

外源酶对预调理金枪鱼鱼排感官品质的影响

陈启航¹, 肖宇煊¹, 方旭波², 陈小娥¹

(1. 浙江海洋大学食品与药学院, 浙江舟山316022; 2. 浙江国际海运职业技术学院, 浙江舟山316021)

摘要: 为解决金枪鱼产品精深加工水平低和利用程度低的问题, 并开发金枪鱼加工系列产品, 文章以氨基酸态氮质量分数和感官评分为指标, 比较风味蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶和脂肪酶对调味腌制黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)鱼排感官品质的影响。在单因素实验的基础上, 通过正交试验确定金枪鱼最佳的调味腌制条件, 并结合电子鼻对调味腌制前后金枪鱼的风味进行相关分析。结果表明, 风味蛋白酶是最佳的外源蛋白酶, 最佳加工工艺为蛋白酶添加量0.3%、温度50℃、时间3.5 h, 在此条件下腌制金枪鱼鱼排的氨基酸态氮质量分数为0.82 mg·g⁻¹, 感官评分为36.3, 鱼排肉质鲜美, 风味较佳。

关键词: 黄鳍金枪鱼鱼排; 外源酶; 电子鼻; 氨基酸态氮; 感官评价

中图分类号: TS 254.9

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of exogenous enzymes on sensory quality of pre-conditioned tuna fish steak

CHEN Qihang¹, XIAO Yuxuan¹, FANG Xubo², CHEN Xiao'e¹

(1. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Zhejiang International Maritime College, Zhoushan 316021, China)

Abstract: To solve the problems of poor deep processing and utilization of tuna products, and to develop tuna processing products, we used yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) as raw material to compare the effects of flavor protease, neutral protease, alkaline protease, papain and lipase on the amino acid nitrogen content and sensory score of pickled tuna. On the basis of single factor experiment, we determined the best salting conditions for tuna by orthogonal test, and carried out a correlation analysis of tuna before and after salting by electronic nose. The results show that the flavor protease was the best exogenous protease, and the best processing formula was: 0.3% flavor protease, 50℃ and 3.5 h. Under these conditions, the mass fraction of amino acid nitrogen was 0.82 mg·g⁻¹, and the sensory score was 36.3. The meat of pickled yellowfin tuna steak was delicious with good flavor.

Key words: Yellowfin tuna steak; Exogenous enzyme; Electronic nose; Amino acid nitrogen; Sensory evaluation

黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)为大洋性鱼类, 产量较高, 主要分布于热带海域^[1-3]。其肉质鲜美、营养丰富, 具有低脂肪、高蛋白等特点^[4-6]。

目前黄鳍金枪鱼以生食为主, 少数制成罐头食品, 产品种类单一, 深加工产品较少^[7-8]。因此寻找适当的加工方式, 填补黄鳍金枪鱼产品系列的空白,

收稿日期: 2021-03-11; 修回日期: 2021-05-06

资助项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGN21C200010); 国家级大学生创新创业训练计划项目(202010340013); 舟山市普陀区科技计划项目(2019JH111)

作者简介: 陈启航(1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产加工与贮藏。E-mail: m17805801905@163.com

通信作者: 陈小娥(1968—), 女, 博士, 教授, 从事水产加工与贮藏研究。E-mail: xiaoechen@163.com

解决金枪鱼产品精深加工水平低和利用程度较低的问题,对发展我国金枪鱼产业具有重要意义。

预调理食品是指可直接食用或经过简单的加工即可食用的产品^[9-10]。水产类调理食品因其方便性深受消费者喜爱,其中腌制类调理食品具有风味独特、简单调理加工后即可食用等特点,是水产调理食品的重要类别^[11-12]。通过腌制加工,产品的感官和风味得到较大程度的改善。顾赛麒等^[13]比较了不同食盐添加量对腌制草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)风味和品质的影响,发现腌制使草鱼获得较好的腌腊鱼品质和风味。庞一扬等^[14]采用电子鼻和气相-离子迁移谱方法,对不同用量料酒腌制后的禾花鱼(*Procypris merus*)、罗非鱼(*Oreochromis* sp.)和金丝鱼(*Nemipterus virgatus*)的挥发性成分变化进行分析,发现料酒腌制对鱼肉脱腥有积极作用。研究表明,在腌制过程中添加外源酶不仅能提高腌制效率,还可在一定程度上改善口感,并产生相应的风味物质^[15-16]。吴燕燕等^[15]比较了添加风味蛋白酶、中性蛋白酶、脂肪酶3种不同外源酶对罗非鱼腌制品质的影响,发现3种外源酶混合腌制不仅提高了腌制效率,还改善了腌制鱼的风味。目前,有关添加外源酶腌制金枪鱼的研究尚未见报道。

本文对冻藏的黄鳍金枪鱼进行调味腌制处理,加工成水产类预调理食品。在腌制过程中首次添加不同外源酶,得到最适外源酶,研究了外源酶对腌制鱼肉氨基酸态氮^[17-18]、感官评分的影响,同时采用电子鼻技术^[19-20]结合正交试验获得最优加工工艺,为黄鳍金枪鱼产品研发提供新的发展思路。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

冷冻黄鳍金枪鱼(由舟山泰和食品股份有限公司提供,−20℃贮藏);食盐、酱油、料酒、白糖、味精(均购于欧尚超市);中性蛋白酶($1\times10^5\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)、木瓜蛋白酶($1\times10^5\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)、碱性蛋白酶($1\times10^5\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)、风味蛋白酶($3\times10^4\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)、脂肪酶($1\times10^5\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)购于南宁庞博生物工程有限公司;其他试剂均为分析纯。

BS110S电子天平(北京利康达圣科技发展有限公司);电子鼻便携式PEN3系统(北京菁美瑞科技有限公司);DZ-400多功能真空包装机(上海统筹包装机械有限公司);KDN-9140型MBE自动定氮仪(上海纤检仪器有限公司);XFH-40C电热式

压力蒸汽灭菌器(浙江新丰医疗机械有限公司);M1-L213C微波炉(美的公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 金枪鱼→锯块→去皮→去骨→剖片→添加外源酶调味腌制→包装→冻结→成品。测得成品的盐质量分数为2.3%。

1.2.2 操作要点 原料处理:选用冷冻的黄鳍金枪鱼为原料,大小匀称,用切割机将原料鱼整齐剖开成若干段,去皮、去骨,切割出质量约100 g的金枪鱼鱼排。

添加外源酶调味腌制(质量分数):选取3%食盐、1%酱油、2%料酒、4%白糖、0.5%味精制成调味液,料液按 m (鱼排): V (调味液)=1:2进行腌制,腌制完成后沥干数分钟,放入微波炉加热3~5 min取出,进行感官评定,按实验得到的最优配方调配,分别加入3种外源蛋白酶进行腌制。

1.2.3 最适外源酶的选择 分别加入 $300\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ 的风味蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶和脂肪酶,腌制3 h,在自然pH、40℃条件下腌制,以氨基酸态氮和感官评分为指标,比较各种外源酶对金枪鱼腌制效果的差异。

1.2.4 金枪鱼腌制单因素实验 以外源酶添加量(100、200、300、400、500 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)、温度(40、45、50、55、60℃)、时间(1、2、3、4、5 h)作为单因素进行实验,研究腌制单因素对金枪鱼氨基酸态氮和感官评分的影响,其余各因素的固定水平为外源酶添加量0.2%、温度50℃、时间2 h,每组重复实验3次,确定腌制最佳工艺。

1.2.5 酶解工艺正交试验设计 在考察单因素对氨基酸态氮和感官评分影响的基础上,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验。正交试验设计及水平编码见表1。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

因素 Factor	水平 Level		
	1	2	3
外源酶添加量 Exogenous enzyme addition amount/%	0.2	0.3	0.4
温度 Temperature/℃	45	50	55
时间 t/h	2.5	3	3.5

1.3 实验指标测定

1.3.1 氨基酸态氮 参照王小慧等^[21]方法测定。

1.3.2 感官评定指标 以腌制金枪鱼作为基料,

将腌制金枪鱼片放入 700 W 微波炉蒸煮 10 min, 取出进行感官评价。选择经过培训且具有感官评价知识的食品科学与工程专业学生 10 人, 以外观、质地、气味、滋味为评价指标, 先看再闻后尝, 确定最佳调配方式。满分 40 分, 滋味、色泽、气

味、形态各 10 分, 分值越高说明风味越好, 最终结果剔除异常数, 求取平均值, 打分标准见表 2。1.3.3 电子鼻分析 将鱼肉放入微波炉蒸煮 10 min, 均质后取 5 g 鱼肉装入顶空瓶中, 密封, 静置 40 min, 在室温下进行电子鼻检测, 每组做 3 个平行实验。

表2 腌制金枪鱼感官评价表
Table 2 Sensory evaluation of pickled tuna

评分标准(分) Scoring standard (Points)	类别 Type		
	一级 First grade	二级 Second grade	三级 Third grade
外观 Appearance (10)	光泽度佳, 呈浅棕色 (8~10)	有一定光泽, 呈琥珀色 (4~7)	鱼表面黯淡, 呈深褐色 (1~3)
质地 Texture (10)	鱼肉紧密, 咀嚼性佳 (8~10)	鱼肉紧密, 咀嚼性较佳 (4~7)	鱼肉松软, 无咀嚼性 (1~3)
气味 Odour (10)	无腥味, 鲜香味浓郁 (8~10)	无腥味, 鲜香味较淡 (4~7)	存在明显腥味, 无鲜香味 (1~3)
滋味 Taste (10)	味道适中, 滋味柔和 (8~10)	味道较适中, 回味短, 略有苦味 (4~7)	味道淡, 有苦味 (1~3)

1.3.4 其他指标 水分测定参考 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》; 盐分测定参考 GB 5009.44—2016《食品中氯化物的测定》; 脂肪测定参考 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》; 蛋白质测定参考 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》; 灰分测定参考 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》; 菌落总数测定参照 GB 4789.2—2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》; 大肠菌群的测定参照 GB 4789.3—2016《食品微生物学检验: 大肠菌群计数》。

1.4 数据处理

所有实验基于样品重复 3 次。采用 Origin Pro 8.5 软件绘图, 通过 SPSS 18.0 软件进行正交试验分析。

2 结果与分析

2.1 调味腌制金枪鱼单因素试验

在肉制品加工中, 发现外源酶可以使肉的加工工艺和感官品质得到改善和提高, 并在抗氧化、风味、抗菌防腐等其他方面也产生了一定影响^[22]。本研究分别对中性蛋白酶、风味蛋白酶、碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶、脂肪酶和未加酶进行实验, 结果见图 1-a。与未加酶的腌制金枪鱼相比, 添加风味蛋白酶的腌制金枪鱼鲜香味浓郁, 基本没有苦味, 其感官评分明显高于其他蛋白酶, 木瓜蛋白酶和脂肪酶次之, 碱性蛋白酶效果最差。原因可能是风味蛋白酶作为外切酶, 可以切断苦味肽末端的疏水性氨基酸, 使鱼肉基本没有苦味^[23]。氨基酸态氮是用

来表示蛋白质水解程度的指标, 其水解程度高低对产品滋味和挥发性物质生成会产生一定影响。氨基酸态氮含量低, 挥发性物质生成较少, 则滋味不足; 反之, 则会产生苦味^[13]。与未加酶的腌制金枪鱼相比, 添加风味蛋白酶的腌制金枪鱼, 其氨基酸态氮质量分数显著高于其他 4 种酶 ($0.69 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $P<0.05$), 说明风味蛋白酶水解效果优于其他 4 种酶, 原因可能是碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶、中性蛋白酶和脂肪酶均属于内切酶, 而风味蛋白酶则包含内切蛋白酶与外切酶 2 种不同活性酶, 水解效果更为彻底, 这与常诗洁等^[24]的研究结果一致。综上, 风味蛋白酶促进了金枪鱼鱼肉中的蛋白质水解, 同时降解苦味肽, 获得更佳的感官品质。因此, 本研究选用风味蛋白酶进行实验。

随着酶添加量的增加, 氨基酸态氮含量逐渐增加 ($P<0.05$, 图 1-b)。当酶添加量达 0.3% 时, 氨基酸态氮含量增加趋势不显著 ($P>0.05$), 并趋于平缓。其原因可能是酶与底物结合催化, 氨基酸态氮含量增加, 当酶与底物充分结合, 底物水解完全, 氨基酸态氮含量增加减缓。在 0.1%~0.5% 范围内, 感官评分随着酶添加量的增加呈显著性上升后下降, 当添加量为 0.3% 时, 感官评分达到最高值, 说明在这一浓度下, 风味蛋白酶水解鱼肉蛋白质较充分, 鲜香味浓郁, 获得较佳的感官品质; 而当添加量超过 0.3%, 感官评分逐渐下降, 这与周超等^[25]的研究结果相似, 原因可能是随着酶添加量的增加, 鱼肉会产生略微苦味, 对腌制金枪鱼鱼肉的风味造成一定影响。因此, 外源酶添加量以

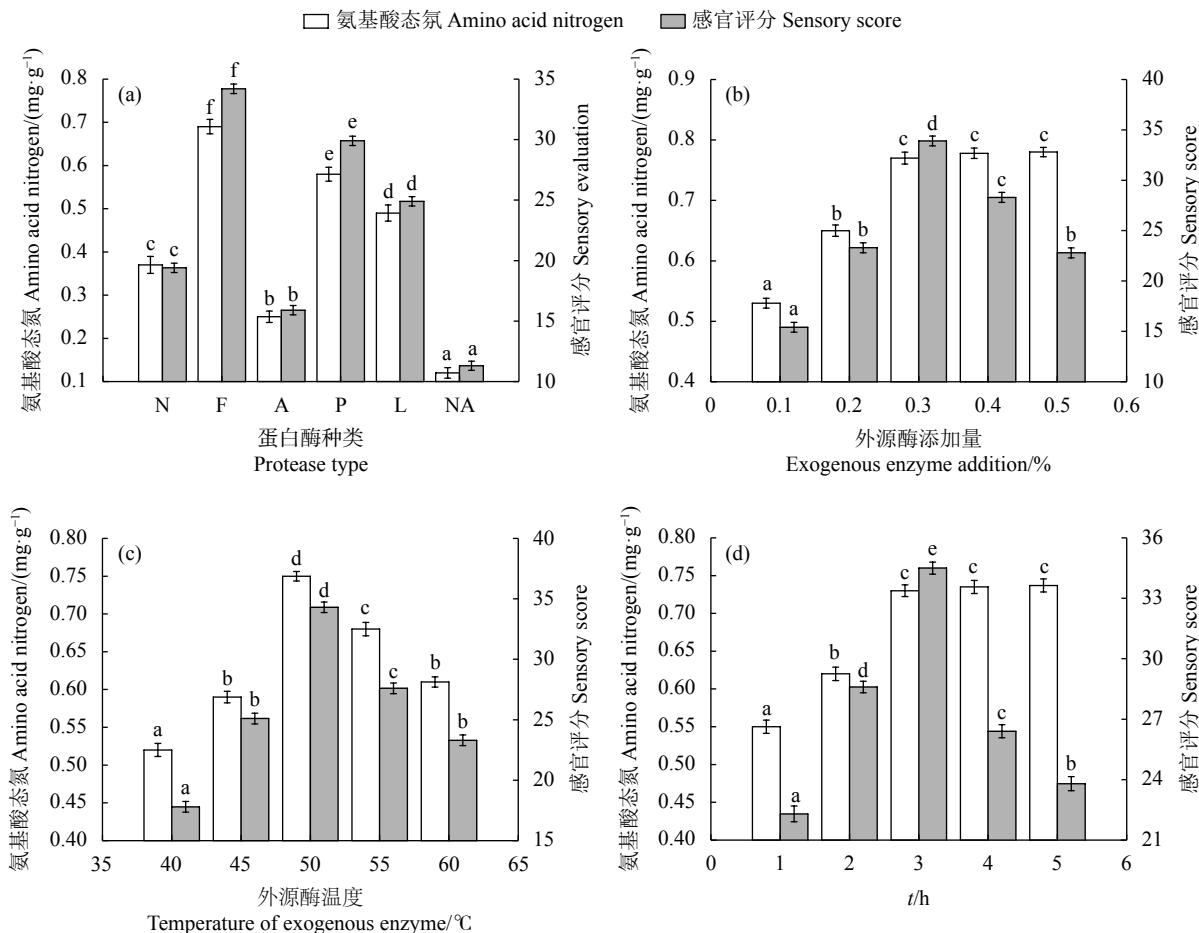


图1 外源酶对调味腌制金枪鱼氨基酸态氮和感官评分的影响

N. 中性蛋白酶; F. 风味蛋白酶; A. 碱性蛋白酶; P. 木瓜蛋白酶; L. 脂肪蛋白酶; NA. 未加酶; 不同字母表示差异显著 ($P<0.01$)。

Figure 1 Effect of exogenous enzyme on amino acid nitrogen and sensory score of seasoned and pickled tuna

N. Neutral protease; F. Flavor protease; A. Alkaline protease; P. Papain; L. Lipase; NA. No enzyme added.

Different letters indicate significant difference ($P<0.05$).

0.3% 为宜。

随着温度的升高, 氨基酸态氮含量增加, 当温度为 50 °C 时, 氨基酸态氮含量最高, 而后逐渐下降显著 ($P<0.05$, 图 1-c)。这与张婷婷等^[26]的研究结果相似, 可能是由于温度过低或过高均会抑制蛋白酶活性, 在一定范围内提高温度可增加风味蛋白酶活性, 而温度较高则会使风味蛋白酶变性失活。感官评分在 50 °C 时达最高值 (34.3), 此条件下鱼肉的风味最佳。因此, 本实验酶解温度约 50 °C 较适宜, 这与马丹等^[27]的研究结果相似。

氨基酸态氮含量随着酶解时间的延长而增加, 酶解时间超过 3 h, 底物氨基酸态氮含量变化不显著 ($P>0.05$, 图 1-d), 趋于平缓, 这与高雅鑫等^[28]的研究结果相似, 原因可能是底物浓度随着酶解时间延长逐渐减少。酶解时间在 3 h 以内, 感官评分逐渐显著性增加 ($P<0.05$), 超过 3 h, 感官评分显

著下降 ($P<0.05$)。可能是因为时间过短, 风味蛋白酶未完全反应, 而时间过长, 鱼肉会产生不良风味物质。因此, 本实验酶解时间在 3 h 左右较为适宜, 这与曹文红等^[29]的研究结果相似。

2.2 调味腌制金枪鱼正交试验

由表 3 可见, 就氨基酸态氮含量、感官评分而言, 各因素对酶解效果影响的大小顺序均为外源酶添加量 (A)>时间 (C)>温度 (B)。综合外源酶添加量、温度、时间 3 个因素对酶解效果的影响, 得出腌制金枪鱼的酶解工艺最佳条件为 A₂B₂C₃, 即外源酶添加量 0.3%, 作用温度 50 °C, 作用时间 3.5 h。笔者在此基础上进行了验证实验, 实验平行 3 次, 结果表明, 腌制金枪鱼的氨基酸态氮含量分别为 0.82、0.80、0.83 mg·g⁻¹, 平均为 0.82 mg·g⁻¹; 感官评分分别为 36.4、36.1、36.3, 平均为 36.3, 其中感官评分高于表 2 中的任一数据, 说明正交试验

表3 正交试验结果
Table 3 Orthogonal experiment results

实验号 Experiment No.	因素 Factor			氨基酸态氮含量 Amino acid nitrogen content/(mg·g ⁻¹)	感官评分 Sensory score
	A: 外源酶添加量 Exogenous enzyme addition amount/%	B: 温度 Temperature/°C	C: 时间 t/min		
1	1 (0.2)	1 (45 °C)	1 (2.5 h)	0.53	23.4
2	1	2 (50 °C)	2 (3 h)	0.62	25.3
3	1	3 (55 °C)	3 (3.5 h)	0.64	27.6
4	2 (0.3)	1	2	0.69	33.8
5	2	2	3	0.81	36.2
6	2	3	1	0.74	31.4
7	3 (0.4)	1	3	0.76	28.3
8	3	2	1	0.72	25.7
9	3	3	2	0.71	24.1
K ₁	0.60	0.66	0.66		
K ₂	0.75	0.72	0.67		
K ₃	0.73	0.70	0.74		
R	0.15	0.06	0.08		
K'1	25.4	28.5	26.8		
K'2	33.8	29.1	27.7		
K'3	26.0	27.7	30.7		
R'	8.4	1.4	3.9		

得到的酶解工艺优化参数具有适用性和可靠性, 产品蒸熟后鲜香味浓郁、口感细腻、色泽较佳。

从添加酶蒸制金枪鱼前后电子鼻雷达图(图2), 并结合表4得出, W5S、W1W、W2S传感器的响应值高(图2-a), 说明传感器对氮氧化合物、硫化

物、醇类物质敏感^[30]。金枪鱼经过外源酶添加后, 10个传感器上的响应值均发生了变化但程度不一(图2-b), 说明金枪鱼的风味受外源酶影响。添加外源酶后, 传感器5、9的响应值高于其他传感器。其中W2W可检测有机硫化物和芳香成分,

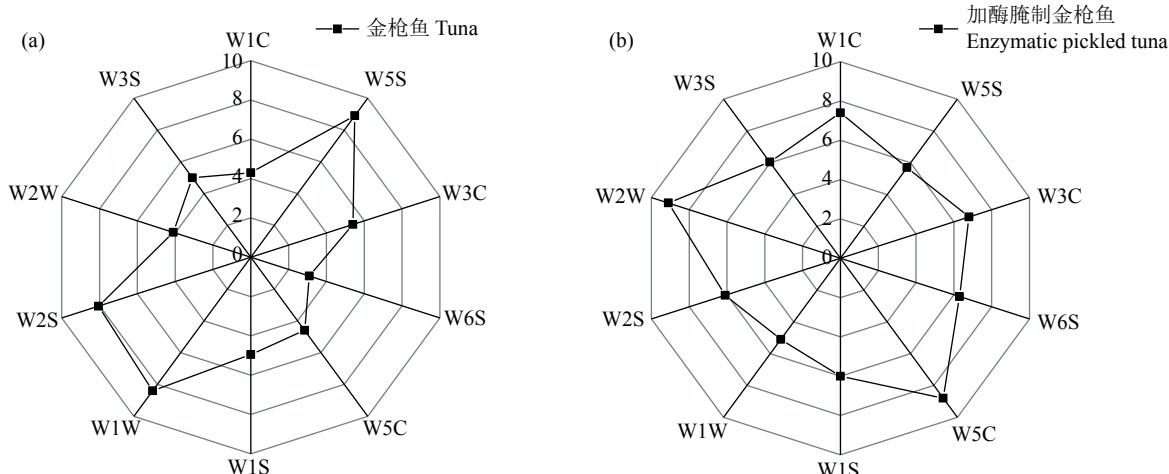


图2 金枪鱼和加酶腌制金枪鱼蒸熟后气味雷达图
Figure 2 Odor radar of tuna and enzymatic pickled tuna after steaming

表4 PEN3型便携式电子鼻传感器性能描述表
Table 4 Performance description table of PEN3 portable electronic nose sensor

阵列序号 Array No.	传感器名称 Sensor name	性能描述 Performance description
1	W1C	苯类, 芳香成分
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	对氨水、芳香成分敏感
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物、萜烯类灵敏
8	W2S	对乙醇灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	芳香烷烃

W5C 可检测烷烃和芳香成分^[31]。说明调味后金枪鱼产生的芳香物质多, 这些物质是构成香气的主要成分, 较好地改善了金枪鱼的风味。综上, 添加外源酶为即食调味金枪鱼带来独特风味。

2.3 腌制金枪鱼质量指标

经检验, 本腌制金枪鱼味道鲜美, 鲜香味浓郁, 致病菌未检出, 产品质量指标见表5。

表5 腌制金枪鱼质量指标分析
Table 5 Analysis of quality index of pickled tuna

指标 Index	项目 Item	参数 Parameter
感官指标 Sensory index	色泽	银白色
	香气	鱼香味
	滋味	鱼鲜味, 无苦涩味和异味
	质地	组织紧密, 有咀嚼性
理化指标 Physical and chemical index	水分	$(588\pm21.3) \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$
	盐分	$(23\pm2.5) \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$
	脂肪	$(94\pm4.7) \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$
	蛋白质	$(225\pm15.9) \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$
	灰分	$(16\pm1.8) \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$
微生物指标 Microbiological index	菌落总数	$2760 \text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$
	大肠菌群	$<0.001 \text{ MPN}\cdot\text{g}^{-1}$
	致病菌	未检出

3 结论

本实验以氨基酸态氮质量分数和感官评分为指

标, 通过正交试验得到最佳腌制渗透条件: 添加0.3% 的风味蛋白酶, 在50 ℃条件下腌制3.5 h。在上述条件下, 黄鳍金枪鱼风味较佳, 无鱼腥味及其他不良风味, 味道鲜美, 鱼肉咀嚼性好。本研究结果可为腌制金枪鱼口味多元化、金枪鱼加工工艺及其新产品开发提供参考。

参考文献:

- [1] HOSHINO E, HILLARY R, DAVIES C, et al. Development of pilot empirical harvest strategies for tropical tuna in Indonesian archipelagic waters: case studies of skipjack and yellowfin tuna[J]. Fish Res, 2020, 227: 105539.
- [2] CERRATO A, CAPRIOTTI A L, CAPUANO F, et al. Identification and antimicrobial activity of medium-sized and short peptides from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) simulated gastrointestinal digestion[J]. Foods, 2020, 9: 1185.
- [3] 方伟, 周胜杰, 赵旺, 等. 黄鳍金枪鱼5月龄幼鱼形态性状对体质量的相关性及通径分析[J]. 南方水产科学, 2021, 17(1): 52-58.
- [4] SILVA G B, HAZIN H G, HAZIN F H V, et al. Diet composition of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) caught on aggregated schools in the western equatorial Atlantic[J]. J Appl Ich, 2019, 35(5): 1111-1118.
- [5] ANDERSON G, HOLLAND E, RICO C. Meta-analysis of factors influencing population differentiation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)[J]. Rev Fish Sci Aquacult, 2019, 27(4): 517-532.
- [6] 蒲月华, 童银洪, 邓旗. 黄鳍金枪鱼头多肽体外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(3): 204-207.
- [7] 林莉莉, 姚春霞. 黄豆油浸金枪鱼罐头生产技术[J]. 现代食品, 2018(20): 151-153.
- [8] 马旭婷. 两种金枪鱼罐头加工中营养和风味变化研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2017: 1.
- [9] 王锐, 王卫, 黄本婷, 等. 我国预调理肉制品加工技术研究进展[J]. 农产品加工, 2018(23): 85-88, 92.
- [10] 刘天杰, 阎红, 孙晋康, 等. 花椒鸡丁预调理食品标准化加工工艺研究[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2017, 31(2): 7-10.
- [11] 李娜, 蔡鲁峰. 调理食品及其发展现状与趋势探讨[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(1): 31-34.
- [12] 吴涵, 施文正, 王逸鑫, 等. 腌制对鱼肉风味物质及理化性质影响研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 285-291, 297.
- [13] 顾赛麒, 郑皓铭, 戴王力, 等. 不同食盐添加量对腌制草鱼品质和风味的影响[J]. 浙江工业大学学报, 2020, 48(4): 455-465.
- [14] 庞一扬, 余远江, 袁桃静, 等. 腌鱼腌制过程中挥发性成分的变化分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 281-289.
- [15] 吴燕燕, 赵志霞, 李来好, 等. 添加外源酶类对腌制罗非鱼品质的影响[J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 102-111.
- [16] 孙海磊, 罗欣, 朱立贤, 等. 超声波技术在牛肉嫩化中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(20): 282-286.

- [17] 晋文慧, 陈晖, 洪专. 蕃荔枝酶解工艺优化及氨基酸分析研究 [J]. 中国调味品, 2020, 45(8): 69-73.
- [18] 张柳莲, 黄清铧, 胡彪, 等. 肉桂秀珍菇酶解工艺及酶解物氨基酸组成分析 [J]. 食品工业, 2021, 46(1): 21-26.
- [19] 苏可珍, 黎小椿, 聂辉, 等. 不同蒸制条件下荔浦芋的风味评价 [J]. 食品工业, 2020, 41(10): 185-189.
- [20] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 对 5 种食用植物油挥发性风味成分分析 [J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 102-111.
- [21] 王小慧, 戚勃, 杨贤庆, 等. 响应面法优化末水坛紫菜蛋白酶解工艺及其酶解液抗氧化活性研究 [J]. 南方水产科学, 2019, 15(2): 93-101.
- [22] 徐月. 肉类嫩化酶及其在畜产品加工中的应用研究 [J]. 现代食品, 2020(1): 44-45.
- [23] 李学鹏, 刘晏玮, 谢晓霞, 等. 热预处理对蓝蛤酶解及酶解液呈味特性的影响 [J]. 食品科学, 2020, 41(2): 133-140.
- [24] 常诗洁, 高娟, 方东路, 等. 4 种蛋白酶水解双孢蘑菇效果比较及风味蛋白酶水解工艺优化 [J]. 食品科学, 2018, 39(24): 276-283.
- [25] 周超, 黄裕怡, 胡旭佳. 茶褐牛肝菌酶解制备呈味肽基料的工艺研究 [J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2017, 42(4): 79-86.
- [26] 张婷婷, 张琪琪, 魏雪琴, 等. 冷冻巴沙鱼肉酶法制备海鲜调味基料的研究 [J]. 食品科技, 2020, 45(12): 270-275.
- [27] 马丹, 杨源源, 张焕琴, 等. 酶解法制备薏米汁的工艺优化 [J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 165-169.
- [28] 高雅鑫, 杨森, 李雨恬, 等. Box-Behnken 法优化双酶协同水解牡蛎蛋白工艺 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 117-121, 127.
- [29] 曹文红, 章超桦, 秦小明, 等. 牡蛎肉酶解工艺优化及其产物的分子质量分布研究 [J]. 食品科技, 2019, 44(7): 185-190.
- [30] 王绍帆, 黄欢, 张风亭, 等. 不同品种马铃薯化学组成及香气成分的研究 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 8-16.
- [31] 王振猛, 江晓, 孙建安, 等. 米曲霉固态发酵产蛋白酶酶解虾头工艺探究 [J]. 中国渔业质量与标准, 2020, 10(3): 19-30.