

# 非漂洗鱼糜即食食品的加工工艺

陈瑶<sup>1</sup>, 江彩艳<sup>1</sup>, 郑杰<sup>2</sup>, 尚珊<sup>1</sup>, 焦甜甜<sup>1</sup>, 姜鹏飞<sup>1\*</sup>

(1. 大连工业大学食品学院, 国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁大连 116034)

(2. 辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁大连 116023)

**摘要:** 为了确定非漂洗鱼糜即食食品的最佳配方, 研究其加工过程中的品质变化, 以感官和质构特性为指标, 通过单因素试验和正交试验确定马铃薯泥、蛋清粉、猪油和水最佳添加量; 在此基础上, 分析干燥方式和杀菌温度对产品持水性、失水率和色泽的影响, 确定最佳加工工艺。结果表明: 非漂洗鱼糜即食食品的最优配方为蛋清粉 25%、马铃薯泥 30%、猪油 6%、水 100%, 最佳干燥工艺为冷风干燥 10 h, 最佳的杀菌温度为 105 ℃。产品加工过程中, 失水率随着干燥时间的延长均显著上升, 当冷风干燥 10 h 时非漂洗鱼糜的失水率为 39.06%, 持水率为 84.33%, 热风干燥 150 min 时失水率为 34.58%, 持水率为 83.5%。随着杀菌温度升高, 非漂洗鱼糜制品呈现  $L^*$  值逐渐降低、 $a^*$  值和  $b^*$  值逐渐升高的趋势。该研究可为非漂洗鱼糜即食食品的开发和应用提供一定的理论依据。

**关键词:** 非漂洗鱼糜即食食品; 工艺; 配方; 干燥; 杀菌

文章编号: 1673-9078(2022)09-215-227

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1278

## Processing Technology of Non-rinsed Surimi Instant Food

CHEN Yao<sup>1</sup>, JIANG Caiyan<sup>1</sup>, ZHENG Jie<sup>2</sup>, SHANG Shan<sup>1</sup>, JIAO Tiantian<sup>1</sup>, JIANG Pengfei<sup>1\*</sup>

(1. National Engineering Research Center of Seafood, School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China) (2. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China)

**Abstract:** In order to determine the best formula of non-rinsed surimi instant food and investigate the quality changes during processing, single factor and orthogonal experiments were used to determine the optimum addition amounts of mashed potatoes, egg white powder, lard, and water using sensory and texture characteristics as reference indexes. Subsequently, the best processing technology was determined by analyzing the effects of drying methods and sterilization temperature on the water holding capacity, water loss rate, and product color. The results showed that the optimal formula of non-rinsed surimi instant food was 25% egg white powder, 30% mashed potatoes, 6% lard, and 100% water; the optimal drying process was cold air drying for 10 h; and the optimal sterilization temperature was 105 ℃. During processing of non-rinsed surimi instant food, the water loss rate increased significantly with the extension of drying time. When the cold air drying time was 10 h, the water loss and water holding rates of non-rinsed surimi were 39.06% and 84.33%, respectively. When the hot air drying time was 150 min, the water loss and water holding rates were 34.58% and 83.5%, respectively. As the sterilization temperature increased, the  $L^*$  value of non-rinsed surimi products gradually decreased, whereas the  $a^*$  and  $b^*$  values gradually increased. These results could provide a theoretical basis for the development and utilization of non-rinsed surimi instant food.

**Key words:** non-rinsed surimi instant food; process; formula; drying; sterilization

引文格式:

陈瑶, 江彩艳, 郑杰, 等. 非漂洗鱼糜即食食品的加工工艺[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 215-227

CHEN Yao, JIANG Caiyan, ZHENG Jie, et al. Processing technology of non-rinsed surimi instant food [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 215-227

收稿日期: 2021-11-14

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2019YFD0902000); 辽宁省农业重大专项 (2020JH1/10200001)

作者简介: 陈瑶 (1996-), 女, 研究生, 研究方向: 水产品加工技术, E-mail: 1298838794@qq.com; 共同第一作者: 江彩艳 (1999-), 女, 研究生, 研究方向: 水产品加工技术, Email: 2417277928@qq.com

通讯作者: 姜鹏飞 (1986-), 男, 高级工程师, 研究方向: 水产品加工技术, E-mail: 67118948@qq.com

随着我国渔业和加工技术的发展, 鱼糜制品行业取得了长足进展, 由其营养丰富, 味道鲜美, 深受消费者喜爱。鱼糜是一种无味、白色稳定的肌原纤维蛋白糊, 是从去骨鱼肉中提取出来的<sup>[1]</sup>, 具有良好的凝胶成型能力, 用于制造高质量和高附加值的海鲜产品<sup>[2]</sup>。传统的鱼糜制品是经过采肉、绞肉、漂洗、脱水、斩拌、擂溃、凝胶化等工艺制成的鱼糕、鱼丸、鱼肠、模拟蟹肉虾肉等常见商品<sup>[3]</sup>。漂洗作为传统鱼糜制品生

产的重要工艺,可以提高鱼糜制品的凝胶强度和白度,但会使水溶性蛋白质、脂肪等营养物质大量流失,造成产品出成率的下降和资源的浪费<sup>[4]</sup>。未漂洗鱼糜的生产解决了上述工艺中存在的问题,同时也减少漂洗液对环境的污染。目前,研究学者对未漂洗鱼糜主要集中在提高凝胶特性研究,而对非漂洗鱼糜产品研究较少,如:暴伊芮等<sup>[5]</sup>研究发现添加 0.02 mol/L 鱼糜质量钙离子可以使未漂洗鲈鱼糜达到传统漂洗鱼糜的品质;向晨曦等<sup>[6]</sup>通过研究不同添加量的葡萄糖酸内酯对未漂洗鱼糜凝胶特性影响发现:3%添加量的葡萄糖酸内酯对鱼糜凝胶强度、白度和持水性具有显著提升;鲍佳彤等<sup>[7]</sup>发现添加 6%的木薯变性淀粉可提高未漂洗鲶鱼鱼糜的凝胶特性和持水性;Hatairad 等<sup>[8]</sup>发现碱辅助工艺可以提高未漂洗鲶鱼胶凝特性并降低鱼腥味、泥土味和腐臭味。Wang 等<sup>[9]</sup>在未漂洗的鲟鱼鱼糜中添加不同浓度的鸡胸肉,研究发现添加 40%的鸡胸肉会使鱼糜凝胶产生最大断裂力和凝胶强度,且所有样品的白度没有显著差异。说明添加鸡胸肉可能会增强未漂洗鲟鱼鱼糜的凝胶特性,并简化鱼糜加工程序。

罗非鱼,又名非洲鲫鱼,属鲈形目、慈鲷科、罗非鱼属,其肌肉中必需氨基酸含量丰富,还含有多种不饱和脂肪酸,有益于人体健康<sup>[10]</sup>。罗非鱼主要被加工为罗非鱼片、干罗非鱼片、罗非鱼腊制品、罗非鱼罐头、罗非鱼鱼糜制品。除此之外,罗非鱼加工过程中会产生大量的下脚料,目前对于罗非鱼下脚料的精深加工主要有鱼头、鱼排制备水产品调味料,鱼皮、鱼鳞制备胶原蛋白和明胶,鱼内脏制备鱼油等<sup>[11]</sup>。本研究对于鱼糜即食食品加工工艺进行研究,为后续罗非鱼的精深加工利用提供参考。

本研究以未漂洗罗非鱼鱼糜为主要原料,通过单因素和正交实验确定辅料最佳添加量,以水分和色泽变化为指标,研究非漂洗鱼糜制品在干燥、杀菌工艺过程中品质变化,为后续研究提供理论参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 原料

罗非鱼(海南鲷,冷冻鲷鱼柳),翔泰渔业股份有限公司;马铃薯(生鲜),大连市甘井子区仟和市场;蛋清粉(欧福蛋白粉),苏州欧福蛋业股份有限公司;猪油(食用猪油),浙江金恩食品科技股份有限公司;料酒(海天古道料酒),佛山市海天调味食品股份有限公司;白醋,佛山市海天调味食品股份有限公司;姜(生鲜),大连市甘井子区仟和市场;盐(桔子树无碘盐),大连新春多品种盐业有限公司;味精(红梅味精),

沈阳红梅食品有限公司;糖(一品诚记优质绵白糖),大连一品天成食品有限责任公司。

### 1.2 仪器与设备

200 型电子天平,美国双杰兄弟有限公司;奥克斯 HX-J681A 型全钢绞肉机,广东省佛山市海迅电器有限公司;QX-001 型压面机,永康市千协贸易有限公司;SCC-WE101 型万能蒸烤箱,德国 Rational 公司;SCC-WE101 型万能蒸烤箱,德国 Rational 公司;冷风干燥机,大连中通食品机械有限公司;20130019 型杀菌釜,山东省诸城市金鼎食品机械有限公司;TA.XT.plus 物性测试仪,英国 SMS 公司;UltraScan PRO 测色仪,美国公司;L550 型离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;HH-4 型数显恒温水浴锅,常州智博瑞仪器制造有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备

##### 1.3.1.1 鱼糜制备方法及amp;工艺流程

将冷冻罗非鱼进行预处理,取鱼肉切成小块,用冰水冲洗干净并放在碎冰中保持鱼肉低温,将鱼肉置于绞肉机中绞 2~3 遍,之后将绞碎的鱼肉不经过漂洗、脱水等步骤,直接加入各种辅料(蛋清粉、马铃薯泥、猪油、水等)经绞肉机绞 2 min,取 400 g 装入模具,在 90 ℃的条件下蒸制 25 min 备用。

工艺流程:冷冻罗非鱼片→4 ℃解冻→脱腥→配方优化→冷风干燥→杀菌→冷却→成品

##### 1.3.1.2 辅料添加量单因素实验

称取一定质量的鱼糜,以质构特性、感官评分、蒸煮损失率、色泽、持水性为指标,探讨不同蛋清粉添加量(10%、15%、20%、25%、30%)、马铃薯泥添加量(20%、30%、40%、50%、60%)、猪油添加量(4%、6%、8%、10%、12%)、水添加量(60%、80%、100%、120%、140%)对非漂洗鱼糜制品品质的影响。

##### 1.3.1.3 辅料添加量正交实验

表 1 非漂洗鱼糜辅料添加量因素水平表

Table 1 Factor levels of non-rinsing surimi auxiliary materials

水平	因素			
	蛋清粉 添加量/%	马铃薯泥 添加量/%	猪油 添加量/%	水 添加量/%
1	20	30	4	80
2	25	40	6	100
3	30	50	8	120

在单因素基础上,为了得到辅料最佳添加量(%,质量分数,下同),以蛋清粉、马铃薯泥、猪油、水为

正交实验因素,每个因素设定三个水平,以感官评定和质构特性为指标,确定最佳辅料添加量,结果采用SPSS和Excel 2010进行分析。具体因素见表1。

### 1.3.2 感官评定

选取12名感官评价员对样品进行感官评价。评定设置4个指标,包括色泽、口味、组织结构、口感,分别统计每个指标的得分,最后按每个指标的加权计算样品得分再取均值,评分标准如表2。

表2 感官评分表

Table 2 Sensory score table

性质	评分标准	得分
色泽 (20%)	洁白色	80~100
	白色	60~80
	黄白色	40~60
	淡黄色	20~40
	暗黄色	0~20
口味 (25%)	鱼肉鲜味非常突出,无异味	80~100
	鱼肉鲜味较突出,无异味	60~80
	鱼肉鲜味很淡,有轻微异味	40~60
	无鱼肉鲜味,稍有异味	20~40
	无鱼糕味道,有异味	0~20
组织结构 (20%)	切面紧密,较多细小气孔且气孔均匀,未出现大气孔	80~100
	切面紧密,小气孔不均匀,无大气孔	60~80
	切面较松软,有较多小孔,少量大气孔	40~60
	切面松软,有较多不均匀的孔	20~40
	切面气孔较多松软不密实,	0~20
口感 (35%)	口感软嫩品质良好;手指重压,凹陷而不破碎,松手立即恢复原状	80~100
	口感软嫩可接受;手指重压,凹陷而不破碎,松手恢复原状	60~80
	口感适中可接受;手指重压,凹陷有轻微破碎,松手不能恢复原状	40~60
	口感软烂可接受;手指重压即破碎	20~40
	口感软烂不可接受;手指轻压即破碎	0~20

### 1.3.3 质构测试

切片后的鱼糜制品,用取肉器取厚度1 cm直径22 mm的样品,置于质构分析仪上检测,使用P/50探头,对试样进行2次压缩,测前速率2.0 mm/s,测中速率1.0 mm/s,测后速率1.0 mm/s,压缩程度30%,2次测定的时间间隔为5 s,触发力5 g。每组重复测定6次,结果取平均值。

### 1.3.4 蒸煮损失率

将鱼糜样品切成 $20 \pm 1$  g的薄片并称重( $M_1$ ),装入蒸煮袋中并封口,在90 °C的水浴锅中蒸煮15 min,取出后冷却至室温,擦干表面水分,再次称重( $M_2$ ),根据式(1)计算蒸煮损失率:

$$S = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$S$ —蒸煮损失率, %;

$M_1$ —蒸煮前样品质量, g;

$M_2$ —蒸煮后样品质量, g。

### 1.3.5 色泽测定

将测色仪调至模式,更换对应的镜口,经标准白板校正使其标准化之后将肉面垂直置于镜口上,肉面紧扣镜口,每组样品做6个平行,测定其 $L^*$ (亮度)、 $a^*$ (红度)、 $b^*$ (黄度)值,结果取平均值。白度值( $W$ )按式(2)计算。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

式中:

$W$ —白度值;

$L^*$ —亮度值;

$a^*$ —红度值;

$b^*$ —黄度值。

### 1.3.6 持水性测定

参考文献<sup>[12]</sup>持水性测定的方法,准确称取样品质量2.00 g,记为 $M_1$ ;将样品包裹在2层滤纸中,放入离心管,4 000 r/min离心15 min,然后称其质量,记为 $M_2$ 。每组平行测定3次。持水率按式(3)计算。

$$Y = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

Y—鱼糜持水性;

M<sub>1</sub>—鱼糜离心前的质量, g;

M<sub>2</sub>—鱼糜离心后的质量, g.

### 1.3.7 干燥实验

冷风干燥温度为 10~15 °C, 风速为 1.5 m/s, 风箱湿度为 25%, 干燥时间为 2、4、6、8、10、12 h.

热风干燥温度为 55 °C, 风速为 0.63 m/s, 风箱湿度为 27%, 干燥时间为 30、60、90、120、150 min.

### 1.3.8 杀菌实验

将干燥好的样品分别置于 105、115、121 °C 的杀菌釜内, 反应压力 0.12 MPa, 分别杀菌 20 min, 冷却备用.

### 1.3.9 失水率测定

干燥前, 用吸水纸吸干鱼糜表面水分, 准确称重, 质量记为 W<sub>1</sub>. 干燥后, 将样品冷却, 擦拭称重, 质量记为 W<sub>2</sub>. 每组实验重复测定 3 次, 试样中质量损失按式 (4) 计算:

$$X = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

X—鱼糜中的质量损失, g/100 g;

W<sub>1</sub>—干燥前鱼糜的质量, g;

W<sub>2</sub>—干燥后鱼糜的质量, g.

### 1.3.10 数据处理

采用 SPSS 11.0 软件进行数据分析, 用 Duncan's 多重分析进行组间显著性检验, 显著水平为 p<0.05, 数据作图均采用 Origin 8.6.

## 2 结果与讨论

### 2.1 辅料添加量单因素实验结果分析

#### 2.1.1 蛋清粉添加量结果分析

从表 3 中可以看出, 随着蛋清粉添加量的增加, 硬度和咀嚼度显著增加, 当蛋清粉添加量为 30% 时,

非漂洗鱼糜制品的硬度和咀嚼度达到最大, 分别为 1 415.27 和 1 021.14, 而且二者变化趋势一致, 体现非漂洗鱼糜的硬度和咀嚼度间存在相关性, 与叶丽红<sup>[13]</sup>研究结果一致. 其粘聚性和回复性随蛋清粉添加量的增加也呈现增加的趋势, 粘聚性 0.75~0.79, 回复性 0.30~0.35. 总体来看, 蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜的硬度、咀嚼度和回复性影响显著 (p<0.05), 对弹性、粘聚性影响不显著 (p>0.05), 主要是因为蛋清粉抑制蛋白质降解促进蛋白质交联形成网状结构, 蛋清粉过量使硬度过强而影响弹性<sup>[14-16]</sup>. 与李金星等<sup>[17]</sup>的研究结果一致, 蛋清粉添加量为 6% 时, 海鲈鱼小片的硬度、咀嚼性和弹性均优于空白组.

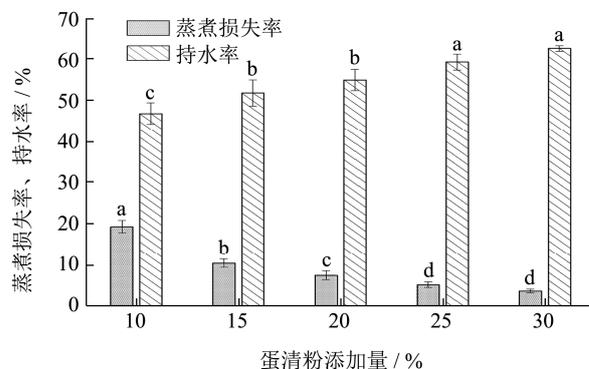


图 1 蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水性影响

Fig.1 Effect of the amount of egg white powder added on cooking loss rate and water holding capacity of non-rinsed surimi

注: 同组数据小写字母不同表示差异显著, p<0.05. 下同.

鱼糜持水性的强弱反映了鱼糜中蛋白质结合水的能力, 不仅会影响鱼糜制品的品质, 对成品率也有很大的影响<sup>[18,19]</sup>. 蛋清粉的添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水性的影响如图 1 所示, 随着蛋清粉添加量的增加, 蒸煮损失率从 19.61% 降至 3.91%, 呈现逐渐下降的趋势, 而持水性从 47.00% 至 62.77%, 呈现逐渐上升的趋势, 总体来看, 蛋清粉的添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率及持水性有显著 (p<0.05) 的影响. 这与王强等<sup>[20]</sup>发现添加蛋清粉显著降低肉丸的蒸煮损失率的研究结果相同.

表 3 蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜质构特性影响

Table 3 Effect of the amount of egg white powder added on the texture properties of nonrinsed surimi

蛋清粉添加量/%	硬度/g	弹性	粘聚性	咀嚼度	回复性
10	402.00±1.83 <sup>c</sup>	0.95 <sup>b</sup>	0.75±0.01 <sup>d</sup>	287.67±4.48 <sup>c</sup>	0.30 <sup>c</sup>
15	627.89±4.45 <sup>d</sup>	0.97±0.01 <sup>a</sup>	0.77 <sup>c</sup>	466.79±5.72 <sup>d</sup>	0.32 <sup>d</sup>
20	735.41±2.09 <sup>c</sup>	0.93 <sup>c</sup>	0.77 <sup>b,c</sup>	525.50±2.01 <sup>c</sup>	0.33±0.01 <sup>c</sup>
25	1 159.96±27.37 <sup>b</sup>	0.93±0.01 <sup>c</sup>	0.78 <sup>b</sup>	834.99±5.77 <sup>b</sup>	0.34 <sup>b</sup>
30	1 415.27±37.26 <sup>a</sup>	0.92±0.01 <sup>c</sup>	0.79 <sup>a</sup>	1 021.14±13.93 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>

表 4 马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜质构特性影响

Table 4 Effect of the amount of mashed potatoes added on the texture properties of nonrinsed

马铃薯泥添加量/%	硬度/g	弹性	粘聚性	咀嚼性	回复性
20	797.21±5.40 <sup>a</sup>	0.96±0.02 <sup>a</sup>	0.79 <sup>a</sup>	602.50±17.77 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>
30	791.07±6.46 <sup>a</sup>	0.96±0.03 <sup>a</sup>	0.78 <sup>b</sup>	589.54±16.27 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>
40	750.79±8.52 <sup>b</sup>	0.92±0.04 <sup>a</sup>	0.78 <sup>b</sup>	540.03±24.08 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>
50	697.79±44.40 <sup>c</sup>	0.95±0.04 <sup>a</sup>	0.78 <sup>b</sup>	511.26±20.37 <sup>b</sup>	0.32 <sup>b</sup>
60	744.44±16.19 <sup>b</sup>	0.93±0.03 <sup>a</sup>	0.77 <sup>c</sup>	536.94±20.32 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>

蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜色泽的影响如图 2 所示, 随着蛋清粉添加量的增加, 非漂洗鱼糜的色度值无显著变化 ( $p>0.05$ )。周阳等<sup>[21]</sup>在白鲢鱼鱼丸中添加蛋清粉结果显示, 蛋清粉的添加量对鱼丸的色度值无显著影响, 与本试验结果一致。

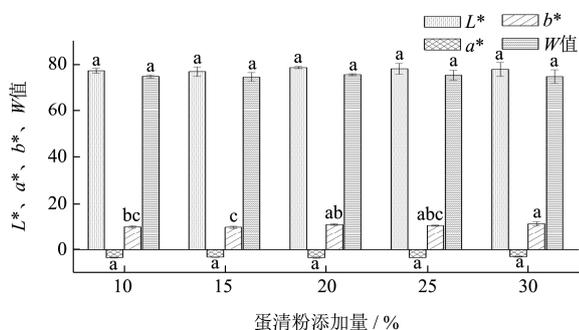


图 2 蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜色泽影响

Fig.2 Effect of the amount of egg white powder added on color of non-rinsed surimi

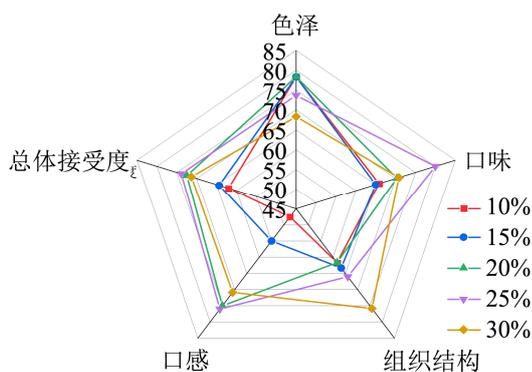


图 3 蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜感官影响

Fig.3 Effect of the amount of egg white powder added on the sensory organs of non-rinsed surimi

蛋清粉添加量对非漂洗鱼糜感官影响如图 3 所示, 从图中可以看出, 当蛋清粉添加量为 25%时, 非漂洗鱼糜制品的总体接受度最高, 感官评分为 73.87 分。这是因为蛋清粉添加量过高非漂洗鱼糜制品的色泽变暗、蛋清味加重、鱼鲜味变淡、气孔不均匀, 添加量低口感软糯弹性差。张菲菲等<sup>[22]</sup>利用低值鱼鱼糜制作鱼丸的研究也表明, 当蛋清粉的添加量超过 18%时, 鱼丸的感官评分呈现下降趋势, 与本试验结果一致。

### 2.1.2 马铃薯泥添加量结果分析

表 4 是马铃薯添加量对非漂洗鱼糜制品硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性以及回复性的影响, 结果表明: 随着马铃薯泥添加量的增加, 非漂洗鱼糜的硬度呈现先降低后升高的趋势, 当添加量达到 50%时硬度值最小, 为 697.79, 咀嚼性有相同变化的趋势, 在马铃薯泥添加量为 50%时, 咀嚼性为 511.26。而马铃薯泥的添加量对非漂洗鱼糜的弹性、粘聚性和回复性影响不显著 ( $p>0.05$ )。徐志杰<sup>[23]</sup>研究甘薯鱼丸品质的特性, 表明添加甘薯对鱼丸的硬度和咀嚼性有显著的影响, 对内聚性的影响不显著, 与本试验结果一致。

马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜的蒸煮损失率和持水性的影响如图 4, 随着马铃薯泥添加量的增加, 产品的蒸煮损失率并没有显著变化 ( $p>0.05$ ), 而对持水率有显著的影响 ( $p<0.05$ )。Amiza 等<sup>[24]</sup>将马铃薯泥添加到鱼肠中, 不同添加量对蒸煮损失率的影响并没有显著差异。

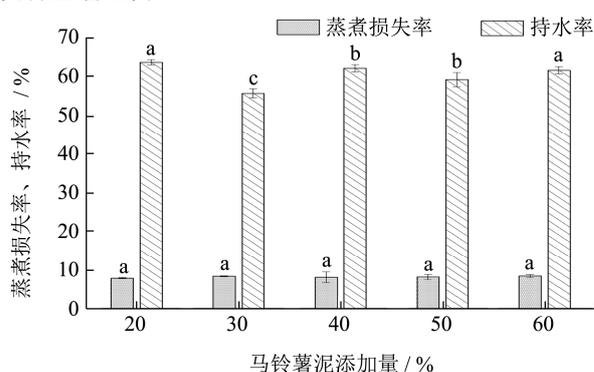


图 4 马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水性影响

Fig.4 Effect of the amount of mashed potatoes added on cooking loss rate and water holding capacity of non-rinsed surimi

马铃薯泥对非漂洗鱼糜色泽的影响如图 5 所示, 随着马铃薯泥添加量的增加,  $b^*$  值存在显著变化 ( $p<0.05$ ) (9.23~11.57), 而  $L$  值、 $a^*$  值以及  $W$  值并没有显著变化 ( $p>0.05$ ), 本试验采用的马铃薯呈黄色, 黄度值显著增加可能是由于随着马铃薯添加量的增加, 鱼糜中马铃薯的色素物质含量增加。黄洁等<sup>[25]</sup>在鱼糜制品中加入马铃薯淀粉, 结果表明对鱼糜制品

的白度几乎没有影响, 与本研究结果保持一致。

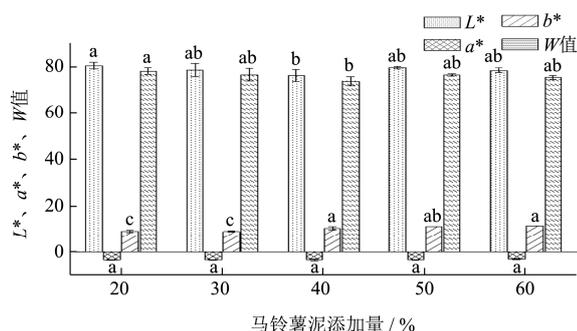


图5 马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜色泽影响

Fig.5 Effect of the amount of mashed potatoes added on color of non-rinsed surimi

马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜制品感官评定的影响如图6所示。由图可知, 马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜制品的色泽影响不显著, 添加量较低口感较硬, 添加量较高时口感软烂发渣。因此, 当马铃薯添加量

为40%时, 口感适中、口味鲜美和组织结构均匀, 总体接受度最高, 感官评分为71.27分。谭雪松等<sup>[26]</sup>将马铃薯泥添加到肉丸中, 随着马铃薯泥添加量的增加, 肉丸的感官评分先上升后下降, 与本试验结果一致。

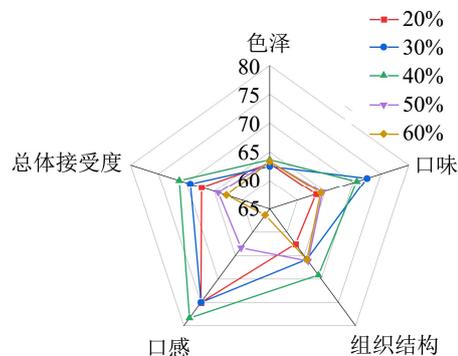


图6 马铃薯泥添加量对非漂洗鱼糜感官影响

Fig.6 Effect of the amount of mashed potatoes added on the sensory organs of non-rinsed surimi

表5 猪油添加量对非漂洗鱼糜质构特性影响

Table 5 Effect of the amount of lard oil added on the texture properties of nonrinsed

猪油添加量/%	硬度/g	弹性	粘聚性	咀嚼度	回复性
4	825.94±32.09 <sup>a</sup>	0.92±0.03 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>	593.81±4.86 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>
6	824.84±3.63 <sup>a</sup>	0.94±0.01 <sup>a</sup>	0.78±0.01 <sup>a</sup>	604.18±4.00 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>
8	716.45±8.55 <sup>b</sup>	0.95±0.03 <sup>a</sup>	0.78±0.01 <sup>a</sup>	531.58±18.28 <sup>b</sup>	0.35 <sup>a</sup>
10	661.36±19.20 <sup>b,c</sup>	0.94±0.02 <sup>a</sup>	0.78±0.01 <sup>a</sup>	488.36±21.17 <sup>b,c</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>
12	692.59±1.56 <sup>c</sup>	0.93±0.03 <sup>a</sup>	0.79±0.01 <sup>a</sup>	508.46±14.03 <sup>c</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>

### 2.1.3 猪油添加量结果分析

如表5所示, 随着猪油添加量的增加, 非漂洗鱼糜的硬度和咀嚼度呈现相同的先降低后增加的趋势, 当猪油添加量为10%时, 硬度和咀嚼度达到最低, 分别为661.36和488.36。弹性主要与凝胶网络的结构变化有关, 而随着猪油的添加, 非漂洗鱼糜的弹性无显著性变化 ( $p>0.05$ ), 说明猪油添加量对非漂洗鱼糜制品的凝胶结构无显著性影响。粘聚性和回复性也没有显著性差异 ( $p>0.05$ )。米红波等<sup>[27]</sup>将植物油添加到鱼糜中, 鱼糜的粘聚性、回复性和弹性与对照组均无显著性差异 ( $p>0.05$ ), 与本试验的结果一致。

猪油添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水性的影响如图7所示, 总体来看, 随着猪油添加量的增加, 产品持水率呈现逐渐上升趋势, 但不存在显著影响 ( $p>0.05$ ), 而对蒸煮损失率有显著 ( $p<0.05$ ) 的影响, 当猪油添加量为8%和12%时, 蒸煮损失率为7.72%和8.69%, 明显高于其他组, 当猪油添加量为4%、6%和10%时, 蒸煮损失率分别为6.16%、6.71%和6.66%, 因此最终猪油的添加量应该从4%、6%和10%之间选择。这与程文雯<sup>[28]</sup>在带鱼鱼糜中添加猪油

对产品持水性的影响结果一致, 可能是由于鱼糜表面被猪油覆盖, 防止水分的流失。

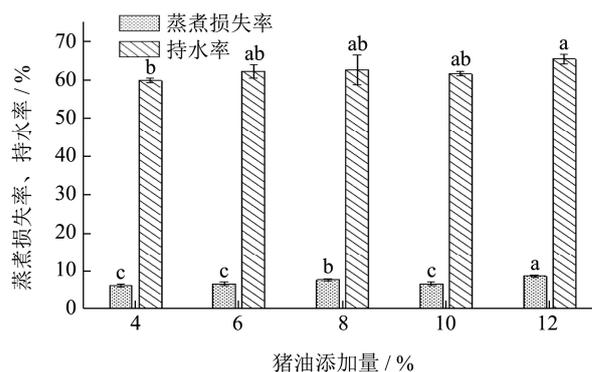


图7 猪油添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水性影响

Fig.7 Effect of the amount of lard oil added on cooking loss rate and water holding capacity of non-rinsed surimi

猪油添加量对非漂洗鱼糜色泽的影响如图8所示, 由图8可知, 猪油添加量对鱼糜制品的色泽并无显著影响 ( $p>0.05$ )。Behannis等<sup>[29]</sup>研究了猪油添加量对牛肉丸色泽的影响, 表明不同猪油添加量对牛肉丸色泽的影响不明显, 与本试验的结果保持一致。

表 6 水添加量对非漂洗鱼糜质构特性影响

**Table 6 Effect of the amount of water added on the texture properties of non-rinsed**

水分添加量/%	硬度/g	弹性	粘聚性	咀嚼度	回复性
60	1 396.13±13.18 <sup>a</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.78±0.02 <sup>a</sup>	1 008.82±16.78 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>
80	963.39±8.99 <sup>b</sup>	0.91±0.02 <sup>b</sup>	0.78 <sup>a</sup>	679.00±10.14 <sup>b</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>
100	738.76±6.33 <sup>c</sup>	0.93±0.01 <sup>b</sup>	0.78±0.01 <sup>a</sup>	535.15±11.79 <sup>c</sup>	0.34±0.01 <sup>a,b</sup>
120	644.84±9.35 <sup>d</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>	0.78±0.04 <sup>a</sup>	483.76±10.52 <sup>d</sup>	0.33±0.01 <sup>a,b</sup>
140	507.83±4.92 <sup>e</sup>	0.97 <sup>a</sup>	0.77 <sup>a</sup>	379.13±6.59 <sup>e</sup>	0.33±0.01 <sup>b</sup>

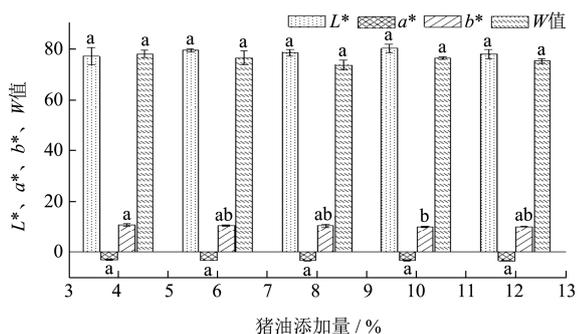


图 8 猪油添加量对非漂洗鱼糜色泽影响

**Fig.8 Effect of the amount of lard oil added on color of non-rinsed surimi**

猪油添加量对非漂洗鱼糜制品感官评定的影响如图 9 所示。猪油添加量对非漂洗鱼糜制品的色泽和口感无显著性影响。但鱼糜制品的鲜度随猪油添加量的增加呈现先增加后降低的趋势，主要是因为猪油添加量过多，猪油的腥味会掩盖鱼的鲜味。因此，结合口味和顾客接受度，6%猪油添加量为最佳，感官评分为 81.92 分。董志俭等<sup>[30]</sup>在海鲈鱼/草鱼鱼丸中添加猪油，随着猪油添加量的增加，鱼丸的感官评分呈现先上升后下降的趋势，与本试验结果一致。

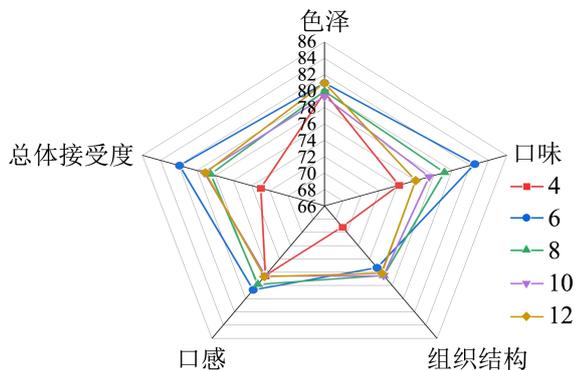


图 9 猪油添加量对非漂洗鱼糜感官影响

**Fig.9 Effect of the amount of lard oil added on the sensory organs of non-rinsed surimi**

2.1.4 水添加量结果分析

鱼糜及鱼糜制品中的水分是影响其品质的关键因素之一。由表 6 可知，随着水分添加量的增加非漂洗鱼糜的硬度（1396.13~507.83）和咀嚼度（1008.82~

379.13）显著降低（ $p < 0.05$ ），这主要是由于鱼肉中水分在蛋白质周围形成不稳定的水膜。而弹性、粘聚性和回复性随水添加量的增加无明显的变化，这与 LIN 等人<sup>[31]</sup>的研究结果一致，即水分增加会导致大豆蛋白鱼糜挤出物硬度和咀嚼度降低。

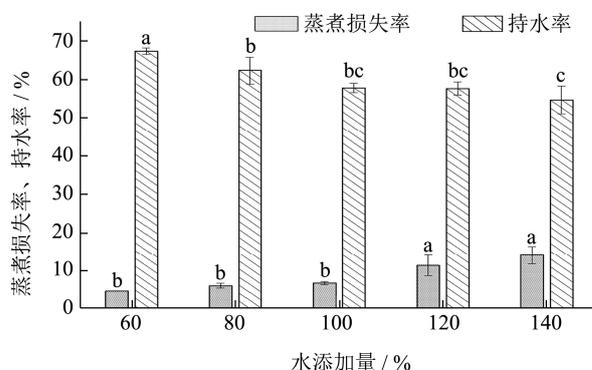


图 10 水添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水性影响

**Fig.10 Effect of the amount of water added on cooking loss rate and water holding capacity of non-rinsed surimi**

水的添加量对非漂洗鱼糜蒸煮损失率和持水率的影响如图 10，随着水的添加量的增加，非漂洗鱼糜的蒸煮损失率为 4.43%~13.84%，呈现逐渐上升的趋势，持水率为 67.12%~54.42%，呈现逐渐下降的趋势，各组之间存在显著性差异（ $p < 0.05$ ），考虑到最终产品的蒸煮损失，水分添加量应当在 60%、80%、100%中选择，因为这三个水平对产品的蒸煮损失率不存在显著性差异（ $p > 0.05$ ）。张诗雯等<sup>[32]</sup>研究不同水分含量的金线鱼肉香肠持水性的变化，结果表明随着水分含量的上升，金线鱼肉香肠的持水性显著下降，说明蛋白与水的结合能力有限，结合不紧密的水分容易流失。与本试验的研究结果保持一致。

水分添加量对非漂洗鱼糜色泽的影响如图 11 所示，随着水的添加量的增加，L 值、a\*值以及 W 值并没有显著变化（ $p > 0.05$ ），而 b\*值逐渐降低（11.50~8.90），存在显著变化（ $p < 0.05$ ），这可能是由于水分添加量的增多，溶解了鱼糜以及配料中的一些色素物质，导致产品的黄度值下降。Zwolán 等<sup>[33]</sup>将燕麦种子中水提取物加入到鸡肉丸中，结果表明，添加物不会对鸡肉丸的白度造成影响。

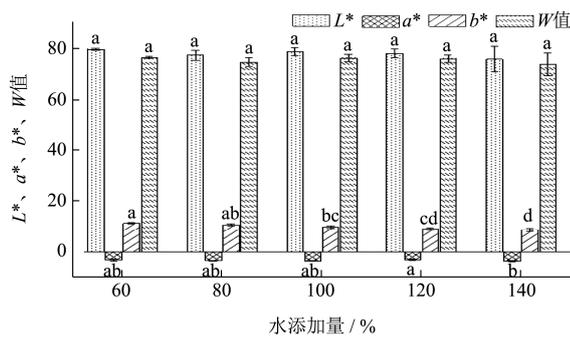


图 11 水添加量对非漂洗鱼糜色泽影响

Fig.11 Effect of the amount of water added on color of non-rinsed surimi

水分添加量对非漂洗鱼糜制品感官评定的影响如图 12 所示。当水分添加量较低时，非漂洗鱼糜制品的色泽暗黄、鲜度低、空隙大小不均匀且口感较硬；当水分含量较高，虽鱼糜流动性高空隙小而均匀，但口感软烂无嚼劲，弹性差易破碎。因此，综合各指标，当水分添加量为 100%时，非漂洗鱼糜制品的总体接受度最高，感官评分为 81.43 分。路红波等<sup>[34]</sup>以鲢鱼为主要原料优化鲢鱼鱼糕工艺配方，研究水的添加量对产品品质的影响，随着水的添加量的增加，鲢鱼鱼糕的感官评分与本试验结果一致，呈现先上升后下降的趋势。

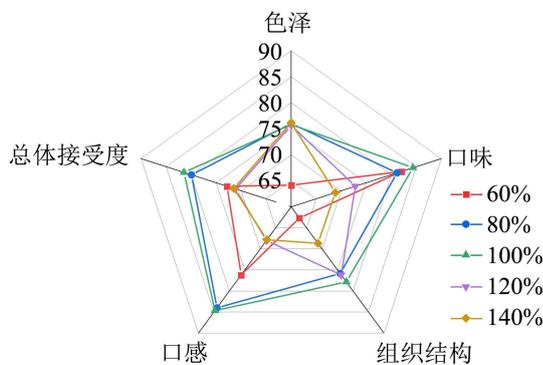


图 12 水添加量对非漂洗鱼糜感官影响

Fig.12 Effect of the amount of water added on the sensory organs of non-rinsed surimi

## 2.2 正交实验结果分析

### 2.2.1 聚类分析

聚类分析中按照硬度共分为四级，包括 level 1、level 2、level 3 和 level 4，其中 level 1 等级的硬度是 1777.57 口感得分 75.00；level 2 等级硬度为 942.49~1196.20，口感均分 78.50；level 3 等级硬度为 1396.13~1460.47，口感均分 76.75；level 4 等级硬度为 402.00~825.94，口感均分 69.18。

聚类分析中按照咀嚼度共分为五级，包括 level 1、

level 2、level 3、level 4 和 level 5，其中 level 1 等级的咀嚼度是 461.48~685.49，口感均分 72.02，level 2 等级的咀嚼度是 287.67~379.13，口感均分 57.67，level 3 等级的咀嚼度是 1313.41 口感得分是 75.00，level 4 等级的咀嚼度是 1002.47~1021.14，口感均分是 76.75，level 5 等级的咀嚼度是 797.46~861.93，口感均分 76.13。

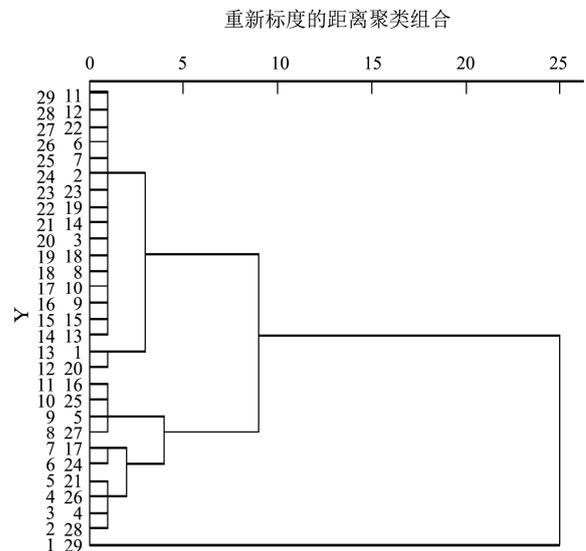


图 13 硬度感官评分聚类谱系图

Fig.13 Cluster pedigree diagram of sensory score for hardness

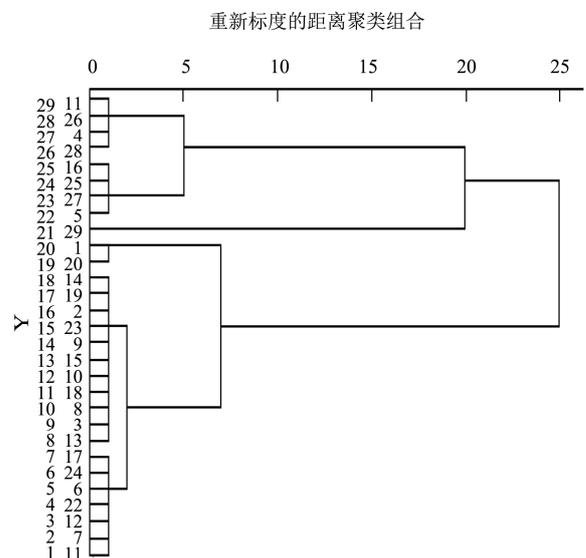


图 14 咀嚼度感官评分聚类谱系图

Fig.14 Clustering spectrum of mastication sensory score

### 2.2.2 正交实验结果分析

对 L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>) 正交试验表<sup>[35]</sup>分析可得：各因素对感官影响的主次顺序为 D>A>B>C，即：水>蛋清粉>马铃薯泥>猪油，产品的最佳配方为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>；各因素对硬度影响的主次顺序为 A>D>C>B，即：蛋清粉>水>猪油>马铃薯泥，通过聚类分析，硬度值 940~1 200 范围内口感得分最高，因此产品的最佳配

在方为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>; 各因素对咀嚼度影响的主次顺序为 A>D>C>B, 即: 蛋清粉>水>猪油>马铃薯泥, 通过聚类分析, 咀嚼度值在 1 000~1 200 范围内口感得分最高, 因此产品的最佳配方为 A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>。

由方差分析结果可知, 对非漂洗鱼糜制品的感官

影响中猪油添加量影响不显著 ( $p>0.25$ ), 蛋清粉添加量、马铃薯泥添加量、水添加量影响极显著 ( $p<0.01$ ); 对非漂洗鱼糜制品的硬度影响中马铃薯泥添加量、蛋清粉添加量、猪油添加量、水添加量影响都极显著 ( $p<0.01$ ), 与咀嚼度趋势一致。

表 7 正交实验结果分析表

Table 7 Orthogonal test results analysis table

试验号	A 蛋清粉 添加量	B 马铃薯泥 添加量	C 猪油 添加量	D 水 添加量	感官评分		硬度/g		咀嚼度		
					重复 1	重复 2	重复 1	重复 2	重复 1	重复 2	
1	1	1	1	1	69	74	1 095.84	1 106.90	803.67	797.68	
2	1	2	2	2	65	65	816.32	812.64	609.96	605.30	
3	1	3	3	3	50	58	634.11	637.87	458.92	478.34	
4	2	1	2	3	73	69	954.43	951.58	675.53	696.01	
5	2	2	3	1	79	77	1 390.56	1 394.02	996.39	996.95	
6	2	3	1	2	69	68	1 105.21	1 067.02	793.42	782.11	
7	3	1	3	2	77	72	1 466.88	1 467.72	990.93	1 019.03	
8	3	2	1	3	68	69	1 197.43	1 205.81	851.31	871.54	
9	3	3	2	1	72	72	1 780.51	1 813.10	1 313.74	1 334.75	
感官 评分	k <sub>1</sub>	63.42	72.33	69.50	73.75						
	k <sub>2</sub>	72.42	70.33	69.25	69.25						
	k <sub>3</sub>	71.67	64.83	68.75	64.50						
	R	9.00	7.50	0.75	9.25						
	最优	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>						
硬度	k <sub>1</sub>	850.61	1 173.89	1 129.70	1 430.15						
	k <sub>2</sub>	1 143.80	1 136.13	1 188.10	1 122.63						
	k <sub>3</sub>	1 488.57	1 172.97	1 165.19	930.21						
	R	637.96	37.76	58.40	499.95						
	最优	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>						
咀嚼度	k <sub>1</sub>	625.64	830.47	816.62	1 040.53						
	k <sub>2</sub>	823.40	821.90	872.55	800.12						
	k <sub>3</sub>	1 063.55	860.21	823.43	671.94						
	R	437.91	38.31	55.93	368.59						
	最优	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>						

表 8 方差分析

Table 8 Variance analysis

来源	偏差平方和			自由度			F 值			p 值		
	感官 评分	硬度/g	咀嚼度	感官 评分	硬度/g	咀嚼度	感官 评分	硬度/g	咀嚼度	感官 评分	硬度/g	咀嚼度
A 蛋清粉添加量	299.25	1 223 648.38	577 079.45	2.00	2.00	2.00	20.02	3 987.41	1 979.85	0.01	0.01	0.01
B 马铃薯泥添加量	181.00	5 567.36	4 850.89	2.00	2.00	2.00	12.11	18.14	16.64	0.01	0.01	0.01
C 猪油添加量	1.75	10 388.52	11 174.33	2.00	2.00	2.00	0.12	33.85	38.34	0.25	0.01	0.01
D 水分添加量	256.75	763 094.71	420 167.75	2.00	2.00	2.00	17.18	2 486.64	1 441.51	0.01	0.01	0.01
误差	67.25	1 380.95	1 311.65	9.00	9.00	9.00						

综合正交与聚类分析可得：蛋清粉最佳添加量为A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>，但较高蛋清粉含量增加会带入腥味和塑料味，因此选择A<sub>2</sub>为最佳添加量。马铃薯泥的最佳添加量为B<sub>1</sub>、B<sub>3</sub>，高含量马铃薯泥添加量会使产品口感发渣，因此选择B<sub>1</sub>为最佳水平。猪油最佳添加量为C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>，从方差分析来看，猪油添加量对鱼糜复合制品的感官影响不显著 ( $p>0.25$ )，对硬度和咀嚼度影响极显著 ( $p<0.01$ )，从质构特性和营养成分考虑选择C<sub>2</sub>为最佳水平。水分添加量对感官、硬度和咀嚼度的影响都极为显著 ( $p<0.01$ )，通过对比试验后得出D<sub>1</sub>水平硬度与咀嚼度口感得分均为76.75，D<sub>2</sub>水平硬度与咀嚼度口感得分为78.50和76.13，其次从商业利润考虑水分添加量增加可以提高其经济价值，因此最佳添加量为D<sub>2</sub>。综上所述，结合感官、硬度和咀嚼度的综合考虑，最终确定非漂洗鱼糜制品的最优配方为A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>，即：蛋清粉25%、马铃薯泥30%、猪油6%、水100%。

### 2.3 干燥条件对罗非鱼即食食品品质影响

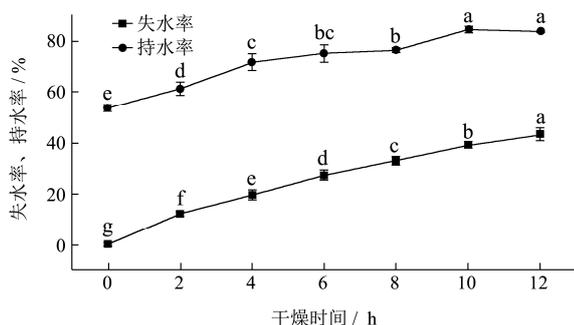


图15 非漂洗鱼糜制品在冷风不同干制时间失水率与持水性

Fig.15 Water loss rate and water holding capacity of non-rinsed surimi products at different drying times in cold air

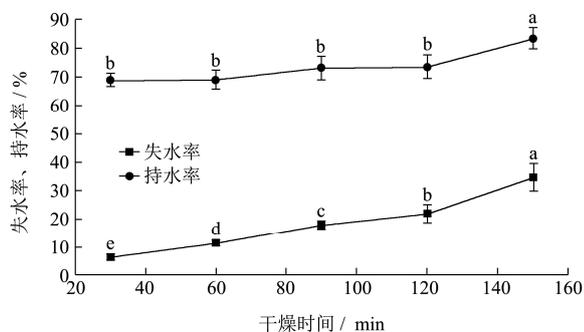


图16 非漂洗鱼糜制品在热风不同干制时间失水率与持水率

Fig.16 Non-rinsed surimi products water loss rate and water retention rate at different drying times in hot air

水分含量是影响鱼糜制品品质和贮藏期的主要因素<sup>[36]</sup>，鱼糜制品的结构越致密均匀，则其持水性越

好<sup>[37]</sup>，因此在鱼糜制品加工过程中要进行干燥。干燥对产品的口感及外观都有很大的影响，干燥程度会直接影响产品的水分含量，不同的干燥条件会造成产品的咀嚼感和软硬度不同，对产品品质有直接影响<sup>[38]</sup>。在10~15℃下进行冷风干燥，随着干燥时间的延长，失水率和杀菌后样品的持水率逐渐升高，当干燥时间达到10h后样品的持水性达到稳定为84.33%，失水率为39.06%。在55℃下进行热风干燥，随着干燥时间的延长，失水率和持水性逐渐升高，当干燥时间达到30~120min时持水性保持在68.50%~73.67%，在120~150min持水率升高，当干燥150min时持水率为83.50%失水率为34.58%。通过对比冷风干燥10h和热风干燥150min，冷风干燥的样品持水性和失水率均高于热风干燥的样品。试验结果显示热风干燥速率明显高于冷风干燥，但冷风干燥可以有效的阻止微生物的生长繁殖，热风干燥中酶的活性高，导致蛋白质剧烈降解，影响非漂洗鱼糜制品的品质<sup>[39]</sup>。因此最优干燥工艺为冷风干燥10h。

### 2.4 杀菌温度对罗非鱼即食食品色泽的影响

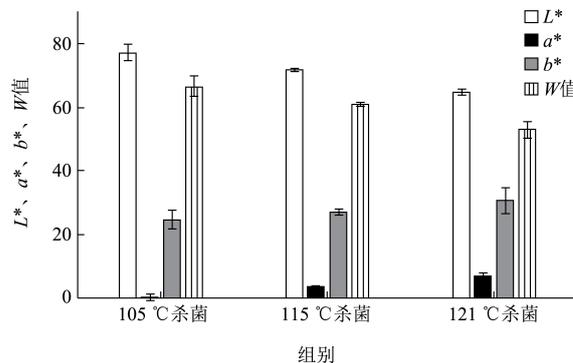


图17 不同处理方式对非漂洗鱼糜制品色泽影响

Fig.17 Effect of different treatments on the color of non-rinsed surimi products

杀菌温度是影响鱼糜制品品质的一个重要因素，温度过高会使蛋白质变性<sup>[40]</sup>，而色泽是微生物学和生物化学反应的外在表现，鱼类产品的外观颜色对其消费者的接受度起着重要作用<sup>[41]</sup>。食品的颜色值通常由L\*a\*b\*确定，这是一个国际标准颜色参数<sup>[42]</sup>。L\*值反应的是产品的亮度值，a\*值反映的是产品红度值，b\*值反映了产品的黄度值，W值反映的是产品的白度值。鱼糜经90℃熟制酶类已被灭活，不具备酶促褐变反应条件，因此，杀菌过程导致非漂洗鱼糜颜色变化的主要为美拉德反应。由图17可知杀菌工艺对鱼糜的色泽变化具有显著影响，L\*值和W值随杀菌温度升高逐渐降低，L\*值由77.12至64.77，W值由66.21至52.57；而a\*值和b\*值随杀菌温度升高而升高，a\*值由0.30

至 6.97,  $b^*$  值由 24.85 至 30.89。Guizani 等<sup>[43]</sup>研究了鲨鱼肉干燥过程中的品质变化, 其中考察了色泽特性, 干制品与鲜鱼肉相比,  $L^*$  值下降,  $a^*$  值和  $b^*$  值升高。吕梦莎等<sup>[44]</sup>研究指出, 腌制脱盐后的梅香黄鱼在高温杀菌前后色泽的变化, 对比杀菌前后  $L^*$  值降低,  $a^*$  值和  $b^*$  值升高, 与本试验的结果一致。这可能是温度升高引起肌原纤维收缩和解体, 呈色物质从组织中流出, 使美拉德反应进一步进行, 也可能是由于在一定压力下, 高温杀菌使得肉中的肌红蛋白发生强烈地氧化<sup>[45]</sup>。因此, 选择 105 °C 杀菌温度最佳。

### 3 结论

通过单因素及正交试验, 得到非漂洗鱼糜即食食品的工艺配方为: 蛋清粉 25%, 马铃薯泥 30%, 猪油 6%, 水 100%。利用配方制作的鱼糜即食食品, 色泽鲜亮, 鲜味醇厚, 质地均匀紧密, 硬度适宜, 咀嚼度良好。该产品具有一定的开发价值, 可为非漂洗鱼糜即食食品的开发和应用提供参考。

随着冷风干燥时间的延长, 失水率随着干燥时间的增加逐渐增加, 持水率随着干燥时间的增加先上升后稳定在 84.33%, 此时失水率为 39.06%。随着热风干燥时间的延长, 失水率随着干燥时间增加逐渐增加, 持水率先升高, 在 30~120 min 内稳定后继续升高的状态, 150 min 时持水率最大为 83.50% 失水率为 34.58%。最终确定冷风干燥 10 h 为最佳干燥时间。

随着杀菌温度升高, 非漂洗鱼糜即食食品的  $L^*$  值和  $W$  值逐渐降低,  $a^*$  值和  $b^*$  值逐渐升高, 最终确定最佳杀菌工艺温度为 105 °C。

### 参考文献

- [1] Priyadarshini B, Xavier K, Nayak B B, et al. Instrumental quality attributes of single washed surimi gels of tilapia: effect of different washing media [J]. LWT Food Science & Technology, 2017, 86: 385-392
- [2] Moreno H M, Herranz B, Miriam Pérez-Mateos, et al. New alternatives in seafood restructured products [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014
- [3] 施佩影, 蔡路昀, 刘文莹. 鱼糜制品加工品质影响因素的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(10): 36-41  
SHI Peiying, CAI Luyun, LIU Wenying. Research progress on influencing factors of processing quality of surimi products [J]. Food and Nutrition in China, 2020, 26(10): 36-41
- [4] 熊泽语, 谢晨, 陈百科, 等. 不同添加物对未漂洗大黄鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 151-158

- XIONG Zeyu, XIE Chen, CHEN Baike, et al. Effects of different additives on quality of large yellow croaker surimi without rinsing [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 151-158
- [5] 暴伊芮, 吴燕燕, 赵前程, 等. 钙离子添加量对未漂洗海鲈鱼糜凝胶特性的影响[J]. 渔业现代化, 2021, 48(4): 106-112  
BAO Yirui, WU Yanyan, ZHAO Qiancheng, et al. Effects of calcium ion supplemental level on gel properties of unrinsed sea bass surimi [J]. Fisheries Modernization, 2021, 48(4): 106-112
- [6] 向晨曦, 徐新星, 刘康, 等. 葡萄糖酸内酯酸化处理对未漂洗鲟鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 22: 99-104  
XIANG Chenxi, XU Xinxing, LIU Kang, et al. Effect of gluconolide acidification on gel properties of unrinsed sturgeon surimi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 22: 99-104
- [7] 鲍佳彤, 宁云霞, 杨淇越, 等. 不同淀粉种类对未漂洗革胡子鲶鱼糜凝胶特性的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 27-33  
BAO Jiatong, NING Yunxia, YANG Qiyue, et al. Effects of different starch species on gel properties of unrinsed bearded catfish surimi [J]. Meat Research, 2020, 34(4): 27-33
- [8] Phetsang H, Panpipat W, Undeland I, et al. Comparative quality and volatilomic characterisation of unwashed mince, surimi, and pH shift-processed protein isolates from farm-raised hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *clariasgariepinus*) [J]. Food Chemistry, 2021, 364: 130365
- [9] Wang R, Gao R, Xiao F, et al. Effect of chicken breast on the physicochemical properties of unwashed sturgeon surimi gels [J]. LWT, 2019, 113: 108306
- [10] Menegazzo M L, Petenucci M E, Fonseca G G. Quality assessment of Nile tilapia and hybrid sorubim oils during low temperature storage [J]. Food Bioscience, 2016, 16: 1-4
- [11] 赵雲, 桂朗, 陈良标. 罗非鱼产业发展现状[J]. 中国水产, 2020, 10: 46-48  
ZHAO Yun, GUI Lang, CHEN Liangbiao. Development status of tilapia industry [J]. China Fisheries, 2020, 10: 46-48
- [12] Majumdar R K, Saha A, Dhar B, et al. Effect of garlic extract on physical, oxidative and microbial changes during refrigerated storage of restructured product from Thai pangas (*Pangasianodon hypophthalmus*) surimi [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52: 7994-8003
- [13] 叶丽红, 许艳顺, 夏文水, 等. K-卡拉胶、复合磷酸盐和蛋清粉对高水分鱼丸水分和质构特性的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(4): 291-297  
YE Lihong, XU Yanshun, XIA Wenshui, et al. Effects of kapa,

- phosphates and egg white powder on moisture and texture characteristics of high moisture fish pellets [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(4): 291-297
- [14] 许亚彬,胥伟,黄迪.蛋清液与蛋清粉对鲢鱼鱼糜凝胶性的改良效果比较[J].*中国家禽*,2016,38(4):34-37  
XU Yabin, XU Wei, HUANG Di. Comparison of gelation effect between egg white liquid and egg white powder on silver carp surimi [J]. *China Poultry*, 2016, 38(4): 34-37
- [15] 许亚彬,胥伟,黄迪.糖基化改性蛋清粉提高鲢鱼鱼糜凝胶性的研究[J].*现代农业科技*,2015,22:278-280  
XU Yabin, XU Wei, HUANG Di. Study on improving gelatinization of silver carp surimi by glycosylated modified egg white powder [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2015, 22: 278-280
- [16] Rawdkuen S, Benjakul S. Whey protein concentrate: autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish [J]. *Food Chemistry*, 2008, 106(3): 1077-1084
- [17] 李金星,吴燕燕,王悦齐,等.响应面法优化海鲈鱼小片的品质改良工艺技术[J/OL].*上海海洋大学学报*:1-14[2021-11-18]  
LI Jinxing, WU Yanyan, WANG Yueqi, et al. The response surface method sea bass small pieces of quality improvement and process optimization technology [J/OL]. *Journal of Shanghai Ocean University*: 1-14[2021-11-18]
- [18] 姬颖.鳀鱼/白鲢鱼混合鱼糜凝胶特性研究[D].锦州:渤海大学,2020  
JI Ying. Study on gel properties of anchovy/silver carp mixed surimi [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020
- [19] 薛茜,王芳,张龙涛.水产制品凝胶的研究进展[J].*食品工业*, 2020,41(2):253-257  
XUE Qian, WANG Fang, ZHANG Longtao. Research progress of hydrogel in aquatic products [J]. *Food Industry*, 2020, 41(2): 253-257
- [20] 王强,邹金,王玉荣,等.添加蛋清粉对鲈广椒肉丸品质的影响[J].*肉类研究*,2020,34(7):53-57  
WANG Qiang, ZOU Jin, WANG Yurong, et al. Effect of egg white powder on fermented pepper meatball quality [J]. *Meat Research*, 2020, 34(7): 53-57
- [21] 周阳,胥伟,陈季旺,等.蛋清蛋白粉与大豆分离蛋白粉对鱼丸品质的影响[J].*食品科技*,2018,43(4):299-302  
ZHOU Yang, XU Wei, CHEN Jiawang, et al. Effects of egg white protein powder and soy protein isolate powder on fish ball quality [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(4): 299-302
- [22] 张菲菲,殷军港,王亚囡.利用低值鱼鱼糜制作鱼丸配方的研究[J].*食品工业*,2014,35(8):36-40  
ZHANG Feifei, YIN Jungang, WANG Yanan. Preparation of fish balls from low-value surimi [J]. *Food industry*, 2014, 35(8): 36-40
- [23] 徐志杰.甘薯鱼丸品质特性的研究与应用[D].福州:福建农林大学,2017  
XU Zhijie. Research and application of quality characteristics of sweet potato fish balls [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017
- [24] Amiza M A, Ng S C. Effects of surimi-to-silver catfish ratio and potato starch concentration on the properties of fish sausage [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2013, 24(3): 141217142506004
- [25] 黄洁,赵建新,黄建联,等.低水分马铃薯淀粉的理化性质及其对鱼糜制品凝胶特性的影响[J].*现代食品科技*,2015,31(3):108-114  
HUANG Jie, ZHAO Jianxin, HUANG Jianlian, et al. Physicochemical properties of potato starch with low water content and its effect on gel properties of surimi products [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(3): 108-114
- [26] 谭雪松,胡月,薛金莲.马铃薯泥肉丸的加工及其质构特性研究[J].*食品安全导刊*,2021,21:136-137  
TAN Xuesong, HU Yue, XUE Jinlian. Study on processing and texture characteristics of mashed potato meatballs [J]. *Food Safety Guide*, 2021, 21: 136-137
- [27] 米红波,王聪,赵博大,等.豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜品质的影响[J].*食品工业科技*,2017,38(18):60-64,73  
MI Hongbo, WANG Cong, ZHAO Boda, et al. Effects of soybean oil, flaxseed oil and perilla seed oil on quality of grass carp surimi [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(18): 60-64, 73
- [28] 程文雯.改良剂对带鱼鱼糜品质的影响研究[D].天津:天津科技大学,2018  
CHENG Wenwen. Study on the effect of improver on the quality of hairtail surimi [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018
- [29] Behannis Mena, Zhongxiang Fang, Hollis Ashman, et al. Influence of cooking method, fat content and food additives on physicochemical and nutritional properties of beef meatballs fortified with sugarcane fibre [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55
- [30] 董志俭,孙丽平,祁兴普,等.海鲈鱼/草鱼鱼丸的加工工艺研究[J].*食品研究与开发*,2019,40(2):103-107  
DONG Zhijian, SUN Liping, QI Xingpu, et al. Study on

- processing technology of sea bass/grass carp fish balls [J]. Food Research and Development, 2019, 40(2): 103-107
- [31] Lin S, Huff H E, Hsieh F. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 264-269
- [32] 张诗雯,仪淑敏,吕柯明,等.水分含量对冻结金线鱼肉香肠品质的影响[J].食品科学,2019,40(24):21-26  
ZHANG Shiwen, YI Shumin, LYU Keming, et al. Effect of water content on the quality of frozen golden thread fish sausage [J]. Food Science, 2019, 40(24): 21-26
- [33] Zwolan A, Pietrzak D, Adamczak L, et al. Effects of *Nigella sativa* L. seed extracts on lipid oxidation and color of chicken meatballs during refrigerated storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 130: 109718
- [34] 路红波,吴佳莉,刘俊荣.鲢鱼鱼糕最佳工艺配方的研究[J].水产科学,2010,29(12):735-738  
LU Hongbo, WU Jiali, LIU Junrong. Study on the optimal process formula of silver carp fish cake [J]. Fisheries Science, 2010, 29(12): 735-738
- [35] 郭意明,丛爽,邓惠馨,等.鱼糜和马铃薯粉对饼干质构和风味的影响[J].食品科学,2017,38(20):96-102  
GUO Yiming, CONG Shuang, DENG Huixin, et al. Effects of surimi and potato powder on texture and flavor of biscuit [J]. Food Science, 2017, 38(20): 96-102
- [36] Mansur M A, Rahman S, Khan, et al. Study on the quality and safety aspect of three sun-dried fish [J]. Afr J Agric Res, 2013, 8, 5149-5155
- [37] Liwei, Cao, Sisi, et al. Ca<sup>2+</sup>-Induced conformational changes of myosin from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in gelation [J]. Food Biophysics, 2015: 447-455
- [38] 徐璐.即食鲟鱼肉干制品加工工艺研究[D].大连:大连工业大学,2017  
XU Lu. Research on processing technology of ready-to-eat sturgeon jerky products [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2017
- [39] 冯天依,姜启兴,杨方,等.不同干燥方式对鲢鱼肉品质变化的影响[J].食品科技,2019,44(8):120-125  
FENG Tianyi, JIANG Qixing, YANG Fang, et al. Effects of different drying methods on meat quality of silver carp [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(8): 120-125
- [40] 张莉莉.高温(100~120℃)处理对鱼糜及其复合凝胶热稳定性的影响[D].青岛:中国海洋大学,2013  
ZHANG Lili. Effect of high temperature (100-120℃) treatment on thermal stability of surimi and its composite gel [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013
- [41] Baten M A, Na E W, Sohn J H, et al. Improvement of sensorial, physicochemical, microbiological, nutritional and fatty acid attributes and shelf life extension of hot smoked half-dried pacific saury (*Cololabis saira*) [J]. Foods (Basel, Switzerland), 9(8): 1009
- [42] Fqs F, Subhashree S N, Sunoj S, et al. Quantification of browning in apples using colour and textural features by image analysis [J]. Food Qual Saf, 2017, 1: 221-226
- [43] Guizani N, A1-Shoukri A O, Mothershaw A, et al. Effects of salting and drying on shark (*Carcharhinus sorrah*) meat quality characteristics [J]. Drying Technology, 2008, 26 (6): 705-713
- [44] 吕梦莎,梅灿辉,李汴生,等.预烘干对即食梅香黄鱼热杀菌前后色泽和质构特性的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(11):33-38  
LYU Mengsha, MEI Canhui, LI Biansheng, et al. Effects of pre-drying on color and texture characteristics of instant yellow croaker before and after hot sterilization [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(11): 33-38
- [45] Kong F. Quality changes of salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) muscle during thermal processing [J]. Journal of Food Science, 2010, 72(2): S103-S111