

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022224

引用格式:余文晖,王金锋,谢晶.响应面法优化金枪鱼复合冰衣液配比[J].食品与发酵工业,2020,46(3):174-179. YU Wenhui, WANG Jinfeng, XIE Jing. Response surface methodology for optimizing the proportion of tuna compound ice coating solution[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(3):174-179.

响应面法优化金枪鱼复合冰衣液配比

余文晖^{1,3}, 王金锋^{1,2,3}, 谢晶^{1,2,3,4*}

1(上海海洋大学 食品学院,上海,201306) 2(上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心,上海,201306)

3(上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台,上海,201306)

4(上海海洋大学,食品科学与工程国家级实验教学示范中心,上海,201306)

摘 要 为了保持金枪鱼食用品质,延长货架期,利用 Box-Behnend 实验设计响应面法对金枪鱼复合冰衣液进行优化配比,并采用熵权法对持水力、色差和盐溶性蛋白含量计算总评分。建立了以总评分为响应值的二次多项式回归模型,经方差分析和回归拟合,得到复合冰衣液最佳配比质量分数:迷迭香酸 0.3%,乳酸钠 3.4%,竹叶抗氧化物 0.12%。采用最佳配比复合冰衣液对金枪鱼进行镀冰衣处理,贮存 6 个月后测定持水力、蒸煮损失、盐溶性蛋白、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)等指标,对复合冰衣液保鲜效果进行验证。结果表明,相比于对照组,复合镀冰衣组能够抑制微生物生长,有效减缓 TVB-N 值增加,具有更好的持水力、盐溶性蛋白含量和色差值,有效保持金枪鱼的新鲜度。

关键词 响应面法;镀冰衣;迷迭香酸;乳酸钠;竹叶抗氧化物

Response surface methodology for optimizing the proportion of tuna compound ice coating solution

YU Wenhui^{1,3}, WANG Jinfeng^{1,2,3}, XIE Jing^{1,2,3,4*}

1(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

2(Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

3(Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China)

4(National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT In order to keep tuna edible quality and prolong shelf life, response surface methodology (RSM) was used to optimize the ratio of tuna ice-coated liquid. Entropy weight method was used to calculate the total score of water holding capacity, color difference and salt-soluble protein content. A quadratic polynomial regression model with the total score as the response value was established. By variance analysis and regression fitting, the optimum proportion of compound ice coating liquid was obtained, that was, rosmarinic acid 0.3%, sodium lactate 3.4%, and antioxidant of bamboo leaves 0.12%. To verify the freshness preservation effect, tuna was treated with compound ice coating solution with the optimum proportion and stored for six months. The water holding capacity, cooking loss, salt soluble protein and TVB-N were measured. The results showed that compared with the control group, the compound ice-coated group could inhibit the growth of microorganisms, effectively slow down the increase of TVB-N value. Moreover, it has better water holding capacity, salt-soluble protein content and color difference value, and effectively maintains the freshness of tuna.

Key words response surface methodology; ice coating; rosmarinic acid; sodium lactate; bamboo leaf antioxidants

第一作者:硕士研究生(谢晶教授为通讯作者, E-mail: jxie@shou.edu.cn)

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2018YFD0400605);上海市科委科技创新项目(19DZ1207503);上海市科委能力建设项目(19DZ2284000);上海市科委公共服务平台建设项目(17DZ2293400)

收稿日期:2019-09-09, 改回日期:2019-09-28

金枪鱼又名鲔鱼、吞拿鱼,是一种大洋暖水性洄游鱼类,广泛分布于太平洋、印度洋和大西洋低纬度水域^[1]。其肉质鲜美、口感丰富,富含高蛋白低脂肪,具有极高的营养价值,是一种重要的商品食用鱼^[2]。金枪鱼从捕获到市场约需要 30 d,因此金枪鱼捕获之后的保鲜技术和手段十分重要^[3]。镀冰衣保鲜是一种用于冻品贮藏的抗氧化、防止干耗的技术,鱼体冻结后,迅速浸入冰衣液,然后取出,由于鱼体表面过冷,在表面会形成晶莹透亮的冰衣层,以隔绝空气^[4]。

冰衣液种类有多种,张越扬等^[5]研究了酸性电解水冰衣对金枪鱼的品质影响。结果表明,在 -18 ℃ 的冻藏条件下,酸性电解水冰衣能够显著降低金枪鱼中的细菌总数,减缓 TVB-N 值的上升。雷雨田等^[6]将南美白对虾分别镀上水冰衣和茶多酚冰衣,在 -18 ℃ 下冻藏 24 周,测定色差、蒸煮损失率和蛋白质的氧化程度,结果表明,茶多酚冰衣组的南美白对虾色泽和蛋白质等指标都显著优于水冰衣组 and 对照组,但蒸煮损失率指标稍差于水冰衣组。然而,采用单一冰衣液能够显著提升保鲜效果,但效果有限。根据栅栏技术原理,复合冰衣液具有协同效用,能够发挥不同添加剂的保鲜效果,提升保鲜品质。

本文选用了迷迭香酸、乳酸钠和竹叶抗氧化物 3 种保鲜剂进行复配,以持水力、色差和蛋白质综合评分作为评价指标。在单一镀冰衣对金枪鱼保鲜影响的研究基础上,通过响应面法,探究迷迭香酸、乳酸钠和竹叶抗氧化物 3 种保鲜剂的最佳配比浓度,并测定相关指标对保鲜效果进行验证,为金枪鱼复合镀冰衣保鲜的进一步研究提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

实验采用捕捞后超低温速冻后的大目金枪鱼鱼块,大连晨洋科技发展有限公司;迷迭香酸(迷迭香提取物主要成分),生工生物工程(上海)股份有限公司;乳酸钠(食品级),阿拉丁试剂(上海)有限公司;竹叶抗氧化物(食品级),浙江圣氏生物科技有限公司。

H-2050R 型台式高速冷冻离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;Kjeltec 8400 FOSS 全自动凯氏定氮仪,福斯分析仪器(苏州)有限公司;CR-400 型色彩色差计,日本柯尼卡美能达公司;UV-1102 型紫外可见分光光度计,上海天美仪器有限公司。

1.2 实验方法

配制相应浓度的冰衣液,并加入质量分数为 1% 的增稠剂(羧甲基纤维素钠)防止冰衣开裂。将大小均匀、超低温冻藏的金枪鱼鱼块,置于配制好的 4 ℃ 冰衣液中,完全浸泡 10 ~ 15 s 进行镀冰衣处理。在 -18 ℃ 下冻藏 30 d 后,采用静置水解冻,测定持水力、色差和盐溶性蛋白含量。

1.2.1 单因素实验

分别配制迷迭香酸冰衣液(质量分数分别为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)、乳酸钠溶液(质量分数分别为 1%、2%、3%、4%)、竹叶抗氧化物(质量分数分别为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)进行单一镀冰衣实验。

1.2.2 响应面法优化复合冰衣液配比

根据单因素实验结果,以迷迭香酸冰衣液、乳酸钠冰衣液、竹叶抗氧化物冰衣液质量分数 3 个因素为自变量,以持水力、色差值和盐溶性蛋白含量总评分作为响应值,进行 3 因素 3 水平响应面实验,并对实验结果进行验证。

1.2.3 保鲜结果验证及分析

参照实验结果,采用最佳配比复合冰衣液对金枪鱼进行镀冰衣处理,贮存 6 个月后测定持水力、蒸煮损失、色差、盐溶性蛋白含量、TVB-N 指标,与对照组进行对比分析,验证保鲜效果。

1.2.4 指标测定

1.2.4.1 持水力

参照 SAITO 等^[7]的方法并稍作修改,鱼肉解冻后,用滤纸擦干表面的水分,称取 2.00 g 左右的肉块记为 m_1 ,用 2 层纸包好置于离心管中,5 000 r/min,4 ℃ 离心 10 min,精确称量离心后的肉块质量记为 m_2 ,按公式(1)计算持水力。

$$W_1/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.2.4.2 色差

将解冻后的金枪鱼鱼肉切块(规格 1 cm × 1 cm × 2 cm),采用色差仪测定正反两面色差值,每面测定 2 次,采用红度值(a^*)作为肉色变化的判定依据。每次实验进行 3 次取平均值减小误差。

1.2.4.3 盐溶性蛋白质溶解度

参考 NIU 等^[8]的方法测定。

1.2.4.4 蒸煮损失率

参照 LI 等^[9]的方法并稍作修改,取 1 cm × 1 cm × 1 cm 的鱼肉,称重记为 m_2 ,放置于拉链袋中,85 ℃ 下水浴 10 min 后称重记为 m_3 ,蒸煮损失率按照公式(2)计算:

$$W_2/\% = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100$$

(2)

1.2.4.5 TVB-N 值的测定

参考 GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》^[10] 中的分析方法进行测定。

1.2.5 评分

为了综合评价金枪鱼的新鲜程度,本文采用熵权法对持水力、色差和蛋白质计算权重,计算总评分。熵权法是一种客观赋权法,利用信息熵计算各指标的权重,能够正确反映各指标的相互重要程度。熵值法求指标值包含归一化处理,因此不需要对数据进行归一化预处理^[11]。信息熵按照公式(3)计算,其中 m 表示指标数, n 表示数据组数, Y 表示指标的值, E_j 表示该指标的信息熵。

$$E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$$

(3)

式中

$$p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$$

(4)

根据公式(5)计算各指标的权重 W_j 。

$$W_j = (1 - E_j) / \sum_j^m (1 - E_j)$$

(5)

熵表示系统的无序程度,信息熵代表了信息的不确定度。指标的信息熵越小,该指标提供的信息量越大,在综合评价中所起作用越大,计算权重越高,反之计算权重就越低。熵权法计算指标权重按照公式(3)~(5)依次进行计算。

1.3 数据处理方法

通过 Design-Expert 10.0.7 软件进行分析,绘制响应曲面图,得到复合冰衣液最佳浓度配比。其他图形采用 Origin Pro 2016 绘制。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

采用单一镀冰衣的实验方法,将金枪鱼在 -18℃ 贮藏 30 d 后,分别测定其持水力、色差和盐溶性蛋白含量,并采用熵权法进行权重计算。金枪鱼鱼块的持水力、色差和盐溶性蛋白质含量的权重值分别为 0.14、0.43 和 0.43,总评分如图 1 所示。

迷迭香酸是迷迭香的主要提取物之一,通过清除自由基和金属离子而具有一定的还原能力,具有抗氧化的作用^[12]。在迷迭香酸镀冰衣组别中,采用 0.2% 迷迭香酸镀冰衣后的金枪鱼盐溶性蛋白含量最高,色差值和持水力也较好,总评分最高。SHI 等^[13] 采用质量分数 0.2% 迷迭香提取物对虾镀冰衣冻藏

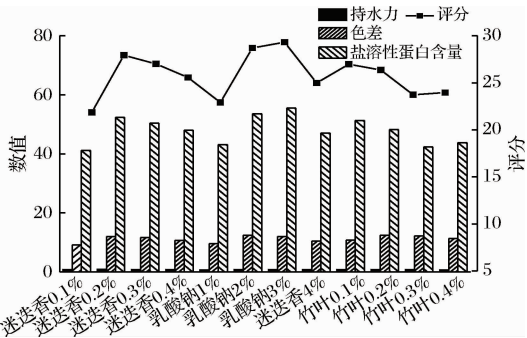


图 1 单一镀冰衣实验结果

Fig. 1 Experimental results of single ice coat

保鲜,也具有最好的效果。乳酸钠能够抑制食物细菌生长,增强风味,延长货架期,广泛应用于食品工业^[14]。采用 3% 乳酸钠镀冰衣后的金枪鱼总评分与质量分数 2% 乳酸钠差距不大,盐溶性蛋白含量明显高于质量分数 2% 的乳酸钠冰衣组。竹叶抗氧化物是一种天然抗氧化剂,富含黄酮、内酯和酚酸类化合物,具有抗脂质氧化、抑菌的作用。随着竹叶抗氧化物浓度的提高,镀冰衣处理后的金枪鱼,蛋白含量逐渐下降并趋于平稳,色差值差距不大,其中质量分数 0.1% 竹叶抗氧化物冰衣液评分最高。

2.2 采用响应面法优化金枪鱼复合镀冰衣配比

2.2.1 复合镀冰衣配比实验方案和因素水平

根据单因素实验结果,利用 Box-Behnken 中心组合实验设计原理,采用 3 因素 3 水平的响应面分析法设计实验,实验因素水平设计如表 1 所示。

表 1 Box-Behnken 实验设计因素和水平 单位: %

Table 1 Box-Behnken experimental design factors and levels

因素	水平		
	-1	0	1
A 迷迭香酸	0.1	0.2	0.3
B 乳酸钠	2	3	4
C 竹叶抗氧化物	0.05	0.1	0.15

2.2.2 响应面分析

具体响应面实验方案与结果如表 2 所示(由 Design-Expert 10.0.7 软件生成),实验共 17 个实验点,13~17 为中心实验点,中心实验点的实验误差较小,均值是 20.81,符合实验要求。

对表 2 中的实验数据进行多元回归拟合后,得 A 迷迭香酸、B 乳酸钠和 C 竹叶抗氧化物浓度对总评分 Y 影响的二次多项回归模型。

表 2 Box-Behnken 试验设计方案及结果

Table 2 Box-Behnken experimental design scheme and results

实验组别	A 迷迭香酸	B 乳酸钠	C 竹叶抗氧化物	评分
1	-1	-1	0	18.75
2	1	-1	0	18.07
3	-1	1	0	19.43
4	1	1	0	20.98
5	-1	0	-1	19.30
6	1	0	-1	18.08
7	-1	0	1	18.67
8	1	0	1	21.02
9	0	-1	-1	16.85
10	0	1	-1	19.77
11	0	-1	1	19.22
12	0	1	1	18.47
13	0	0	0	21.02
14	0	0	0	21.02
15	0	0	0	20.64
16	0	0	0	20.81
17	0	0	0	20.61

$$Y = 20.82 + 0.25 \times A + 0.72 \times B + 0.42 \times C + 0.56 \times A \times B + 0.89 \times A \times C - 0.92 \times B \times C - 0.41A^2 - 1.10 \times B^2 - 1.41 \times C^2$$
 (6)

2.3 模型显著性检验

模型的方差分析结果如表 3 所示。总模型方差显著 ($P < 0.05$), 模型拟合相关度 97.71%。方差失拟项 F 值不显著 ($P = 0.1094 > 0.05$)。该二次回归模型与实际实验拟合较好, 适合复合冰衣液对金枪鱼

新鲜度影响的预测。

表 3 回归模型方差分析

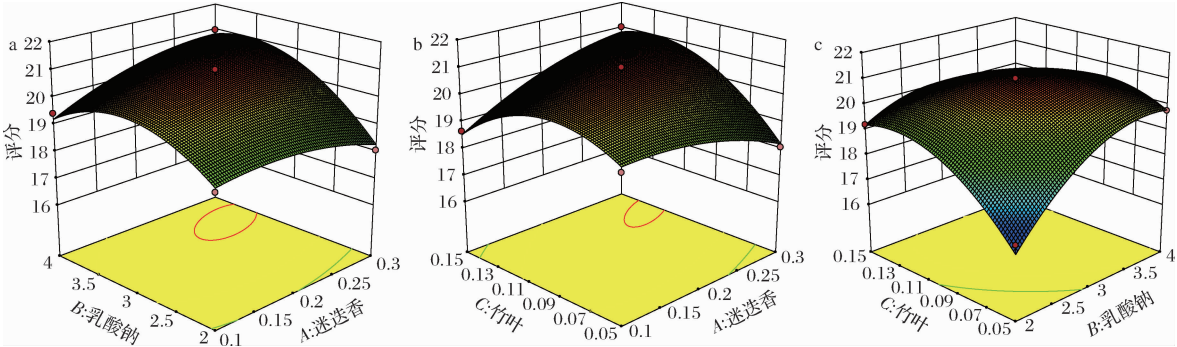
Table 3 Anovariance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	26.22	9	2.91	33.24	<0.000 1
A	0.50	1	0.50	5.75	0.047 6
B	4.13	1	4.13	47.16	0.000 2
C	1.43	1	1.43	16.27	0.005 0
AB	1.24	1	1.24	14.13	0.007 1
AC	3.17	1	3.17	36.21	0.000 5
BC	3.38	1	3.38	38.55	0.000 4
A ²	0.72	1	0.72	8.17	0.024 4
B ²	5.10	1	5.10	58.22	0.000 1
C ²	5.46	1	5.46	62.29	<0.000 1
残差	0.61	7	0.088		
失拟项	0.46	3	0.15	3.94	0.109 4
纯误差	0.16	4	0.039		
总误差	26.83	16			

由表 3 中可以看出, 迷迭香酸、乳酸钠和竹叶抗氧化物质量分数对总评分影响均显著 ($P < 0.05$), 且任意 2 种因素对响应值存在显著的交互作用 ($P < 0.05$)。各个因素对实验结果的重要性由 F 值的检验判定, 概率 P 值越小, 显著性越高^[15]。由表 3 可知各个因素对金枪鱼新鲜度的影响大小为: 乳酸钠 > 竹叶抗氧化物 > 迷迭香酸。

2.4 响应曲面分析及最佳复合冰衣液配比

利用 Design-Expert 10.0.7 软件绘制的模型的三维响应值曲面可以直观看出各因素对响应值的影响。



a-迷迭香酸和乳酸钠;b-迷迭香酸和竹叶抗氧化物;c-乳酸钠和竹叶抗氧化物

图 2 迷迭香酸、乳酸钠和竹叶抗氧化物交互作用对总评分的影响

Fig.2 Response surface for the mutual influences of rosmarinic acid, sodium lactate and antioxidants in bamboo leaves on total score

迷迭香酸具有清除羟自由基的能力, 浓度越高, 清除能力越强^[16]。由图 2-a 可以看出, 随着迷迭香酸浓度的增加, 总体评分上升, 当乳酸钠处在编码范围值 (-1, 0) 时, 两者存在显著的增效作用, 当乳酸钠处在编码范围值 (0, 1) 时, 总评分下降, 这是因为乳酸钠是一种弱酸盐, 高浓度的乳酸钠会导致蛋白质

变性^[17]。竹叶抗氧化物富含黄酮类、内酯类和酚酸类化合物, 能阻断脂肪链自动氧化的链式反应, 清除多种活性氧自由基, 但竹叶抗氧化物颜色呈现黄色或棕黄色, 浓度过高对色差造成一定影响, 因此当竹叶抗氧化物浓度过高时也会造成评分下降。三维响应面图在底面投影成等高线图, 可以反映出每 2 个因素

对响应值变量造成的影响和交互作用的强弱。等高线图呈椭圆形表示交互作用强,呈圆形表示交互作用较弱^[18-19]。由图2等高线可以看出乳酸钠与迷迭香酸和竹叶抗氧化物结合具有很强的协同作用。通过对回归方程的求导和分析,复合冰衣液的最佳成分分配比是迷迭香(0.3%)、乳酸钠(3.4%)和竹叶抗氧化物(0.12%),此时金枪鱼复合镀冰衣的效果最好,预测评分为21.19分。

2.5 复合冰衣液对金枪鱼镀冰衣保鲜效果验证

2.5.1 保水性评定结果

表4 复合镀冰衣对金枪鱼保水性的影响

单位:%

Table 4 Effect of compound ice coating on water retention of tuna

	月份	0	1	2	3	4	5	6
持水力	对照组	82 ± 1.60	81 ± 2.9	77 ± 2.1	72 ± 1.3	66 ± 1.1	59 ± 1.4	51 ± 4.5
	复合镀冰衣	83 ± 1.5	83 ± 3.9	80 ± 6.0	78 ± 1.4	76 ± 3.2	69 ± 1.9	66 ± 2.4
蒸煮损失	对照组	22 ± 0.4	31 ± 1.8	30 ± 2.8	28 ± 4.3	30 ± 2.5	28 ± 2.0	33 ± 3.5
	复合镀冰衣	24 ± 3.2	24 ± 1.3	27 ± 1.0	28 ± 2.1	24 ± 0.6	25 ± 0.4	26 ± 2.4

2.5.2 盐溶性蛋白含量的变化

盐溶性蛋白作为金枪鱼肌肉组织中主要成分,是评判肌肉品质好坏的重要指标^[23-24],如图3所示。在冻藏过程中,由于冰晶的机械作用,导致肌原纤维蛋白破坏,盐溶性蛋白含量下降,盐溶性蛋白含量的变化能够反映出蛋白质的变性程度^[25]。在冻藏过程中,对照组由于直接与空气接触,盐溶性蛋白变性严重。复合镀冰衣具有抗氧化作用,相较于对照组蛋白质下降速度较慢,6个月后下降为26.5 mg/g。

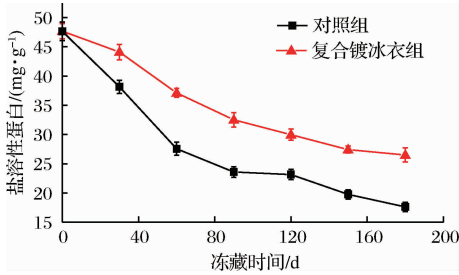


图3 复合镀冰衣对盐溶性蛋白的影响

Fig.3 Effect of compound ice coating on salt soluble protein

2.5.3 色差的变化

贮藏期间金枪鱼复合镀冰衣和对照组的色差变化如图4所示。新鲜金枪鱼呈鲜红色,在贮藏期间由于氧化作用,肌红蛋白会被氧化成高铁肌红蛋白,导致鱼肉褐变,红度值变化^[26]。随着镀冰衣贮藏时间的延长,金枪鱼肉色(a^* 值)呈下降趋势,复合镀冰衣处理后的金枪鱼下降比对照组慢。6个月后,复合镀冰衣组和对照组 a^* 值分别下降至6.2和4。对照组

金枪鱼鱼肉中的水分含量与金枪鱼蛋白质、色泽、质构等紧密相关,蒸煮损失和持水力的变化是衡量金枪鱼新鲜度的重要指标^[20-21]。表4显示了金枪鱼复合镀冰衣和对照组贮藏6个月保水性的变化,可以看出复合镀冰衣的金枪鱼持水力下降远远慢于对照组。随着贮藏时间延长,持水力下降趋势变快,蒸煮损失的整体变化不大,这是由于冻藏过程中盐溶性蛋白变性,破坏了蛋白质周围疏水与亲水结合键,导致蛋白质持水力的下降和鱼肉保水性的丧失^[22]。

的金枪鱼由于高铁肌红蛋白中含有的 Fe^{3+} 在鱼肉中沉积,鱼肉褐变明显^[27]。

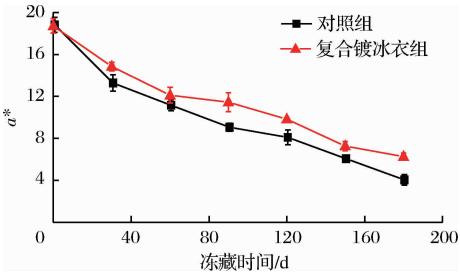


图4 复合镀冰衣对色差的影响

Fig.4 Effect of compound ice coating on color difference

2.5.4 挥发性盐基氮(TVB-N)的变化

在鱼肉贮藏过程中,由于鱼体内部细菌和内源酶的作用,蛋白质在分解过程中会生成含氮物质,即TVB-N^[28]。对金枪鱼TVB-N值的测量,能够反映出金枪鱼的腐败程度,新鲜鱼的TVB-N值在12 mg/100 g左右^[29]。当海水鱼的TVB-N值>30.0 mg/100 g时,即可认为不新鲜^[30]。由图5可以看出,复合镀冰衣处理后的金枪鱼TVB-N值上升明显较对照组缓慢,贮藏6个月后,对照组金枪鱼TVB-N值增加到22.37 mg/100 g,复合镀冰衣组TVB-N增加18.29 mg/100 g。这是由于复合镀冰衣中富含的乳酸钠对细菌具有抑制作用,减缓TVB-N增加。在贮藏初期,TVB-N的值上升较慢,是因为贮藏前期鱼体内源酶活性较低,微生物数量较少,随着内源酶活性增强和微生物数量逐渐增加,TVB-N值在贮藏后期迅速上升^[19]。

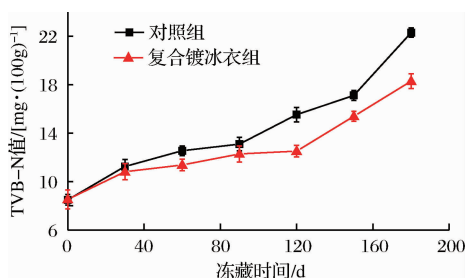


图5 复合镀冰衣对 TVB-N 的影响

Fig.5 Effect of compound ice coating on TVB-N

3 结论

本实验在单因素试验的基础上,选取合适的浓度范围,采用 Box-Behnken 响应面分析法对金枪鱼冰衣液进行复配,对实验数据进行拟合,总模型方差显著 ($P < 0.05$),与预测值均无显著性差异。迷迭香酸和乳酸钠具有明显的交互作用。根据得到的最佳配比(迷迭香酸质量分数 0.2%,乳酸钠质量分数 3.4%,竹叶抗氧化物质量分数 0.12%),并对结果进行了验证。实验表明,采用最佳配比复合镀冰衣后的金枪鱼具有更好的持水力、盐溶性蛋白和色差值,能够显著减少金枪鱼肉色褐变,减缓 TVB-N 增加。迷迭香酸、乳酸钠、竹叶抗氧化物之间具有很强的协同作用,采用最佳配比的复合镀冰衣能够保持金枪鱼的新鲜度,延长金枪鱼的货架期。

参 考 文 献

- [1] 徐慧文,谢晶. 金枪鱼保鲜方法及其鲜度评价指标研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 258-263.
- [2] 徐坤华,赵巧灵,廖明涛,等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 190-197.
- [3] 杨少玲,于刚,戚勃,等. 3 种保鲜剂对金枪鱼冻藏品质的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(6): 91-96.
- [4] 韩志慧,侯柄妹,马丽珍,等. 冷冻防护剂和镀冰衣处理对冷冻革胡子鲶鱼段的品质保护效果[J]. 山西农业科学, 2013, 41(4): 381-386.
- [5] 张越扬,高萌,柳佳娜,等. 酸性电解水冰衣对于冷冻金枪鱼品质的影响研究[J]. 食品工业, 2013, 34(12): 34-37.
- [6] 雷雨田,石径,桂萍,等. 冰衣结合茶多酚对南美白对虾冻藏中品质变化的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(6): 98-105.
- [7] SAITO K, AHMED A M, KAWAHARA S, et al. Effects of humidity-stabilizing sheets on the quality of bigeye tuna meat (*Thunnus obesus*) during refrigerated storage[J]. Food Science and Technology Research, 2009, 15(3): 283-292.
- [8] NIU L, RASCO B A, TANG J, et al. Relationship of changes in quality attributes and protein solubility of ground beef under pasteurization conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(1): 19-24.
- [9] LI D, JIA S, ZHANG L, et al. Effect of using a high voltage elec-

trostatic field on microbial communities, degradation of adenosine triphosphate, and water loss when thawing lightly-salted, frozen common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Journal of Food Engineering, 2017: S0260877417302492.

- [10] 农业部. 食品中挥发性盐基氮的测定: GB 5009. 228—2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [11] 朱喜安,魏国栋. 焯值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策, 2015(2): 12-15.
- [12] 李兆亭,林涛,申基雪,等. 迷迭香对冷鲜肉抑菌及其保鲜作用的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(21): 181-186.
- [13] SHI J, LEI Y T, SHEN H X, et al. Effect of glazing and rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extract on preservation of mud shrimp (*Solenocera melanthero*) during frozen storage[J]. Food Chemistry, 2018: S0308814618314584.
- [14] 罗欣,朱燕. 乳酸钠在牛肉冷却肉保鲜中的应用研究[J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(3): 1-5.
- [15] 姜云北,陶乐仁,梅娜. 响应面法优化软冷冻肉复合保鲜剂的研究[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(1): 11-15.
- [16] 黄丹丹,沈奇,朱秋劲,等. 响应面法优化酶法辅助提取迷迭香酸工艺及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 37-42.
- [17] 张文敏,董庆利,宋筱瑜,等. 乳酸钠对肉及肉制品防腐保鲜作用的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 235-240.
- [18] LIU J Z, WENG L P, ZHANG Q L, et al. Optimization of glucose oxidase production by *Aspergillus niger* in a benchtop bioreactor using response surface methodology[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2003, 19(3): 317-323.
- [19] 施建兵,谢晶,高志立,等. 响应面法优化鲳鱼复合生物保鲜剂配方[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 37-42.
- [20] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520-532.
- [21] 朱文慧,宦海珍,步营,等. 不同解冻方式对秘鲁鲉鱼肌肉保水性和蛋白质氧化程度的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 13-18.
- [22] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, THONGKAEW C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. Food Research International, 2003, 36(8): 0-795.
- [23] 姜晴晴,吴春华,董开成,等. 解冻方式对带鱼蛋白质性质及肌肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 17-27.
- [24] CHAN J T Y, OMANA D A, BETTI M. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat[J]. Food Chemistry, 2011, 127(1): 109-117.
- [25] 杨金生,林琳,夏松养,等. 超低温冻藏对金枪鱼肉质构及生化特性机理研究[J]. 海洋与湖泊, 2015, 46(4): 828-832.
- [26] 李念文,汤元睿,谢晶,等. 物流过程中大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 的品质变化[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 319-323.
- [27] 应丽莎,刘星,周晓庆,等. 肉类产品护色技术研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 291-295.
- [28] 刘爱芳,谢晶,钱颖芳. 冷藏金枪鱼优势腐败菌致腐败能力[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 7-14.
- [29] 杨金生. 金枪鱼肌肉冷藏工艺的研究[D]. 舟山:浙江海洋学院, 2012.
- [30] 中华人民共和国国家标准. GB 2733—2005,鲜、冻动物性水产品卫生标准[S]. 北京:中华人民共和国卫生部, 2005.