

参考王丽波等<sup>[20]</sup>的方法,南瓜籽于60℃烘干24h(含水量约为2.0%),粉碎后过80目筛,乙醚50℃索氏抽提脱脂48h得到脱脂南瓜籽粉。在加水45%,提取温度60℃、提取时间2.5h条件下提取南瓜籽多糖,所得上清液于4000r/min离心15min,之后用4倍体积的95%乙醇醇沉(80%醇沉)4℃静置12h,于4000r/min离心10min,所得沉淀用乙醇和丙酮各洗涤两次,最后在-50℃,真空度<15Pa的条件下真空冷冻干燥24h,即得南瓜籽粗多糖。南瓜籽多糖的得率(粗多糖质量/脱脂南瓜籽质量)大约为3.5%。

### 1.2.2 南瓜籽多糖拉面面团的制作

称取小麦粉约200g(以此为基准),按加水量45%加入水、3%南瓜籽多糖、3%食盐、0.6%蓬灰混匀后均力揉搓约6min。和面时注意分3次加水,搅拌使面团形成絮状或者雪花片状,拉面剂溶液分两次加入,反复搓揉、压实、折叠成面团,随后静置醒发25min,溜条约2min。之后出条轻搓成长度约30cm粗细均匀的面棍进行质构测试<sup>[21]</sup>。具体工艺如图1所示。

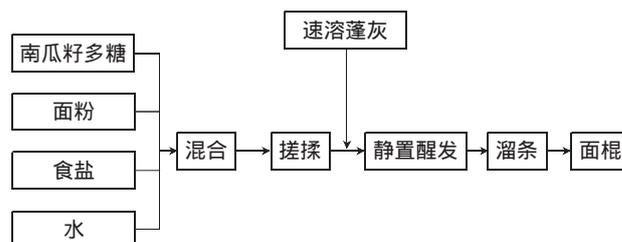


图1 工艺流程图  
Fig.1 Process flow chart

### 1.2.3 单因素试验设计

#### 1.2.3.1 加水量对面团品质的影响

考察加水量分别为35%、40%、45%、50%、55%时对面团综合得分的影响。其他条件为:南瓜籽多糖添加量3%,食盐添加量3%,蓬灰添加量0.6%,静置时间25min。

#### 1.2.3.2 南瓜籽多糖添加量对面团品质的影响

考察南瓜籽多糖添加量分别为1%、3%、5%、7%、9%时对面团综合得分的影响。其他条件为:加水量45%,食盐添加量3%,蓬灰添加量0.6%,静置时间25min。

### 1.2.3.3 食盐添加量对面团品质的影响

考察食盐添加剂量分别为1%、2%、3%、4%、5%时对面团综合得分的影响。其他条件为:加水量45%、南瓜籽多糖添加量7%、蓬灰添加量0.6%、静置时间25 min。

### 1.2.3.4 蓬灰添加量对面团品质的影响

考察蓬灰添加剂量分别为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%时对面团综合得分的影响。其他条件为:加水量45%、南瓜籽多糖添加量7%、食盐添加量3%、静置时间25 min。

### 1.2.3.5 静置时间对面团品质的影响

考察静置时间15、20、25、30、35 min时对面团综合得分的影响。其他条件为:加水量45%、南瓜籽多糖添加量7%、食盐添加量3%、蓬灰添加量0.6%。

### 1.2.4 响应面试验设计

在单因素试验结果的基础上,根据Box-Behnken的试验设计原理,综合考虑单因素试验的影响,选择指标进行响应面优化试验。

### 1.2.5 最优组合验证试验

根据多因素响应面试验所得到最优的工艺条件进行验证试验。

### 1.2.6 面团硬度、咀嚼性及弹性指标的测定

将制好的面团置于CT3-10K型质构仪,选用TA25/1000探头测定,参数设定如下:测试类型为TPA质构分析目标,等待时间为0 s;触发点负载为0.07 N;测试速度为1 mm/s;返回速度为1 mm/s;循环次数为2.0;同一触发点;真预测试速度为2 mm/s;夹具为TA-RT-KIT;负载单元为10 000 g。

### 1.2.7 数据处理

运用SPSS 17.0软件建立模型,采用因子分析法提取主成份公因子,对面团进行综合得分的评定。用SPSS 22.0软件对数据进行处理,各组数据均以平均值±标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 综合得分评价模型的建立

#### 2.1.1 质构指标降维模型的KMO和巴特利球形检验

由表1可见,加水量对面团质构指标有显著影响,故根据该结果构建综合得分评价模型。KMO检验和巴特利球形检验用于判断变量是否适用因子分析法。一般认为,KMO统计量大于0.5时就认为可以做因子分析,检验结果如表2所示,模型建立合理。

表1 加水量对面团弹性、咀嚼性和硬度的影响  
Table 1 Effect of water addition on elasticity, chewiness and hardness of dough

指标	加水量/%				
	35	40	45	50	55
弹性/mm	1.70±0.06 d	2.89±0.01 b	3.20±0.05 a	2.27±0.05 c	1.72±0.08 d
咀嚼性/mJ	1.50±0.56 c	6.65±0.38 b	10.9±1.37 a	8.95±0.81 b	2.45±0.53 c
硬度/N	3.06±0.17 b	4.90±0.55 b	5.49±0.46 a	3.20±0.67 b	3.40±0.19 b

注:同行数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

表2 质构指标降维模型的KMO和巴特利球形检验  
Table 2 KMO and Bartlett's test of sphericity for dimensionality reduction models for texture index

取样足够的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	Bartlett的球形度检验		
	近似卡方	自由度	显著性
0.722	4.480	3	0.214

### 2.1.2 解释的总方差

根据SPSS 17.0软件运用主成分分析法提取特征值大于1的因子,碎石图输出结果如图2所示。

由图2可以看出,该特征值曲线只有一个因子的特征值大于1。经过方差最大化正交旋转后1个因子的累计方差贡献率达到84.036%,即所提取的1

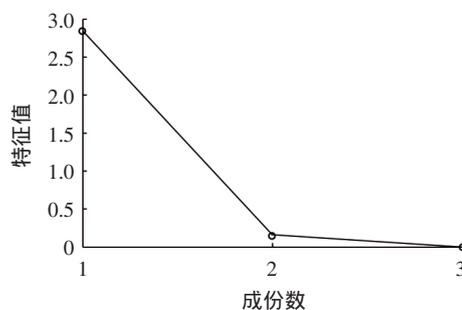


图2 因子分析的碎石图  
Fig.2 Scree plot of Factor analysis

个因子反映原来3个指标84.036%的信息,具体如表3所示。

表3 解释的总方差  
Table 3 Total variance explained

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差占比/%	累积值/%	合计	方差占比/%	累积值/%
1	2.521	84.036	84.036	2.521	84.036	84.036
2	0.324	10.804	94.840			
3	0.155	5.160	100.000			

注:提取方法为主成分分析。

### 2.1.3 提取公因子确立综合得分计算

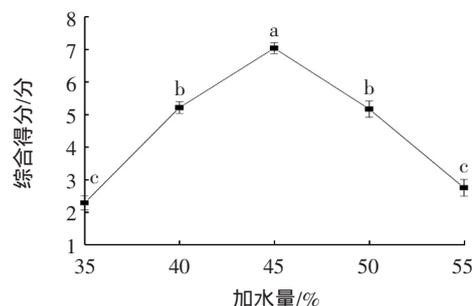
通过因子旋转的方法,使每个变量仅在一个公共因子上有较大的载荷,而在其余的公共因子上的载荷比较小,这样就突出了每个公共因子和其载荷较大的那些变量的关系,该公共因子的含义也就能通过这些载荷较大的变量作出合理的解释。根据旋转后的载荷矩阵得到综合得分 $Y$ 的计算公式如下: $Y=0.375X_1+0.351X_2+0.364X_3$ ,其中: $X_1$ 代表弹性值, $X_2$ 代表咀嚼性值, $X_3$ 代表硬度值。

## 2.2 单因素试验结果

### 2.2.1 加水量对面团综合得分的影响

由图3可见,面团综合得分呈现先升高后降低的趋势,在加水量45%时综合评分最高。赵丹丹等<sup>[22]</sup>优化拉面工艺得出加水量43%时,面团延伸距离和感官评分最优,与本试验的加水量相差不大。

水作为面团中面筋形成的主要介质对面制品品质的影响十分显著,随着加水量的增加,面团的黏性和延伸性逐渐增大,同时硬度和抗拉伸力逐渐降低<sup>[23]</sup>。面粉中蛋白质和淀粉是吸水主体,加水量逐渐增多时,蛋白质和淀粉都会逐渐吸水、胀润而形成网络结构,但加水量过大时,自由水含量大大增加,面团表面过黏而不适于拉面的制作。故一般拉面的制作加水量通常控制在50%左右,且因面粉种类、含水量、季节等因素而有所差异<sup>[24]</sup>。



注:图中不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),以下各图同。

图3 加水量对面团综合得分的影响

Fig.3 Effect of water addition on comprehensive score of dough

### 2.2.2 南瓜籽多糖添加量对面团综合得分的影响

南瓜籽多糖添加量对面团质构指标的影响如表4所示。按照综合得分计算公式,得到南瓜籽多糖添加量对综合品质的影响如图4所示。

表4 南瓜籽多糖添加量对面团弹性、咀嚼性和硬度的影响

Table 4 Effects of pumpkin seed polysaccharide addition on elasticity, chewiness and hardness of dough

指标	南瓜籽多糖添加量/%				
	1	2	3	4	5
弹性/mm	1.98±0.08 b	2.18±0.02 ab	2.28±0.01 a	2.32±0.02 a	2.24±0.04 a
咀嚼性/mJ	1.81±0.03 c	1.95±0.04 c	2.65±0.25 bc	4.02±0.22 a	3.65±0.32 ab
硬度/N	3.02±0.07 c	3.13±0.11 bc	3.49±0.05 ab	3.64±0.06 a	3.19±0.09 bc

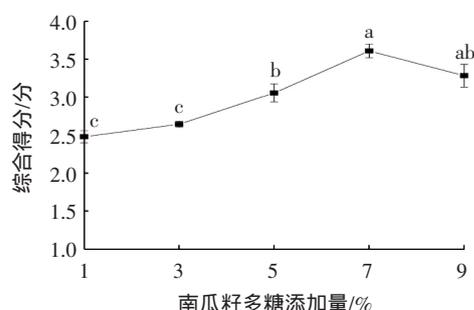


图4 南瓜籽多糖添加量对面团综合得分的影响

Fig.4 Effect of pumpkin seed polysaccharide addition on comprehensive score of dough

由图4可见,南瓜籽多糖添加量对面团综合得分的影响较为显著,当添加量为7%时,综合得分最高。陈洁等<sup>[14]</sup>研究了秋葵多糖对面团质构的影响,发现在试验设计范围内,随秋葵多糖浓度的增加,面团弹性下降而黏性增加,且秋葵多糖能显著降低冷冻面团的硬度,增强其弹性和内聚性。张令文等<sup>[16]</sup>研究认为,天然多糖能够改善面粉的粉质特性及面团的拉伸特性,如添加天然菊粉能使面团吸水率和弱化度降低,从而使面团的形成时间、稳定时间和粉质质量指数增加;在试验范围内,随天然菊粉添加量的增加,面团的拉伸阻力和拉伸比例逐渐增大,而拉伸曲线面积和延伸

度呈先增大后减小的趋势。由此可见,多糖的添加对面团硬度、弹性、内聚性等指标有着显著影响,进而也影响着面团的综合得分。

此外,诸多研究显示面粉中以小麦面筋蛋白为主的成分构成对面团延伸有显著影响<sup>[2,25]</sup>。其中,高分子量麦谷蛋白亚基和低分子量麦谷蛋白亚基通过分子内和分子间的二硫键交联,构成了面团的面筋网络,主要影响面团的弹性和强度<sup>[26]</sup>,且麦谷蛋白主要赋予了面团的弹性,而麦胶蛋白赋予了面团的延伸性<sup>[27-28]</sup>。因此,推测南瓜籽多糖对面团弹性、咀嚼性、硬度及质构综合得分的影响可能是由于南瓜籽多糖的添加改变了面团中麦谷蛋白及麦胶蛋白的交联结

构,进而影响面团面筋网络构象所致。

### 2.2.3 食盐添加量对面团综合得分的影响

食盐添加量对面团质构指标的影响如表5所示,对面团综合得分的影响如图5所示。由图5可见,当食盐添加量为3%时,综合得分达到最高,与4%的结果差异不显著,故选择3%的食盐添加量。研究认为,食盐的添加能够改善拉面面团的韧性、筋力、耐揉性,同时使得蛋白质二级结构中有序结构含量增多,包埋淀粉颗粒的蛋白质网络结构更加有序,从而改善拉面面团的延伸性<sup>[29-30]</sup>。但食盐添加过多不仅影响口感,还会造成面团韧性过大影响揉制及拉伸效果。

表5 盐添加量对面团弹性、咀嚼性和硬度的影响

Table 5 Effect of salt addition on elasticity, chewiness and hardness of dough

指标	食盐添加量/%				
	1	2	3	4	5
弹性/mm	2.33±0.01 c	2.42±0.02 bc	2.46±0.05 bc	2.69±0.02 a	2.49±0.02 b
咀嚼性/mJ	5.22±0.22 c	5.88±0.12 b	6.97±0.03 a	7.48±0.09 a	4.74±0.06 c
硬度/N	4.48±0.16 c	5.26±0.08 ab	5.91±0.04 a	4.99±0.14 bc	3.74±0.16 d

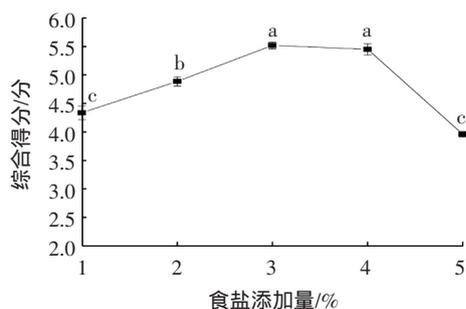


图5 食盐添加量对面团综合得分的影响

Fig.5 Effect of salt addition on comprehensive score of dough

### 2.2.4 蓬灰添加量对面团综合得分的影响

蓬灰添加量对面团质构指标的影响如表6所示。据报道,蓬灰作为常用的拉面剂能够起到弱化面团筋力的作用,并有效增强拉面的延伸性和风味,在添加量0.8~1.2%区间,面团的耐揉性与筋力综合达到最优,此时面团内部的二硫键被打开还原,面筋蛋白二级结构中的β-折叠含量最高,综上增大了面团的延

伸性,推测其原理在于随着拉面剂用量的增加,面团内部的游离巯基含量增加,同时二硫键含量减少,蓬灰能够通过还原面筋中的二硫键,从而增大面团的延伸性<sup>[31]</sup>。蓬灰对面团综合得分的影响如图6所示,蓬灰添加量在0.2%~0.8%时,对综合评分的影响不显著,继续加大使用剂量反而评分有所下降,可能是因

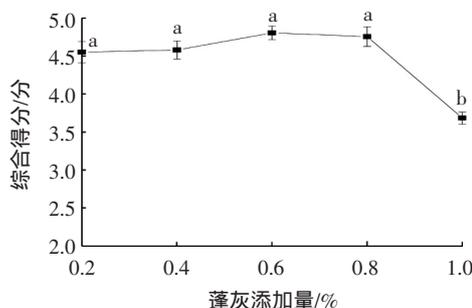


图6 蓬灰添加量对面团综合得分的影响

Fig.6 Effect of instant soluble peng gray addition on comprehensive score of dough

表6 蓬灰添加量对面团弹性、咀嚼性和硬度的影响

Table 6 Effect of instant soluble peng gray addition on elasticity, chewiness and hardness of dough

指标	蓬灰添加量/%				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
弹性/mm	3.24±0.02 a	2.52±0.02 b	2.41±0.03 b	2.29±0.04 b	2.28±0.13 b
咀嚼性/mJ	5.75±0.53 a	5.65±0.39 a	5.45±0.18 ab	5.22±0.42 ab	3.73±0.05 b
硬度/N	3.62±0.04 d	4.53±0.05 bc	5.46±0.06 a	5.02±0.19 ab	4.17±0.18 cd

为蓬灰改变了面团的流变学特性,对形成面筋的蛋白质产生了影响。有研究者指出,蓬灰是由白茎盐生草烧制成草灰,经过脱色纯化后,添加食用碱等成分合成的白色粉末,因此在食用上具有一定的安全风险,故不建议过量使用<sup>[6,24,31-32]</sup>,选择蓬灰添加量0.6%。

### 2.2.5 面团静置时间对面团综合得分的影响

面团静置时间对面团弹性、咀嚼性和硬度的影响

表7 面团静置时间对面团弹性、咀嚼性和硬度的影响

Table 7 Effect of dough resting time on elasticity, chewiness and hardness of dough

指标	面团静置时间/min				
	15	20	25	30	35
弹性/mm	2.07±0.02 b	2.18±0.01 b	3.31±0.14 a	2.45±0.06 b	2.22±0.03 b
咀嚼性/mJ	1.91±0.03 c	1.51±0.02 d	1.11±0.04 e	4.63±0.05 a	4.20±0.04 b
硬度/N	2.12±0.10 c	2.26±0.11 c	2.96±0.06 b	3.77±0.08 a	3.63±0.01 a

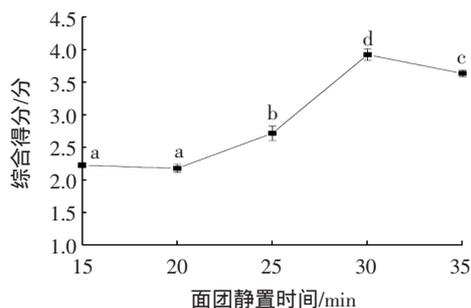


图7 面团静置时间对面团综合得分的影响

Fig.7 Effect of dough resting time on comprehensive score of dough

## 2.3 响应面因素试验结果

### 2.3.1 响应面优化设计与结果

在单因素试验结果的基础上,根据 Box-Behnken 的中心组合试验原理,选择对试验结果影响较大的加水量、南瓜籽多糖添加量和面团静置时间3个因素设计响应面优化试验。因素编码水平见表8,试验结果见表9。

表8 响应面优化试验因素水平表

Table 8 Factors and levels of response surface optimization test

水平	因素		
	A 加水量/%	B 南瓜籽多糖添加量/%	C 面团静置时间/min
-1	42	6	25
0	45	7	30
1	48	8	35

如表7所示,对面团综合得分影响如图7所示。醒发时间也会影响面团品质,静置醒发的主要目的是使面团内颗粒均匀吸水,面筋网络逐渐延伸,从而消除内应力,使面团更加稳定<sup>[31]</sup>。由图7可见,随着面团静止时间的延长,面团综合评分先升高后下降,在30 min时取得最大值。

表9 响应面试验设计及结果

Table 9 Design and results of response surface methodology

试验号	因素			Y 综合得分/分
	A 加水量/%	B 南瓜籽多糖添加量/%	C 面团静置时间/min	
1	45	6	25	7.09
2	48	6	30	5.79
3	45	7	30	9.19
4	48	7	25	6.11
5	45	8	35	7.75
6	48	8	30	6.23
7	45	7	30	8.46
8	45	7	30	8.99
9	45	7	30	9.05
10	45	7	30	9.07
11	48	7	35	6.40
12	42	7	25	7.19
13	42	6	30	6.50
14	42	8	30	7.01
15	42	7	35	7.17
16	45	8	25	7.51
17	45	6	35	7.33

### 2.3.2 回归模型方差分析及显著性检验

采用 Design Expert V 8.0.6.1 软件对表9的数据进行回归分析,得到A加水量、B南瓜籽多糖添加量及C面团静置时间与综合得分之间的二元多次回归方程  $Y=8.95-0.42A+0.22B+0.094C-0.018AB+0.078AC+0.000BC-1.64A^2-0.93B^2-0.60C^2$ 。

对该模型进行方差分析,结果如表10所示。

表 10 响应面试验方差分析  
Table 10 Variance analysis of response surface methodology

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	19.88	9	2.21	44.56	<0.000 1
A	1.39	1	1.39	28.14	0.001 1
B	0.40	1	0.40	8.08	0.024 9
C	0.070	1	0.070	1.42	0.272 4
AB	1.225×10 <sup>-3</sup>	1	1.225×10 <sup>-3</sup>	0.025	0.879 5
AC	0.024	1	0.024	0.48	0.508 7
BC	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0
A <sup>2</sup>	11.27	1	11.27	227.40	<0.000 1
B <sup>2</sup>	3.67	1	3.67	74.04	<0.000 1
C <sup>2</sup>	1.51	1	1.51	30.43	0.000 9
残差	0.35	7	0.050		
失拟项	0.023	3	7.742×10 <sup>-3</sup>	0.096	0.958 4
净误差	0.82	4	0.081		
总误差	20.22	16			

由表 10 可知,模型极显著( $P < 0.01$ ),失拟项不显著( $P > 0.05$ ),说明所得二次回归方程极显著,综合得分回归方程的决定系数  $R^2 = 0.9828$ ,说明响应值的变化有 98.28%来源于所选的 3 个变量。通过 F 值可以得出,各因素对综合得分的影响显著性大小分别为 A 加水量 > B 南瓜籽多糖添加量 > C 面团静置时间,其中面团静置时间对结果的影响不显著。变异系数是衡量每个测量平均值偏离真实情况的参数,其值越小,表明重复性越好,模型的变异系数为 2.98,在可接受范围内,说明该模型的重复性良好。

### 2.3.3 交互效应分析

加水量、南瓜籽多糖添加量、面团静置时间交互作用的响应面及等高线图直观地反映了各因素交互作用对响应值的影响。在某一因素水平固定不变的情

况下,考察作用显著的交互项对综合得分的影响,结果见图 8~10。

如图 8 所示,加水量和南瓜籽多糖添加量两因素的交互不显著,当南瓜籽多糖添加量一定时,随着加水量的增加,面团综合得分先升高后下降,但交互作用不显著。当加水量一定时,随着面团静置时间的延长,面团内部面筋筋力不断增强,面团综合得分有所升高,但静置时间过长时,评分反而下降(图 9)。当面团静置时间一定时,随着南瓜籽多糖用量的增加,面团综合评分先小幅升高,这可能是由于南瓜籽多糖的加入虽然使得弹性有所下降,但增加了面团的咀嚼性,但继续增加用量,之后综合评分值又呈现小幅下降趋势,推测可能的原因为弹性的下降幅度超过了咀嚼性的增幅(图 10)。

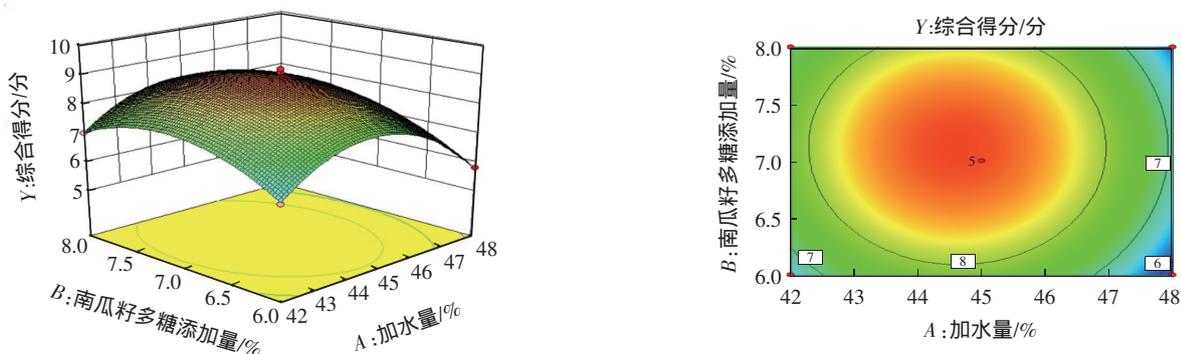


图 8 加水量和南瓜籽多糖添加量交互作用的响应面图和等高线图

Fig.8 Response surface map and contour map of interaction of water and pumpkin seed polysaccharide additions

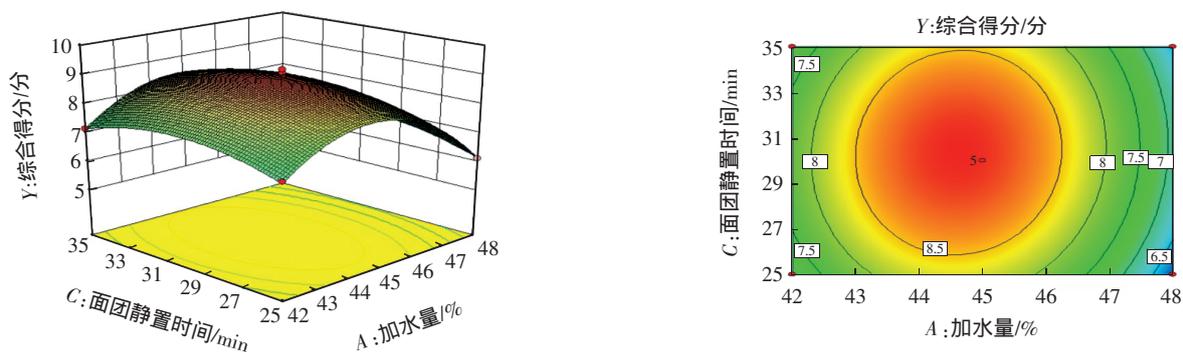


图9 加水量和面团静置时间交互作用的响应面图和等高线图

Fig.9 The response surface map and contour map of water addition and dough rest time

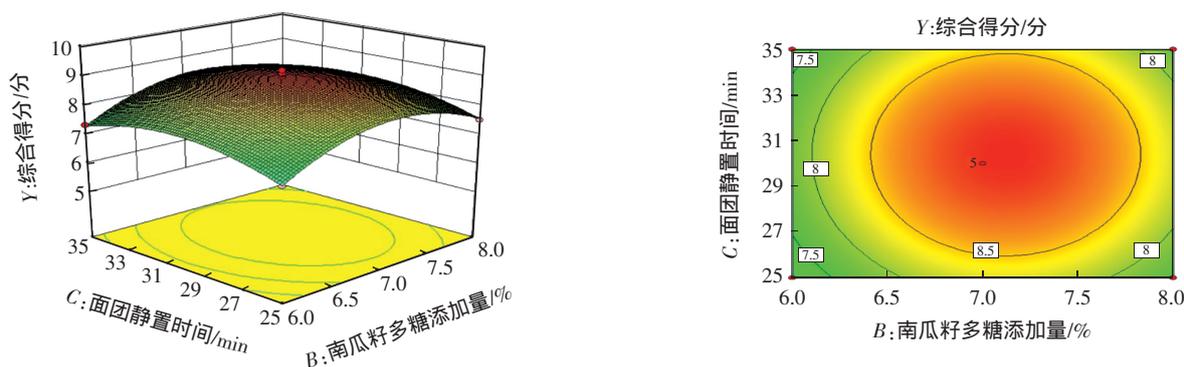


图10 南瓜籽多糖添加量和面团静置时间交互作用的响应面图和等高线图

Fig.10 Response surface map and contour map of interaction of pumpkin seed polysaccharide addition and dough resting time

### 2.3.4 最优的工艺条件的确定与验证

利用 Design Expert 8.0.6.1 软件进行分析,得到面团综合得分最高的工艺参数为:加水量 44.62%,南瓜籽多糖添加量 7.12%,面团静置时间 30.35 min,并预测面团综合得分最高可达 8.995 25。考虑到操作的可行性,将最优条件修正为:加水量 44.6%,南瓜籽多糖添加量 7.1%,面团静置时间 30 min。在此条件下进行重复的制作面团并测得指标后计算综合得分,得到综合评分为  $8.86 \pm 0.22$ ,与预测值差异不显著。

## 3 结论

将脱脂南瓜籽多糖添加至拉面面团中,以面团的综合评分为指标优化其加工工艺。采用主成分因子降维法构建综合评分模型,得到面团综合评分(Y)的数学模型为:  $Y = 0.375X_1 + 0.351X_2 + 0.364X_3$ ,其中  $X_1$  代表弹性值,  $X_2$  代表咀嚼性值,  $X_3$  代表硬度值。基于此模型,优化得到拉面面团制作的最佳工艺参数为:加水量 44.6%,南瓜籽多糖添加量 7.1%,面团静置时间 30 min,与预测模型差异不显著。适量的南瓜籽多糖添加至拉面面团中,能够改善面团质构,为传统拉面产品的创新提供了新的思路。

### 参考文献:

- [1] 邢亚楠. 兰州拉面质量感官评价方法的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015. DOI: 10.7666/d.Y2788011.
- [2] 相吉山, 穆培源, 桑伟, 等. 小麦 HMW-GS 和 LMW-GS 对新疆拉面及蛋白质品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(5): 629-637. DOI: 10.7606/j.issn.1009-1041.2015.05.008.
- [3] 孔雁, 张影全, 邢亚楠, 等. 小麦淀粉特性对兰州拉面质量的影响研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(1): 206-211. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.1.032.
- [4] LIU C, LI L M, HONG J, et al. Effect of mechanically damaged starch on wheat flour, noodle and steamed bread making quality[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(1): 253-260. DOI: 10.1111/ijfs.12306.
- [5] ZHANG S B, LU Q Y, YANG H S, et al. Effects of protein content, glutenin-to-gliadin ratio, amylose content, and starch damage on textural properties of Chinese fresh white noodles[J]. Cereal Chemistry, 2011, 88(3): 296-301. DOI: 10.1094/CCHEM-05-10-0072.
- [6] 李瑞, 马晓军. 速溶蓬灰成分分析及对面团改良机理的研究[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 89-94.
- [7] 石林凡, 陈洁, 吕莹果, 等. 复合碳酸盐对拉面面团延伸性影响研究[J]. 粮食与油脂, 2015(3): 59-62. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9578.2015.03.016.

- [8] 姜海燕, 章绍兵, 陆启玉. 食品改良剂对速冻熟制拉面质构特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(5): 55-59. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9578.2015.05.016.
- [9] 岳琳, 丁春瑞. 新疆南瓜子营养成分及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2016, 41(7): 57-59. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7969.2016.07.013.
- [10] 应译娴, 邱岳, 张小勇, 等. 南瓜籽中还原型谷胱甘肽(GSH)和蛋白巯基(P-SH)的测定[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 143-147. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6521.2017.15.029.
- [11] 王丽波, 徐雅琴, 于泽源, 等. 南瓜籽多糖乙醇分级沉淀与超声波改性研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 206-210. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.028.
- [12] ADAMS G G, IMRAN S, WANG S, et al. The hypoglycaemic effect of pumpkins as antidiabetic and functional medicines [J]. Food Research International, 2011, 44: 862-867. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.03.016.
- [13] SONG Y, ZHANG Y Y, ZHOU T T. A preliminary study of monosaccharide composition and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effect of polysaccharides from pumpkin (*Cucurbita moschata*) fruit [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(2): 357-361. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2011.02846.x.
- [14] 陈洁, 李露芳, 段飞霞, 等. 秋葵多糖流变特性及其对冷冻面团质构的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(2): 265-271. DOI: 10.13684/j.cnki.spkj.2018.02.049.
- [15] 王洋洋, 李芳, 王学东, 等. 菊粉对面团流变性及冷冻面团烘焙特性的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(3): 238-244.
- [16] 张令文, 娄世垚, 计红芳, 等. 天然菊粉对面团流变学及面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 28-32. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.04.006.
- [17] 罗登林, 赵影, 徐宝成, 等. 天然菊粉对面团发酵流变学和面包品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 26-31. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201806005.
- [18] 王立, 杨炜, 钱海峰, 等. 麦麸非淀粉多糖对烘焙品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 248-255. DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2015.04.062.
- [19] 潘利华, 徐婷婷, 罗水忠, 等. 适量燕麦 $\beta$ -葡聚糖改善面团流变学特性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 304-310. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.041.
- [20] 王丽波, 程龙, 徐雅琴, 等. 南瓜籽多糖热水提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 284-290. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.09.040.
- [21] 魏益民, 邢亚楠, 张影全, 等. 兰州拉面制作过程及产品的感官评价方法[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 4016-4029. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2016.20.015.
- [22] 赵丹丹, 陈洁, 王远辉, 等. 响应面法分析不同工艺因素对拉面品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(1): 32-35.
- [23] 艾宇薇. 和面工艺对面团品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013.
- [24] 蒲嘉丽, 饶欢, 陶莎, 等. 拉面面团延伸性影响因素研究进展[J]. 食品科技, 2015, 40(12): 108-111.
- [25] HE Z H, LIU L, XIA X C, et al. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread, and noodle quality of Chinese bread wheats [J]. Cereal Chemistry, 2005, 82: 345-350. DOI: 10.1094/cc-82-0345.
- [26] SHEWRY P R, HALFORD N G, BELTON P S, et al. The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2002, 357(1418): 133-142. DOI: 10.1098/rstb.2001.1024.
- [27] KOVACS M I P, FU B X, WOODS S M, et al. Thermal stability of wheat gluten protein: Its effect on dough properties and noodle texture [J]. Journal of Cereal Science, 2004, 39(1): 9-19. DOI: 10.1016/S0733-5210(03)00058-4.
- [28] DACHKEVITCH T, REDAELLI R, BIANCARDI A M, et al. Genetics of gliadins coded by the group 1 chromosomes in the high-quality bread wheat cultivar Neepawa [J]. Theoretical and Applied genetics, 1993, 86(2-3): 389-399. DOI: 10.1007/BF00222107.
- [29] 陈洁, 石林凡, 汪礼洋, 等. 食盐对拉面面团延伸性影响的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2015, 12(2): 35-38. DOI: 10.7633/j.issn.1003-6202.2015.02.009.
- [30] LYNCH E J, DAL BELLO F, SHEEHAN E M, et al. Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics [J]. Food Research International, 2009, 42(7): 885-891. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.03.014.
- [31] 王远辉, 赵丹丹, 陈洁, 等. 拉面改良剂对拉面面团的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2015(1): 134-137. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2513.2015.01.016.
- [32] 石林凡. 拉面面团微观结构研究及品质改良[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015.

收稿日期 2020-08-25