

肖 猛, 丁 捷, 赵雪梅, 等. 基于响应面和主成分分析的速冻微波青稞鱼面品质改良[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1370-1377.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.06.024

## 基于响应面和主成分分析的速冻微波青稞鱼面品质改良

肖 猛<sup>1</sup>, 丁 捷<sup>1,2</sup>, 赵雪梅<sup>1</sup>, 何江红<sup>1</sup>, 黄益前<sup>1</sup>

(1. 四川旅游学院, 四川 成都 610100; 2. 四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

**摘要:** 以瓜尔胶、黄原胶、TG 酶为品质改良剂, 在单因素试验基础上, 基于主成分综合评价, 利用响应面法改良速冻微波青稞鱼面品质。试验结果表明: 瓜尔胶、黄原胶和 TG 酶对面条综合得分影响均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 且瓜尔胶和黄原胶、黄原胶和 TG 酶之间存在显著或极显著的协同作用。品质改良剂对速冻微波青稞鱼面品质的影响大小为 TG 酶 > 黄原胶 > 瓜尔胶。对速冻微波青稞鱼面品质改良效果最佳的改良剂配方为: 瓜尔胶添加量占混粉总质量的 0.34%, 黄原胶添加量占混粉总质量的 0.08%, TG 酶添加量占混粉总质量的 0.03%。

**关键词:** 速冻微波青稞鱼面; 质构特性; 感官评价; 品质改良; 主成分分析

**中图分类号:** TS217      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2018)06-1370-08

## Quality improvement of quick-frozen microwave highland barley fish noodle based on response surface methodology and principal component analysis

XIAO-Meng<sup>1</sup>, DING-Jie<sup>1,2</sup>, ZHAO Xue-mei<sup>1</sup>, HE Jiang-hong<sup>1</sup>, HUANG Yi-qian<sup>1</sup>

(1. Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China; 2. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** Using guar gum, xanthan gum and TG enzyme as quality improvers, the quality of quick-frozen microwave highland barley fish noodle was modified with response surface method and principal component analysis based on the results of single factor experiments. The results showed that the effects of guar gum, xanthan gum and TG enzyme on the comprehensive score of noodle reached extremely significant level ( $P < 0.01$ ). There was significant or extremely significant synergistic effect between guar gum and xanthan gum, xanthan gum and TG enzyme. The effect degree of quality improvers on the quality of quick-frozen microwave highland barely fish noodle has been ranked: TG enzyme > xanthan gum > guar gum. The optimum formula for improving the quality of quick-frozen microwave highland barley fish noodle was guar gum 0.34%, xanthan gum 0.08% and TG enzyme 0.03%.

**Key words:** quick-frozen microwave highland barley fish noodle; texture characteristics; sensory evaluation; quality improvement; principal component analysis

收稿日期: 2018-01-25

基金项目: 四川省教育厅自然科学重点项目(17ZA0291); 烹饪科学四川省高校重点实验室重点项目(PRKX2015Z04)

作者简介: 肖 猛(1967-), 男, 四川成都人, 博士, 教授, 主要研究方向为青稞种质资源保护与加工利用。(E-mail) dingjiedream@163.com

通讯作者: 丁 捷, (E-mail) cdxmeng@sina.com

随着社会和经济的发展, 生活节奏越来越快, 人们对营养健康型方便食品也越来越热衷。微波食品因省时间、经济节能、最大限度保持食品风味和营养而深受消费者欢迎<sup>[1]</sup>。中国微波食品尚处于起步阶段, 具有极大的发展空间。微波速冻食品的研究多以披萨类、春卷类、蛋糕类、调理食品为对象, 何江红等<sup>[2]</sup>研发了一款速冻微波青稞昆虫蛋糕; 刘晶晶

等<sup>[3]</sup>针对速冻微波调理食品——调味鱼片的研究取得了成功。戚逸飞等<sup>[4]</sup>对速冻微波即食素面的制作工艺进行研究,确定了最佳的配方和复热工艺,其成品色泽鲜亮,软硬适中,口感醇厚;戴阳军等<sup>[5]</sup>研发出了一款微波调理面条——牛乳鱼糜面条,该面条经调味、冷冻后,直接用微波加热即可食用,口感较佳。鱼面是中国南方一种传统淡水鱼糜制品,因其风味独特而深受国内外消费者喜爱,目前对鱼面的研究主要集中在品种创新和工艺优化领域。作者所在项目团队 2015–2016 年研发了一种速冻青稞鱼面压延工艺和单螺旋挤压工艺<sup>[6-7]</sup>,利用该工艺生产的产品具有营养全面、口感独特的优点,但其水煮复热易出现断条和混汤现象,若采用微波复热,则不存在上述问题。但微波处理后的面条易出现偏软且弹性下降,黏性增加和咀嚼感差等问题,深究其原因可能是,淀粉分子因水分子重新分布而导致面条老化<sup>[8-9]</sup>。

近年来,很多国内外研究人员利用改良剂的复配来控制面条老化<sup>[10-13]</sup>,相比单一改良剂,复配改良剂抗老化效果更显著。研究结果证实,瓜尔胶能与蛋白质发生反应,然后形成致密的网络结构,使面条耐煮<sup>[14]</sup>;黄原胶也可以同小麦粉中的蛋白质相互作用,使面筋和淀粉颗粒的粘结更加紧密牢固,显著提高面条品质<sup>[15]</sup>;TG 酶可催化小麦粉中的蛋白质分子之间发生交联,将蛋白质分子粘合起来,能够增加面制品韧性,提高面条的档次<sup>[16]</sup>。而将瓜尔胶、黄原胶和 TG 酶应用于微波速冻青稞面条类产品品质特性改良的研究较少。

目前产品品质改良和工艺优化已经逐渐从单一指标考察转变为全面反映产品特性的多指标评价。其中多指标响应面优化应用较为广泛,多采用权重法或模糊度综合评价法对多指标进行简化处理,如张越等<sup>[17]</sup>通过人为确定指标权重系数,对稻谷流化床干燥工艺进行优化;李榕等<sup>[18]</sup>以模糊感官综合评价结果为响应值研制核桃营养早餐糊。但这些分析方法存在主观性较强的局限性。而主成分分析法能够通过计算各因素贡献度并进行客观赋权,避免了人为因素带来的不能完全反映事物关系的影响,有利于综合评价产品品质。因此,本研究选用响应面-主成分分析法研究黄原胶、瓜尔胶、TG 酶对微波熟制速冻青稞鱼面质构特性的影响,筛选出最佳品质改良剂配方,为微波食品的研究开发提供一条新思路。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

青稞品种编号为 94-8-10,由四川旅游学院培育,于 2016 年四川甘孜州农业科学研究所道孚县八美农场收获。家庭多用途麦芯粉由新乡良润全谷物食品有限公司生产,谷朊粉由封丘县华丰粉业有限公司生产,食盐由营口盐业有限责任有限公司生产,食用纯碱、羧甲基纤维素钠(CMC)、复合磷酸盐由郑州特正商贸有限公司生产,瓜尔胶由广饶六合化工有限公司生产,黄原胶由淄博中轩生化有限公司生产,TG 酶(谷氨酰胺转氨酶)由江苏一鸣生物股份有限公司生产。

### 1.2 仪器与设备

HR2356 家用智能面条机购买于飞利浦公司,YP-N 型电子天平购买于上海精密仪器仪表有限公司,TMS-PRO 型高精度专业食品物性分析仪购买于美国 FTC 公司,实验室磨粉机购买于成都施特威科技发展有限公司,SF-400 型手压封口机购买于沈阳东泰机械制造有限公司,立式 RD10 急冻柜购买于北京荣港顺华制冷设备有限公司,DS-1 高速组织捣碎匀浆机购买于上海标本模型厂,XHF-D 高速分散器(内切式匀浆机)购买于宁波新芝生物科技股份有限公司,P80D23N1L-A9 格兰仕微波炉购买于佛山市顺德区格兰仕微波炉电器有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 速冻微波青稞鱼面的加工工艺 参照文献[4]、[19]、[20]、[21]、[22]方法制作速冻微波青稞鱼面。

#### 1.3.2 试验设计

1.3.2.1 单因素试验 在基础配方的基础上,以混粉总质量为基准,分别研究不同添加量的瓜尔胶(0、0.10%、0.20%、0.30%、0.40%)、黄原胶(0、0.10%、0.20%、0.30%、0.40%)、谷氨酰胺转氨酶(TG 酶)(0、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%)对速冻微波青稞鱼面质构特性(硬度、黏附性、弹性)、感官评分的影响,采用主成分综合评价获得改良效果较佳的品质改良剂添加范围。

1.3.2.2 Box-Behnken 响应面试验 在单因素试验的基础上,以主成分综合得分为考察指标,根据 Box-Behnken 试验设计原理<sup>[23]</sup>,对速冻微波青稞鱼面的品质进行改良,其三因素三水平的响应面试验方法见表 1。

表 1 响应面试验因素水平的编码表

Table 1 The coding table of response surface test factor level

因素	代码	水平		
		-1	0	1
瓜尔胶添加量 (%)	A	0.2	0.3	0.4
黄原胶添加量 (%)	B	0	0.1	0.2
TG 酶添加量 (%)	C	0.02	0.03	0.04

代码 A、B、C 分别代表 3 个因素(瓜尔胶添加量、黄原胶添加量和 TG 酶添加量);表中水平-1 表示所筛选因素范围的最低值,0 代表中间值,1 代表最高值。

1.3.3 面条 TPA 质构测定 参考 Hwayoung 等<sup>[24]</sup>和赵田田等<sup>[25]</sup>的方法进行样品处理:从面条中心部位切割至检测标准规格,即 6 cm。检测方法:采用 TMS-Pro 物性仪,选用 TA/LKB-切刀探头,选择 TPA

表 2 微波速冻青稞鱼面感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for quick-frozen microwave highland barley fish noodles

项目	满分	评分标准
色泽	10	指面条颜色和亮度,面条白,乳黄色。光亮为 8~10 分,亮度一般为 5~7 分,色泽发暗、发灰、亮度差为 1~4 分
表观状态	10	指面条表面光滑和膨胀度,表面结构细密。表面光滑为 7~10 分,中间为 4~6 分,表面粗糙、膨胀、严重变形为 1~3 分
适口性	20	用力咬掉一根面条需要的力的大小。适中 15~20 分,稍硬或软 10~14 分,太硬或太软 1~9 分
韧性	25	指面条在咀嚼时的咬劲和弹力的大小。有咬劲、有弹性 21~25 分,一般 15~20 分,咬劲差、弹性弱 1~14 分
黏性	25	指在咀嚼时面条过程中的粘牙程度。咀嚼时爽口、不粘牙 18~25 分,较爽口、稍粘牙 10~17 分,不爽口、较粘牙 1~9 分
光滑性	5	指在品尝时面条的光滑程度。光滑 4~5 分,中间 2~3 分,较差 0~1 分

1.3.5 主成分综合得分计算 参考李玉龙等<sup>[26]</sup>的方法,根据主成分贡献度选取主成分数量,根据主成分得分计算各产品综合得分  $F$ ,计算公式为: $F = PC_1 \times F_1 + PC_2 \times F_2 + \dots + PC_n \times F_n$ ,式中, $PC_1$ 、 $PC_2$ 、 $PC_n$ 为主成分贡献率, $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_n$ 为主成分得分。

#### 1.4 数据分析

采用 Excel2010 软件进行数据统计,采用 SPSS20.0 软件进行显著性差异分析,主成分分析采用 Origin9.0 软件,响应面分析用 desgin8.0.6 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 单一品质改良剂对微波速冻青稞鱼面品质的影响

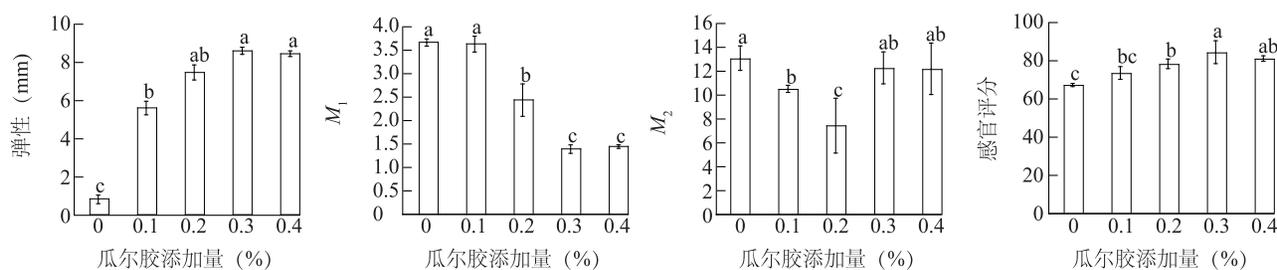
2.1.1 瓜尔胶添加量对微波速冻青稞鱼面品质的影响 由图 1 可知,成品面条的弹性随瓜尔胶添加量的增加呈现增大趋势,在 0.3% 时达到最大值(8.61 mm); $M_1$ 随瓜尔胶添加量的增加整体呈现减小的趋势,添加量为 0 时, $M_1$ 最大(3.66); $M_2$ 随瓜尔胶添加量的增加呈先减小后增大的趋势,在 0 时达

测试程序,在测试速度 60 mm/min、形变量 60% 的条件下,测定面条的质构特性。由于在样本范围内,鱼面的硬度、黏附性越大,其品质越差,但在主成分分析中,指标数值越大,则得分越高,成品鱼面品质越好,因此采用指标  $M_1 = A - \text{硬度值}$ , $M_2 = B - \text{黏附性值}$ ,其中硬度值、黏附性值的取值范围为 1.34~3.61 N、0.78~13.25 mJ,根据硬度值、黏附性值的取值范围确定 A 值为 5,B 值为 14。

1.3.4 感官评价 取 100 g 速冻微波青稞鱼面,加入 60 ml 纯净水,微波炉输出功率为 600 W,加热 3 min 后捞出待品尝。选择 10 名感官评定员,对不同处理的样品进行感官评定<sup>[20]</sup>。感官评价标准见表 2。

到最大值(13.09);感官评分随瓜尔胶添加量的增加呈增大趋势,添加量为 0.3% 时评分最高为 84.5,显著高于其他处理组。由表 3 可知,选取 2 个主成分即可解释 97.56% 的信息,主成分综合得分以 0.3% 水平最高(1.320 2),而未添加瓜尔胶的空白组和添加量为 0.1% 的综合得分为负值。综上所述,瓜尔胶较佳添加量范围为 0.2%~0.4%。

2.1.2 黄原胶添加量对微波速冻青稞鱼面品质的影响 由图 2 可知,随黄原胶添加量的增加,面条的弹性呈现增加趋势,添加量为 0.2% 时的弹性达到最大值(10.66 mm); $M_1$ 随黄原胶添加量的增加呈现先减小后增加的趋势,在添加量为 0 达到最大值; $M_2$ 随黄原胶添加量的增加呈现减小的趋势;感官评分随黄原胶添加量的增加呈现先增加后减小的趋势,感官评分在 0.1% 达到最大值(79.3)。由表 4 可知,前 2 个主成分可解释 99.29% 的信息,0~0.2% 水平的主成分综合得分明显高于其他水平。综上所述,黄原胶添加量为 0~0.2% 较佳。



图中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图 1 瓜尔胶添加量对微波速冻青稞鱼面品质的影响

Fig.1 Effect of the addition of guar gum on the quality of quick-frozen microwave highland barley fish noodles

表 3 瓜尔胶单因素试验主成分分析

Table 3 Results of principal component analysis in single-factor test of guar gum

分量来源	主成分				综合得分
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	
添加量 0	-2.491 7	0.647 0	-0.221 4	0.021 8	-1.606 1
添加量 0.1%	-0.918 0	-0.546 5	0.463 9	-0.016 3	-0.797 9
添加量 0.2%	0.606 0	-1.556 7	-0.249 4	0.013 9	0.023 0
添加量 0.3%	1.570 2	0.765 1	0.049 8	0.162 2	1.320 2
添加量 0.4%	1.233 5	0.691 1	-0.042 9	-0.181 5	1.060 8
特征值	2.851 4	1.050 9	0.082 7	0.015 1	
贡献率(%)	71.28	26.27	2.07	0.38	
累计贡献率(%)	71.28	97.56	99.62	100.00	

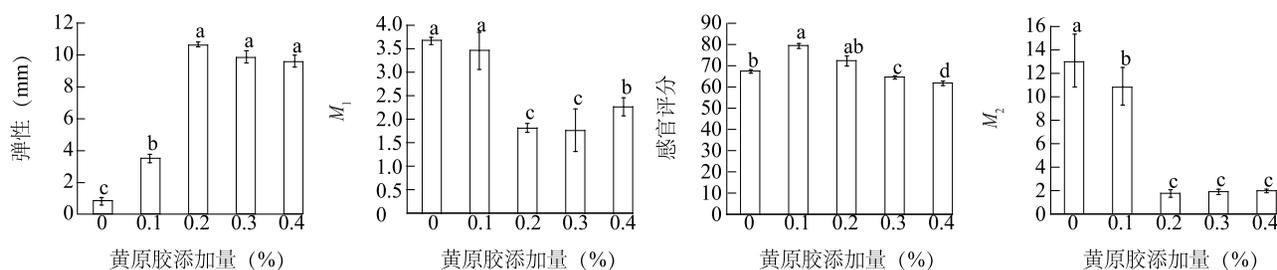


图 2 黄原胶添加量对微波速冻青稞鱼面品质的影响

Fig.2 Effect of the addition of xanthan gum on the quality of quick-frozen microwave highland barley fish noodles

表 4 黄原胶单因素试验主成分分析

Table 4 Results of principal component analysis in single-factor test of xanthan gum

分量来源	主成分			综合得分
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	
添加量 0	2.012 9	-0.932 6	-0.101 4	1.437 5
添加量 0.1%	1.905 0	0.934 4	0.093 9	1.706 6
添加量 0.2%	-1.195 2	0.887 5	-0.056 0	-0.790 0
添加量 0.3%	-1.467 5	-0.196 7	-0.178 9	-1.215 0
添加量 0.4%	-1.255 1	-0.692 6	0.242 4	-1.139 0
特征值	3.209 6	0.762 2	0.028 3	
贡献率(%)	80.24	19.05	0.71	
累计贡献率(%)	80.24	99.29	100.00	

### 2.1.3 TG 酶添加量对微波速冻青稞鱼面品质的影响

TG 酶的加入,可能促进了更多的蛋白质交联形成大蛋白质聚合物,大蛋白质聚合物增多,增强了面条的筋力,从而增加了拉断力<sup>[27]</sup>。由图 3 可知,TG 酶添加量为 0.03%~0.04%时面条的弹性较佳,与其他处理组差异显著; $M_1$ 、 $M_2$ 随 TG 酶的添加呈现波动变化趋势, $M_1$ 在添加量为 0 达到最高值, $M_2$ 在 0.02%时达到最高值;感官评分随 TG 酶添加量增加呈现先增大后减小的趋势,0.03%达到峰值,显著高于空白组。由表 5 可知,仅需 1 个主成分即可解释 86.85%的信息,0.03%~0.04%水平的面条主成分综合得分明显高于其他水平,以 0.03%水平综合得分最高。因此,添加 TG 酶的量 0.02%~0.04%较佳。

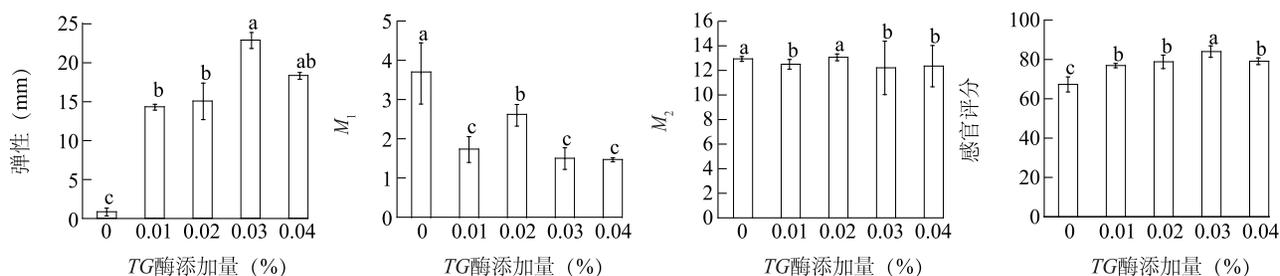


图3 TG 酶对微波速冻青稞鱼面品质的影响  
Fig.3 Effect of TG on the quality of quick-frozen microwave highland barley fish noodles

表 5 TG 酶单因素试验主成分分析

Table 5 Results of principal component analysis in single-factor test of TG enzyme

分量来源	主成分				综合得分
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	
添加量 0	-2.871 6	-0.454 6	0.157 7	0.004 4	-2.494 0
添加量 0.01%	0.366 9	-0.330 4	-0.296 9	-0.048 2	0.318 7
添加量 0.02%	-0.595 8	1.176 5	-0.056 6	0.003 6	-0.517 5
添加量 0.03%	1.971 3	-0.048 7	0.364 7	-0.015 0	1.712 0
添加量 0.04%	1.129 2	-0.342 8	-0.168 9	0.055 1	0.980 7
特征值	3.474 2	0.455 0	0.069 4	0.001 4	
贡献率 (%)	86.85	11.37	1.74	0.04	
累计贡献率 (%)	86.85	98.23	99.96	100.00	

2.2 响应面试验结果分析

为了筛选出 3 种改良剂的最优配比,将单因素试验筛选出的添加量进行响应面试验,响应面试验方案见表 6。对表 6 中的试验数据进行多元回归拟合,分别得到以

弹性( $Y_1$ )、 $M_1$ ( $Y_2$ )、 $M_2$ ( $Y_3$ )、感官评分( $Y_4$ )为响应值的回归方程,结果如表 7 所示,各多元二次方程模型项均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),且  $R^2$  皆接近 1,表明方程模型具有很好的拟合度,因此数据可用于主成分分析。

表 6 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 6 Design and predicted results of Box-Behnken test

试验号	A (黄原胶添加量)	B (瓜尔胶添加量)	C (TG 酶添加量)	$Y_1$ (弹性)	$Y_2$ ( $M_1$ )	$Y_3$ ( $M_2$ )	$Y_4$ (感官评分)
1	-1	-1	0	17.84	3.94	7.03	73.59
2	1	-1	0	19.09	3.98	10.76	85.77
3	-1	1	0	4.14	2.64	5.47	80.49
4	1	1	0	19.39	3.60	7.88	75.87
5	-1	0	-1	10.01	1.58	1.78	83.52
6	1	0	-1	17.05	2.14	3.70	79.79
7	-1	0	1	10.88	3.87	7.27	81.54
8	1	0	1	22.31	4.46	10.11	87.05
9	0	-1	-1	20.26	2.88	9.13	83.82
10	0	1	-1	12.07	0.65	1.65	70.09
11	0	-1	1	22.90	4.01	9.06	79.53
12	0	1	1	14.82	4.32	11.86	83.13
13	0	0	0	23.51	4.82	10.88	84.36
14	0	0	0	20.06	4.51	11.96	89.40
15	0	0	0	22.41	4.50	12.90	88.11
16	0	0	0	22.02	4.63	12.96	88.34
17	0	0	0	19.59	4.48	13.05	88.14

表中,指标  $M_1 = A$ -硬度值; $M_2 = B$ -黏附性值,其中硬度值、黏附性值的取值范围为 1.34~3.61 N、0.78~13.25 mJ,根据硬度值、黏附性值的取值范围确定 A 值为 5、B 值为 14;试验号为 design expert 软件自动生成,试验实施时按此编号进行。

表 7 品质指标模型

Table 7 Model of quality index

指标	模型	$R^2$	$P$
$Y_1$	$21.520+4.370A-3.710B+1.440C+3.500AB+1.100AC+0.026BC-4.340A_2-1.980B_2-2.030C_2$	0.973 7	<0.000 1
$Y_2$	$4.580+0.270A-0.450B+1.180C+0.230AB+0.009AC+0.630BC-0.500A_2-0.550B_2-1.070C_2$	0.995 9	<0.000 1
$Y_3$	$12.340+1.360A-1.140B+2.760C+0.330AB+0.230AC+2.570BC-3.390A_2-1.170B_2-3.240C_2$	0.981 7	<0.000 1
$Y_4$	$87.670+1.170A-1.640B+1.750C-4.200AB+2.310AC+4.330BC-2.450A_2-6.290B_2-2.240C_2$	0.944 2	0.001 3

$Y_1$ :弹性; $Y_2$ : $M_1$ ; $Y_3$ : $M_2$ ; $Y_3$ :感官评分。 $A$ :黄原胶添加量; $B$ :瓜尔胶添加量; $C$ :TG酶添加量。

### 2.3 BBD (Box-Behnken Design) 响应面试验结果 主成分分析

由表 8 可知,通过主成分分析,提取的前 2 个主成分累计贡献率达到 90.29%,大于 85.00%,因此前 2 个主成分能够全面反映速冻微波青裸鱼面的品质

信息。由此建立 BBD 响应面主成分综合得分公式: $F=0.749 9F_1+0.153 0F_2$ ,利用公式: $Z=(F-F_{\min})/(F_{\max}-F_{\min})$ ,进一步将主成分综合得分计算为规范化综合得分,实现考察指标的简化。

表 8 BBD 响应面试验中 4 个主成分分析的相关信息

Table 8 Related information of four principal components in BBD response surface test

分量来源	主成分				综合得分	规范化 综合得分
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4		
1	-0.798 8	1.195 2	-0.889 3	0.245 5	-0.416 2	0.556 6
2	0.879 8	-0.223 6	0.114 4	-0.112 9	0.625 5	0.806 1
3	-2.165 4	-1.507 7	-0.783 8	-0.059 1	-1.854 5	0.212 0
4	-0.508 4	1.091 0	-0.416 5	-0.006 9	-0.214 3	0.604 9
5	-2.452 9	-1.097 6	0.888 6	0.348 8	-2.007 4	0.175 4
6	-1.650 6	0.296 3	0.785 6	0.211 8	-1.192 4	0.370 6
7	-0.706 4	-0.733 8	-0.773 0	0.311 1	-0.64 2	0.502 5
8	1.367 9	0.064 8	0.367 9	0.346 3	1.035 7	0.904 4
9	0.081 5	0.163 1	0.704 9	-0.373 1	0.086 1	0.676 9
10	-3.824 5	0.840 4	0.238 9	-0.474 5	-2.739 4	0
11	0.440 4	1.091 3	-0.010 5	0.115 9	0.497 2	0.775 4
12	0.626 2	-0.459 6	-0.809 2	-0.312 8	0.399 3	0.751 9
13	1.517 5	0.564 0	-0.014 3	0.299 3	1.224 3	0.949 6
14	1.672 2	-0.551 7	0.213 1	0.025 7	1.169 6	0.936 5
15	1.895 6	-0.091 8	0.244 5	-0.179 0	1.407 5	0.993 5
16	1.947 5	-0.168 5	0.164 0	-0.126 2	1.434 7	1.000 0
17	1.678 3	-0.472 0	-0.025 5	-0.260 0	1.186 3	0.940 5
特征值	2.999 5	0.612 2	0.317 1	0.071 3		
贡献率 (%)	74.99	15.30	7.93	1.78		
累计贡献率 (%)	74.99	90.29	98.22	100.00		

表中综合得分按照  $F=0.749 9F_1+0.153 0F_2$  计算得到;规范化综合得分按照  $Z=(F-F_{\min})/(F_{\max}-F_{\min})$  计算得到。

### 2.4 面条品质综合得分模型的建立

通过 Design expert 建立多元回归模型,结果如表 9 所示。从表 9 可以看出,响应面试验计算得出

的多元二次回归模型的  $P<0.000 1$ ,具有高度的显著性,且失拟项不显著 ( $P=0.422 4>0.05$ ),表明方程具有显著意义;模型  $R^2=0.995 6$ ,说明模型相关性良

好。因此,方程拟合度良好,可信度较高,可用于推测面条品质综合得分。

回归方程:  $Y = 0.980 + 0.150A - 0.160B + 0.210C + 0.036AB + 0.052AC + 0.160BC - 0.240A^2 - 0.180B^2 - 0.230C^2$ , 根据回归方程,作出响应面图,观察响应曲面的形状并分析各因素对主成分综合得分的影响。如图4所示,直观反映了各因素对响应值的影响,响应面图越陡则说明因素对面条品质综合评分影响越大,底部的等高线密集且呈椭圆形表明因素间交互

作用强。结合方差分析可知,模型的一次项  $A$ 、 $B$ 、 $C$  对响应值的影响均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),交互项  $BC$  对响应值的影响达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),交互项  $AC$  对响应值的影响达到显著水平 ( $P < 0.05$ ),交互项  $AB$  对响应值有影响但不显著 ( $P > 0.05$ ),二次项 ( $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ ) 均对响应值的影响均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。由  $F$  值可判断各因素对综合得分贡献率为  $C > B > A$ , 即  $TG$  酶添加量  $>$  黄原胶添加量  $>$  瓜尔胶添加量。

表9 回归模型方差分析表

Table 9 Variance analysis of regression model

来源	平方和	自由度	方差	$F$ 值	$P$ 值
模型	1.560	9	0.170 0	174.29	< 0.000 1
$A$	0.190	1	0.190 0	193.70	< 0.000 1
$B$	0.190	1	0.190 0	195.80	< 0.000 1
$C$	0.370	1	0.370 0	369.23	< 0.000 1
$AB$	0.010	1	0.005 1	5.19	0.056 9
$AC$	0.010	1	0.011 0	10.77	0.013 4
$BC$	0.110	1	0.110 0	107.65	< 0.000 1
$A^2$	0.240	1	0.240 0	246.61	< 0.000 1
$B^2$	0.130	1	0.130 0	134.78	< 0.000 1
$C^2$	0.230	1	0.230 0	234.18	< 0.000 1
误差	0.007	7	0.001 0		
失拟项	0.003	3	0.000 1	1.18	0.422 4
纯差	0.004	4	0.000 9		
总和	1.560	16			

$A$ : 黄原胶添加量;  $B$ : 瓜尔胶添加量;  $C$ :  $TG$  酶添加量。  $R^2 = 0.995 6$ , 校正后的相关系数  $R_{adj} = 0.989 8$ 。表中  $P < 0.05$  表示模型达到显著水平,  $P < 0.01$  表示模型达到极显著水平。

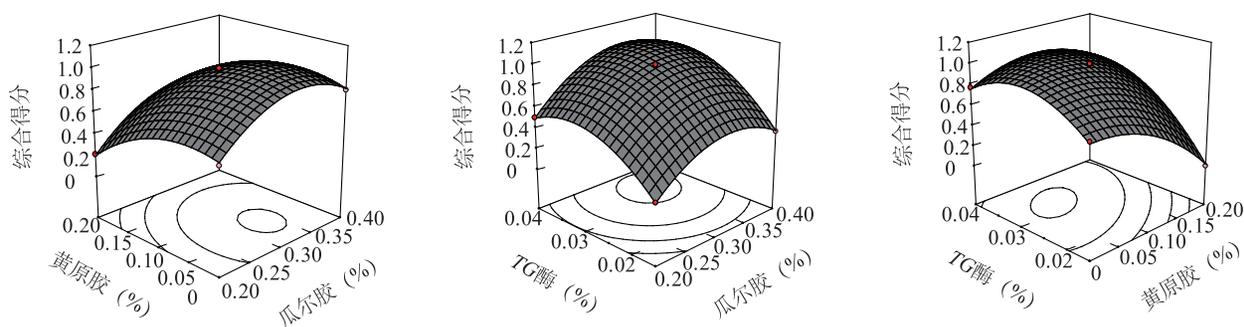


图4 响应面图和等高线图

Fig.4 Contour and response surface plots

## 2.5 最佳复合品质改良剂应用效果的预测及验证

以主成分综合评分为目标,采用响应面法建立回归模型,通过模型优化的改良剂配方为:瓜尔胶添

加量占混粉总质量的 0.34%,黄原胶添加量占混粉总质量的 0.08%, $TG$  酶添加量占混粉总质量的 0.03%,预测的规范化综合得分为 0.877。采用得到

的最优配方进行6次验证试验,分别测定面条的质构特性,进行主成分分析,得到的规范化综合评分为 $0.882\pm 0.094$ ,与预测的规范综合得分 $0.877$ 结果近似,相对误差较小。因此,本试验设计所得的最佳工艺参数准确可靠,具有实用意义。

### 3 结论

经过单因素试验筛选及BBD响应面试验设计,建立以主成分综合得分为 $Y$ 值的多元回归模型,方差分析结果显示所建模型回归效果显著,拟合度较好,模型准确有效,可以用于成品质构特性改良效果的预测,由 $F$ 值可判断各因素对综合得分贡献表现为 $TG$ 酶添加量>黄原胶添加量>瓜尔胶添加量,并且获得了速冻微波青稞鱼面复合改良剂最优配方为瓜尔胶添加量占混粉总质量的 $0.34\%$ ,黄原胶添加量占混粉总质量的 $0.08\%$ , $TG$ 酶添加量占混粉总质量的 $0.03\%$ ,此配方下成品综合得分为 $0.882\pm 0.094$ ,与预测值 $0.877$ 近似。通过此方法生产的速冻微波青稞鱼面不仅口感良好,还有效解决了微波处理后的面条偏软且弹性差和缺少嚼劲等问题,为青稞微波食品的开发提供了一条新思路。

#### 参考文献:

[1] 于彩凤,孔保华.改善可微波预油炸食品表皮脆性的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(10):398-401.

[2] 何江红,廖诚成,赵雪梅,等.速冻微波青稞昆虫蛋糕的研制[J].粮食与油脂,2017,30(2):55-59.

[3] 刘晶晶,乙飞船,韩曜平,等.速冻微波调理食品——调味鱼片的开发[J].食品工业科技,2013,33(5):211-214.

[4] 戚逸飞.速冻微波即食素面制作工艺研究[J].轻工科技,2016(1):17-20.

[5] 戴阳军,金素云,韩曜平,等.微波调理食品——牛乳鱼糜面条的研制[J].食品工业,2012(2):11-14.

[6] 乔明锋,彭毅秦,丁捷,等.速冻青稞鱼面的研发及配方优化[J].食品科技,2017,42(3):162-168.

[7] 丁捷,何江红,肖猛,等.一种速冻青稞鱼面及其制作方法:CN 105767886A[P]. 2016-07-20.

[8] 吕振磊,李国强,陈海华,等.马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J].食品与机械,2010,26(3):22-27.

[9] 肖东,周文化,邓航,等.3种食品添加剂对鲜湿面抗老化作用研究[J].食品与机械,2015,31(6):142-145,189.

[10] BOWLES L K, IN R E HEBEDA, ZOBEL H F. Baked goods freshness technology, evaluation and inhibition of staling[M].New York: Dekker Inc,1996:296.

[11] GOESAERT H,SLADE L,LEVINE H,et al. Amylases and bread firming-an integrated view[J]. Journal of Cereal Science, 2009(50):345-352.

[12] HUG-ITEN S, ESCHER F, CONDE-PETIT B. Staling of bread: role of amylase and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes[J].Cereal Chemistry,2003,80(6):654-661.

[13] 修琳,姜南,郑明珠,等.复配改良剂对玉米面条老化特性的影响[J].食品工业,2016,37(2):77-80.

[14] 杨丹,马鸿翔,耿志明,等.利用响应面法研究改良剂对宁夏15面条品质的影响[J].麦类作物学报,2012,32(6):1096-1101.

[15] 刘丽宅,谢晶,卢曼曼,等.改良剂对燕麦面条品质影响的研究[J].粮食加工,2016,41(4):39-43.

[16] 邢正军,杜先锋.复合改良剂对面条品质的影响[J].包装与食品机械,2010,28(2):27-30,39.

[17] 张越,丁超,杨国峰,等.基于多品质指标的响应面试验优化稻谷流化床干燥工艺[J].食品科学,2016,37(16):54-62.

[18] 李榕,易欣,马力,等.模糊评定与响应面分析结合在核桃营养早餐糊研制中的应用[J].食品科学,2014,35(16):267-272.

[19] 丁捷,李晓梅,黄益前,等.复合改良剂在速冻青稞鱼面加工中的应用[J].粮食与油脂,2017,30(5):95-99.

[20] 胡欣洁,赵雪梅,丁捷,等.基于模糊综合评价法优化挤压型速冻青稞鱼面关键工艺[J].食品与机械,2017,33(4):164-170,194.

[21] 丁捷,赵雪梅,朱金艳,等.基于主成分、因子和聚类分析淡水鱼品种对速冻青稞鱼面品质的影响[J].食品工业科技,2018,39(1):34-40,51.

[22] 何江红,丁捷,黄益前,等.响应面法优化速冻青稞鱼面鱼糜加工工艺[J].美食研究,2017(4):42-47.

[23] 陈君琛,赖谱富,周学划,等.响应面法优化大球盖菇粗多糖提取工艺[J].食品科学,2012,33(2):139-142.

[24] HWAYOUNG HEO, BYUNG-KEE BAIK, CHON-SIK KANG, et al.Influence of amylose content on cooking time and textural properties of white salted noodles[J]. Food Sci Biotechnol, 2012,21(2):345-353.

[25] 赵田田,史岩,陈海华,等.风味鱼粉面条加工工艺的研究[J].粮油食品科技,2013,21(4):15-19.

[26] 李玉龙,杨焯,陆国权.基于均匀设计和主成分分析的甘薯薯片油炸工艺优化[J].食品科学,2017(4):223-230.

[27] 魏晓明,郭晓娜,朱科学,等.谷氨酰胺转氨酶对荞麦面条品质的影响[J].食品与机械,2016,32(3):188-192.

(责任编辑:陈海霞)