

三种抗冻剂 对金鲳鱼冷冻鱼糜抗冻效果的研究

王娜, 黄和*, 陈良, 吴文龙

(广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东普通高等学校水产品深加工重点实验室,
广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

摘要:采用单因素法分别考察了海藻糖、木糖醇及复合磷酸盐对金鲳鱼冷冻鱼糜的抗冻效果,发现三种抗冻剂均对鱼糜凝胶强度、白度及持水性有不同程度的影响,均对鱼糜蛋白变性有一定的抑制作用,并通过响应面实验得到最优复配抗冻配方:海藻糖4.48%、木糖醇6.72%、复合磷酸盐1.26%,鱼糜凝胶强度可达8618.47 g·mm;海藻糖4.5%、木糖醇6%、复合磷酸盐1%,鱼糜凝胶白度可达71.79;海藻糖3.5%、木糖醇7%、复合磷酸盐1.09%,鱼糜凝胶持水性可达96.7%。比单独添加抗冻效果更好。

关键词:海藻糖,木糖醇,复合磷酸盐,响应面

Study on cryoprotective effects of three cryoprotectants on trachinotus ovatus surimi during frozen storage

WANG Na, HUANG He*, CHEN Liang, WU Wen-long

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Key Laboratory of Advanced Processing
of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, College of Food Science
and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The single factor method was used to respectively investigate the cryoprotective effects of trehalose, xylitol and compound phosphate on trachinotus ovatus surimi during frozen storage, found that the three types of cryoprotectants had affected on surimi gel strength, whiteness and water holding capacity, and had inhibit on surimi protein denaturation. Furthermore, response surface experiments were used to obtain better cryoprotective effects. The results showed that added 4.48% trehalose, 6.72% xylitol and 1.26% compound phosphate, the optimal surimi gel strength was 8618.47 g·mm; added 4.5% trehalose, 6% xylitol and 1% compound phosphate, the optimal surimi gel whiteness was 71.79; added 3.5% trehalose, 7% xylitol and 1.09% compound phosphate, the obtained optimal surimi gel water holding capacity was 96.7%. The results of response surface experiments was better than single factor method.

Key words: rehalose; xylitol; compound phosphate; response surface

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)19-0336-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.19.060

金鲳鱼(*Trachinotus ovatus*)是一种高蛋白、低脂肪的家庭食用鱼,营养丰富,肉质结实细嫩,易养殖,产量大。将金鲳鱼加工成冷冻鱼糜,不仅可以改善鱼糜制品的风味,而且可以解决利用淡水鱼生产鱼糜及鱼糜制品生产成本较高、产量有限等问题,因此将金鲳鱼加工成冷冻鱼糜具有非常好的前景。冷冻鱼糜是加工生产鱼糜制品的中间产品,是鱼糜产业中不可或缺的原料,市场需求量不断扩大。近十年来我国冷冻鱼糜出口量年年增加,逐渐成为重要的出口水产加工品种。但金鲳鱼鱼糜在长期的冷冻储藏过程中,蛋白质易发生变性,造成鱼糜凝胶强度、

白度及持水性的下降,影响鱼糜品质和口感。因此,添加抗冻剂,防止蛋白质变性,延长冷冻鱼糜的冷冻时间,是工业生产中意义重大的环节。

我国工业上传统的抗冻剂为4%蔗糖和4%山梨醇的混合物^[1],它具有较好的抗冻效果,但甜度和热量较高,不符合现代人追求“低甜、低热”的消费趋势,因此开发新的抗冻剂是必然趋势。近年研究结果表明,海藻糖具有保护生物细胞和生物活性物质在脱水、干旱、高温、冷冻、高渗透压等不良环境条件下免遭破坏的功能^[2-3],具有低甜、低热的特点。木糖醇甜度和蔗糖相近,但热量低是它的一大特点,既

收稿日期:2014-11-13

作者简介:王娜(1990-),女,硕士研究生,研究方向:水产品加工工程,E-mail:fighting098@126.com。

*通讯作者:黄和(1962-),男,教授,研究方向:水产品加工工程,E-mail:zjhahe@yahoo.com.cn。

基金项目:广东省海洋渔业科技推广项目(A201101F03)。

能预防龋齿,还适合糖尿病人食用,具有很好的应用前景。复合磷酸盐可以提高肉制品的持水性,维持肉的嫩度,因此在实际生产中,复合磷酸盐多与其他抗冻剂一起复配使用^[4]。因此本文将研究海藻糖、木糖醇、复合磷酸盐三者的抗冻效果及复配抗冻效果,为工业生产奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜金鲳鱼、食盐(食品级) 湛江市昌大昌超市;复合磷酸盐(食品级)、海藻糖(食品级)、木糖醇(食品级) 均购于河南天辰生物科技有限公司。

TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司;JP7100F 全自动测色色差计 日本 Juki 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 金鲳鱼鱼糜凝胶工艺制备要点 将新鲜的金鲳鱼经过前处理后,注入 8 倍冰水漂洗 2 次,再用 0.2% 的食盐水平漂洗,离心脱水,绞肉机搅拌 1 min,按实验设计添加抗冻剂,搅拌均匀,然后放入-18℃冰箱冷冻 15 d。15 d 后将冷冻鱼糜取出,解冻为半解冻状态,空擂 10 min,加入 2% 的食盐(以鱼糜量计算)后擂溃 10 min。将擂溃好的鱼糜做成 2 cm × 2 cm × 2 cm 的立方体,先放入水浴锅中 24℃加热 10 min,再 85℃加热 10 min,取出立即冰水冷却 15 min,即为鱼糜凝胶,再放入 4℃冰箱 24 h 备用。

1.2.2 鱼糜凝胶强度的测定 利用质构仪测定鱼糜凝胶的破断强度(g)和下凹深度(mm)。测试条件:选用直径为 5 mm 的探头,测试速度为 60 mm/min,下压距离为 25 mm,测试力为 0.2N,每组重复测定 3 次,取平均值。鱼糜凝胶强度的计算公式^[5]为:

凝胶强度(g·mm) = 破断强度(g) × 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。白度计算公式^[6-7]为:

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

1.2.4 鱼糜凝胶持水性测定 将各组鱼糜凝胶切为 5 mm 厚,质量为 m₁ 的薄片,上下各置 3 层定性滤纸,在其上加压 10 kg 的重物,20 min 后,称取质量 m₂,持水性的计算公式^[8]为:

$$\text{持水性}(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

1.3 实验设计

1.3.1 单因素实验设计 将鱼肉分为 A、B、C 三组, A 组分别放入 0、2%、4%、6%、8%、10% 的海藻糖; B 组分别放入 0、2%、4%、6%、8%、10% 的木糖醇; C 组分别放入 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 的复合磷酸盐,分别制作为鱼糜凝胶,进行凝胶强度、白度、持水性测试。

1.3.2 响应面实验设计 通过单因素实验得出鱼糜凝胶特性最好的实验点,即为响应面实验各个特性的中心点。采用 Box-Behnken 实验设计出金鲳鱼鱼糜凝胶的最优抗冻剂配方,采用 3 个中心点数用于拟合检验。中心复合设计实验所选取的因素水平编

码表见表 1。

表 1 Box-Behnken 实验因素水平编码表
Table 1 Factor level coding table
of Box-Behnken experimental

因素	编码水平			变化 区间
	下水平 (-1)	零水平 (0)	上水平 (1)	
海藻糖(%)	3.5	4	4.5	0.5
木糖醇(%)	6	7	8	1
复合磷酸盐(%)	1	1.2	1.4	0.2

1.4 数据处理

采用 JMP 7 软件和 Origin 7.5 软件对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果及分析

2.1.1 鱼糜凝胶强度的实验结果及分析 通过实验,添加海藻糖、木糖醇、复合磷酸盐的金鲳鱼鱼糜凝胶强度实验结果见图 1。

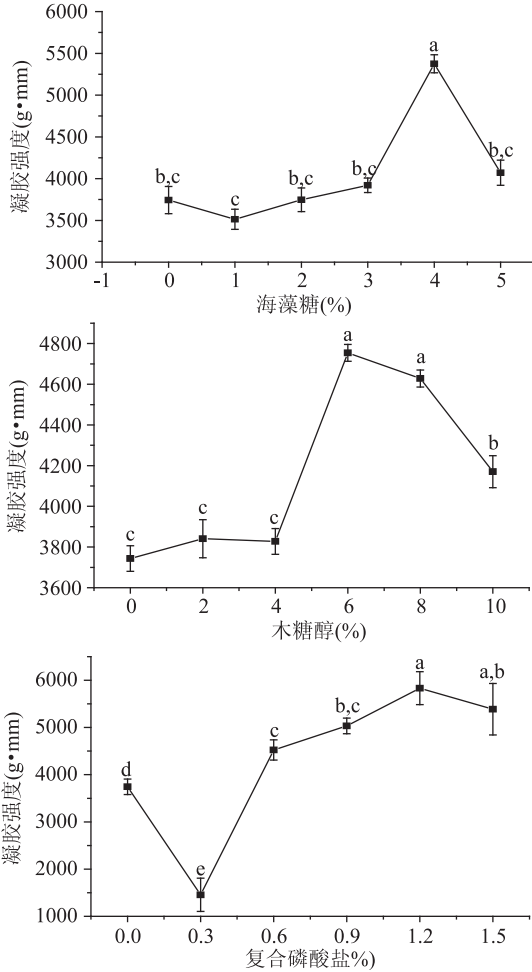


图 1 三种抗冻剂对鱼糜凝胶强度的影响

Fig.1 Effect of three types of cryoprotectants on surimi gel strength

注:字母相同表示两组数据的凝胶强度差异不显著(p>0.05);字母不同表示两组数据的凝胶强度差异显著(p<0.05)。

由图 1 可以看出,冷冻 15 d 后,随着抗冻剂的添

加量增加,鱼糜凝胶强度均有不同程度的提高($p < 0.05$)。添加4%的海藻糖、6%~8%的木糖醇、0.6%~1.5%的复合磷酸盐均与未添加抗冻剂的鱼糜凝胶强度差异显著($p < 0.05$)。其中,添加4%海藻糖、6%木糖醇、1.2%复合磷酸盐的凝胶强度分别达到5374.73、4754.28、5832.38 $\text{g} \cdot \text{mm}$,而未添加抗冻剂的凝胶强度为3743.54 $\text{g} \cdot \text{mm}$ 。由此可见这三种抗冻剂均能有效抑制鱼糜蛋白的冷冻变性,使鱼糜凝胶强度保持在较好的水平。研究结果与焦道龙^[9]、秦小明^[10]等人研究结果相似。但当添加0.3%的复合磷酸盐的凝胶强度为1455.10 $\text{g} \cdot \text{mm}$,低于空白组3743.55 $\text{g} \cdot \text{mm}$,由此可以说明过少的复合磷酸盐不仅不能提高鱼糜的凝胶强度,而且还有可能使其降低。秦小明研究发现,添加5%的海藻糖能有效地抑制罗非鱼冷冻鱼糜的蛋白质变性,减缓凝胶强度的降低。谢超^[11]等人将4%低聚糖、2%山梨醇、1%蔗糖和0.3%混合磷酸盐加入鱼糜中,发现冷冻鱼糜的凝胶强度可大大提高。韦航^[12]等人也研究发现海藻糖复配抗冻剂可抑制鱼片和鱼丸的冷冻变性。

2.1.2 白度的实验结果及分析 通过实验,添加海藻糖、木糖醇、复合磷酸盐的金鲷鱼鱼糜凝胶白度实验结果见表2~表4。

白度是衡量鱼糜色泽的重要指标之一,随着冷冻时间的延长,鱼糜白度会逐渐减低。由表2~表4

可以看出添加抗冻剂对金鲷鱼鱼糜凝胶的白度均具有一定的影响,添加2%的海藻糖、0.3%的复合磷酸盐的鱼糜白度最好,分别为71.61和71.80,但添加木糖醇比未添加抗冻剂的凝胶白度低($p < 0.05$),这可能是因为木糖醇本身具有颜色,降低了鱼糜白度。这类似于张静雅^[13]等人的研究发现,添加2.5%海藻糖时,鱼糜白度值显著高于对照组。何阳春^[14]等人研究也发现,添加抗冻剂后鱼糜及其制品的凝胶强度更高,但白度略差。

2.1.3 持水性的实验结果及分析 通过实验,添加海藻糖、木糖醇、复合磷酸盐的金鲷鱼鱼糜凝胶持水性实验结果见图2。

持水性也是衡量鱼糜蛋白变性的重要指标,持水性的下降说明鱼糜蛋白在冻藏过程中发生了变性。由图2可以发现,添加抗冻剂与未添加抗冻剂的鱼糜凝胶持水性差异性并不显著($p > 0.05$),这可能是因为鱼糜凝胶在冷冻的过程中细胞受到了不可逆的机械损伤,肌原纤维蛋白受到冰晶的破坏,其完整性降低,细胞间和细胞内的汁液流出。抗冻剂虽然可以提高鱼糜凝胶的抗冻性,但它无法改变其所受物理性损伤,因而添加抗冻剂的持水性并未得到明显的提高。Siddaiah等^[15]曾报道冻结过程中因蛋白质聚集和变性(主要是肌球蛋白变性)使肉的持水性降低,可能是由于肌肉中蛋白质变性后形成肌原纤维蛋白网络结构的能力变

表2 海藻糖对鱼糜凝胶白度的影响

Table 2 Effect of trehalose on Surimi Gel whiteness

序号	添加量(%)	L*	a*	b*	W
1	0	78.3667 ± 1.0786 ^a	-9.0000 ± 0.1000 ^b	16.4000 ± 0.3000 ^a	71.3854 ± 0.2659 ^{a,b}
2	1	77.9333 ± 0.2517 ^a	-8.7000 ± 0.2000 ^{a,b}	16.4667 ± 0.3528 ^a	71.1187 ± 0.1069 ^{a,b}
3	2	77.6667 ± 0.2887 ^a	-8.9000 ± 0.2887 ^{a,b}	15.0667 ± 0.8333 ^b	71.6076 ± 0.4869 ^a
4	3	78.2000 ± 1.8771 ^{a,b}	-8.1000 ± 0.1732 ^{a,b}	16.9000 ± 0.3480 ^a	71.2518 ± 0.6778 ^{b,c}
5	4	77.1667 ± 0.2082 ^{a,b}	-8.5000 ± 0.2887 ^{a,b}	15.9333 ± 0.2028 ^{a,b}	70.8848 ± 0.1794 ^{a,b,c}
6	5	75.8000 ± 0.4359 ^b	-8.3000 ± 0.1732 ^a	16.1000 ± 0.1732 ^{a,b}	69.7697 ± 0.2444 ^c

表3 木糖醇对鱼糜凝胶白度的影响

Table 3 Effect of xylitol on Surimi Gel whiteness

序号	添加量(%)	L*	a*	b*	W
1	0	78.3667 ± 1.0786 ^a	-9.0000 ± 0.1000 ^a	16.4000 ± 0.3000 ^a	71.3854 ± 0.2659 ^a
2	2	76.4000 ± 0.5033 ^b	-8.2667 ± 0.2186 ^a	16.1000 ± 0.5508 ^{a,b}	70.1033 ± 0.2755 ^b
3	4	75.0333 ± 0.5783 ^c	-8.7000 ± 0.0577 ^a	15.5000 ± 0.2517 ^{a,b}	69.3467 ± 0.3601 ^d
4	6	75.8333 ± 0.0333 ^{b,c}	-8.7000 ± 0.1528 ^a	15.3667 ± 0.2603 ^b	70.0700 ± 0.2022 ^{b,c}
5	8	75.6000 ± 0.1732 ^{b,c}	-8.9667 ± 0.0667 ^a	15.3667 ± 0.2186 ^b	69.8000 ± 0.0586 ^{b,c,d}
6	10	75.2000 ± 0.2309 ^{b,c}	-8.8000 ± 0 ^a	15.3333 ± 0.2729 ^b	69.5400 ± 0.2084 ^{c,d}

表4 复合磷酸盐对鱼糜凝胶白度的影响

Table 4 Effect of compound phosphatel on Surimi Gel whiteness

序号	添加量(%)	L*	a*	b*	W
1	0	78.3667 ± 1.0786 ^b	-9.0000 ± 0.1000 ^d	16.4000 ± 0.3000 ^b	71.3854 ± 0.2659 ^{a,b}
2	0.3	80.3667 ± 0.3528 ^a	-7.9667 ± 0.0882 ^a	18.6000 ± 0.2887 ^a	71.8000 ± 0.2686 ^a
3	0.6	76.0333 ± 0.2603 ^c	-8.7000 ± 0.0577 ^{b,c}	16.0667 ± 0.2404 ^b	69.8600 ± 0.1504 ^c
4	0.9	77.3667 ± 0.2404 ^b	-8.7333 ± 0.0667 ^c	16.2667 ± 0.0882 ^b	70.7900 ± 0.2003 ^b
5	1.2	77.2667 ± 0.3667 ^b	-8.5000 ± 0 ^b	15.8000 ± 0.1000 ^b	71.0333 ± 0.2333 ^b
6	1.5	75.4333 ± 0.1333 ^c	-8.5333 ± 0.0333 ^{b,c}	16.2333 ± 0.4372 ^b	69.3367 ± 0.1364 ^c

表 5 响应面实验结果
Table 5 Results of the response surface test

序号	海藻糖	木糖醇	复合磷酸盐	凝胶强度 (g·mm)	白度	持水性 (%)
1	-1	-1	0	7354.2517	70.97	95.2436
2	-1	1	0	6768.7347	70.70	97.2382
3	1	-1	0	8091.4541	71.03	96.5995
4	1	1	0	7135.7143	70.52	95.2793
5	0	-1	-1	5696.8623	70.53	95.3363
6	0	-1	1	6994.5727	70.53	95.8640
7	0	1	-1	5622.8571	70.34	96.3553
8	0	1	1	5835.9503	70.08	96.2076
9	-1	0	-1	6182.7551	70.59	95.6927
10	1	0	-1	6265.7143	71.13	94.5786
11	-1	0	1	6326.5306	70.92	94.9618
12	1	0	1	8011.6709	70.40	95.5544
13	0	0	0	8720.8163	70.38	95.8700
14	0	0	0	8688.8265	70.46	96.1636
15	0	0	0	8142.4490	70.32	95.9358

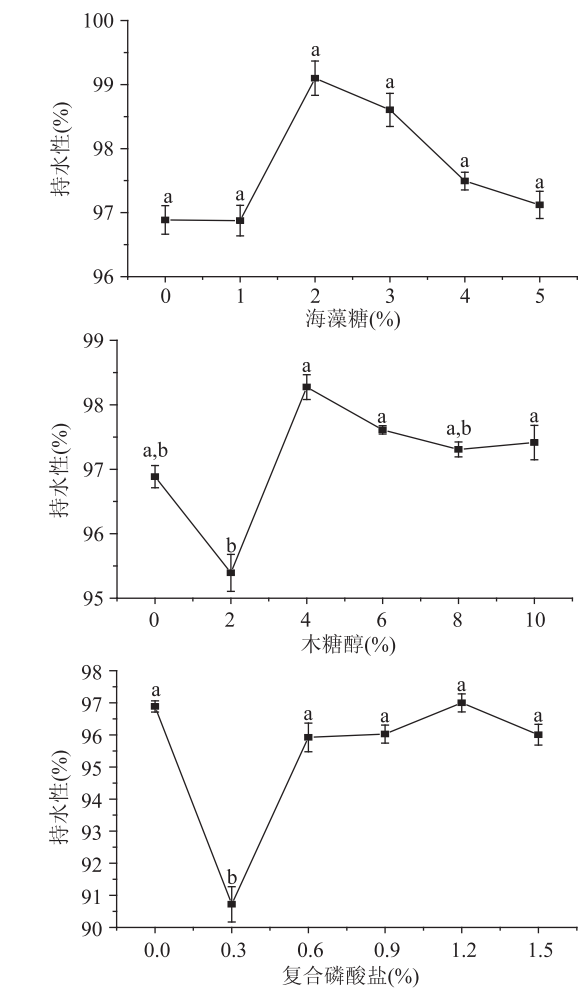


图 2 三种抗冻剂对鱼糜凝胶持水性的影响
Fig.2 Effect of three types of cryoprotectants on water holding properties of surimi gel
注:字母相同表示两组数据的持水性差异不显著($p>0.05$);
字母不同表示两组数据的持水性差异显著($p<0.05$)。
弱使肉保持原有水分的能力降低。

2.2 响应面实验结果及分析

通过单因素实验发现,单独添加一种抗冻剂对鱼糜凝胶强度、白度及持水性均有不同程度影响,对鱼糜蛋白变性均有一定的抑制作用,对鱼糜冷冻保藏具有积极的影响,但并未达到最理想的效果,因此采用响应面实验,通过复配,来获得更好的抗冻效果,为工业生产奠定理论基础。响应面实验结果见表 5。其中编号 1~12 为析因实验;编号 13~15 为中心实验,重复 3 次用来估计实验误差。

2.2.1 鱼糜凝胶强度的实验结果及分析 利用 JMP 7 软件进行二次多元回归拟合,可得鱼糜凝胶强度响应面实验结果见表 6。

由表 6 可知模型的 $p=0.0008$,极显著,可靠性好。模型的复相关系数 $R^2=0.9816$,模拟相关性好,而调整 $R^2=0.9484$,说明此模型可代表 94.84% 的金鲷鱼鱼糜凝胶强度的变化。失拟合 $p=0.8465>0.05$,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。而且海藻糖与复合磷酸盐的交互作用对响应值有显著的影响($p<0.05$),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:

$$Y = 8517.37 + 359.04X_1 - 346.74X_2 + 425.07X_3 - 92.56X_1X_2 + 400.55X_1X_3 - 271.15X_2X_3 - 260.36X_1^2 - 919.47X_2^2 - 1560.34X_3^2$$

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,如图 3 所示。

由图 3 可以看出鱼糜凝胶强度随着海藻糖、复合磷酸盐的增加而呈现先增加再减少的趋势,但海藻糖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强度的复配为:海藻糖 4.48%、木糖醇 6.72%、复合磷酸盐 1.26%,理论鱼糜凝胶强度为 8797.61 g·mm,通过验证性实验得出凝

表6 鱼糜凝胶强度回归模型方差分析

Table 6 Mode analysis of variance of surimi gel strength

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	
模型	15797785	9	1755309	29.6198	0.0008	**
X ₁	1031250.1	1	1031250.1	17.4017	0.0087	**
X ₂	961804.3	1	961804.3	16.2299	0.01	*
X ₃	1445455.4	1	1445455.4	24.3912	0.0043	**
X ₁ X ₂	34266.2	1	34266.2	0.5782	0.4813	
X ₁ X ₃	641746.1	1	641746.1	10.8291	0.0217	*
X ₂ X ₃	294098.9	1	294098.9	4.9627	0.0764	
X ₁ ²	250289.9	1	250289.9	4.2235	0.095	
X ₂ ²	3132543.7	1	3132543.7	52.6742	0.0008	**
X ₃ ²	8989484.5	1	8989484.5	151.6922	<.0001	**
残差	296307	5	59261			
失拟合	84953.17	3	28318	0.268	0.8465	
纯误差	211353.52	2	106000			
总和	16094091	14				

注: ** 表示差异极显著($p < 0.01$), * 表示差异显著($p < 0.05$), $R^2 = 0.9816$ 。

表7 鱼糜凝胶白度回归模型方差分析

Table 7 Mode analysis of variance of surimi gel whiteness

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	
模型	1.2411495	9	0.137906	41.1442	0.0004	**
X ₁	0.00125	1	0.00125	0.3729	0.5681	
X ₂	0.25560893	1	0.25560893	76.2612	0.0003	**
X ₃	0.05390194	1	0.05390194	16.0817	0.0102	*
X ₁ X ₂	0.01400317	1	0.01400317	4.1779	0.0964	
X ₁ X ₃	0.28266767	1	0.28266767	84.3342	0.0003	**
X ₂ X ₃	0.01604529	1	0.01604529	4.7871	0.0803	
X ₁ ²	0.60314103	1	0.60314103	179.9477	<.0001	**
X ₂ ²	0.00065649	1	0.00065649	0.1959	0.6766	
X ₃ ²	0.00332326	1	0.00332326	0.9915	0.3651	
残差	0.0167588	5	0.003352			
失拟合	0.00689212	3	0.002297	0.4657	0.7363	
纯误差	0.00986667	2	0.00493			
总和	1.2579083	14				

注: ** 表示差异极显著($p < 0.01$), * 表示差异显著($p < 0.05$), $R^2 = 0.9863$ 。

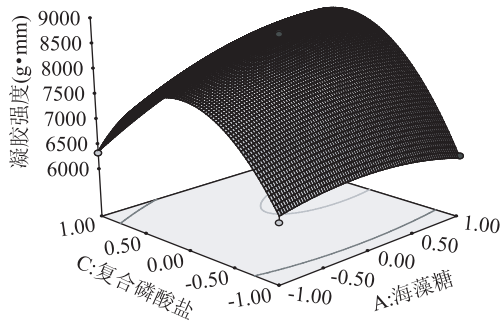


图3 海藻糖与复合磷酸盐对鱼糜凝胶强度交互影响

Fig.3 Interaction diagram of rehalose and compound phosphate for surimi gel strength

胶强度为 8618.47 g·mm,与理论值相差 2%。

2.2.2 鱼糜凝胶白度的实验结果及分析 利用 JMP 7 软件进行二次多元回归拟合,可得鱼糜凝胶白度响

应面实验结果见表 7。

由表 7 可知模型的 $p = 0.0004$,极显著,可靠性好。模型的复相关系数 $R^2 = 0.9863$,模拟相关性好,而调整 $R^2 = 0.9616$,说明此模型可代表 96.16% 的金鲷鱼鱼糜凝胶白度的变化。失拟合 $p = 0.7363 > 0.05$,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。而且海藻糖与复合磷酸盐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。由二次多元回归拟合得到的回归方程模型为:

$$Y = 70.39 - 0.01X_1 - 0.18X_2 - 0.08X_3 - 0.06X_1X_2 - 0.27X_1X_3 - 0.06X_2X_3 + 0.40X_1^2 + 0.01X_2^2 - 0.03X_3^2$$

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,如图 4 所示。

表 8 鱼糜凝胶持水性回归模型方差分析

Table 8 Mode analysis of variance of water holding properties of surimi gel

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	
模型	6.2927988	9	0.6992	31.8428	0.0007	**
X ₁	0.1580521	1	0.1580521	7.198	0.0437	*
X ₂	0.5186639	1	0.5186639	23.6208	0.0046	**
X ₃	0.0488121	1	0.0488121	2.223	0.1962	
X ₁ X ₂	2.7469377	1	2.7469377	125.1003	<.0001	**
X ₁ X ₃	0.7281676	1	0.7281676	33.162	0.0022	**
X ₂ X ₃	0.1140587	1	0.1140587	5.1944	0.0716	
X ₁ ²	0.3822837	1	0.3822837	17.4099	0.0087	**
X ₂ ²	0.6579281	1	0.6579281	29.9632	0.0028	**
X ₃ ²	0.8195734	1	0.8195734	37.3248	0.0017	**
残差	0.1097895	5	0.021958			
失拟合	0.04745274	3	0.020779	0.8758	0.5722	
纯误差	0.04745274	2	0.023726			
总和	6.2927988	14				

注：**表示差异极显著($p < 0.01$), *表示差异显著($p < 0.05$), $R^2 = 0.9829$ 。

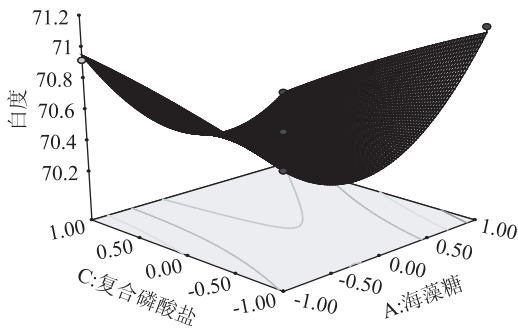


图 4 海藻糖与复合磷酸盐对鱼糜凝胶白度交互影响

Fig.4 Interaction diagram of rehalose and compound phosphate for surimi gel whiteness

由图 4 可以看出鱼糜凝胶白度随着海藻糖的增加而呈现先减少再增加的趋势,随着复合磷酸盐的增加而增加。利用 JMP 软件分析可得出最优的鱼糜凝胶白度的复配为:海藻糖 4.5%、木糖醇 6%、复合磷酸盐 1%,理论鱼糜凝胶白度为 71.28,通过验证性实验得出凝胶白度为 71.79,与理论值相差 0.71%。

2.2.3 鱼糜凝胶持水性的实验结果及分析 利用 JMP 7 软件进行二次多元回归拟合,可得鱼糜凝胶持水性响应面实验结果见表 8。

由表 8 可知模型的 $p = 0.0007$,极显著,可靠性好。模型的复相关系数 $R^2 = 0.9829$,模拟相关性好,而调整 $R^2 = 0.9520$,说明此模型可代表 95.20% 的金鲷鱼鱼糜凝胶持水性的变化。失拟合 $p = 0.5722 > 0.05$,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持水性进行分析和预测。而且海藻糖与木糖醇和海藻糖与复合磷酸盐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:

$$Y = 95.97 - 0.14X_1 + 0.25X_2 + 0.078X_3 - 0.83X_1X_2$$

$$+ 0.43X_1X_3 - 0.17X_2X_3 - 0.31X_1^2 + 0.43X_2^2 - 0.46X_3^2$$

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,如图 5、图 6 所示。

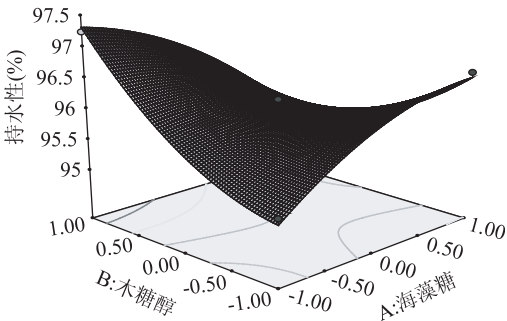


图 5 海藻糖与木糖醇对鱼糜凝胶持水性交互影响

Fig.5 Interaction diagram of rehalose and xylitol for water holding properties of surimi gel

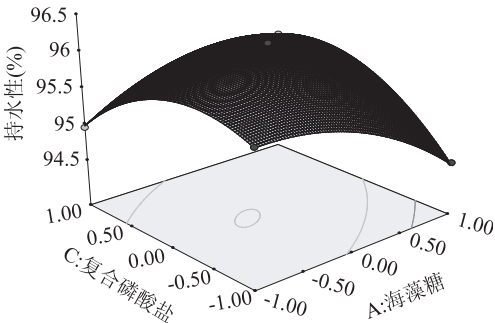


图 6 海藻糖与复合磷酸盐对鱼糜凝胶持水性交互影响图

Fig.6 Interaction diagram of rehalose and compound phosphate for water holding properties of surimi gel

由图 5 和图 6 可以看出鱼糜凝胶持水性随着海藻糖、复合磷酸盐的增加而呈现先增加再减少,随着木糖醇的增加而增加。利用 JMP 软件分析可得出最优的鱼糜凝胶持水性的复配为:海藻糖 3.5%、木糖醇 7%、复合磷酸盐 1.09%,理论鱼糜凝胶持水性为

97.46%,通过验证性实验得出凝胶持水性为96.7%,与理论值相差0.78%。

通过复配海藻糖、木糖醇、复合磷酸盐,金鲳鱼鱼糜凝胶的凝胶强度、白度及持水性得到了不同程度的提高,对鱼糜的抗冻性产生了一定效果。这可能是因为低温保存过程中,复配抗冻剂更好的防止了肌动球蛋白的低温变性,抑制了蛋白中巯基的减少和二硫键的增加,使蛋白保持较好的活性,因而使冷冻鱼糜具有较好的凝胶特性。

3 结论

目前,我国的鱼糜制品加工主要还停留在以鲜鱼加工的阶段,冷冻鱼糜主要受低温蛋白变性的制约而无法大规模生产,因此研究出优质的抗冻剂迫在眉睫,且意义深远。通过实验发现海藻糖、木糖醇、复合磷酸盐均可抑制鱼糜蛋白冷冻变性,延长冷冻鱼糜的保存时间。当添加4.48%的海藻糖、6.72%的木糖醇、1.26%复合磷酸盐时,可得到最优凝胶强度8618.47 g·mm;当添加4.5%的海藻糖、6%的木糖醇、1%的复合磷酸盐时,可得到最优凝胶白度71.79;当添加3.5%的海藻糖、7%的木糖醇、1.09%的复合磷酸盐时,可得到最优持水性96.7%。

我国鱼糜产业还存在很多问题,为了改善并发展鱼糜产业,应从以下几方面进行努力:扩大鱼糜及其制品的原料选择范围,减少因地域或时间的限制而造成的鱼糜产量低的情况发生。加强生产技术研究,将我国的作坊式加工转变为大规模的工业生产。进一步加强优质抗冻剂的研发,有效抑制冷冻鱼糜在冻藏过程中的蛋白变性,提高冷冻鱼糜的产量。

参考文献

[1]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;393.

[2]Ren X Q, Zhuang G, Liao J S, et al. Production, research

(上接第335页)

[18]李国强.食品饮品保健品安全卫生监督管理与检测分析技术标准[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002,1263-1282.

[19]Favaro G, Pastore P, Saccani G, et al. Determination of biogenic amines in fresh and preprocessed meat by ionchromatography and integrated pulsed amperometric detection on Au electrode[J].Food Chemistry,2007,105(4):1652-1658.

[20]Eikelenboom G, Hoving-Bolink A H, Wal P G. The eating quality of pork.1: The influence of ultimate pH [J].Fleischwirtschaft,1996a,76:392-393.

[21]Eikelenboom G, Hoving-Bolink A H, Wal P G. The eating quality of Pork.2: Influence of the intramuscular fat [J].Fleischwirtschaft,1996b,76:517-518.

[22]李雨露,刘丽萍.提高肉制品保水性方法的研究进展[J].食品工业科技,2012(20):398-400.

[23]郭锋.宰后畜禽肌肉组织生化变化及其对肉质的影响[J].中国家禽,2003,25(2):46-47.

[24]张盟.饲养方式对AA鸡屠宰后胸脯肌肉和腿肌肉僵直过程理化特性的影响[J].食品安全质量检测学报,2012,3

situation and development of trehalose [J].Zhengzhou Instit of Technol,2001,22:82-92.

[3]袁勤生.隐生生物中的典型化合物-海藻糖[J].中国生化药物杂志,1999,20(1):48-50.

[4]张娅楠,赵利,刘华,等.水产品的冷冻变性及鱼糜抗冻剂研究进展[J].河南工业大学学报,2011,32(6):88-92.

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

[6]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,2006,7:19-27.

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

[8]Amjad Balange, Soottawat Benjakul. Enhancement of gel strength of bigeye snapper surimi using oxidised phenolic compounds [J].Food Chemistry,2009,113(1):61-70,113.

[9]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.

[10]秦小明,蒙健宗,宁恩创,等.海藻糖在冷冻罗非鱼鱼糜中的抗冻作用研究[J].食品工业科技,2007,28(7):79-81.

[11]谢超,陶莉.抗冻剂在冷冻鱼糜生产中的应用[J].食品与发酵工业,2008,34(9):93-95.

[12]韦航,王荣辉,吴华德.海藻糖抗冻剂对鱼片和鱼丸的保鲜作用[J].畜牧与饲料科学,2010,31(5):89-90.

[13]张静雅,陆剑锋,林琳,等.鲢鱼冷冻鱼糜抗冻剂的复配研究[J].食品科学,2012,33(2):127-132.

[14]何阳春,洪咏平.鱼糜制品弹性与鱼肉凝胶特性研究进展[J].水产科学,2004(6):41-43.

[15]Siddaiah D, Sagarreddy G V, Raju C V, et al. Changes in lipids, proteins and kamaboko forming ability of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) mince during frozen storage [J].Food Research International,2001,34(1):47-53.

(2):92-97.

[25]Yoon KS. Effect of gamma irradiation on the texture and microstructure of chicken breast meat [J].Meat Science,2003,63:273-277.

[26]Patsias A, Badeka AV, Savvaidis IN, et al. Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets [J].Food Microbiology,2008,25:575-581.

[27]Economou T, Pournis N, Ntzimani A, et al. Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life [J].Food Chemistry,2009,114:1470-1476.

[28]Kim Chang R, Marshall Douglas L. Microbiological, colour and sensory changes of refrigerated chicken legs treated with selected phosphates [J].Food Research International,1999,32:209-215.

[29]Mexis S F, Chouliara E, Kontominas M G, et al. Shelf life extension of ground chicken meat using an oxygen absorber and a citrus extract [J].LWT-Food Science and Technology,2012,49:21-27.