

# 响应面法优化风味罗非鱼糕工艺的研究

容振兴, \* 吴文龙, 杨志娟

(广东海洋大学 食品科技学院, 广东 湛江 524025)

**摘要:** 以罗非鱼肉为主要原料, 水、鸡蛋清、玉米淀粉和猪肥膘肉为辅料制作罗非鱼糕, 采用响应面试验设计优化风味罗非鱼糕的工艺参数。在单因素试验基础上, 确定以水、鸡蛋清、玉米淀粉和猪肥膘肉的添加量为影响因素, 以凝胶强度为响应值, 根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理, 采用 3 因素 3 水平的响应面试验设计优化罗非鱼糕的最佳生产配方。试验结果表明, 罗非鱼糕生产的优化配方为水 20.2%, 鸡蛋清 10.6%, 玉米淀粉 22.7%, 猪肥膘肉 20.0%。按照该配方生产的产品色泽鲜亮、弹性好、爽口、滑嫩、细腻易咀嚼, 具有鱼肉本身的鲜味。该制作工艺模型可靠, 拟合度较高。

**关键词:** 罗非鱼; 弹性; 凝胶强度; 响应面法

中图分类号: TS254.9

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1671-9646(X).2015.02.036

## Optimization of Response Surface Methodology of Tilapia Cake

RONG Zhenxing, \* WU Wenlong, YANG Zhijuan

(Food Science and Technology College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524025, China)

**Abstract:** This paper is about the tilapia cakes which are made of tilapia meat as raw material, water, eggs, corn starch and pig fat as the main materials. Using the response surface method experiment design to optimize the process parameters of tilapia cakes' flavor. With the influence factor basing on the single factor experiment of determining with water, eggs, corn starch, pig fat and the response value of the gel strength, to optimize the best product formulation of the tilapia cakes by using three factors and three levels of response value experiment design which according to the (Box-Behnken) center combination experiment design principles. The experimental results demonstrate that the production optimization formula of tilapia cake that is 20.2% of water, 10.6% of egg, 22.7% of corn starch and 20.0% of pig fat. The products are bright in color, good elasticity, refreshing, smooth, fine and easy in chewing and with the delicate flavors of the fish itself. The technological model is reliable and the fitting degree is higher.

**Key words:** tilapia; elasticity; gel strength; response surface method

### 0 引言

罗非鱼 (Tilapia) 又称非洲鲫, 属热带鱼类, 原产非洲。罗非鱼的肉味鲜美、肉质细嫩, 含有丰富的蛋白质和多种不饱和脂肪酸, 在日本称这种鱼为不需要蛋白质的蛋白源。经测定, 每 100 g 罗非鱼肉中含蛋白质 20.5 g, 脂肪 6.93 g, 热量 620 kJ, 钙 70 mg, 钠 50 mg, 铁 1 mg, VB<sub>1</sub> 0.1 mg, VB<sub>2</sub> 0.12 mg。现代医学研究表明, 罗非鱼含有多种不饱和脂肪酸, 能降低胆固醇和甘油三酯, 防止血液凝固, 对预防冠心病和脑溢血有很好的作用<sup>[1]</sup>。

中国是淡水鱼养殖大国, 罗非鱼的产量和出口量均居世界首位。目前, 我国罗非鱼基本以鲜活形式进入市场或以冷冻罗非鱼片等初加工产品进行出

口。众所周之, 罗非鱼价格不高, 加上其深加工程度低, 不利于我国渔业的发展。因此, 对罗非鱼的精深加工及综合利用, 将低值转化为高值就显得非常有必要。

鱼糕, 作为最高级的鱼糜制品之一, 一种将淡水鱼低值转化为高值的途径。鱼糕在日本和我国台湾地区销量很大。鱼糕柔软有弹性, 滑嫩而鲜美, 无骨刺, 适合不同年龄的人食用<sup>[2]</sup>。由于采用了蒸制工艺, 所以最大限度地保留了鱼肉丰富的营养价值, 符合现代营养健康消费潮流<sup>[3]</sup>, 具有很高的市场消费潜力。因此, 罗非鱼糕的研制与开发可谓意义重大。

本课题以罗非鱼肉为原料制作罗非鱼糕, 通过单因素试验和响应面试验分析确定其最佳生产配方, 为罗非鱼肉制品的加工生产提供试验依据。

收稿日期: 2014-10-20

作者简介: 容振兴 (1992—), 男, 本科, 研究方向为食品科学与工程。

\* 通讯作者: 吴文龙 (1962—), 男, 高级实验师, 研究方向为食品加工。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

主要原料:罗非鱼、猪肥膘肉、鸡蛋、玉米淀粉、白砂糖、食盐、白料酒等,购于广东省湛江市沃尔玛超市。

主要试剂:硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、硼酸、葡萄糖标准溶液、95%乙醇等。

### 1.2 设备与仪器

TMS-PRO 型物性分析质构仪、BL-220H 型分析天平、MN II50 型离心机、DZ-400/2C 型真空包装机、电热恒温烘箱、电热恒温水浴锅、微量定氮蒸馏装置等。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 罗非鱼糕制作工艺流程

- ①猪肥膘肉→绞肉;
- ②原料鱼→前处理→采肉→漂洗→脱水→擂溃;
- ③水、鸡蛋清、玉米淀粉;
- ①+②+③→调配→成型→蒸煮→冷却→真空包装→冷藏。

#### 1.3.2 罗非鱼糕制作操作要点

① 原料鱼处理。首先清洗罗非鱼,以除去鱼体表面的细菌和黏液;然后进行去鱼鳞、去内脏、去头处理;最后用清水清洗腹腔,以除去残余内脏、黑膜和血污。整个清洗过程必须控制温度在 10℃ 以下。

② 采肉。从鱼体背部下刀把罗非鱼分成 2 片,然后放入采肉机进行采肉。

③ 漂洗。漂洗鱼肉时控制水温在 10℃ 以下,并慢慢搅拌 10 min,使水溶性蛋白充分溶出,再静置 10 min,倾去其表面漂洗液。重复 3 次,且在最后一次漂洗时加入 0.15% 的食盐溶液,以使肌球蛋白收敛。

④ 脱水。将罗非鱼肉放入离心机中,于转速 3 000 r/min 下离心脱水 10 min。

⑤ 擂溃。擂溃是鱼糜制品生产的重要工艺,它对鱼糕的良好弹性起着决定性的作用。擂溃分为空擂、盐擂和调味擂溃。空擂时间一般为 5 min,其目的是通过搅拌作用使鱼肉的肌纤维组织进一步破坏,为盐溶性蛋白的充分溶出创造良好的条件。盐擂时间一般为 15 min,盐擂时需要加入鱼肉质量 1%~2% 的食盐,其目的是使鱼肉中的盐溶性蛋白充分流出,使鱼肉变成黏性很强的溶胶。调味擂溃时间一般为 10 min,通过搅拌作用使鱼肉、辅料和调味料充分均匀<sup>[4]</sup>。

⑥ 调配、成型。将食盐、白砂糖、白料酒、姜汁、玉米淀粉和鸡蛋清等搅拌均匀,与鱼糜混合放入模具成型。

⑦ 蒸煮。蒸煮时控制温度在 95~100℃,中心

温度达 75℃ 以上。加热时间为 8 min。

⑧ 冷藏。将制作好的鱼糕用真空包装机包装好,放入 4℃ 冰箱中冷藏备用。

#### 1.3.3 凝胶强度、弹性和硬度的测定

测定方法:凝胶强度 (g·mm)、弹性 (mm)、硬度 (N) 均使用 FTC 质构仪进行测定。测试样品采用 TPA 模式,使用型号为 TMS 5 mm 钢材的圆柱形检测探头。测试样品前设置感应力量程为 1 000 N,形变率为 50%,测量速度为 60 mm/min,测量起始力为 0.1 N。测试样品前,将样品切成直径 30 mm,高 20 mm 的圆柱体,使切断面的中心位于检测探头的正下方,将样品放置于测定装置的样品台上。测试样品时,取样品的不同位置平行测量 3 次,取平均值<sup>[5]</sup>。

#### 1.3.4 成品感官评定

由 10 位同学组成感官评定小组,按评定标准从色泽、风味、口感 3 个方面对罗非鱼糕进行评分,取平均值作为罗非鱼糕感官的综合评分<sup>[6]</sup>。

感官评定标准见表 1。

表 1 感官评定标准

项目	评分标准	分值/分
色泽 (满分 3 分)	洁白,光泽感明显	3
	较洁白,较有光泽感	2
	较洁白,光泽感欠佳	1
风味 (满分 3 分)	具有鱼肉本身的鲜味	3
	鱼肉味稍差	2
	鱼肉味不足	1
口感 (满分 4 分)	爽口,滑嫩,细腻易咀嚼	4
	爽口,滑嫩,稍有腻感	3
	滑嫩,有明显腻感	2

#### 1.3.5 理化指标检测

水分的测定:直接干燥法<sup>[7]</sup>;总糖的测定:直接滴定法;蛋白质的测定:凯氏定氮法<sup>[8]</sup>;脂肪的测定:索氏提取法。

#### 1.3.6 微生物指标检测

细菌总数:平板计数法;大肠菌群:乳糖发酵法。

## 2 结果与分析

### 2.1 罗非鱼糕配方的单因素试验

采用 FTC 质构仪进行测定 100 g 罗非鱼糕中分别添加水、鸡蛋清、玉米淀粉、猪肥膘肉的添加量对凝胶强度和弹性的影响。

#### 2.1.1 水添加量对罗非鱼糕凝胶强度和弹性的影响

水添加量对罗非鱼糕凝胶强度和弹性的影响见图 1。

由图 1 可知,罗非鱼糕的凝胶强度和弹性都随着水添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,在水添加量为 20% 时凝胶强度和弹性均达到最大值。因

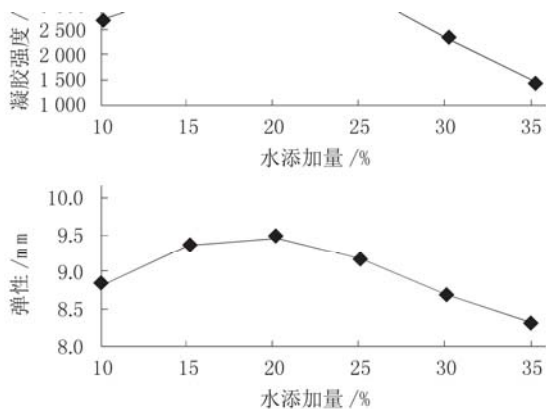


图1 水添加量对罗非鱼糕凝胶强度和弹性的影响

此, 选用水添加量 20% 为 0 水平, 在优化响应面条件时, 选择 15%, 20% 和 25% 为水添加量的 3 个水平。

### 2.1.2 鸡蛋清添加量对罗非鱼糕凝胶强度和弹性的影响

鸡蛋清添加量对罗非鱼糕凝胶强度和弹性的影响见图 2。

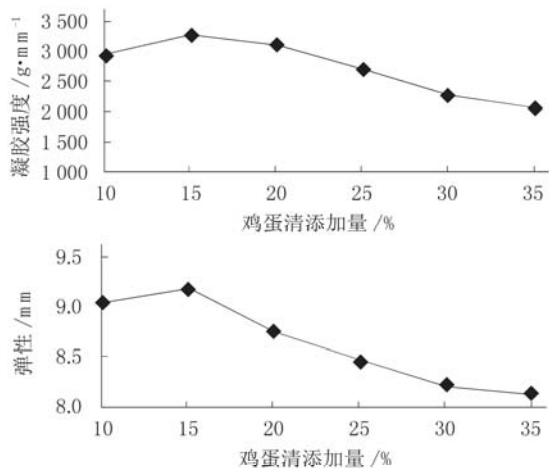


图2 鸡蛋清添加量对罗非鱼糕凝胶强度和弹性的影响

由图 2 可知, 罗非鱼糕的凝胶强度和弹性均随着鸡蛋清添加量的增加呈现先上升后下降的趋势, 在鸡蛋清添加量为 15% 时凝胶强度和弹性均达到最大值。因此, 选用鸡蛋清添加量 15% 为 0 水平, 在优化响应面条件时, 选择 10%, 15% 和 20% 为鸡蛋清添加量的 3 个水平。

### 2.1.3 玉米淀粉添加量对罗非鱼糕凝胶强度和硬度的影响

玉米淀粉添加量对罗非鱼糕凝胶强度和硬度的影响见图 3。

由图 3 可知, 随着玉米淀粉添加量的增加, 罗非鱼糕凝胶强度和硬度均呈现逐渐递增的趋势。在玉米淀粉添加量超过 30% 时, 罗非鱼糕硬度迅速由

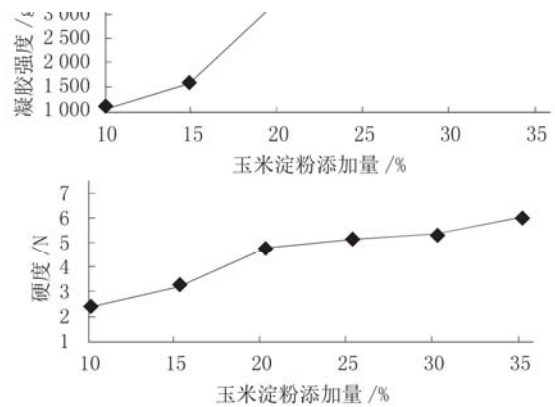


图3 玉米淀粉添加量对罗非鱼糕凝胶强度和硬度的影响

5.4 N 增大到 6.1 N, 而鱼糕的最佳品质是可口、有弹性、硬度适中, 并且考虑到含淀粉多的鱼糜制品在低温 (5 °C) 下贮藏很容易产生龟裂现象, 严重影响鱼糕的品质。因此, 以玉米淀粉添加量 25% 为 0 水平, 在优化响应面条件时, 选择 20%、25% 和 30% 为玉米淀粉添加量的 3 个水平。

### 2.1.4 猪肥膘肉添加量对罗非鱼糕凝胶强度和感官品质的影响

猪肥膘肉添加量对罗非鱼糕凝胶强度和感官品质的影响见图 4。

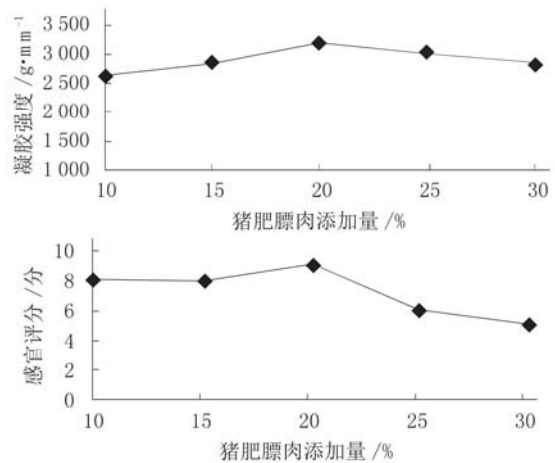


图4 猪肥膘肉添加量对罗非鱼糕凝胶强度和感官品质的影响

由图 4 可知, 随着猪肥膘肉添加量的增加, 罗非鱼糕凝胶强度和感官评分都呈现先上升后下降的趋势。在猪肥膘肉添加量为 20% 时凝胶强度达到最大值, 并且鱼糕感官品质达到最佳水平。但是, 当猪肥膘肉添加量增大到 25% 时, 罗非鱼糕感官评分明显下降, 其品质降低主要体现在风味和口感 2 方面。因此, 确定猪肥膘肉的最佳添加量为 20%。

## 2.2 罗非鱼糕配方的响应面试验

水、鸡蛋清、玉米淀粉和猪肥膘肉的添加量是影响罗非鱼糕品质的 4 个主要因素, 在单因素试验

的基础上,已确定猪肥膘肉添加量为20%。根据Box-Behnken (BBD) 的中心组合试验设计原理,以水添加量(A)、鸡蛋清添加量(B)、玉米淀粉添加量(C)为3个自变量因素,凝胶强度(Y)为响应值进行3因素3水平的响应面试验,以获得罗非鱼糕的最佳生产配方。

响应面试验因素与水平设计见表2。

表2 响应面试验因素与水平设计 /%

水平	A 水	B 鸡蛋清	C 玉米淀粉
1	20	2	60
2	30	3	70
3	40	4	80

采用表2设置的3因素3水平分别做17组试验,将制得的样品采用FTC质构仪进行测定,通过计算得出罗非鱼糕的凝胶强度。实验数据采用Design-Expert 8.0.5b Trial软件中的RS(Response surface)程序进行分析。

响应面设计方案和试验结果见表3,凝胶强度的试验结果方差分析见表4。

表3 响应面设计方案和试验结果

试验号	A	B	C	Y 凝胶强度 /g·mm <sup>-1</sup>
1	1	-1	0	3 058.87
2	1	0	-1	3 080.11
3	-1	-1	0	3 097.12
4	1	1	0	2 733.01
5	0	0	0	3 100.05
6	0	0	0	3 421.87
7	0	1	-1	2 344.29
8	0	1	1	3 207.71
9	0	-1	-1	3 200.98
10	0	0	0	3 421.65
11	0	0	0	3 321.01
12	1	0	1	3 218.67
13	0	-1	1	3 276.17
14	-1	0	1	2 422.39
15	0	0	0	3 387.94
16	-1	1	0	1 511.05
17	-1	0	-1	1 928.43

由软件分析,得到的标准回归方程为:

$$Y=3\ 330.50+391.46A+354.63B+196.39C+315.05AB-88.85AC+197.06BC-537.69A^2-192.80B^2-130.41C^2。$$

由表4可以看出,Y的回归方程极显著,失拟误差不显著,说明此回归模型很显著,用方程拟合3个因素与凝胶强度之间的关系是可行的。该模型的决定系数R<sup>2</sup>=0.943 5,说明自变量与响应值之间关系显著。由方差分析结果可知,方程一次项A和B影响极显著,C影响显著,说明水、鸡蛋清、玉米淀粉添加量都对罗非鱼糕凝胶强度有显著影响,其影响

表4 凝胶强度的试验结果方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	4.672×10 <sup>6</sup>	9	5.191×10 <sup>5</sup>	13.00	0.001 4	显著
A	1.226×10 <sup>6</sup>	1	1.226×10 <sup>6</sup>	30.69	0.000 9	极显著
B	1.006×10 <sup>6</sup>	1	1.006×10 <sup>6</sup>	25.19	0.001 5	显著
C	3.086×10 <sup>6</sup>	1	3.086×10 <sup>6</sup>	7.73	0.027 3	显著
AB	3.970×10 <sup>5</sup>	1	3.970×10 <sup>5</sup>	9.94	0.016 1	显著
AC	31 577.29	1	31 577.29	0.79	0.403 4	不显著
BC	1.553×10 <sup>5</sup>	1	1.553×10 <sup>5</sup>	3.89	0.089 2	不显著
A <sup>2</sup>	1.217×10 <sup>6</sup>	1	1.217×10 <sup>6</sup>	30.48	0.000 9	极显著
B <sup>2</sup>	1.565×10 <sup>5</sup>	1	1.565×10 <sup>5</sup>	3.92	0.088 2	不显著
C <sup>2</sup>	71 612.39	1	71 612.39	1.79	0.222 4	不显著
残差	2.796×10 <sup>5</sup>	7	39 941.63			
失拟误差	2.064×10 <sup>5</sup>	3	68 812.66	3.76	0.116 5	不显著
纯误差	73 153.42	4	18 288.35			
总和	4.952×10 <sup>6</sup>	16				

注:p<0.05 差异显著;p<0.01 差异极显著

顺序为A>B>C;二次项A<sup>2</sup>以及交互项AB都对凝胶强度影响显著。总的来说,此回归方程的拟合程度较高,各试验因素对响应值的影响呈二次关系,且3个因素之间存在交互作用。

水和鸡蛋清交互作用的响应面及等高线见图5,水和玉米淀粉交互作用的响应面及等高线见图6,鸡蛋清和玉米淀粉交互作用的响应面及等高线见图7。

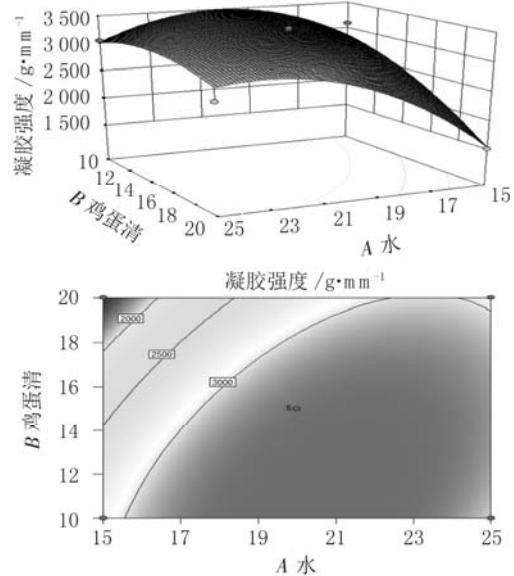


图5 水和鸡蛋清交互作用的响应面及等高线

由图5~图7可以看出,水、鸡蛋清和玉米淀粉添加量这3个因素与凝胶强度呈抛物线关系。随着各因素添加量的增加,罗非鱼糕的凝胶强度呈现不同程度的上升趋势。当各因素添加量达到一定值后,继续增加各因素值的添加量,罗非鱼糕凝胶强度开始呈现下降趋势,说明罗非鱼糕的凝胶强度与水、鸡蛋清、玉米淀粉这3个因素之间并非线性关系,只有在特定的配比条件下其凝胶强度值才能达到最大。

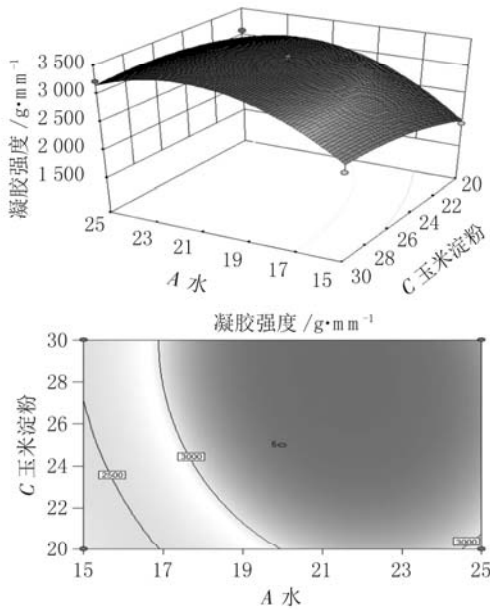


图6 水和玉米淀粉交互作用的响应面及等高线

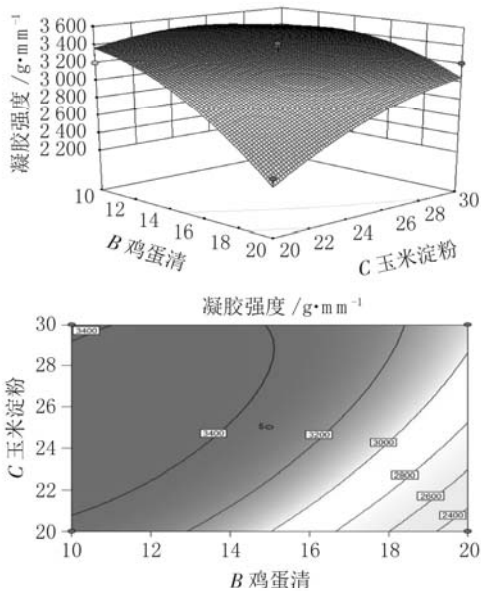


图7 鸡蛋清和玉米淀粉交互作用的响应面及等高线

根据软件的响应面分析, 得出最优添加量配方为水 20.22%, 鸡蛋清 10.56%, 玉米淀粉 22.67%, 猪肥膘肉 20%。在此配比下, 罗非鱼糕的凝胶强度值为 3 460.82  $\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$ 。实际上考虑到操作的便利性, 将罗非鱼糕优化配方修正为水 20.2%, 鸡蛋清 10.6%, 玉米淀粉 22.7%, 猪肥膘肉 20.0%。

为了检验响应面分析法是否具有可靠性, 采用上述优化配方参数制作罗非鱼糕, 测定其质构, 经计算得出其凝胶强度值为 3 422.75  $\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$ , 与理论预测值的相对误差很小, 仅为 1.10%。此结果表明, 采用响应面分析法优化的工艺参数准确可靠, 具有实用价值。

### 2.3 产品品质标准

#### 2.3.1 感官指标

罗非鱼糕感官评价见表 5。

表 5 罗非鱼糕感官评价

感官	产品评价
外观	表面光滑, 切面有较小气孔且分布均匀
状态	呈糕点状态, 弹性、韧性好
色泽	洁白鲜亮
风味	不腥, 具有鱼肉鲜味
口感	爽口, 咀嚼性好

#### 2.3.2 理化指标

水分含量 59.8%; 总糖含量 8.92%; 蛋白质含量 12.9%; 脂肪含量 10.6%。

#### 2.3.3 微生物指标

细菌总数  $\leq 100$  CFU/g; 大肠菌群  $\leq 3$  MPN/100 g; 致病菌未检出。

### 3 结论

① 以罗非鱼糕的凝胶强度为衡量指标, 综合弹性、硬度、感官品质指标, 研究了水、鸡蛋清、玉米淀粉和猪肥膘肉 4 种主要辅料对罗非鱼糕品质的影响。通过响应面试验, 结果显示最佳生产配比为水 20.2%, 鸡蛋清 10.6%, 玉米淀粉 22.7%, 猪肥膘肉 20.0%。以此工艺制作出来的罗非鱼糕弹性好、色泽鲜亮、滑嫩、细腻易咀嚼, 具有鱼肉的鲜味。

② 通过 FTC 质构仪测量出本试验研制出的罗非鱼糕质构情况, 通过计算得出其凝胶强度值为 3 422.75  $\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$ , 与理论预测值的相对误差为 1.10%。此结果表明, 采用响应面分析法优化的工艺参数准确可靠, 具有实用价值。

#### 参考文献:

- [1] 杨仕撤. 鱼的营养价值与人类进步 [J]. 中国渔业经济, 1994 (3): 21-22.
- [2] 吴东和, 陈康. 风味鱼糕制作工艺研究 [J]. 扬州大学烹饪学报, 2004 (4): 23-26.
- [3] 罗登林, 聂英, 向进乐. 鱼糕加工工艺的研究 [J]. 食品工业, 2007 (5): 27-28.
- [4] 汪之和. 水产品加工与利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 145-147.
- [5] Hermansson A M. Gel characteristics—structure as related to texture and water binding of blood plasma gels [J]. Journal of Food Science, 1982, 47 (6): 1 965-1 972.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 肉与肉制品感官评定规范 [S]. 中国国家标准汇编, 2008: 319.
- [7] 陈晓平, 黄广民. 食品理化检验 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2008: 23-28.
- [8] 王启军. 食品分析实验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 251-252. ◇