

响应面法优化海鲈鱼小片的品质改良工艺技术

李金星, 吴燕燕, 王悦齐, 杨少玲, 王迪, 麦志成

Response surface methodology to optimize the quality improvement technology of *Lateolabrax japonicus* small slices

LI Jinxing, WU Yanyan, WANG Yueqi, YANG Shaoling, WANG Di, MAI Zhicheng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210503443>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[不同温度贮藏过程中海鲈鱼品质变化和货架期预测模型的建立](#)

Changes of quality characteristics and establishment of shelf-life prediction model for sea bass during storage at different temperatures

上海海洋大学学报. 2020, 29(3): 457 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190602698>

[饥饿胁迫对团头鲂鳃组织结构及Na⁺/K⁺-ATP酶、抗氧化酶的影响](#)

Effects of hunger stress on the gill microstructure and Na⁺/K⁺-ATPase, antioxidant enzyme of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*

上海海洋大学学报. 2019, 28(5): 765 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190302544>

[纤维素酶酶解工艺对香芹制汁效果的研究](#)

Research on the optimization of the juice yield of *Petroselinum crispum* by technical enzymolysis of enzymatic hydrolysis

上海海洋大学学报. 2017, 26(2): 307 <https://doi.org/10.12024/jsou.20160601815>

[运用响应面法优化芦苇基生物炭活化工艺](#)

Optimization of reed-based biochar activation process by response surface methodology

上海海洋大学学报. 2019, 28(6): 911 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190302559>

[响应面优化南极磷虾粉肽制备工艺及α-葡萄糖苷酶抑制活性分析](#)

Optimization of preparation technology of Antarctic krill powder peptide by response surface methodology and analysis of its inhibitory activity on α-glucosidase

上海海洋大学学报. 2022, (2): 564 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210203295>

文章编号: 1674-5566(2022)05-1283-12

DOI:10.12024/jsou.20210503443

响应面法优化海鲈鱼小片的品质改良工艺技术

李金星^{1,2}, 吴燕燕², 王悦齐², 杨少玲², 王迪², 麦志成³

(1. 广东海洋大学 食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300; 3. 珠海市之山水产发展有限公司, 广东 珠海 519100)

摘要: 海鲈鱼因切小片后, 存在不耐煮、容易散开、完整性差等品质问题而严重制约系列产品的开发, 本研究通过单因素研究 TG 酶、明胶、蛋清粉及浸渍时间对鱼小片的品质影响, 并通过 Box-Behnken 响应面优化复合品质改良剂配方和工艺, 开发一种适合海鲈鱼小片的品质改良工艺技术。结果表明: TG 酶、明胶和蛋清粉均能提高海鲈鱼小片的耐煮性和完整性, 最佳工艺: TG 酶添加量 3.90%、明胶添加量 2.40%、蛋清粉添加量 6.00%, 浸渍温度为 0~4 °C, 浸渍时间为 5.50 h, 处理后的海鲈鱼小片耐煮性好、完整度高、色泽洁白、弹性适中、香气浓郁, 微观结构观察表明其能使鱼小片组织结构更加紧密。该研究解决了海鲈鱼切小片加工的“瓶颈”问题, 为用海鲈鱼生产火锅类、简易社区菜肴等系列产品提供技术支持。

关键词: 海鲈鱼小片; 耐煮性; 完整性; 品质改良剂; 工艺优化

中图分类号: TS 254.4 **文献标志码:** A

海鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 属于鲈形目 (Perciformes) 鲈科 (Serranidae) 花鲈属 (*Lateolabrax*), 也称花鲈, 是我国主要的养殖海水鱼类^[1], 2019 年全国产量达 18 万 t, 广东省海鲈年产量约为 9.40 万 t, 约占全国年产量的 52.22%^[2], 主要集中在有“中国海鲈之都”美称的珠海市斗门区。海鲈鱼富含蛋白质、多不饱和脂肪酸、维生素和矿物质^[3], 深受消费者的喜爱。突如其来的新冠肺炎疫情改变了人们的消费理念和模式, 餐饮业中适合家庭简易烹煮的鱼类调理食品迅速兴起, 特别是酸菜鱼系列产品越来越受到大众的喜爱。海鲈鱼肉洁白鲜甜且营养丰富, 是制作酸菜鱼系列调理食品的优质鱼类^[4]。但由于海鲈鱼肌肉呈蒜瓣形态, 在切鱼小片时出现蛋白之间联结不紧密的问题, 切片性差, 遇沸水更易松散碎化, 成为解决当前产业生产中遇到的“瓶颈”, 提高海鲈鱼切小片后的品质, 对于提高大宗养殖海鲈鱼产业的精深加工, 促进产业发展具有十分重要的社会和经济意义。

当前, 对于鱼肉的保鲜保水、碎肉重组鱼肉糜的研究较多, 胥伟等^[5]研究发现蛋清粉可以提高鲢鱼糜的凝胶性, 紧密凝胶质地。PAN 等^[6]研究蛋清蛋白和 β -环糊精对银鲤鱼肌原纤维蛋白结构和功能的影响, 发现添加 6.00% 的蛋清蛋白和 β -环状糊精可增加肌原纤维蛋白凝胶的黏弹性, 增强凝胶网络紧密性, 同时显著改善其水分流失, 助力鱼肉嫩滑口感和持水性。郭培^[7]研究发现添加明胶可以改善鱼糜制品的内部组织结构, 其弹性和咀嚼性均有所升高, 当添加浓度为 6.67% 明胶溶液的量不超过 15.00% 时, 随着明胶溶液添加量的增加, 鱼糜制品弹性增加, 断面密实。

对于鱼片特别是鱼小片煮制过程易碎及煮后完整性的研究尚未有报道。谷氨酰胺转氨酶 (全称为蛋白质-谷氨酰胺 γ -谷氨酰胺基转移酶, 简称 TG 酶) 是一种酰基转移酶, 可以催化形成 G-L (Glu-Lys) 键, 并导致蛋白质之间的共价交联^[8], 以此改善肉制品结构。王嵬等^[9]研究 TG

收稿日期: 2021-05-14 修回日期: 2021-08-09

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目 (CARS-47); 广东省基础与应用基础研究基金 (2021A1515010833); 国家重点研发计划 (2019YFD0901903)

作者简介: 李金星 (1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与质量安全控制。E-mail: Lijxgd@163.com

通信作者: 吴燕燕, E-mail: wuyygd@163.com

酶对金线鱼鱼糜 3D 打印效果的影响,发现当 TG 酶添加量为 0.20% 时,样品表面较为完整,鱼糜丝之间的连贯性和粘连程度较高。而鸡蛋清和明胶有助于提高产品的凝胶特性且富含蛋白,且可与 TG 酶、鱼肉发生相互作用。所以本研究通过单因素实验分析 TG 酶、鸡蛋清、明胶是否能提高海鲈鱼小片的完整性和耐煮性,并在此基础上,通过响应面法优化最佳的工艺配方和工艺技术,为海鲈鱼开发酸菜鱼等调理类食品提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 原料和试剂

鲜活的海鲈鱼,体质量为 500~600 g,购自珠海强竞食品有限公司;明胶,为鱼皮明胶,冻力 220 g,勃氏黏度 4~8 mPa·s,透明度 400~550 mm,食品级,购自湖北成丰化工有限公司;蛋清粉,食品级,购自北京依珊汇通科技有限公司;谷氨酰胺转胺酶,食品级,购自北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

LFRA-100 质构仪,美国 Brookfield 公司;DC-P3 全自动色差计,北京市兴光色差仪器公司;Phenom XL G2 台式扫描电子显微镜,美国 thermo 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

用刀背将海鲈鱼击晕,刮去体表鳞片,沿着脊椎骨切至鱼尾的位置,取鱼片,用水将残留在鱼片表面的残血以及其他脏污清洗干净,再将鱼肉片切成 0.5 cm 厚的鱼小片,清水冲洗干净后沥干,将海鲈鱼小片与品质改良液按照质量体积比为 10:1 混合均匀,置于 0~4 °C 下保存。

1.3.2 品质改良液的单因素实验

在 0~4 °C 条件下,以 1.3.1 节处理好的海鲈鱼小片为原料,分别研究 TG 酶的添加量、明胶的添加量、蛋清粉添加量和浸渍时间对海鲈鱼小片的改良效果,并确定最佳条件。

(1)TG 酶的添加量:明胶的添加量 2.50%,蛋清粉添加量 6.00%,浸渍时间 6.00 h,考察 TG 酶的添加量(0、0.50%、2.00%、3.50%、5.00%、6.50%)对海鲈鱼小片品质改良的效果,判断 TG 酶的最佳添加量。

(2)明胶的添加量: TG 酶的添加量 3.50%,蛋清粉添加量 6.00%,浸渍时间 6.00 h,考察明胶的添加量(0、0.50%、1.50%、2.50%、3.50%、4.50%)对海鲈鱼小片品质改良的效果,判断明胶的最佳添加量。

(3)蛋清粉添加量: TG 酶的添加量 3.50%,明胶添加量 2.50%,浸渍时间 6.00 h,考察蛋清粉添加量(0、2.00%、4.00%、6.00%、8.00%、10.00%)对海鲈鱼小片品质改良的效果,判断蛋清粉的最佳添加量。

(4)浸渍时间: TG 酶的添加量 3.50%,明胶添加量 2.50%,蛋清粉添加量 6.00%,考察浸渍时间(0、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00 h)对海鲈鱼小片品质改良的效果,判断浸渍的最佳时间。

1.3.3 响应面优化试验设计

综合单因素的试验结果,采用 BBD 模型设计及原理,以 TG 酶添加量、明胶添加量和浸渍时间为响应变量,以硬度(Y_1)和感官评分分数(Y_2)为响应值,研究在(0±4) °C、蛋清粉的添加量为 6% 的条件下,分析自变量及其交互作用对感官评分值和硬度的影响。

表 1 响应面试验因素及水平

Tab. 1 Response surface test factors and levels

因素 Factor	水平 Level		
	-1	0	1
A; TG 酶添加量 TG enzyme addition/%	2.00	3.50	5.00
B; 明胶添加量 Gelatin addition/%	1.50	2.50	3.50
C; 浸渍时间 Immersion time/h	4.00	6.00	8.00

1.3.4 质构的测定

采用 TexturePro 质构分析仪及 TA44 平底圆柱形探头进行测定,测定模式选择质地多面剖析(TPA)模式,测试速度为 0.50 mm/s,循环次数为 2 次,触发力负载为 5.00 g,下压距离为 5.00 mm,每组试验重复 6 次,去除最大值和最小值后取平均值。

1.3.5 色差的测定

将海鲈鱼小片煮熟后吸水纸吸去表面水分,使用全自动色差仪检测鱼片的色差。样品的色差以 L^* 、 a^* 和 b^* 表示, L^* 值表示黑白,数值越大表示越白; a^* 值表示红绿偏向(正值表示红色偏向,负值表示绿色偏向); b^* 值表示黄蓝偏向(正值表示黄色偏向,负值表示蓝色偏向),每组样品测定 3 次取平均值。

1.3.6 感官评定

参考 GB/T 16291.1—2012《感官分析 选拔、培训与感官评价员一般导则 第1部分:优选评价员》^[10],选拔 6 名经过一定感官分析培训的人员,

参照魏涯等^[11]的方法对海鲈鱼小片煮制过程中耐煮性(20 分)和煮后外观(20 分)、质地(20 分)和口感(30 分)进行感官评价,具体评价标准见表 2,满分为 100 分,取平均值作为评价结果。

表 2 海鲈鱼小片的感官评价标准
Tab. 2 Sensory evaluation criteria for sea bass small pieces

类型 Type		评价标准 Evaluation criteria	分值 Score/分
耐煮性 Boiling resistance (20 分)	成片性 破碎程度	煮制时片形较好,不破碎	17~20
		煮制时片形开裂,不易破碎	13~16
		煮制时片形开裂,易破碎	9~12
		煮制时片形崩溃,破碎	0~8
外观 Exterior (20 分)	煮后完整性 颜色	鱼肉完整,色泽新鲜有光泽	17~20
		鱼肉较完整,色泽较淡,有一定的光泽	13~16
		鱼肉组织局部不完整,色泽较暗	9~12
		鱼肉不完整,色泽暗,无光泽	0~8
质地 Texture (30 分)	组织形态 (15 分)	纹理清晰,肌肉组织致密完整	13~15
		纹理较清晰,肌肉组织整体较紧密	10~12
		肌肉组织局部稍松散	7~9
		肌肉组织过于松散	0~6
	组织弹性 (15 分)	坚实有弹性	13~15
		较坚实,有弹性	10~12
咀嚼性 (15 分)	咀嚼性 (15 分)	中度柔软,弹性较差	7~9
		非常柔软,失去弹性	0~6
		鱼肉咀嚼时嚼劲适中	13~15
		鱼肉咀嚼时嚼劲略弱或略强	7~12
口感 Taste (30 分)	滋味 (15 分)	鱼肉咀嚼时无嚼劲,或嚼劲过强	0~6
		纯正浓郁的熟鱼肉香味	13~15
		较纯正的熟鱼肉香味	7~12
		熟鱼肉香味较差,有其它味道	0~6

1.3.7 微观结构

将样品切成小块,用 2.50% 戊二醛固定液浸泡 24.00 h 以上,再用 0.10 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.2) 浸泡清洗 20 min,重复 4 次。依次用体积分数为 30%、50%、70%、90%、100% 乙醇脱水 15 min,最后用叔丁醇浸泡,每次 15 min,重复 3 次。冷冻干燥后镀金,放在电镜中,通过电镜扫描观察鱼小片微观结构。

1.3.8 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件进行数据分析,用 Tukey HSD 比较检验分析均值差异显著性: $P < 0.01$ 为极显著, $P < 0.05$ 为显著, $P > 0.05$ 为不显著,结果以平均值 \pm 标准偏差表示;运用 Design Expert 10.0.7 对响应面数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 TG 酶添加量对海鲈鱼小片品质的影响

海鲈鱼小片的耐煮性和是否易散的品质特

点主要是通过硬度、弹性和咀嚼性等质构指标和感官评价来衡量。硬度指食品达到一定变形所需要的力或食品保持形状的内部结合力^[12],弹性指样品变形之后恢复其原始状态的能力^[13]。由表 3 可见,随着 TG 酶添加量的增加,海鲈鱼小片的硬度和咀嚼性显著上升($P < 0.05$)。当 TG 酶添加量为 3.5% 时,硬度比空白组(添加量 0)提高了 2.1 倍,而当添加量达到 5.00% 时,硬度与咀嚼性均达到最大值分别为 255.50 g 和 2.30,比空白组(添加量 0)提高了 2.5 倍和 2.4 倍;但继续再增大 TG 酶的添加量时,硬度和咀嚼性略有下降,这可能是因为 TG 酶催化蛋白转酰基反应使蛋白质(多肽)之间发生共价交联^[14],形成稳定的凝胶网络,硬度、咀嚼性随之升高,但随着 TG 添加量增加,蛋白质底物不再增加,TG 酶作用底物受限,硬度、咀嚼性趋于稳定,这与杨明柳等^[15]研究结果相似。鱼小片的弹性随 TG 酶添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,当 TG 酶添加量

为 3.50% 时达到最大,相比于空白组弹性显著提高 ($P < 0.05$) 了 1.7 倍,这与 SETIADI 等^[16]的结果一致,而此时鱼小片的感官评分最高为 92.25 分,说明感官评分和硬度、弹性有较强的相关性。

L^* 值越大表示样品越光亮, a^* 和 b^* 偏大或者偏小对要求洁白的鱼肉色泽都不利。白度是 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值的综合体现,白度值越大,说明样品越白。总体来看,TG 酶添加量对鱼小片色泽具有一定的影响。与空白组相比,当 TG 酶添加量为 3.50% 时,鱼小片 L^* 值基本持平, b^* 值略有上升,但对白度值影响较小,这与

KAEWPRACHU 等^[17]得到的结果相似。

感官评价结果表明鱼小片的耐煮性和是否易散与质构和色泽的变化规律呈正相关性。未添加 TG 酶的鱼小片感官评分最低,鱼片质地疏松,遇沸水极易分散碎化,耐煮性和成片性差。当 TG 酶的添加量从 0.50% 增加到 3.50%,其感官评价分值也不断增高,但添加量在 5% 及以上时,感官评价分值迅速下降,与未添加 TG 酶的结果相近,这是因为 TG 酶添加量过大会影响鱼小片的味道。综上,TG 酶的适宜添加量为 3.50%。

表 3 TG 酶添加量对海鲈鱼小片品质的影响
Tab.3 Effect of TG enzyme addition on the quality of sea bass slices

类型 Type	TG 酶添加量 Addition of TG enzyme/%					
	0	0.50	2.00	3.50	5.00	6.50
硬度 Hardness/g	102.67 ± 14.68 ^c	29.50 ± 11.37 ^{bc}	194.33 ± 25.81 ^{abc}	211.33 ± 52.24 ^{ab}	255.50 ± 36.65 ^a	254.17 ± 37.61 ^a
弹性 Elasticity	2.51 ± 0.22 ^b	2.86 ± 0.15 ^b	3.40 ± 0.35 ^{ab}	4.19 ± 0.62 ^a	3.31 ± 0.14 ^{ab}	3.25 ± 0.23 ^b
咀嚼性 Chewiness	0.96 ± 0.21 ^b	1.03 ± 0.23 ^b	1.58 ± 0.55 ^{ab}	2.21 ± 0.43 ^a	2.30 ± 0.72 ^a	2.15 ± 0.44 ^a
L^*	89.93 ± 1.68 ^{ab}	90.63 ± 1.47 ^a	88.67 ± 0.31 ^{abc}	87.79 ± 0.86 ^{bc}	87.47 ± 1.24 ^{bc}	86.60 ± 0.38 ^c
a^*	-0.69 ± 0.30 ^{ab}	-0.31 ± 0.27 ^{ab}	-0.52 ± 0.15 ^{ab}	-0.17 ± 0.08 ^{ab}	0.28 ± 0.78 ^{ab}	0.46 ± 0.38 ^a
b^*	3.05 ± 0.24 ^c	3.87 ± 0.66 ^{de}	4.97 ± 0.42 ^{cd}	5.11 ± 0.45 ^{bc}	6.92 ± 0.18 ^a	6.13 ± 0.32 ^{ab}
感官评分/分 Sensory score/points	71.75 ± 9.67 ^b	86.50 ± 6.14 ^{ab}	86.00 ± 6.27 ^{ab}	92.25 ± 5.62 ^a	70.50 ± 11.09 ^b	73.75 ± 7.59 ^b

注:同行小写字母不同,表示差异显著 ($P < 0.05$)。TG 酶添加量 0 为空白组。

Notes: The small letters are different, indicating significant differences ($P < 0.05$). 0 of TG enzyme addition amount is the blank group.

2.2 明胶添加量对海鲈鱼小片品质的影响

明胶是胶原蛋白部分水解的产物,是良好的凝胶蛋白^[18],因无脂肪、高蛋白的特点,广泛应用于食品领域,由表 4 可见明胶添加量对海鲈鱼小片品质有较大的影响。随着明胶添加量的升高,海鲈鱼小片的硬度逐渐升高,咀嚼性作为硬度的补充参数呈现相似的趋势^[19],JONGJAREONRAR 等^[20]对彩虹笛鲷鱼肉凝胶强度进行分析也发现添加明胶可与 TG 酶发生交联,形成致密的凝胶网络结构,硬度会随之上升。弹性反映样品去除外界作用力后的恢复性能,与蛋白质网络结构变化有关,由此表明添加明胶能改变鱼肉的凝胶网络结构。弹性随添加量增加逐渐上升,但当添加量高于 2.50% 时,弹性值就不再增加且略有下降,但基本趋于稳定,这是因为随着明胶添加量

的增加,凝胶网络体系内蛋白凝胶链的刚性程度也逐步增加,导致弹性降低^[21]。

食品外观的颜色是影响消费者接受程度的重要指标之一,优质鱼小片的颜色应该是洁白有光泽的。表 4 结果显示明胶添加对鱼小片的色泽有一定的影响,随着明胶添加量的增加, L^* 值、 a^* 值、 b^* 值均呈现缓慢上升趋势,但变化不显著 ($P > 0.05$)。这可能是由于明胶吸水溶胀,鱼小片中水含量增加导致光散射增加, L^* 值升高; b^* 值呈现升高的趋势,这可能与明胶本身略带微黄有关^[22],但影响有限。感官评分值在明胶添加量为 2.50% 时最高,与空白组(添加量 0%)相比,鱼小片香气浓郁、完整度较高、耐煮性较强、切面致密且富有弹性,因此明胶的添加量应选择为 2.50%。

表 4 明胶添加量对海鲈鱼小片品质的影响
Tab.4 Effect of addition of gelatin on the quality of sea bass slices

类型 Type	明胶添加量 Addition of gelatin/%					
	0	0.50	1.50	2.50	3.50	4.50
硬度 Hardness/g	98.00 ± 12.68 ^b	101.50 ± 8.72 ^b	121.83 ± 10.00 ^b	194.33 ± 37.70 ^a	213.33 ± 2.75 ^a	214.00 ± 13.70 ^a
弹性 Elasticity	3.62 ± 0.25 ^b	3.42 ± 0.03 ^b	3.70 ± 0.38 ^{ab}	4.21 ± 0.12 ^a	3.95 ± 0.07 ^{ab}	3.97 ± 0.16 ^{ab}
咀嚼性 Chewiness	1.12 ± 0.35 ^c	1.09 ± 0.13 ^c	1.52 ± 0.40 ^{bc}	2.58 ± 0.62 ^{ab}	2.61 ± 0.84 ^{ab}	2.92 ± 0.09 ^a
L*	80.80 ± 0.91 ^c	83.03 ± 1.19 ^{bc}	83.40 ± 0.64 ^b	84.30 ± 0.82 ^b	84.32 ± 0.49 ^b	89.66 ± 0.67 ^a
a*	-1.40 ± 1.12 ^a	-1.44 ± 0.89 ^a	-1.39 ± 0.60 ^a	-1.11 ± 0.08 ^a	-0.92 ± 0.27 ^a	-1.37 ± 0.66 ^a
b*	3.74 ± 0.68 ^a	1.83 ± 1.04 ^a	1.65 ± 0.74 ^a	2.11 ± 0.06 ^a	2.01 ± 0.88 ^a	2.29 ± 0.20 ^a
感官评分 Sensory score/points	62.00 ± 2.00 ^b	60.33 ± 3.21 ^b	77.00 ± 13.11 ^{ab}	87.67 ± 5.03 ^a	75.67 ± 5.86 ^{ab}	69.67 ± 7.51 ^{ab}

注:同行小写字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。明胶添加量 0 为空白组。

Notes: The same small letters are different, indicating significant differences ($P < 0.05$). 0 of gelatin addition amount is the blank group.

2.3 蛋清粉添加量对海鲈鱼小片品质的影响

蛋清粉营养价值高、稳定性好,作为黏合剂可以和蛋白质基质相互作用,加强凝胶网络结构^[23]。蛋清粉的添加可以促进巯基相互结合形成二硫键,或抑制组织蛋白酶的活性,致使凝胶结构中的空隙减少,交联更加紧密,凝胶网络结构的疏密程度与产品的硬度具有一定的相关性^[24]。FELISBERTO 等^[25]研究发现产品的凝胶网络越紧密、肌纤维密度越高,产品的硬度越大,说明硬度在一定程度上可以反映产品的成片性。由表 5 可知,随着蛋清粉添加量的增加,硬度和咀嚼性呈现上升的趋势,而弹性与硬度呈现负相关,先上升后下降。当蛋清粉添加量为 6.00% 时,添加组鱼小片的硬度、咀嚼性和弹性均优于空白组(添加量 0)。

蛋清粉一般用来增强鱼糜的凝胶强度、白度

和表面光滑程度^[26]。由表 5 可知:添加蛋清粉与空白组(添加量 0)对于鱼小片的 a^* 值没有显著影响($P > 0.05$),对 b^* 值、 L^* 值影响显著($P < 0.05$)。这与王强等^[27]发现添加蛋清粉对鲑广椒肉丸 a^* 值影响不大的结果相同。当添加量为 10.00% 时,海鲈鱼小片的 b^* 比空白组(添加量 0)明显增大,是因为蛋清粉的白度比鱼小片的白度低,添加过量后鱼小片颜色变黄,蛋清粉的添加对鱼小片的影响由量变引起质变。当蛋清粉添加量为 6.00% 时,硬度、咀嚼性、 L^* 值相对较高, b^* 值较低,弹性最好。感官评价结果表明随着蛋清粉添加量的增加,分值越来越高,说明蛋清粉对鱼小片有较好的作用,当蛋清粉添加量为 6.00% 及以上时,感官得分趋于稳定。综合分析并结合生产成本考虑,蛋清粉的添加量宜为 6.00%。

表 5 蛋清粉添加量对海鲈鱼小片品质的影响
Tab.5 Effect of addition of egg white powder on the quality of sea bass flakes

类型 Type	蛋清粉添加量 Addition of egg white powder/%					
	0	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
硬度 Hardness/g	94.50 ± 3.77 ^b	147.17 ± 19.75 ^{ab}	152.50 ± 15.66 ^{ab}	174.67 ± 39.32 ^a	181.30 ± 29.34 ^a	184.00 ± 21.70 ^a
弹性 Elasticity	2.66 ± 0.35 ^b	3.35 ± 0.29 ^{ab}	3.98 ± 0.29 ^a	3.40 ± 0.24 ^{ab}	2.84 ± 0.53 ^b	3.01 ± 0.50 ^{ab}
咀嚼性 Chewiness	1.17 ± 0.20 ^b	2.34 ± 0.67 ^a	2.49 ± 0.26 ^a	2.47 ± 0.47 ^a	2.50 ± 0.40 ^a	2.53 ± 0.18 ^a
L*	79.78 ± 0.42 ^c	81.56 ± 1.43 ^b	84.36 ± 0.76 ^{ab}	84.80 ± 0.57 ^a	84.01 ± 0.35 ^{ab}	85.69 ± 2.07 ^a
a*	-0.69 ± 0.20 ^a	-0.63 ± 0.06 ^a	-0.97 ± 0.34 ^a	-0.66 ± 0.08 ^a	-0.60 ± 0.27 ^a	-0.61 ± 0.58 ^a
b*	5.38 ± 0.61 ^c	6.74 ± 0.28 ^b	6.94 ± 0.49 ^b	7.50 ± 0.21 ^{ab}	7.17 ± 0.27 ^{ab}	8.22 ± 0.34 ^a
感官评分 Sensory score/points	58.33 ± 3.51 ^b	60.67 ± 9.71 ^b	68.67 ± 8.14 ^{ab}	82.00 ± 3.00 ^a	80.67 ± 3.21 ^a	81.00 ± 2.65 ^a

注:同行小写字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。蛋清粉添加量 0 为空白组。

Notes: The small letters are different, indicating significant differences ($P < 0.05$). 0 of egg white powder addition is the blank group.

2.4 浸渍时间对海鲈鱼小片品质的影响

品质改良液浸渍海鲈鱼小片的时间也是影响鱼小片品质的主要因素(表 6),浸渍时间在

0 ~ 10.00 h 时,硬度和咀嚼性随浸渍时间的延长呈现先升高后降低的趋势,而弹性则呈现波动性增加。引起这一变化的原因是浸渍初期,鱼肉蛋

白没有与品质改良液发生充分交联,内部孔洞较多,缝隙较大,致使鱼肉硬度小、咀嚼性和弹性差^[28],而随着浸渍时间的延长,鱼肉蛋白与品质改良液发生充分交联,缝隙联接紧密,硬度、咀嚼性和弹性均增大,又因为明胶吸水膨胀软化导致硬度降低。浸渍时间为 6.00 h 时,鱼小片硬度达到最大值 202.17 g,比空白组(浸渍时间 0 h)增加 2.1 倍;而咀嚼性也比空白组提高了 107.41%,说明鱼小片黏结性明显提高,成片性得到改善。肉色是反映肉类品质最直观的指标^[29],由表 6 所知,随着浸渍时间的延长, L^* 最大为 79.50,最小为 78.77,这说明浸渍时间对于海鲈鱼小片的亮度没有显著影响。 a^* 值代表红绿度,呈现下降后略微上升的趋势,这可能是由于新鲜鱼肉的表面

会因为大量血红蛋白的聚集而呈现微红色,随着浸渍时间的增加,鱼肉中的血红蛋白和血红素会在酶和细菌的作用下逐渐氧化使红色变弱^[30]。 b^* 值显著增加,这可能是因为脂肪的氧化程度升高,氧化产生的醛和酮等羰基化合物增多,这些化合物能够和游离的氨基酸或者肽发生非酶褐变反应,促进了 b^* 值的变化^[31],武华等^[32] 在研究腌制鳙鱼小片在冷藏过程中品质变化规律时也得出了相似的结论。实验结果表明,与空白组相比,浸渍时间越长对鱼小片的白度影响越大,白度呈现下降的趋势。当浸渍时间在 6.00 h 时,对鱼小片的白度影响不大,但感官评分值最大,鱼小片耐煮性强,外观完整度高。综上所述,浸渍时间应选择 6.00 h。

表 6 浸渍时间对海鲈鱼小片品质的影响

Tab. 6 Effect of immersion time on the quality of sea bass slices

类型 Type	浸渍时间 Immersion time/h					
	0	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
硬度 Hardness/g	96.00 ± 11.17 ^d	109.50 ± 10.83 ^{cd}	187.50 ± 25.24 ^{ab}	202.17 ± 23.71 ^a	174.50 ± 23.45 ^{ab}	150.83 ± 8.43 ^{bc}
弹性 Elasticity	3.05 ± 0.35 ^b	2.96 ± 0.05 ^b	3.17 ± 0.12 ^{ab}	2.25 ± 0.26 ^c	3.26 ± 0.32 ^{ab}	3.76 ± 0.05 ^a
咀嚼性 Chewiness	1.35 ± 0.22 ^b	1.47 ± 0.34 ^b	2.15 ± 0.16 ^{ab}	2.80 ± 0.83 ^a	1.68 ± 0.08 ^b	1.57 ± 0.31 ^b
L^*	79.24 ± 0.61 ^a	78.77 ± 0.14 ^a	79.50 ± 0.30 ^a	78.83 ± 0.92 ^a	78.95 ± 2.39 ^a	79.50 ± 0.54 ^a
a^*	-0.89 ± 0.16 ^{ab}	-0.82 ± 0.32 ^a	-0.86 ± 0.10 ^a	-1.59 ± 0.32 ^b	-1.18 ± 0.37 ^{ab}	-0.92 ± 0.16 ^{ab}
b^*	5.56 ± 0.35 ^c	5.87 ± 0.66 ^{bc}	6.65 ± 0.80 ^{bc}	6.64 ± 0.32 ^{bc}	7.17 ± 0.78 ^b	8.95 ± 0.28 ^a
感官评分 Sensory score/points	71.50 ± 9.87 ^c	75.50 ± 9.03 ^c	80.67 ± 10.36 ^b	90.67 ± 11.12 ^a	89.67 ± 11.43 ^a	87.83 ± 11.61 ^a

注:同行小写字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。浸渍时间 0 h 为空白组。

Notes: The small letters are different, indicating significant differences ($P < 0.05$). The immersion time 0 h is the blank group.

2.5 响应面结优化分析

根据单因素实验结果,在蛋清粉添加量为 6.00% 时,分别对 TG 酶和明胶及浸渍时间对海鲈鱼小片品质影响条件进行优化。由表 7 和表 8 结果可见,在硬度数学模型中,一次项系数中 TG 酶添加量(A_1)、明胶添加量(B_1)、浸渍时间(C_1)的偏回归系数显著($P < 0.05$),说明 3 个因素对鱼小片的硬度有显著影响。交互项 AB 的偏回归系数极显著($P < 0.01$),说明 TG 酶和明胶添加量的交互作用对鱼小片的硬度有极显著影响。二次项的偏回归系数均极显著($P < 0.01$),说明二次项对鱼小片的硬度均具有极显著影响。因此剔除不显著项后即得硬度的表达式(1):

$$Y_1 = 208.27 + 10.33A + 6.69B - 7.81C - 13.13AB - 26.09A^2 - 21.30B^2 - 65.88C^2 \quad (1)$$

由方差分析可知,模型的失拟项($P = 0.3680$)大于 0.05,差异不显著,表明回归方程

对数据的拟合充分, $R^2 = 0.9881$, $R^2_{Adj} = 0.9729$,因此模型拟合效果较好,可用该模型预测产品的硬度。

感官评分数学模型的方差分析(表 9)可知,一次项系数中 A^2 和 C^2 的偏回归系数显著极显著($P < 0.01$),说明 TG 酶和浸渍时间两个因素对鱼片的感官评分具有极显著影响。交互项 AB 的偏回归系数极显著($P < 0.05$),说明 TG 酶和明胶添加量的交互作用对鱼小片的感官评分有显著影响。二次项的偏回归系数均极显著($P < 0.01$),说明二次项对鱼小片的感官评价均具有极显著影响。因此剔除不显著项后即得感官评价的表达式(2):

$$Y_2 = 94.27 + 3.79A + 0.50B - 4.54C - 2.50AB - 0.25AC + 1.16BC - 6.09A^2 - 4.84B^2 - 10.42C^2 \quad (2)$$

表 7 响应面实验结果
Tab.7 Response surface experiment results

实验号 Test number	A	B	C	硬度 Hardness/g (Y_1)	感官评分 Sensory score/分 (Y_2)
1	-1	0	-1	119.33	77.67
2	0	1	-1	134.17	83.00
3	0	0	0	203.17	94.33
4	0	1	1	115.00	75.33
5	-1	0	1	98.67	70.00
6	1	1	0	171.00	85.33
7	0	0	0	205.67	92.00
8	-1	1	0	170.50	83.00
9	1	-1	0	177.50	88.67
10	0	0	0	206.67	94.00
11	-1	-1	0	124.50	76.33
12	0	0	0	206.50	96.00
13	0	-1	1	114.00	72.67
14	1	0	-1	131.33	86.00
15	1	0	1	115.83	77.33
16	0	-1	-1	121.17	85.00
17	0	0	0	219.33	95.00

表 8 硬度回归模型的方差分析结果
Tab.8 Analysis of variance results of hardness regression model

来源 Source	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P	显著性 Significance
模型 model	27 351.92	9	3 039.10	64.82	<0.000 1	**
A	854.08	1	854.08	18.22	0.003 7	**
B	357.78	1	357.78	7.63	0.028 0	*
C	488.18	1	488.18	10.41	0.014 5	*
AB	689.06	1	689.06	14.70	0.006 4	**
AC	6.67	1	6.67	0.14	0.717 1	
BC	36.00	1	36.00	0.77	0.409 9	
A ²	2 866.57	1	2 866.57	61.14	0.000 1	**
B ²	1 910.39	1	1 910.39	40.75	0.000 4	**
C ²	18 276.64	1	18 276.64	389.8	<0.000 1	**
残差 Residual	328.19	7	46.88			
失拟项 Lack of fit	167.41	3	55.80	1.39	0.368 0	
纯误差 Pure error	160.79	4	40.20			
总和 Sum	27 680.11	16				

注: * 差异显著, $P < 0.05$; ** 差异极显著, $P < 0.01$ 。

Notes: * Significant difference, $P < 0.05$; ** Very significant difference, $P < 0.01$.

表 9 感官评分回归模型的方差分析结果
Tab.9 ANOVA results of the sensory score regression model

来源 Source	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P	显著性 Significance
模型 model	1 096.98	9	121.89	74.56	<0.000 1	**
A	114.99	1	114.99	70.34	<0.000 1	**
B	1.99	1	1.99	1.22	0.306 4	
C	165.07	1	165.07	100.98	<0.000 1	**
AB	25.05	1	25.05	15.32	0.005 8	*
AC	0.25	1	0.25	0.15	0.707 4	
BC	0.43	1	5.43	3.32	0.111 2	
A ²	156.25	1	156.25	95.58	<0.000 1	**
B ²	98.71	1	98.71	60.38	0.000 1	**
C ²	457.54	1	457.54	279.88	<0.000 1	**
残差 Residual	11.44	7	1.63			
失拟项 Lack of fit	2.69	3	0.90	0.41	0.755 5	
纯误差 Pure error	8.76	4	2.19			
总和 Sum	1 108.42	16				

注: * 差异显著, $P < 0.05$; ** 差异极显著, $P < 0.01$ 。

Notes: * Significant difference, $P < 0.05$; ** Very significant difference, $P < 0.01$.

由方差分析可知,模型的失拟项($P = 0.7555$)大于0.05,差异不显著,表明回归方程对数据的拟合充分, $R^2 = 0.9897$, $R^2_{Adj} = 0.9764$,因此模型拟合效果较好,该模型用于预测海鲈鱼小片的感官评分是比较合理的。

由图1可知,当明胶添加量不变时,随着TG

酶添加量的增加,硬度和感官评分都增大,当TG酶添加量达到3.50%时,硬度和感官评分值达到最大值,继续增大TG酶的添加量,由于TG酶的作用底物不再增加,硬度变化趋势趋于平缓,感官评分也不再增加。

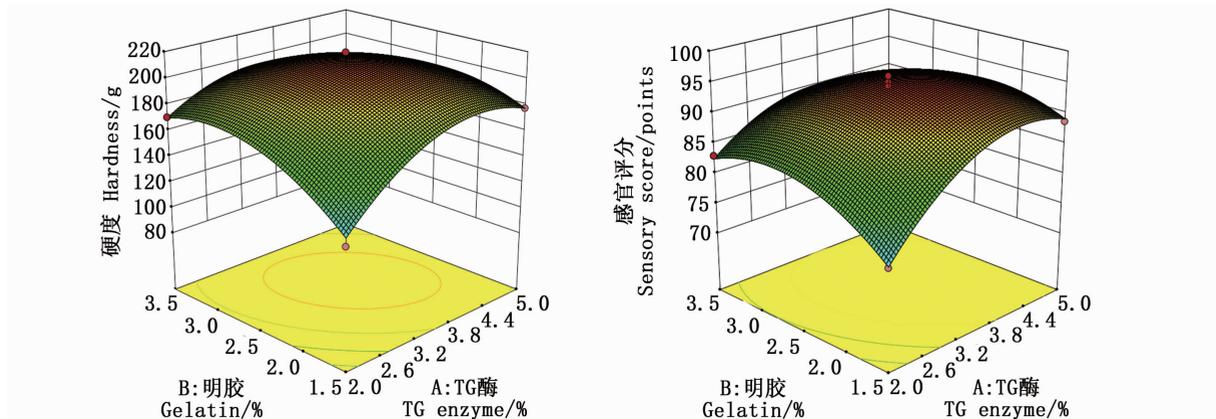


图1 TG酶和明胶添加量的交互作用对硬度和感官评分的影响

Fig. 1 Effect of the interaction of TG enzyme and gelatin addition on hardness and sensory score

由图2可知,当TG酶添加量不变时,随着浸渍时间的延长,硬度与海鲈鱼小片的感官评分都增大,当浸渍时间达到约6.00 h时,感官评分和硬度值均达到最大值。继续增加浸渍时间,鱼肉

本身吸水导致硬度值降低,口感软烂导致感官评分降低。因此在整个过程中,随着浸渍时间的增加,感官评分呈现先增加后减小的趋势。

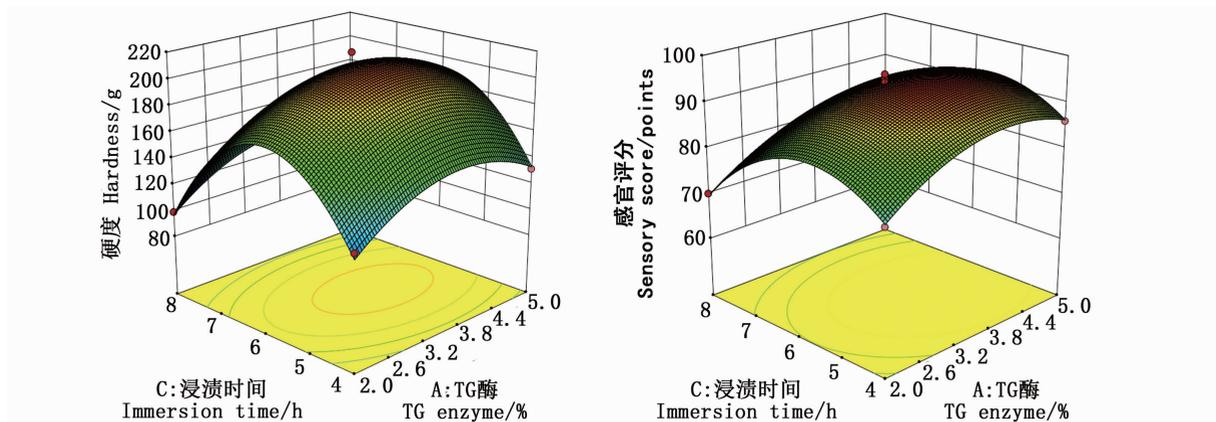


图2 TG酶添加量和浸渍时间的交互作用对硬度和感官评分的影响

Fig. 2 Effect of the interaction of TG enzyme addition and immersion time on hardness and sensory score

由图3可知,当浸渍时间不变时,随着明胶添加量的增加,感官评分和硬度值都增大,当明胶添加量为2.50%时,硬度和感官评分值达到最大值,继续延长浸渍时间,因明胶量大吸水,鱼肉

变软,导致感官评分和硬度值下降。因此在整个过程中,随着明胶添加量的增加,硬度值和感官评分值均呈现增大后减小的趋势。

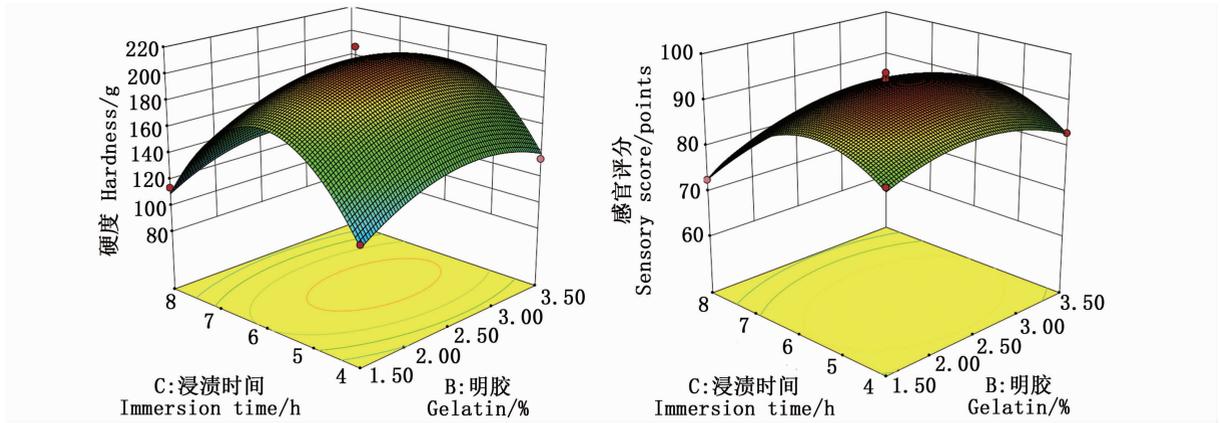


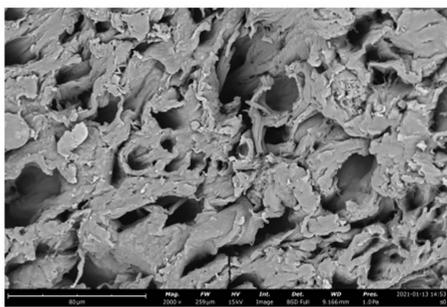
图3 明胶添加量和浸渍时间的交互作用对硬度和感官评分的影响
 Fig.3 Effect of the interaction between the gelatin addition and immersion time on the hardness and sensory score

2.6 工艺验证及微观结构分析

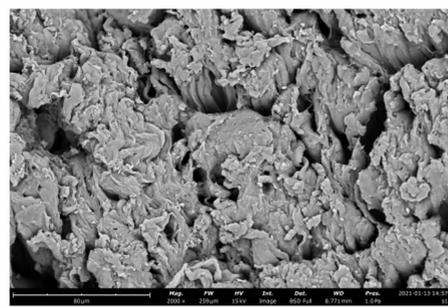
对比硬度模型和感官评价模型二者无太大差异,以感官评分最大、硬度适中为目标,最终确定海鲈鱼小片品质改良工艺条件: TG 酶的添加量为 3.90%、明胶添加量为 2.40%、浸渍时间为 5.50 h,响应面预测的感官评分为 95.39,响应面模型预测的硬度值为 206.31 g。实验验证表明,海鲈鱼片的硬度为 205.00 g,感官评分值为 97.00 分,产品耐煮且不易散,与理论预测值比较接近。说明模型的拟合度好,该工艺生产的鱼片连结性强、耐煮性好、完整度高,为海鲈鱼小片耐煮不易散的最佳工艺。

将未处理的海鲈鱼小片与最佳工艺处理后的海鲈鱼小片分别用扫描电镜观察微观结构,图

4 为放大 2 000 倍的图像。图 4a 中未处理组的海鲈鱼小片鱼肉组织结构松散无规则,孔隙大小不均,呈现无规则状态。图 4b 中品质改良液处理组的海鲈鱼小片呈现略微粗糙且多孔的结构,形成的凝胶网络结构较为紧密、结实,这与 KAEWPRACHU 等^[17]得到的结果相似,其发现 TG 酶加入后,胶原纤维蛋白发生交联,构象发生明显变化。这也说明因为海鲈鱼片经 TG 酶、明胶、蛋清粉所组成的品质改良液浸渍一定时间后,鱼小片的组织结构有明显的改善,交联形成多聚体促进微观网络结构更加稳定。由此表明,本研究开发的品质改良液配方和工艺对于改善海鲈鱼小片的成片性能是可行的,使得鱼小片耐煮不易散碎。



(a) 未处理组的海鲈鱼小片(2 000倍)
 Small pieces of untreated sea bass(2 000 times)



(b) 品质改良液处理组的海鲈鱼小片(2 000倍)
 Small slices of sea bass in the quality improving liquid treatment group (2 000 times)

图4 海鲈鱼小片的微观结构图
 Fig.4 Microstructure diagram of sea bass small flakes

3 讨论

相比于猪肉、鸡肉,鱼肉质疏松、肌纤维短、机械强度较差,特别是海鲈鱼鱼肉呈蒜瓣形,鱼肉水分含量较高,所以在切成小薄片时,遇沸水极易碎散,不能满足消费者对其食用品质的要求。而 TG 酶在蛋白质分子间或分子内催化酰基转移反应生成 ϵ -(γ -谷氨酰)赖氨酸共价键,改善蛋白制品的凝胶强度、持水性等品质,被广泛用于肉制品加工,是国内外学者研究的重点^[33]。明胶具有亲水性可提高凝胶基质中的水分,且价格低廉、来源广泛,添加于鱼糜制品中既能改善产品口感又能提高产品产值^[34],且 WANG 等^[35]研究 TG 酶诱导明胶-碳酸钙复合膜交联发现,当 TG 酶浓度为 8.00 U/g 时,薄膜拉伸强度达到最大值,说明 TG 酶诱导了明胶分子内部肽段产生强烈聚合。另外,蛋清粉作为一种黏合剂,增强凝胶强度,丰富产品营养价值^[36]。明胶与蛋清粉均具有良好的成膜性^[37],又富含蛋白质可与 TG 酶协同增效。故三者相结合必有助于海鲈鱼小片耐煮性和完整性的提高,本研究通过添加 TG 酶、明胶、蛋清粉,调整浸渍时间改善鱼小片质地,并获得最佳工艺条件: TG 酶添加量 3.90%、明胶添加量 2.40%、蛋清粉添加量 6.00%,浸渍时间为 5.50 h,浸渍温度 0~4 °C,优化结果与杨鸿基等^[38]研究的 TG 酶-酪蛋白酸钠-海藻酸钠凝胶体系改善调理牛排品质的报道基本一致。KAEWPRACHU 等^[17]研究 TG 酶对鱼肉肌原纤维蛋白膜特性的影响,当 TG 酶含量从 0 增加到 4.00% 时,肌原纤维蛋白膜的拉伸强度从 7.16 MPa 增加到 13.10 MPa,断裂拉伸率从 167.49% 降低到 85.61%。用本研究最佳品质改良液浸渍工艺技术处理后的海鲈鱼小片,其机械强度小于肌肉纤维膜强度,耐煮性强,煮后完整度高,外形美观,且色泽洁白、具海鲈鱼特有的香鲜气味、弹性适中,品质佳。该研究为用海鲈鱼加工火锅类、酸菜鱼类等社区类预制鱼产品提供了技术支持。

参考文献:

- [1] 张海燕, 吴燕燕, 李来好, 等. 响应面法优化海鲈鱼片脱腥工艺[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 143-149.
ZHANG H Y, WU Y Y, LI L H, et al. Optimized deodorization process of *Lateolabrax japonicus* fillets by

- response surface methodology [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(11): 143-149.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2020 渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 22.
Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fishery statistical yearbook 2020 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 22.
- [3] 步营, 李月, 朱文慧, 等. 不同烹饪方式对海鲈鱼品质和风味的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(1): 26-30.
BU Y, LI Y, ZHU W H, et al. Effects of different cooking methods on quality and flavor of sea bass [J]. China Condiment, 2020, 45(1): 26-30.
- [4] 张海燕, 吴燕燕, 李来好, 等. 鲈鱼保鲜加工技术研究现状[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(4): 115-122.
ZHANG H Y, WU Y Y, LI L H, et al. Opportunity, status and prospect of bass processing development [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2019, 39(4): 115-122.
- [5] 胥伟, 黄迪, 许亚彬. 干热处理蛋清粉改善鲢鱼鱼糜凝胶性的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(3): 213-215.
XU W, HUAGN D, XU Y B. Research on improvement of silver carp surimi gelling properties using dry-heating processed egg white powder [J]. The Food Industry, 2016, 37(3): 213-215.
- [6] PAN S K, WU S J. Effect of chitooligosaccharides on the denaturation of weever myofibrillar protein during frozen storage [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 65: 549-552.
- [7] 郭培. 罗非鱼鱼皮明胶在鱼糜制品中的应用研究[D]. 海口: 海南大学, 2016.
GUO P. Study on the application of tilapia fish skin gelatin in surimi products [D]. Haikou: Hainan University, 2016.
- [8] HU Z Z, SHA X M, HUANG T, et al. Microbial transglutaminase (MTGase) modified fish gelatin- γ -polyglutamic acid (γ -PGA): rheological behavior, gelling properties, and structure [J]. Food Chemistry, 2021, 348: 129093.
- [9] 王崑, 杨领, 李学鹏, 等. TG 酶对金线鱼鱼糜 3D 打印效果的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 74-81.
WANG W, YANG L, LI X P, et al. Effect of transglutaminase on 3D printing characteristics of *Nemipterus virgatus* surimi [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(6): 74-81.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 16291.1-2012 感官分析、选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分: 优先评价员[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 1-23.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration of China. GB/T 16291.1-2012 Sensory analysis-general guidance for the selection,

- training and monitoring of assessors-part 1: selected assessors [S]. Beijing: China Standards Press, 2012: 1-23.
- [11] 魏涯, 黄卉, 李来好, 等. 宰前预冷处理对大口黑鲈冰藏品质的影响[J]. 南方水产科学, 2019, 15(6): 81-87.
WEI Y, HUANG H, LI L H, et al. Effect of precooling before slaughter on quality of *Micropterus salmoides* during ice storage[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(6): 81-87.
- [12] 童今柱. 加热方式对鸭肉肌原纤维蛋白结构和功能性质及肉品质形成的影响研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
TONG J Z. Effects of heating methods on the structure, functional properties and meat quality of duck myofibrin[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [13] HERRERO A M, CAMBERO M I, ORDOÑEZ J A, et al. Raman spectroscopy study of the structural effect of microbial transglutaminase on meat systems and its relationship with textural characteristics [J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 25-32.
- [14] MOTOKI M, SEGURO K. Transglutaminase and its use for food processing[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(5): 204-210.
- [15] 杨明柳, 周迎芹, 方旭波, 等. 谷氨酰胺转氨酶对鳊鱼鱼糜凝胶的品质影响[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 37-44.
YANG M L, ZHOU Y Q, FANG X B, et al. Effect of transglutaminase on the quality of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) surimi gel[J]. Food Science, 2021, 42(12): 37-44.
- [16] SETIADI, SAH W I, PERTIWI P A. Studies of meat characteristic and organoleptic analysis of local duck prepared from restructuring method using transglutaminase enzyme [J]. AIP Conference Proceedings, 2019, 2085(1): 020038.
- [17] KAEWPRACHU P, OSAKO K, TONGDEESOONTORN W, et al. The effects of microbial transglutaminase on the properties of fish myofibrillar protein film [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2017, 12: 91-99.
- [18] SUN X D, HOLLEY R A. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(1): 33-51.
- [19] 王丹, 姜启兴, 许艳顺, 等. 鱼糕质构的仪器分析与感官评定间的相关性[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 24-27, 210.
WANG D, JIANG Q X, XU Y S, et al. Correlation between sensory evaluation and instrumental analysis of kamabokos texture[J]. Food & Machinery, 2016, 32(4): 24-27, 210.
- [20] JONGJAREONRAK A, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Skin gelatin from bigeye snapper and brownstripe red snapper: chemical compositions and effect of microbial transglutaminase on gel properties[J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(8): 1216-1222.
- [21] 芦嘉莹, 夏秀芳, 孔保华, 等. 复配食用胶对乳化肠品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 31-35.
LU J Y, XIA X F, KONG B H, et al. Effect of formulated edible gum on the quality of emulsified sausages [J]. Food Science, 2013, 34(5): 31-35.
- [22] 郭培, 李川, 申铨日, 等. 金鲳鱼肉和罗非鱼皮明胶改善罗非鱼碎肉鱼糜品质[J]. 农业工程学报, 2016, 32(s2): 406-411.
GUO P, LI C, SHEN X R, et al. Golden pompano fish and tilapia fish skin gelatin improving quality of tilapia surimi [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(s2): 406-411.
- [23] CHANG-LEE M V, LAMPILA L E, CRAWFORD D L. Yield and composition of surimi from pacific whiting (*Merluccius productus*) and the effect of various protein additives on gel strength [J]. Journal of Food Science, 1990, 55(1): 83-86.
- [24] HUNT A, PARK J W, HANDA A. Effect of various types of egg white on characteristics and gelation of fish myofibrillar proteins[J]. Journal of Food Science, 2009, 74(9): C683-C692.
- [25] FELISBERTO M H F, GALVÃO M T E L, PICONE C S F, et al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 148-155.
- [26] PARK J W. Ingredient technology and formulation development [J]. Surimi & Surimi Seafood, 2000: 343-391.
- [27] 王强, 邹金, 王玉荣, 等. 添加蛋清粉对鲜广椒肉丸品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(7): 53-57.
WANG Q, ZOU J, WANG Y R, et al. Effect of egg white powder addition on the quality of pork meatballs with Zhaguangjiao, a Chinese fermented food made with corn flour and chili[J]. Meat Research, 2020, 34(7): 53-57.
- [28] 王童, 逢晓阳, 芦晶, 等. 红曲霉对类 Camembert 干酪成熟期质构和风味的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 1-11.
WANG T, PANG X Y, LU J, et al. Effect of *Monascus* on texture and flavor of Camembert-type cheese during ripening period[J]. Food Science, 2020, 41(3): 1-11.
- [29] 黄卉, 孙申宇, 魏涯, 等. 红色肉贮藏期间肌红蛋白与肉色变化研究进展[J]. 南方水产科学, 2020, 16(3): 119-124.
HUANG H, SUN S Y, WEI Y, et al. Research progress on color transformation of red meat during storage [J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(3): 119-124.
- [30] 田陈聃. 草鱼的复合保鲜技术及鱼丸加工工艺研究[D]. 厦门: 集美大学, 2017.
TIAN C P. Research on compound preservation technology of fresh keeping grass carp and fish ball processing technique [D]. Xiamen: Jimei University, 2017.

- [31] YARNPAKDEE S, BENJAKUL S, KRISTINSSON H G, et al. Effect of pretreatment on lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysates from the muscle of Indian mackerel[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(4): 2474-2482.
- [32] 武华, 阴晓菲, 罗永康, 等. 腌制鲮鱼片在冷藏过程中品质变化规律的研究[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(4): 69-74.
- WU H, YIN X F, LUO Y K, et al. Quality changes of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets treated with salt during storage at 4 °C [J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(4): 69-74.
- [33] HU Y Q, SHAO Y, WU C H, et al. γ -PGA and MTGase improve the formation of ϵ -(γ -glutamyl) lysine cross-links within hairtail (*Trichiurus haumela*) surimi protein [J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 330-337.
- [34] KAEWUDOM P, BENJAKUL S, KIJROONGROJANA K. Properties of surimi gel as influenced by fish gelatin and microbial transglutaminase[J]. *Food Bioscience*, 2013, 1: 39-47.
- [35] WANG Y M, LIU A J, YE R, et al. Transglutaminase-induced crosslinking of gelatin-calcium carbonate composite films[J]. *Food Chemistry*, 2015, 166: 414-422.
- [36] 许亚彬, 胥伟, 黄迪. 蛋清液与蛋清粉对鲢鱼鱼糜凝胶性的改良效果比较[J]. *中国家禽*, 2016, 38(4): 34-37.
- XU Y B, XU W, HUANG D. Comparison of improvement effect of egg white solution and egg white powder on gelling properties of silver carp surimi[J]. *China Poultry*, 2016, 38(4): 34-37.
- [37] 茅宇虹, 刘俊豪, 杨文鸽, 等. 鲢鱼皮胶原蛋白的提取条件优化及其特性分析[J]. *核农学报*, 2014, 28(3): 459-466.
- MAO Y H, LIU J H, YANG W G, et al. Optimization of extraction conditions of collagen and its characterization from skin of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(3): 459-466.
- [38] 杨鸿基, 钱植龙, 李浩, 等. TG 酶-酪蛋白酸钠-海藻酸钠凝胶体系改善调理牛排品质[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(11): 226-235, 254.
- YANG H J, QIAN Z L, LI H, et al. TG enzyme-sodium caseinate-sodium alginate to improve the quality of conditioned steak[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2020, 36(11): 226-235, 254.

Response surface methodology to optimize the quality improvement technology of *Lateolabrax japonicus* small slices

LI Jinxing^{1,2}, WU Yanyan², WANG Yueqi², YANG Shaoling², WANG Di², MAI Zhicheng³

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 2. Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong, China; 3. Zhi Shan Marineproducts Development Co., Ltd., Zhuhai 519100, Guangdong, China)

Abstract: After the sea bass (*Lateolabrax japonicus*) is cut into small pieces, it has quality problems such as inability to cook, easy to fall apart, and poor integrity, which severely restricts the development of series of products. This research develops a quality improvement technology suitable for small pieces of sea bass. The effects of TG enzyme, gelatin, egg white powder and immersion time on the quality of fish flakes were studied by single factor, and the formula and process of compound quality improver were optimized by Box-Behnken response surface. The results showed that TG enzyme, gelatin and egg white powder could all improve the boiling resistance and integrity of sea bass small pieces. The best process was: TG enzyme addition amount 3.90%, gelatin addition amount 2.40%, egg white powder addition amount 6.00%, dipping temperature was 0-4 °C, and the immersion time was 5.50 h. The processed sea bass slices had good boiling resistance, high integrity, white color, moderate elasticity, and strong aroma. The observation of the microstructure showed that it could make the tissue structure of the fish slices more compact. This research solved the “bottleneck” problem in the processing of sea bass cut into small pieces, and provided technical support for the production of hot pot, simple community dishes and other products.

Key words: *Lateolabrax japonicus* small slices; boiling resistance; integrity; quality improver; process optimization