



广东海洋大学学报
Journal of Guangdong Ocean University
ISSN 1673-9159, CN 44-1635/N

《广东海洋大学学报》网络首发论文

题目: 卵形鲳鲹脱腥工艺优化及基于 GC-IMS 对脱腥前后风味物质分析
作者: 陈秋翰, 杨学博, 刘寿春, 刘美娇, 黎铸毅, 周春霞, 洪鹏志
收稿日期: 2023-07-07
网络首发日期: 2023-11-27
引用格式: 陈秋翰, 杨学博, 刘寿春, 刘美娇, 黎铸毅, 周春霞, 洪鹏志. 卵形鲳鲹脱腥工艺优化及基于 GC-IMS 对脱腥前后风味物质分析[J/OL]. 广东海洋大学学报. <https://link.cnki.net/urlid/44.1635.N.20231123.1644.004>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

陈秋翰, 杨学博, 刘寿春, 等. 卵形鲳鲹脱腥工艺优化及基于GC-IMS对脱腥前后风味物质分析[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(6)

卵形鲳鲹脱腥工艺优化及基于GC-IMS对 脱腥前后风味物质分析

陈秋翰¹, 杨学博¹, 刘寿春^{1,2,3}, 刘美娇¹, 黎铸毅¹, 周春霞^{1,3}, 洪鹏志^{1,2,3}

(1. 广东海洋大学食品科技学院/广东省水产品加工与安全重点实验室/广东省海洋食品工程技术研究中心/广东省水产预制食品加工与品质控制工程技术研究中心, 广东 湛江 524088; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东 湛江 524004; 3. 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 大连工业大学, 辽宁 大连 116034)

摘要:【目的】为在加工过程中有效去除卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)腥昧物质, 优化去除卵形鲳鲹腥昧物质的工艺, 并分析脱腥前后风味物质变化。【方法】以腥昧值及感官得分为指标进行单因素及响应面试验, 优化紫苏提取物-藿香提取物-酵母提取物混合脱腥液配方, 并利用电子鼻、气相离子迁移谱(GC-IMS)结合风味物质的相对气味活性值, 对比分析脱腥前后挥发性风味物质及三甲胺含量变化。【结果】当添加的藿香提取物质量分数为0.20%、紫苏提取物质量分数为0.15%、酵母提取物质量分数为0.12%, 料液比1:3 g/mL, 温度4℃条件下浸泡40 min时, 卵形鲳鲹脱腥效果最好, 其感官评价最佳。卵形鲳鲹肉经混合脱腥液浸泡后, 其醛类物质的相对含量降低29.80%, 三甲胺质量分数降低42.68%。【结论】紫苏提取物-藿香提取物-酵母提取物混合脱腥液可有效去除卵形鲳鲹加工中的腥昧。

关键词: 卵形鲳鲹; 脱腥; 工艺优化; GC-IMS; 风味物质

中图分类号: O657; TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9159(2023)06-00-11

Optimization of Deodorization Process of *Trachinotus ovatus* and Analysis of Flavor Substances before and after Deodorization based on GC-IMS

CHEN Qiuhuan¹, YANG Xuebo¹, LIU Shouchun^{1,2,3}, LIU Meijiao¹, LI Zhuyi¹,
ZHOU Chunxia^{1,3}, HONG Pengzhi^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University / Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety / Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Seafood / Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Aquatic Prepared Food Processing and Quality Control, Zhanjiang 524088, China; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Zhanjiang 524004, China; 3. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: 【Objective】To effectively remove the fishy substances from golden pomfret (*Trachinotus ovatus*) during processing, the process for removing the fishy substances from golden pomfret was optimized and the changes in flavour compounds before and after deodorisation were analyzed.

收稿日期: 2023-07-07

基金项目: 广东省高校科技创新团队项目(2021KCXTD021); 湛江市科技计划项目(2019A01033); 金鲳鱼预制加工关键技术研发与产业化(2022A05037)

第一作者: 陈秋翰(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: chenqiuhan1120@foxmail.com

通信作者: 洪鹏志(1966—), 男, 教授, 研究方向为水产品精深加工及功能性食品研发。E-mail: hongpengzhi@126.com

【Methods】 A one-way and response surface test using fishy smell value and sensory score as indicators was conducted to optimize the formula of the deodorant mixture of perilla extract, patchouli extract and yeast extract. The changes in volatile flavour substances and trimethylamine content before and after deodorization were compared and analyzed by using an electronic nose and gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) combined with relative odour activity value of flavour substances. 【Result】 The best deodorization and organoleptic evaluation effects of golden pomfret was achieved when the added patchouli extract mass fraction was 0.20%, perilla extract mass fraction was 0.15%, yeast extract mass fraction was 0.12%, the material-liquid ratio was 1:3 g/mL, and when it was soaked for 40 min at 4 °C. The relative content of aldehydes was reduced by 29.80%, and the mass fraction of trimethylamine was reduced by 42.68% after being soaked in the mixed deodorising solution. 【Conclusion】 The mixed deodorizing solution of perilla extract, patchouli extract and yeast extract could effectively remove the fishy smell of *Trachinotus ovatus* being processed.

Keywords: *Trachinotus ovatus*; deodorization; process optimization; GC-IMS; flavor substances

金鲳鱼(*Trachinotus ovatus*)学名卵形鲳鲹,生活于热带及温带海洋中,在我国主要分布于渤海、东海、南海等海域。近年来,随着深海网箱、海洋牧场等养殖技术的不断推广应用,金鲳鱼养殖产量逐年增加,在2022年达到24.54万t^[1],已成为南方沿海规模化生产的鱼类之一^[2]。为提高大众的可接受度,水产品脱腥是关键问题。水产品中腥味物质的形成主要是由于不适当的储存与运输,造成内部氧化三甲胺的分解、脂肪酸的氧化分解、其他物质酶的催化转化以及游离脂肪酸的自动氧化分解;也包括环境中藻类和微生物的代谢产物在水产品体内积累,以及水产品肌肉对挥发性物质的吸收等^[3-4]。感官掩蔽法和酸碱盐处理法等是目前应用最为广泛的脱腥方法^[5]。藿香(*Pogostemon cablin*)为唇形科刺蕊草属植物,是我国传统药食同源植物,其茎叶具有抗炎抑菌、祛暑解表等作用,常用于暑湿时令和消化系统疾病^[6-7],在川渝地区也常用做天然脱腥剂。紫苏(*Perilla frutescens*)为唇形科草本植物,是一种药食同源的中药^[8],常被作为天然脱腥剂,如刑贵鹏等^[9]使用紫苏液对罗非鱼浸泡脱腥,使其腥味成分降幅达到14%~15%。酵母提取物是一种应用广泛的天然调味料,刘钰琪等^[10]研究发现,在白鲢鱼糜中添加酵母提取物可有效降低鱼糜凝胶的腥味及过熟味等异味。复合脱腥技术主要是利用各方法之间的互补和协同增效作用,有助于获得更优的除腥效果^[11]。吴国强等^[12]研究表明,添加质量分数1%的酵母抽提物及质量分数5%的紫苏不仅可减少醛类等腥味物质的含量,还产生具有清新香气的醇

类及酮类。为在加工过程中有效去除金鲳鱼腥味物质,本研究采用复合脱腥剂对金鲳鱼进行脱腥,以腥度和感官评分为指标,优化脱腥工艺,以三甲胺、电子鼻、气相离子迁移谱(GC-IMS)对比分析脱腥前后腥味物质种类及含量变化来评价脱腥效果,以期后续研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

金鲳鱼购于市场,加冰块保活并于2 h内运至实验室,以保证金鲳鱼的鲜活度。藿香提取物(棕黄色粉末)、紫苏提取物(棕色精细粉末),河南龙腾生物科技有限公司;酵母提取物,湖北安琪酵母股份有限公司;盐酸、氢氧化钠,购于国药集团化学试剂有限公司;氯化钠、三氯乙酸,西陇科学股份有限公司;三甲胺盐酸盐,中国计量科学研究院化学所;以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Flavour Spec®风味分析仪,德国G.A.S.公司;色谱柱MXT-5 15 m×0.53 mm ID,中国山东气体海南科学仪器有限公司;Inert Cap®Pure-WAX石英毛细柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),日本岛津公司;PEN3型电子鼻,德国AIRSENSE公司;DF-101S型集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;TU-20HT恒温水浴锅,英国Bibby Scientific公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品预处理 新鲜金鲳鱼采买后,宰杀去内

脏去骨,经清水洗涤至不再有血水,将鱼肉切为 $5.0\text{ cm} \times 5.0\text{ cm} \times 2.0\text{ cm}$ 等质量大小鱼块并进行分组。

1.3.2 脱腥液配方优化 配方优化:进行藿香、紫苏、酵母提取物3种脱腥剂的浓度单因素试验(紫苏、藿香提取物质量分数均取0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%;酵母提取物质量分数取0.06%、0.08%、0.10%、0.12%、0.14%、0.16%)。设置腥味评价标准分别为无腥味0分、腥味极弱1分、腥味较弱2分、有腥味3分、腥味一般4分、腥味略重5分、腥味重6分。选取单因素试验后3个质量分数水平,进行响应面试验,参考GB/T 37062—2018水产品感官评价指南制定综合感官(表1)判定标准,以获得最优配比。

感官评定:选择食品专业学生20名(10名男性,10名女性,年龄为20—25岁),做感官评定前对评定人员进行培训,使其熟悉不同浓度三甲胺的味道及熟练掌握各类感官描述词语,根据腥味评价标准与表1对金鲳鱼进行感官评价打分,整个感官评定过程处于恒温(25℃)无异味的通风环境中进行。

将鱼块以料液比1:3 g/mL完全浸没在脱腥液中,温度4℃浸泡40 min后取出,微波炉95℃加热4 min^[13],将加热后的样品进行腥值判定。腥值计算公式如下:

$$V = (0.6 \sum Q_i + 0.4 \sum W_i) / n,$$

其中, V —腥值, n —样品感官评价人数, Q_i —第 i 位评价人员的腥气分值, W_i —第 i 位评价人员的腥值

分值。

1.3.3 三甲胺含量测定 三甲胺含量参考GB 5009.179—2016《食品安全国家标准食品中三甲胺的测定》中的顶空气相色谱-质谱联用法。

1.3.4 电子鼻分析 称取5 g金鲳鱼样品置于20 mL顶空瓶中密封,室温(25℃)静置30 min,待样品气味充满顶空瓶后,将电子鼻探头插入顶空瓶检测挥发性风味物质,每个样品重复测定3次,获得数据用自带软件进行处理,电子鼻传感器名称及其代表性敏感物质见表2。

1.3.5 HS-GC-IMS分析 参考Zheng等^[14]方法,称取2 g金鲳鱼样品放入顶空瓶中,在60℃下孵育10 min,孵化转速500 r/min,在500 μL的顶空样品以80℃的无分裂模式注入顶空自动进样器。色谱条件:色谱柱温度60℃;载气为 N_2 (纯度 $\geq 99.999\%$);载气流速程序为初始流速2.0 mL/min,保持2 min,然后22 min内线性升至100 mL/min并保持5 min。IMS条件:漂移管长5.3 cm,在45℃和150 mL/min的恒温 and 流速下运行,放射源为 β 射线,离子化模式为正离子。

1.3.6 相对气味活性值 参考文献[15-16]中的方法评价金鲳鱼样品中的香气组分对主体香气的贡献度。样品总体风味贡献最大的组分设定为相对气味活性值 $r_{\text{stan}} = 100$ 。其他组分的相对气味活性值 r 按以下公式计算:

$$r \approx (C_i / T_i) \times (T_{\text{stan}} / C_{\text{stan}}),$$

其中, C_i 和 T_i 分别为挥发性化合物的相对含量

表1 感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation standard

评价指标 Evaluation indicators	标准 Standard	感官分值 Sensory score
色泽	色泽光亮,鱼肉嫩白	8~10
	色泽较暗淡,鱼肉偏黄	3~7
	颜色暗淡不均	<3
气味	鱼香浓郁,有鱼鲜香气味	8~10
	鱼香较弱,稍伴有鱼腥味	3~7
	香味不明显,鱼腥味较浓	<3
滋味	正常的鱼鲜味,无异味、腥味	8~10
	鱼鲜味清淡,稍伴有鱼腥味	3~7
	无明显的鱼鲜味,鱼腥味明显	<3
组织质地	质地均匀,形态完整,鱼肉紧实	8~10
	质地较均匀,形态较完整,鱼肉稍松散	3~7
	质地不均匀,鱼肉松散	<3

表2 PEN3型电子鼻及代表性敏感物质
Table 2 PEN3 sensors and corresponding representative sensitive materials

阵列序号 Array number	传感器名称 Sensor name	敏感性能描述 Description of sensitivity	敏感性气体 Sensitive gases	阈值 Thresholds/ (mL/m ³)
1	W1 C	芳香成分与苯类	C ₇ H ₈	10
2	W5 S	氮氧化合物	NO ₂	1
3	W3 C	芳香成分与氨类	C ₆ H ₆	10
4	W6 S	对氢化物有选择性	H ₂	100
5	W5 C	短链烷烃芳香成分	C ₃ H ₈	1
6	W1 S	甲基类	CH ₄	100
7	W1 W	硫化物	H ₂ S	1
8	W2 S	醇类、醛酮类	CO	100
9	W2 W	芳香成分与有机硫化物	H ₂ S	1
10	W3 S	长链烷烃类	CH ₄	100

(%)和水中化合物的感觉阈值(ug/kg), C_{stan} 和 T_{stan} 分别为贡献最大的挥发性成分的相对含量(%)和感觉阈值(ug/kg)。

1.3.7 数据统计与分析 GC-IMS 数据利用设备自带 Laboratory Analytical Viewer 分析软件及插件进行定量定性分析;利用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析,采用 Duncan's 法进行显著性分析和多重比较;用 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 脱腥液配方优化

2.1.1 藿香、紫苏、酵母提取物质量分数对金鲳鱼腥味的影 分别控制添加的紫苏、藿香提取物质量分数为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%, 酵母提取物质量分数为 0.06%、0.08%、0.10%、0.12%、0.14%、0.16%, 温度 4 °C 浸泡 40 min 后进行腥程度值评定。由图 1(a)可知,随着添加的紫苏质量

分数增加,腥程度值随之降低,当紫苏质量分数为 0.15% 时,脱腥效果最好,而当紫苏质量分数超过 0.15% 时,腥程度值无显著变化,且会影响鱼肉的风味。姚正颖等^[17]将紫苏运用到鱼丸中表现出良好的脱腥效果,本研究与其结果一致。由图 1(b)可知,随着添加的藿香质量分数增加,腥程度值随之降低,当藿香质量分数为 0.20% 时腥程度值最低,且此时藿香可遮盖腥味又表现出藿香本身的清香,而当藿香质量分数超过 0.20% 时,藿香的脱腥效果变化不明显,且会对鱼肉色泽产生影响。由图 1(c)得知,添加的酵母提取物质量分数为 0.12% 最适宜,具有激发本身风味作用。姚晓波等^[18]研究表明,酵母提取物中所含特征性气味物质和滋味物质对鲈鱼感官具有一定的去腥提味作用,本研究与其结果一致。

2.1.2 Box-Behnken 实验结果与分析 为进一步优化脱腥条件,在单因素实验的分析基础上进行响应面实验(A、B、C 分别为紫苏、藿香、酵母提取物质量

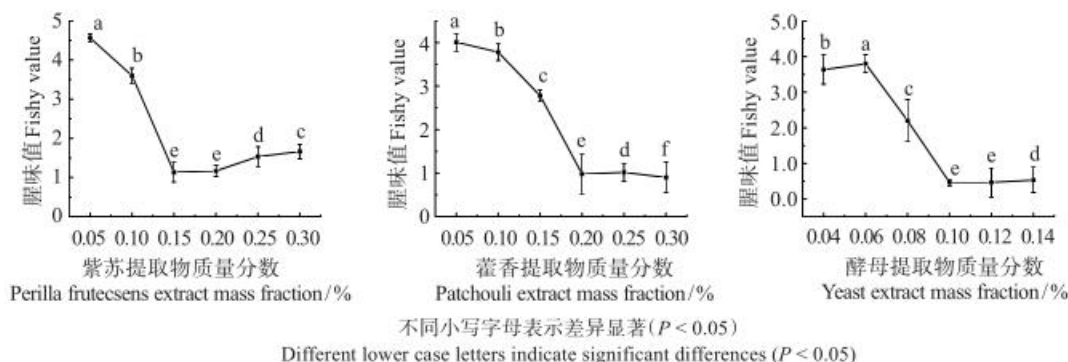


图1 紫苏提取物(a)、藿香提取物(b)与酵母提取物(c)质量分数对腥程度值的影响

Fig. 1 Effect of mass fraction of perilla frutescens extract (a), patchouli extract (b) and yeast extract (c) on fishy smell values

分数,实验因素水平设置见表3),响应面实验结果见表4。

表3 Box-Behnken 实验因素水平设置

Table 3 Experiment factor level of Box-Behnken			
水平 Level	因素 Factor / %		
	A	B	C
-1	0.10	0.15	0.10
0	0.15	0.20	0.12
1	0.20	0.25	0.14

表4 响应面实验设计及结果

Table 4 Design and results of response surface experiment

序号 Serial number	因素 Factor			感官评分 Sensory score
	A	B	C	
1	0	0	0	38.00
2	1	0	1	36.50
3	0	1	-1	36.44
4	0	0	0	38.20
5	0	-1	-1	36.50
6	0	1	1	37.06
7	1	0	-1	36.17
8	0	0	0	37.96
9	1	-1	0	36.22
10	-1	0	1	37.13
11	0	0	0	37.94
12	0	-1	1	36.66
13	-1	-1	0	36.30
14	0	0	0	38.35
15	-1	1	0	36.60
16	-1	0	-1	36.80
17	1	1	0	35.80

利用响应面软件对金鲳鱼脱腥的实验结果进行回归拟合及方差分析,得到以感官评分(Y)对紫苏提取物质量分数(A)、藿香提取物质量分数(B)、酵母提取物质量分数(C)的二次回归方程: $Y = 38.14 - 0.27A + 0.03B + 0.18C - 0.18AB + 0.11BC - 0.97A^2 - 0.95B^2 - 0.53C^2$ 。由表5可知,回归模型差异极显著($P < 0.01$),失拟项差异不显著($P > 0.05$), $R^2 = 0.9865$ 说明该模型与实验有较高的拟合度,由模型中因子 A 、 B 、 C 、交互项 AB 和二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 的 F 值可知,各因素对感官评分的影响程度依次是 $A > C > B$ 。

图2(a、b、c)直观表现各因素交互作用对感官评分的影响,响应面的弯曲程度反映各因素对响应值

表5 感官评分回归模型的方差分析结果

Table 5 Analysis results of variance of the sensory score regression mode

来源 Source	平方和 Quadratic sum	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P
模型	10.84	9	1.20	56.97	< 0.0001**
A	0.57	1	0.57	27.08	0.0020**
B	5.00×10^{-3}	1	5.00×10^{-3}	0.24	0.6414
C	0.27	1	0.27	12.60	0.0093**
AB	0.13	1	0.13	6.31	0.0425*
AC	0	1	0	0	1.0000
BC	0.05	1	0.05	2.29	0.1740
A^2	3.93	1	3.93	185.86	< 0.0001**
B^2	3.77	1	3.77	178.24	< 0.0001**
C^2	1.16	1	1.16	55.11	0.0001**
残差	0.15	7	0.02		
失拟项	0.05	3	0.03	0.58	0.6602
纯误差	0.10	4	0.03		
总和	10.99	16			

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

Notes: * indicates significant difference, $P < 0.05$; ** indicates highly significant difference, $P < 0.01$.

的影响大小,曲面图中曲线的弯曲程度越大,说明相应的因素对响应值的影响越显著^[3,19]。由图2可知, A 、 B 的交互对金鲳鱼的感官评分有显著影响;当藿香提取物质量分数固定不变时,随着紫苏提取物质量分数增加,鱼肉感官评价逐渐提高,在紫苏提取物质量分数0.15%左右,感官评价达到最低值,之后随着紫苏提取物质量分数增加而感官评价变化不大,说明紫苏提取物质量分数0.15%以上对感官评价的影响不大。

获得优化获得脱腥工艺条件:紫苏提取物质量分数为0.15%、藿香提取物质量分数为0.20%、酵母提取物质量分数为0.12%,在此条件下的感官评分为38.17。为验证模型的合理性,以紫苏提取物质量分数为0.15%、藿香提取物质量分数为0.20%、酵母提取物质量分数为0.12%,料液比1:3 g/mL,温度4℃浸泡40 min,进行重复验证实验,得到感官评分为 37.96 ± 0.40 ,与预测结果相近,说明该响应面模型与实际情况相符。

2.2 脱腥前后三甲胺质量分数的变化

氧化三甲胺是水产品体内本身存在的含氮化合物,其本身不具异味,但其在一定条件下可分解为三甲胺、二甲胺和甲醛。三甲胺、二甲胺等脂肪族胺类

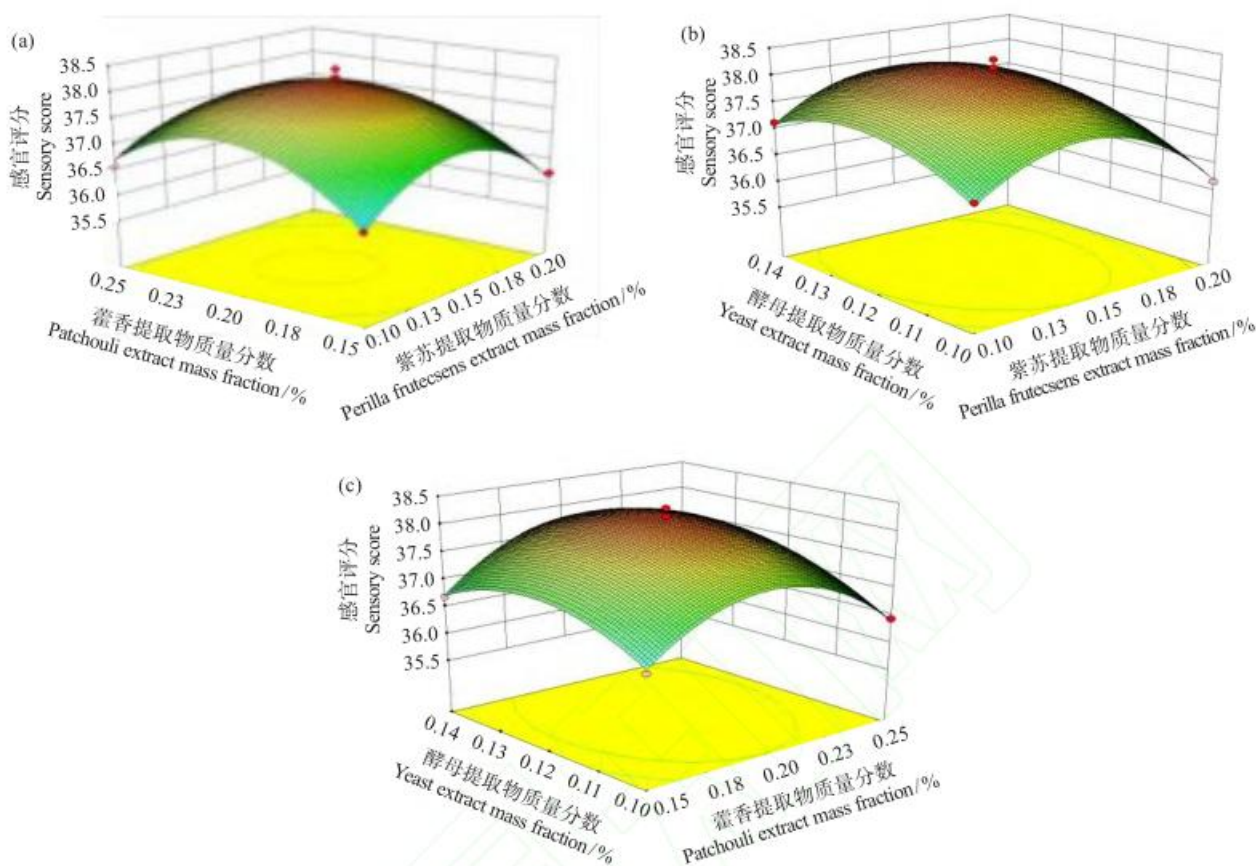


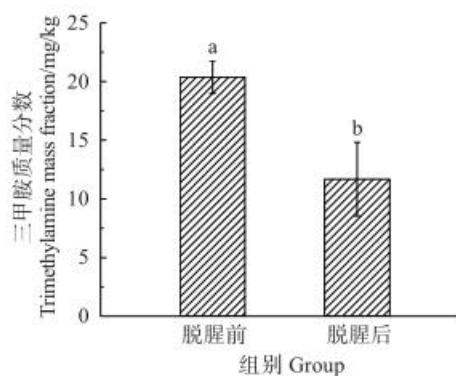
图2 各因素交互作用对腥味值的影响

Fig. 2 Effects of interaction between two factors on fishy smell value

物质具有刺激的鱼腥臭味,当其与鱼体内的 δ -氨基戊酸、六氢吡啶等物质共存时,会使鱼的腥臭味增强^[20-21],因此,三甲胺是评价脱腥效果的重要指标。通过测定脱腥前三甲胺质量分数对比发现(图3):脱腥前三甲胺质量分数为 (20.38 ± 0.64) mg/kg,经本研究的脱腥工艺处理后,三甲胺质量分数为 (11.68 ± 0.35) mg/kg,三甲胺质量分数明显降低42.69%,表明该脱腥工艺对金鲳鱼有明显的脱腥效果。

2.3 脱腥前后风味特性的电子鼻分析

电子鼻快速和客观检测的特点常用产品挥发性风味物质检测^[22]。雷达图的差异一定程度反映了挥发性物质响应强弱的差异,由图4(a)可知,脱腥后的挥发性物质在传感器W5S(氮氧化合物)和W1W(硫化物)响应信号值显著降低($P < 0.05$),说明脱腥处理对金鲳鱼的风味物质产生明显影响。主成分分析(PCA)对电子鼻检测到的挥发性化合物进行降维分析,可表征脱腥前后起主要区分作用的组分^[23]。由图4(b)可知,第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的累计贡献率达到90.8%,涵盖样品的大部分



不同字母表示样品间存在显著差异($P < 0.05$)

Different letters indicate significant differences between samples ($P < 0.05$)

图3 脱腥前后三甲胺质量分数的变化

Fig. 3 Changes in trimethylamine mass fraction before and after deodorization

信息,其中PC1贡献率为75.0%,PC2贡献率为15.8%,由此可知,脱腥前后的差异主要体现在第一主成分上^[24]。脱腥前后挥发性风味可以区分但存在部分重叠,说明脱腥前后的风味具有差异。

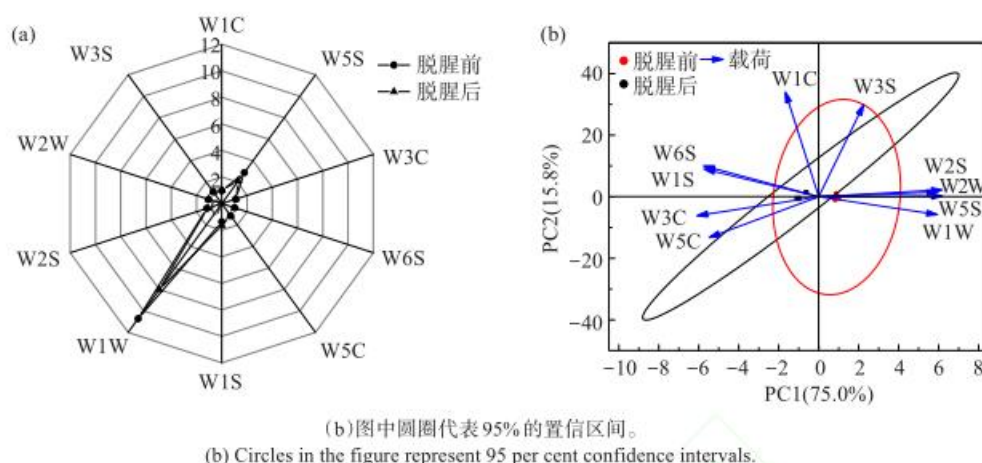


图4 脱腥前后电子鼻雷达(a)与主成分分析(b)

Fig. 4 Electronic nose radargrams (a) and principal component analysis (b) before and after deodorization

2.4 脱腥前后挥发性风味物质二维图谱及指纹图谱分析

采用GC-IMS对金鲳鱼脱腥前后挥发性物质进行分析获得二维图谱(图5),二维图谱中的每个点代表从样品中分离和鉴定的挥发性化合物^[25]。为清晰比较样品间差异,在二维图谱中以脱腥前的谱作为参考,脱腥后的谱作为扣除参比图谱。挥发性化合物浓度相同则背景为白色,化合物浓度低于参考为蓝色,化合物浓度高于参考为红色^[26-27]。观察图5二维图谱的红框部分可知,脱腥前后挥发性物质的差异及变化较为明显,与电子鼻的分析结果一致。

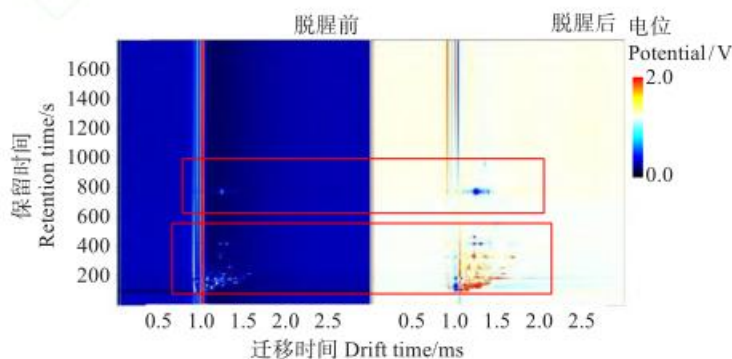
此外,对脱腥前后挥发性成分进行比较,并通过Gallery Plot绘制指纹图谱(图6)。指纹图谱可直观表明每种物质的动态变化,通过颜色明暗反映挥发性成分含量的差异,颜色越亮说明含量越高,反之则低。结合图6中指纹图谱A、B框可观察到,脱腥后己醛、

庚醛、癸醛等醛类物质构成鱼腥味的关键物质的减少,同时增加了一些芳香化合物,与马玉琴等^[28]的研究结果一致,表明脱腥前后的风味物质有显著差异。

2.5 脱腥前后挥发性风味物质定性分析

为进一步比较脱腥前后挥发性化合物的变化,利用GC-IMS内置的数据库对脱腥前后挥发性成分进行定性分析(表6)。脱腥前后鉴定的挥发性化合物有44种,醇类(12)、酯类(8)、酮类(7)、醛类(6)、烯类(3)、其他类(8)。

醛类挥发性物质的嗅觉阈值较低,即在浓度很低的情况下也能被闻到,并且散发出令人不愉悦的气味,醛类物质主要是不饱和脂肪酸氧化产生稳定性低的氢过氧化物,在一定条件下裂解为小分子醛类^[29]。己醛主要表现为青草气味和鱼腥味;庚醛、癸醛具有土腥味及强烈的油脂气味^[30];醛类物质是鱼类产品的主要腥味物质^[31],经脱腥处理后醛类的相

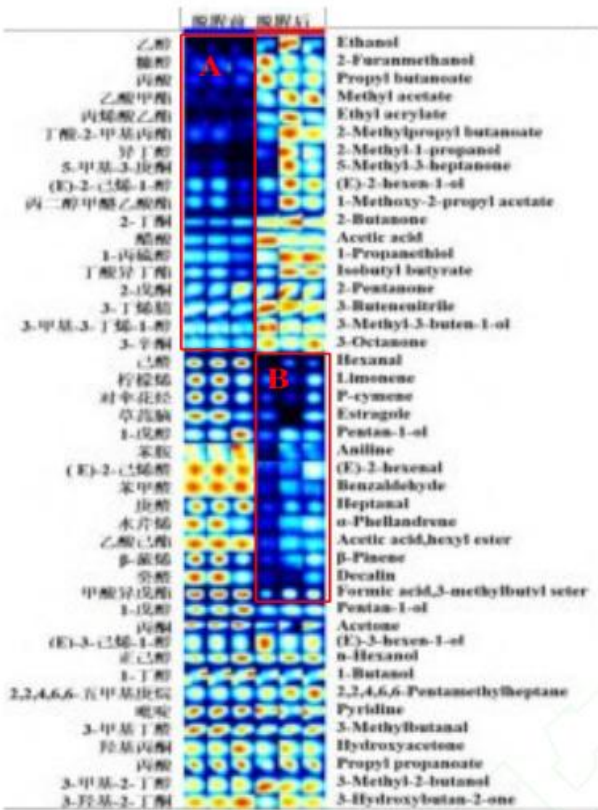


横坐标上1.0处的垂直线为反应离子峰(RIP)。

The vertical line at 1.0 on the horizontal coordinate is the reactive ion peak (RIP).

图5 脱腥前后金鲳鱼的二维图谱

Fig. 5 2D profiles of *trachinotus ovatus* before and after deodorization



A,B表示脱腥前后挥发性风味物质含量的变化
A and B indicate changes in volatile flavour before and after deodorization.

图6 脱腥前后金鲳鱼的指纹图谱

Fig. 6 Fingerprints of *Trachinotus ovatus* before and after deodorization

对含量显著降低29.80%。酮类挥发性物质的阈值较高但对腥味的表达有增效协同作用,主要是不饱和脂肪酸热降解产生,其对鱼肉风味的贡献值较小^[32]。3-辛酮、5-甲基-3-庚酮主要表现为青草、水果的气味;3-羟基-2-丁酮具有强烈的奶油、脂肪香气,是美拉德反应的前体物质,巨晓军等^[32]研究发现部分酮类物质对腥味表达有消减作用。醇类物质主要包括正己醇、糠醇、(E)-3-己烯-1-醇、(E)-2-己烯-1-醇、1-戊醇等,其中不饱和醇的阈值相对较低为主要的的气味贡献者^[33],主要表现为水果和花香,脱腥后醇类物质的相对含量增加43.30%。酯类物质主要由游离脂肪酸和醇反应生成,也可通过酯交换反应合成。酯类物质通常表现为水果、青草气味,其相对含量增加6.41%,对腥味的表达具有一定改善作用^[34]。烃类化合物阈值高对整体风味的形成无显著影响,不饱和烃类主要呈现出柑橘、青草等清新气味,具有修饰整体风味的作用^[35]。

2.6 脱腥前后金鲳鱼中关键性风味物质相对气味活性值分析

关键性挥发性风味物质的决定性因素包括总体相对含量的高低及其气味阈值。因此,从脱腥前后检测到的44种化合物中筛选特定的香气活性化合物,一般使用相对气味活性值(*r*)评价脱腥前后风味的影响^[36]。如表7所示,3-甲基丁醛在样品中的

表6 脱腥前后金鲳鱼挥发性物质的定性分析

Table 6 Qualitative analysis of volatile components of *trachinotus ovatus* before and after deodorization

挥发性物质 Volatile substance			CAS#	保留 指数 Retention index	保留 时间 Drift time / s	迁移 时间 Retention time /ms	相对含量 Relative content/ %	
类别 Types	名称 Designation	脱腥前 Before deodorization					脱腥后 After deodorization	
醇(12)	正己醇	n-Hexanol	C111273	873.3	257.913	1.33286	2.42 ± 0.41	2.55 ± 0.16 [*]
	糠醇	2-furanmethanol	C98000	893.3	270.886	1.36095	0.08 ± 0.01	0.20 ± 0.05 [*]
	(E)-3-己烯-1-醇	(E)-3-hexen-1-ol	C928972	858.6	248.916	1.23827	0.26 ± 0.01	0.27 ± 0.07
	(E)-2-己烯-1-醇	(E)-2-hexen-1-ol	C928950	858.9	249.125	1.50987	0.08 ± 0.02	0.16 ± 0.04 [*]
	1-戊醇	Pentan-1-ol	C71410	763.4	197.243	1.51475	2.35 ± 0.37 [*]	1.89 ± 0.10
	3-甲基-3-丁烯-1-醇	3-Methyl-3-buten-1-ol	C763326	734.4	183.150	1.49991	1.80 ± 0.14	6.09 ± 0.41 [*]
	异戊醇	3-Methyl-2-butanol	C598754	693.2	164.801	1.22741	1.88 ± 0.19	2.13 ± 0.39 [*]
	1-丁醇	1-butanol	C71363	661.7	154.085	1.17884	7.45 ± 0.91 [*]	6.19 ± 0.59
	1-丙硫醇	1-Propanethiol	C107039	627.3	143.516	1.17345	1.53 ± 0.27	2.84 ± 0.22 [*]
	异丁醇	2-methyl-1-propanol	C78831	630.7	144.543	1.36636	0.18 ± 0.08	1.92 ± 1.01 [*]
	乙醇	Ethanol	C64175	459.7	101.605	1.13341	0.35 ± 0.03	2.93 ± 1.50 [*]
	丙酮醇	Hydroxyacetone	C116096	713.9	173.756	1.23820	1.06 ± 0.12	1.06 ± 0.08

续表 6
Table 6 continued

挥发性物质 Volatile substance			CAS#	保留 指数 Retention index	保留 时间 Drift time / s	迁移 时间 Retention time /ms	相对含量 Relative content/ %	
类别 Types	名称 Designation	脱腥前 Before deodorization					脱腥后 After deodorization	
醛(6)	癸醛	Decalin	C91178	1060.1	462.845	1.22106	0.59 ± 0.13*	0.20 ± 0.09
	苯甲醛	Benzaldehyde	C100527	963.9	335.539	1.15304	0.05 ± 0.01	0.02 ± 0.01
	庚醛	Heptanal	C111717	904.9	280.510	1.33660	0.55 ± 0.06*	0.26 ± 0.05
	(E)-2-己烯醛	(E)-2-hexenal	C6728263	851.9	244.941	1.18582	0.06 ± 0.01	0.03 ± 0.01
	己醛	Hexanal	C66251	791.3	211.617	1.56990	3.85 ± 0.49*	0.90 ± 0.46
	3-甲基丁醛	3-methylbutanal	C590863	658.5	153.057	1.40818	14.28 ± 0.73*	12.19 ± 0.32
酮(7)	3-辛酮	3-Octanone	C106683	991.7	365.041	1.31225	0.08 ± 0.01	0.12 ± 0.01
	5-甲基-3-庚酮	5-Methyl-3-heptanone	C541855	952.0	323.613	1.67938	0.13 ± 0.05*	0.50 ± 0.35
	环戊酮	Cyclopentanone	C120923	800.8	216.559	1.10564	1.18 ± 0.04*	0.95 ± 0.20
	3-羟基-2-丁酮	3-hydroxybutan-2-one	C513860	713.9	173.756	1.33533	6.25 ± 0.19*	5.14 ± 0.58
	2-戊酮	2-Pentanone	C107879	691.8	164.214	1.37175	1.68 ± 0.20	2.36 ± 0.23*
	2-丁酮	2-Butanone	C78933	595.4	134.414	1.25034	7.63 ± 0.82*	5.64 ± 0.68
	丙酮	Acetone	C67641	507.4	112.101	1.11004	4.53 ± 0.35*	3.94 ± 0.46
烯(3)	柠檬烯	Limonene	C138863	1029.0	415.095	1.22215	2.68 ± 0.30*	1.15 ± 0.52
	α-水芹烯	α-Phellandrene	C99832	995.9	369.644	1.22141	0.18 ± 0.02*	0.09 ± 0.02
	β-蒎烯	β-Pinene	C127913	976.3	348.302	1.21954	1.22 ± 0.18*	0.74 ± 0.22
酯(8)	乙酸己酯	Acetic acid, hexyl ester	C142927	1008.0	385.546	1.40872	0.16 ± 0.01*	0.09 ± 0.02
	丁酸-2-甲基丙酯	2-methylpropyl butanoate	C539902	959.6	331.145	1.33379	0.09 ± 0.02	0.22 ± 0.07*
	丁酸异丁酯	Isobutyl butyrate	C539902	951.8	323.403	1.35627	0.49 ± 0.11	0.94 ± 0.22*
	丁酸丙酯	Propyl butanoate	C105668	894.6	271.932	1.26168	0.09 ± 0.01	0.23 ± 0.05*
	丙二醇甲醚乙酸酯	1-methoxy-2-propyl acetate	C108656	861.0	250.381	1.15304	0.52 ± 0.20	1.06 ± 0.54*
	甲酸异戊酯	Formic acid, 3-methylbutyl ester	C110452	791.9	211.926	1.26704	4.20 ± 0.35*	2.37 ± 0.56
	丙烯酸乙酯	Ethyl acrylate	C140885	709.9	171.994	1.40413	0.10 ± 0.01	0.53 ± 0.16*
	乙酸甲酯	Methyl acetate	C79209	521.2	115.331	1.18694	0.13 ± 0.01	0.72 ± 0.09*
其他(8)	草蒿脑	Estragole	C140670	1204.6	768.445	1.24178	6.47 ± 1.67*	3.57 ± 0.75
	4-异丙基甲苯	p-Cymene	C99876	1029.5	415.731	1.29630	3.80 ± 0.46*	1.48 ± 0.69
	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	2,2,4,6,6-Pentamethylheptane	C13475826	985.8	358.555	1.16522	0.31 ± 0.02	0.37 ± 0.01*
	丙酸	Propyl propanoate	C106365	796.1	214.088	1.21627	0.80 ± 0.08*	0.73 ± 0.08
	苯胺	Aniline	C62533	794.3	213.161	1.43026	0.22 ± 0.04*	0.11 ± 0.04
	吡啶	Pyridine	C110861	735.7	183.738	1.25169	3.58 ± 0.02	3.64 ± 0.80*
	3-丁烯腈	3-Butenenitrile	C109751	659.9	153.498	1.26248	2.67 ± 0.13	4.32 ± 0.77*
	醋酸	Acetic acid	C64197	594.4	134.121	1.15996	1.74 ± 0.04	3.03 ± 0.96*
	1						0.31 ± 0.01*	0.16 ± 0.03
	2						1.49 ± 0.36	2.68 ± 0.91*
	3						0.45 ± 0.04*	0.33 ± 0.03
未知	4						3.32 ± 0.27	4.51 ± 0.47*
	5						0.75 ± 0.03*	0.60 ± 0.13
	6						3.01 ± 0.34	4.88 ± 0.49*
	7						0.11 ± 0.03*	0.09 ± 0.02
	8						0.14 ± 0.06	0.21 ± 0.12*
	9						0.14 ± 0.01	1.10 ± 0.30*
	10						0.05 ± 0.01	0.28 ± 0.05*
11						0.49 ± 0.16*	0.33 ± 0.07	

注: *表示差异显著, $P < 0.05$

Note: * Indicates significant difference, $P < 0.05$

相对含量较高,且阈值较低(0.2 $\mu\text{g/kg}$),故选择3-甲基丁醛作为金鲳鱼脱腥前后关键性风味物质,即 r_{stan} 为100。脱腥前后 $r \geq 1$ 的关键性风味物质包括癸醛、己醛、丁酸-2-甲基丙酯、1-丙硫醇。短链醛类主要源于油酸的氧化,混合在一起对鱼腥味有较大贡献,经脱腥处理后癸醛、己醛的 r 值显著降低,证明脱腥液可以掩盖醛类等主要腥味物质。酮类主要

是不饱和脂肪酸热氧化及氨基酸降解产生^[37](表现为水果、黄油、青草气味),低阈值的酮类与醛类及其他化合物可能存在相互作用,可使腥味增强或改变^[38]。醇类及酯类的相对含量随着脱腥液的加入显著增加(表现为水果气味),对脱腥前后金鲳鱼的风味具有修饰作用。上述结果表明,脱腥后金鲳鱼的整体风味评价明显高于脱腥前的样品。

表7 脱腥前后金鲳鱼挥发性风味物质阈值及相对气味活性值

Table 7 Threshold value and relative odour activity value of volatile flavor compounds of *trachinotus ovatus* before and after deodorization

物质名称 Substance name	阈值 ^[39] Thresholds /(μg/kg)	相对气味活性值 Relative odour activity value		气味描述 Odour description
		脱腥前	脱腥后	
丙酮醇	10	<1	<1	刺激性、啤酒
癸醛	0.1	8.29	3.30	肥皂、脂肪
庚醛	4.1	<1	<1	脂肪、酸败
己醛	2.4	2.24	<1	草、脂肪
柠檬烯	34	<1	<1	柑橘、薄荷
乙酸甲酯	2	<1	<1	刺激性、水果
丁酸-2-甲基丙酯	0.1	1.21	3.59	葡萄酒、苹果、菠萝
1-丙硫醇	3.1	<1	1.51	焦糖味、坚果

注:气味查询网站 <http://www.flavornet.org/index.html>

Note: Odour enquiry website: <http://www.flavornet.org/index.html>

3 结论

本研究采用紫苏-藿香-酵母复合脱腥液降低金鲳鱼腥味,通过响应面法优化得到的脱腥工艺为:紫苏提取物质量分数为0.15%、藿香提取物质量分数为0.20%、酵母提取物质量分数为0.12%,料液比1:3 g/mL,温度4 $^{\circ}\text{C}$ 浸泡40 min,在此脱腥条件下其感官评价最优。结合GC-IMS及相对气味活性值对金鲳鱼脱腥前后风味分析可知,经脱腥处理的金鲳鱼醛类等腥味的物质种类及含量都显著降低,与电子鼻的研究结果一致。本研究可为水产品脱腥及相关领域提供理论与数据参考。

参考文献

- [1] 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-2023[M].北京:中国农业出版社,2023.
- [2] 张大为,张洁,田永航.发酵金鲳鱼糜制品工艺条件的优化及发酵过程中品质变化分析[J].现代食品科技,2020,36(9):211-218.
- [3] 董婧琪,王圆圆,闫保国,等.水产品腥味物质形成机理与脱

- 腥技术研究进展[J].食品研究与开发,2022,43(5):189-194.
- [4] 洪伟,周春霞,洪鹏志,等.水产品腥味物质的形成及脱腥技术的研究进展[J].食品工业科技,2013,34(8):386-389.
- [5] 姜鹏飞,陈瑶,金文刚,等.罗非鱼脱腥方法研究[J].中国食品学报,2023,23(2):202-212.
- [6] 康黎波,李翌,邓宏达,等.广藿香的生物学功能及其在畜牧生产中的应用[J].动物营养学报,2023,35(3):1468-1474.
- [7] 阮武,郭教岑,马青云,等.广藿香内生真菌次级代谢产物及抑菌活性[J].分子植物育种,2023,21(13):4406-4413.
- [8] 张红玉,王丹,吴春剑,等.高效液相色谱法同时定量分析紫苏不同部位的植物代谢物[J].现代食品科技,2023,39(2):303-312.
- [9] 邢贵鹏,黄卉,李来好,等.罗非鱼加工副产物脱腥工艺及其腥味物质分析[J].食品工业科技,2019,40(20):140-145.
- [10] 刘钰琪,陈澄,陈周,等.酵母提取物对鱼糜凝胶品质的影响[J].肉类研究,2019,33(5):1-6.
- [11] 邓静,杨荭,朱佳倩,等.水产原料腥味物质的形成及脱腥技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2019,10(8):2097-2102.
- [12] 吴国强,步营,朱文慧,等.紫苏与酵母抽提物复配对秋刀鱼脱腥工艺研究[J].中国食品添加剂,2023,9(34):218-227.

- [13] 马凯迪, 黄琼, 李莹, 等. 紫菜鳕鱼脱腥及调味工艺优化研究[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(16): 186-195.
- [14] ZHENG X S, JI H W, ZHANG D, et al. The identification of three phospholipid species roles on the aroma formation of hot-air-dried shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by gas chromatography-ion mobility spectrometry and gas chromatographymass spectrometry[J]. Food Research International, 2022, 162: 112191.
- [15] 赵改名, 王森, 祝超智, 等. 基于顶空气相离子迁移色谱对鸭肉腥味特征物质的鉴定[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 247-255.
- [16] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.
- [17] 姚正颖, 孙力军, 侯北伟, 等. 紫苏精油对白鲢鱼丸的脱腥工艺研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(7): 94-98.
- [18] 姚晓波, 熊光权, 乔宇, 等. 酵母提取物和迷迭香提取物对鲈鱼风味的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(2): 144-150.
- [19] 黄卉, 郝淑贤, 李来好, 等. 姜、蒜、香菜水提液对罗非鱼片腥味的影响及脱腥配方优化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(16): 204-209.
- [20] SIBIRNY V, DEMKIV O, KLEPACH H, et al. Alcohol oxidase- and formaldehyde dehydrogenase-based enzymatic methods for formaldehyde assay in fish food products[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 774-779.
- [21] 张紫涵, 吴予灿, 宋玉, 等. 木瓜汁腌制对文昌鸡风味形成的影响[J]. 食品科学, 2023: 1-17.
- [22] DONG W J, HU R S, LONG Y Z, et al. Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 723-731.
- [23] 苏伟明, 胡梦杰, 沈会连, 等. 金鲳鱼发酵菌株筛选及其生物学特性与风味形成评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 148-154.
- [24] ARCE L, GALLEGOS J, GARRIDO-DELGADO R, et al. Ion Mobility Spectrometry a Versatile Analytical Tool for Metabolomics Applications in Food Science[J]. Current Metabolomics, 2015, 2(4): 264-271.
- [25] CHEN Y, LI P, LIAO L Y, et al. Characteristic fingerprints and volatile flavor compound variations in *Liuyang Douchi* during fermentation via HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2021, 361: 130055.
- [26] CHEN D W, BALAGIANNIS D P, PARKER J K. Use of egg yolk phospholipids to generate chicken meat odorants[J]. Food Chemistry, 2019, 286: 71-77.
- [27] OLIVARES A, NAVARRO J L, FLORES M. Establishment of the contribution of volatile compounds to the aroma of fermented sausages at different stages of processing and storage[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1464-1472.
- [28] 马玉琴, 韩玲, 张锐, 等. 天然植物提取物复合脱腥剂对牛胃脱腥效果评价及工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2023: 1-13.
- [29] 明庭红, 裘迪红, 周君, 等. 基于植物乳杆菌发酵草鱼脱腥增香的研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(10): 202-210.
- [30] TODESCHINI S, PERREAULT V, GOULET C, et al. Impacts of pH and Base Substitution during Deaerator Treatments of Herring Milt Hydrolysate on the Odorous Content and the Antioxidant Activity[J]. Foods, 2022, 11(13): 1829.
- [31] 王霞, 黄健, 侯云丹, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 268-272.
- [32] 巨晓军, 单艳菊, 刘一帆, 等. 基于气相-离子迁移谱技术分析不同生长速度肉鸡肌肉中挥发性有机物的差异[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(3): 170-175.
- [33] GUICHARD E. Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception [Review] [J]. Food Reviews International, 2002, 18(1): 49-70.
- [34] GE S, CHEN Y Y, DING S H, et al. Changes in volatile flavor compounds of peppers during hot air drying process based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS). [J]. Journal of the science of food and agriculture, 2020, 100(7).
- [35] ZOU M Y, TANG H B, CHEN X, et al. Insights into volatile flavor compound variations and characteristic fingerprints in Longpai soy sauce moromi fermentation via HS-GC-IMS and HS-SPME-GC × GC-ToF-MS[J]. LWT, 2023, 176: 114490.
- [36] QIU D, DUAN R B, WANG Y Q, et al. Effects of different drying temperatures on the profile and sources of flavor in semi-dried golden pompano (*Trachinotus ovatus*). [J]. Food chemistry, 2023, 401: 134112.
- [37] 康翠翠, 施文正, 刁玉段, 等. 加热温度对花鲈鱼肉挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 60-66.
- [38] 杜国伟, 夏文水. 鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 76-80.
- [39] VAN GEMERT L J. Compilations of Odour Threshold Values in Air, Water and Other media [M]. 李智宇, 王凯, 冒德寿, 译. 北京: 科学出版社, 2018.