

3种天然提取物对金鲳鱼片脱腥及挥发性风味物质的影响

袁可怡^{1,2}, 赵甜甜¹, 焦文娟¹, 刘俊¹, 周芳¹, 刘伟峰¹, 张业辉^{1*}, 南海军^{2*}, 黄利华³

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 广东药科大学中药学院, 广东广州 510006) (3. 广州城市职业学院食品健康学院, 广东广州 510405)

摘要: 为研究不同质量分数藿香、紫苏和丁香提取物对金鲳鱼预制菜腥味的影响, 通过其色泽、硫代巴比妥酸反应物质 (TBARS)、腥味值、感官评价及电子鼻、顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用 (HS-SPME-GC-MS) 比较脱腥效果及风味物质的变化。结果表明, 经 3 种天然提取物浸泡后蒸制的鱼肉的 ΔE 值随质量分数增高而变大。0.5% 藿香、紫苏、丁香组均能有效抑制脂肪氧化, 且鱼肉评价得分最高。电子鼻传感器 W2W、W1W 和 W5S 响应值均低于空白样品, 脱腥处理可有效减少氮氧化物、硫化物等物质。主成分分析区分明显, 电子鼻能有效区分不同处理组的气味差异。GC-MS 共检测出 64 种挥发性物质, 己醛、庚醛、辛醛、壬醛 OAV 值均 >1 , 是金鲳鱼肉主要腥味物质, 经脱腥处理后含量均显著下降 ($P<0.05$), 丁香组醛类含量最低为 $181.58 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其脱腥效果最好。综上, 3 种天然提取物均可有效改善金鲳鱼的风味, 0.5% 丁香提取物具有最优的脱腥效果。研究结果为提升水产类预制菜产品风味提供参考。

关键词: 金鲳鱼; 天然提取物; 脱腥; 电子鼻; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2026)4-242-253

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.4.0043

Effects of Three Natural Extracts on Deodorization and Volatile Flavor Compounds of Golden Pomfret Fillets

YUAN Keyi^{1,2}, ZHAO Tiantian¹, JIAO Wenjuan¹, LIU Jun¹, ZHOU Fang¹, LIU Weifeng¹,
ZHANG Yehui^{1*}, NAN Haijun^{2*}, HUANG Lihua³

(1. Key Laboratory of Agricultural Products Processing in Guangdong Province, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Sericultural & Agri-food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China) (2. School of Traditional Chinese Medicine, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China) (3. School of Food Health, Guangzhou City Polytechnic, Guangzhou 510405, China)

Abstract: To investigate the effects of different mass fractions of patchouli, perilla, and clove extracts on the fishy flavor of pre-prepared dishes with golden pomfret, color evaluation, thiobarbituric acid reactive substances, fishy flavor values, sensory
引文格式:

袁可怡, 赵甜甜, 焦文娟, 等. 3 种天然提取物对金鲳鱼片脱腥及挥发性风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2026, 42(4): 242-253.

YUAN Keyi, ZHAO Tiantian, JIAO Wenjuan, et al. Effects of three natural extracts on deodorization and volatile flavor compounds of golden pomfret fillets [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(4): 242-253.

收稿日期: 2025-01-09; 修回日期: 2025-02-23; 接受日期: 2025-02-24

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2023B0202080003); 广东省农科院金颖之光 (R2023PY-JG016); 佛山市市院合作水产预制菜研发中心 (202401); 广东省农产品加工技术研发中试公共服务平台升级建设项目 (粤财农〔2024〕37 号)

作者简介: 袁可怡 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 中药学, E-mail: 2049919810@qq.com

通讯作者: 张业辉 (1979-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 水产品加工, E-mail: zhangyhgx@163.com; 共同通讯作者: 南海军 (1974-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 中药学, E-mail: swunan@163.com

evaluation, electronic nose detection, and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) were used to compare the deodorization effects of these extracts and examine the changes in flavor compounds in golden pomfret. The results showed that the ΔE values of steamed fish, which underwent immersion in the three natural extracts, increased with the mass fractions of the extracts. All treatments with patchouli, perilla, and clove at a mass fraction of 5% effectively inhibited fat oxidation, and the corresponding treated fish received the highest evaluation scores. The response values of the electronic nose sensors W2W, W1W, and W5S were lower than those of the blank samples, suggesting that the deodorization treatment was effective in reducing nitrogen oxides and sulfides. Principal component analysis showed clear separation, and the electronic noses could effectively distinguish odor differences among the different treatment groups. A total of 64 volatile compounds were detected using GC-MS, with hexanal, heptanal, octanal, and nonanal all exhibiting odorant activity values greater than 1; this indicated that they were the main compounds causing the fishiness of golden pomfret. After deodorization treatment, the contents of these compounds significantly decreased ($P < 0.05$). The clove group exhibited the lowest aldehyde level ($181.58 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), suggesting that it was the most effective in deodorization. In conclusion, all three natural extracts can effectively improve the flavor of golden pomfret, and the 0.5% clove extract demonstrated the optimal deodorization effect. The results of the study provide a reference for enhancing the flavor of pre-prepared aquatic dishes.

Key words: golden pomfret; natural extract; deodorization; electronic nose; flavor substances

金鲳鱼 (*Trachinotus ovatus*) 属于鲈形目鲈科鲳属, 其营养丰富, 生长迅速, 养殖周期短, 深受养殖户喜爱, 是我国南方沿海地区的珍贵海水养殖鱼类品种之一。《2024 中国渔业统计年鉴》显示, 2023 年金鲳鱼的海水养殖量产量为 292 300 t^[1], 超越大黄鱼成为全国第一大海水鱼养殖品种, 将其用于制备预制菜肴, 不仅能丰富金鲳鱼的产品形式也能促进其高值化利用。但是水产品普遍存在区别于海鲜鲜味的特殊腥味, 严重影响消费者对水产品的接受度^[2]。另外, 水产品培养、运输、加工和储存中, 脂质氧化、蛋白质降解和微生物生长易致风味变差^[3]。因此, 水产品加工业一直关注如何有效控制鱼制品腥味的产生。

近年来, 随着消费者对食品安全关注度的持续提升, 绿色天然型食品脱腥剂日益成为市场关注的焦点。研究表明, 天然提取物有良好的脱腥效果, 还具备安全性高以及增加风味和营养的优点。在亚洲, 姜、孜然和迷迭香等传统香料和植物提取物用于提香减臭, 提升食物整体感官^[4]。天然提取物能有效减少鱼腥味, 提高整体可接受度, 已被广泛应用于鱼类产品。例如 Li 等^[5]指出红辣椒叶提取物可以有效降低咸鱼的 TBARS 和 POV 值, 从而减少脂质氧化产生的不良气味成分。Dang 等^[6]发现添加紫苏汁和姜汁对鲢鱼鱼糜的腥臭味具有掩盖作用。黄丽琪等^[7]研究表明紫苏精油和姜汁减少武昌鱼肉腥味物质的形成, 并产生 α -松油醇、芳樟醇、苧烯等丰富香气。本研究选用的藿香、紫苏、丁香提取物是我国传统药食同源植物, 日常用作香辛料改善食物风味, 均具备抗菌、抗氧化和抑菌性质, 同时含有与健康相关的有益成分^[8]。

当前, 针对鱼肉腥味的研究主要聚焦于淡水鱼类, 而对于海水养殖经济鱼类在热加工过程中脂质氧化所引发的鱼肉腥味挥发性物质增多现象缺乏关注。因此本研究将采用不同质量分数 (0.1%、0.5%、1%、5%) 藿香、紫苏、丁香 3 种天然提取物对金鲳鱼肉进行脱腥后蒸制处理, 以色泽值、TBARS 值、腥味值、感官评价、电子鼻和 HS-SPME-GC-MS 等指标, 比较 3 种提取物对鱼肉品质以及风味的影响, 旨在为金鲳鱼脱腥以及提高加工产品的质量和未来开发与应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活金鲳鱼 (每条质量 400~500 g) 购于广州市盒马鲜生超市。紫苏提取物 (水提物)、藿香提取物 (水提物)、丁香提取物 (水提物) 购于陕西海益生物科技有限公司 (均为食用级); 三氯乙酸、丙二醛、硫代巴比妥酸、氯化钠均为分析纯, 购于广州化学试剂厂; 2-甲基 3-庚酮, 德国 Dr.Ehrenstorfer 公司。

1.2 仪器与设备

6980N-5975B 型气相色谱-质谱联用仪, 美国安捷伦公司; XHF-DY 型高速分散器, 宁波 SCIENTZ 公司; CR-400 型色差仪, 柯尼卡美能达公司; UV1800 型紫外分光光度计, 日本岛津公司; HWS-12 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科技有限公司; PEN3 型电子鼻, 德国 AIRSENSE 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4 cm×3 cm×1 cm的鱼块并进行分组。随机选取金鲳鱼肉块，称重，分别添加紫苏、藿香、丁香3种提取物（食用级），质量分数为0.1%、0.5%、1%和5%，料液比1:3，温度4℃浸泡40 min，空白组用蒸馏水代替提取物溶液，同样操作浸泡，结束时取出鱼肉蒸制5分钟，进行各指标测定。

1.3.2 色差的测定

用色差计在室温下测量样品之间的颜色变化，测色度计用标准白板和黑板校准。在CIE-LAB系统中，采用指数亮度值（ L^* ）、红绿值（ a^* ）、黄蓝值（ b^* ）表色，根据公式（1）计算 ΔE 值。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

式 中：

L^* 、 a^* 、 b^* ——脱腥后金鲳鱼片的色泽值；
 L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* ——未脱腥处理金鲳鱼肉的色泽值。

1.3.3 硫代巴比妥酸TBARS值测定

参照GB 5009.181-2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的方法。

1.3.4 腥味值评定

选择10名年龄为20~25岁食品专业学生，根据腥味评价标准感官评估全程在25℃、无异味且通风良好的环境中进行。感官评价人员对金鲳鱼的腥味进行5分制感官评定。腥味强度：腥味极弱1分、腥味较弱2分、有腥味3分、腥味略重4分、腥味非常强劲5分。

1.3.5 感官评价方法

在1.3.4同等条件下采用闻在先尝在后的方式对脱腥前后金鲳鱼片的色泽、气味、滋味和组织质地进行综合评定。感官评定标准见表1。

1.3.6 电子鼻分析

称取2 g金鲳鱼样品置于30 mL离心管用保鲜膜密封，水浴55℃静置30 min，待样品气味充满后，将探头插入检测挥发性风味物质。参数设定为传感器清洗时间100 s，气流流量400 mL·min⁻¹，数据采集时间为120 s，每组样品平行测定3次。10个传感器敏感性描述见表2。

1.3.7 挥发性成分测定

随机选取预处理后的金鲳鱼肉块，配制质量分数为0.5%的藿香、紫苏、丁香提取物，按1.3.1进行处理，将鱼肉搅碎后进行挥发性成分测定分析。

参考熊添等^[9]的方法，称取2 g鱼肉加入5 g的饱和氯化钠，100 μL 0.816×10⁻³ mg·mL⁻¹的2-甲基3-庚酮混合密封。60℃顶空萃取40 min，进样口250℃下解吸10 min。

气相色谱条件：采用氦气作为载气，流速设定为1.00 mL·min⁻¹，采用不分流进样方式，进气温度维持在250℃。升温程序为：初始40℃保持2 min，以6℃·min⁻¹的速率升至200℃并保持3 min，接着以10℃·min⁻¹的速率加热至250℃并保持3 min。

质谱条件：EI离子源，接口温度280℃，离子源温度230℃，四级杆温度150℃，电子能量70 eV，质量扫描范围35~350 m/z 。

表 1 感官评定标准

Table 1 The criteria for sensory evaluation

评价指标	标准	感官分值
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	0~3
气味	鱼腥味较弱，稍伴有草药香气味	8~10
	鱼香不明显，鱼腥味较浓	3~7
	鱼腥味淡，草药香浓郁	0~3
滋味	正常的鱼鲜味，无腥味	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	0~3
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	0~3

表 2 PEN3型电子鼻传感性能描述

Table 2 PEN3 electronic nose sensing performance description

阵列序号	传感器名称	敏感性描述
1	W1C	对芳香烃化合物敏感
2	W5S	对氮氧化合物敏感
3	W3C	对氨类、芳烃化合物敏感
4	W6S	对氢化物敏感
5	W5C	对烯烃、芳烃等短链烷烃敏感
6	W1S	对甲基类敏感
7	W1W	对无机硫化物敏感
8	W2S	对醇类、醛酮类敏感
9	W2W	对有机硫化物、芳烃化合物敏感
10	W3S	对长链烷烃类敏感

1.3.8 气味活性值分析

气味活性值（Odorant Activity Value，简称OAV）是衡量挥发性成分对总体香味影响程度的一个关键参数。根据公式（2）计算OAV值：

$$OAV=\frac{C_i}{OT_i}$$

(2)

式中：
 C_i ——挥发性物质的质量浓度， $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；
 OT_i ——挥发性物质在文献中报道的气味阈值。

1.3.9 数据处理和分析

所有数据结果通过平均值与标准差（mean±SD）的形式呈现。采用 SPSS 20.0 中单因素方差分析和 Duncan 法进行数据间显著性差异分析处理。同时，借助 GraphPad Prism 以及 Origin 2021 软件进行图表绘制。

2 结果与讨论

2.1 3种天然提取物脱腥处理对金鲳鱼片色差值的影响

色泽是评价鱼肉质量的一个关键指标，能够体现鱼肉的光学特征直观判断肉质的外在变化。如图 1 所示，经 3 种天然提取物脱腥处理的鱼肉，其 ΔE 值随着提取物质量分数的增加均呈现上升趋势，其中 0.1% 与 0.5% 处理组的鱼肉色泽较为接近未处理的原鱼肉。据研究表明，当 $\Delta E < 1.5$ 时，肉眼难以感观样品和对照组的色泽差异， $\Delta E > 1.5$ 能轻微察觉到样品颜色的变化， $\Delta E > 3$ 则色泽差异变得极为显著^[10]。在藿香与丁香处理组中， ΔE 值均大于 3，表明其色泽相较于原鱼肉发生了明显变化。由图 2 可知，丁香提取物浸泡后的鱼肉色泽相较于紫苏与藿香提取物处理组更为深沉。3 种植物提取物可能富含水溶性呈色化合物，包括花青素、花色苷及甜菜红素等色素组分^[11]，其在浸渍过程中通过分子渗透作用改变肌肉组织的显色特性。

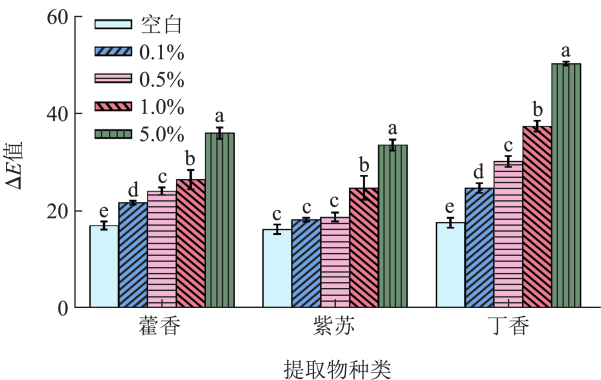


图 1 不同质量分数的藿香、紫苏、丁香提取物对金鲳鱼片色差值的影响

Fig.1 Effect of different mass fractions of patchouli, perilla and clove extracts on the color difference value of golden pomfret fillet

注：不同字母表示数据间有显著性差异（ $P < 0.05$ ）。下同。

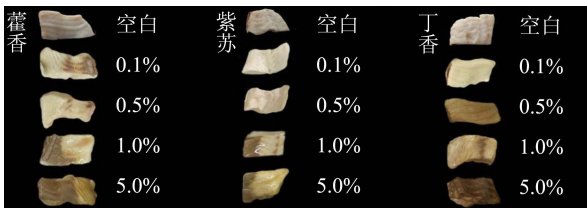


图 2 不同质量分数的藿香、紫苏、丁香提取物对金鲳鱼片外观颜色的变化

Fig.2 Changes in appearance color of golden pomfret fillets by different mass fractions of patchouli, perilla and clove extracts

2.2 3种天然提取物对金鲳鱼片TBARS值的影响

TBARS 值的升高表明脂肪氧化生成的醛酮化合物增多，导致鱼肉腥味增加，因此 TBARS 值与腥味密切相关^[12]。图 3 结果表明，3 种天然提取物处理后鱼肉的 TBARS 值随着提取物质量分数的提升，均呈现出先下降后趋于平缓的趋势。当质量分数大于 0.5%，TBARS 值无显著性变化（ $P > 0.05$ ）。在质量分数为 0.5% 时，相较于空白组，藿香、紫苏、丁香处理组的 TBARS 值分别下降了 54.55%、30.43%、61.90%，表明 3 种天然提取物均能有效抑制脂肪氧化，从而降低金鲳鱼肉的腥味。这种抑制作用可能归因于提取物中的多酚、黄酮类等抗氧化成分，它们能够清除鱼肉加工过程中产生的过氧化物自由基，通过替代自由基作用于不饱和脂肪酸，从而有效抑制脂质氧化过程^[13,14]。

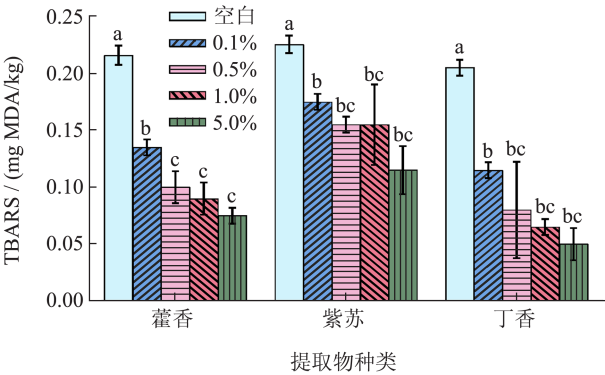


图 3 不同质量分数的藿香、紫苏、丁香提取物对金鲳鱼片 TBARS 值的影响

Fig.3 Effect of different mass fractions of patchouli, perilla and clove extracts on the TBARS value of golden pomfret fillet

2.3 3种天然提取物脱腥处理对金鲳鱼片腥味值的影响

如图 4 所示，随着 3 种天然提取物质量分数的增加，腥味值显著降低（ $P < 0.05$ ），这可能是提取物本身所具备的独特风味对鱼肉腥味产生一定的掩蔽作用。当

质量分数达到 5% 时,腥味值降至最低点,此时金鲳鱼肉的腥味基本被掩盖,但伴随而来的是较为浓郁的中草药味。相比之下,当 3 种天然提取物质量分数为 0.5% 时,既能有效遮盖腥味,又能表现出植物本身的清香。陈秋翰等^[15]研究表明 0.15% 紫苏、0.20% 藿香、0.12% 酵母提取物处理金鲳鱼,腥味值较低且具有提味去腥的作用。藿香、紫苏、丁香提取物或可通过浸泡等加工手段作用于鱼体,借助其独特风味物质来遮蔽鱼腥味,利用其含有的挥发油成分的极强渗透力,能够深入到食材内部,包裹并中和食材中的异味分子,从而实现去腥的效果^[16]。

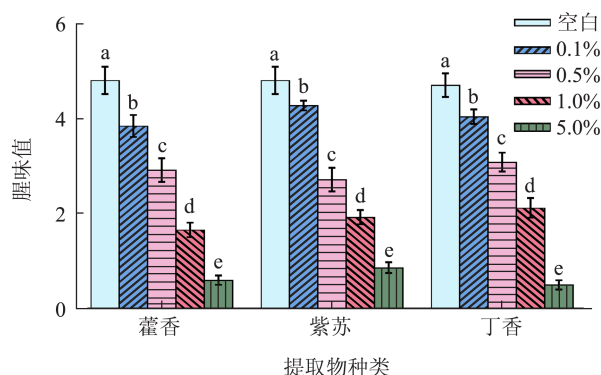


图 4 不同质量分数的藿香、紫苏、丁香提取物对金鲳鱼片腥味值的影响

Fig.4 Effect of different mass fractions of patchouli, perilla and clove extracts on the fishy flavor value of golden pomfret fillet

2.4 3种天然提取物脱腥处理对金鲳鱼片感官评价的影响

图 5 为不同处理组对金鲳鱼片感官评价的影响。随着 3 种天然提取物质量分数的增加,感官评分呈现出先上升后下降的趋势。当浸泡液的质量分数为 0.5% 时,鱼肉的感官评分达到峰值,此时鱼肉的腥味较弱,并伴有轻微的药香气,这表明适度提升浸泡液的浓度能有效增强对金鲳鱼腥味的掩盖效果。藿香提取物散发清新自然的木质香,紫苏提取物味道辛香带有薄荷般的清凉感,丁香提取物味道芳香浓烈,适量使用既能增加口感,又能去腥增香,但过高的浓度反而会掩盖食材本身的味道,甚至产生令人不适的苦涩感。黄卉等^[17]发现姜、蒜、香菜提取液质量浓度为 6~8 g·L⁻¹ 处理罗非鱼片感官评价较好,若提取液浓度过高,其强烈的风味可能会影响产品的整体接受度。因此,当藿香、紫苏及丁香提取物的质量分数均为 0.5% 时,对鱼肉的气味、口感、质地及滋味改善效果最佳,此时对应的感官评分最高,分别为 26.67、27.67 和 25.33。

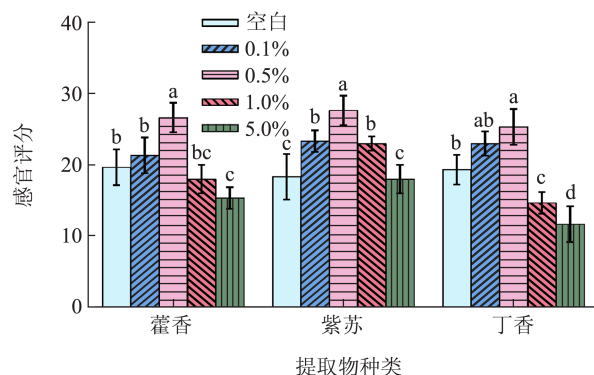


图 5 不同质量分数的藿香、紫苏、丁香提取物对金鲳鱼片感官评价的影响

Fig.5 Effect of different mass fractions of patchouli, perilla and clove extracts on sensory evaluation of golden pomfret fillets

2.5 电子鼻分析

电子鼻利用模拟人类嗅觉的原理,识别空气中特定分子的技术进行检测,在客观辨别挥发性成分方面扮演着重要角色^[18]。经不同质量分数的藿香、紫苏、丁香提取物处理的金鲳鱼肉电子鼻的雷达图如图 6a、7a、8a 所示,W2W、W1W 和 W5S 等 3 个传感器具有较强的感应值,表明氮氧化物、硫化物和芳香族化合物是主要的气味化合物。相较于空白组,经 3 种提取物处理后的鱼肉所对应的电子鼻传感器响应值均有所降低,且该响应值随着处理液质量分数的增加而逐渐下降,这表明脱腥处理对金鲳鱼的风味物质产生一定的影响。鱼肌肉中硫化物的存在与腐败过程中发生的生化反应有关,细菌会分解鱼肌肉中的蛋白质和含硫氨基酸从而产生具有不愉快气味的化合物,如硫化氢(H₂S)。脱腥处理能有效降低硫化物含量,这一过程可能与蛋白质巯基的修饰有关^[19]。

PCA 技术是一种通过线性变换方法,将原始数据集转换为新的、相互正交的变量集合(即主成分 PC)的算法,以减少数据维度的同时尽可能保留原始数据信息,以评估样本间的总体差异^[20]。如图 6b 所示,藿香处理组的 PC1 (第一主要贡献成分贡献率) 为 68.3%,PC2 (第二主要贡献成分贡献率) 为 16.3%,累积贡献率为 84.6%;如图 7b 所示,紫苏处理组的 PC1 贡献率为 71.8%,PC2 贡献率为 12.8%,累积贡献率同样为 84.6%;如图 8b 所示,丁香处理组的 PC1 贡献率为 69.9%,PC2 贡献率为 19.5%,累积贡献率高达 89.4%。经 3 种天然提取物处理后的鱼肉,两个主成分对结果的总贡献率都超过 80%,涵盖样品的大部分信息,表明这两个成分可以有效地解释挥发性成分之间的差异^[21]。此外,样品分散点的聚集、离散程度,

分散点间的距离间隔越远则说明气味差异越显著^[22]。在本研究中，3 种天然提取物在不同质量分数处理均能与空白组位置区分明显，进一步证明电子鼻能够有效区分不同处理对金鲳鱼肉气味主要成分的变化。

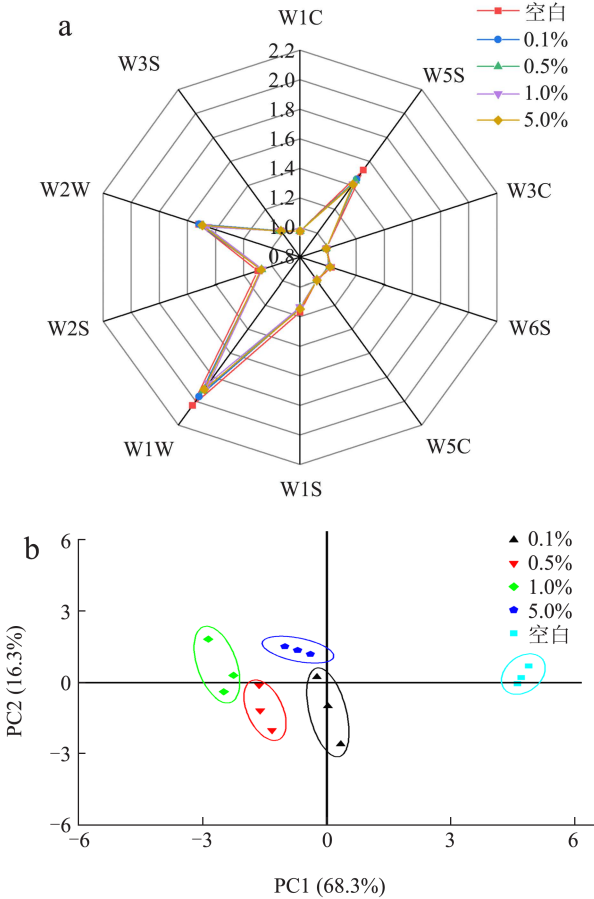


图 6 不同质量分数藿香提取物脱腥前后电子鼻雷达图及主成分分析

Fig.6 Electronic nose radargram and principal component analysis before and after deodorization of patchouli extract with different mass fractions

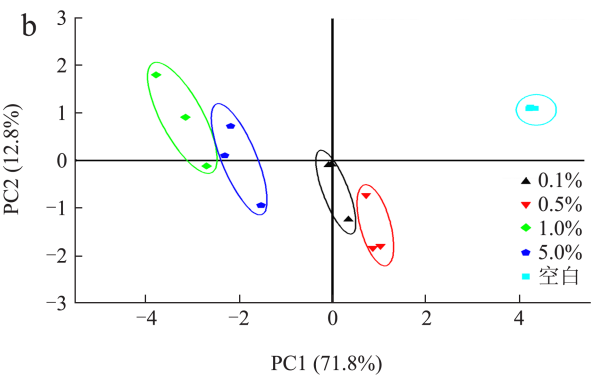
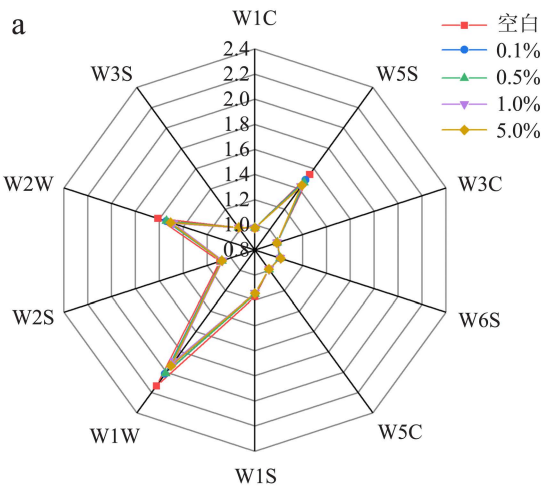


图 7 不同质量分数紫苏提取物脱腥前后电子鼻雷达图及主成分分析

Fig.7 Electronic nose radargram and principal component analysis before and after deodorization of perilla extract at different mass fractions

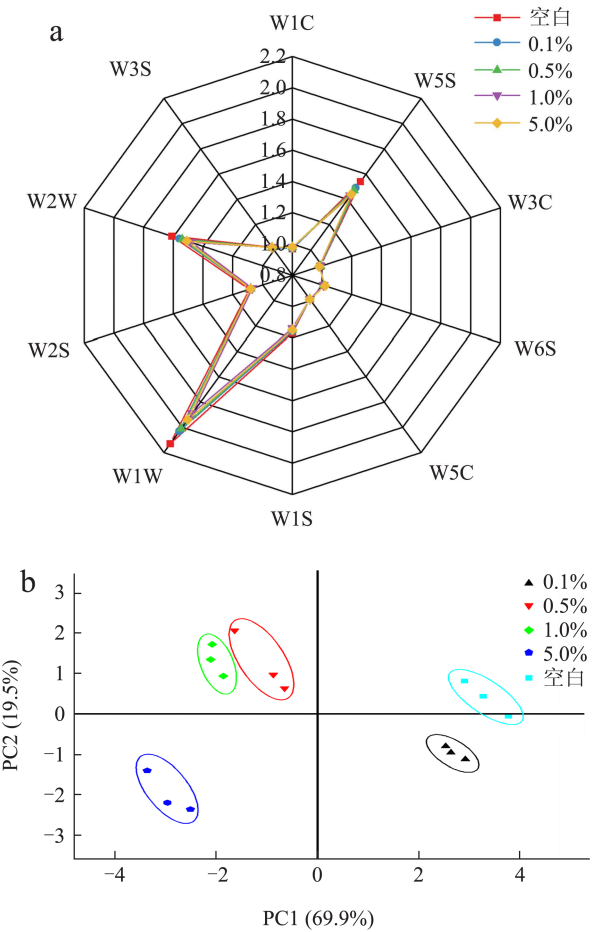


图 8 不同质量分数丁香提取物脱腥前后电子鼻雷达图及主成分分析

Fig.8 Electronic nose radargram and principal component analysis before and after deodorization of clove extract at different mass fractions

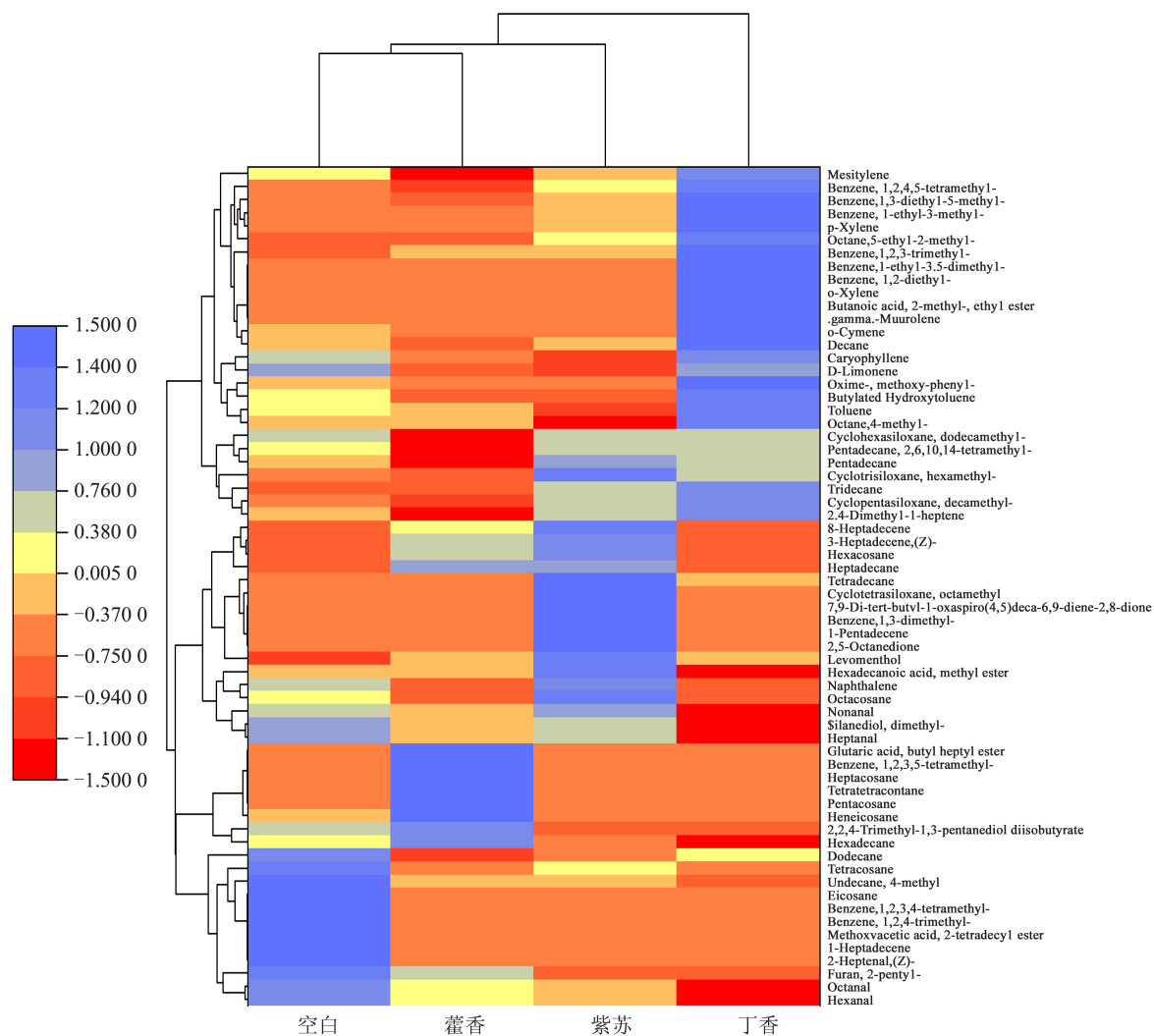


图 9 3 种天然提取物脱腥处理后鱼肉中挥发性成分聚类热图

Fig.9 Clustering thermogram of volatile components in fish after deodorization treatment with three natural extracts

2.6 GC-MS分析

挥发性成分聚类分析是通过计算样本中挥发性成分之间的相似度或距离，将具有相似挥发性成分特征的样本归为一类，从而实现样本的分类或分组^[23]。3种天然提取物处理的鱼肉样品挥发性化合物含量的聚类分析结果如图9所示。空白、藿香、紫苏和丁香处理组中分别检测出41、37、42和34种挥发性成分。藿香和空白组的鱼肉风味成分位于同一个子集中，说明两组鱼肉挥发性风味成分的组成和含量接近。丁香处理组的鱼肉的挥发性风味成分的组成和含量与其他组差距较大，说明丁香提取物脱腥处理对鱼肉挥发性成分影响最大。L-薄荷醇、 α -依兰烯以及一些酯类物质等来源于提取物本身的挥发性成分在脱腥处理组中被检出。

各组的总离子流图如图10所示，金鲳鱼肉经3种天然提取物脱腥前后共检测出64种挥发性成分，且各组样品中挥发性化合物的种类和含量存在差异。如表3

所示，脱腥后金鲳鱼中醛类挥发性物质含量和种类均有减少，说明腥味有所降低，醛类总含量丁香处理组($181.58\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)<紫苏处理组($789.22\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)<藿香处理组($820.10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)<空白组($1\text{ }315.40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。醛类主要是脂质氧化及降解产物，具有较低的阈值，是导致鱼腥味的主要原因^[24]。在金鲳鱼肉中检测到的己醛含量高达 $1\text{ }063.70\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，占比80.87%，主要源自亚油酸和亚麻酸的氧化分解，带有青草、鱼及土腥等味道。庚醛（青草味、鱼腥味）、辛醛（油脂味、鱼腥味）、壬醛（鱼腥味、哈喇味）均来自脂质氧化，绝对含量分别为106.96、62.37、74.16 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。经3种天然提取物进行脱腥处理后，醛类物质总含量均有显著下降，藿香、紫苏、丁香处理组分别下降37.65%、40.00%、86.20%。杨学博等^[25]认为酵母-藿香复合液脱腥液中的黄酮、酯类散发的清新香气掩盖了鱼腥味和草腥味，导致腥味物质占比相对减少。Huang

等^[26]发现迷迭香提取物对白鲢鱼脱腥处理后可显著降低醛类物质含量,并对 RE 中的单体酚与鱼腥味化合物之间相互作用作进一步研究,证实了酚在脱腥过程中的重要作用。本研究中金鲳鱼肉醛类物质的降低可能是因为藿香、紫苏和丁香提取物自身散发的气味掩蔽作用或者是其活性成分与腥味物质相互作用,从而降低金鲳鱼肉的腥味。醇类对肉制品风味的影响相对小于醛类,可以为鱼肉提供花香与水果香气, L-薄荷醇呈现薄荷香气, 3 种提取物处理组中均被检测出。酮类物质由脂肪氧化和其他反应生成,具有奶油及果香等气味特征^[27],对腥味具有一定的消除作用,仅在紫苏处理组检测出 2,3-辛二酮(24.61 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)贡献了

独特的清香和果香味。烃类化合物因阈值较高,对风味贡献有限,但烷烃与烯烃的相互作用能提升肉制品的整体风味,紫苏和丁香处理组的烃类含量高于空白组。酯类化合物源于发酵或脂类代谢过程中羧酸与醇的酯化反应,能带来愉悦的水果香或酒香^[28],增强整体风味,其中藿香组的酯类含量最高为 49.89 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。检测出的甲苯、对二甲苯、萘、2,6-二叔丁基对甲酚等这些不愉快气味的物质可能源于鱼类的生长环境,影响鱼肉的感官品质^[29]。综上,经 3 种天然提取物脱腥处理后,金鲳鱼肉的醛类物质含量明显下降,不同处理组所产生的各种风味化合物之间的相互作用,对金鲳鱼肉整体风味的构成具有重要贡献。

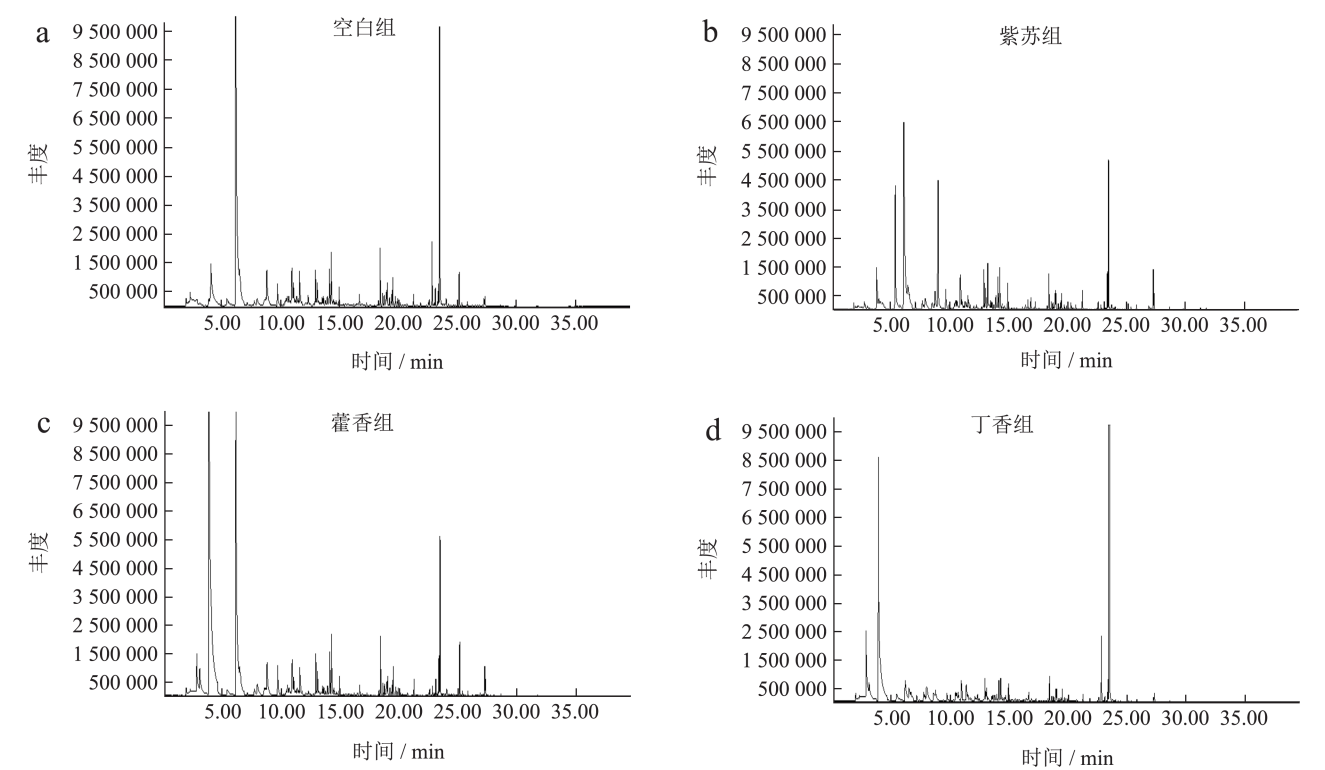


图 10 3 种天然提取物脱腥处理后鱼肉中总离子流图

Fig.10 Total ion chromatogram of fish meat treated with three natural extracts for deodorization

表 3 金鲳鱼肉脱腥前后挥发性成分的变化

Table 3 Changes in volatile components of golden pomfret fish meat before and after deodorization

类别	序号	化合物名称	保留时间/min	CAS 号	绝对含量/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
					空白	藿香	紫苏	丁香
醛类	1	己醛	6.16	000066-25-1	1 063.7 $\pm$ 10.03	671.48 $\pm$ 29.42	571.81 $\pm$ 15.34	181.58 $\pm$ 4.93
	2	庚醛	8.8	000111-71-7	106.96 $\pm$ 7.13	60.82 $\pm$ 2.91	93.5 $\pm$ 2.40	—
	3	辛醛	11.58	000124-13-0	62.37 $\pm$ 5.92	36.58 $\pm$ 2.88	29.97 $\pm$ 1.94	—
	4	壬醛	14.26	000124-19-6	74.16 $\pm$ 0.33	51.22 $\pm$ 4.24	93.94 $\pm$ 3.71	—
	5	2-庚醛,(Z)-	10.35	057266-86-1	8.20 $\pm$ 1.63	—	—	—
		合计			1 315.40 $\pm$ 4.31	820.10 $\pm$ 33.68	789.22 $\pm$ 23.39	181.58 $\pm$ 4.93

续表3

类别	序号	化合物名称	保留时间/min	CAS 号	绝对含量/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
					空白	藿香	紫苏	丁香
醇类	6	二甲基硅烷二醇-	4.72	001066-42-8	225.27 $\pm$ 14.52	138.06 $\pm$ 12.03	199.37 $\pm$ 0.92	—
	7	L-薄荷醇	16.18	002216-51-5	—	1.88 $\pm$ 0.01	7.85 $\pm$ 3.91	5.57 $\pm$ 4.70
		合计			225.27 $\pm$ 14.52	139.94 $\pm$ 12.04	207.21 $\pm$ 4.83	5.57 $\pm$ 4.70
酮类	8	2,3-辛二酮	7.13	000585-25-1	—	—	24.61 $\pm$ 2.62	—
		合计			—	—	24.61 $\pm$ 2.62	—
烃类	9	2,4-二甲基-1-庚烯	12.31	019549-87-2	9.30 $\pm$ 0.43	—	18.63 $\pm$ 1.48	25.25 $\pm$ 1.41
	10	4-甲基辛烷-	14.46	002216-34-4	16.2 $\pm$ 3.11	15.46 $\pm$ 0.92	—	35.31 $\pm$ 1.27
	11	癸烷	16.65	000124-18-5	11.95 $\pm$ 2.85	8.16 $\pm$ 0.69	12.31 $\pm$ 3.11	25.83 $\pm$ 4.4
	12	D-柠檬烯	21.26	005989-27-5	21.43 $\pm$ 2.84	11.54 $\pm$ 0.44	10.59 $\pm$ 2.11	21.93 $\pm$ 1.33
	13	4-甲基十一烷-	21.85	002980-69-0	53.25 $\pm$ 7.57	11.47 $\pm$ 1.47	12.83 $\pm$ 5.71	
	14	十二烷	23.38	000112-40-3	31.16 $\pm$ 7.07	10.17 $\pm$ 0.74	16.27 $\pm$ 4.24	22.96 $\pm$ 1.46
	15	十四烷	24.03	000629-59-4	12.21 $\pm$ 0.3	13.02 $\pm$ 3.62	22.17 $\pm$ 1.33	13.93 $\pm$ 1.48
	16	石竹烯	24.13	000087-44-5	5.21 $\pm$ 0.02	1.79 $\pm$ 0.14	—	6.63 $\pm$ 1.56
	17	十五烷	25.37	000629-62-9	26.13 $\pm$ 1.42	—	40.79 $\pm$ 4.47	38.93 $\pm$ 1.35
	18	二十四烷	26.71	000646-31-1	15.49 $\pm$ 3.54	—	6.22 $\pm$ 1.43	—
	19	二十八烷	27.14	000630-02-4	4.61 $\pm$ 0.71	—	9.84 $\pm$ 1.48	—
	20	十六烷	27.25	000544-76-3	4.21 $\pm$ 1.54	4.82 $\pm$ 0.42	3.66 $\pm$ 0.76	—
	21	1-庚二烯	27.32	006765-39-5	4.05 $\pm$ 0.29	—	—	—
	22	二十烷	23.01	000112-95-8	2.31 $\pm$ 0.42	—	—	—
	23	十七烷	18.96	000629-78-7	10.25 $\pm$ 0.00	40.62 $\pm$ 5.49	41.4 $\pm$ 1.27	9.24 $\pm$ 0.54
	24	姥蛟烷	24.65	001921-70-6	13.6 $\pm$ 1.33	—	16.88 $\pm$ 2.82	17.94 $\pm$ 1.44
	25	二十一烷	23.21	000629-94-7	1.82 $\pm$ 0.82	19.66 $\pm$ 2.64	—	—
	26	十三烷	26.87	000629-50-5	—	—	20.43 $\pm$ 1.71	25.45 $\pm$ 1.59
	27	二十六烷	26.87	000630-04-6	—	2.52 $\pm$ 0.13	3.61 $\pm$ 0.21	—
	28	1-癸烯	24.03	013360-61-7	—	—	2.98 $\pm$ 0.20	—
	29	8-十七烷烯	26.25	002579-04-6	—	5.01 $\pm$ 0.93	8.79 $\pm$ 0.66	—
	30	3-庚二烯,(Z)-	19.49	1000141-67-3	—	2.10 $\pm$ 0.11	2.89 $\pm$ 0.63	—
	31	二十五烷	22.97	000629-99-2	—	12.18 $\pm$ 1.50	—	—
	32	四十四烷	23.01	007098-22-8	—	2.25 $\pm$ 0.06	—	—
	33	5-乙基-2-甲基辛烷-	25.14	062016-18-6	—	—	9.29 $\pm$ 1.26	21.48 $\pm$ 1.63
	34	α -依兰烯	26.25	030021-74-0	—	—	—	4.79 $\pm$ 0.57
	35	二十七烷	31.75	000593-49-7	—	3.60 $\pm$ 0.39	—	—
		合计			243.17 $\pm$ 30.88	164.36 $\pm$ 17.06	259.56 $\pm$ 27.84	271.19 $\pm$ 14.93
酯类	36	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	25.14	006846-50-0	34.54 $\pm$ 2.80	42.73 $\pm$ 1.18	10.89 $\pm$ 2.77	5.46 $\pm$ 0.68
	37	甲氧基乙酸乙酯	26.25	1000282-04-8	2.22 $\pm$ 0.17	—	—	—
	38	十六烷酸甲酯	31.75	000112-39-0	2.7 $\pm$ 0.02	2.5 $\pm$ 0.16	5.59 $\pm$ 1.36	—
	39	2-甲基丁酸乙酯	7.38	007452-79-1	—	—	—	5.46 $\pm$ 0.33
	40	戊二酸丁基庚酯	26.48	1000358-32-5	—	4.66 $\pm$ 0.28	—	—
		合计			39.46 $\pm$ 2.63	49.89 $\pm$ 1.06	16.47 $\pm$ 4.13	10.93 $\pm$ 1.01

续表3

类别	序号	化合物名称	保留时间/min	CAS 号	绝对含量/(μg·kg ⁻¹)			
					空白	藿香	紫苏	丁香
芳香烃	41	甲苯	5.43	000108-88-3	41.19 ± 4.24	28.39 ± 2.70	—	83.37 ± 2.34
	42	对二甲苯	7.98	000106-42-3	37.99 ± 6.83	42 ± 2.83	62.21 ± 1.38	144.85 ± 5.82
	43	均三甲苯	10.66	000108-67-8	22.5 ± 7.62	5.29 ± 0.08	20.77 ± 1.58	38.1 ± 2.18
	44	1,2,4-三甲基苯-	12.07	000095-63-6	10.5 ± 2.82	—	—	—
	45	邻异丙基苯	13.77	000527-84-4	14.07 ± 2.91	7.59 ± 1.19	12.97 ± 0.98	47.34 ± 3.03
	46	1,2,4,5-四甲基苯-	14.61	000095-93-2	6.96 ± 1.39	—	13.23 ± 1.56	27.94 ± 1.48
	47	1,2,3,4-四甲基苯-	14.69	000488-23-3	9.07 ± 0.70	—	—	—
	48	1,3-二乙基-5-甲基苯	15.17	002050-24-0	2.88 ± 0.46	2.05 ± 0.11	4.66 ± 0.66	9.48 ± 1.54
	49	萘	16.45	000091-20-3	8.87 ± 1.01	4.5 ± 0.14	11.9 ± 1.55	4.08 ± 0.24
	50	2,6-二叔丁基对甲酚	23.49	000128-37-0	834.77 ± 134.34	159.33 ± 2.96	170.71 ± 12.81	1 695.91 ± 48.94
	51	邻二甲苯	8.56	000095-47-6	—	—	—	44.57 ± 2.83
	52	1-乙基-3-甲基苯-	10.44	000620-14-4	—	—	15.37 ± 1.64	61.15 ± 2.81
	53	1,2,3-三甲基苯-	11.35	000526-73-8	—	12.65 ± 1.44	12.22 ± 1.38	60.44 ± 1.88
	54	1,2-二乙基苯-	12.78	000135-01-3	—	—	—	8.11 ± 0.26
	55	1-乙基-3,5-二甲基苯	13.51	000934-74-7	—	—	—	19.6 ± 1.41
	56	1,3-二甲苯苯-	7.96	000108-38-3	—	—	22.58 ± 2.93	—
	57	1,2,3,5-四甲基苯-	14.60	000527-53-7	—	9.78 ± 1.43	—	—
	合计				988.78 ± 156.49	271.58 ± 12.87	346.61 ± 26.46	2 244.93 ± 25.96
其他	58	甲氧基苯基胍	8.81	1000222-86-6	28.07 ± 2.89	—	—	95.51 ± 3.25
	59	2-戊基咪喃-	11.22	003777-69-3	13.81 ± 1.40	8.19 ± 0.57	—	—
	60	六甲基环三硅氧烷-	6.47	000541-05-9	15.84 ± 1.60	—	156.39 ± 0.00	46.21 ± 2.97
	61	十甲基环五硅氧烷-	14.94	000541-02-6	26.29 ± 2.82	18.91 ± 1.32	39.69 ± 4.20	46.21 ± 1.41
	62	十二甲基环六硅氧烷	18.96	000540-97-6	30.07 ± 1.42	—	29.45 ± 4.32	31.92 ± 1.52
	63	八甲基环四硅氧烷-	10.92	000556-67-2	—	5.94 ± 0.20	84.88 ± 3.59	—
	64	7,9-二叔丁基-1-氧杂螺(4,5)十碳-6,9-二烯-2,8-二酮	31.25	082304-66-3	—	—	4.65 ± 0.03	—
合计					114.08 ± 10.13	33.04 ± 1.69	315.06 ± 12.11	219.84 ± 3.21

注：“—”表示未检出成分。

2.7 3种天然提取物对金鲳鱼片气味活性值（OVA）的影响

OVA 值可用于评估单个挥发性化合物对食品气味分布的相对重要性^[31]，当 OAV 值达到或超过 1 的标准时，该化合物被归类为具有活性的挥发性成分，对食品的整体风味具有重要影响^[32]。根据表 4 与图 11，金

鲳鱼肉中的己醛、庚醛、辛醛及壬醛因其 OAV 值均> 1，被视为关键的腥味活性成分。3 种天然提取物对金鲳鱼肉脱腥处理后，己醛、庚醛、辛醛、壬醛含量均显著下降（*P*<0.05），不同处理组之间的下降程度存明显差异，丁香提取物处理组下降程度最大，庚醛、辛醛、壬醛含量下降 100%，说明对鱼肉脱腥效果最好。

表 4 金鲳鱼肉主要腥味物质及其OAV值

Table 4 The main fishy substances in the flesh of golden pomfret and their OAV values

化合物名称	风味特征 ^[30]	气味阈值 ^a /(μg·kg ⁻¹)	OAV 值
己醛	青草味、鱼腥味	5	>1
庚醛	青草味、鱼腥味	2.8	>1
壬醛	鱼腥味、哈喇味	1.1	>1
辛醛	油脂味、鱼腥味	0.59	>1

注: a. 气味阈值主要来自在线数据库 (<http://www.flavornet.org>; <http://www.odour.org.uk>).

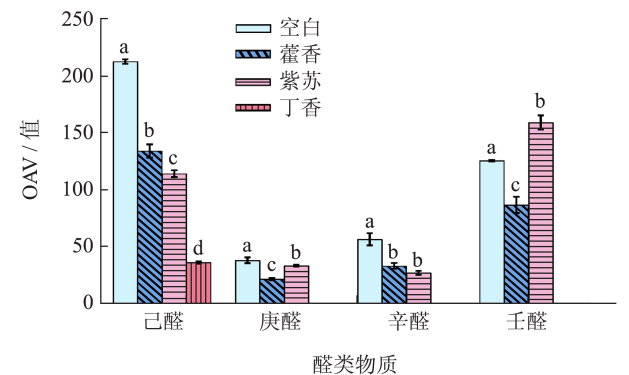


图 11 3 种天然提取物处理后对金鲳鱼肉腥味活性物质 OAV 值的影响

Fig.11 Effect of treatment with three natural extracts on the OAV value of fishy active substances in the flesh of golden pomfret fish

3 结论

本研究旨在探讨天然提取物对金鲳鱼脱腥效果及其挥发性风味物质的影响,通过色差值、TBARS 值、腥味值、感官评价、电子鼻分析以及气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)进行综合评估。结果显示,经不同质量分数的 3 种天然提取物处理后,鱼肉的 ΔE 值均显著增大,紫苏处理组的色泽与原鱼肉颜色较为接近。脱腥处理可以显著抑制鱼肉中脂肪的氧化分解,丁香组抑制效果最好。当 3 种提取物质量分数为 0.5% 时,不仅能有效掩盖腥味,还赋予鱼肉植物本身的香气,鱼肉感官评分最高。电子鼻检测结果显示,脱腥处理后鱼肉的氮氧化物、硫化物和芳香族化合物含量均低于空白组。主成分分析(PCA)进一步验证了电子鼻在区分不同脱腥处理组气味特征方面的有效性。挥发性风味物质结果显示在脱腥前、藿香、紫苏和丁香处理的鱼肉中检测出 41、37、42 和 34 种挥发性成分。空白组醛类化合物总含量高达 1 315.40 μg·kg⁻¹,经脱腥后分别下降 37.65%、40.00%、86.20%。金鲳鱼中主要腥味活性物质为己醛、庚醛、辛醛、壬醛,丁香处

理后醛类含量下降程度最大。3 种天然提取物均具有脱腥效果,丁香提取物综合脱腥效果优于藿香和紫苏提取物。本研究通过分析不同脱腥条件下金鲳鱼的感官差异和风味变化,为预制水产品的脱腥及其他研发工作提供了理论基础。

参考文献

[1] 农业农村部渔业渔政管理局.2023中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2023.

[2] ZHAO L, ZHANG M, WANG H. Inhibition of the fishy odor from boiled crab meatballs during storage via novel combination of radio frequency and carbon dots [J]. Food Control, 2022, 136: 108843.

[3] EL-HACK M E A, EL-SAADONY M T, ELBESTAWY A R, et al. Undesirable odour substances (geosmin and 2-methylisoborneol) in water environment: Sources, impacts and removal strategies [J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 178: 113579.

[4] GHARBY S, OUBANNIN S, AIT BOUZID H, et al. An overview on the use of extracts from medicinal and aromatic plants to improve nutritional value and oxidative stability of vegetable oils [J]. Foods, 2022, 11(20): 3258.

[5] LI J K, HUI T, WANG F L, et al. Chinese red pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) leaf extract as natural antioxidants in salted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in dorsal and ventral muscles during processing [J]. Food Control, 2015, 56: 9-17.

[6] DANG M, LI W, YOU J, et al. Perilla juice and ginger juice reduced warmed-over flavor (WOF) in surimi gels: Due to the inhibition of the formation of the WOF compounds and the masking of the WOF [J]. Food Chemistry, 2024, 454: 139739.

[7] 黄丽琪,胡传峰,鲁怡婷,等.紫苏精油和姜汁对烤武昌鱼的风味影响[J].现代食品科技,2024,40(7):193-202.

[8] AZIZ M, KARBOUNE S. Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables:a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(3): 486-511.

[9] 熊添,吴燕燕,李来好,等.卵形鲳鲹肌肉原料特性及食用品质的分析与评价[J].食品科学,2019,40(17):104-112.

[10] YAGIZ Y, KRISTINSSON H G, BALABAN M O, et al. Correlation between astaxanthin amount and a^* value in fresh Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle during different irradiation doses [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 121-127.

[11] 刘娜.天然植物色素的提取及其在食品加工中的前景[J].农业与技术,2024,44(5):32-36.

[12] MAQSOOD S, BENJAKUL S. Effect of bleeding on lipid oxidation and quality changes of Asian seabass (*Lates calcarifer*) muscle during iced storage [J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 459-467.

[13] LI T, HU W, LI J, et al. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Control, 2012, 25(1): 101-106.

[14] 罗雨婷,谷大海,徐志强,等.天然香辛料在肉制品中抗氧化活性研究进展[J].肉类研究,2017,31(10):53-57.

[15] 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):108-118.
- [16] DAI W, HE S, HUANG L, et al. Strategies to reduce fishy odor in aquatic products: Focusing on formation mechanism and mitigation means [J]. Food Chemistry, 2024, 444: 138625.
- [17] 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.
- [18] FU B, ZHENG M, YANG H, et al. The effect of broad bean diet on structure, flavor and taste of fresh grass carp: A comprehensive study using E-nose, E-tongue, TPA, HS-SPME-GC-MS and LC-MS [J]. Food Chemistry, 2024, 436: 137690.
- [19] MAO J, FU J, ZHU Z, et al. Flavor characteristics of semi-dried yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) with KCl and ultrasound under sodium-reduced conditions before and after low temperature vacuum heating [J]. Food Chemistry, 2023, 426: 136574.
- [20] LI H, WANG Y, ZHANG J, et al. Prediction of the freshness of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) using E-nose, E-tongue, and colorimeter based on biochemical indexes analyzed during frozen storage of whole fish [J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134325.
- [21] 楚晓燕,赵淞民,郑婕,等.迷迭香酸和表儿茶素对海鲈鱼鱼肉风味特性的影响[J].中国食品学报,2024,24(11):325-334.
- [22] 余林,应晓国,马路凯.不同提取物对带鱼鱼糜凝胶品质及风味的影响[J].食品安全质量检测学报,2024,15(3):89-99.
- [23] 刘鑫,李睿,徐漪沙,等.不同加工处理方式对芝麻油风味的影响研究[J].保鲜与加工,2020,20(6):148-156.
- [24] MANSUR M, BHADRA A, TAKAMURA H, et al. Volatile flavor compounds of some sea fish and prawn species [J]. Fisheries Science, 2010, 69(4): 864-866.
- [25] 杨学博,陈秋翰,刘寿春,等.基于气相色谱-离子迁移谱和偏最小二乘判别分析技术分析酵母-藿香复合对罗非鱼脱腥效果的影响[J].食品与发酵工业,2024,50(12):319-326.
- [26] HUANG P, WANG Z, SHI Y, et al. Deodorizing effects of rosemary extract on silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and determination of its deodorizing components [J]. Food Science, 2022,87(2): 16023.
- [27] TANAKA T, YAMAUCHI T, KATSUMATA R, et al. Comparison of volatile components in commercial Itohiki-natto by solid-phase microextraction and gas chromatography [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2003, 50(6): 278-285.
- [28] NIU Y, WANG R, XIAO Z, et al. Characterization of ester odorants of apple juice by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, odour threshold, aroma intensity and electronic nose [J]. Food Research International, 2019, 120: 92-101.
- [29] 王玉,王睿迪,薛勇,等.传统加工咸鲛鱼的挥发性风味成分[J].现代食品科技,2018,34(9):268-276.
- [30] 曾文浩,熊怡婷,熊善柏,等.酵母葡聚糖对鲢鱼肉挥发性成分的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(3):94-104.
- [31] PU D, SHAN Y, ZHANG L, et al. Identification and inhibition of the key off-odorants in duck broth by means of the sensomics approach and binary odor mixture [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2022,70(41): 13367-13378.
- [32] ZHANG X, GAO P, XIA W, et al. Characterization of key aroma compounds in low-salt fermented sour fish by gas chromatography-mass spectrometry, odor activity values, aroma recombination and omission experiments [J]. Food Chemistry, 2022, 397: 133773.