

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.10.026

白鲢鱼糜低钠复合盐配方响应面法优化^{*}

陆剑锋 邓伟 林琳 叶应旺 姜绍通
(合肥工业大学生物与食品工程学院, 合肥 230009)

【摘要】 为降低白鲢鱼糜制品中的钠盐含量,在斩拌过程中添加氯化钠、氯化钾和氯化钙3种盐类,以凝胶强度、持水性和白度为评价指标,研究三者对鱼糜凝胶特性的影响。在单因素试验的基础上,采用 Box-Benhnken 试验设计和响应面分析法得到低钠盐优化配方。结果表明,白鲢鱼糜低钠盐的最优配方为:氯化钠质量分数 1.0%、氯化钾质量分数 1.0%、氯化钙质量分数 0.5%,其中钠盐添加量的质量分数降低至 1.0%,且复合盐总添加量的质量分数仅为 2.5%。此条件下,白鲢鱼糜凝胶强度达到 196.50 g·cm,持水性为 76.37%,白度为 75.44。

关键词: 白鲢 低钠鱼糜 凝胶强度 持水性 白度 响应面法

中图分类号: TS254.4; TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)10-0143-08

Formula Optimization of Low Sodium Silver Carp Surimi by Response Surface Methodology

Lu Jianfeng Deng Wei Lin Lin Ye Yingwang Jiang Shaotong
(School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract

To reduce the sodium salt content of silver carp surimi-based products, the effects of three types of salt (sodium chloride, potassium chloride and calcium chloride) on properties of silver carp surimi gel were investigated by using gel strength, water-holding capacity (WHC) and whiteness as the indexes of surimi quality assessment during the chopping process. Box-Benhnken design (BBD) and response surface methodology (RSM) were adopted to obtain the optimum formula on the basis of results of single-factor experiments. The result indicated that the optimum formula was sodium chloride 1.0% by mass, potassium chloride 1.0% by mass and calcium chloride 0.5% by mass, respectively. The sodium salt content was lowered to 1.0% by mass, and the total salt content only reached to 2.5% by mass. Under the above conditions, the gel strength of silver carp surimi was 196.50 g·cm, the WHC value was 76.37% and the whiteness was 75.44.

Key words Silver carp, Low-sodium surimi, Gel strength, Water-holding capacity, Whiteness, Response surface methodology

引言

白鲢肉薄刺多且土腥味重,不受消费者的欢迎。如果将白鲢加工成鱼糜制品可以快速提升其附加值,是解决白鲢量多、价廉的有效途径^[1-2]。近年来,消费者对健康饮食的关注度越来越高,

对鱼糜制品也提出了更高的要求。付湘晋等对碱法脱腥后的白鲢鱼糜采用微波加热处理,有效改善了低盐鱼糜凝胶质量^[3]。目前,功能性保健鱼糜制品已成为当前研究的热点,其中以低盐鱼糜制品的研发最具有挑战性。已有的研究表明,鱼糜胶凝是以盐促溶解鱼肉肌原纤维蛋白为基础,而盐溶肌原纤

收稿日期: 2012-03-17 修回日期: 2012-04-23
^{*} 安徽省重大科技攻关专项资助项目(08010301078)
作者简介: 陆剑锋,教授,博士,主要从事水生动物资源保护和综合利用研究,E-mail: lujf@sibs.ac.cn

维蛋白可以形成微观网状结构,使鱼糜制品变得更加细腻致密,从而增强凝胶强度,并保留更多水分,因此单一的降低盐分可能会直接导致鱼糜凝胶强度与持水性的急剧下降^[4-5]。

在鱼糜制品生产中,氯化钠(即食盐)的添加量通常为 2% ~ 3%,超过人的合适口味(0.8% ~ 1.2%)^[6]。但盐类是鱼糜制品加工过程中不可缺少的添加剂与咸味剂,它具有使盐溶性蛋白质溶出形成溶胶,加热后赋予制品弹性的功能,同时还起到解除腥味和防腐作用^[7-8]。在降低钠盐添加量的同时,需要利用其他的非钠盐来部分替代钠盐,以保证鱼糜制品的风味、质感和持水性等品质。但各种盐分对鱼糜凝胶特性的影响较为复杂,因此对整体和各因素之间的交互作用分析显得尤为重要。

响应面分析法(response surface methodology,简称 RSM)是运用大量试验数据建立相应多元方程的统计方法^[9]。该法通过建立数学模型及绘制响应值与因素关系图,从而优化试验水平,并分析各因素之间的交互作用^[10]。本文在降低氯化钠添加量的基础上,研究氯化钾、氯化钙部分替代氯化钠对鱼糜凝胶强度、持水性和白度的影响,并采用 Box-Behnken 试验设计和响应面分析法得到添加量适中的低钠复合盐配方,可为低值淡水鱼糜的精深加工及低盐保健食品的研发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白鲢购自合肥市家乐福超市,质量(800 ± 100)g,体长(35 ± 3)cm;氯化钠、氯化钾和氯化钙均为食品级;肠衣为聚乙烯材料,直径 23 mm;其他主要试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

TA-XT Plus 型质构仪(英国 Stable Micro System 公司);CT15RT 型台式高速冷冻离心机(上海天美生化仪器设备工程有限公司);SC-80C 型全自动测色色差计(北京康光仪器有限公司);S2-5 型斩拌机(广州旭众机械有限公司);LRH-100CL 型低温培养箱(上海一恒科技有限公司);SS300 型三足式离心机(上海浦东天本离心机械有限公司);SZC-180 型滚筒式采肉机(广州旭众机械有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 白鲢鱼糜制备

鱼糜制备工艺:生鲜白鲢→预处理(去头、尾、鳞、内脏)→清洗→采肉→漂洗(鱼肉和水的比例为 5 kg/L;两次清水和一次盐水漂洗)→脱水→混入抗

冻剂(蔗糖质量分数 4%,山梨醇质量分数 4%,复合磷酸盐质量分数 0.3%)→分装(每袋 400 g)→冻藏(-20 ℃)^[11-12]。

1.3.2 鱼糜凝胶制备

凝胶制备工艺:鱼糜解冻(4℃条件下)→斩拌(空斩 3 min→盐斩 8 min)→灌肠→二段加热(35℃加热 1 h,后 90℃加热 30 min)→冷却→4℃条件下放置过夜→测定凝胶性质。

1.3.3 凝胶强度测定

取出 4℃条件下的鱼糜肠,在室温下剥去肠衣,切成 3 段 2.5 cm 高的圆柱体使用直径 5 mm 球形探头(p/5s)^[13],在质构仪上测定其凝胶特性,包括破断力和凹陷深度(破断距离,breaking distance),如图 1 所示。其中,破断力(breaking force,g)为穿刺曲线上的第一个最高峰值;凹陷深度(deformation,cm)为与破断力相对应的破断距离;凝胶强度(gel strength,g·cm)为破断力与凹陷深度乘积。参数设定:测前速率 0.1 cm/s、测试速率 0.11 cm/s、测后速率 1.0 cm/s、下压距离 1 cm 和触发力 10 g。

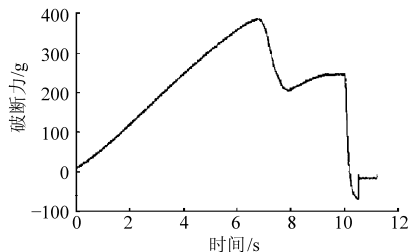


图 1 质构仪的穿刺曲线

Fig. 1 Graph of force to puncture with texture analyzer

1.3.4 持水性测定

将凝胶样品切成约 2 mm 厚的薄片,并将其 8 等分,取 1.5 ~ 2.0 g 样品,平摊在滤纸上并包裹好放入离心管中,用离心法(转速 8 000 r/min,时间 10 min,温度 18℃)测定持水性,每组平行 3 次,结果取平均值^[11]。持水性(water-holding capacity)计算式为

$$C_{WH} = \frac{w_2}{w_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中 w_1 ——离心前质量,g

w_2 ——离心后质量,g

1.3.5 白度测定

将凝胶样品切成约 5 mm 厚的薄片,用全自动测色色差计测定白度,每个样品取 3 片,每片测 5 次,取 15 次平均值。白度(whiteness)计算式为^[14]

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (2)$$

式中 L^* ——亮度

a^* ——正值表示偏红,负值表示偏绿

b^* ——正值表示偏黄,负值表示偏蓝

1.3.6 数据处理

在单因素试验基础上,根据 Box-Benhknen 试验设计原理,以凝胶强度和持水性为响应值,设计三因素三水平的响应面分析试验,数据采用 Design-Expert 7.0 软件进行分析, $p < 0.05$ 为影响显著, $p < 0.01$ 为影响极显著。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

在白鲢鱼糜斩拌过程中,分别单独添加质量分数为 0.25%、0.50%、0.75%、1.00% 和 1.25% 的氯化钠、氯化钾和氯化钙,考察不同盐类在不同添加量水平下对鱼糜凝胶强度、持水性、白度的影响。

2.1.1 鱼糜凝胶强度

图 2 为 3 种盐添加量对鱼糜凝胶强度的影响。由图 2 可知,随着氯化钠添加量的增大,鱼糜凝胶强度逐渐增强,当氯化钠添加质量分数为 1.00% 时,鱼糜凝胶强度达到最大值,与质量分数为 0.50% 和 0.75% 水平组间差异显著 ($p < 0.05$),但与质量分数为 1.25% 水平组差异不显著 ($p > 0.05$)。当氯化钾添加质量分数为 1.00% 时,鱼糜凝胶强度达到最大值,随后呈略微下降趋势,与质量分数为 0.50% 和 0.75% 水平组间差异显著 ($p < 0.05$),但与质量分数为 1.25% 水平组差异不显著 ($p > 0.05$)。当氯化钙添加质量分数为 0.75% 时,鱼糜凝胶强度达到最大值,随后呈急剧下降趋势,与质量分数 0.50%、1.00% 水平组间差异显著 ($p < 0.05$)。钙离子主要以内源转谷氨酰胺酶 (TGase) 激活因子和形成蛋白质-钙-蛋白质结构的钙桥两种机制影响凝胶强度^[8,15~16]。在本研究中,随着氯化钙添加量的增加,鱼糜凝胶强度呈现先上升后下降的趋势,可能是由于以上两种机制的转换而引起的,这与刘海梅等的研究结果一致^[17]。

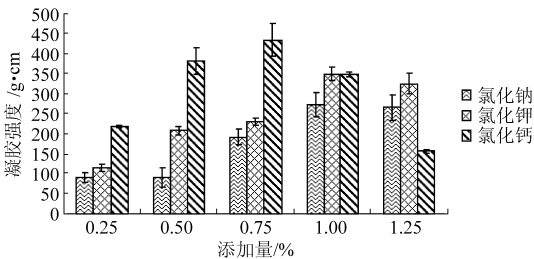


图 2 3 种盐添加量对鱼糜凝胶强度的影响

Fig. 2 Effect of three kinds of salt on surimi gel strength

2.1.2 鱼糜持水性

图 3 为 3 种盐添加量对鱼糜凝胶持水性的影响。由图 3 可知,随着氯化钠添加量的增加,鱼糜持水性逐渐增强,当氯化钠添加质量分数为 1.00% 时

达到最大值,各水平组间差异不显著 ($p > 0.05$)。随着氯化钾添加量增加,鱼糜持水性也逐渐增强,当氯化钾添加质量分数为 1.00% 时,持水性达到最大值,各水平组间差异不显著 ($p > 0.05$)。与添加氯化钠和氯化钾相比,氯化钙明显降低鱼糜持水性,当氯化钙添加质量分数为 0.75% 时,持水性达到最大值,与质量分数 1.00% 和 1.25% 水平组间差异显著 ($p < 0.05$),这与 Orawan 等的研究结果一致^[18~19]。

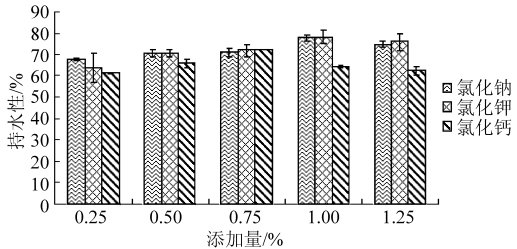


图 3 3 种盐添加量对鱼糜凝胶持水性的影响

Fig. 3 Effect of three kinds of salt on surimi water-holding capacity

2.1.3 鱼糜白度

图 4 为 3 种盐添加量对鱼糜凝胶白度的影响。由图 4 可知,随着氯化钠添加量的增加,鱼糜白度呈略微上升,当氯化钠添加质量分数为 1.00% 时达到最大值,当质量分数为 1.25% 时略有下降趋势,但各添加量水平组间差异不显著 ($p > 0.05$)。氯化钾与氯化钠相似,当氯化钾添加质量分数为 1.00% 时白度达到最大值,在质量分数为 1.25% 时略有下降趋势,但各添加量水平组间差异不显著 ($p > 0.05$)。氯化钙对鱼糜凝胶白度影响较大,添加量越大,白度越高,但各添加量水平组间差异同样也不显著 ($p > 0.05$)。Hsu 等的研究表明,盐类可以促使盐溶性蛋白的溶出,使鱼糜凝胶更加致密,且钙盐自身具有的白色在一定程度上会提高鱼糜凝胶的白度,但在低浓度范围内这种增强效果不显著^[20~21]。

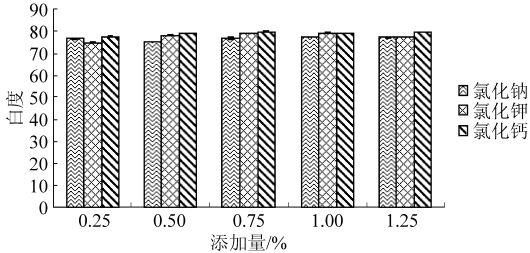


图 4 3 种盐添加量对鱼糜凝胶白度的影响

Fig. 4 Effect of three kinds of salt on surimi whiteness

2.2 白鲢鱼糜低钠复合盐最佳配方的确定

单因素试验表明,氯化钠、氯化钾和氯化钙对鱼糜白度的影响不显著,因此对白鲢鱼糜低钠复合盐进行最佳配方的响应面优化时,选择凝胶强度和持水性 2 个指标作为响应值。

2.2.1 回归模型的建立

根据 Box-Benhnken 试验设计原理,设计三因素三水平的响应面分析试验,因素水平编码如表 1 所示,试验方案及试验结果如表 2 所示。

表 1 Box-Behnken 设计试验因素水平及编码
Tab.1 Box-Behnken design test factors, levels and coding

水平 编码	因素		
	氯化钠质量 分数 $x_1/\%$	氯化钾质 量分数 $x_2/\%$	氯化钙质 量分数 $x_3/\%$
-1	0.75	0.75	0.50
0	1.00	1.00	0.75
1	1.25	1.25	1.00

表 2 响应面试验方案及试验结果
Tab.2 Design and results of response surface experiment

试验号	X_1	X_2	X_3	凝胶强度 $Y_1/\text{g}\cdot\text{cm}$	持水性 $Y_2/\%$
1	-1	-1	0	160.22	73.62
2	-1	1	0	171.25	70.71
3	1	-1	0	153.03	70.67
4	1	1	0	161.79	73.98
5	0	-1	-1	168.79	75.03
6	0	-1	1	156.18	74.69
7	0	1	-1	165.65	75.14
8	0	1	1	179.78	73.24
9	-1	0	-1	150.30	72.55
10	1	0	-1	154.79	73.99
11	-1	0	1	160.45	73.66
12	1	0	1	152.13	69.12
13	0	0	0	197.75	75.70
14	0	0	0	199.83	76.54
15	0	0	0	200.98	76.58

采用 Design-Expert 7.0 数据分析软件对表 2 中的响应值与各因素进行回归拟合,得到凝胶强度 Y_1 和持水性 Y_2 对氯化钠添加量 X_1 、氯化钾添加量 X_2 和氯化钙添加量 X_3 编码值的完整二次多项回归方程,分别为

$$Y_1 = 199.52 - 2.56X_1 + 5.03X_2 + 1.13X_3 - 0.57X_1X_2 - 3.20X_1X_3 + 6.68X_2X_3 - 25.56X_1^2 - 12.38X_2^2 - 19.54X_3^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = 76.27 - 0.35X_1 - 0.12X_2 - 0.75X_3 + 1.56X_1X_2 - 1.49X_1X_3 - 0.39X_2X_3 - 3.11X_1^2 - 0.92X_2^2 - 0.83X_3^2 \quad (4)$$

从理论上讲,如果响应面模型合适的话,则采用响应面优化时就不会产生一些不合理甚至是错误的

数据,因此对模型的合适性进行检验就显得非常必要^[22]。

2.2.2 鱼糜凝胶强度回归模型的显著性检验和方差分析

鱼糜凝胶强度回归模型分析结果如表 3 所示。由表 3 可知,模型 $p < 0.000\ 1$,表明回归模型极显著;失拟 $p = 0.252\ 4 > 0.05$,即模型失拟不显著,表明模型合适,即试验数据有意义。决定系数 R^2 是参数变量和总变量的比值,也是检测数据合理性的指标^[23]。当 R^2 接近 1 时,表明模型与真实数据拟合度好^[24]。本试验的 $R^2 = 0.993\ 1$,因此该回归方程拟合度较好。回归方程系数的显著性分析结果表明, X_1 的一次项回归系数达到显著水平, X_2 的一次项回归系数达到极显著水平,即氯化钠添加量和氯化钾添加量对鱼糜凝胶强度有较显著影响; X_1 、 X_2 和 X_3 的二次项回归系数达到极显著水平; X_1 和 X_3 交互项回归系数显著, X_2 和 X_3 交互项回归系数极显著,表明它们之间存在一定的交互作用;而其他项之间的影响不显著。

表 3 凝胶强度的显著性检验和方差分析
Tab.3 Significance and analysis of variance (ANOVA) of gel strength

方差来源	自由度	平方和	均方	F	p	显著性
X_1	1	52.43	52.43	8.62	0.032 4	*
X_2	1	202.51	202.51	33.29	0.002 2	**
X_3	1	10.15	10.15	1.67	0.253 0	
X_1X_2	1	1.29	1.29	0.21	0.664 7	
X_1X_3	1	41.02	41.02	6.74	0.048 4	*
X_2X_3	1	178.76	178.76	29.39	0.002 9	**
X_1^2	1	2413.18	2413.18	396.70	<0.000 1	**
X_2^2	1	566.13	566.13	93.06	0.000 2	**
X_3^2	1	1 409.41	1 409.41	231.69	<0.000 1	**
模型	9	484.38	484.38	79.63	<0.000 1	**
残差	5	30.42	6.08			
失拟	3	25.06	8.35	3.12	0.252 4	
纯误差	2	5.36	2.68			
总和	14	4 389.80				

2.2.3 鱼糜持水性回归模型的显著性检验和方差分析

鱼糜持水性回归模型分析结果如表 4 所示。由表 4 可知,模型 $p = 0.005\ 3 < 0.01$,表明回归模型极显著;失拟 $p = 0.268\ 7 > 0.05$,表明模型失拟不显著,决定系数 $R^2 = 0.960\ 2$,表明该回归方程拟合度很好,可以利用该模型来确定低钠复合盐最佳配方。

回归方程系数的显著性分析结果表明, X_3 的一次项回归系数达到显著水平,即氯化钙添加量对鱼糜持水性有较显著影响; X_1 的二次项回归系数达到极显著水平; X_1 和 X_2 , X_1 和 X_3 交互项回归系数极显著,表明它们存在一定的交互作用,而其他项之间的影响不显著。

表 4 持水性的显著性检验和方差分析
Tab.4 Significance and analysis of variance (ANOVA) of water-holding capacity

方差来源	自由度	平方和	均方	F	p	显著性
X_1	1	0.97	0.97	1.84	0.232 8	
X_2	1	0.11	0.11	0.21	0.665 6	
X_3	1	4.50	4.50	8.58	0.032 7	*
X_1X_2	1	9.67	9.67	18.44	0.007 8	**
X_1X_3	1	8.94	8.94	17.04	0.009 1	**
X_2X_3	1	0.61	0.61	1.16	0.330 7	
X_1^2	1	38.75	38.75	68.14	0.000 4	**
X_2^2	1	3.01	3.01	5.91	0.059 2	
X_3^2	1	2.55	2.55	4.87	0.078 5	
模型	9	63.36	7.04	13.42	0.005 3	**
残差	5	0.52	0.52			
失拟	3	2.13	0.71	2.87	0.268 7	
纯误差	2	0.49	0.25			
总和	14	65.98				

2.2.2 鱼糜凝胶强度响应面分析与最佳配方

图 5~7 为氯化钠、氯化钾、氯化钙添加量及相互作用对鱼糜凝胶强度影响的响应面和等高线图。从图 5 可知,随着氯化钠、氯化钾添加量的增加鱼糜的凝胶强度逐渐增大,主要由于盐添加量的增加使得较多盐溶肌原纤维蛋白溶出,形成微观致密的网状结构,从而提高了凝胶强度。当氯化钠、氯化钾添加质量分数为 1.00% 左右时,鱼糜凝胶强度最大。

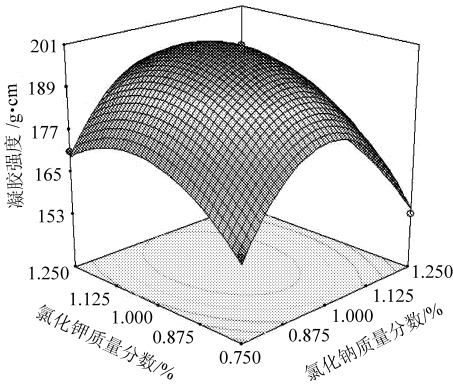


图 5 氯化钠和氯化钾添加量对鱼糜凝胶强度影响
Fig.5 Effect of NaCl and KCl on surimi gel strength

从图 6、7 可以看出,随着氯化钙添加量的增加鱼糜凝胶强度呈先增大后减小的趋势,这可能是钙离子对鱼糜两种作用机制的转换所引起的^[20],当氯化钙添加质量分数为 0.70% 左右时鱼糜凝胶强度较高。通过各因素的等高线图可以看出氯化钾和氯化钙的交互作用最大。

利用 Design-Expert 7.0 软件分析得到鱼糜低钠复合盐对凝胶强度影响的最佳配比为:氯化钠质量分数 0.99%、氯化钾质量分数 1.06%、氯化钙质量分数 0.77%,此条件下鱼糜凝胶强度为 200.20 g·cm。

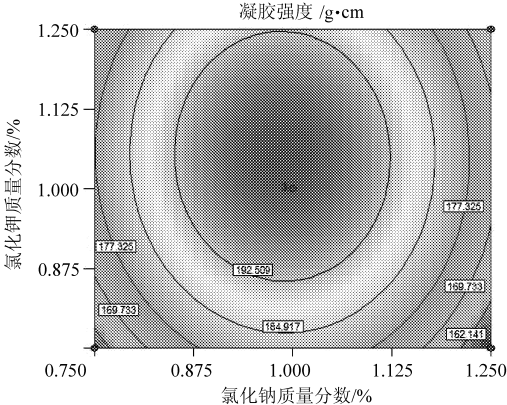
2.2.3 鱼糜持水性响应面分析与最佳配方

图 8~10 为氯化钠、氯化钾、氯化钙添加量及相互作用对鱼糜持水性影响的响应面和等高线图。从图 8 可以看出,随着氯化钾和氯化钠添加量的增加,持水性呈上升趋势,当氯化钠和氯化钾添加质量分数为 1.00% 左右时鱼糜持水性较高。从图 9、10 可知,当氯化钙添加质量分数为 0.60% 左右时,鱼糜持水性达到最大值,但随着氯化钙添加量的逐步增加,持水性呈明显的减小趋势,表明氯化钙添加量的增加会降低鱼糜的持水性。通过各因素的等高线图可以看出氯化钠和氯化钾的交互作用最大。

利用 Design-Expert 7.0 软件分析得到鱼糜低钠复合盐对持水性影响的最佳配比为:氯化钠质量分数 1.02%、氯化钾质量分数 1.01%、氯化钙质量分数 0.59%,此条件下鱼糜持水性为 76.49%。

2.2.4 验证试验

根据 Box-Benhknen 试验设计和响应面分析法得出的结论,设计 4 组配方进行验证。其中最佳配方 1 和 2 是根据响应面分析得出的配方,参考配方是作者在最佳配方 1 和 2 基础上的建议配方,常规配方为目前鱼糜制品工业化生产中常用的配方(即对照组试验)。最佳配方 1:氯化钠质量分数 1.0%、氯化钾质量分数 1.0%、氯化钙质量分数 0.8%;最



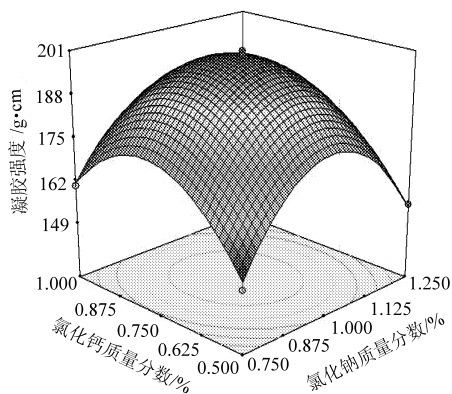


图 6 氯化钠和氯化钙添加量对鱼糜凝胶强度影响

Fig. 6 Effect of NaCl and CaCl₂ on surimi gel strength

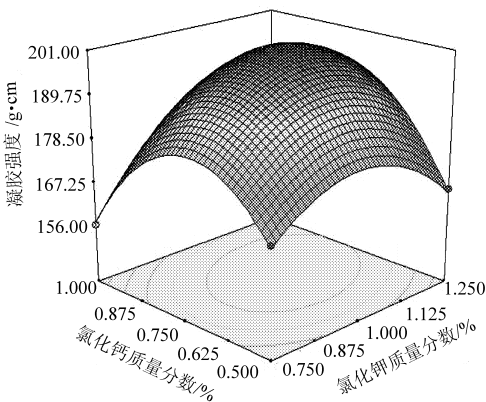
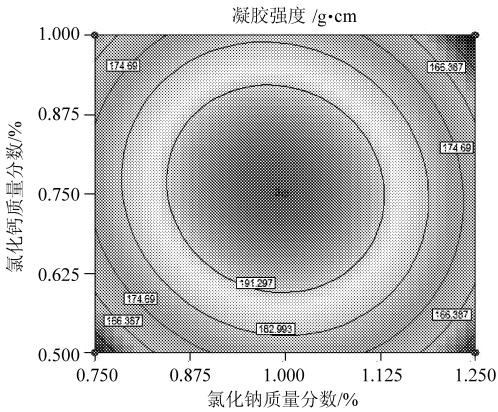


图 7 氯化钾和氯化钙添加量对鱼糜凝胶强度影响

Fig. 7 Effect of KCl and CaCl₂ on surimi gel strength

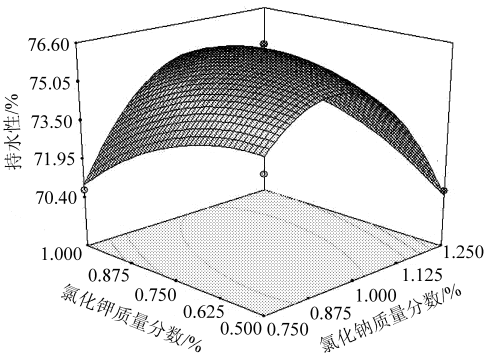
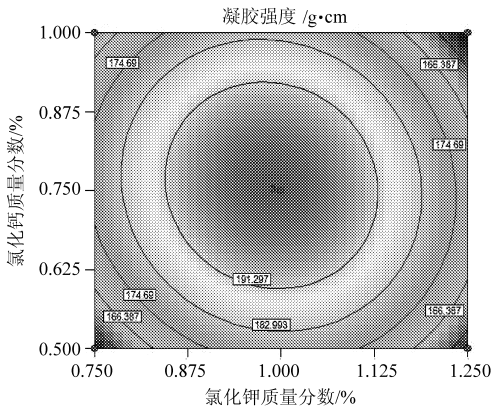
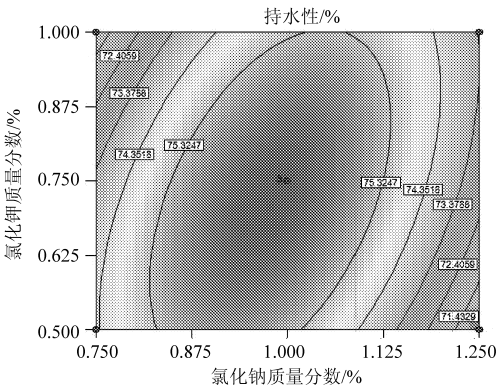


图 8 氯化钠和氯化钾添加量对鱼糜持水性影响

Fig. 8 Effect of NaCl and KCl on surimi water-holding capacity



佳配方 2:氯化钠质量分数 1.0%、氯化钾质量分数 1.0%、氯化钙质量分数 0.6% ;参考配方:氯化钠质量分数 1.0%、氯化钾质量分数 1.0%、氯化钙质量分数 0.5% ;常规配方:氯化钠质量分数 2.5% 。

由表 5 可知,3 组复合盐配方(最佳配方 1、2 和参考配方)与正常加盐量(常规配方)的鱼糜凝胶强度相差较小,持水性会随着氯化钙添加量的增加而降低,白度随着盐分添加量的增加而增加,但其他各方面指标差异不显著,因此从减少盐分和节约成本方面考虑,选择优化配方为作者建议的参考配方,即

氯化钠质量分数 1.0%、氯化钾质量分数 1.0%、氯化钙质量分数 0.5% 。

3 结束语

在单因素试验的基础上,采用 Box-Benhknen 试验设计和响应面分析法对氯化钠、氯化钾、氯化钙 3 种盐的添加量进行配方优化,得到优化配方为氯化钠质量分数 1.0%、氯化钾质量分数 1.0%、氯化钙质量分数 0.5%。此条件下,白鲢鱼糜凝胶强度达到 196.50 g·cm,持水性为 76.37% ,白度为 75.44。

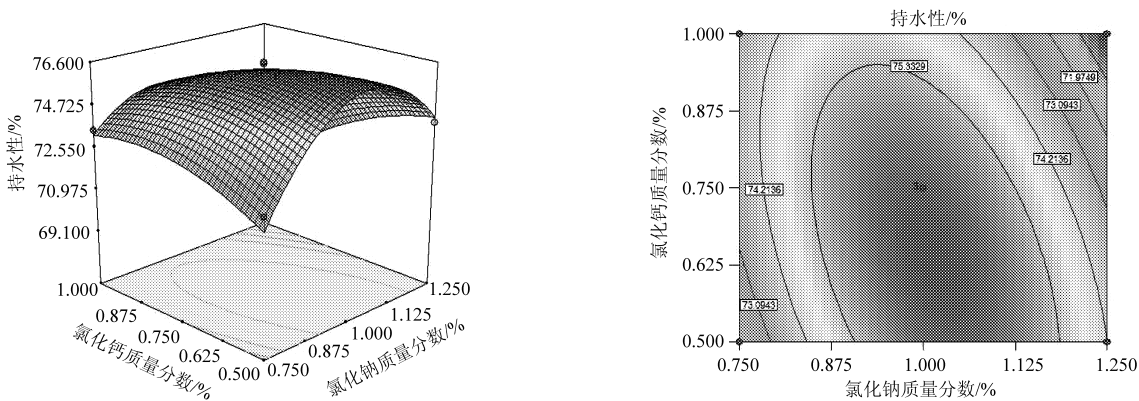


图 9 氯化钠和氯化钙添加量对鱼糜持水性影响
Fig. 9 Effect of NaCl and CaCl₂ on surimi water-holding capacity

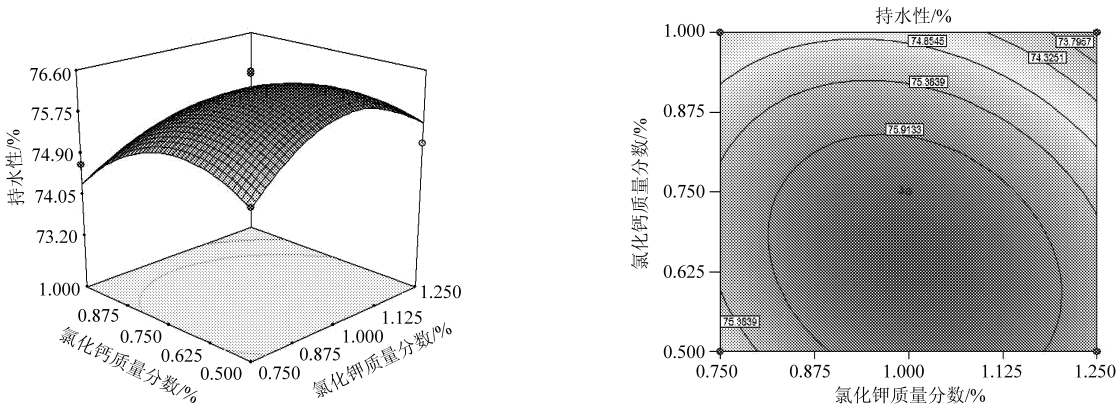


图 10 氯化钾和氯化钙添加量对鱼糜持水性影响
Fig. 10 Effect of KCl and CaCl₂ on surimi water-holding capacity

表 5 验证试验结果
Tab. 5 Results of verifying test

试验配方	凝胶强度/g·cm	持水性/%	白度	硬度/g	咀嚼性/g	弹性
最佳配方1	210.35 ± 26.8	73.36 ± 0.32	76.52 ± 0.13	748.88 ± 22.3	466.03 ± 25.9	0.890 ± 0.04
最佳配方 2	197.07 ± 24.3	76.41 ± 0.26	76.26 ± 0.11	648.20 ± 21.5	375.17 ± 18.7	0.765 ± 0.23
参考配方	196.50 ± 25.4	76.37 ± 0.18	75.44 ± 0.08	826.43 ± 17.9	495.42 ± 15.3	0.898 ± 0.07
常规配方	205.72 ± 27.6	81.41 ± 0.44	71.81 ± 0.21	871.69 ± 16.3	578.72 ± 20.8	0.881 ± 0.13

将氯化钾、氯化钙与氯化钠进行复配后,氯化钾和氯化钙不仅可以使鱼糜凝胶特性与常规配方的鱼糜凝胶特性相当,而且也有效地起到了降低鱼糜中钠盐添加量的作用。

参 考 文 献

1 陆剑锋,邵明栓,林琳,等. 卡拉胶和超高压对鱼糜凝胶性质的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 164 ~ 170.
Lu Jianfeng, Shao Mingshuan, Lin Lin, et al. Effects of ultra-high pressure and carrageenan on gelling properties of surimi from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 164 ~ 170. (in Chinese)

2 Xu Yanshun, Xia Wenshui, Yang Fang, et al. Effect of fermentation temperature on the microbial and physicochemical properties of silver carp sausages inoculated with *Pediococcus pentosaceus* [J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 512 ~ 518.

3 付湘晋,许时婴,王璋. 微波加热法制备白鲢鱼低盐鱼糜凝胶[J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 52 ~ 57.
Fu Xiangjin, Xu Shiyong, Wang Zhang. Study on the preparation of low salt surimi gel from silver carp by microwave heating [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(3): 52 ~ 57. (in Chinese)

4 孔保华,李明清,夏秀芳. 不同盐对鲤鱼肌原纤维蛋白结构和凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 50 ~ 54.
Kong Baohua, Li Mingqing, Xia Xiufang. The influence of salts on the structural and gel properties of common carp (*Cyrinus*

- carpio*) myofibrillar proteins[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(3): 50 ~ 54. (in Chinese)
- 5 Marita R, Jukka V, Marika L, et al. Reducing the sodium content in meat products: the effect of the formulation in low-sodium ground meat patties[J]. Meat Science, 2005, 69(1): 53 ~ 60.
- 6 王锡昌, 汪之和. 鱼糜制品加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997.
- 7 Marita R, Eero P. Reducing sodium intake from meat products[J]. Meat Science, 2005, 70(3): 531 ~ 541.
- 8 翁世兵, 林琳, 张静雅, 等. 斩拌加盐量对白鲢鱼糜物理特性的影响[J]. 肉类工业, 2010(10): 25 ~ 28.
Weng Shibing, Lin Lin, Zhang Jingya, et al. Effect of chopping salt concentration on physical properties of silver carp surimi [J]. Meat Industry, 2010(10): 25 ~ 28. (in Chinese)
- 9 Triveni R, Shamala T R, Rastogi N K. Optimised production and utilisation of exopolysaccharide from *Agrobacterium radiobacter*[J]. Process Biochemistry, 2001, 36(8 ~ 9): 787 ~ 795.
- 10 Yang B, Zhao M M, Shi J, et al. Effect of ultrasonic treatment on the recovery and DPPH radical scavenging activity of polysaccharides from longan fruit pericarp[J]. Food Chemistry, 2008, 106(2): 685 ~ 690.
- 11 焦道龙, 陆剑锋, 张伟伟, 等. 斩拌初始温度对白鲢鱼糜物理特性的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 101 ~ 104.
Jiao Daolong, Lu Jianfeng, Zhang Weiwei, et al. Effect of initial chopping temperature on physical properties of surimi from silver carp[J]. Food Science, 2009, 30(23): 101 ~ 104. (in Chinese)
- 12 周爱梅, 龚翠, 曹环, 等. 几种新型抗冻剂对鲢鱼鱼糜蛋白抗冻效果研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(11): 318 ~ 320.
Zhou Aimei, Gong Cui, Cao Huan, et al. Study on cryoprotective effects of some new cryoprotectants on darce surimi during frozen storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(11): 318 ~ 320. (in Chinese)
- 13 Phatcharat S, Benjakul S, Visessanguan W. Effects of washing with oxidising agents on the gel-forming ability and physicochemical properties of surimi produced from bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) [J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 431 ~ 439.
- 14 Soottawat B, Chakkawat C, Wonnop V. Effect of medium temperature setting on gelling characteristics of surimi from some tropical fish[J]. Food Chemistry, 2003, 82(4): 567 ~ 574.
- 15 王金余, 刘承初, 赵善贞, 等. 白鲢鱼糜肌球蛋白交联反应和凝胶化最适条件的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 223 ~ 226.
Wang Jinyu, Liu Chengchu, Zhao Shanzhen, et al. Optimal conditions for maximal cross-linkage of myosin heavy chain (MHC) and gelation of surimi product from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food Science, 2008, 29(11): 223 ~ 226. (in Chinese)
- 16 Lee N, Park J W. Calcium compounds to improve gel functionality of pacific whiting and Alaska pollock surimi[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(6): 969 ~ 974.
- 17 刘海梅, 熊善柏, 谢笔钧. 钙离子对白鲢鱼糜热诱导凝胶化的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(8): 87 ~ 90.
Liu Haimei, Xiong Shanbai, Xie Bijun. Effects of Ca^{2+} on heat-induced gelation of silver carp surimi gel[J]. Food Science, 2006, 27(8): 87 ~ 90. (in Chinese)
- 18 Orawan J, Soottawat B, Wonnop V. Effect of phosphate compounds on gel-forming ability of surimi from bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(8): 1 153 ~ 1 163.
- 19 吴涛, 冯武, 茅林春. 玉米淀粉及氯化钙对草鱼鱼糜热凝胶特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(3): 671 ~ 675.
Wu Tao, Feng Wu, Mao Linchun. Influence of corn starch and calcium chloride on gelling properties of kamaboko gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(3): 671 ~ 675. (in Chinese)
- 20 Hsu C K, Chiang B H. Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the colour and texture of threadfin and hairtail surimi gels[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(4): 387 ~ 393.
- 21 周爱梅, 潘珂, 黄文华, 等. 几种添加剂对鲮鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(8): 50 ~ 54.
Zhou Aimei, Pan Ke, Huang Wenhua, et al. Effects of reducing agents and calcium compounds on the properties of bighead (*Aristichthynobilis*) surimi[J]. Food Science, 2004, 25(8): 50 ~ 54. (in Chinese)
- 22 Liyana-Pathirana C, Shahidi F. Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2005, 93(1): 47 ~ 56.
- 23 Nath A, Chattopadhyay P K. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1 282 ~ 1 292.
- 24 Sin H N, Yusof S, Hamid N S A, et al. Optimization of enzymatic clarification of sapodilla juice using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(4): 313 ~ 319.