

海鲈鱼鱼松加工工艺研究

火玉明^{1,2}, 柯汉杰^{1,2}, 吴晨昕^{1,2}, 姜红贺¹, 梁鹏^{1,2,3*}, 汪晴⁴, 陈小辉⁴

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福州 350002; 2. 闽台特色海洋食品加工及营养健康教育部工程研究中心, 福州 350002; 3. 福建省海洋生物技术重点实验室, 福州 350002; 4. 福建闽威食品有限公司, 福鼎 355200)

摘要: **目的** 优化海鲈鱼鱼松加工工艺。**方法** 以海鲈鱼为原料制备鱼松, 通过质构、色差及感官评分确定鱼松加工中蒸煮时间、初炒时间和炒酥时间 3 个关键工艺参数。在此基础上, 以感官评价为指标对单因素试验和正交试验结果进行分析, 获得鱼松的最佳配方, 由电子舌、电子鼻检测对感官评价结果进行验证。**结果** 蒸煮时间 20 min、初炒时间 10 min, 炒酥时间 25 min 为鱼松最佳加工条件, 而影响感官评分的配料因素排序依次为食盐添加量 > 豌豆粉添加量 > 白砂糖添加量, 添加 2% 食盐、5% 白砂糖、8% 豌豆粉制备的鱼松品质最好。**结论** 一定工艺条件下, 食盐添加量对海鲈鱼鱼松感官品质有较大影响。本研究可为工业化生产海鲈鱼鱼松产品提供参考。

关键词: 海鲈鱼; 鱼松; 加工工艺; 配方; 电子舌; 电子鼻

Study on the processing technology of *Lateolabrax japonicus* dried fish floss

HUO Yu-Ming^{1,2}, KE Han-Jie^{1,2}, WU Chen-Xin^{1,2}, JIANG Hong-He¹, LIANG Peng^{1,2,3*},
WANG Qing⁴, CHEN Xiao-Hui⁴

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Engineering Research Centre of Fujian-Taiwan Special Marine Food Processing and Nutrition Ministry of Education, Fuzhou 350002, China; 3. Key Laboratory of Marine Biotechnology of Fujian Province, Fuzhou 350002, China; 4. Fujian Minwell Food Industrial Co., Ltd., Fuding 355200, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the processing technology of *Lateolabrax japonicus* dried fish floss. **Methods** The fish floss was prepared with *Lateolabrax japonicus* as the raw material, and 3 key process parameters of cooking time, initial frying time and fried crisp time were determined by texture, color difference and sensory evaluation. On this basis, the results of single factor test and orthogonal test were analyzed with sensory evaluation as an index, and the optimal formula of fish floss was obtained. The sensory evaluation results were verified by electronic tongue and electronic nose detection. **Results** The best processing conditions for fish floss were 20 min cooking time, 10 min initial frying time and 25 min fried crisp time. The order of ingredient factors that affect sensory scores was salt addition > pea flour addition > white sugar addition, the quality of fish floss prepared with 2% salt, 5% white sugar, and 8% pea flour was best. **Conclusion** Under certain process conditions, the salt addition has a great influence on the sensory of *Lateolabrax japonicus* fish floss. This experiment results can provide a reference for the industrial production of *Lateolabrax japonicus* fish floss products.

基金项目: 福建省星火计划项目(2020S01020107)

Fund: Supported by the Fujian Spark Program (2020S01020107)

*通信作者: 梁鹏, 副教授, 主要研究方向为水产油脂化学与营养。E-mail: liangpeng137@sina.com

*Corresponding author: LIANG Peng, Associate Professor, College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: liangpeng137@sina.com

KEY WORDS: *Lateolabrax japonicas*; fish floss; processing technology; formulation; electronic tongue; electronic nose

0 引言

海鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)属于鲈形目(Perciformes), 鲈科(Serranidae), 花鲈属(*Lateolabrax*), 学名为日本真鲈, 又称花鲈, 俗称海鲈鱼, 是我国主要经济鱼类之一, 主要分布于广东、福建、山东等地^[1-2]。海鲈鱼鱼肉纯白细腻, 口味鲜甜, 蛋白质、氨基酸含量丰富, 同时富含二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)等多种营养成分, 深受消费者青睐^[3]。近年我国鲈鱼养殖量逐年增长, 《2021 中国渔业统计年鉴》显示, 2020 年我国鲈鱼养殖年产量已达到 19 万 t, 同比上一年增长了 8.37%^[2]。当前海鲈鱼精深加工方面仍处于初级阶段, 加工方式主要为风干成熟、腌制、鲜食等^[3], 无法满足市场日益增长的消费需求, 因此, 开发一种精深加工的海鲈鱼产品迫在眉睫。

鱼松是一种克服鱼类腥味顽固、剔刺困难等问题, 由鱼的肌纤维经过一系列调味炒制而成, 能供给人体蛋白质和钙质的方便即食食品^[4-5]。随着人们饮食结构的变化, 开发营养丰富、味道鲜美且符合日益增长的市场需求的鱼松产品已成为趋势。REN 等^[6]通过分析不同设备条件对鱼松硬度、感官评价和品质特性的影响, 为鱼松的加工提供依据; 王玮琼等^[7]以大口黑鲈为原料, 通过单因素优化腌制时间、汽烹时间和干制时间 3 个关键工艺参数确定鱼松的最优工艺参数, 对鱼松制作工艺条件进行响应面优化研究; 李庆玲等^[8]以鲢鱼为主要原料, 研究了调味、炒制工艺条件对鲢鱼鱼松产品的影响, 对鲢鱼鱼松的加工工艺进行了研究, 为鲢鱼深加工开辟了一条新的途径; 许元佳等^[9]优化配方将罗非鱼开发成鱼松产品, 开发了罗非鱼精深加工的新产品。因此研发不同原料的鱼松产品, 建立并完善加工过程中的技术体系是当下的主要任务。

本研究以海鲈鱼为原料, 经清洗、去骨、蒸煮、炒制等工艺制成海鲈鱼鱼松, 基于感官评价、色差、质构和风味的变化规律, 优化海鲈鱼鱼松加工工艺, 确定适用于海鲈鱼鱼松加工的关键技术, 对提升海鲈鱼精深加工水平, 实现产业增值增效, 带动区域渔业经济可持续发展具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

鲜冻海鲈鱼(每尾长 35.0 cm±5.0 cm, 重约 1.5 kg): 福建闽威实业养殖基地提供; 豌豆粉: 购于淘宝网; 食盐、白砂糖、棕榈油、料酒: 购于福州永辉超市, 均符合食品卫生标准。

1.2 主要仪器与设备

BS 224S 型电子天平[精密度 0.01 g, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; WK2102 电磁炉(美的集团股份有限公司); TA.XT EXpressC 物性分析仪(英国 SMS 公司); WSC-S 测色色差计(上海申光仪器仪表有限公司); TGL-16 台式离心机(上海安亭科学仪器厂); PEN3.5 电子鼻恶臭分析仪(德国 Airsense 公司); SA402B 味觉分析系统(电子舌)(日本 INSENT 公司)。

1.3 方法

1.3.1 鱼松工艺流程

解冻→预处理(去头、去鳞、去内脏, 清洗)→去腥→蒸煮→去皮去骨→碾压脱水→炒制→冷却→密封包装^[10-11]。

将解冻的冻鲜海鲈鱼进行去头、去鳞、去内脏处理, 清洗后沥水, 加入料液比 1:2 (g:mL)料酒腌制 20 min 去腥, 后置于电磁炉 1600 W, 200 °C 蒸 20 min, 冷却后去除鱼皮、鱼刺, 按鱼肉纤维组织手撕鱼肉至条、块状, 揉搓打开鱼肉纤维; 将揉搓好的鱼肉中加入一定量的植物油使其分布均匀, 倒入不粘锅中电磁炉 300 W, 100 °C 炒制 10 min, 去除鱼肉表面水分, 加入调味料后转电磁炉 120 W 温度 60 °C 继续炒制 25 min, 直到鱼肉纤维呈金黄色绒毛状为止, 冷却至室温将鱼松密封包装。

1.3.2 鱼松加工条件优化

(1) 蒸煮时间的确定

在初炒时间 10 min, 炒酥时间 25 min 的条件下, 研究蒸煮时间分别为 5、10、15、20、25 min 时对鱼松感官、色差及质构的影响, 每组重复 3 次, 取平均值。

(2) 初炒时间的确定

在蒸煮时间 20 min, 炒酥时间 25 min 的条件下, 研究初炒时间分别为 5、10、15、20、25 min 时对鱼松感官、色差及质构的影响, 每组重复 3 次, 取平均值。

(3) 炒酥时间的确定

在蒸煮时间 20 min, 初炒时间 10 min 的条件下, 研究炒酥时间分别为 10、15、20、25、30 min 时对鱼松感官、色差及质构的影响, 每组重复 3 次, 取平均值。

1.3.3 鱼松风味配方优化

(1) 单因素试验

探讨食盐添加量(1%、2%、3%、4%、5%)、白砂糖添加量(1%、3%、5%、7%、9%)和豌豆粉添加量(2%、4%、6%、8%、10%)对鱼松感官品质的影响, 每组重复 3 次, 取平均值。

(2) 正交试验

根据 1.3.3(1)单因素试验结果, 选用 L_93^3 正交表, 以

感官评分为评价指标进行正交试验(表 1), 每组重复 3 次, 取平均值。

表 1 鱼松配方正交表
Table 1 Orthogonal test of fish floss

水平	因素(添加量)		
	A 食盐/%	B 白砂糖/%	C 豌豆粉/%
1	1	3	4
2	2	5	6
3	3	7	8

1.3.4 质构及色差测定

质构测定: 利用物性分析仪对所制鱼松的质构特性(硬度、脆度)进行测定。探头: P/36R; 模式: 全质构(texture profile analysis, TPA); 测试前速度: 2.0 mm/s, 测试速度: 2.0 mm/s, 测试后速度: 5.0 mm/s; 应变: 75%; 触发力: 1.0 g。每个样测量重复 3 次, 取平均值。

色差测定: 利用测色色差计对所制鱼松的色泽(以 b^* 为指标)进行测定。仪器预热 30 min, 白色标准板和光阱校正, 测定样品并记录色度值(L^* 表示颜色亮/浅, a^* 表示颜色红度、 b^* 表示颜色黄度^[12-13]), 比较不同条件对鱼松金黄色泽(b^*)的影响。每个样品随机选取, 测量 3 次后取平均值。

1.3.5 感官评价

选取 10 名经过专业食品感官训练的人员组成评定小组, 男女参半, 随机抽取样品, 于室温环境下进行评分。感官评分采用 100 分制, 色泽、形态、风味、口感各占 25%, 评价标准参考 GB/T 23968—2009《肉松》感官要求制定, 具体内容见表 2。

表 2 鱼松感官评定标准
Table 2 Sensory evaluation standard of fish floss

指标	权重	标准	评分
色泽	25%	金黄, 颜色均匀, 有光泽	81~100
		浅金黄色, 颜色稍不均匀, 稍无光泽	61~80
		浅黄或深褐色, 颜色不均匀, 无光泽	0~60
		纤维分明疏松, 无颗粒	81~100
形态	25%	纤维疏松, 稍有颗粒	61~80
		纤维少, 颗粒多	0~60
风味	25%	香味纯正, 咸甜适中, 无异味	81~100
		香味较纯正, 咸甜较适中, 稍有鱼腥味	61~80
		香味淡, 过甜或过咸, 有鱼腥味	0~60
		口感好, 有酥脆	81~100
口感	25%	口感一般, 稍有酥脆	61~80
		口感差, 较硬或较软	0~60

1.3.6 智能感官检测

电子舌分析: 准确称取 40 g 鱼松样品, 按料水比 1:5 (g:mL)的比例加入蒸馏水, 搅拌混合后于 3000 r/min 离心 10 min, 取上清液。定性滤纸过滤上清液, 取 35 mL 滤液于电子舌专用样品杯中, 按设置序列将样品杯置于电子舌自动进样器, 单次采样时间为 120 s, 1 次/s 进行检测。每组样品重复检测 4 次, 选取后 3 次数据进行分析。

电子鼻分析: 准确称取 5.00 g 鱼松样品放置于 15 mL 具塞离心管中, 密封, 在室温环境中静置 30 min 后, 进行顶空进样, 每个样品均设 6 个平行。电子鼻的测定条件为: 传感器清洗时间为 200 s, 样品测试时间为 120 s, 选取测定过程中 80~82 s 的数据用于分析。电子鼻的 10 个传感器所感应物质如表 3 所示。

表 3 PEN3.5 传感器阵列及其相应特性
Table 3 PEN3.5 sensor array and its characteristics

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化物很灵敏, 灵敏度大
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
4	W6S	对氢气有选择性
5	W5C	对烷烃芳香成分灵敏
6	W1S	对甲烷灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对乙醇灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 进行数据处理, IBM SPSS 23 进行 ANOVA 单因素方差分析及 Duncan 检验($P<0.05$), Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 鱼松加工条件优化

2.1.1 蒸煮时间对鱼松感官、色差及质构的影响

蒸制和煮制是最常用的热加工方式, 且适宜的蒸制处理能较好地保持食材的原汁原味, 有效避免因高温烹调所造成的营养素流失, 同一蒸煮温度下选择不同蒸煮时间可直接影响产品的质量及出品率^[14-16]。赵洪雷等^[17]研究表明, 随着蒸制时间的延长, 海鲈鱼肉中的不易流动水逐渐向自由水转化并流失, 而结合水含量变化不明显, 且蒸制后鱼肉纤维间隙明显增大, 这些变化将使得鱼肉的质构和色差会发生改变, 进而影响加工制备的感官品质。表 4 为

蒸煮时间对鱼松感官评分、 b^* 及质构的影响。如表 4 所示,随着蒸煮时间的增加,感官评分呈先上升后下降, b^* 呈上升趋势,而质构方面表现为硬度先降低后升高,脆度先升高后降低。感官评分和色差的变化可能是因为蒸煮时间对鱼肉的含水率影响。当蒸煮时间较短时,所蒸煮的鱼肉并未完全熟化,炒制的鱼肉容易出现团聚现象,色泽偏暗,呈现形态不均匀且颗粒明显的鱼松样品,严重影响感官评分。而当蒸煮时间过久时,鱼肉已完全熟化,纤维明显,炒制鱼松过于松散,影响感官形态。当蒸煮时间为 20 min 时, b^* 较高且感官评分达到最大值。而对于质构的变化可能是蒸制时间不同时鱼肉纤维间隙不同,不同间隙的鱼肉纤维对加工中温度的受热程度不同,也对外界水分的吸收不同,炒制的鱼松将会呈现不同的质构^[18]。当蒸煮时间为 20 min 时鱼松硬度最小,脆度最大,表明此时制备的具有良好的酥脆感,蒸煮 20 min 后,感官评分呈下降趋势,此时鱼松的含水率慢慢增大,鱼肉慢慢变得散碎,炒制鱼松时多余的水分使鱼松脆度开始缓慢下降。因此选择 20 min 作为鱼松的最佳蒸煮时间。

2.1.2 初炒时间对鱼松感官、色差及质构的影响

初炒工艺是影响产品质量的关键工艺,其反应时间不仅会影响反应发生的程度从而影响美拉德产物的生成,而且还对处理的肉的质地产生影响,进而在加工中产生断裂,影响产品口感^[18-19]。李钰金等^[20]研究发现,蒸煮时间、压榨水分量、搓松的质量和初炒时间为鱼松制备中的关键工艺,其中初炒时间对工艺生产产品质量影响较大。表 5 为初炒时间对鱼松感官评分、 b^* 及质构的影响。如表 5 可

知,随着初炒时间的增加,感官评分呈先上升后下降, b^* 不断上升,而鱼松硬度先降低后升高,脆度先升高后降低。感官评分和色差的变化说明较长或较短的初炒时间都会使鱼松感官评分下降,这可能是初炒时间对鱼肉纤维水分含量的影响较大,进而影响到鱼松的成品品质^[18]。当初炒时间为 10 min 时,鱼肉纤维形状保持较好,成绒效果良好, b^* 较高且感官评分最高。而对于质构的变化可能的原因在于初炒工艺能使鱼肉纤维的水分含量下降,当初炒时间超过 10 min 时该影响明显,炒制的鱼松硬度较高脆度较低,断裂易破碎,感官品质下降;当初炒时间少于 10 min 时,鱼肉纤维水分蒸发时间短,在炒酥阶段容易结块且呈现表面酥硬内部松软,硬度过高脆度较低,严重影响感官品质。初炒时间在 10 min 时,鱼肉纤维形态良好,成绒效果较佳,质构指标适宜,所以最终选择初炒时间为 10 min。

2.1.3 炒酥时间对鱼松感官、色差及质构的影响

炒酥是鱼松制作的最后步骤,也是产生鱼松风味的关键步骤,合理的炒酥时间对鱼松的色香味形、还是鱼松营养价值的保留都有重要影响,赋予鱼松疏松酥脆的口感^[21-22]。吕顺等^[23]研究表示,炒酥时间与草鱼松的香味和滋味呈正相关,过长或过短的炒酥时间对鱼松的感官品质影响较大。表 6 为炒酥时间对鱼松感官评分、 b^* 及质构的影响。如表 6 所示,鱼松感官评分随着炒酥时间的增加呈先上升后下降的趋势, b^* 随着炒酥时间增加先升高后降低,而鱼松硬度随炒酥时间的增加先升高后降低,脆度在炒酥时间少于 25 min 时检测不到。感官评分和色差的变化可能是当炒酥时间过短时,鱼肉纤维未充分受热,鱼松的色泽不均匀,感官评分

表 4 蒸煮时间对鱼松感官、 b^* 及质构的影响($n=3$)
Table 4 Effects of cooking time on the sensory, b^* and texture of fish floss ($n=3$)

蒸煮时间/min	感官评分/分	b^*	硬度/g	脆度/g
5	77.60±1.34 ^c	28.52±0.42 ^d	6788.06±648.67 ^a	1271.89±470.15 ^d
10	80.30±1.11 ^b	32.20±2.47 ^c	5007.09±315.86 ^{bc}	1414.17±299.35 ^d
15	80.53±1.63 ^b	36.28±0.41 ^a	5659.88±865.88 ^b	2166.88±330.14 ^c
20	84.18±2.08 ^a	41.77±1.37 ^a	4376.05±357.22 ^c	4536.05±388.56 ^a
25	81.43±1.16 ^b	42.10±0.89 ^a	5061.16±218.58 ^{bc}	3279.47±382.42 ^b

注: 同列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$), 下同。

表 5 初炒时间对鱼松感官、 b^* 及质构的影响($n=3$)
Table 5 Effects of the initial frying time on the sensory, b^* and texture of fish floss ($n=3$)

初炒时间/min	感官评分/分	b^*	硬度/g	脆度/g
5	79.05±1.15 ^d	24.66±2.01 ^c	8264.34±687.78 ^a	1225.26±189.71 ^c
10	83.10±0.72 ^a	41.90±1.18 ^b	5733.53±193.56 ^c	5317.16±1190.70 ^a
15	81.05±1.05 ^b	43.85±1.89 ^b	6166.36±1389.70 ^{bc}	3177.77±190.17 ^b
20	80.20±1.01 ^c	48.94±0.85 ^a	7320.82±608.51 ^{ab}	2499.65±139.37 ^b
25	78.13±0.62 ^c	52.74±4.01 ^a	7902.13±144.85 ^a	1414.18±515.57 ^c

表 6 炒酥时间对鱼松感官、 b^* 及质构的影响($n=3$)
Table 6 Effects of fried crisp time on the sensory, b^* and texture of fish floss ($n=3$)

炒酥时间/min	感官评分/分	b^*	硬度/g	脆度/g
10	77.95±1.17 ^d	26.31±2.52 ^c	3919.88±459.31 ^d	—
15	81.65±0.72 ^b	33.07±3.96 ^b	8926.75±290.83 ^a	—
20	82.23±1.01 ^b	33.21±1.81 ^b	6568.57±1367.17 ^b	—
25	84.55±1.64 ^a	44.36±2.96 ^a	5895.08±227.13 ^{bc}	3672.71±389.10
30	79.93±0.83 ^c	43.54±2.21 ^a	4797.87±1411.59 ^{cd}	2979.91±82.31

注: —表示无此项。

较低,随着炒酥时间的加长,鱼肉纤维充分受热,鱼松色泽、形态及口感得以改善。当炒酥时间达到 25 min 时,色泽呈均匀金黄色,香味鲜美纯正,无不良气味,无杂质,鱼松 b^* 值适宜且感官评分最优。超过 25 min 后,鱼松开始产生焦糊,口感变差,色泽焦黄,感官评分下降较快。而硬度和脆度的变化可能是因为炒酥时间较短时,产品水分含量过高,酥脆口感不够,脆度较低难检测,且硬度不稳定。而经过 25 min 炒酥时间的鱼松柔软蓬松,酥脆适宜,有较优的感官品质。炒酥时间在 25 min 后,鱼松颗粒状明显,蓬松度较低,酥脆感逐渐下降。因此,鱼松的炒酥时间在 25 min 时最优。

2.2 鱼松配料优化

2.2.1 单因素试验分析

当以食盐添加量(1%、2%、3%、4%、5%)进行单因素试验时,发现食盐添加量为 5%时感官评分最低,添加量为 2%时得分最高,而添加量超过 3%时感官评分随之降低。鱼松是一种咸甜适宜、味道鲜美的鱼类加工制品,食盐用量主要影响鱼松感官评价得分,对鱼松的疏松度也有一定的影响,除了可以赋予产品一定的风味外,还具有防腐抗菌、抗氧化的作用^[24-25]。食盐添加量为 1%~3%范围内鱼松感官评分较高,添加量超过 3%后,咸味过重导致鱼松中其他香味不协调而使感官评分降低。因此选择食盐添加量为 1%~3%进行正交试验。

糖是最基本的风味辅料,在鱼肉制品中起赋予甜味和增添制品色泽的作用,通过白砂糖来调和掩盖鱼肉中的不愉快的酸味,并赋予鱼松良好的品相^[26]。当以白砂糖添加量(1%、3%、5%、7%、9%)进行单因素试验时,发现在 3%~7%范围内,随着白砂糖的添加量增大,鱼松的感官品质感官评分上升,这可能是白砂糖的添加使鱼肉酸味减小快,且糖在鱼松的炒制过程中易发生美拉德反应^[27],赋予鱼松诱人的金黄色,因而感官评分随之提高。而当糖的用量超过 3%时,鱼松的品质有所下降,说明糖的用量较多时,可能会掩盖鱼肉本身的香味,加深了鱼松的色泽,同时糖在炒制过程中液化,易与鱼肉粘结一起,影响鱼松疏松度^[20]。因此选择白砂糖添加量为 3%~7%进行正交试验。

豌豆粉粒度小,粉感几乎没有,比其他植物蛋白粉更鲜亮的色泽,且豌豆粉的吸油感较弱,可以减少油的用量^[28]。在鱼松炒制中加入豌豆粉不仅改善了鱼松的颜色,增加了营养,还降低了成本^[29]。当以豌豆粉添加量(2%、4%、6%、8%、10%)进行单因素试验时,发现鱼松的感官评分随着豌豆粉的添加量先上升后下降,当豌豆粉添加量为 4%~8%时,豌豆粉赋予鱼松较佳的感官品质。而豌豆粉添加量较高时,豌豆粉会掩盖部分鱼香味,还会与鱼肉粘成团产生糊口感,影响鱼松品质,随之降低感官评分。因此选择豌豆粉添加量为 4%~8%进行正交试验。

2.2.2 正交试验结果分析

表 7 为海鲈鱼鱼松配方优化的正交试验结果。由表 7 极差分析可知,影响鱼松感官品质的因素是食盐添加量 > 豌豆粉添加量 > 白砂糖添加量,即食盐添加量对试验结果的影响最大,其次是豌豆粉,白砂糖的影响最小。进一步分析可知最佳组合是 $A_2B_2C_3$,即 2%食盐、5%白砂糖、8%豌豆粉制备的鱼松感官评分最高。分析正交表,发现最佳组合 $A_2B_2C_3$ 与正交表的试验组结果一致,即实验 5 的水平组合为最佳组合。为进一步证明配料处理对鱼松品质及风味的影响,选择空白样品(0 号,不做配料处理)与正交试验组进行了电子舌、电子鼻验证试验。

表 7 正交试验结果
Table 7 Orthogonal test results

序号	A/%	B/%	C/%	空列	感官评分/分
1	1	1	1	1	80.20±1.23 ^d
2	1	2	2	2	82.20±1.62 ^c
3	1	3	3	3	83.80±1.62 ^b
4	2	1	2	3	85.00±1.05 ^b
5	2	2	3	1	90.80±1.55 ^a
6	2	3	1	2	81.50±1.18 ^c
7	3	1	3	2	79.30±1.16 ^d
8	3	2	1	3	81.80±1.69 ^c
9	3	3	2	1	80.10±1.52 ^d
K_1	82.07	81.50	81.17	83.70	
K_2	85.77	84.93	82.43	81.00	
K_3	80.40	81.80	84.63	83.53	
R	5.37	3.43	3.47	2.70	

2.3 智能感官分析

电子鼻与电子舌通过分析检测不同配料的鱼松的风味和口感变化,可敏锐观察到鱼松的感官变化,准确判断人们对其的喜好程度和可接受性^[30]。

2.3.1 电子舌分析

通过提取电子舌 6 个传感器的响应值,建立不同处理的海鲈鱼样品的滋味雷达图(图 1)。从图 1 中可以看出,10 种鱼松样品在苦味回味、鲜味、丰富性上差异较小;在咸味、甜味、苦味上虽有变化,但相对集中;酸味变化明显,其中 5 号样品酸度最小,符合成品鱼松的风味,可能是由于调味品对鱼松的酸味有一定掩盖作用。

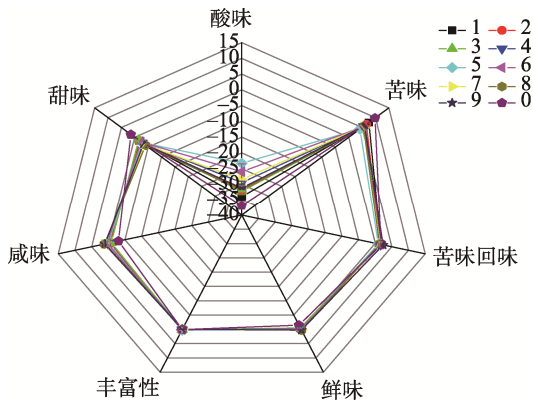


图 1 鱼松样品的滋味雷达图
Fig.1 Radar chart of fish floss taste

利用电子舌自带分析软件对 10 种鱼松样品中酸味、苦味、苦味回味、甜味、鲜味、丰富性、咸味等数据进行主成分分析 (principal component analysis, PCA), 以第一主成分为横坐标、第二主成分为纵坐标, 建立前 2 个主成分的二维图。海鲈鱼鱼松配方优化正交实验结果的电子舌主成分分析见图 2, 主成分 1 的贡献率为 61.94%, 主成分 2 的贡献率为 26.30%, 累积贡献率为 88.24%且大于 85%, 说明主成分 1、2 已包含了较多信息, 能够反映鱼松样品的整体信息。由图 2 可以看出, 所有鱼松样品的分布区域和 0 号样品的分布区域分离较远, 且各个试验组的数据点相对聚集, 说明电子舌能够很好地区别不同鱼松之间的差别, 但各种试验组在滋味上分布区域较近, 说明在滋味上有一定的相似性。

2.3.2 电子鼻分析

电子鼻检测通过不同传感器响应分析样品气味(挥发性成分)的强度变化, 由不同传感器在特定时间点的响应值变化来表示^[31]。图 3 是海鲈鱼鱼松样品的气味雷达图。由图 3 可知, W1C 芳香成分、W5S 氮氧化合物、W3C 氨类、W6S 氢化物、W5C 短链烷烃类、W1S 甲基类、

W2S 醇类与醛酮类和 W3S 长链烷烃类传感器响应值较低且变化不大, 说明不同处理的海鲈鱼鱼松的挥发性成分在氨类、烷烃类、甲基类、醇类和醛酮类在含量上几乎没有变化。而在 W1W 硫化物和 W2W 有机硫化物传感器上响应值高, 其中 0 号样品响应值最高, 说明调味品对鱼松腥味掩盖明显。

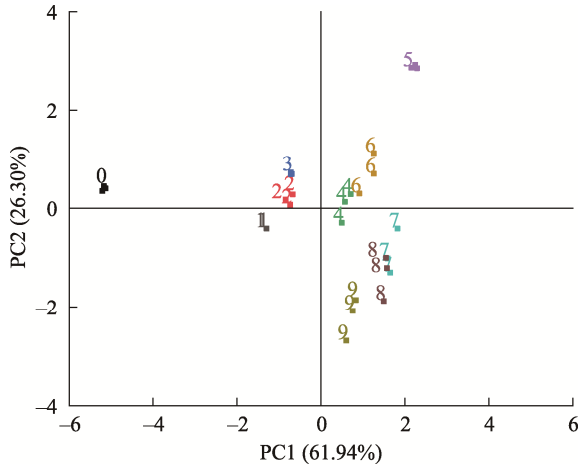


图 2 鱼松样品电子舌 PCA 图
Fig.2 PCA chart of fish floss samples by electronic tongue

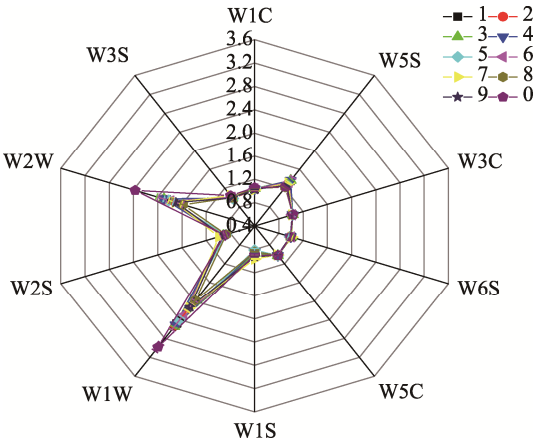


图 3 鱼松样品的气味雷达图
Fig.3 Radar chart of fish floss smell

图 4 为海鲈鱼鱼松样品电子鼻气味 PCA 分析图, 主成分 1 和主成分 2 的累计方差贡献率为 87.72%且大于 85%, 表明 2 个主成分已经能够反映样品的整体信息。如图 4 可知, 10 种不同处理的样品中同种样品的数据相对聚集, 说明同一样品的重复性和稳定性相对较高。同时, 不同处理样品相对分散, 说明鱼松样品在风味上差异明显, 电子鼻基本能区分不同的海鲈鱼鱼松样品。

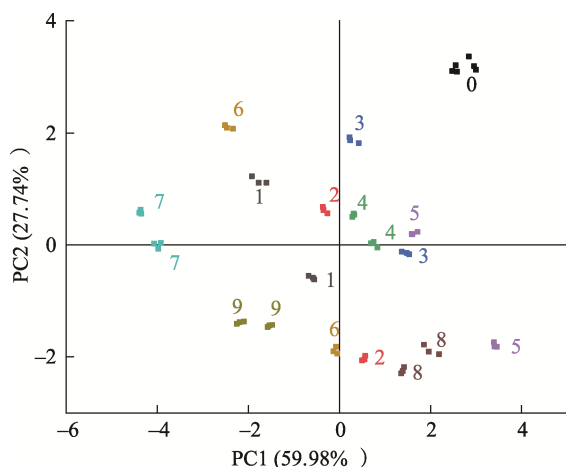


图 4 鱼松样品电子鼻气味 PCA 分析图

Fig.4 PCA analysis of fish floss samples by electronic nose

3 结 论

本研究通过质构、色差及感官评分确定鱼松最佳加工条件为蒸煮时间 20 min、初炒时间 10 min, 炒酥时间 25 min, 在此基础上为获得鱼松的最佳配方, 以感官评分为评价指标, 采用单因素试验和正交试验优化了鱼松的配方, 确定以 2%食盐、5%白砂糖、8%豌豆粉制备的海鲈鱼鱼松感官评分最高。同时对感官评价结果辅以电子舌和电子鼻进行验证, 从气味和滋味两个角度同时评价调味鱼松样品, 所得分析结果与感官评价结果具有较好的一致性, 为海鲈鱼鱼松工业化生产提供参考。

参考文献

- [1] CAI L, WU X, LI X, *et al.* Effects of different freezing treatments on physicochemical responses and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets during refrigerated storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2014, 59(1): 122–129.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局. 《2021 中国渔业统计年鉴》[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [3] CAI L, CAO A, BAI F, *et al.* Effect of ϵ -polylysine in combination with alginate coating treatment on physicochemical and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 62(2): 1053–1059.
- [4] 朱菲菲, 熊善柏, 李梦晖, 等. 鱼松加工工艺的优化研究[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 155–159.
- [5] 火玉明, 周静, 张华丹, 等. 基于 GC-IMS 分析三种植物油炒制海鲈鱼鱼松中挥发性风味物质的研究[J]. 食品工业科技, 2022. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100096

- [6] HUO YM, ZHOU J, ZHANG HD, *et al.* Volatile flavor compounds analysis in *Lateolabrax japonicus* fish floss fried with three vegetable oils based on GC-IMS [J]. Sci Technol Food Ind, 2022. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100096
- [7] REN JH, CHEN H, XIONG SB, *et al.* Optimization of technical parameters of compression molding of dried fish floss block [J]. Edit Off Transact Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(s1): 306–311.
- [8] 王玮琼, 熊光权, 钮晓艳. 响应面法优化鲈鱼鱼松加工工艺[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(4): 716–721.
- [9] WANG WQ, XIONG GQ, CHU XY. Optimization of processing techniques by response surface for *Micropterus salmoides* dried fish floss [J]. Huibei Agric Sci, 2017, 56(4): 716–721.
- [10] 李庆玲, 霍健聪, 邓尚贵. 响应面法优化鲈鱼鱼松的加工工艺[J]. 食品工业, 2015, 36(6): 101–104.
- [11] LI QL, HUO JC, DENG SG. Optimization of processing techniques for *M. miiuy* dried fish floss by response surface methodology [J]. Food Ind, 2015, 36(6): 101–104.
- [12] 许元佳, 张媛媛, 滕晓焕, 等. 罗非鱼鱼松的加工工艺研究[J]. 商丘职业技术学院学报, 2019, 18(2): 78–82.
- [13] XU YJ, ZHANG YY, TENG XH, *et al.* Study on the processing technology of *Oreochromis niloticus* fish floss [J]. J Shangqiu Vocat Techn Coll, 2019, 18(2): 78–82.
- [14] 林亚楠. 膳食纤维纳米乳覆膜鱼松的研制及货架期研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019.
- [15] LIN YN. Development and shelf life study of nanoemulsion coated fish floss with dietary fiber [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2019.
- [16] 张静, Ooi Cheng-Keat, 牛跃庭, 等. 棕榈油在油酥肉松中的应用研究[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(5): 49–53.
- [17] ZHANG J, OOI CK, NIU YT, *et al.* Study on the application of the palm oil in the meat floss [J]. Food Ferment Technol, 2014, 50(5): 49–53.
- [18] 林华坚, 张梓豪, 孟江, 等. 干姜及其炮制品色差值与活性成分含量的相关性研究[J]. 中国药房, 2020, 31(10): 1197–1202.
- [19] LIN HJ, ZHANG ZH, MENG J, *et al.* Correlation study of color difference values and active constituent contents in crude and processed *Zingiber officinale* [J]. China Pharm, 2020, 31(10): 1197–1202.
- [20] 杜邵龙, 周志梅, 雷亚兰, 等. 基于色差系统的宝庆桂丁红茶品质量化评价模型构建[J]. 食品工业科技, 2022. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100164
- [21] DU SL, ZHOU ZM, LEI YL, *et al.* Construction of quantitative evaluation model of Baoqing Guiding black tea based on chromatic aberration analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2022. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100164
- [22] IFTIKHAR AK, LIU DM, YAO MJ, *et al.* Inhibitory effect of *Chrysanthemum morifolium* flower extract on the formation of heterocyclic amines in goat meat patties cooked by various cooking methods and temperatures [J]. Meat Sci, 2019, 147: 70–81.
- [23] 沈晖. 不同蒸制条件对鲈鱼肉挥发性风味化合物的影响[J]. 美食研究, 2019, 36(2): 33–37.
- [24] SHEN H. The effect of different steaming conditions on the volatile flavor compounds of sea bass [J]. J Res Diet Sci Cult, 2019, 36(2): 33–37.
- [25] LI QY, ZENG J, GONG PX, *et al.* Effect of steaming process on the structural characteristics and antioxidant activities of polysaccharides from

- Polygonatum sibiricum* rhizomes [J]. Glycocon J, 2021, 38(5): 561–572.
- [17] 赵洪雷, 冯媛, 徐永霞, 等. 海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 145–151.
- ZHAO HL, FENG Y, XU YX, *et al.* Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming [J]. Food Sci, 2021, 42(20): 145–151.
- [18] 张静, 祁兴普, 姚芳, 等. 基于美拉德反应制备香酥肉松的研究[J]. 肉类工业, 2018, (5): 29–32.
- ZHANG J, QI XP, YAO F, *et al.* Study on crisp fried dried meat floss prepared by Maillard reaction [J]. Meat Ind, 2018, (5): 29–32.
- [19] 康晓风, 闫寒, 莫海珍, 等. 鲤鱼肉松的加工工艺及其品质研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2020, 48(3): 47–55.
- KANG XF, YAN H, MO HZ, *et al.* Study on processing technology and quality of carps dried floss [J]. J Henan Coll Sci Technol (Nat Sci Ed), 2020, 48(3): 47–55.
- [20] 李钰金, 隋娟娟, 李银塔, 等. 金枪鱼鱼松的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 67–70.
- LI YJ, SUI JJ, LI YT, *et al.* The whole process of *Nutrition tuna* dried fish floss [J]. Food Res Dev, 2012, 33(3): 67–70.
- [21] 金达丽, 赵利, 付奥, 等. 鱼松的制作工艺研究[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 171–175.
- JIN DL, ZHAO L, FU AO, *et al.* Process of dried fish floss [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(1): 171–175.
- [22] 李睿, 王海燕, 李星, 等. 不同加工方式荣昌猪肉风味差异性评价[J]. 肉类研究, 2021, 35(11): 31–37.
- LI R, WANG HY, LI X, *et al.* Evaluation of flavor differences among pork from Rongchang pigs processed by different cooking methods [J]. Meat Res, 2021, 35(11): 31–37.
- [23] 吕顺, 钟桥福, 陆剑锋, 等. 微波干燥法加工草鱼松的工艺条件研究[J]. 食品工业, 2017, 38(7): 98–101.
- LV S, ZHONG QF, LU JF, *et al.* Study on technical condition of microwave drying for grass carp meat floss [J]. Food Ind, 2017, 38(7): 98–101.
- [24] YIN XY, LV YC, WEN RX, *et al.* Characterization of selected Harbin red sausages on the basis of their flavour profiles using HS-SPME-GC/MS combined with electronic nose and electronic tongue [J]. Meat Sci, 2021, 172: 108345.
- [25] ZHAO B, ZHOU HM, ZHANG SL, *et al.* Changes of protein oxidation, lipid oxidation and lipolysis in Chinese dry sausage with different sodium chloride curing salt content [J]. Food Sci Hum Well, 2020, 9(4): 328–337.
- [26] ZHAO J, WANG TZ, XIE JC, *et al.* Meat flavor generation from different composition patterns of initial Maillard stage intermediates formed in heated cysteine-xylose-glycine reaction systems [J]. Food Chem, 2019, 274: 79–88.
- [27] 陈晓, 时海波, 杨恒, 等. 畜禽副产物蛋白质及其水解物的美拉德反应在食品加工中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(13): 4272–4277.
- CHEN X, SHI HB, YANG H, *et al.* Application of Maillard reaction of livestock by-product protein and hydrolysate in food processing [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(13): 4272–4277.
- [28] 关丽娜, 刘艳香, 刘明, 等. 挤压温度对豌豆粉特征风味化合物的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 269–278.
- GUAN LN, LIU YX, LIU M, *et al.* Effect of extrusion temperature on characteristic flavor compounds in pea flour [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(12): 269–278.
- [29] 李文敬, 龚海平, 袁超璐, 等. 调味金枪鱼鱼松配方优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(18): 6337–6342.
- LI WJ, GONG HP, YUAN CL, *et al.* Formulation optimization of seasoned tuna dried fish floss [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(18): 6337–6342.
- [30] TIAN X, LI ZJ, CHAN YZ, *et al.* Evaluation by electronic tongue and headspace-GC-IMS analyses of the flavor compounds in dry-cured pork with different salt content [J]. Food Res Int, 2020, 137: 109456.
- [31] DUAN Z, DONG S, DONG Y, *et al.* Geographical origin identification of two salmonid species via flavor compound analysis using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with electronic nose and tongue [J]. Food Res Int, 2021, 145: 110385.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



火玉明, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工及贮藏。
E-mail: 1095973292@qq.com



梁 鹏, 副教授, 主要研究方向为水产油脂化学与营养。
E-mail: liangpeng137@sina.com