

# 响应面法优化南美白对虾虾仁无磷保水工艺

邹明辉<sup>1,2</sup>, 李来好<sup>1,\*</sup>, 郝淑贤<sup>1</sup>, 杨贤庆<sup>1</sup>, 石红<sup>1</sup>, 魏涯<sup>1</sup>, 岑剑伟<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524025)

**摘要:** 利用响应面分析法(RSM)研究氯化钠、海藻糖和褐藻酸钠裂解物质量浓度对南美白对虾虾仁保水性的影响。在单因素试验基础上, 采用 Box-Behnken 中心组合试验, 以氯化钠、海藻糖、褐藻酸钠裂解物质量浓度为影响因素, 以虾仁解冻损失率、蒸煮后感官评分为响应值建立二次回归方程, 通过响应面分析得到优化组合。结果表明: 感官品质与解冻损失率之间存在一定的联系, 感官分值高, 相应的解冻损失率低。无磷保水优化工艺参数: 氯化钠质量浓度 2.5g/L, 海藻糖质量浓度 5.0g/L, 褐藻酸钠裂解物质量浓度 10.0g/L, 在此条件下, 测得虾仁感官分值为 8.2, 解冻损失率为 2.29%。

**关键词:** 响应面法; 无磷保水剂; 南美白对虾虾仁; 保水性

## Optimization of Formulation of a Non-phosphate Water-holding Agent for *Penaeus vannamei* by Response Surface Methodology

ZOU Ming-hui<sup>1,2</sup>, LI Lai-hao<sup>1,\*</sup>, HAO Shu-xian<sup>1</sup>, YANG Xian-qing<sup>1</sup>, SHI Hong<sup>1</sup>, WEI Ya<sup>1</sup>, CEN Jian-wei<sup>1</sup>

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

**Abstract:** In this work, we developed a compound non-phosphate solution consisting of sodium chloride, trehalose and sodium alginate lysate for improving the water-holding capacity of *Penaeus vannamei*. The formulation of the compound solution was optimized via response surface methodology (RSM). On the basis of single-factor investigations, Box-Behnken central composite experiments were made to offer data for the establishment of quadratic regression models for post-cooking sensory evaluation ( $Y_1$ ) and thawing loss rate ( $Y_2$ ) as a function of final concentrations of the above three solutes in mixed solution, and the optimal values of the three variables were determined through response surface analysis. The sensory quality of *Penaeus vannamei* was found to be negatively related to its thawing loss rate. The optimal compound non-phosphate solution contained 2.5 g/L sodium chloride, 5.0 g/L trehalose and 10.0 g/L sodium alginate lysate, and a sensory score of 8.2 and a thawing loss rate of 2.29% were obtained when the solution was used to treat *Penaeus vannamei*.

**Key words:** response surface methodology; non-phosphate additive; *Penaeus vannamei*; water-holding capacity

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)20-0159-07

南美白对虾(*Penaeus vannamei*)壳薄体肥, 肉质鲜嫩, 是一种营养价值极高的对虾产品<sup>[1]</sup>, 由于具有生长速度快、出肉率高、离水成活时间长等特点, 在中国沿海地区进行了大面积养殖推广<sup>[2]</sup>。目前南美白对虾已成为中国养殖面积最广、养殖产量最大的对虾品种之一<sup>[3]</sup>。虾仁是指将鲜虾除去头和外壳后剩下的可食部分, 将之加工成冷冻包装食品成为现代食品加工企业普遍采用的方式之一。但在冷冻贮藏中由于虾肉蛋白质易发生变

性, 随着冷藏时间增加, 虾仁持水性降低, 当解冻和加热时汁液流失增多, 产生失重现象, 从而导致产品的滋味、质地、多汁性和气味等的劣化, 而这些指标决定着肉的烹调和加工产品的最终感官质量, 是消费者选择时的重要衡量指标<sup>[4]</sup>。

在冷冻水产品生产中, 水产品的水分含量和持水性将直接关系到水产品的组织状态、品质, 甚至风味<sup>[5]</sup>。大量研究表明, 添加剂对提高肉的保水性、嫩度, 降

收稿日期: 2010-06-28

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAD94B02); 广东省海洋渔业科技推广专项(A2009001-011(b); A200901B02); 农业部中央级公益性科研院所基本科研项目(2010YD08; 2010TS09)

作者简介: 邹明辉(1985—), 女, 硕士研究生, 主要从事水产品加工与贮藏研究。E-mail: mhzhou1985@126.com

\*通信作者: 李来好(1963—), 男, 研究员, 博士, 主要从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: laihao@163.com

低肉在蒸煮过程中的汁液损失有显著的改善作用<sup>[6-7]</sup>。传统的肌肉保水大多利用磷酸盐或磷酸混合盐作为保水剂；但是过多使用磷酸盐会使食品产生令人不愉快的金属涩味，而且膳食中磷酸盐含量过多会降低机体对钙的吸收，不利于人体健康<sup>[8]</sup>。本实验研究氯化钠、海藻糖、海藻酸钠裂解物等无磷食品添加剂来代替传统磷酸盐，作为南美白对虾虾仁的保水剂，以达到增加虾仁出品率和改良冷冻虾仁品质的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鲜活南美白对虾 广州华润万家超市；氯化钠(分析纯) 广州化学试剂厂；海藻糖(食品级) 南宁中诺生物工程有限责任公司；褐藻酸钠(食品级) 青岛明月海藻有限公司。

### 1.2 仪器与设备

BS124S型电子天平 德国 Sartorius 公司；MDF-U333低温冰箱 日本 Sanyo 公司；N70S制冰机 Castal MAC 公司；海尔 BCD-196T XZ 冰箱 中国青岛海尔公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 褐藻酸钠裂解物的酸法制备<sup>[9]</sup>

取一定量的褐藻酸钠，用适量的蒸馏水溶解，使样品溶液的终质量浓度达到 20.0g/L，加入 HCl 使反应体系中 HCl 浓度为 0.1mol/L，在 80℃水浴反应 6h 后，冷却至室温并用 NaOH 调节 pH 值到中性，过滤除去未裂解的固体颗粒，然后在终体积分数 90% 的乙醇中低温放置过夜，取沉淀冷冻干燥，备用。

#### 1.3.2 样品预处理

挑选鲜活南美白对虾，清洗，去头、尾、壳，得到虾仁。去壳时注意保持虾体的完整性，操作温度保持冰温。

#### 1.3.3 浸泡质量增加率的测定<sup>[10]</sup>

将各种添加剂配制成为一定质量浓度的溶液，将准确称量后的新鲜样品与浸渍液按 1:2.5(m/V)的比例进行处理，浸渍 40min(冰温操作)，并间隔 10min 缓慢搅拌，取出沥干 10min 后准确称量。计算出样品的浸泡质量增加率，实验设 7 个平行，取平均值。

$$\text{浸泡质量增加率} / \% = \frac{m_1 - m}{m} \times 100^{[6]}$$

式中： $m$  为原质量 / g； $m_1$  为浸泡后质量 / g。

#### 1.3.4 解冻损失率的测定<sup>[11]</sup>

将浸泡称量后的样品装入自封袋，平放于铝盘中，然后放入 -35℃冻结柜中速冻至虾体中心温度为 -18℃，随后置于 -18℃的冰柜中冻藏，4d 后取出放入铺有滤纸

的培养皿内，加盖后置于室温下自然解冻，2h 后取出虾仁，用滤纸轻轻拭去虾仁表面的液体后称量。

$$\text{解冻损失率} / \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中： $m_1$  为浸泡后质量 / g； $m_2$  为解冻后质量 / g。

### 1.3.5 感官评价

将解冻后的虾仁沸水蒸煮 2min<sup>[12]</sup>，通过气味、滋味、质地进行评分(表 1)。根据评分小组成员对其敏感程度，确定每项权重分别为 0.2、0.5、0.3，计算加权平均分，其中满分为 10 分，最好为 9~10 分；较好为 6~8 分；较差为 3~5 分；最差为 0~2 分。最后，以蒸煮虾仁分数的平均值为综合感官评定结果。评分小组由经专业培训的 5 人组成。

表 1 感官评价评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards for *Penaeus vannamei*

项目	最好 9~10分	较好 6~8分	一般 3~5分	最差 0~2分
气味	虾香很浓	虾香较浓	虾香淡	没有香味
滋味	很甜, 虾味很浓	较甜, 虾味较浓	略甜, 虾味淡	不甜, 没有味道
质地	肉质爽脆	肉质较脆	肉质稍软(较硬)	肉质绵软(粗糙)

### 1.3.6 单因素试验

以虾仁浸泡质量增加率、解冻损失率及感官评分为指标，分别考察氯化钠、海藻糖、褐藻酸钠裂解物质量浓度对虾仁品质的影响。

### 1.3.7 响应曲面法试验设计

根据单因素试验结果，设计 3 因素 3 水平的响应曲面法试验。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 食盐质量浓度对虾仁保水性的影响

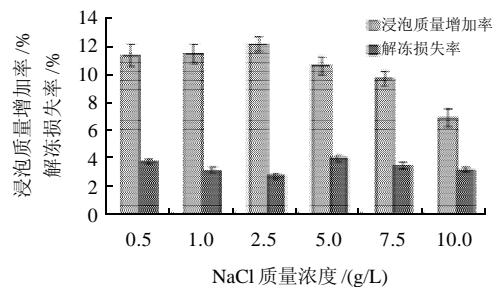


图 1 NaCl 质量浓度对虾仁浸泡质量增加率和解冻损失率的影响  
Fig.1 Effect of sodium chloride concentration on soaking increment percentage and thawing loss rate of *Penaeus vannamei*

分别以不同质量浓度的氯化钠溶液浸泡虾仁，测定

样品的浸泡质量增加率及解冻后失水率的变化比例, 结果见图 1。

从浸泡质量增加的角度来讲, 当氯化钠质量浓度在 0.5~2.5g/L 范围内时, 随氯化钠含量的增加, 虾仁的浸泡质量增加率略有上升, 但当氯化钠质量浓度超过 2.5g/L 时, 浸泡质量增加率明显下降, 这可能是由于外界溶液浓度高于虾体细胞液浓度, 造成细胞失水所导致的; 而虾仁解冻损失率则在质量浓度为 2.5g/L 时达到最小值, 本实验结果与杨芳等<sup>[13]</sup>对阿根廷鱿鱼肌原纤维蛋白及肌肉组织凝胶保水性研究的结果相似。添加氯化钠能够增加虾肉肌原纤维蛋白之间的静电斥力, 使肌原纤维结构松弛, 从而可以提高虾仁保水性。但并非氯化钠添加越多越好, 当添加氯化钠的质量浓度过高, 会造成虾肉脱水, 使保水性降低<sup>[14-15]</sup>。用氯化钠浸泡虾仁 40min 相当于对虾仁进行腌制, 使非溶解状态的蛋白质在氯化钠的作用下转变为溶解态, 即析出性盐溶蛋白, 提高了虾仁的持水能力<sup>[16]</sup>。

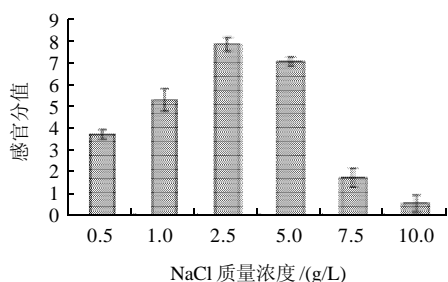


图 2 NaCl 质量浓度对虾仁感官评分的影响  
Fig.2 Effect of sodium chloride concentration on sensory score of *Penaeus vannamei*

由图 2 可得, 随氯化钠溶液质量浓度增加, 感官分值先增大后减小, 当质量浓度为 2.5g/L 时虾仁感官评分达到最高为 8.0, 这可能与较小的解冻损失率有关, 由于解冻损失率小, 细胞失水少, 虾仁营养成分流失少, 因此肉质细嫩, 滋味较其他组鲜美, 感官评分高。

### 2.1.2 海藻糖质量浓度对虾仁保水性的影响

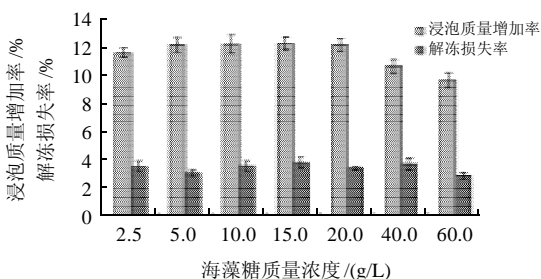


图 3 海藻糖质量浓度对虾仁浸泡质量增加率和解冻损失率的影响  
Fig.3 Effect of trehalose concentration on soaking increment percentage and thawing loss rate of *Penaeus vannamei*

海藻糖具有良好的加工特性, 化学性质稳定, 甜度低, 对食品的风味影响少, 其奇妙功效在于能使生物体在许多异常的情况下(如高温, 脱水和冷冻等)仍保持细胞内湿润, 防止细胞因失水而造成细胞内养分损失, 从而保持生物处于活性状态, 目前已经广泛应用于水产品保水研究<sup>[17]</sup>。

由图 3 可以看出, 海藻糖质量浓度在 2.5~20.0g/L 范围内, 虾仁均有较高的质量增加率, 维持在 11.77%~12.49%, 海藻糖质量浓度对浸泡质量增加率影响不是很大; 当海藻糖质量浓度为 40.0g/L 时, 质量增加效果明显下降, 质量浓度为 60.0g/L 时, 质量增加率仅为 9.8%。解冻损失率随海藻糖质量浓度增加有先下降后上升的趋势, 当质量浓度为 5.0g/L 时, 虾仁保水性最好, 解冻损失率为 3.04%。有研究表明, 海藻糖提高虾仁保水性的机理主要在于糖类分子中的羟基与蛋白质分子的某些基团发生反应, 从而避免蛋白质分子之间的聚集变性。此外, 糖类物质的游离羟基还可增强自由水转化为束缚水的能力, 从而降低“共晶点”温度, 减少冰晶体的形成量, 形成一个不完全冻结区域, 减缓蛋白质分子的相互聚集, 进而防止蛋白质的凝聚变性<sup>[18]</sup>。

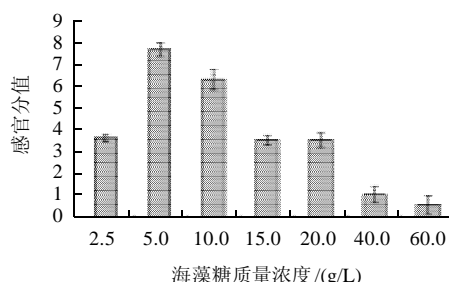


图 4 海藻糖质量浓度对虾仁感官评分的影响  
Fig.4 Effect of trehalose concentration on sensory score of *Penaeus vannamei*

如图 4 所示, 海藻糖浸泡液质量浓度对虾仁的感官评分影响较大, 质量浓度为 2.5g/L 时, 虾仁感官评分为 3.7, 当质量浓度为 5.0g/L 时, 感官分值达到最大值 7.8, 随浸泡质量浓度增大, 感官评分大幅度下降, 质量浓度为 60.0g/L 时, 评分仅有 0.6。

### 2.1.3 褐藻酸钠裂解物质量浓度对虾仁保水性的影响

分别以不同质量浓度的褐藻酸钠裂解物溶液浸泡虾仁, 称量浸泡前后及解冻后样品的质量, 计算样品的浸泡质量增加率及解冻后失水率的变化比例, 结果如图 5 所示。褐藻酸钠裂解物的变化趋势与海藻糖相似, 在 1.0~15.0g/L 范围内, 随浸泡液质量浓度的增加, 虾仁质量增加率和解冻损失率变化不大; 当溶液质量浓度超过 15.0g/L 时, 浸泡质量增加率显著下降, 解冻损失率略有下降。褐藻酸钠裂解物主要为不同相对分子质量的

多糖, 多糖可能能够通过毛细管力等作用渗透到肌肉中, 与蛋白质相互作用, 增加了肌肉纤维间的空间, 使更多的水分进入到肌原纤维结构中; 同时大相对分子质量的多糖可能在虾仁表面形成一层包裹膜, 使渗入的水分更好的保留在肌肉中<sup>[10]</sup>。

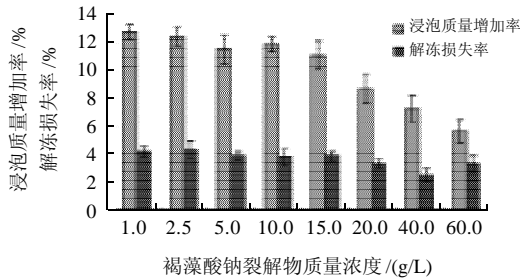


图5 褐藻酸钠裂解物质量浓度对虾仁浸泡质量增加率和解冻损失率的影响

Fig.5 Effect of sodium alginate lysate, concentration on soaking increment percentage and thawing loss rate of *Penaeus vannamei*

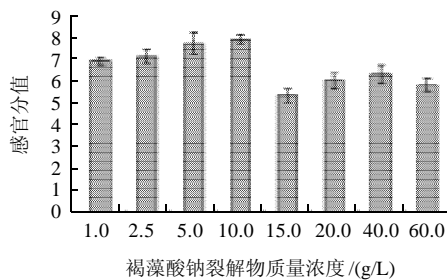


图6 褐藻酸钠裂解物质量浓度对虾仁感官评分的影响

Fig.6 Effect of sodium alginate lysate, concentration on sensory score of *Penaeus vannamei*

如图6所示, 由结果可知感官评分随褐藻酸钠裂解物质量浓度增加, 呈先上升后下降的趋势。质量浓度为1.0~10.0g/L时, 感官评分为7.0~8.0, 当质量浓度为15.0~60.0g/L时, 感官评分为5.4~6.4。

## 2.2 响应面试验设计方案及结果

### 2.2.1 响应曲面试验

响应面法以最经济的方式、较少的试验次数和较短的时间对所选的试验参数进行全面研究。根据单因素试验结果, 选择氯化钠、海藻糖、海藻酸钠裂解物质量浓度3个因素作为响应变量, 以感官评分及解冻损失率作为响应值, 利用Minitab14软件按照Box-Behnken原理进行响应面设计, 优化南美白对虾虾仁无磷保水工艺, 试验因素及水平编码如表2所示。

具体试验设计方案及结果见表3, 共15个试验点, 试验号1~12是析因试验, 试验号13~15是中心试验。15个试验点分为析因点和零点, 零点试验重复3次, 用以估计试验误差。

表2 Box-Behnken 响应面试验设计因素和水平

Table 2 Factors and levels in the Box-Behnken experimental design

水平	因素		
	A 氯化钠/(g/L)	B 海藻糖/(g/L)	C 褐藻酸钠裂解物/(g/L)
-1	0.5	2.5	5.0
0	2.5	5.0	10.0
1	4.5	7.5	15.0

表3 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 3 Box-Behnken experimental design matrix and experimental results

试验号	A	B	C	感官分值 $Y_1$	解冻损失率 $Y_2$ /%
1	0	-1	-1	7.3	2.98
2	-1	0	1	6.1	3.85
3	0	1	1	6.9	2.98
4	0	0	0	8.3	2.21
5	-1	-1	0	5.7	3.95
6	0	-1	1	8.1	2.69
7	0	1	-1	7.3	2.78
8	1	-1	0	6.5	3.43
9	1	0	-1	6.6	3.36
10	1	0	1	6.3	3.58
11	0	0	0	8.4	2.34
12	0	0	0	8.4	2.20
13	-1	1	0	4.9	4.23
14	-1	0	-1	4.5	4.26
15	1	1	0	5.8	4.08

### 2.2.2 无磷保水剂对虾仁感官评分的影响

表4 感官评分回归方程偏回归系数的估计值

Table 4 Estimated values of partial regression coefficients of the regression model for sensory evaluation

项	系数	系数标准误差	t 值	P 值
常量	8.36667	0.10462	79.975	0.000
A	0.50000	0.06406	7.805	0.001
B	-0.33750	0.06406	-5.268	0.003
C	0.21250	0.06406	3.317	0.021
A <sup>2</sup>	-2.08333	0.09430	-22.093	0.000
B <sup>2</sup>	-0.55833	0.09430	-5.921	0.002
C <sup>2</sup>	-0.40833	0.09430	-4.330	0.007
AB	0.02500	0.09060	0.276	0.794
AC	-0.47500	0.09060	-5.243	0.003
BC	-0.30000	0.09060	-3.311	0.021

运用Minitab 数据统计分析软件使用未编码单位对试验数据进行多元回归拟合, 回归模型系数及显著性检验, 可以看出, 3个因素对感官分值影响的排序为氯化钠质量浓度>海藻糖质量浓度>褐藻酸钠裂解物质量浓度, 3个因素的二次项以及氯化钠和褐藻酸钠裂解物质量浓度的交互项极显著地影响虾仁感官评分( $P < 0.01$ ), 海藻糖和褐藻酸钠裂解物质量浓度的交互项对感官评分

有显著影响( $P < 0.05$ ), 而氯化钠和海藻糖交互作用的影响不显著( $P > 0.05$ ), 由此可知, 各影响因素对于虾仁感官评分的影响不是简单的线性关系。

采用逐步回归法得到氯化钠、海藻糖、褐藻酸钠裂解物质量浓度对虾仁感官评分影响的优化方程:

$$Y_1 = 8.37 + 0.5A - 0.34B + 0.21C - 2.08A^2 - 0.56B^2 - 0.41C^2 + 0.025AB - 0.48AC - 0.3BC$$

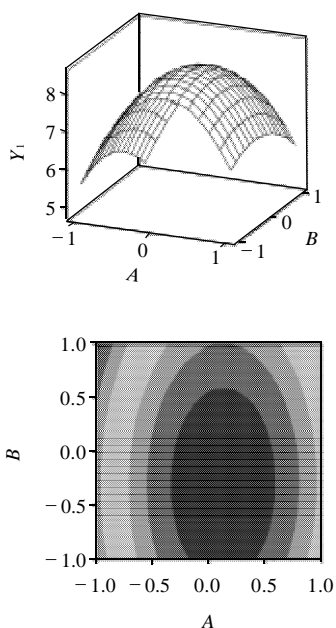
进一步对该回归模型进行显著性检验, 相应数据的方差分析结果见表5, 校正决定系数  $R^2_{Adj}$  为 97.9%, 大于 90%, 说明模型相关度很好,  $P=0.000 < 0.01$ , 回归模型极显著。模型失拟项表示模型预测值与实际值不拟合的概率<sup>[19]</sup>, 表5中, 失拟项  $P=0.060 > 0.05$ , 不显著, 因此证明该模型可以充分地解释响应中的变异, 模型拟合度良好。

表5 感官评分回归模型方差分析

Table 5 Variance analysis for the regression model for sensory evaluation

来源	自由度	连续平方和	调整平方和	校正均方和	F值	P值
回归	9	21.3318	21.3318	2.37020	72.19	0.000
线性	3	3.2725	3.2725	1.09083	33.22	0.001
平方	3	16.7943	16.7943	5.59811	170.50	0.000
交互作用	3	1.2650	1.2650	0.42167	12.84	0.009
残差	5	0.1642	0.1642	0.03283		
失拟	3	0.1575	0.1575	0.05250	15.75	0.060
纯误差	2	0.0067	0.0067	0.00333		
合计	14	21.4960				

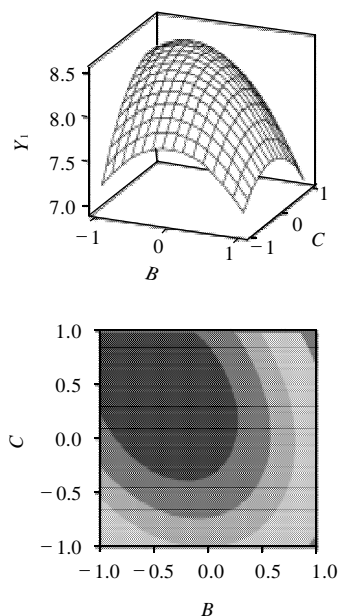
$R^2=99.2\%$                        $R^2_{Adj}=97.9\%$



固定水平:  $C=0$ 。

图7  $Y_1=f(A,B)$ 的响应面与等值线

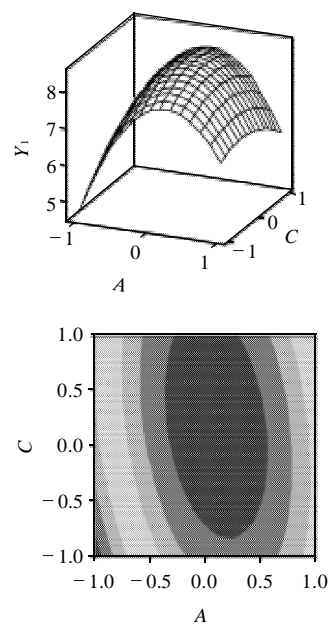
Fig.7 Response surface plot and contour plot of  $Y_1=f(A,B)$



固定水平:  $A=0$ 。

图8  $Y_1=f(B,C)$ 的响应面与等值线

Fig.8 Response surface plot and contour plot of  $Y_1=f(B,C)$



固定水平:  $B=0$ 。

图9  $Y_1=f(A,C)$ 的响应面与等值线

Fig.9 Response surface plot and contour plot of  $Y_1=f(A,C)$

图7~9直观地反映了各因素对响应值的影响趋势。等高线图可以直观地反映两变量交互作用的显著程度, 圆形表示两因素交互作用不显著, 而椭圆形与之相反<sup>[20]</sup>。图7是裂解物质量浓度为 10.0g/L 时, 氯化钠和海藻糖质量浓度对虾仁感官评分的影响图。可以看出随着浸泡液氯化钠和海藻糖质量浓度的增加感官评定的分值呈先升后降的趋势, 其主要原因在于虾肉中氯化钠

含量逐渐升高, 达到一定量时咸淡适宜, 而海藻糖和氯化钠在适宜质量浓度情况下能够降低虾仁解冻损失率, 保持虾仁水分, 增加肉质弹性。图 8 是氯化钠质量浓度为 2.5g/L 时, 海藻糖和裂解物质量浓度对虾仁感官评分的影响图。随着浸泡液海藻糖和裂解物质量浓度的增加感官评定的分值呈先升后降的趋势, 结合单因素试验结果, 可能是由于适宜的裂解物质量浓度能够增加, 虾肉的鲜味。图 9 是海藻糖质量浓度为 5.0g/L 时, 氯化钠和裂解物质量浓度对虾仁感官评分的影响图, 等高线呈椭圆形, 氯化钠和裂解物对感官评分的影响极为显著。

运用 Minitab 软件的响应优化器对试验结果进行优化, 得到模型的最优解: 氯化钠质量浓度为 2.5g/L, 海藻糖质量浓度为 5.0g/L, 褐藻酸钠裂解物质量浓度为 12.8g/L, 预测的感官分值为 8.39, 为了检测该模型预测值的可靠性, 研究中按此优化条件进行了 3 次重复实验, 得到真实平均值为 8.4。

2.2.3 无磷保水剂对虾仁解冻损失率影响

表 6 解冻损失率回归方程偏回归系数的估计值

Table 6 Estimated values of partial regression coefficients of the regression model for thawing loss rate

项	系数	系数标准误差	t 值	P 值
常量	2.25000	0.09413	23.904	0.000
A	-0.23000	0.05764	-3.990	0.010
B	0.12750	0.05764	2.212	0.078
C	-0.03500	0.05764	-0.607	0.570
A <sup>2</sup>	1.28875	0.08485	15.189	0.000
B <sup>2</sup>	0.38375	0.08485	4.523	0.006
C <sup>2</sup>	0.22375	0.08485	2.637	0.046
AB	0.09250	0.08152	1.135	0.308
AC	0.15750	0.08152	1.932	0.111
BC	0.12250	0.08152	1.503	0.193

表 7 解冻损失率回归模型方差分析

Table 7 Variance analysis for the regression model for thawing loss rate

来源	自由度	连续平方和	调整平方和	校正均方和	F 值	P 值
回归	9	7.23047	7.23047	0.80339	30.23	0.000
线性	3	0.56305	0.56305	0.18768	7.06	0.030
平方	3	6.47395	6.47395	2.15798	81.19	0.000
交互作用	3	0.19347	0.19347	0.06449	2.43	0.181
残差	5	0.13290	0.13290	0.02658		
失拟	3	0.12070	0.12070	0.04023	6.60	0.134
纯误差	2	0.01220	0.01220	0.00610		
合计	14	7.36337				

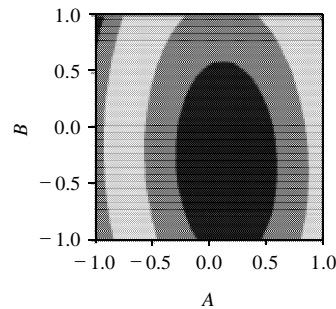
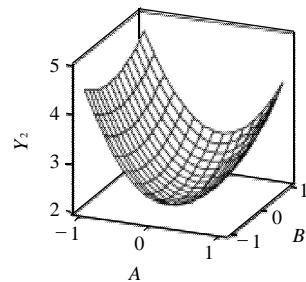
$R^2=99.0\%$        $R^2_{Adj}=97.2\%$

由表 6、7 可以看出, 氯化钠的一次项和二次项均对虾仁解冻损失率的影响极显著( $P < 0.01$ ), 海藻糖仅以二次项形式显著影响解冻损失率( $P < 0.01$ ); 裂解物对虾仁解冻损失率的影响显著( $P < 0.05$ ), 而海藻糖一次项以

及 3 因素的交互项对解冻损失率的影响不大, 这与方差分析表中交互作用检验结果一致, 方差分析表中交互作用的 P 值为 0.181 大于 0.05, 交互作用不显著。校正决定系数  $R^2_{Adj}$  为 97.2%, 大于 90%, 说明模型相关度很好, 失拟项  $P=0.134 > 0.05$ , 不显著, 因此证明该模型可以充分地解释响应中的变异, 模型拟合度良好。

采用逐步回归法得出氯化钠、海藻糖和裂解物质量浓度对虾仁解冻损失率的回归方程, 方程如下:

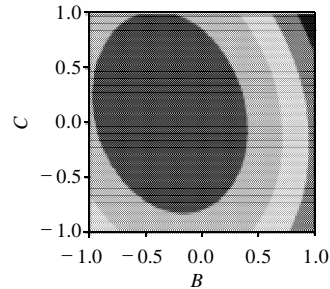
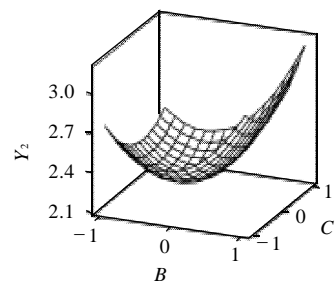
$$Y_2 = 2.25 - 0.23A + 0.13B - 0.035C + 1.29A^2 + 0.38B^2 + 0.22C^2 + 0.093AB + 0.16AC + 0.12BC$$



固定水平: C=0。

图 10  $Y_2=f(A,B)$  的响应面与等值线

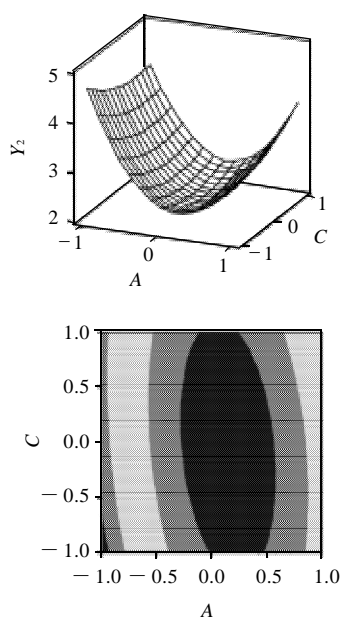
Fig.10 Response surface plot and contour plot of  $Y_2=f(A,B)$



固定水平: A=0。

图 11  $Y_2=f(B,C)$  的响应面与等值线

Fig.11 Response surface plot and contour plot of  $Y_2=f(B,C)$



固定水平:  $B=0$ 。

图 12  $Y_2=f(A,C)$  的响应面与等值线

Fig.12 Response surface plot and contour plot of  $Y_2=f(A,C)$

运用 Minitab 软件, 依据回归模型方程绘制分析图, 直观地反映出各因素交互作用对响应值的影响。图 10~12 显示了各影响因素对解冻损失率的影响效果。可以看出随着氯化钠质量浓度的增加, 虾仁解冻损失率明显先下降后升高; 而海藻糖和裂解物质量浓度的增加则对解冻损失率的影响不明显, 变化幅度较小。为了进一步求得各因素的最佳条件组合, 使得解冻损失率最小, 对回归方程进行数学处理, 偏导求零后的极值方程组求解得到的优化条件为氯化钠质量浓度为 2.5g/L, 海藻糖质量浓度为 5.0g/L, 褐藻酸钠裂解物质量浓度为 10.0g/L, 预测的解冻损失率为 2.25%, 为了检测该模型预测值的可靠性, 研究中按此优化条件进行了 3 次重复试验, 得到真实平均值为 2.29%, 感官评分为 8.2。

### 3 结 论

本实验通过 Box-Behnken 的中心组合设计响应面法建立了 3 个影响因素(氯化钠质量浓度、海藻糖质量浓度、褐藻酸钠裂解物质量浓度)与两个响应值(感官评分、解冻损失率)相互作用的数学模型, 得出感官评分较高时的无磷保水剂最佳参数: 氯化钠质量浓度 2.5g/L, 海藻糖质量浓度 5.0g/L, 褐藻酸钠裂解物质量浓度 12.8g/L, 预测的感官分值为 8.39; 解冻损失率较低时的无磷保水剂最佳参数: 氯化钠质量浓度 2.5g/L, 海藻糖质量浓度 5.0g/L, 褐藻酸钠裂解物质量浓度 10.0g/L, 预测的解冻

损失率为 2.25%。感官评分与解冻损失率之间存在一定的联系, 感官分值高, 相应的解冻损失率较低, 虾肉的适当失水可以增加肉的弹性和韧性, 但过分失水会使虾肉变硬, 口感下降, 并且增加加工成本<sup>[9]</sup>。从经济效益以及原料制备角度考虑, 褐藻酸钠裂解物质量浓度确定为 10.0g/L, 在此条件下, 冷冻虾仁具有较好的感官评分以及较低的解冻损失率, 分别为 8.2 和 2.29%。

### 参 考 文 献:

- [1] 石红, 郝淑贤, 李来好, 等. 即食半干虾仁加工技术研究[J]. 南方水产, 2010, 6(2): 41-45.
- [2] 艾红, 黄巧珠, 徐泽智, 等. 世界对虾生产及其贸易特征分析[J]. 南方水产, 2008, 4(6): 113-119.
- [3] 曾党胜. 南美白对虾的淡水适应性试验[J]. 水产科技情报, 2000, 27(5): 34-35.
- [4] 吕冰, 张静. 肉制品保水性的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(4): 23-26.
- [5] 邹明辉, 李来好, 郝淑贤, 等. 凡纳滨对虾虾仁在冻藏过程中品质变化研究[J]. 南方水产, 2010, 6(4): 37-42.
- [6] VAUDAGAN S, PAZOS A, GUIDI S, et al. Effect of salt addition on *sous vide* cooked whole beef muscles from Argentina[J]. Meat Science, 2008, 79(3): 470-482.
- [7] GRIGIONI G, LANGMAN L, SZERMAN N. Effect of whey protein concentrate and sodium chloride concentrations on the odour profile of *sous vide* cooked whole-muscle beef from Argentina[J]. Meat Science, 2008, 79(3): 568-575.
- [8] STEINHAEUER J. Food phosphates for use in the meat, poultry and seafood industry[J]. Dairy and Food Sanitation, 1983, 3(7): 244-247.
- [9] 冯慧. 多聚磷酸盐在冷冻罗非鱼肉中的水解以及水产品无磷保水剂的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [10] 高瑞昌. 鲮鱼中多聚磷酸盐水解机理及无磷保水剂的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [11] 俞裕明, 李泮生, 朱志伟. 不同冻结速率对南方鲈冷冻鱼片理化和感官品质的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 350-355.
- [12] 王素华, 陈积明, 朱海. 凡纳滨对虾熟虾仁的工艺研究及保藏特性分析[J]. 南方水产, 2010, 6(2): 77-80.
- [13] 杨芳, 吴永沛, 陈梅香, 等. 阿根廷鱿鱼肌原纤维蛋白及肌肉组织凝胶保水性研究[J]. 水产科学, 2008, 27(8): 386-389.
- [14] 李继红, 彭增起. 温度、盐浓度和 pH 对盐溶蛋白热诱导凝胶影响的研究[J]. 肉类工业, 2004(4): 39-40.
- [15] PATERSON B, PANFISH F, STROMER M, et al. Effect of salt and pyrophosphate on the physical and chemical properties of beef muscle[J]. J Food Sci, 1988, 53(3): 1258-1265.
- [16] 景慧. 羊肉无磷保水剂和粘结剂的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [17] 蒙健宗, 赵文报. 海藻糖的性质及其在新型食品开发中的应用[J]. 2005, 26(6): 281-283.
- [18] 何芸, 姚开, 贾冬英, 等. 抗肉蛋白冷冻变性机理的研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2007, 29(2): 36-39.
- [19] RASTOGI N, RASHMI K. Optimization of enzymatic liquefaction of mango pulp by response surface methodology[J]. Eur Food Res Technol, 1999, 209: 57-62.
- [20] 代文亮, 程龙, 陶文沂, 等. 响应面法在紫杉醇产生菌发酵前体优化中的应用[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(11): 66-72.