

蟹粉狮子头加工及冻融品质的保持

陈来欣^{1,2}, 陈杭君², 吴伟杰², 穆宏磊², 刘瑞玲², 房祥军², 王冠楠²,
牛犇², 陈慧芝², 郜海燕^{3*}, 韩延超^{2*}

¹浙江万里学院 生物与环境学院 浙江宁波 315100

²浙江省农业科学院食品科学研究所 杭州 310021

³全省生鲜食品智慧物流与加工重点实验室 杭州 310021)

摘要 为获得蟹粉狮子头最优配方及其冻融过程品质保持技术,在单因素实验基础上,通过 Box-Behnken 试验设计,进行响应面法优化,以改进蟹粉狮子头制作工艺与配方。研究不同浓度海藻酸钠(SA)冰釉溶液对蟹粉狮子头的冰釉率、透射率、水蒸气渗透率和水溶性的影响,以及 3 种处理方法(无涂层、去离子水冰釉和 0.020 g/mL SA 冰釉)的蟹粉狮子头在冻融循环中的品质变化。结果表明,蟹粉狮子头最佳工艺条件为生姜汁、蟹粉和食盐添加量分别为 4.9%,2.4%,2.0%。此工艺条件下狮子头硬度 22.89 N,感官评分 37.56,蒸煮损失率 5.67%,富有弹性,形状饱满,色泽诱人。0.020 g/mL SA 冰釉溶液最适于蟹粉狮子头的品质保持。7 次 Freeze-thaw(F-T)循环后,与对照相比,冰釉 0.020 g/mL 样品解冻损失和挥发性碱氮值分别下降了 25.54%和 35.67%,咀嚼性和弹性分别提高了 47.37%和 42.86%。结论:0.020 g/mL SA 冰釉可有效抑制冰晶的形成,减少水分流失,同时最大限度地减少对肉质地的破坏,从而提高蟹粉狮子头的质量。

关键词 蟹粉狮子头; 冻融品质; 海藻酸钠

文章编号 1009-7848(2026)01-0176-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2026.01.016

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)起源于黄海沿岸河流,是全球主要的水产养殖种类之一。根据联合国粮农组织渔业和水产养殖部统计,自 2005 年以来,其消费量在所有蟹类中最高^[1]。其中,蟹粉狮子头作为淮扬菜系的代表,比一般的肉丸体型偏大,味道鲜香。采用传统方式制作狮子头,常常出现腥味过重、质地松散等问题。为获得品质稳定的狮子头,工艺优化研究成为热点,主要包括肥瘦肉的比例^[2]、辅料种类及添加量^[3]、烹饪方式及时长^[4]等。食盐、蟹粉和生姜汁的添加量对蟹粉狮子头风味与质地有较大影响,目前未见相关研究报告。

蟹粉是蟹粉狮子头的重要原料,易加重菜品的腥味,引起腐败变质^[5-6]。为解决这些难题,冷链运输成为常用方法。然而,冷链不稳定会导致蟹粉狮子头在分销、贮存和销售过程中发生多次冻融循环^[7]。冷冻过程中冰晶生长和解冻过程中微生物

繁殖会严重影响产品品质和口感^[8]。冰釉技术是重要的冷冻预处理方法,通过喷洒或浸泡,在产品表面形成冰层,此方法被广泛用于水产品^[9]。有研究报告,将天然多糖融入冰釉,能够有效提高冰釉的附着力,防止冷冻产品在冻结过程中变质^[10]。目前,壳聚糖^[11]、海藻酸钠(SA)^[12]和角叉菜胶^[13]等多糖均被用于可食用涂膜或冰釉,以减缓肉质劣变^[14-15]。然而,针对蟹粉狮子头的冰釉技术还有待探索。

SA 因低成本、高水溶性、高黏度、高结合钙离子的能力以及较好的形成三维网状结构的能力,成为食品工业上研究广泛的多糖之一^[16]。此外,SA 对氧气、二氧化碳和水分子等具有阻隔能力,常被作为冰釉溶液的重要成分,可以有效抑制水产品品质劣变^[17]。虽然 SA 目前被广泛应用在鸡肉^[10]、贝类^[12]、猪肉^[18]、鱼类^[17]的品质保持中,但是有关其在乳化肉制品,如蟹粉狮子头中的应用还未见报道。本研究采用响应面法优化蟹粉狮子头工艺配方,探究 SA 冰釉溶液对速冻蟹粉狮子头品质的影响,为该类产品冻融品质保持提供技术支持。

收稿日期: 2025-01-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2100504)

第一作者: 陈来欣,女,硕士

通信作者: 郜海燕 E-mail: spsghy@163.com

韩延超 E-mail: hanhanzhixing@126.com

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

猪肉、蟹粉、生姜、淀粉、食盐、大豆油等调味料,杭州东新农贸市场;无水乙醇、氯化钾、三氯乙酸、磷酸、酒石酸钾钠、五水硫酸铜、浓硫酸、盐酸、硫代巴比妥酸、氯化镁、磷酸二氢钾、Triton X-100、氯仿、磷酸氢二钾(均为分析纯级),上海凌峰化学试剂有限公司;2,6-二叔丁基对甲酚,上海麦克林生化科技有限公司;营养琼脂,北京索莱宝科技有限公司;3,6-二氧杂-1,8-辛二胺四乙酸,上海阿拉丁生化科技有限公司;总挥发性盐基氮检测试剂盒,山东三体仪器有限公司。

电子天平,瑞士 METTLER TOLEDO 公司;温度记录仪,厦门创胜网络科技有限公司;质构仪,英国 Stable MicroSystem 公司;高速冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司;HH-1 型数显电热恒温水浴锅,上海启前电子科技有限公司;多功能酶标仪,瑞士 TECAN 公司;pH 计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;高速匀浆机,上海维城仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 蟹粉狮子头制备基本方法 取猪肉瘦肉与肥肉部分切碎,以 8:2 的质量比混合均匀,加入蟹粉、食用盐、生姜汁、质量分数 1% 的大豆油及质量分数 5% 的玉米淀粉,搅拌机搅打 10 min 后挤压成丸。

1.2.2 单因素实验和响应面法优化试验 为获得蟹粉狮子头配方,单因素实验方法设置如下:固定蟹粉添加量 2.0%,生姜汁添加量 5.0%,测定食盐添加量(0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%)的影响;固定食盐添加量 1.5%,生姜汁添加量 5.0%,测定蟹粉添加量(0%, 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%)的影响;固定食盐添加量 1.5%,蟹粉添加量 2.0%,测定生姜汁添加量(3.0%, 4.0%, 5.0%, 6.0%, 7.0%)的影响,每个处理组设置 4 个重复。

根据 Box-Bohnken 设计方法,做 3 因素 3 水平的响应面法优化蟹粉狮子头工艺研究(见表 1),以感官评分、硬度及蒸煮损失率为响应值,建立二次响应面分析模型。

1.2.3 海藻酸钠(SA)质量浓度的筛选 SA 溶液制备:不同质量 SA 缓慢加入到不断搅拌的蒸馏水

表 1 响应面分析因素水平表

Table 1 Response surface analysis factor level table

水平	因素		
	食盐添加量/ %	蟹粉添加量/ %	生姜汁添加 量/%
1	1.0	1.0	4.0
2	1.5	2.0	5.0
3	2.0	3.0	6.0

中。用磁力搅拌器搅拌过夜,溶解成透明均匀的状态后,配制成质量浓度为 0.010, 0.020, 0.030 g/mL 的 SA 溶液备用。

冰釉率:参考 Kim 等^[19]方法进行修改。称重样品质量为 M_1 ,浸入不同质量浓度的 SA 溶液中,然后取出干燥并称重记为 M_2 ,平行测定 3 次。

$$\text{冰釉率}(\%) = (M_2 - M_1) / M_2 \times 100 \quad (1)$$

水蒸气渗透率(WVP):根据《塑料薄膜与薄片水蒸气透过性能测定 杯式增重与减重法》(GB 1037—1988)^[20]。将不同质量浓度 SA 冰釉切成 2 cm × 2 cm 的正方形,用密封膜封于离心管中,并在密闭条件下称重。

$$\text{WVP}[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{d})] = (\Delta m \times d) / (A \times \Delta P \times \Delta t) \quad (2)$$

式中: Δm 为无水 CaCl_2 的质量差,kg; d 为冰釉厚度,m; A 为冰釉面积, m^2 ; ΔP 为冰釉内、外两侧的水蒸气压,Pa; Δt 为测量时间,d。

水溶性:根据 Liu 等^[21]方法测定 SA 冰釉的水溶性,将不同浓度的 SA 冰釉切成小块,于 105 °C 下干燥 2 h 后称重,记为 M_3 。将其完全浸入蒸馏水中,用磁力搅拌机常温搅拌 24 h,过滤后,将不溶物于 105 °C 干燥 2 h 后称重,记为 M_4 。

$$\text{水溶性}(\%) = (M_3 - M_4) / M_3 \times 100 \quad (3)$$

1.2.4 蟹粉狮子头冻融试验 将样品随机分为 3 组:1) 无涂层组(Control);2) 去离子水处理组(CW);3) 涂有 0.020 g/mL SA 组(SA2)。将蟹粉狮子头(约 30 g)包裹在透气聚乙烯(PE)保鲜膜(初始相对湿度:50%,气压:101 kPa)中,然后将 3 组样品置于密封的 PE 自密封袋中,并在 -30 °C 下放置 24 h。随后将样品从冰箱中取出,并迅速去除保鲜膜。Control 直接包装,不经任何处理;CW 样品将表面黏液用去离子水冲洗,然后在室温下沥干 3 min。SA2 组,将蟹粉狮子头浸入不同质量浓度

SA 溶液(4 ℃)中 2 min,并在预灭菌的金属网上排出 3 min,然后浸入 20 g/L CaCl₂ 中 22 min,SA 涂层的厚度约为 0.2 mm。然后将样品在室温下排干 3 min。随后,将样品在-18 ℃的冰箱中放置 7 d,并在 4 ℃环境中解冻 4 h。用温度记录仪实时监测蟹粉狮子头的温度,直到中心温度达到约 2 ℃,代表完成 1 个 F-T 循环。连续重复 1,3,5,7 个 F-T 循环。每组随机选择 4 个样品进一步分析。

1.2.5 持水力(WHC)测定 离心失重率测定:参照 Trespalacios 等^[22]方法,准确称取 3 g 样品记为 M_5 ,用滤纸包裹样品后放于离心管中,在 5 000 r/min 条件下离心 5 min,用滤纸沥干表面水分称其质量记为 M_6 ,通过公式(4)计算离心失重率。

$$\text{离心失重率}(\%) = (M_5 - M_6) / M_5 \times 100 \quad (4)$$

解冻损失:参考 Mortensen 等^[23]的方法测定解冻损失。冷冻样品(M_7)在 4 ℃解冻 12 h,直到中心温度达到 0 ℃并再次称重(M_8)。狮子头的解冻损失由公式(5)计算:

$$\text{解冻损失}(\%) = (M_7 - M_8) / M_7 \times 100 \quad (5)$$

蒸煮损失:按照 Zhou 等^[24]的方法测定蒸煮损失,并稍作修改。称量解冻的蟹粉狮子头(M_9),并手动放入聚酰胺塑料蒸煮袋中。水浴加热直到狮子头的中心温度达到 75 ℃。将样品迅速取出,沥干,称重(M_{10})。蒸煮损失由公式(6)计算:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (M_9 - M_{10}) / M_9 \times 100 \quad (6)$$

1.2.6 质构测定 解冻后的蟹粉狮子头煮熟 6 min,参考 Li 等^[25]方法测定,将样品置于物性分析仪上,选用平底圆柱形探头 P/100 测定硬度、弹性和咀嚼性。测试条件为测前速度 5 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 5 mm/s;停留间隔 5 s,触发力 5 g,压缩程度 50%(8 mm)对样品进行轴向压缩。

1.2.7 感官评价 在 Pan 等^[26]方法基础上进行修改,如表 2 所示。将样品蒸制 6 min 后冷却至室温。由浙江省农业科学院食品研究所 10 名训练有素的成员组成的感官评价小组,对蟹粉狮子头的感官品质进行评估。所有样本均使用 3 个随机数编码,并以随机顺序提供给小组成员。在样品之间,小组成员用水清洁味觉。

1.2.8 菌落总数(TVC) 按照 He 等^[27]的方法测定,稍作修改。取 5.0 g 剪碎的蟹粉狮子头,在 45 mL 无菌生理盐水中匀浆 60 s,用十倍稀释法取上

表 2 感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standards		
评价指标	感官描述	评分
色泽	有光泽,正常肉色	9~10
	光泽较暗淡,肉色比较正常	7~9
	光泽暗淡,肉色发白	5~7
	无光泽,肉色苍白	1~5
气味	气味正常,无异味	9~10
	略有氨味或酸味或蟹粉腥味	7~9
	酸味或氨味或蟹粉腥味较重	5~7
	有浓烈腐败气味或蟹粉腥味	1~5
表面组织状态	表面微干,不粘手	9~10
	外表干燥或少量渗出液	7~9
	比较粘手或有较多渗出液	5~7
	表面出现菌斑或大量渗水	1~5
总体可接受性	可接受度高	9~10
	可接受度较高	7~9
	可接受度一般	5~7
	不能接受	1~5

清液,最后取相应的稀释浓度接种到平板计数琼脂上,然后将平板在 37 ℃下孵育 48 h 并计数。

1.2.9 氧化特征指标 硫代巴比妥酸反应物质(TBARS)通过 Li 等^[25]方法进行评估。总挥发性盐基氮(TVB-N)采用比色法测定。

1.2.9 pH 值 根据 Shi 等^[28]方法测定样品的 pH 值。

1.2.10 统计分析 应用 SPSS 22 软件进行方差分析,显著性分析应用 Duncan 法进行组间多重比较,显著性水平 $P < 0.05$ 表示显著,利用 GraphPad Prism 8.0 软件绘图。

2 结果与分析

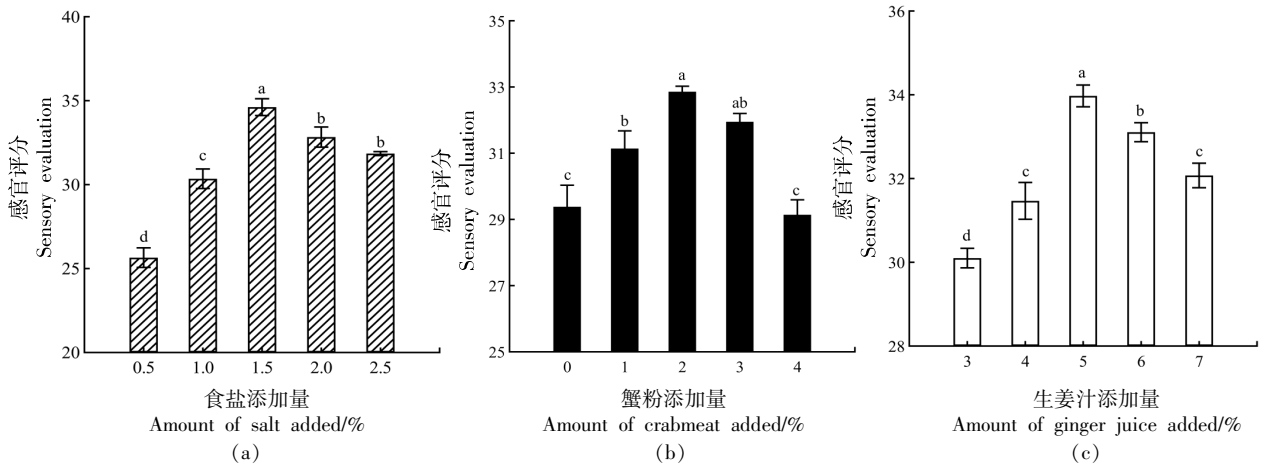
2.1 单因素和响应面法优化蟹粉狮子头加工工艺

2.1.1 不同因素对蟹粉狮子头感官评价的影响 如图 1a 所示,在食盐添加量为 0.5%~2.5% 范围内,随着食盐添加量的增加,感官评分先增加后降低,食盐添加量为 1.5% 时,感官评分最高,食盐添加量超过 1.5% 时,感官评价呈下降趋势。因此,后续试验中食盐添加量为 1.0%~2.0%。

根据图 1b 可知,随蟹粉添加量的增加,狮子头的感官评分呈先增后降的趋势,这可能是由于

添加适量蟹粉可增加产品的风味,从而提高其感官评分;而添加过量蟹粉会导致腥味加重,影响感官评分,故选取蟹粉添加量为 1.0%~3.0%进行后续试验。

由图 1c 可知,随着生姜汁添加量的增加,狮子头感官评分呈先增加后降低的趋势。综合考虑产品质量,选择生姜汁的添加量为 4.0%~6.0%进行后续试验。



注:不同小写字母表示有显著性差异($P < 0.05$)。

图 1 不同因素对蟹粉狮子头感官评价的影响

Fig.1 Influence of different factors on the sensory evaluation of crab meatballs

2.1.2 响应面模型的建立与分析 响应面优化蟹粉狮子头的 Box-Behnken 试验结果如表 3 所示,对结果进行二次多元回归拟合后,感官评分(Y_1)、硬度(Y_2)、蒸煮损失率(Y_3)对食盐添加量(A)、蟹粉添加量(B)和生姜汁添加量(C)的二次多元回归拟合方程如下:

$$Y_1 = -96.27175 + 34.366A + 10.69075B + 37.47625C + 1.28AB - 0.88AC - 0.0275BC - 9.797A^2 - 3.02175B^2 - 3.56675C^2; R^2 = 0.9914, \text{校正决定系数 } R^2_{\text{adj}} = 0.9803.$$

$$Y_2 = -60.2655 + 21.556A + 6.692B + 23.4325C + 0.7957AB - 0.555AC - 0.0175BC - 6.137A^2 - 1.88925B^2 - 2.22925C^2; R^2 = 0.9914, \text{校正决定系数 } R^2_{\text{adj}} = 0.9803.$$

$$Y_3 = 5.14425 + 1.8315A + 0.27925B - 0.39C - 0.07AB + 0.055AC + 7.5 \times 10^{-3}BC - 0.648A^2 - 0.052B^2 + 0.0305C^2; R^2 = 0.9627, \text{校正决定系数 } R^2_{\text{adj}} = 0.9147.$$

结果表明,各试验模型的拟合情况非常良好,均达到显著水平($P < 0.001$),说明实际结果与预测值之间保持着很高的一致性,进一步也验证了模型的可靠性。在感官评分方面,失拟项并未表现出显著性($P = 0.4155$),而在变量 B 、 C 、 AB 、 AC 的

况下,则表现出显著性($P < 0.05$),同时对于 A 、 BC 、 A^2 、 B^2 、 C^2 的结果则极为显著($P < 0.01$),显示出这些因素显著影响了感官评分。对影响强度的分析结果表明,3 种因素对感官评分的影响依次为 A 、 C 、 B ,其中因素 A 的影响最大。在蟹粉狮子头的硬度模型中,失拟项同样没有显著性体现($P = 0.4148$)。在因素 B 、 C 、 AB 、 AC 的条件下,观察到显著性表现($P < 0.05$),而对于 A 、 A^2 、 B^2 、 C^2 则体现出极显著性($P < 0.01$)。这表明 3 种因素对狮子头的硬度影响同样显著,且影响强度的顺序与感官评分的结果一致,也是 A 、 C 、 B 。因此,可以得出结论,试验结果表明 3 种因素对感官评分和狮子头硬度的影响均具有显著性,其中各因素影响的大小依次为 A 、 C 、 B 。

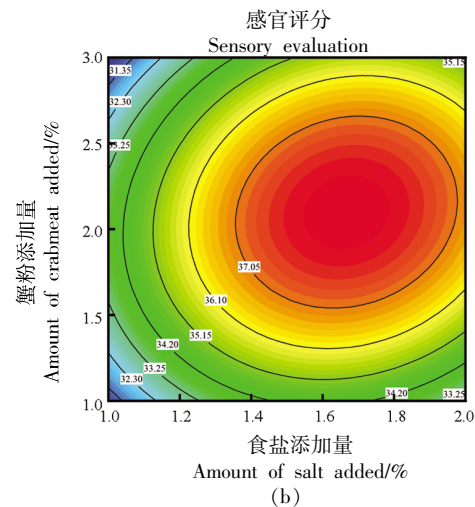
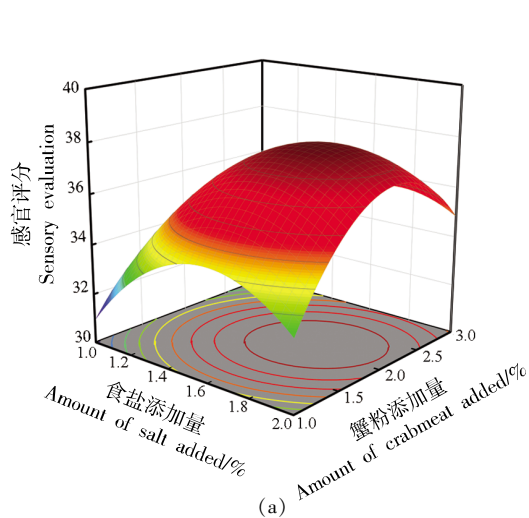
蟹粉狮子头蒸煮损失率模型中失拟项 $P = 0.6034 > 0.05$,表明失拟项不显著,且 A 、 B 、 C 、 AC 、 BC 、 C^2 均表现为不显著($P > 0.05$),在交互作用项中, AB 显示为显著($P < 0.05$), A^2 、 B^2 ($P < 0.01$) 都极显著。食盐、蟹粉和生姜汁添加量对蟹粉狮子头的蒸煮损失率的影响大小顺序为 $C > A > B$ 。

表3 Box-Behnken 试验结果
Table 3 Test results of Box-Behnken

序号	A (食盐添加量/%)	B (蟹粉添加量/%)	C (生姜汁添加量/%)	感官评分 Y_1	硬度 Y_2/N	蒸煮损失率 $Y_3/\%$
1	1	1	5	30.77	19.23	5.63
2	2	1	5	32.42	20.26	5.71
3	1	3	5	30.77	19.23	5.68
4	2	3	5	34.98	21.85	5.62
5	1	2	4	29.22	18.25	5.74
6	2	2	4	33.44	20.90	5.72
7	1	2	6	30.82	19.26	5.71
8	2	2	6	33.28	20.80	5.80
9	1.5	1	4	30.45	19.03	5.83
10	1.5	3	4	30.77	19.23	5.85
11	1.5	1	6	31.52	19.70	5.84
12	1.5	3	6	31.73	19.83	5.89
13	1.5	2	5	37.57	23.48	5.86
14	1.5	2	5	37.42	23.39	5.84
15	1.5	2	5	37.25	23.28	5.92
16	1.5	2	5	38.05	23.78	5.87
17	1.5	2	5	38.24	23.90	5.88

2.1.3 响应面模型的优化与验证 蟹粉狮子头加工工艺优化的响应面模型 3D 曲面图和等高线图, 如图 2 所示。二次多项式回归方程中 R^2 为负值, 可知抛物线开口向下, 方程存在最大解。根据回归方程作出的响应面和等高线图可直观反映各个试验因素的交互作用。根据二次多元回归方程优化结果, 该蟹粉狮子头的最佳加工工艺: 食盐、蟹粉和生姜汁添加量分别为 2.00%, 2.37%, 4.91%。在

该加工工艺下, 蟹粉狮子头的感官评分为 36.7598, 硬度为 22.9701 N, 蒸煮损失率为 5.70079%。考虑到实际生产要求, 将加工工艺调整为食盐、蟹粉和生姜汁添加量分别为 2.0%, 2.4%, 4.9%。为检验响应面模型的可靠性, 在该加工工艺下进行 3 次重复试验。结果如表 4 所示, 感官评分为 37.56, 硬度为 22.89 N, 蒸煮损失率为 5.67%, 与预测值相比误差较小, 有力验证了模型的准确性和可靠性。



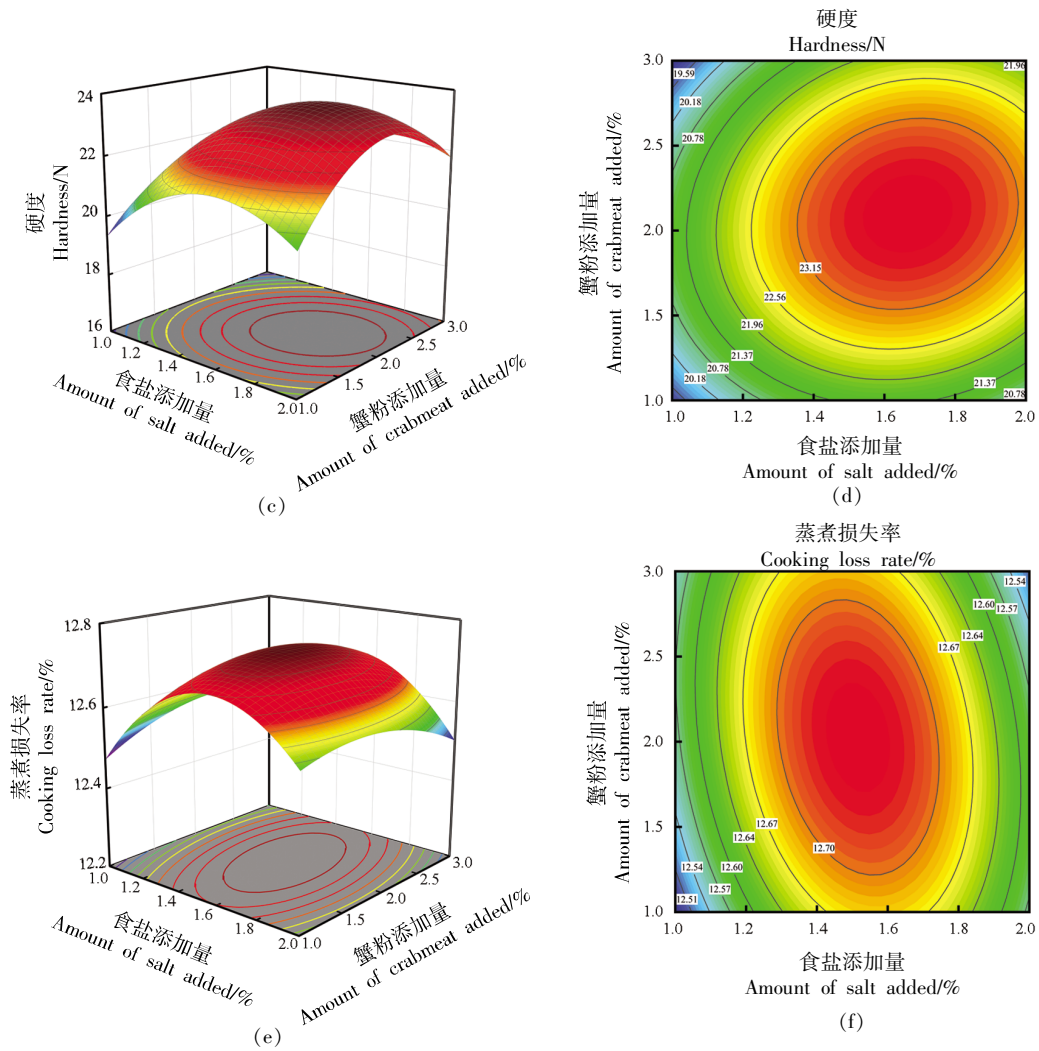


图 2 食盐添加量及蟹粉添加量交互作用对感官评分、硬度及蒸煮损失率影响的响应面图及等高线图

Fig.2 Response surface and contour plots of the interaction between salt added and crabmeat added on the total number of sensory evaluation, hardness and cooking loss

表 4 验证试验结果

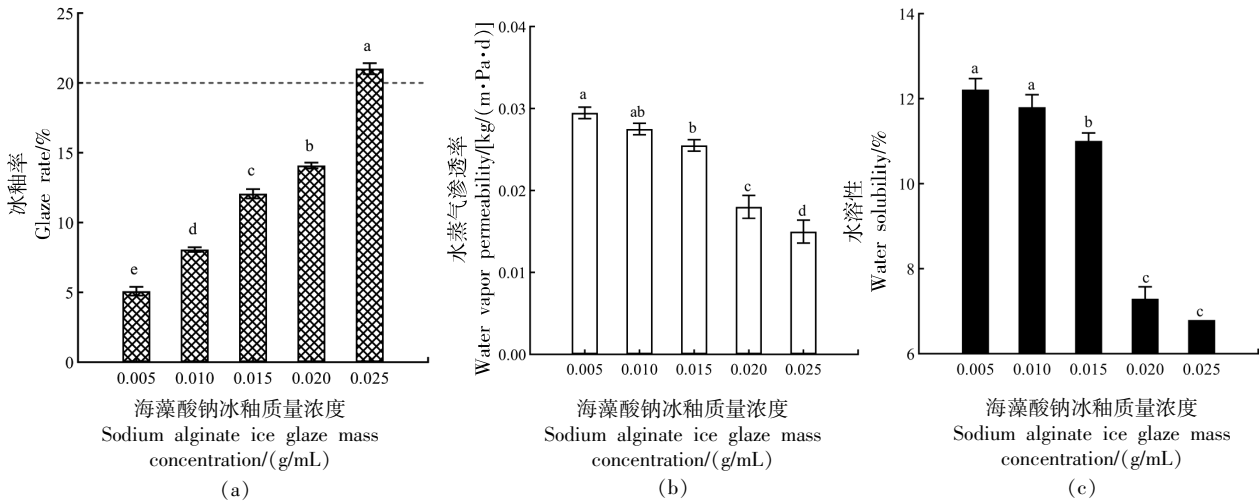
Table 4 Validation test results

指标	预测值	实际值
感官评分	36.7598	37.56
硬度/N	22.9701	22.89
蒸煮损失率/%	5.70079	5.67

2.2 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头品质的影响

2.2.1 海藻酸钠(SA)冰釉质量浓度筛选 冰釉率是评估冰釉溶液质量的关键指标之一^[29]。由图 3a 可以观察到,随着 SA 冰釉质量浓度的增加,冰釉率显著增加($P<0.05$)。根据《冷冻水产品包冰规

范》(GB/T 40745)^[30]的要求,应用于冷冻蟹制品的釉料质量不应超过釉面产品质量的 20%。因此,涂有 0.005,0.010,0.015,0.020 g/mL SA 的冷冻蟹粉狮子头冰釉质量低于产品质量的 20%。冰釉耐水性通常由水蒸气渗透率(WVP)和水溶性来评估。WVP 和水溶性越低,冰釉的防水性能就越好。如图 3b 和 3c 可知,随着 SA 冰釉质量浓度增加,添加 0.015 g/mL 和 0.020 g/mL SA 冰釉的 WVP 和水溶性显著降低($P<0.05$)。与 0.015 g/mL SA 的冰釉相比,0.020 g/mL SA 冰釉的 WVP 和水溶性分别降低了 29.4%和 33.70%,表明 0.020 g/mL SA 比 0.015 g/mL SA 更适合用于冰釉处理。



注:不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

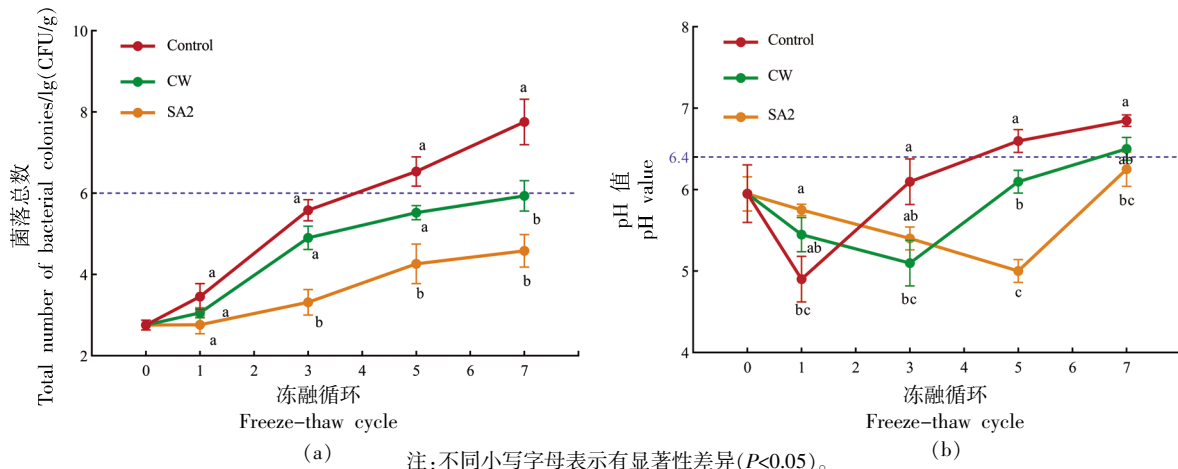
图3 不同质量浓度海藻酸钠冰釉溶液的冰釉率(a)、水蒸气渗透率(b)和水溶性(c)的表征

Fig.3 Characterization of ice glaze rate (a), WVP (b) and water solubility (c) of ice glaze solutions with different concentrations of sodium alginate

2.2.2 冰釉冻融循环(F-T)对蟹粉狮子头菌落总数(TVC)和 pH 值的影响 TVC 是评价肉制品保质期的有效指标之一,可以确定食品的污染程度^[31]。如图 4a 所示,所有蟹粉狮子头的 TVC 在 F-T 周期内均呈持续上升的趋势。这是由于蟹粉狮子头中含有较为丰富的营养物质,为微生物生长提供了理想条件。沈菊^[6]建议猪肉新鲜度的可接受上限菌落总数为 6 lg(CFU/g)。对照组的 TVC 在第 5 个 F-T 循环达到 6.54 lg(CFU/g),已超过上限。CW 组的 TVC 在第 7 个循环达到 5.94 lg(CFU/g),已接近上限。在整个 F-T 期间,0.020 g/mL SA

上釉样品的 TVC 显著低于 Control 组和 CW 组 ($P<0.05$),甚至到第 7 个 F-T 周期,TVC 仍低于限值。这可能是由于 SA 冰釉的密封性阻止了空气进入,可抑制好氧细菌繁殖。有研究也发现冰釉处理可抑制冷冻制品中的微生物入侵,减少细菌蛋白质降解引起的腐败效应^[9,14]。

当 pH 值大于 6.4 时,表示肉质已经变质^[6]。由图 4b 可知,蟹粉狮子头的 pH 值在 F-T 周期内呈先下降后上升的趋势。Control 组的 pH 值在第 1 个循环降低,在第 3 个循环升高,在第 5 个循环超过上限;CW 组的 pH 值在第 3 个循环降低,在第



注:不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

图4 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头 TVC(a)和 pH 值(b)的影响

Fig.4 Effect of sodium alginate ice glaze on TVC (a) and pH (b) of frozen and thawed crab meatballs

5个循环升高,在第7个循环超过上限;而在整个F-T期间,SA2的pH值一直低于限值。pH值在F-T周期内上升的原因是需氧菌快速繁殖,微生物急剧增长,以及在自溶酶作用下,蛋白质降解生成胺类碱性物质^[32]。而SA通过隔绝空气,消除需氧菌,从而防止pH值升高。

2.2.3 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头氧化特征指标的影响 TBARS值反映了脂肪氧化生成丙二醛的程度,是反映肉制品中脂质过氧化程度的重要指标。当TBARS值大于0.66 mg/kg时,脂质氧化程度较高,品质出现劣化^[6]。Control组经过3次F-T循环后,TBARS为0.76 mg/kg,肉品已经出现变质现象。CW组经过5次F-T循环后,TBARS为0.79 mg/kg,肉品出现变质现象。在整个F-T期间,SA2组的TBARS显著低于Control组和CW

组($P<0.05$)。在第7个F-T循环后,SA2组的TBARS为0.69 mg/kg,超过上限。

TVB-N是由蛋白质降解产生的碱性含氮物质。Control组的TVB-N值为5.27 mg/100 g。经过3次F-T循环后,Control组和CW组的TVB-N值增加到16.74 mg/100 g和15.25 mg/100 g,超过了国标《食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品》(GB 2707—2016)规定的最大允许值(15 mg/100 g)^[33]。而SA2组在经过7次F-T循环后,TVB-N值为19.09 mg/100g,超过了上限。TVB-N值增加的主要原因是外部微生物污染了样品,从而导致蛋白质和其它含氮物质分解^[34]。SA冰釉处理可以通过隔绝空气来消除环境压力中的一些好氧细菌,从而防止TVC、pH值、TBARS和TVB-N的升高。

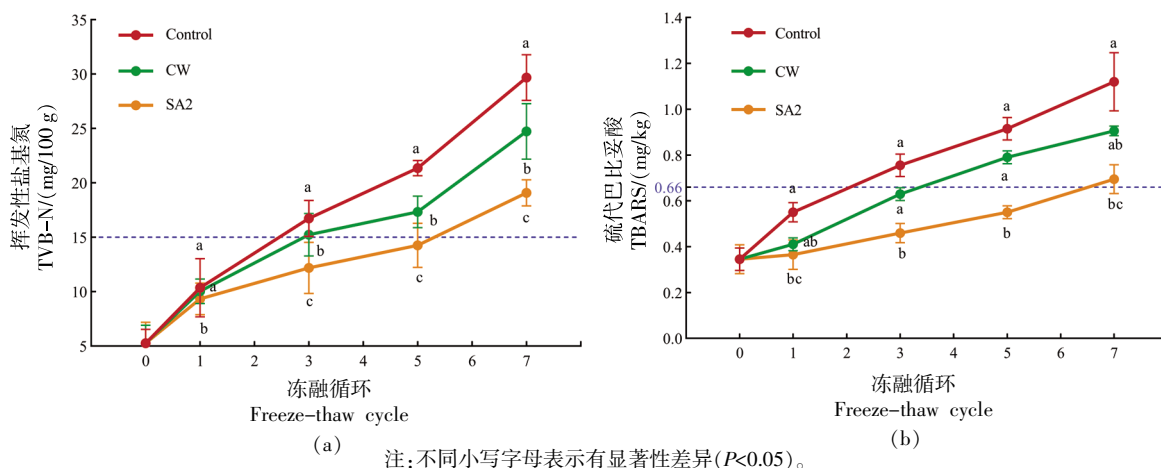


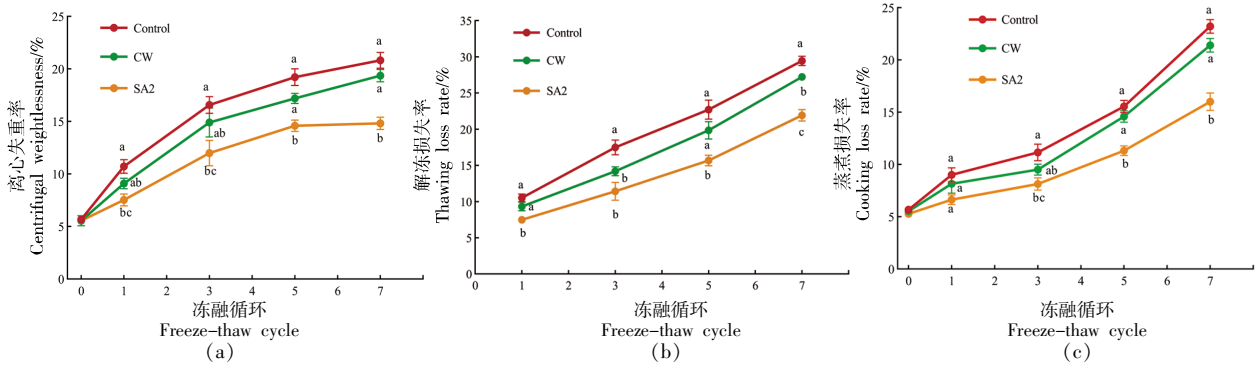
图5 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头 TVB-N(a)和 TBARS(b)的影响

Fig.5 Effect of sodium alginate ice glaze on TVB-N (a) and TBARS (b) of frozen and thawed crab meatballs

2.2.4 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头持水能力(WHC)的影响 冷冻肉制品的WHC通常由解冻损失率、蒸煮损失率和离心损失率来评估^[35]。如图6所示,蟹粉狮子头的解冻损失率、蒸煮损失率和离心损失率均随F-T循环次数的增加而增加,F-T循环降低了蟹粉狮子头的WHC。在整个F-T循环中,冰晶的融化和再生对肌肉组织造成了不可逆的机械损伤,进而导致细胞外水迁移和组织变形。同时,水分子转化为不稳定的游离水,造成肌肉组织内部水分散失^[36]。

然而,在整个F-T循环中,SA2组的WHC显

著高于Control组和CW组($P<0.05$)。与7次F-T循环后的Control组相比,SA2组的蟹粉狮子头的解冻损失率、蒸煮损失率和离心损失率分别降低了25.54%,31.02%,29.02%,表明0.020 g/mL SA冰釉能有效保持冻融蟹粉狮子头的WHC。这主要是由于交联SA冰釉的低水溶性和出色的防水性^[29]。此外,冰釉层具有密封性,能够有效避免蟹粉狮子头在加工过程中水分和营养物质的损失^[16]。此外,SA作为一种线性多糖,代替水分子与冰晶结合,从而阻止肌肉组织中的水分子相互接触,抑制了冰晶生长,从而保持了蟹粉狮子头的WHC^[35]。



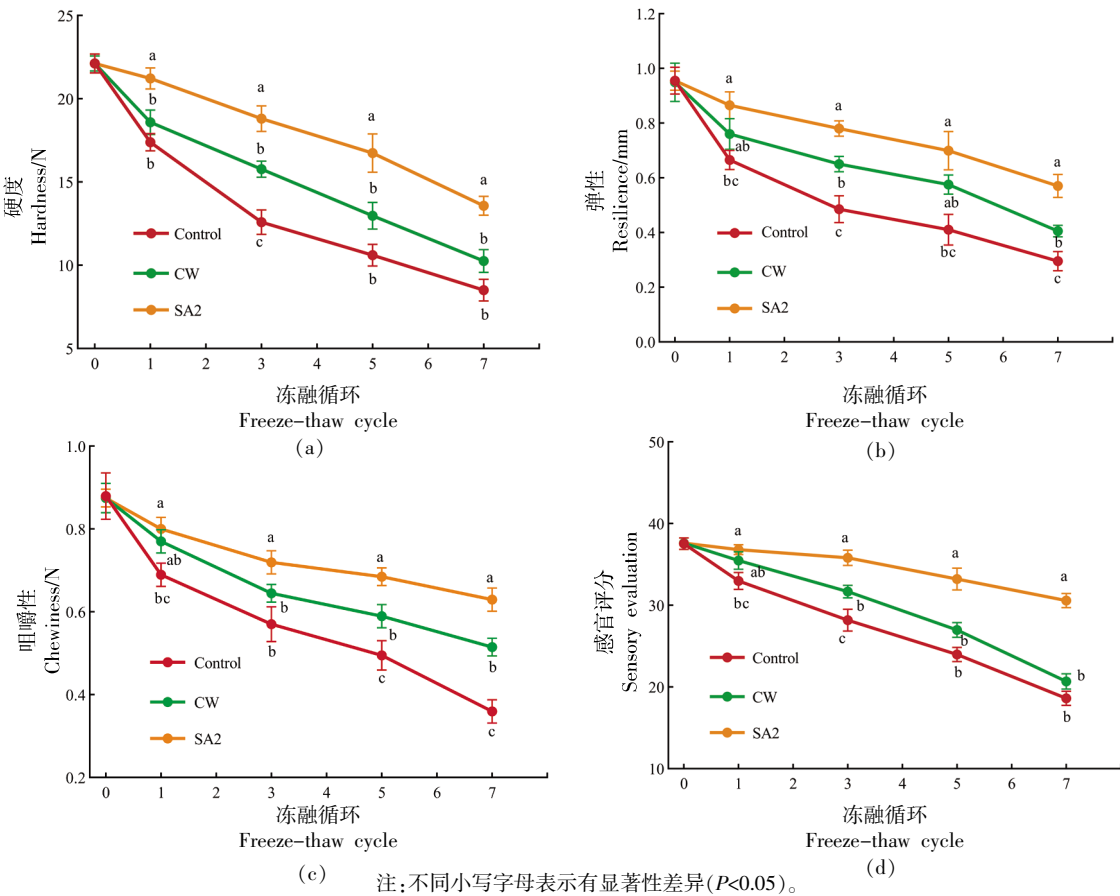
注:不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

图6 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头的离心失重率(a)、解冻损失率(b)和蒸煮损失率(c)的影响

Fig.6 Effect of sodium alginate ice glaze on centrifugal weight loss (a), thawing loss (b) and cooking loss (c) of frozen and thawed crab meatballs

2.2.5 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头质地的影响 肉制品的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分能较好地评估其质地特性。如图7所示,蟹粉狮子头的

硬度、弹性、咀嚼性和感官评分随F-T循环次数的增加而降低。表面蟹粉狮子头的质地特性在F-T循环期间下降,结果与Wang等^[37]的研究结果



注:不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

图7 海藻酸钠冰釉对冻融蟹粉狮子头的硬度(a)、弹性(b)、咀嚼性(c)和感官评分(d)的影响

Fig.7 Effect of sodium alginate ice glaze on hardness (a), elasticity (b), chewiness (c) and sensory score (d) of frozen and thawed crab meatballs

一致。

与 Control 组和 CW 组相比,在同一 F-T 循环下,SA2 组的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分下降幅度更小。可能由于 SA 冰釉使蟹粉狮子头有效隔绝外部环境,从而抑制了蛋白质和脂质的氧化,以及产品内部水分流失,从而保证了蟹粉狮子头的质地^[38]。这与 Ma 等^[39]报道的海藻酸盐和海藻酸盐低聚糖可以改善冷冻虾中的蛋白质-水相互作用,形成更稳定的网络结构,从而保持冷冻虾产品的质地稳定性的结果相似。

3 结论

蟹粉狮子头的最佳工艺条件为生姜汁、蟹粉和食盐添加量分别为 4.9%、2.4%、2.0%。0.020 g/mL SA 冰釉能够有效抑制蟹粉狮子头循环冻融品质下降和腐败发生,形成的冰釉技术为肉质品质保持和延长保质期提供了理论与技术支撑。

参 考 文 献

- [1] WU S H, TONG Y J, ZHANG C, et al. High pressure processing pretreatment of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) for quality attributes assessment[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2021, 73: 102793.
- [2] 周晓燕, 唐建华, 陈剑, 等. 影响狮子头口感的关键工艺标准研究[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 145-150.
ZHOU X Y, TANG J H, CHEN J, et al. Optimization of key process conditions for the making of Yangzhou-style large meatballs[J]. Food Science, 2010, 31(16): 145-150.
- [3] 朱文政, 刘薇, 季明勇, 等. 不同肥瘦比和烹制时间对狮子头猪肉丸特征挥发性风味成分的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 257-266, 159.
ZHU W Z, LIU W, JI M Y, et al. Effects of different fat-to-lean ratio and cooking time on characteristic volatile flavor components of Shi-Zi-Tou pork meatball[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 257-266, 159.
- [4] 胡舰, 周莹, 左波, 等. 响应面优化无花果生姜汁嫩化狮子头工艺[J]. 中国调味品, 2018, 43(6): 85-90.
HU J, ZHOU Y, ZUO B, et al. Optimization of tenderization process of Yangzhou-style large meatballs with fig-ginger juice by response surface methodology[J]. China Condiment, 2018, 43(6): 85-90.
- [5] 孙亚男. 扬州狮子头菜肴的中央厨房加工机理及品质调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
SUN Y N. Study on processing mechanism and quality control of Yangzhou pork meat patties prepared dishes in central kitchen[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [6] 沈菊. 基于蟹壳粉添加的新型蟹粉狮子头品质提升及货架期模型研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
SHEN J. Study on quality improvement and shelf life model of new crab meatball with crab roe based on the addition of crab shell powder[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023.
- [7] DU X, LI H J, DONG C H, et al. Effect of ice structuring protein on the microstructure and myofibrillar protein structure of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) induced by freeze-thaw processes[J]. LWT, 2021, 139: 110570.
- [8] WU D, CAO Y, HUANG Q L. Trehalose and sodium pyrophosphate inhibit ice-induced freezing quality deterioration of surimi: A comparative study on water migration, ice crystal growth, glass transition and state diagram[J]. Journal of Food Engineering, 2023, 357: 111657.
- [9] YANG S B, HU Y Q, TAKAKI K, et al. Effect of water ice-glazing on the quality of frozen swimming crab (*Portunus trituberculatus*) by liquid nitrogen spray freezing during frozen storage[J]. International Journal of Refrigeration, 2021, 131: 1010-1015.
- [10] PANAHI Z, MOHSENZADEH M. Sodium alginate edible coating containing *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss essential oil, nisin, and NaCl: Its impact on microbial, chemical, and sensorial properties of refrigerated chicken breast[J]. International Journal of Food Microbiology, 2022, 380: 109883.
- [11] YU D W, REGENSTEIN J M, ZANG J H, et al. Inhibition of microbial spoilage of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets with a chitosan-based coating during refrigerated storage[J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 285: 61-68.

- [12] HAO R Y, LIU Y, SUN L M, et al. Sodium alginate coating with plant extract affected microbial communities, biogenic amine formation and quality properties of abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) during chill storage[J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 81: 1-9.
- [13] VOLPE M G, SIANO F, PAOLUCCI M, et al. Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(1): 615-622.
- [14] HE Q, LI Z Y, YANG Z, et al. A superchilling storage-ice glazing (SS-IG) of Atlantic salmon (*Salmo salar*) sashimi fillets using coating protective layers of *Zanthoxylum* essential oils (EOs)[J]. Aquaculture, 2020, 514: 734506.
- [15] WANG X, XIE X R, ZHANG T, et al. Effect of edible coating on the whole large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) after a 3-day storage at 18 °C[J]. LWT, 2022, 163: 113514.
- [16] YUE C, ZHANG G W. Calcium ion crosslinked sodium alginate coated PVDF membrane for improved smart pH-responsive properties[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, 10(6): 108684.
- [17] KHODANAZARY A, MOHAMMADZADEH B. Effect of alginate-gallic acid coating on freshness and flavor properties of Mackerel (*Scomberomorus commerson*) fillets under refrigerated storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 249: 125999.
- [18] CAO Y J, SONG Z Y, DONG C J, et al. Chitosan coating with grape peel extract: A promising coating to enhance the freeze-thaw stability of beef[J]. Meat Science, 2023, 204: 109262.
- [19] KIM J H, HONG W S, OH S W. Effect of layer-by-layer antimicrobial edible coating of alginate and chitosan with grapefruit seed extract for shelf-life extension of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 4 °C[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 120: 1468-1473.
- [20] 国家标准化管理委员会, 国家市场监督管理总局. 塑料薄膜与薄片水蒸气透过性能测定 杯式增重与减重法: GB/T 1037—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 1-4.
- National Standardization Administration, State Administration for Market Regulation. Test method for water vapor transmission of plastic film and sheet-Cup method: GB/T 1037—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 1-4.
- [21] LIU T Y, LIU J, WANG P P, et al. Effect of slurry ice on quality characteristics and microbiota composition of Pacific white shrimp during refrigerated storage[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2023, 14: 100792.
- [22] TRESPALACIOS P, PLA R. Synergistic action of transglutaminase and high pressure on chicken meat and egg gels in absence of phosphates[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1718-1727.
- [23] MORTENSEN M, ANDERSEN H J, ENGELSEN S B, et al. Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities[J]. Meat Science, 2006, 72(1): 34-42.
- [24] ZHOU J Q, DONG X P, KONG B H, et al. Effects of magnetic field-assisted immersion freezing at different magnetic field intensities on the muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*)[J]. Food Chemistry, 2023, 407: 135092.
- [25] LI F F, ZHONG Q, KONG B H, et al. Deterioration in quality of quick-frozen pork patties induced by changes in protein structure and lipid and protein oxidation during frozen storage[J]. Food Research International, 2020, 133: 109142.
- [26] PAN N, DONG C H, DU X, et al. Effect of freeze-thaw cycles on the quality of quick-frozen pork patty with different fat content by consumer assessment and instrument-based detection[J]. Meat Science, 2021, 172: 108313.
- [27] HE Q, XIAO K J. The effects of tangerine peel (*Citri reticulatae pericarpium*) essential oils as glazing layer on freshness preservation of bream (*Megalobrama amblycephala*) during superchilling storage[J]. Food Control, 2016, 69: 339-345.
- [28] SHI C, CUI J Y, LUO Y K, et al. Post-mortem changes of silver carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) stored at 0 °C assessed by electrical[J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18: 2, 415-425.
- [29] SONG Y L, LIU L, SHEN H X, et al. Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Food Control, 2011, 22(3): 608-615.

- [30] 国家市场监督管理总局. 冷冻水产品包冰规范: GB/T 40745—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 1–4.
State Administration for Market Regulation. Specification for glazing on frozen aquatic products: GB/T 40745—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 1–4.
- [31] ZHANG J Y, SUN L, CUI P B, et al. Effects of combined treatment of electrolytic water and chitosan on the quality and proteome of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2023, 406: 135062.
- [32] 邓文静, 姜迎迎, 钱磊, 等. 复合生物保鲜剂对南美白对虾保鲜效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(5): 84–91.
DENG W J, JIANG Y Y, QIAN L, et al. Effect of a compound biological preservative on *Penaeus vannamei*[J]. Food Research and Development, 2022, 43(5): 84–91.
- [33] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品: GB 2707—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–4.
National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. Hygienic standard for fresh (frozen) meat of livestock: GB 2707—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 1–4.
- [34] MOUSAKHANI G A, HAMDAMI N, SOLTANI – ZADEH N. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 156: 39–44.
- [35] ZHANG B, CAO H J, WEI W Y, et al. Influence of temperature fluctuations on growth and recrystallization of ice crystals in frozen peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) pre-soaked with carrageenan oligosaccharide and xylooligosaccharide[J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125641.
- [36] ZHOU J Q, SUN Q X, WEI S, et al. Changes in microstructure, quality and water distribution of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) muscles subjected to magnetic field-assisted immersion freezing during long-term frozen storage[J]. Journal of Food Engineering, 2023, 354: 111566.
- [37] WANG B, LI F F, PAN N, et al. Effect of ice structuring protein on the quality of quick-frozen patties subjected to multiple freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2021, 172: 108335.
- [38] LIU Z L, YANG W G, WEI H M, et al. The mechanisms and applications of cryoprotectants in aquatic products: An overview[J]. Food Chemistry, 2023, 408: 135202.
- [39] MA L K, ZHANG B, DENG S G, et al. Comparison of the cryoprotective effects of trehalose, alginate and alginate-derived oligosaccharides on cooked shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Food Science, 2015, 36(16): 266.

Processing and Freeze-thaw Quality Maintenance of Crab Meatballs

CHEN Laixin^{1,2}, CHEN Hangjun², WU Weijie², MU Honglei², LIU Ruilin², FANG Xiangjun², WANG Guannan², NIU Ben², CHEN Huizhi², GAO Haiyan^{3*}, HAN Yanchao^{2*}

¹College of Biological & Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, Zhejiang

²Food Science Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021

³Zhejiang Key Laboratory of Intelligent Food Logistic and Processing, Hangzhou 310021)

Abstract To optimize the formulation of crab meatballs and investigate the quality maintenance technology during the freeze-thaw process, a response surface methodology was employed, utilizing the Box-Behnken experimental design following a single factor experiment. This approach significantly enhanced both the production technology and formulation of crab meatballs. The study examined the effects of varying concentrations of sodium alginate (SA) ice glaze solutions on several quality parameters of the crab meatballs, including ice glaze rate, transmittance, water vapor permeability, and water solubility. Additionally, the impact of freeze-thaw cycles on crab meatballs was assessed under three conditions: no coating, deionized water ice glaze, and 0.020 g/mL SA ice glaze, focusing on quality changes. The findings indicate that

the optimal process conditions for crab meatballs involve the incorporation of ginger juice, crab meal, and salt at concentrations of 4.9%, 2.4%, and 2.0%, respectively. Under these conditions, the crab meatballs exhibited a hardness of 22.89 N, a sensory score of 37.56, and a cooking loss rate of 5.67%. The resulting meatballs were characterized by their elasticity, plump shape, and appealing color. Moreover, the 0.020 g/mL SA ice glaze solution was found to be the most effective for maintaining the quality of crab meatballs. After undergoing seven freeze-thaw cycles, the thawing loss and volatile base nitrogen values for the 0.020 g/mL SA ice glaze sample decreased by 25.54% and 35.67%, respectively, compared to the control. Conversely, chewiness and elasticity increased by 47.37% and 42.86%, respectively. Therefore, the 0.020 g/mL SA ice glaze significantly inhibits ice crystal formation, reduces water loss, and mitigates damage to meat texture, thereby enhancing the overall quality of the meat products.

Keywords crab meatball; freeze and thaw quality; sodium alginate