

金鲳鱼鱼糜制品加工工艺优化

Optimization on processing of *Trachinotus ovatus* surimi gel by response surface methodology

黄 和^{1,2} 王 娜² 陈 良³ 吴文龙⁴

HUANG He^{1,2} WANG Na² CHEN Liang³ WU Wen-long⁴

(1. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东 湛江 524088; 2. 广东海洋大学实验教学部, 广东 湛江 524088; 3. 广东普通高等学校水产品深加工重点实验室, 广东 湛江 524088; 4. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088)

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 2. Department of Experimental Teaching, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 3. Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 4. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

摘要:以金鲳鱼鱼糜凝胶为研究对象,利用部分因子试验从漂洗时间、漂洗次数、擂溃方式、加热时间 1、加热温度 1、加热时间 2、加热温度 2 七因素中筛选出 5 个对金鲳鱼鱼糜制品的凝胶强度和白度影响显著的因素,即漂洗时间、漂洗次数、擂溃时间、加热时间 1 及加热时间 2。通过最陡爬坡试验逼近该 5 个因素的最大响应区域,最后利用中心复合设计响应面试验优化显著的因素,结果表明:漂洗时间 3 min,漂洗 5 次,擂溃 21 min,第 1 次加热 10 min,第 2 次加热 10 min,所得鱼糜凝胶强度为 10 728.16 g·mm;漂洗时间 4 min,漂洗 6 次,擂溃 22 min,第 1 次加热 11 min,第 2 次加热 10 min,优化后白度为 70.91。

关键词:金鲳鱼;鱼糜;凝胶强度;白度

Abstract: With *Trachinotus ovatus* surimi gel as the research object, using the fractional factorial experiment screened out five factors from the seven factors, such as rinsing time, rinsing times, mincing time and twice heating time, which had a great effect on the surimi gel strength and whiteness. And then through the steepest uphill test to approach the maximum response area of the 5 factors, the final optimized by central composite design response surface methodology, the optimal results showed that: the rinsing time was 3 min, rinsing 5 times, mincing time was 21 min, the first heating time was 10 min, second heating time was 10min, the surimi gel strength was 10 728.16 g·mm; the rinsing time was 4 min, rinsing 6 times, mincing time was 22 min, the first heating time was 11 min, second heating time was 10 min, white degree was 70.91.

Keywords: *Trachinotus ovatus*; surimi; gel strength; whiteness

基金项目:广东省海洋渔业科技推广项目(编号:A201101F03)

作者简介:黄和(1962—),男,广东海洋大学教授。

E-mail: zjhahe@163.com

收稿日期:2015-08-04

金鲳鱼(*Trachinotus ovatus*),学名卵形鲳鲹,营养丰富,肉质细嫩结实、无肉中刺,深受消费者的欢迎。因此将金鲳鱼加工成营养、健康、美味、方便的鱼糜制品,具有非常好的应用前景。目前,中国鱼糜制品的加工工艺存在一些缺陷,且大多数工艺研究比较单一,没有全面系统地考虑各个因素之间的综合效益。如只针对漂洗工艺对鱼糜进行研究^[1-3]、只针对擂溃方式对鱼糜进行研究^[4-6]、只针对加热温度对鱼糜进行研究^[7]等。针对上述研究不足,本研究拟将鱼糜加工工艺中的各重要因素作为研究对象,先利用部分因子试验筛选出影响显著因素,再利用最陡爬坡试验逼近最优区域,最后利用响应面进行优化,得到最适合金鲳鱼鱼糜生产的工艺条件,以为工业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

金鲳鱼:新鲜,湛江市昌大昌超市;
食盐:食品级,湛江市昌大昌超市;
电热恒温水浴锅:HHS 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;
质构仪:TMS-PRO 型,美国 FTC 公司;
全自动测色色差仪:JP7100F 型,日本 Juki 公司;
绞肉机:MJ-BL25B3 型,杭州欧力食品机械有限公司;
电子天平:EPS-202 型,长沙湘平科技发展有限公司;
制冰机:FMP400AS 型,美国格兰特有限公司;
台式离心机:MINI200 型,张家港市恒安机械制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 金鲳鱼鱼糜凝胶制备 将新鲜的金鲳鱼头、内脏等去除,冰水洗净,切成末,注入 8 倍冰水(V:V)漂洗,温度保

持在 10 ℃ 以下,最后一次用 0.2% 的食盐水漂洗。漂洗后于 2 100 r/min 下离心 2 min,再用绞肉机慢速搅拌 1 min,加入 2% 的食盐(以鱼糜量计算),按试验设计进行擂溃。将擂溃好的鱼糜做成 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体,放入水浴锅中按试验设计进行两次加热凝胶化,再放入冰水中急冷 15 min,即为鱼糜凝胶,放入 4 ℃ 冰箱 24 h 备用。

1.2.2 鱼糜凝胶强度的测定 利用质构仪分别测定鱼糜凝胶的破断强度和下凹深度。破断强度即探头刺破凝胶时的感应力,反映鱼糜凝胶的硬度和凝胶中蛋白质分子间的紧密程度;下凹深度即凝胶破裂时探头的位移,反映鱼糜凝胶的弹性和凝胶中蛋白质分子间作用力的强弱^[8]。测试条件:选用直径为 5 mm 的探头,测试速度 60 mm/min,下压距离 25 mm,测试力 0.2 N,每组重复测定 3 次,取平均值。鱼糜凝胶强度按式(1)计算^[9]:

$$y=a\times b$$

(1)

式中:

y ——凝胶强度,g·mm;

a ——破断强度,g;

b ——下凹深度,mm。

1.2.3 鱼糜凝胶白度测定 利用色差计对每组鱼糜重复测定 3 次,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 的值,取平均值。仪器采用标准白板校正。其中 L^* 代表亮度, a^* 和 b^* 代表色度。 $+a^*$ 代表偏红, $-a^*$ 代表偏绿; $+b^*$ 代表偏黄, $-b^*$ 代表偏蓝^[10]。白度(W)按式(2)计算^[11-12]:

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

(2)

1.3 试验设计

1.3.1 筛选试验设计 采用部分因子试验来考察漂洗时间、

漂洗次数、擂溃时间、加热时间 1、加热温度 1、加热时间 2、加热温度 2 七因素对金鲳鱼鱼糜凝胶强度和白度的影响。选取 N 为 8 的随机化部分因子试验,采用 4 个中心点数,用于拟合检验。部分因子试验所选取的因素水平编码表见表 1。

1.3.2 最陡爬坡试验设计 通过部分因子试验筛选出最显著的影响因素,并得出相应的效应值,根据各效应值的变化趋势和大小可确定最陡爬坡试验的爬坡方向及步幅长短,可更加快速准确地找到最佳的范围区域,为响应面试验的设计奠定基础。

1.3.3 响应面试验设计 通过最陡爬坡试验得出鱼糜凝胶特性最好的试验点,即为响应面试验各个特性的中心点。采用中心复合设计试验优化金鲳鱼鱼糜凝胶的工艺条件,3 个中心点数,用于拟合检验。

1.4 数据处理

采用 JMP 7 软件对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 筛选试验结果及分析

通过试验,金鲳鱼鱼糜凝胶强度和白度的筛选试验结果见表 2。

对表 2 的试验结果进行分析,结果见表 3。

由表 3 可知,漂洗时间、漂洗次数、擂溃时间、加热时间 1 及加热时间 2 对鱼糜凝胶强度和白度均有显著性影响($P<0.05$),而加热温度 1 只对鱼糜凝胶白度有显著性影响($P<0.05$),对鱼糜凝胶强度无显著性影响($P>0.05$),加热温度 2 对鱼糜凝胶强度和白度均无显著性影响($P>0.05$)。林琳等^[13]的研究也发现漂洗可显著提高鲢鱼鱼糜的凝胶强度

表 1 部分因子试验因素水平编码表

Table 1 Factors and level code table of partial factor test

编码水平	X ₁ 漂洗时间/min	X ₂ 漂洗次数	X ₃ 擂溃时间/min	X ₄ 加热时间 1/min	X ₅ 加热温度 1/℃	X ₆ 加热时间 2/min	X ₇ 加热温度 2/℃
1	12	4	18	30	40	30	91
0	9	3	14	20	32	20	88
-1	6	2	10	10	24	10	85

表 2 鱼糜凝胶部分因子试验结果

Table 2 Surimi gel part factor test results

序号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	凝胶强度/(g·mm)	白度
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	6 535.71	71.79
2	-1	-1	1	1	-1	-1	1	7 093.88	71.15
3	1	1	1	1	1	1	1	6 390.31	72.24
4	0	0	0	0	0	0	0	6 417.76	71.87
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	5 191.22	71.66
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	6 303.67	71.97
7	0	0	0	0	0	0	0	6 763.37	71.80
8	0	0	0	0	0	0	0	6 372.55	71.83
9	-1	1	-1	1	-1	1	-1	6 669.80	71.72
10	0	0	0	0	0	0	0	6 635.31	71.85
11	-1	1	1	-1	1	-1	-1	8 407.86	72.29
12	1	1	-1	-1	-1	-1	1	7 026.12	72.16

表 3 部分因子试验显著性结果分析

Table 3 Significant analysis result of partial factor test

项	系数		T		P	
	强度	白度	强度	白度	强度	白度
常量	6 650.630 0	71.860 8	113.130 0	6 458.900 0	<0.000 1	<0.000 1
X ₁	−474.491 3	0.135 0	−6.590 0	9.910 0	0.002 7	0.000 6
X ₂	421.201 2	0.230 0	5.850 0	16.880 0	0.004 3	<0.000 1
X ₃	346.608 8	0.040 0	4.810 0	2.940 0	0.008 6	0.042 6
X ₄	−366.018 7	−0.180 0	−5.080 0	−13.210 0	0.007 1	0.000 2
X ₅	−71.046 3	0.122 5	−0.990 0	8.990 0	0.379 6	0.000 8
X ₆	−227.448 8	0.057 5	−3.160 0	4.220 0	0.034 2	0.013 5
X ₇	59.183 8	−0.037 5	0.820 0	−2.750 0	0.457 2	0.051 3

和白度,漂洗温度对鲢鱼鱼糜的凝胶强度和白度无显著影响。其中各因素对鱼糜凝胶强度的影响显著性依次为:漂洗时间>漂洗次数>加热时间 1>擂溃时间>加热时间 2>加热温度 1>加热温度 2;对鱼糜凝胶白度的影响显著性依次为:漂洗次数>加热时间 1>漂洗时间>加热温度 1>加热时间 2>擂溃时间>加热温度 2。鱼糜凝胶强度和白度的模型的复相关系数分别为 $R^2=0.971\ 892$ 和 $R^2=0.994\ 086$,模拟相关性都很好。

由表 3 还可以看出,鱼糜凝胶强度和白度的漂洗次数和擂溃时间均表现为正效应,它们的爬坡方向一致,而加热时间 1 均为负效应;漂洗时间、加热温度 1 和加热时间 2 对于鱼糜凝胶强度为负效应,对于白度为正效应;加热温度 2 对于鱼糜凝胶强度为正效应,其他为负效应。

2.2 最陡爬坡试验设计结果及分析

综合考虑以上两个试验结果的影响显著性来进行爬坡试验,其中两次加热温度分别采用 24 ℃和 85 ℃(响应面试验相同)。本试验将按漂洗次数、擂溃时间为正效应,漂洗时间、加热时间 1、加热时间 2 为负效应的来进行试验设计。爬坡试验的结果见表 4。

由表 4 可知,凝胶强度和白度的最优区域均都在第 5 组试验附近,因此采用第 5 次的试验条件作为响应面试验编码水平的零水平。

2.3 响应面试验设计结果及分析

中心复合设计试验所选取的因素水平编码表见表 5,结果见表 6。

2.3.1 鱼糜凝胶强度响应面试验结果及分析 利用 JMP 7 软件进行二次多元回归拟合,可得鱼糜凝胶强度中心复合设计响应面试验结果见表 7。

由表 7 可知,模型的 $P=0.000\ 3$ (极显著),因此可靠性非常好。模型的复相关系数 $R^2=0.973\ 988$ 可知模拟相关性好,而调整 $R^2=0.908\ 958$,说明此模型可代表 90.90%的金鲳鱼鱼糜凝胶强度的变化。失拟合 $P=0.755\ 5>0.05$,不显著,说明模型中心拟合度良好,误差小,因此,可用该模型方程对鱼糜凝胶强度进行分析和预测。而且擂溃时间与加热时间 2、加热时间 1 与加热时间 2 的交互作用均对响应值有极显著的影响($P<0.01$),所以各影响因素对响应值的影响不仅仅是简单的线性关系。由二次多元回归拟合得到的回归方程模型为:

表 4 爬坡试验结果

Table 4 Hill climbing test results

序号	漂洗时间/min	漂洗次数	擂溃时间/min	加热时间 1/min	加热时间 2/min	凝胶强度/(g·mm)	白度
1	8	2	14	14	14	5 018.47	52.27
2	7	3	16	13	13	4 855.10	69.28
3	6	4	18	12	12	6 987.91	69.82
4	5	5	20	11	11	7 310.71	69.93
5	4	6	22	10	10	7 505.71	70.46
6	3	7	24	9	9	7 238.11	68.96
7	2	8	26	8	8	6 759.08	68.53

表 5 中心复合设计试验因素水平编码表

Table 5 Factor level coding table of central composite design experimental

编码水平	X ₁ 漂洗时间/min	X ₂ 漂洗次数	X ₃ 擂溃时间/min	X ₄ 加热时间 1/min	X ₆ 加热时间 2/min
1	3	7	24	9	9
0	4	6	22	10	10
−1	5	5	20	11	11

表 6 中心复合设计响应面试验结果

Table 6 Response surface test result of central composite design

序号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₆	凝胶强度/ (g·mm)	白度	序号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₆	凝胶强度/ (g·mm)	白度
1	−1	−1	−1	−1	−1	7 065.71	67.77	16	1	1	1	1	−1	7 620.71	69.18
2	−1	−1	−1	1	1	8 807.86	67.43	17	−1	0	0	0	0	8 532.76	69.90
3	−1	−1	1	−1	1	7 792.14	68.37	18	1	0	0	0	0	8 548.47	70.43
4	−1	−1	1	1	−1	8 289.39	67.68	19	0	−1	0	0	0	10 228.16	69.45
5	−1	1	−1	−1	1	8 392.55	67.33	20	0	1	0	0	0	9 033.16	69.58
6	−1	1	−1	1	−1	6 928.57	67.66	21	0	0	−1	0	0	6 628.57	70.11
7	−1	1	1	−1	−1	7 693.47	68.13	22	0	0	1	0	0	6 070.82	70.35
8	−1	1	1	1	1	8 822.24	68.06	23	0	0	0	−1	0	6 643.27	70.76
9	1	−1	−1	−1	1	9 592.24	68.29	24	0	0	0	1	0	6 399.59	70.91
10	1	−1	−1	1	−1	8 002.65	67.99	25	0	0	0	0	−1	5 259.59	70.79
11	1	−1	1	−1	−1	7 508.67	68.04	26	0	0	0	0	1	6 339.59	70.22
12	1	−1	1	1	1	7 565.31	67.65	27	0	0	0	0	0	6 737.86	70.41
13	1	1	−1	−1	−1	6 273.47	68.60	28	0	0	0	0	0	7 565.31	70.74
14	1	1	−1	1	1	7 017.76	68.83	29	0	0	0	0	0	7 059.18	70.25
15	1	1	1	−1	1	7 178.57	69.53								

表 7 鱼糜凝胶强度回归模型方差分析[†]

Table 7 Mode analysis of variance of surimi gel strength

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	34 776 923	20	1 738 846	14.977 5	0.000 3	* *
X ₁	505 628	1	505 628	4.355 2	0.070 4	
X ₂	1 928 405	1	1 928 405	16.610 3	0.003 6	* *
X ₃	1 569	1	1 569	0.013 5	0.910 3	
X ₄	95 919	1	95 919	0.826 2	0.389 9	
X ₅	2 619 015	1	2 619 015	22.558 8	0.001 4	* *
X ₁ X ₂	1 243 282	1	1 243 282	10.709 0	0.011 3	*
X ₁ X ₃	364 637	1	364 637	3.140 8	0.114 3	
X ₂ X ₃	1 572 273	1	1 572 273	13.542 7	0.006 2	* *
X ₁ X ₄	316 607	1	316 607	2.727 1	0.137 3	
X ₂ X ₄	1 310	1	1 310	0.011 3	0.918 0	
X ₃ X ₄	452 908	1	452 908	3.901 1	0.083 7	
X ₁ X ₅	223 088	1	223 088	1.921 6	0.203 1	
X ₂ X ₅	0.890 9	1	0.890 9	0.000 0	0.997 9	
X ₃ X ₅	1 751 639	1	1 751 639	15.087 7	0.004 6	* *
X ₄ X ₅	578 492	1	578 492	4.982 8	0.056 1	
X ₁ ²	4 059 790	1	4 059 790	34.968 9	0.000 4	* *
X ₂ ²	13 854 468	1	13 854 468	119.335 1	<0.000 1	* *
X ₃ ²	2 006 725	1	2 006 725	17.284 9	0.003 2	* *
X ₄ ²	1 317 019	1	1 317 019	11.344 1	0.009 8	* *
X ₅ ²	5 190 088	1	5 190 088	44.704 7	0.000 2	* *
残差	92 877	8	116 097			
失拟合	580 749.89	6	96 792	0.556 2	0.755 5	不显著
纯误差	348 027.50	2	174 014			
总和	35 705 700	28				

[†] * * 表示差异极显著(P<0.01), * 表示差异显著(P<0.05),R²=0.973 988。

$$Y = 7\,332.03 - 178.71X_1 - 327.31X_2 - 9.34X_3 + 72.99X_4 + 381.45X_6 - 278.76X_1X_2 - 150.96X_1X_3 + 313.48X_2X_3 - 140.67X_1X_4 + 9.05X_2X_4 + 168.25X_3X_4 - 118.08X_1X_6 + 0.24X_2X_6 - 330.87X_3X_6 - 190.15X_4X_6 + 1\,341.87X_1^2 + 2\,331.92X_2^2 - 949.05X_3^2 - 777.32X_4^2 - 1\,499.15X_6^2 \quad (3)$$

根据回归方程,固定一个因素在零水平上,研究另外两个因素间的交互作用做响应面图,发现漂洗时间和漂洗次数、擂溃时间和漂洗次数、擂溃时间和加热时间 2 对鱼糜凝胶强度交互作用显著,见图 1~3。

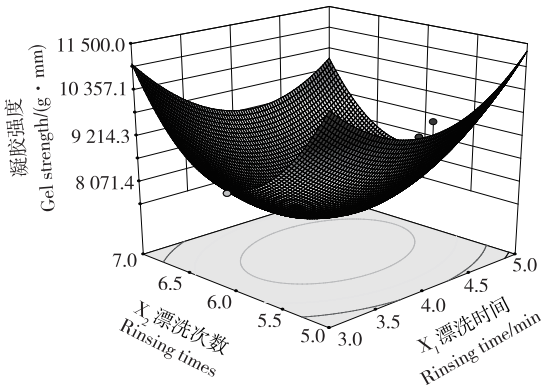


图 1 漂洗时间和漂洗次数对鱼糜凝胶强度交互作用图
Figure 1 Interaction diagram of rinsing time and rinsing times for surimi gel strength

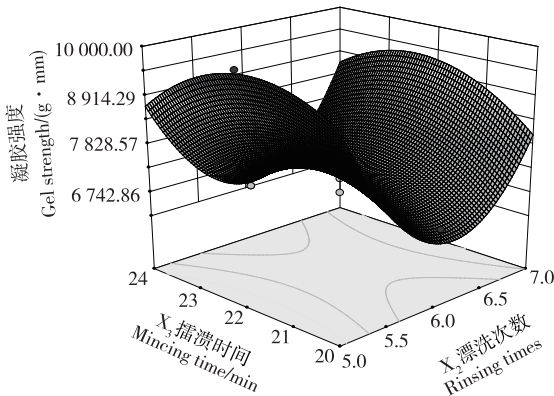


图 2 擂溃时间和漂洗次数对鱼糜凝胶强度交互作用图
Figure 2 Interaction diagram of mincing time and rinsing times for surimi gel strength

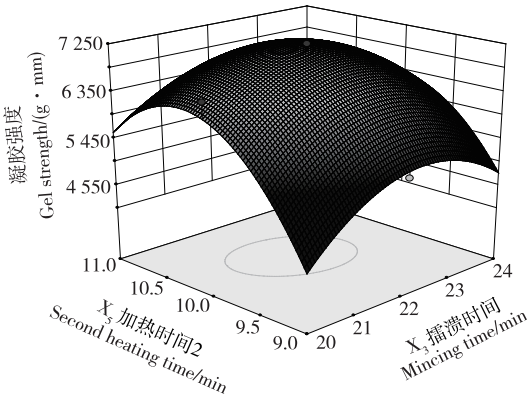


图 3 擂溃时间和加热时间 2 对鱼糜凝胶强度交互作用图
Figure 3 Interaction diagram of mincing time and second heating time for surimi gel strength

由图 1~3 可知,鱼糜凝胶强度随着漂洗时间、漂洗次数的增加呈现先减少再增加的趋势,随着擂溃时间、加热时间 2 的增加呈现先增加再减少的趋势。利用 JMP 软件分析可得出最优的鱼糜凝胶强度的工艺条件:漂洗时间 3 min,漂洗 5 次,擂溃 21.41 min,第 1 次加热 10.103 min,第 2 次加热 9.869 min,理论鱼糜凝胶强度为 11 410.37 g·mm。根据优化后的试验参数,实际采用漂洗时间 3 min,漂洗 5 次,擂溃 21 min,第 1 次加热 10 min,第 2 次加热 10 min,所得鱼糜凝胶强度为 10 728.16 g·mm,与理论值相差小于 6%,说明此工艺条件能真实有效的反映鱼糜凝胶的实际凝胶强度。

2.3.2 鱼糜凝胶白度响应面试验结果及分析 利用 JMP 7 软件进行二次多元回归拟合,可得鱼糜凝胶白度中心复合设计响应面试验的分析结果见表 8。

由表 8 可知,模型的 $P < 0.0001$ (极显著),因此可靠性非常好。由模型的复相关系数 $R^2 = 0.98479$ 可知模拟相关性好,而调整 $R^2 = 0.946767$,说明此模型可代表 94.68% 的金鲳鱼鱼糜凝胶白度的变化。失拟合 $P = 0.4869 > 0.05$,不显著,说明模型中心拟合度良好,误差小,因此,可用该模型方程对鱼糜凝胶白度进行分析和预测。而且漂洗时间与漂洗次数的交互作用对响应值有极显著的影响 ($P < 0.01$),所以各影响因素对响应值的影响不仅仅是简单的线性关系。由此二次多元回归拟合得到的回归方程模型为:

$$Y = 70.6735 + 0.3450X_1 + 0.2350X_2 + 0.1656X_3 - 0.0794X_4 - 0.0072X_6 + 0.2650X_1X_2 - 0.0850X_1X_3 + 0.1387X_2X_3 - 0.0025X_1X_4 + 0.1163X_2X_4 - 0.0887X_3X_4 + 0.0337X_1X_6 - 0.0050X_2X_6 + 0.0450X_3X_6 - 0.0950X_4X_6 - 0.5860X_1^2 - 1.2360X_2^2 - 0.5210X_3^2 + 0.0841X_4^2 - 0.2460X_6^2 \quad (4)$$

根据回归方程,由 JMP 7 软件分析可绘制出中心复合设计响应面试验的曲面图,发现漂洗次数和漂洗时间对鱼糜凝胶白度交互作用显著,见图 4。

由图 4 可知,鱼糜凝胶白度随着漂洗时间和漂洗次数的增加呈现先增加再减少的趋势,但漂洗时间比漂洗次数的变化趋势相对平缓一些。利用 JMP 软件分析可得出最优的鱼糜凝胶白度工艺条件:漂洗时间 3.69 min,漂洗 6.09 次,擂溃 22.48 min,第 1 次加热 11 min,第 2 次加热 9.78 min,而理论鱼糜凝胶白度为 70.94。根据优化后的试验参数,实

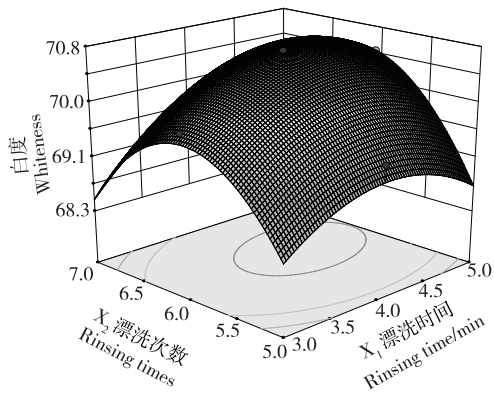


图 4 漂洗次数和漂洗时间对鱼糜凝胶白度交互作用图
Figure 4 Interaction diagram of rinsing time and rinsing times for surimi gel white degree

表 8 鱼糜凝胶白度回归模型方差分析

Table 8 Mode analysis of variance of surimi gel whiteness

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	40.543 1	20	2.027 2	25.899 4	<0.000 1	* *
X ₁	2.142 4	1	2.142 5	27.372 3	0.000 8	* *
X ₂	0.994 1	1	0.994 1	12.700 2	0.007 4	* *
X ₃	0.493 3	1	0.493 3	6.303 2	0.036 3	*
X ₄	0.113 6	1	0.113 6	1.451 4	0.262 7	
X ₆	0.000 9	1	0.000 9	0.012 0	0.915 5	
X ₁ X ₂	1.123 6	1	1.123 6	14.355 3	0.005 3	* *
X ₁ X ₃	0.115 6	1	0.115 6	1.476 9	0.258 9	
X ₂ X ₃	0.308 0	1	0.308 0	3.935 4	0.082 6	
X ₁ X ₄	0.000 1	1	0.000 1	0.001 3	0.972 4	
X ₂ X ₄	0.216 2	1	0.216 2	2.762 5	0.135 1	
X ₃ X ₄	0.126 0	1	0.126 0	1.610 1	0.240 1	
X ₁ X ₆	0.018 2	1	0.018 2	0.232 8	0.642 3	
X ₂ X ₆	0.000 4	1	0.000 4	0.005 1	0.944 8	
X ₃ X ₆	0.032 4	1	0.032 4	0.413 9	0.538 0	
X ₄ X ₆	0.144 4	1	0.144 4	1.844 9	0.211 4	
X ₁ ²	0.842 3	1	0.842 3	10.762 4	0.011 2	*
X ₂ ²	3.747 6	1	3.747 6	47.879 6	0.000 1	* *
X ₃ ²	0.665 9	1	0.665 9	8.507 3	0.019 4	*
X ₄ ²	0.017 3	1	0.017 3	0.221 1	0.650 7	
X ₆ ²	0.148 5	1	0.148 4	1.896 7	0.205 8	
残差	0.626 2	8	0.078 2			
失拟合	0.501 2	6	0.083 6	1.338 2	0.486 9	不显著
纯误差	0.124 9	2	0.062 4			
总和	41.169 3	28				

† * * 表示差异极显著(P<0.01), * 表示差异显著(P<0.05),R²=0.984 79。

际采用漂洗时间 4 min,漂洗 6 次,擂溃 22 min,第 1 次加热 11 min,第 2 次加热 10 min,所得的鱼糜凝胶白度为 70.91,与理论值相差小于 0.05%,说明此工艺条件能真实有效的反映鱼糜凝胶的实际白度。

3 结论

响应面法研究发现:漂洗时间、漂洗次数、擂溃时间及加热时间均对金鲳鱼鱼糜凝胶特性有显著影响,而加热温度对金鲳鱼鱼糜凝胶特性的影响不显著。利用响应面试验优化金鲳鱼鱼糜加工工艺得到鱼糜凝胶强度最优工艺为:漂洗时间 3 min,漂洗 5 次,擂溃 21 min,第 1 次加热 10 min,第 2 次加热 10 min,所得鱼糜凝胶强度为 10 728.16 g·mm;鱼糜凝胶白度最优工艺为:漂洗时间 4 min,漂洗 6 次,擂溃 22 min,第 1 次加热 11 min,第 2 次加热 10 min,所得的鱼糜凝胶白度为 70.91。

由于试验条件及时间的限制,本试验还存在大量的不足,后期试验可扩大鱼糜加工工艺的研究范围,可以考虑超高压、微波等方式对鱼糜特性的影响,以便研究出更好、更便利的加工工艺。

参考文献

1 钱娟,王继宏,田鑫,等.漂洗方式对低盐罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响[J].上海海洋大学学报,2013,22(3):466~474.

2 袁美兰,赵利,邹胜员,等.水温差阶段漂洗对草鱼鱼糜凝胶品质的影响[J].食品科技,2011,36(9):152~156.

3 Lin T M, Park J W. Extraction of proteins from pacific whiting

mince at various washing conditions[J]. Journal of Food Science, 1996,61(2):432~438.

4 李品周.花枝丸的品质改良[J].福建轻纺,2011,9(9):33~38.

5 陈申如,刘阳,李燕杰.擂溃条件对鱼糜制品弹性的影响[J].大连轻工业学院学报,2004,23(3):194~196.

6 林东年,黄东万,翁尚壮.黄肚金钱鱼(Nemipterus bathybius Snyder)冷冻鱼糜制品生产工艺的研究[J].现代渔业信息,2003,18(12):9~12.

7 余辉,陈小娥,陈洁,等.超高压处理对鲮鱼糜一大豆分离蛋白复合性能的影响[J].食品科学,2013,34(5):96~99.

8 张崑,曾庆孝,朱志伟,等.超声波辅助凝胶化对罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(4):138~142.

9 Hiroko S, Yoshiyuki K, Kumazawa S, et al. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during on-shore surimi manufacture[J]. Journal of Food Science, 1995,60(2):300~304.

10 纪蓉,江海,胡亚芹,等.γ-聚谷氨酸对带鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].中国食品学报,2012,12(4):90~99.

11 Juan C R S, Morrissey M T. Effect of high pressure processing on shelf life of albacore tuna minced muscle [J]. Innovative Food and Emerging Technologies, 2006,67(4):19~27.

12 Park J W. Functional protein additives in surimi gels[J]. Journal of Food Science, 1994,59(3):525~527.

13 林琳,陆剑锋,翁世兵,等.漂洗工艺对鲍鱼鱼糜凝胶强度和色泽的影响[J].食品研究与开发,2012,33(2):8~12.