

调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品加工工艺优化

廖登远¹, 潘南^{1*}, 陈晓婷^{1,2}, 刘淑集¹, 庞鹭楠³

[1. 福建省水产研究所, 国家海水鱼类加工技术研发分中心(厦门), 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 厦门 361013; 2. 集美大学海洋食品与生物工程学院, 厦门 361021; 3. 宁德师范学院生命科学学院, 宁德 352100]

摘要: **目的** 优化调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品加工工艺。**方法** 以感官评分、硬度、弹性、咀嚼性等为指标, 通过单因素考察结合正交实验优化调味配方和烤制工艺, 采用电子舌和电子鼻分别测试调味烤制产品的风味和滋味, 并对产品的微生物限量进行测评。**结果** 最佳工艺参数为: 食盐 1.0%、白糖 7%、烧烤料 1.3%、生抽 2%、老抽 0.5%、料酒 2%, 烤制时间 8 min、烤制温度 180℃、鱿鱼圈厚度 4 mm, 产品质地富有弹性、色泽均匀、咀嚼性良好、腥味减少、香味和滋味增加。经真空包装、灭菌的产品符合 GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》“微生物限量”要求。**结论** 最佳工艺下调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品的感官品质良好、具有独特风味和滋味, 安全卫生。本研究为阿根廷滑柔鱼预制食品的进一步开发提供了技术和理论支持。**关键词:** 阿根廷滑柔鱼; 休闲食品; 调味; 烤制; 工艺优化

Optimization of processing technology for grilled snack food of seasoned *Illex argentinus*

LIAO Deng-Yuan¹, PAN Nan^{1*}, CHEN Xiao-Ting^{1,2}, LIU Shu-Ji¹, PANG Lu-Nan³

[1. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, National Research and Development Branch Center for Marine Fish Processing (Xiamen), Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China; 2. College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 3. School of Life Sciences, Ningde Normal University, Ningde 352100, China]

ABSTRACT: Objective To optimize the processing technology for grilled snack food of seasoned *Illex argentinus*. **Methods** The sensory score, hardness, elasticity and chewiness were selected as the evaluation indicators, the seasoned formula and baking process were optimized through single factor test combined with orthogonal test, the volatile profiles and tastes of the baked products were analyzed using electronic tongue and e-nose, and the microbial limit of the products were investigated. **Results** The optimal process parameters were 1.0% salt, 7% sugar, 1.3% barbecue material, 2% light soy sauce, 0.5% dark soy sauce, and 2% cooking wine; the roasting time was 8 minutes, the roasting temperature was 180℃, and the thickness of the squid ring was 4 mm. The grilled snack food of seasoned *Illex argentinus* had elastic texture, uniform and consistent color, and finer chewiness, with less fishy odor and increased aroma and taste. The vacuum packing and sterilized products had met the Microbial limit requirements of GB 10136—2015 National standard of food safety-Animal aquatic products. **Conclusion** Manufactured under the

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本专项(2020R10130010)、福建省海洋与渔业结构调整专项(2021HYJG04)

Fund: Supported by the Fundamental Projects Foundation of Fujian Provincial Public Research Institutes (2020R10130010), and the Fujian Provincial Structural Adjustment Foundation of Ocean and Fisheries (2021HYJG04)

*通信作者: 潘南, 助理研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。E-mail: pannancn@163.com

*Corresponding author: PAN Nan, Assistant Professor, Fisheries Research Institute of Fujian, No.7, Haishan Road, Huli District, Xiamen 361013, China. E-mail: pannancn@163.com

optimal conditions, the grilled snack food of seasoned *Illex argentinus* has good sensory evaluation, unique flavor and taste, with good hygiene and safety. This research has provided technical and theoretical supports for the further development of prepared food of *Illex argentinus*.

KEY WORDS: *Illex argentinus*; snack food; seasoning; grill; process optimization

0 引言

阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)又叫做阿根廷鱿鱼,隶属于头足纲(Cephalopod)、枪形目(Oegopsida)、柔鱼科(Ommastrephidae),是我国远洋鱿钓渔业主要捕捞品种之一^[1],同时也是一种营养丰富、风味良好的水产品资源^[2],2021年全国各地区海洋捕捞产量为30.85万t、远洋渔业捕捞产量为64.00万t,共计94.85万t,同比增长16.24%^[3]。随着我国阿根廷滑柔鱼产量的不断增加,综合利用和精深加工技术已经取得了很大的进展,目前鱿鱼的加工产业主要有冷冻鱿鱼、烟熏鱿鱼圈、鱿鱼肉肠、鱿鱼丸、鱿鱼干、鱿鱼丝、调味鱿鱼等休闲食品^[4-7],以及鱿鱼的副产物加工等^[8-9]。由于阿根廷鱿鱼肉质韧硬、酸味重,极大地限制了鱿鱼销量^[10],本研究旨在改善现状。

水产预制食品是以水产品为原料,配以各种辅料,经菜肴化加工制作生产的成品或半成品,在冷冻、冷藏或常温下销售,方便消费者直接或经简单加工后即食的产品。水产预制食品的预加工技术主要有分切、搅拌、腌制、滚揉、成型、调味等,调味类型主要包含鲜、咸、酸、甜、辣、麻等,制作工艺主要包括煎、炸、烤、蒸、烧、炒等。其中,在蒸煮、煎炸、烤制、灭菌等高温过程中,水产品中蛋白、氨基酸等物质易与辅料中葡萄糖/核糖发生美拉德反应;脂质易氧化降解,从而产生独特的香气和色泽^[11-13]。由于操作方便快捷,同时保持水产品烹饪后独特的风味和滋味,水产预制食品越来越受到消费者青睐,市场前景广阔,现已实现工业化的调味预制水产品主要有日式蒲烧鳗鱼、风味烤鱼、深海鳕鱼排等。目前,研究主要集中在鱿鱼干制品及其甲醛含量的防控工艺优化、冷冻鱿鱼解冻过程中品质变化以及鱿鱼胴体酸味去除工艺等^[14-17],缺乏针对我国消费者口味开发阿根廷滑柔鱼烤制预制产品及其过程中品质调控的研究。因此,本研究分别以感官评分、硬度、弹性、咀嚼性等为指标,基于单因素实验和正交实验优化,探究不同调味配方和烤制工艺对阿根廷滑柔鱼休闲食品品质的影响,研制一种阿根廷滑柔鱼休闲食品的最佳调味配方和最佳工艺条件,以期为阿根廷滑柔鱼预制食品的开发与生产提供技术和理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*):购自夏商水产批发

市场。

食盐(中国盐业股份有限公司);优级白砂糖(太古食品贸易有限公司);烧烤料(四川友嘉食品有限公司);生抽、老抽、料酒(佛山市海天调味食品股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

BSA224S 万分之一克分析天平(德国 Sartorius 公司);NBL 6202i 精密天平[精度 0.01 g,艾德姆衡器(武汉)有限公司];BGZ-240 干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);BG5050W R5 微蒸烤一体机(美的集团有限公司);YS-ZS-420XL 真空包装机(苏州永创智能科技有限公司);VX-55 立式灭菌器(德国 Systec 公司);TA-XTplus 质构仪(英国 Stable Micro System 公司);PEN3.5 电子鼻(德国 AIRSENSE Analytics 公司);TS-5000Z 电子舌(日本 Insent 公司);5810 R 离心机(德国 Eppendorf 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

冷冻鱿鱼→流水解冻→预处理(去头、去足、去内脏)→去皮→微冻→切分→腌制→烤制→冷却→真空包装→高温灭菌→成品。

操作要点如下:

流水解冻:将冷冻鱿鱼放入40 L储物箱内,用水以导管通入箱底部,调节水流方向自下而上流动,期间翻动鱿鱼样品,流水解冻至中心温度为0℃。

微冻:将流水解冻的鱿鱼样品依次摆放于沥水网盘上,置于低温冻库中预冻至微硬,方便后续切片。

切分:使用刀具将微冻后的鱿鱼切成各实验所需厚度的鱿鱼片或圈。

腌制:称取实验所需的鱿鱼,加入食盐、白砂糖、烧烤料、生抽、料酒、老抽等混合均匀,密封置于4℃腌制1 h。

烤制:将腌制的鱿鱼均匀平铺于烤盘,置于烤箱中,上下火风炉模式烤制。

冷却:烤制结束后取出烤盘,室温自然冷却1 h。

真空包装:将烤制冷却的鱿鱼制品装入真空包装袋,使用真空包装机封口。

高温灭菌:真空包装的烤制鱿鱼制品采用高温蒸汽灭菌,灭菌温度为121℃、灭菌时间为20 min,灭菌后冷却至室温,获得即食成品。

1.3.2 调味配方优化

(1)单因素实验

根据预实验结果,选取对烤制鱿鱼产品影响较大的食

盐、白砂糖和烧烤料 3 个因素, 固定食盐 1.5%、白砂糖 5%、烧烤料 1%、生抽 2%、料酒 2%、老抽 0.5%的条件下, 研究不同食盐(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)、白糖(3%、4%、5%、6%、7%)和烧烤料(0.4%、0.7%、1.0%、1.3%、1.6%)添加量对调味阿根廷滑柔鱼烤制产品感官评分的影响。

(2)正交实验优化

以感官评分作为评价指标, 根据单因素实验结果, 开展 $L_9(4^3)$ 正交实验设计, 优化阿根廷滑柔鱼的调味配方工艺。正交实验的因素、水平见表 1。运用电子鼻和电子舌对产品的特征风味和滋味进行分析。

表 1 调味配方的正交实验因素水平表			
Table 1 Orthogonal experimental design table of the seasoning formula			
水平	因素		
	A 食盐/%	B 白糖/%	C 调料/%
1	1.0	5	1.0
2	1.5	6	1.3
3	2.0	7	1.6

1.3.3 烤制工艺优化

(1)烤制工艺单因素实验

调整烤制温度(160、170、180、190、200℃)、烤制时间(4、6、8、10、12 min)、样品厚度(1、2、3、4、5 mm)的条件下进行单因素实验, 各因素固定时的取值分别为: 烤制温度 180℃、烤制时间 8 min、样品厚度 3 mm, 考察温度、时间及样品厚度对调味阿根廷滑柔鱼烤制产品感官评分的影响。

(2)烤制工艺正交实验

基于单因素实验结果, 选取温度、时间及样品厚度 3 个因素, 以感官评分为评价指标, 采用 $L_9(4^3)$ 正交实验优化烤制工艺, 因素与水平如表 2 所示。

1.3.4 感官评价

感官评定参考 GB/T 37062—2018《水产品感官评价

指南》“5.3.4 即食水产制品的评价”并略作修改。选取 10 名经过感官评定培训的人员组成评价小组, 根据表 3 的感官评分标准, 分别对调味阿根廷滑柔鱼烤制食品的质地、色泽、滋味、气味、口感进行评分。感官评定采用双盲法, 样品随机编号并排序, 评价小组人员独立评分, 结果取平均值。

表 2 烤制工艺正交实验因素水平表			
Table 2 Orthogonal experimental design table of the grilling process technology			
水平	因素		
	a 烤制温度/℃	b 烤制时间/min	c 样品厚度/mm
1	180	4	3
2	190	6	4
3	200	8	5

1.3.5 质构分析

利用质构仪进行全质构分析, 参考安玥琦等^[18]的方法并稍加改进, 测定参数: 采用 P/36R 探头, 测试前中后速度均为 1 mm/s, 测定形变量为 30%, 触发力为 5 g。每组样品进行 10 次平行检测。

1.3.6 电子鼻分析

传感器由 10 种金属氧化物半导体型化学传感元件组成, 每型传感元件对应的主要敏感物质如表 4 所示。

参考 WU 等^[19]的方法并稍加改进: 称取 5.0 g 绞碎的鱿鱼样品置于顶空瓶中立即盖紧密封, 室温下静置 1 h。测定参数: 传感器清洗时间 200 s、传感器归零时间 10 s, 样品准备时间 5 s、样品检测时间 180 s、内部流量 300 mL/min, 选取测定过程中 58~60 s 的数据进行分析。

1.3.7 电子舌分析

参考陈晓婷等^[20]的方法并稍加改进: 称取 20 g 绞碎的鱿鱼制品置于玻璃烧杯中, 加入 100 mL 蒸馏水, 磁力搅拌 1 h 后装入离心管, 4℃、10000 r/min 离心 15 min, 移取上清液过滤后测定。

表 3 调味阿根廷滑柔鱼烤制食品感官评分标准				
Table 3 Sensory score standards of grilled snack food of seasoned <i>Illex argentinus</i>				
项目	感官评分/分			
	16~20	11~15	6~10	0~5
质地	质地微硬, 富有弹性	质地较硬, 较有弹性	质地很硬/很软, 弹性较差	质地坚硬/过软, 无弹性
色泽	色泽均匀, 有光泽	色泽较均匀, 较有光泽	色泽较不均匀, 较无光泽	表面无色泽, 无光泽
滋味	味道鲜美, 咸淡合适	味道较好, 略咸或略淡	味道一般, 偏咸或偏淡	味道很差, 太咸或太淡
气味	烤鱿鱼香味非常浓郁, 没有腥味	烤鱿鱼香味较浓, 无明显腥味	烤鱿鱼香味较淡, 有明显腥味	无明显烤鱿鱼香味, 腥味很重
口感	口感较好, 咀嚼性较好	口感一般, 咀嚼性一般	肉质较硬或较软, 咀嚼性差	肉质很硬或很软, 失去咀嚼性

表 4 传感器及其主要应用
Table 4 Various sensors and their main applications

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分, 苯类
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	芳香成分灵敏, 氨类
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.3.8 微生物限量分析

根据 GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》“3.6 微生物限量”要求, 对调味阿根廷滑柔鱼烤制食品进行微生物限量分析: 菌落总数的测定参考 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》; 大肠菌群计数参考 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》“第二法 大肠菌群平板计数法”; 金黄色葡萄球菌检验参考 GB 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》“第一法 金黄色葡萄球菌定性检验”; 副溶血性弧菌检验参考 GB 4789.7—2013《食品安全国家标准 食品微生物学检验 副溶血性弧菌检验》; 沙门氏菌检验参考 GB 4789.4—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》。

1.4 数据分析

所有实验进行 3 次平行, 实验数据以平均值±标准偏差表示。采用 Winmuster 软件自带的主成分分析法 (principal component analysis, PCA) 插件对不同样品进行聚类判别分析; SPSS 22.0 软件进行方差分析; Duncan 法进行单因素多重比较分析; Origin 2018 软件进行作图。

2 结果与分析

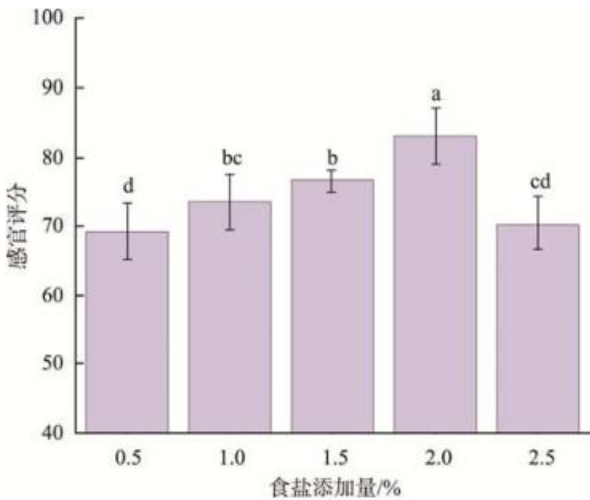
2.1 调味配方优化

2.1.1 单因素实验

(1) 食盐添加量对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品感官评分的影响

食盐在烹饪过程中起到了增加咸味、提升产品层次感的作用^[21-22]。食盐添加量对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品感官评分的影响如图 1。随着食盐量的不断增加, 烤制鱿鱼的感官得分不断升高; 当食盐量添加达 2.0% 时, 烤制鱿鱼的感官评分最高, 品质最好; 当继续增加食盐量时鱿鱼过咸, 品质及感官评分下降, 因此选择

1.0%、1.5%和 2.0%作为食盐添加量的 3 个水平进行正交实验优化。



注: 不同小写字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$), 下同。

图 1 食盐添加量对感官评分的影响

Fig.1 Effects of salt addition on sensory score

(2) 白糖添加量对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品感官评分的影响

白糖能够赋予食品甜味和增加色泽的功效。研究表明, 在烤制过程中蛋白质、多肽或氨基酸与还原糖经氧化、环化及聚合等生成系列中间产物与美拉德色素反应, 形成独特的焦糖香气^[23]。由图 2 可知, 随着白糖添加量的不断增加, 感官评分不断提升, 当白糖添加量达到 7% 时鱿鱼制品的感官得分最高, 表明在调味配方中添加还原糖能够有效促进美拉德反应发生, 形成丰富的风味物质, 同时使产品的色泽更加明亮。然而, 随着白糖添加量继续增加, 感官评分下降, 这可能是由于过多的还原糖与氨基酸高温反应

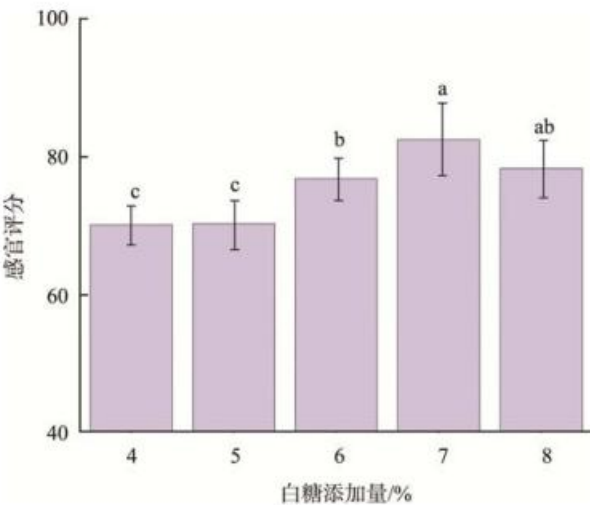


图 2 白砂糖添加量对感官评分的影响

Fig.2 Effects of added sugar on the sensory score

后生成 5-羟甲基糠醛(5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)及色素等^[24], 促进了色泽的加深, 同时造成产品过甜, 品质变差。故选择 5%、6%、7%作为白糖添加量的 3 个因素水平进行正交实验优化。

(3)烧烤料添加量对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品感官评分的影响

调味是水产预制食品制备过程中重要环节之一, 调味料能够掩盖鱼腥味、赋予独特风味, 同时具有一定的防腐抑菌功效, 其种类和用量对预制产品的感官评价具有重要作用^[25]。烧烤料添加量对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品感官评分的影响如图 3 所示, 可以看出, 随着烧烤料添加量的增加, 鱿鱼制品的感官评分呈现先上升后下降的趋势。当烧烤料添加量为 1.3%时, 产品的感官得分最高; 感官得分较低的原因是当烧烤料添加量过少时, 烧烤风味较淡, 烧烤料添加量过多时, 导致烤制鱿鱼的风味被烧烤料掩盖。故选择 1.0%、1.3%和 1.6%作为烧烤料添加量的 3 个因素水平进行正交实验优化。

2.1.2 正交实验优化

利用 SPSS 22.0 设计正交实验并处理数据, 结果如表 5 所示, 结合表 6 可以得出, 各因素对烤制鱿鱼休闲食品的感官评分影响程度的主次排序为: (B)白糖>(A)食盐>(C)烧烤料。白糖添加量对烤制鱿鱼的感官可接受程度影响最大。

因此, 在烤制鱿鱼的制作过程中应严格控制白糖添加量。研究选取 $A_1B_3C_2$ 作为烤制鱿鱼最优调味配方, 即添加食盐 1.0%、白糖 7%、烧烤料 1.3%、生抽 2%、老抽 0.5%和料酒 2%, 利用该配方获得的烤制鱿鱼风味产品质地富有弹性、色泽均匀一致、咀嚼性好、具有烤制特有的香气。

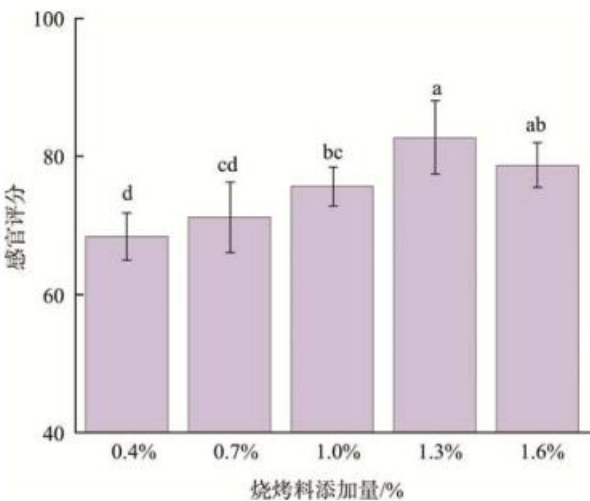


图 3 烧烤料添加量对感官评分的影响
Fig.3 Effects of the amount of barbecue ingredients on the sensory score

表 5 调味配方的正交实验设计及结果
Table 5 Orthogonal experiment design and results of the seasoning formula

组号	因素				感官评分
	A 食盐量/g	B 白糖量/g	C 烧烤料量/g	空白	
1	1	1	1	1	78.63
2	1	2	3	2	73.75
3	1	3	2	3	85.50
4	2	1	3	3	73.25
5	2	2	2	1	71.75
6	2	3	1	2	78.88
7	3	1	2	2	77.88
8	3	2	1	3	70.88
9	3	3	3	1	82.25
K_1	237.88	229.75	228.38	232.63	
K_2	223.88	216.38	235.13	230.50	
K_3	231.00	246.63	229.25	229.63	
k_1	79.29	76.58	76.13	77.54	主次顺序 $B>A>C$ 最优组合 $A_1B_3C_2$
k_2	74.63	72.13	78.38	76.83	
k_3	77.00	82.21	76.42	76.54	
极差 R	4.67	10.08	2.25	1.00	

表 6 感官评分方差分析
Table 6 Variance analysis of the sensory score

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值
A	32.670	2	0.665	4.460
B	153.187	2	3.120	4.460
C	8.971	2	0.183	4.460
误差	196.41	8		

2.1.3 不同调味产品的电子鼻分析

通过对调味鱿鱼 9 个组别及空白组数据进行对比分析,由图 4 可知,与对照组相比,9 组不同的调味配方样品的 W5S、W1S、W1W、W2S、W2W 传感器响应值显著升高,表明调味配方样品分别对氮氧化合物、甲烷类、硫化物、醇类、醛酮类灵敏,对其他气味的特征不灵敏。从图 4 中可以判断,经调味的 9 组样品与对照组响应值有明显差异,说明对照组的挥发性风味物质与经过调味的鱿鱼样品显著不同。

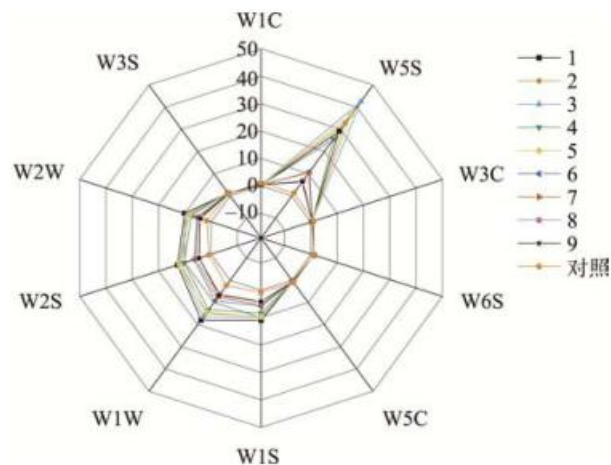


图 4 不同调味产品的电子鼻雷达图
Fig.4 Electronic nose radar map of grilled *Illex argentinus* with different seasoning formulas

图 5 为不同调味产品电子鼻区分的主成分分析图,可以看出,不同调味产品第 1 主成分(90.7%)和第 2 主成分(7.1%)累积方差贡献率为 97.8%,表明两个主成分代表了样品的绝大部分信息特征,能够较好地反映不同样品气味整体轮廓的差异。由图 5 可知,对照组样品分布于最左侧,显著区别于其他组别的鱿鱼样品,不同调味配方样品的差异主要来源于第一主成分,不同配方调味产品的风味存在部分重叠现象,这可能是因为产品的主体风味物质相似,仅区别于含量。样品 4 和样品 5 分布的区域比较大,可以看出差异有明显变化,说明二者的稳定性和重复性都比较差。

2.1.4 应用电子舌对不同调味产品的滋味分析

根据韦伯定理(感觉阈值定律),人体舌头能够识别超过韦伯比 20% 的浓度,从而区分不同物质的呈味浓度变化^[26]。10 组产品的酸味和涩味响应值均在无味点之下,

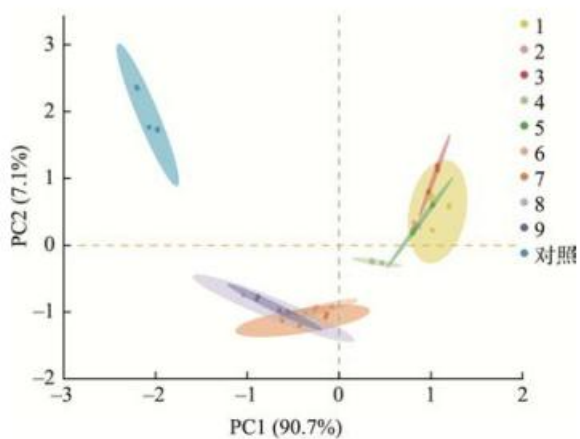


图 5 不同调味产品的 PCA 图
Fig.5 PCA diagram of electronic nose data for grilled *Illex argentinus* with different seasoning formulas

表明 10 组产品均无酸味和涩味。阿根廷滑柔鱼休闲食品的其余滋味雷达图如图 6 所示,其余味觉的响应值均在无味点之上,说明评价指标是有效的。第 9 组产品的鲜味、丰富性最高,对照组最低。苦味为对照组最高,9 号产品最低。调味最优配方的咸味为最低。从整体来看,10 组不同调味料的产品中差异最明显的滋味是鲜味。在调味工艺的正交实验中,得分最高为第 3 组,其次是第 9 组,而电子舌的结果中得出 9 号产品的鲜味和丰富性最高,苦味最低,原因可能是第 9 组产品的烧烤料添加量较多,导致鱿鱼自身的风味被烧烤料覆盖,得分低于第 3 组。而 4、5、6 号产品的鲜味和丰富性都比 3 号稍高,但是苦味较高,导致感官评分较低。综合 9 组的感官评分和电子舌测定结果,可以判断 3 号产品为最优调味组合。

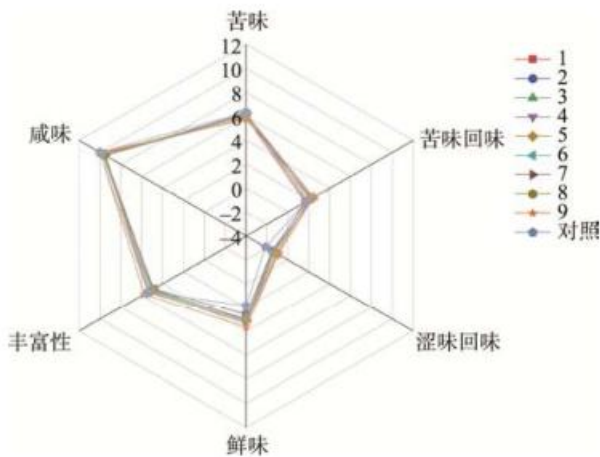


图 6 不同调味产品的电子舌雷达图
Fig.6 Electronic tongue radar map of grilled *Illex argentinus* with different seasoning formulas

2.2 烤制工艺优化

2.2.1 单因素实验

(1)烤制温度对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品质构

特征与感官评分的影响

烤制可使原料经烘烤后, 表层水分散发, 制成松脆表面、色泽鲜明、溢气味俱佳的焦香食品。温度过高, 水分散失过快致焦; 温度过低, 食物不熟, 风味不佳。因而合理控制烤温、控制美拉德反应显得相当关键。从图 7、表 7 可以看出, 随着时间的增加, 感官评分呈现先上升后下降的趋势, 硬度和咀嚼性呈上升趋势、弹性呈下降趋势, 该发现与 WEI 等^[27]研究不同热处理方式处理衡山羊肉时的结果相似。当烤制温度为 180℃时, 产品的感官评分最高。出现该结果的原因可能是: 当烤制温度过低时, 鱿鱼圈内的水分含量过高, 鱿鱼肉质松软、硬度低、咀嚼性差, 鱿鱼特有的香味未能激发出来, 导致感官评分较低; 当烤制温度过高时, 鱿鱼水分减少、肉质变硬、弹性下降, 导致感官评分降低。然而, 过高的温度容易导致鱿鱼中氧化三甲胺(trimethylamine oxide, TMAO)分解成三甲胺(trimethylamine, TMA)、二甲胺(dimethylamine, DMA)和甲醛(formaldehyde, FA), 严重影响鱿鱼制品的品质^[28]。因此选择 180、190、200℃作为烤制温度的 3 个水平。

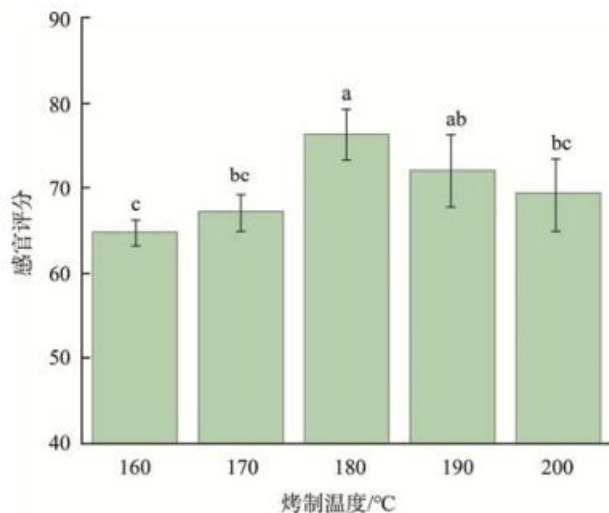


图 7 烤制温度对感官评分的影响
Fig.7 Effects of grilling temperature on sensory score

表 7 不同烤制温度对产品的硬度、弹性和咀嚼性的影响
Table 7 Effects of different grilling temperature on the hardness, elasticity and chewiness of the products

温度/℃	硬度/g	弹性	咀嚼性/mJ
160	274.43±9.70 ^d	1.02±0.02 ^{ab}	212.35±8.74 ^c
170	392.56±18.53 ^d	1.04±0.03 ^a	548.12±30.56 ^d
180	584.32±5.24 ^c	1.01±0.01 ^{ab}	454.89±19.12 ^c
190	1112.61±80.76 ^b	0.92±0.02 ^c	765.32±34.64 ^b
200	1539.21±117.61 ^a	0.97±0.05 ^{bc}	861.48±28.29 ^a

注: 同列不同小写字母具有显著性差异($P<0.05$), 表 8、9 同。

(2)烤制时间对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品质构特征与感官评分的影响

合理控制烤制时间对食品风味物质的产生极其关键, 时间过短风味前体物质未能得到充分转化、烤制香气不足, 而时间过长则容易造成食品水分流失严重、色泽变深甚至焦黑等不良现象, 严重影响食品感官接受度^[29]。从图 8、表 8 中可以得出, 随着烤制时间的增加, 调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品的感官评分呈现先上升后下降的趋势; 硬度和咀嚼性持续上升、弹性呈下降趋势, 当烤制时间为 8 min 时, 感官评分最高, 这可能是由于烤制时间较短时, 鱿鱼的香味未被激发出来, 且鱿鱼内水分含量较高, 导致鱿鱼较软, 咀嚼性比较低, 导致了感官评分较低^[30]; 但是通过延长烤制时间, 鱿鱼特有的香味会逐渐挥发出来。因此选择得分较高的 4、6、8 min 作为烤制时间的 3 个水平。

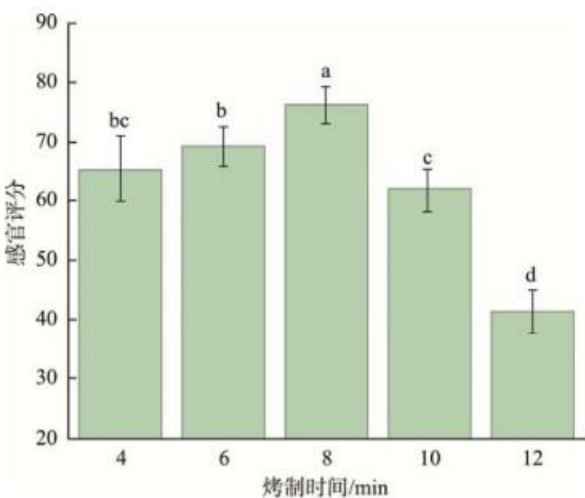


图 8 烤制时间对感官评分的影响
Fig.8 Effects of grilling time on sensory score

表 8 不同烤制时间对产品的硬度、弹性和咀嚼性的影响
Table 8 Effects of different grilling time on the hardness, elasticity and chewiness of products

时间/min	硬度/g	弹性	咀嚼性/mJ
4	286.80±10.90 ^c	0.84±0.01 ^a	245.46±5.73 ^d
6	358.96±7.06 ^d	0.83±0.01 ^a	277.92±8.14 ^d
8	577.07±9.65 ^c	0.80±0.01 ^b	494.89±31.82 ^c
10	729.09±13.02 ^a	0.82±0.01 ^{bc}	880.42±10.76 ^b
12	1405.66±79.98 ^b	0.77±0.03 ^c	1258.78±93.86 ^a

(3)厚度对调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品质构特征与感官评分的影响

从图 9、表 9 中可以看到, 随着分切鱿鱼厚度的增加, 烤制后鱿鱼制品的感官评分、硬度、咀嚼性均呈现先上升后下降的态势, 而弹性呈下降趋势; 当样品厚度为 3 mm 时产品感官评价得分最高。出现该结果的原因可能是: 当样品的厚度越薄时, 鱿鱼制品在烤制完成后, 几乎没有水分, 咀嚼性过低, 表面焦糊, 且腌制过程中更容易入味, 味道过咸, 导致感官评分较低。当样品的厚度越厚时, 腌

制过程中更不易入味, 烤制过程中水分含量较高, 鱿鱼肉质变软, 所以呈现感官评分下降的趋势。因此选择得分较高的 3、4、5 mm 作为样品厚度的 3 个水平。

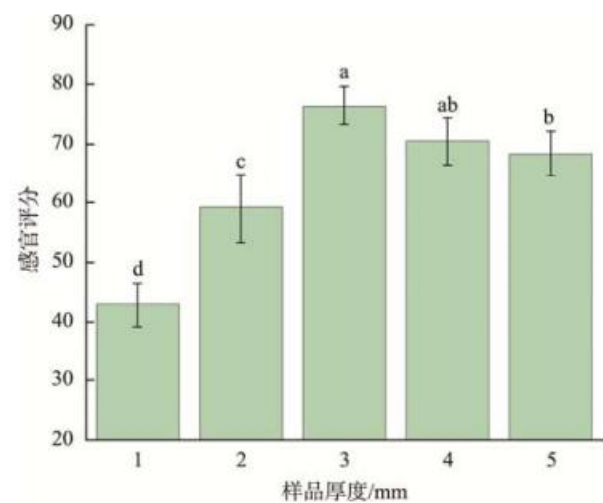


图 9 样品厚度对感官评分的影响
Fig.9 Effects of sample thickness on sensory score

表 9 不同样品厚度对产品的硬度、弹性和咀嚼性的影响
Table 9 Effects of different thickness on the hardness, elasticity and chewiness of products

样品厚度/mm	硬度/g	弹性	咀嚼性/mJ
1	262.09±26.78 ^c	0.82±0.01 ^b	272.84±12.94 ^c
2	398.77±14.03 ^c	0.83±0.01 ^a	297.63±40.13 ^{bc}
3	576.57±8.89 ^a	0.81±0.01 ^c	494.52±41.76 ^a
4	517.13±6.39 ^b	0.80±0.00 ^c	337.89±27.95 ^b
5	325.12±3.43 ^d	0.81±0.00 ^b	251.65±2.58 ^c

2.2.2 烤制工艺正交实验优化

基于单因素考察结果, 采用 $L_9(3^4)$ 正交实验优化调味阿根廷滑柔鱼的烤制工艺, 结果见表 10。由表 10、11 可知, 各因素影响调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品工艺的主次排序为: (a)烤制温度>(b)烤制时间>(c)样品厚度, 最优烤制工艺组合为 $a_1b_3c_2$, 即: 烤制温度 180℃、烤制时间 8 min、样品厚度为 4 mm, 利用该烤制工艺获得的烤制鱿鱼产品得分为 77 分; 烤制温度过低不仅会导致产品鱿鱼特有的风味和气味不能激发出来, 还会导致产品的肉质过软, 烤制温度过高则会导致鱿鱼制品的表面焦糊、肉质过硬。

表 10 烤制工艺的正交优化实验结果
Table 10 Experimental results of orthogonal optimization of grilling process

组号	因素				感官评分
	a 烤制温度/℃	b 烤制时间/min	c 样品厚度/mm	空白	
1	1	1	1	1	72.43
2	1	2	3	2	69.86
3	1	3	2	3	78.29
4	2	1	3	3	61.33
5	2	2	2	1	66.00
6	2	3	1	2	69.38
7	3	1	2	2	65.57
8	3	2	1	3	67.00
9	3	3	3	1	70.50
K_1	220.58	199.33	208.81	208.93	
K_2	196.71	202.86	209.85	205.26	
K_3	203.07	218.17	200.93	206.62	主次因素
k_1	73.53	66.44	69.60	69.64	$a>b>c$
k_2	65.57	67.62	69.95	68.42	最优组合
k_3	67.69	72.72	66.98	68.87	$a_1b_3c_2$
极差 R	7.96	6.28	2.97	1.22	

表 11 感官评分方差分析
Table 11 Variance analysis of the sensory score

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值
a	101.870	2	2.206	4.460
b	66.867	2	1.448	4.460
c	13.172	2	0.285	4.460
误差	184.75	8		

2.3 调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品的主要微生物指标

将真空包装后的阿根廷滑柔鱼产品放置于灭菌锅内, 设置灭菌温度 121℃、灭菌时间 20 min, 冷却后擦干表面水分对其微生物指标进行检测, 结果如表 12。由表 12 可知, 阿根廷滑柔鱼产品各项微生物限量指标均符合 GB

10136—2015“微生物限量”要求, 表明调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品的生产工艺卫生、安全、可靠。

表 12 调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品的主要微生物指标
Table 12 Main microbial indicators of grilled snack food of seasoned *Illex argentinus*

检验项目	检测结果	参照标准	检测方法
菌落总数	<10 CFU/g	≤10 ⁵ CFU/g	GB 4789.2—2022
大肠菌群	<10 CFU/g	≤10 ² CFU/g	GB 4789.3—2016 第二法
金黄色葡萄球菌	未检出	不得检出	GB 4789.10—2016 第一法
副溶血性弧菌	未检出	不得检出	GB 4789.7—2013
沙门氏菌	未检出	不得检出	GB 4789.4—2016

3 结 论

本研究通过优化阿根廷滑柔鱼的调味工艺和烤制工艺, 研制出一种符合大众口味的阿根廷滑柔鱼休闲食品。首先通过预实验确定了对调味工艺影响较大的因子以及对烤制工艺因素的选择, 再通过单因素实验和正交实验选出最优调味工艺组合和烤制工艺组合。实验结果得出, 阿根廷滑柔鱼休闲食品调味工艺的影响因素主次为: (B)白砂糖添加量>(A)食盐添加量>(C)烧烤料添加量, 烤制加工工艺的影响因素主次为: (a)烤制温度>(b)烤制时间>(c)样品厚度; 调味阿根廷滑柔鱼烤制休闲食品的最优工艺参数为: 1.0%食盐、7%白砂糖、1.3%烧烤料、2%生抽、2%料酒、0.5%老抽, 烤制温度 180℃、烤制时间为 8 min、鱿鱼圈厚度为 4 mm。通过调味和烤制降低了阿根廷滑柔鱼自身腥味, 丰富了其香味和滋味, 拓展了产品的多样化, 可提升产业经济效益, 为进一步开发阿根廷滑柔鱼预制食品提供了技术和理论支持。

参考文献

[1] 曲映红, 陈新军, 陈舜胜. 我国鱿鱼加工利用技术研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 357–364.
QU YH, CHEN XJ, CHEN SS. Research progress of squid processing and utilization technology in China [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2019, 28(3): 357–364.

[2] 刘玮炜, 蒋凯俊, 邵仲柏, 等. 海洋头足类动物资源综合利用研究进展[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2020, 29(3): 31–36.
LIU WW, JIANG KJ, SHAO ZB, *et al.* Research progress on comprehensive utilization of marine cephalopod resources [J]. J Jiangsu Ocean Univ (Nat Sci Ed), 2020, 29(3): 31–36.

[3] 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. 中国渔业统计年鉴 2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2022 [M]. Beijing: China

Agriculture Press, 2022.

[4] 赵巧灵, 吴佳佳, 戴志远. 鱿鱼精深加工技术研究进展及发展趋势[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 150–154.
ZHAO QL, WU JJ, DAI ZY. Progress of deep-processing technology and comprehensive utilization of squid [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(12): 150–154.

[5] 陈金梅, 李锋, 郑允权, 等. 鱿鱼加工副产物高值化综合利用综述[J]. 渔业现代化, 2015, 42(1): 44–47.
CHEN JM, LI F, ZHENG YQ, *et al.* The review of comprehensive utilization with high value of squid processing by-products [J]. Fish Mod, 2015, 42(1): 44–47.

[6] 陈瑜, 张小军, 许丹, 等. 外源添加剂对鱿鱼丸品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(8): 3251–3257.
CHEN Y, ZHANG XJ, XU D, *et al.* Effect of exogenous additives on the quality of squid balls [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(8): 3251–3257.

[7] 戴志远, 杨莹, 王宏海, 等. 响应面法优化新型鱿鱼肉肠的加工工艺[J]. 中国食品学报, 2011, 11(3): 110–117.
DAI ZY, YANG Y, WANG HH, *et al.* Optimization of processing technology for recombined product from fish flesh and squid by response surface method [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2011, 11(3): 110–117.

[8] 马永钧, 秦乾安, 陈小娥, 等. 鱿鱼加工副产物综合利用研究进展[J]. 渔业现代化, 2008, 35(4): 62–65.
MA YJ, QIN QAN, CHEN XE, *et al.* Progress in the development of squid by products comprehensive utilization [J]. Fish Mod, 2008, 35(4): 62–65.

[9] 高志中, 周小敏, 劳敏军, 等. 鱿鱼风味料的制备工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(6): 82–84.
GAO ZZ, ZHOU XM, LAO MJ, *et al.* Study on preparation procedure of squid flavor material [J]. J Anhui Agric Sci, 2017, 45(6): 82–84.

[10] 吴少杰, 张俊杰, 姚兴存, 等. 我国鱿鱼的综合加工利用现状与展望[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 154–156.
WU SJ, ZHANG JJ, YAO XC, *et al.* Status and prospect of squid comprehensive utilization in China [J]. Food Res Dev, 2011, 32(1): 154–156.

[11] 张德权, 刘欢, 孙祥祥, 等. 预制菜肴工业化加工技术现状与趋势分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 39–47.
ZHANG DQ, LIU H, SUN XX, *et al.* Analysis of current situation and trends of industrial processing technology for prepared dishes [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2022, 22(10): 39–47.

[12] 李冬梅, 张雪迪, 毕景然, 等. 中式预制菜肴产业的传承与创新[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 1–8.
LI DM, ZHANG XD, BI JR, *et al.* Inheritance and innovation of Chinese prepared dishes industry [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2022, 22(10): 1–8.

[13] 王宏海, 戴志远, 翁丽萍, 等. 烟熏鱿鱼不同温度贮藏期间色泽变化初步研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(2): 214–217.
WANG HH, DAI ZY, WENG LP, *et al.* The preliminary study on color of smoked squid during different storage temperature [J]. Food Ferment Ind, 2011, 37(2): 214–217.

[14] 沈虹力, 邓尚贵, 方国宏. 即食鱿鱼须加工工艺的研究[J]. 肉类工业, 2018, 433(3): 10–14.
SHEN HL, DENG SG, FANG GH. Study on the processing technology of instant squid tentacles [J]. Meat Ind, 2018, 433(3): 10–14.

[15] 李颖畅, 宋素珍, 杨钟燕, 等. 甲醛对鱿鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影

- 响[J].中国食品学报, 2019, 19(8): 60–69.
- LI YC, SONG SZ, YANG ZY, *et al.* Effects of formaldehyde on the myofibrillar protein gel properties of Peru squid [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2019, 19(8): 60–69.
- [16] ZHU WH, HUAN HZ, LI Y, *et al.* Effect of ultrasound-assisted thawing on protein oxidation and quality of frozen jumbo squid (*Dosidicus gigas*) [J]. *Food Sci*, 2021, 42(5): 68–76.
- [17] 黄玲, 余梦海, 刘晗慧, 等. 鱿鱼主要组分与酸味研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 7859–7866.
- HUANG L, YU MH, LIU HH, *et al.* Progress in the study of Calamary main components and acidity [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(24): 7859–7866.
- [18] 安玥琦, 赵思明, 刘茹, 等. 鱼糜凝胶脆性的力学性能表征与模型建立[J]. 农业工程学报, 2018, 34(2): 292–298.
- AN YQ, ZHAO SM, LIU R, *et al.* Mechanical characterization and establishment of its model for crunchiness of surimi gels [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2018, 34(2): 292–298.
- [19] WU JN, CHEN XT, CHEN B, *et al.* Collaborative analysis combining headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) and intelligent (electronic) sensory systems to evaluate differences in the flavour of cultured pufferfish [J]. *Flavour Fragr J*, 2020, 1: 1–8.
- [20] 陈晓婷, 吴靖娜, 路海霞, 等. 基于电子鼻和电子舌优化蓝圆鲷调味基料的制备[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 282–289.
- CHEN XT, WU JN, LU HX, *et al.* Optimization of base seasoning preparation from *Decapterus maruadsi* based on electronic nose and electronic tongue [J]. *Food Sci*, 2018, 39(4): 282–289.
- [21] PETIT G, JURY V, LAMBALLERIE M, *et al.* Salt intake from processed meat products: Benefits, risks and evolving practices [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2019, 18(5): 1453–1473.
- [22] LIEM DG, MIREMADI F, KEAST RSJ. Reducing sodium in foods: The effect on flavor [J]. *Nutrients*, 2011, 3(6): 694–711.
- [23] GU F, KIM JM, HAYAT K, *et al.* Characteristics and antioxidant activity of ultrafiltrated Maillard reaction products from a casein-glucose model system [J]. *Food Chem*, 2009, 117(1): 48–54.
- [24] 李颖畅, 李双燕, 杜凤霞, 等. 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中氧化三甲胺降解及品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(7): 247–252.
- LI YC, LI SY, DU FX, *et al.* Effect of dihydromyricetin on trimethylamine oxide degradation and quality attributes in grilled squid fillets during storage [J]. *Food Sci*, 2021, 42(7): 247–252.
- [25] 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.
- [26] ZHU WH, LUAN HW, BU Y, *et al.* Flavor characteristics of shrimp sauces with different fermentation and storage time [J]. *LWT*, 2019, 110: 142–151.
- [27] WEI J, RONG Z, LI L, *et al.* Proteomics analysis to investigate the impact of diversified thermal processing on meat tenderness in Hengshan goat meat [J]. *Meat Sci*, 2022, 183: 108655.
- [28] HAMERSKI F, SILVA VR, CORAZZA ML, *et al.* Assessment of variables effects on sugar cane juice clarification by carbonation process [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2012, 47(2): 422–428.
- [29] 吴靖娜, 路海霞, 蔡水淋, 等. 基于电子鼻和 SPME-GC-MS 评价烟熏液对重鲍挥发性风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 220–230.
- WU JN, LU HX, CAI SL, *et al.* Analysis of volatile flavors in smoked abalone using electronic nose and solid phase micro-extraction coupled with GC-MS [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2016, 32(7): 220–230.
- [30] 王丽丽, 杨宪时, 李学英, 等. 水分含量对软烤鱿鱼足片质构和色泽的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 47–50.
- WANG LL, YANG XS, LI XY, *et al.* The effect of moisture content on the texture and color of light baked squid tentacles [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, 40(2): 47–50.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



廖登远, 副研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。
E-mail: liaodengyuan@sina.com

潘南, 助理研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。
E-mail: pannancn@163.com