

不同产地紫苏水提物对调理鲢鱼片气味品质的影响

张晗玮, 武燕霓, 杨文豪, 尤娟, 熊善柏, 安玥琦

Effect of Water Extract of *Perilla* (*Perilla frutescens*) from Different Regions on the Odor Quality of Seasoned Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Fillets

ZHANG Hanwei, WU Yanni, YANG Wenhao, YOU Juan, XIONG Shanbai, and AN Yueqi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024050167>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

芋头粉对白鲢鱼糜制品品质的影响

Effects of Taro Powder on Quality of Silver Carp Surimi Products

食品工业科技. 2023, 44(24): 63-71 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020100>

广西本地鲢鱼和长丰鲢肌肉营养成分分析与品质评价

Nutritional Components Analysis and Quality Evaluation of Guangxi Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and Changfeng Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)

食品工业科技. 2020, 41(3): 285-290, 296 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.047>

紫苏提取物的抗氧化性能及其对晚期糖基化末端产物的抑制作用

Antioxidant Properties and Inhibitory Effect on AGEs of *Perilla frutescens* Extract

食品工业科技. 2020, 41(3): 58-64 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.011>

烟熏香料在水产品加工中的研究与应用

Research and Application of Smoke Flavorings in Aquatic Products Processing

食品工业科技. 2024, 45(22): 390-396 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010281>

不同加工方式对大球盖菇水提液挥发性风味成分和抗氧化能力的影响

Effects of Different Processing Methods on the Volatile Components and Antioxidant Ability of the Water Extracts from *Stropharia rugosoannulata*

食品工业科技. 2021, 42(23): 41-48 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020072>

白苏叶醇提物的鉴定及其对中式培根脂质氧化的影响

Identification of Ethanol Extract from *Perilla frutescens* Leaves and Its Effects on Lipid Oxidation of Chinese Bacon

食品工业科技. 2020, 41(3): 40-45 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.008>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张晗玮, 武燕霓, 杨文豪, 等. 不同产地紫苏水提取物对调理鲢鱼片气味品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(9): 102–113. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050167

ZHANG Hanwei, WU Yanni, YANG Wenhao, et al. Effect of Water Extract of *Perilla* (*Perilla frutescens*) from Different Regions on the Odor Quality of Seasoned Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Fillets[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(9): 102–113. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050167

· 研究与探讨 ·

不同产地紫苏水提取物对调理鲢鱼片 气味品质的影响

张晗玮^{1,2}, 武燕霓^{1,2}, 杨文豪³, 尤 娟^{1,2}, 熊善柏^{1,2}, 安玥琦^{1,3,*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070;

2. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北武汉 430070;

3. 湖北大学健康科学与工程学院, 湖北武汉 430062)

摘要: 本研究采用含五种产地(重庆梁平、广西南宁、北京大兴、湖南常德、辽宁锦州, 分别记为 CQ、GX、BJ、HN、LN) 紫苏水提取物的腌制液对鲢鱼片进行浸渍处理, 基于定量感官描述、电子鼻及气相色谱-质谱/嗅觉联用等技术评价紫苏产地对调理鲢鱼片感官品质及挥发性成分的影响。经紫苏水提取物浸渍处理后, 鲢鱼片的鱼腥味及泥土味较空白对照组(CK) 明显下降, 其中 CQ 及 GX 组鱼片的气味品质优于 BJ、HN、LN 组的。六组调理鱼片中共鉴定出 47 种挥发性化合物, 与 CK 组相比, CQ、GX 组中醛类物质总量分别下降了 52.84%、48.24%, 萜类物质总量分别升高了 1732.15%、2897.04%。香气提取物稀释分析及指纹图谱分析结果表明, CQ、GX 组紫苏中富含的紫苏醛、芳樟醇、D-柠檬烯、石竹烯等萜类成分是改善鲢鱼片气味品质的关键成分。综上, CQ、GX 等富含紫苏醛的紫苏水提取物更适宜用于制备调理鱼片。本研究可为预制调理鱼制品气味品质调控及调理鱼制品专用紫苏的选择提供参考。

关键词: 水产品, 调理鲢鱼制品, 紫苏水提取物, 挥发性风味成分, 气味品质

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)09-0102-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050167



本文网刊:

Effect of Water Extract of *Perilla* (*Perilla frutescens*) from Different Regions on the Odor Quality of Seasoned Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Fillets

ZHANG Hanwei^{1,2}, WU Yanni^{1,2}, YANG Wenhao³, YOU Juan^{1,2}, XIONG Shanbai^{1,2}, AN Yueqi^{1,3,*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China;

3. College of Health Science and Engineering, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: *Perilla* samples from five regions (Liangping, Chongqing; Nanning, Guangxi; Daxing, Beijing; Changde, Hunan; Jinzhou, Liaoning, denoted as CQ, GX, BJ, HN, and LN, respectively) were used to prepare water extracts and then to impregnate silver carp fillets. The effects of the production area of *Perilla* on the sensory quality and volatile components of the seasoned silver carp fillets were evaluated based on quantitative sensory evaluation, electronic nose, and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry. After treatment with *Perilla* water extract, the fishy and earthy odors of silver carp fillets decreased significantly compared to the blank control group (CK). Additionally, the odor quality of fillets in the CQ and GX groups was better than that of the BJ, HN, and LN groups. A total of 47 volatile compounds were

收稿日期: 2024-05-16

基金项目: 国家“十四五”重点研发项目(2022YFD2100904); 国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-45-28)。

作者简介: 张晗玮(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工与保鲜, E-mail: 1834475011@qq.com。

* 通信作者: 安玥琦(1991-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 水产品加工与风味调控, E-mail: anyueqi@mail.hzau.edu.cn。

identified in the six groups of seasoned fillets. Compared with the CK group, the total amounts of aldehydes in the CQ and GX groups decreased by 52.84% and 48.24%, respectively, and the total amounts of terpenoids increased by 1732.15% and 2897.04%, respectively. The results of aroma extract dilution analysis and flavor fingerprint analysis showed that terpenoid components such as *Perilla* aldehyde, linalool, D-limonene, and caryophyllene, which were rich in *Perilla* from the CQ and GX groups, were the key components for improving the odor quality of silver carp fillets. In conclusion, *Perilla* water extract rich in *Perilla* aldehyde from CQ and GX was more suitable for the preparation of seasoned fillets. This study can provide a reference for the regulation of the odor quality of prefabricated seasoned fish products and the selection of *Perilla* dedicated to seasoned fish products.

Key words: aquatic product; seasoned silver carp products; *Perilla* water extract; volatile aroma compounds; odor quality

调理鱼片是水产类预制菜的重要产品类别,其主要是通过原料预处理、腌制、包装等环节制成,经简单烹饪后即可食用的半成品菜肴,因其方便食用、营养丰富,备受市场的青睐^[1]。鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)是全球内陆水域养殖量和产量最大的三大鱼类之一^[2],也是我国产量最大的淡水鱼之一,将其用于制备预制菜肴,不仅能丰富鲢鱼的产品形式也能促进其高值化利用。但淡水鱼,尤其是鲢鱼,具有较重的土腥味。土腥味会降低淡水鱼产品的可接受性和食用性,是阻碍预制淡水鱼产品进一步提质的限制性因素之一^[3]。因此,亟需解决预制淡水鱼产品中的腥味控制问题。

随着消费者对新鲜、天然以及最低限度加工食品的需求的不断增长,天然植物及其提取物在水产品风味优化中的应用受到了广泛的关注^[4]。目前,已有研究利用生姜水提液^[5]、迷迭香提取物^[6-7]、薄荷香精^[8]、香茅^[9]等作为腌制液主要成分用于鱼及鱼制品的脱腥及品质改善。近年来,紫苏(*Perilla frutescens*)及其提取物在水产加工中的应用也受到了越来越多的关注。紫苏是唇形科紫苏属的一年生草本植物,也是我国传统的药食兼用型植物之一,在我国已有 2000 多年的栽培历史,且其用于鱼、蟹烹饪的记载由来已久^[10]。但目前,研究多关注于紫苏提取物对鱼及鱼制品理化特性及贮藏品质的影响^[11-12],尽管针对紫苏提取物对鱼及鱼制品气味品质的影响进行了初步探究,如牛宇光等^[13]发现采用紫苏水提取物漂洗鱼糜能够抑制白鲢鱼糜制品中鱼腥味的形成,鲍佳丽等^[14]研究表明紫苏水提取物能有效降低巴沙鱼的腥味,改善鱼片的风味特性,但研究多采用单一紫苏品种进行。我国作为紫苏的种质多样化中心,在种植过程中形成了多样的分化,种植地域、种质来源等均会导致紫苏风味的差异^[10,15],但目前鲜有研究关注紫苏产地或品种对调理鱼片气味品质的影响。

为了更好地阐明鲢鱼片经不同产地紫苏水提取物调理前后的气味变化,本研究从我国西南(重庆梁平, CQ)、华南(广西南宁, GX)、华北(北京大兴, BJ)、华中(湖南常德, HN)、东北(辽宁锦州, LN)5 个产地采集新鲜紫苏叶并制备紫苏水提取物,采用气相色谱-质谱/嗅闻(Gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry, GC-MS/O)结合电子鼻技术,阐明了五种紫

苏水提取物对调理鲢鱼片气味品质的影响,并通过建立气味指纹图谱揭示了各组样品之间主要的香气成分差异。本研究旨在为预制调理鱼制品气味品质调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

白鲢(约 2.5~3.0 kg/尾) 购于华中农业大学农贸市场;紫苏鲜叶 分别于 7~9 月采摘于重庆梁平、广西南宁、北京大兴、湖南常德、辽宁锦州,分别记录为 CQ、GX、BJ、HN、LN,采集后的叶片经过简单清洗、滤干表面水分后放置于-80 ℃ 冰箱备用;复合磷酸盐 食品级,徐州添安食品科技有限公司;环己酮 色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司;二氯甲烷 色谱纯,美国 BCR 公司。

PEN3 型电子鼻 德国 AIRSENSE 公司;溶剂辅助风味蒸发装置 德国 Glasblaserei Bahr 公司;8890-7000D 型气相色谱质谱联用仪 美国安捷伦科技有限公司;ODP3 嗅觉检测器 德国 Gerstel 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 紫苏叶中挥发性气味物质分析 参考 Wei 等^[16]方法,将紫苏叶放入预冷的研钵中,用液氮将其快速冻结后使用破碎机进行粉碎。准确称取 2.00 g 样品粉末置于 20 mL 顶空瓶中,加入 2 mL 饱和食盐水,再加入 1 μL 环己酮内标(1000 μg/mL),用聚四氟乙烯隔热垫密封,采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(Headspace solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)进行测定。测定条件如下:SPME 条件:DVB/CAR/PDMS 三相萃取针,加热温度 60 ℃,平衡时间 5 min,萃取时间 40 min,解析时间 5 min。GC 条件:进样口温度为 250 ℃,模式为不分流,载气为氦气(纯度 99.999%),流速为 1.0 mL/min,色谱柱为 HP-5ms(30 mm×0.25 mm, 0.25 μm)。升温程序为:40 ℃ 保持 5 min,之后以 5 ℃/min 速度升高至 150 ℃,最后以 10 ℃/min 升高至 210 ℃,保持 5 min。MS 条件:溶剂延迟 5 min,电子能量 70 eV,离子源温度 230 ℃,扫描范围 35~550 m/z。

定性分析:将化合物的质谱与 NIST 数据库中的质谱进行比较,将匹配度大于 80% 作为物质鉴定依据。在与样品完全相同的条件下对正构烷烃

(C6~C22)的标准混合物进行分析,计算各挥发性化合物的保留指数(Retention index, RI),通过对比化合物标准品或文献中报道的保留指数,结合质谱进行鉴定,RI的计算公式如式(1)所示:

$$RI = 100 \times \left(\frac{Rt_x - Rt_n}{Rt_{n+1} - Rt_n} + n \right) \quad \text{式(1)}$$

式中: Rt_x 、 Rt_n 、 Rt_{n+1} 分别为待测挥发性成分、含 n 个碳原子及 $n+1$ 个碳原子正构烷烃的保留时间, min。

定量分析: 采用环己酮(1000 $\mu\text{g/mL}$)作为内标,根据峰面积比计算待测样品中挥发性气味物质的含量,计算公式如式(2)所示:

$$C_x = \frac{C_0 \times V_0 \times S_x}{m \times S_0} \quad \text{式(2)}$$

式中: C_x 为未知挥发性气味物质含量, $\mu\text{g/kg}$; C_0 为内标化合物质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_0 为内标化合物进样体积, μL ; S_x 为未知挥发性气味物质的峰面积; S_0 为内标化合物峰面积; m 为试样的质量, g。

1.2.2 调理鱼片的制备 参考陈澄等^[17]方法,将鲜冻紫苏叶流水解冻、沥干,称取 50.00 g 沥干后紫苏叶,按照料液比 1:5(w:v)加入去离子水破碎 2 min 制备紫苏水提物,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏备用。取鲜活白鲢去头、尾、鱼鳞及内脏,沿脊骨将背部鱼肉剖开,切成 5 cm $\times$ 2 cm $\times$ 2 cm 的鱼片,将切好的鱼片进行随机分组后,均按照鱼片:腌制液=1:2(w:w)的比例添加腌制液进行低温浸渍处理。紫苏组腌制液组成(4% 紫苏水提物+2% 食盐+1% 复合磷酸盐),对照组腌制液组成(2% 食盐+1% 复合磷酸盐),浸渍温度 4 $^{\circ}\text{C}$,浸渍时间 6 h,浸渍后取出并沥干。

1.2.3 调理鱼片电子鼻分析 参考杜柳等^[18]方法,将调理后生鱼片绞碎,准确称取 2.00 g 绞碎后鱼肉样品于 20 mL 顶空瓶中。数据采集前,将装有样品的顶空瓶于 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中加热 30 min。采集参数:测试时间 120 s,清洗时间 100 s,数据每 1 s 采集一次,选用 116~120 s 的值进行主成分分析。

1.2.4 调理鱼片感官评价分析 参考 GB/T 39625-2020《感官分析-方法学-建立感官剖面的导则》,采用定量描述法对调理鱼片的气味进行评价。评价小组由 10 名健康、非吸烟且没有气味障碍的小组成员组成(5 男 5 女,年龄 20~30 岁)。采用 6 个描述词对鱼片的气味进行评价,分别为鱼腥味、泥土味、青草味、鱼香味、草本味、柑橘味。感官实验在室温下进行,所有样品均装在不带味塑料杯中并标有三位随机代码呈现给感官评价人员,小组成员被要求评估从 0~5 的调理鱼片气味强度,0 分表示无气味,5 分表示气味强烈。

1.2.5 调理鱼片挥发性气味物质的提取、分离和浓缩 按照 An 等^[19]方法,运用基于液氮速冻、直接溶剂提取、溶剂辅助气味蒸发(Solvent-assisted flavor

evaporation, SAFE)等技术进行挥发性气味物质的提取、分离和浓缩。将调理后的鱼片切成小块,用液氮快速冻结后,用磨粉机粉碎成粉末。称取 75.00 g 样品粉末置于 500 mL 锥形瓶中,然后加入 150 mL 二氯甲烷并用锡箔纸封口,将混合物于 4 $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min 振荡提取 2 h,过滤收集提取液,再加入 100 mL 二氯甲烷重复提取 2 次,合并提取液,然后将提取液加到溶剂辅助风味蒸发装置中除去提取液中的非挥发性化合物。SAFE 条件为:恒温水浴及循环水温度 46 $^{\circ}\text{C}$,真空度 5.0×10^{-3} Pa。经 SAFE 收集的样品中加入无水硫酸钠静置过夜,除去其中的水分,再将样品经连接有韦氏分馏柱的 K-D 浓缩装置把提取液浓缩至 10 mL,最后使用微流量氮气吹扫浓缩至 500 μL ,得到调理鱼片的气味提取浓缩液。

1.2.6 调理鱼片挥发性气味物质的鉴定及半定量分析 按照 Li 等^[20]方法,对典型调理鱼片中的挥发性气味物质进行 GC-MS/O 分析。气味提取浓缩液(1 μL)以 1:1 的比例分别流入质谱和嗅觉检测器中,并在 HP-5ms 柱上分离(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm)。进样口温度 230 $^{\circ}\text{C}$,模式为不分流,载气为氦气,流速 1 mL/min。升温程序:40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min 后以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min。质谱采用全扫描模式。香气提取物稀释分析(Aroma extract dilution analysis, AEDA)和强度研究参考 Qian 等^[21]方法,选取 3 名(年龄在 21~25 岁之间)嗅觉灵敏且具有一定经验的研究人员描述并记录所闻到的气味特征及其强度。最终气味强度值取 3 名嗅闻人员所记录的平均分数,并依据 $\sum \log(\text{平均强度} \times \text{稀释倍数})$ 计算 Q 值。通过向 1.2.5 气味提取液中加入 25 μL 环己酮内标(1000 $\mu\text{g/mL}$)制备用于气味化合物半定量的样品,其他程序和 GC 条件同前面所述。结果分析及含量计算方法同 1.2.1。

1.2.7 气味指纹图谱的建立 参考 An 等^[19]方法,采用 Metaboanalyst 5.0 用于本研究的香气指纹分析,将 CQ 组样品的挥发性成分的含量作为紫苏及调理鱼片概率商归一化的参考组。数据进行 lg 缩放,数据缩放以均值为中心,除以每个变量的标准差。如果化合物不在样品中,则在数据中用“0”表示。基于紫苏及紫苏水提物调理鱼片中所选香气化合物的归一化值,通过聚类热图分析,构建紫苏及紫苏水提物调理鱼片的气味指纹图谱。

1.3 数据处理

实验重复 3 次,结果用“平均值 $\pm$ 标准差”表示。采用 Origin 2021 绘图;采用 Excel 2021、IBM SPSS Statistics 25 进行数据处理、ANOVA 方差分析及 Duncan 检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 五种紫苏叶的气味物质组成

紫苏叶中挥发性化合物的总离子色谱图如图 1

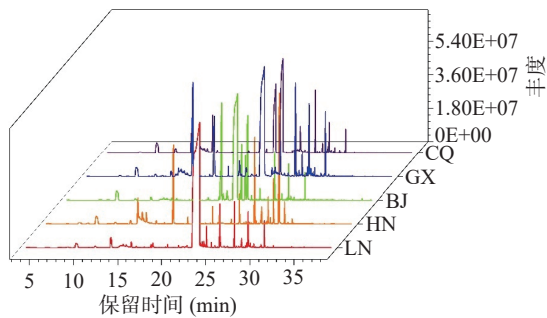


图 1 紫苏叶中挥发性化合物的总离子色谱图

Fig.1 Total ion chromatogram of volatile compounds in *Perilla* leaves

所示。采用 HS-SPME-GC-MS 在五种紫苏叶中共鉴定出 52 种挥发性气味物质, 包括 10 种醛类, 6 种酮类, 5 种醇类, 6 种芳香类, 19 种萜类, 6 种其他类化合物, 具体结果见表 1。由表 1 可知, 五种紫苏叶

中挥发性气味物质组成及含量存在明显差异。CQ 组中含量较高的化合物为紫苏醛(草本味)、2-乙酰基呋喃(水果味), 在本组鉴定出的挥发性气味物质中的相对比例分别为 36.98%、21.02%。GX 组中含量较高的为紫苏醛(49.90%)、D-柠檬烯(11.14%, 柠檬味), BJ 组中含量较高的为紫苏酮(54.86%)、异白苏烯酮(12.79%), HN 组中含量较高的化合物为榄香素(31.01%, 茴香味)、紫苏烯(17.69%), LN 组中含量较高的化合物为紫苏酮(81.73%)、丁香酚(3.03%, 丁香味)。根据香气成分与化学型的关系^[22], 五种紫苏叶可分为 3 种不同的化学型, CQ、GX 组属于 PA 型(主含紫苏醛等), BJ、LN 组属于 PK 型(主含紫苏酮等), HN 组属于 PP 型(主含榄香素等)。不同产地紫苏叶中香气成分的差异导致其风味特征的变化, 进而可能会影响以其为基料制备的调理鱼片的风味。

表 1 五种紫苏叶中挥发性气味化合物的含量

Table 1 Contents of aroma compounds in five *Perilla* leaves

物质名称	含量(μg/kg)				
	CQ	GX	BJ	HN	LN
醛类(10种)					
己醛	280.22±60.06 ^a	255.80±12.76 ^a	270.04±10.21 ^a	262.29±24.10 ^a	111.07±1.69 ^b
(E)-2-己烯醛	1597.90±95.15 ^{bc}	1586.74±96.63 ^{bc}	5344.39±718.77 ^a	1102.94±47.64 ^c	2330.87±27.88 ^b
(E,E)-2,4-庚二烯醛	356.63±39.78 ^b	339.67±31.25 ^b	966.29±139.05 ^{ab}	648.62±89.81 ^b	1184.10±218.05 ^a
(E,E)-2,4-辛二烯醛	46.80±3.26	—	—	—	—
(E,Z)-2,6-壬二烯醛	63.28±4.72 ^a	—	—	17.74±0.25 ^b	—
(E)-2-壬烯醛	27.29±4.25	—	—	—	—
紫苏醛	13582.28±277.37 ^b	28958.05±2991.27 ^a	9571.66±565.84 ^c	220.82±12.61 ^d	712.60±32.68 ^d
橙花醛	—	290.89±33.43 ^a	300.39±16.69 ^a	39.76±4.42 ^b	—
柠檬醛	—	—	560.62±41.6 ^a	48.66±4.87 ^c	336.04±3.15 ^b
枯茗醛	—	—	2278.49±467.55 ^a	—	480.43±9.82 ^b
酮类(6种)					
3,5-辛二烯-2-酮	46.97±1.97 ^d	52.37±0.16 ^c	87.59±15.27 ^b	67.37±4.39 ^c	156.77±2.38 ^a
香薷酮	—	—	18976.08±2069.53	—	—
紫苏酮	—	—	102545.56±7423.47 ^b	420.40±15.36 ^c	166091.05±2940.65 ^a
异白苏烯酮	—	70.03±4.98 ^b	23901.79±3077.67 ^a	—	2149.52±13.36 ^b
反式-β-紫罗兰酮	136.25±11.91 ^b	—	—	—	394.46±12.46 ^a
2-乙酰基呋喃	7721.23±175.15 ^a	217.57±0.26 ^b	—	—	—
醇类(5种)					
1-辛烯-3-醇	926.83±204.73 ^c	676.66±177.58 ^{cd}	479.56±42.69 ^d	1373.55±14.87 ^b	2768.29±80.38 ^a
芳樟醇	1832.20±78.46 ^c	4492.79±425.53 ^b	7293.61±380.39 ^a	—	1025.73±15.67 ^d
4-萜烯醇	33.31±0.71 ^a	21.12±1.40 ^b	—	—	—
橙花醇	54.50±4.69 ^c	128.72±28.71 ^b	259.79±21.41 ^a	—	—
反式-紫苏尔	168.79±10.01 ^a	532.32±135.66 ^a	—	—	—
芳香类(6种)					
苯乙烯	—	32.38±5.04	—	—	—
安息香醛	1769.30±273.32 ^b	600.59±31.35 ^{cd}	963.88±210.58 ^c	294.51±20.26 ^d	3123.14±157.9 ^a
苯乙醛	166.03±18.01 ^c	167.31±1.38 ^c	411.86±4.24 ^a	148.56±0.43 ^c	380.55±5.89 ^b
茴香脑	—	—	—	—	876.25±1.86
榄香素	98.80±4.52 ^b	—	—	6819.43±690.42 ^a	—
丁香酚	1279.61±148.75 ^c	2114.07±37.41 ^b	—	978.24±31.47 ^c	6152.03±284.55 ^a
萜类(19种)					
α-蒎烯	43.46±5.46 ^b	126.01±17.43 ^a	—	—	—
α-水芹烯	57.01±2.57 ^b	212.61±26.05 ^a	—	—	—

续表 1

物质名称	含量(μg/kg)				
	CQ	GX	BJ	HN	LN
D-柠檬烯	1668.41±60.51 ^b	6463.59±1033.40 ^a	510.93±28.67 ^{bc}	79.18±0.06 ^c	1022.08±10.99 ^{bc}
γ-松油烯	20.78±3.38 ^b	44.71±2.19 ^a	—	—	—
2-萜烯	62.33±2.92 ^b	106.38±11.03 ^a	—	—	—
桉叶油醇	—	278.97±71.68	—	—	—
紫苏烯	—	—	—	3890.11±133.10	—
γ-榄香烯	163.72±17.87 ^c	707.86±108.75 ^a	347.99±50.47 ^b	27.32±1.13 ^c	306.66±62.88 ^{bc}
椰油烯	173.72±5.52 ^b	190.32±44.33 ^b	201.96±31.42 ^b	55.57±1.15 ^c	289.72±46.78 ^a
β-波旁烯	76.03±2.44 ^b	—	133.35±19.15 ^a	75.19±5.20 ^b	176.66±24.17 ^a
石竹烯	1741.63±235.32 ^b	4141.97±1140.43 ^{ab}	4798.13±982.40 ^{ab}	3123.73±59.93 ^b	5445.82±1115.55 ^a
阿罗丹德烯	91.16±14.28 ^b	232.45±25.78 ^{ab}	206.35±101.06 ^{ab}	104.64±1.77 ^b	326.05±58.01 ^a
律草烯	205.84±34.55 ^c	517.18±168.52 ^{bc}	561.33±110.24 ^b	372.08±11.20 ^{bc}	928.76±224.77 ^a
反式-α-佛手柑	570.20±100.55 ^c	1937.71±596.17 ^b	2768.91±799.64 ^{ab}	523.22±4.51 ^c	3450.93±641.43 ^a
α-法呢烯	108.42±14.74 ^b	196.26±6.68 ^b	287.93±82.21 ^{ab}	127.37±23.09 ^b	420.34±115.74 ^a
γ-衣兰油烯	140.37±25.26 ^b	117.86±33.04 ^b	406.38±25.86 ^a	110.61±3.65 ^b	466.43±149.27 ^a
δ-杜松烯	132.25±16.82 ^b	279.64±9.08 ^{ab}	325.77±80.74 ^a	—	—
α-衣兰油烯	27.42±2.15 ^b	52.56±14.93 ^{ab}	89.60±18.54 ^a	—	—
石竹烯氧化物	49.05±4.43 ^b	68.44±18.64 ^b	116.14±13.67 ^a	—	—
其他类(6种)					
苯甲酸甲酯	69.11±0.51 ^b	62.39±3.26 ^b	—	38.52±2.93 ^c	555.91±5.39 ^a
水杨酸甲酯	551.96±46.07 ^c	1189.52±12.06 ^a	568.76±77.84 ^c	730.42±53.41 ^b	458.37±11.54 ^c
反式-香叶酸甲酯	—	142.87±24.57 ^b	687.13±79.49 ^a	39.42±4.30 ^b	—
苯甲酸叶醇酯	25.78±0.13 ^c	68.35±7.24 ^b	—	—	315.22±3.55 ^a
棕榈酸甲酯	17.42±3.55 ^b	30.28±3.74 ^b	—	11.99±2.26 ^b	150.09±13.91 ^a
2-乙基呋喃	548.89±45.73 ^b	326.30±12.55 ^c	695.98±83.67 ^a	236.59±21.37 ^c	644.21±55.93 ^{ab}

注：“—”表示样品中未检出该物质，同行中不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)；表3同。

2.2 紫苏水提物对调理鲢鱼片气味轮廓的影响

电子鼻是基于金属氧化物传感器的生物嗅觉系统，是分析产品挥发性气味特征的重要工具。六组调理鲢鱼片电子鼻响应值的主成分分析结果如图 2(a) 所示。由主成分分析结果可知，主成分 1(PC1)和主成分 2(PC2)的贡献率分别为 69.17% 和 15.80%，累积贡献率为 84.97%，表明主成分分析结果能够反映不同产地紫苏水提物制备的调理鲢鱼片的整体挥发性气味特征。六组样品分别落在图中的独立区域，说明六组样品的气味特征具有显著差异。

进一步地，对六组鱼片样品的气味特性进行定量描述及分析，结果见图 2(b)。感官评价结果表明，六组鱼片的气味属性及整体气味强度存在显著性差异($P<0.05$)。CK 组鱼片具有较重的鱼腥味及泥土味，经紫苏水提物浸渍调理后，鲢鱼片的土腥味明显下降，并呈现出明显的草本味及柑橘味，尤其是 GX 组和 CQ 组，其草本味明显高于其他样品组，但柑橘味较 BJ、HN、LN 组略有降低。整体而言，GX 组鱼片具有较弱的鱼腥味及泥土味，整体气味更为协调。紫苏作为一种草本类植物，具有浓郁的植物风味，如

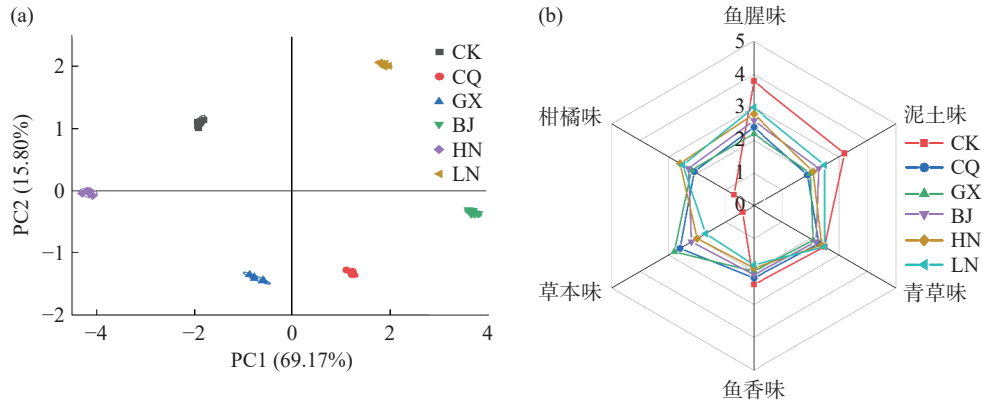


图 2 不同产地紫苏水提物调理鲢鱼片的气味特征主成分分析图(a)及感官评价雷达图(b)

Fig.2 Principal component analysis (a) and radar chart of sensory evaluation (b) of silver carp fillets prepared with *Perilla* water extract from different regions

草本味、青草味、花香味等^[23]。因此,在浸渍液中添加适量的紫苏水提取物能够通过气味掩蔽作用减少生鲜鱼片的腥异味。但是,紫苏水提取物中影响鱼片气味感官的具体物质仍需进一步分析鉴定。

2.3 典型调理鲢鱼片样本中气味物质的鉴定

结合气味感官的实验结果,选取鱼腥味最弱的 GX 组为紫苏水提取物浸渍处理的典型调理鲢鱼片样品,以鱼腥味最强的 CK 组作为对照,提取其中的挥发性气味成分,并采用 GC-MS/O 法鉴定调理鲢鱼片中的气味化合物。表 2 为在两组典型调理鲢鱼片样品中鉴定出的气味物质及其气味强度值。在 CK、GX 两组鱼片样品中分别鉴定出 36 种、40 种挥发性气味化合物。

在 CK 组中,具有青草味的己醛、油脂味的(E)-2-壬烯醛、黄瓜味的(E,E)-2,4-壬二烯醛,以及呈现鱼腥味的(E,E)-2,4-癸二烯醛在稀释至 100 倍时仍有较高的 Q 值(≥ 3),研究认为,这四种物质对于鲢鱼的特征风味有重要贡献,是导致鲢鱼产生令人不快的鱼腥味的关键气味成分^[24]。在 GX 组紫苏水提取物调理鲢鱼片中,呈现柠檬味的 D-柠檬烯、花香味的芳樟醇、草本味的紫苏醛、丁香味的丁香酚在高稀释倍数时仍具有较高的 Q 值(≥ 3),这些物质被认为是紫苏中重要的挥发性气味物质^[25]。由该结果可知,紫苏中呈现特殊香气的气味物质会引入到调理鱼片中,进而影响调理鱼片的气味品质。

表 2 采用 AEDA 在 HP-5ms 柱上检测典型调理鲢鱼片中气味物质的强度及 Q 值
Table 2 Intensities and the Q-values of aroma compounds in typical seasoned silver carp fillets detected by AEDA on HP-5ms column

RI	物质名称	鉴定方法 ^a	气味特性	CK					GX				
				强度 ^b				Q ^c	强度 ^b				Q ^c
				1	10	100	1000		1	10	100	1000	
690	戊醛	RIL,MS,A	杏仁味	/	/	/	/	/	2.6	1.1	/	/	1.5
713	3-羟基-2-丁酮	RIL,MS,A	酸奶味	2.8	2.4	/	/	1.8	2.3	0.7	/	/	1.2
754	(E)-2-戊烯醛	RIL,MS,A	青草味	1.9	/	/	/	0.3	/	/	/	/	/
790	2-己酮	RIL,MS,A	腐烂的苹果味	2.3	1.1	/	/	1.4	2.2	1.3	/	/	1.5
811	2-己醇	RIL,MS,A	酒味,水果味	1.9	/	/	/	0.3	2.1	/	/	/	0.3
822	己醛	RI,MS,A	青草味	2.7	2.2	0.6	/	3.6	2.3	/	/	/	0.4
867	2-甲基戊酸甲酯	RIL,MS,A	热带水果味	2.3	/	/	/	0.4	2.4	/	/	/	0.4
902	庚醛	RIL,MS,A	柑橘味	2.1	1.8	/	/	1.6	/	/	/	/	/
914	2-乙酰基呋喃	RIL,MS,A	杏仁味	1.6	/	/	/	0.2	2.1	/	/	/	0.3
961	安息香醛	RIL,MS,A	花香味	1.8	/	/	/	0.3	1.6	0.9	/	/	1.2
970	1-庚醇	RIL,MS,A	油脂味	1.4	/	/	/	0.1	/	/	/	/	/
980	苯酚	RIL,MS,A	药片味	1.5	/	/	/	0.2	1.4	/	/	/	0.1
986	1-辛烯-3-醇	RI,MS,A	蘑菇味	1.6	0.8	/	/	1.1	2.1	1.2	/	/	1.4
993	2-戊基呋喃	RIL,MS,A	泥土味	2.3	1.3	/	/	1.5	1.9	/	/	/	0.3
994	3-辛酮	RIL,MS,A	绿霉味	2.3	/	/	/	0.4	2.2	/	/	/	0.3
996	α -水芹烯	RIL,MS,A	柑橘味,草药味	/	/	/	/	/	1.5	/	/	/	0.2
1002	辛醛	RIL,MS,A	柑橘味	2.8	1.4	/	/	1.6	1.3	/	/	/	0.1
1012	(E,E)-2,4-庚二烯醛	RI,MS,A	油脂味,鱼腥味	2.1	1.6	/	/	1.5	1.6	/	/	/	0.2
1017	D-柠檬烯	RI,MS,A	柠檬味,柑橘味	2.1	/	/	/	0.3	3.2	2.6	1.1	/	4.0
1033	苯甲醇	RIL,MS,A	花香味	2.5	/	/	/	0.4	2.2	/	/	/	0.3
1093	芳樟醇	RIL,MS,A	花香味	/	/	/	/	/	3.1	2.2	1.2	/	3.9
1104	壬醛	RIL,MS,A	脂肪味	2.4	1.7	/	/	1.6	1.9	/	/	/	0.3
1118	麦芽酚	RIL,MS,A	焦糖味	1.3	/	/	/	0.1	1.5	/	/	/	0.2
1156	(E)-2-壬烯醛	RIL,MS,A	油脂味	2.3	1.8	0.8	/	3.5	1.4	/	/	/	0.1
1182	辛酸	RIL,MS,A	酸味	2.1	2.2	/	/	1.7	1.5	/	/	/	0.2
1190	α -松油醇	RIL,MS,A	桃子味	/	/	/	/	/	2.1	1.5	/	/	1.5
1193	苯甲酸	RIL,MS,A	臭味	1.3	/	/	/	0.1	1.1	/	/	/	/
1208	癸醛	RIL,MS,A	油脂味	1.9	0.6	/	/	0.3	1.8	/	/	/	0.3
1215	(E,E)-2,4-壬二烯醛	RI,MS,A	黄瓜味	3.2	1.6	1	/	3.7	2.8	2.2	/	/	1.8
1222	苯并噻唑	RIL,MS,A	花香味,橡胶味	1.7	/	/	/	0.2	1.5	/	/	/	0.2
1263	(E)-2-癸烯醛	RIL,MS,A	油脂味,汗臭味	1.6	/	/	/	0.2	1.4	/	/	/	0.1
1271	4-甲基-5-噻唑乙醇	RIL,MS,A	坚果味	2.5	1.2	/	/	0.4	/	/	/	/	/
1280	壬酸	RIL,MS,A	脂肪味	2.1	/	/	/	0.3	1.9	/	/	/	0.3
1283	紫苏醛	RIL,MS,A	草本味	/	/	/	/	/	3.8	2.6	1.2	/	4.1
1294	2-十一酮	RIL,MS,A	鱼腥味,橡胶味	2.1	/	/	/	0.3	2.3	0.9	/	/	1.3
1318	(E,E)-2,4-癸二烯醛	RI,MS,A	鱼腥味	2.1	1.6	1.3	/	3.6	1.8	1.1	/	/	1.3
1354	香叶酸	RIL,MS,A	苹果味	/	/	/	/	/	1.7	/	/	/	0.2

续表 2

RI	物质名称	鉴定方法 ^a	气味特性	CK					GX				
				强度 ^b				Q ^c	强度 ^b				Q ^c
				1	10	100	1000		1	10	100	1000	
1355	丁香酚	RI,MS,A	丁香味,辛辣味	2.8	2.2	/	/	1.8	4	3.2	2.6	/	4.5
1387	癸酸	RIL,MS,A	腐臭味	1.8	1.2	/	/	1.3	/	/	/	/	/
1431	石竹烯	RI,MS,A	木质味	/	/	/	/	/	2.1	1.6	/	/	1.5
1438	反式- α -佛手柑	RIL,MS,A	柑橘味	/	/	/	/	/	2.4	/	/	/	0.4
1454	邻苯二甲酸二甲酯	RIL,MS,A	芳香味	1.6	/	/	/	0.2	/	/	/	/	/
1488	反式- β -紫罗兰酮	RIL,MS,A	花香味	/	/	/	/	/	2.6	/	/	/	0.4
1513	2,4-二叔丁基苯酚	RIL,MS,A	灰尘味	2.6	2.3	/	/	1.8	1.7	/	/	/	0.2
1608	柏木醇	RIL,MS,A	柏木味	/	/	/	/	/	1.8	/	/	/	0.3
1627	γ -十二内酯	RIL,MS,A	桃子味	2.3	/	/	/	0.4	2	/	/	/	0.3

注:“/”:未在调理鱼片中检测到该化合物;a:RI表示该化合物已通过化合物标准的保留指数得到确认,RIL表示该化合物根据NIST的保留指数初步鉴定,MS表示该化合物的质谱与真实化合物的质谱一致,A表示该化合物是通过报道的气味描述鉴定的;b:1、10、100、1000表示气味提取物的稀释倍数,强度为小组成员的平均强度;c:Q代表Q值。

2.4 六组调理鲢鱼片中挥发性气味物质分析

为验证典型调理鲢鱼片中气味物质的定性结果,并分析六组调理鲢鱼片样品间挥发性气味化合物的差异,基于GC-MS/O的结果,进一步采用SAFE-GC-MS对六组调理鲢鱼片中的气味物质进行半定量分析。紫苏水提物调理鲢鱼片中挥发性化合物的总离子色谱图如图3所示,其气味物质的组成和含量见表3。

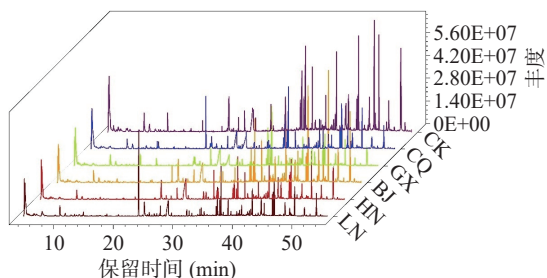


图3 紫苏水提物调理鲢鱼片中挥发性化合物的总离子色谱图

Fig.3 Total ion chromatogram of volatile compounds in seasoned silver carp fillets prepared with *Perilla* water extract

在鉴定出的气味物质中,醛类是调理鲢鱼片中最主要的气味成分,主要包括C5~C10饱和醛以及不饱和醛,如己醛、庚醛、壬醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E)-2-癸烯醛等,其主要源于不饱和脂肪酸的氧化,多呈现青草味、脂肪味、鱼腥味等,由于其低气味阈值及强烈的气味叠加效应^[24,26],对淡水鱼的鱼腥味具有显著的贡献^[27]。在CK组中,(E)-2-戊烯醛、己醛、壬醛的含量较高(>40 $\mu\text{g/kg}$),且大部分醛类物质在稀释10倍时仍可以嗅闻到。与CK组相比,经紫

苏水提物处理后,鱼片中气味物质类型及浓度均表现出显著的变化。CQ、GX、BJ、HN组鱼片中醛类物质总量相较于CK组分别下降了52.84%、48.24%、50.89%、74.69%。

酮类物质可能来源于细菌代谢、多不饱和脂肪酸的氧化/降解和氨基酸降解^[28],在鉴定出的酮类物质中CQ组中2-乙酰基呋喃和LN组中紫苏酮含量显著高于其他样品组($P<0.05$),这可能与不同产地紫苏水提物的成分组成差异有关。在调理鱼片中鉴定出的醇类物质有2-己醇、1-庚醇、1-辛烯-3-醇,脂质的氧化是醇类的主要产生途径。在鱼片中鉴定出的酸类物质主要为短链脂肪酸,如辛酸、壬酸、癸酸等,它们源于氨基酸的分解代谢或脂质自氧化,易导致酸味和腐臭味^[29],经紫苏水提物处理后,鱼片中酸类物质总量显著下降($P<0.05$)。

此外,由表3可知,相较于CK组,在腌制液中添加紫苏水提物后,鱼片中萜类物质的种类及含量明显增加,包括萜醛(紫苏醛)、萜酮(紫苏酮、反式- β -紫罗兰酮)、萜醇(芳樟醇)、萜烯(石竹烯、 α -水芹烯),这些物质多呈现木质、花香、果香。萜类是天然香料的主要成分,也是天然抗氧化剂的有效来源,如紫苏中的紫苏醛、D-柠檬烯等除具有特殊芳香外,还具有抗菌、抗氧化活性^[23]。此外,萜类物质多呈现出愉悦的植物风味,且气味阈值相对较低,因此有助于掩蔽鱼片异味并促进形成更愉悦的风味特征。Wang等^[30]研究结果显示在水煮绿鳍马面鲀中添加紫苏多酚提取物能显著减少鱼肉中的脂肪族醛,减弱鱼肉的鱼腥味并提高产品的整体可接受度。

表3 紫苏水提物调理鲢鱼片中挥发性气味化合物的含量

Table 3 Contents of aroma compounds in seasoned silver carp fillets prepared with *Perilla* water extract

物质名称	含量($\mu\text{g/kg}$)					
	CK	CQ	GX	BJ	HN	LN
醛类(12种)						
戊醛	—	98.30 $\pm$ 18.09 ^b	120.47 $\pm$ 8.22 ^b	91.03 $\pm$ 25.48 ^b	—	159.80 $\pm$ 0.14 ^a

续表 3

物质名称	含量(μg/kg)					
	CK	CQ	GX	BJ	HN	LN
(E)-2-戊烯醛	181.86±1.25 ^a	—	—	—	22.14±2.61 ^b	22.95±0.88 ^b
己醛	134.28±3.78 ^b	44.42±4.73 ^c	30.23±2.65 ^c	40.68±0.69 ^c	—	232.77±33.18 ^a
庚醛	22.11±0.39 ^a	—	—	—	—	25.44±1.84 ^a
辛醛	19.35±0.34 ^b	11.47±1.81 ^b	15.01±3.58 ^b	29.34±2.20 ^a	14.11±0.79 ^b	23.85±7.22 ^{ab}
(E,E)-2,4-庚二烯醛	21.69±0.31 ^a	8.77±0.31 ^b	12.48±0.18 ^b	9.90±2.55 ^b	6.79±2.26 ^b	26.91±6.72 ^a
壬醛	46.03±0.98 ^a	28.48±3.72 ^b	31.93±8.86 ^b	33.44±2.43 ^b	28.82±0.54 ^b	50.50±7.34 ^a
(E)-2-壬烯醛	18.75±1.95 ^a	4.08±0.33 ^b	7.29±1.41 ^b	6.91±1.38 ^b	7.32±0.84 ^b	17.36±1.54 ^a
癸醛	17.94±0.65 ^{ab}	18.16±2.19 ^{ab}	16.82±1.34 ^b	17.37±0.84 ^b	20.52±0.79 ^a	20.15±0.94 ^{ab}
(E,E)-2,4-壬二烯醛	18.06±3.00 ^b	21.32±1.15 ^{ab}	21.58±3.70 ^{ab}	18.72±2.26 ^b	12.40±3.62 ^b	32.31±10.43 ^a
(E)-2-癸烯醛	23.23±2.28 ^a	7.94±0.04 ^c	14.12±2.00 ^b	9.08±0.68 ^c	10.57±0.72 ^{bc}	25.36±2.42 ^a
(E,E)-2,4-癸二烯醛	38.34±1.45 ^a	12.51±0.26 ^b	10.44±1.98 ^b	9.56±2.51 ^b	14.40±1.05 ^b	37.78±9.07 ^a
酮类(5种)						
3-羟基-2-丁酮	189.17±0.60 ^a	79.56±0.67 ^c	82.28±4.56 ^c	101.34±0.57 ^b	106.81±8.24 ^b	105.60±10.05 ^b
2-己酮	129.49±1.74 ^c	126.59±2.63 ^c	128.89±7.57 ^c	127.38±4.45 ^c	179.30±12.00 ^a	163.15±5.03 ^b
3-辛酮	34.87±0.73 ^a	32.04±7.85 ^a	29.56±5.44 ^{ab}	15.82±1.72 ^b	32.76±4.50 ^a	29.96±9.37 ^{ab}
2-十一酮	56.04±1.80 ^a	25.04±0.17 ^b	30.46±1.37 ^b	75.69±15.28 ^a	61.38±11.01 ^a	68.18±5.28 ^a
2-乙酰基呋喃	17.34±0.16 ^b	798.26±107.36 ^a	29.02±1.30 ^b	—	—	—
醇类(3种)						
2-己醇	107.11±13.30 ^b	110.24±0.77 ^b	126.72±13.01 ^{ab}	114.29±3.66 ^b	136.26±4.41 ^{ab}	144.29±10.46 ^a
1-庚醇	11.63±2.15 ^b	—	—	—	—	55.24±7.75 ^a
1-辛烯-3-醇	30.06±5.07 ^c	85.45±3.48 ^a	42.60±7.39 ^b	18.47±2.48 ^d	42.41±4.60 ^b	77.76±2.82 ^a
酸类(3种)						
辛酸	30.23±6.54 ^a	18.40±1.08 ^{bc}	10.18±1.08 ^c	18.28±0.59 ^{bc}	13.69±2.78 ^{bc}	19.50±4.38 ^b
壬酸	50.00±5.37 ^a	43.97±2.70 ^a	33.54±10.83 ^b	46.74±17.45 ^a	43.86±7.47 ^a	67.15±9.83 ^a
癸酸	54.06±2.77 ^a	15.56±0.51 ^b	—	—	—	—
芳香类(7种)						
安息香醛	57.38±0.33 ^c	51.25±0.05 ^{cd}	46.96±2.80 ^d	67.18±4.49 ^b	38.48±0.39 ^d	83.84±6.66 ^a
苯酚	29.85±0.42 ^c	35.89±2.69 ^b	27.39±2.39 ^c	22.51±1.15 ^d	26.80±0.43 ^c	47.61±4.65 ^a
苯甲醇	68.19±3.40 ^b	155.77±5.38 ^a	43.07±7.39 ^c	39.06±5.72 ^c	57.16±6.03 ^b	69.53±5.40 ^b
麦芽酚	6.05±0.75 ^c	12.03±1.28 ^b	11.51±1.56 ^b	10.17±0.24 ^b	12.75±1.60 ^{ab}	14.91±0.91 ^a
丁香酚	166.98±1.56 ^c	198.16±28.24 ^{bc}	312.06±16.67 ^a	191.17±6.39 ^{bc}	223.97±14.51 ^b	200.08±9.51 ^{bc}
苯甲酸	8.17±1.17 ^d	55.54±1.39 ^a	6.14±0.94 ^d	12.22±0.72 ^c	14.77±1.54 ^c	19.16±1.26 ^b
2,4-二叔丁基苯酚	130.50±3.18 ^{ab}	56.53±11.04 ^b	65.76±2.52 ^b	119.08±63.85 ^{ab}	157.12±25.44 ^a	102.79±2.56 ^{ab}
萜类(11种)						
紫苏醛	—	88.63±8.58 ^a	174.09±29.76 ^a	—	—	—
α-水芹烯	—	10.20±0.26 ^a	10.59±0.29 ^a	—	—	—
香叶酸	—	21.10±0.96 ^a	16.90±3.45 ^a	—	—	—
紫苏酮	—	—	—	234.78±13.78 ^b	32.19±17.99 ^b	2340.23±255.95 ^a
D-柠檬烯	23.67±2.47 ^c	159.48±11.83 ^b	229.77±10.32 ^a	32.01±5.25 ^c	23.41±3.35 ^c	25.06±7.89 ^c
芳樟醇	—	36.17±1.48 ^b	121.54±2.39 ^a	30.18±1.14 ^c	30.73±3.24 ^c	14.37±2.86 ^d
α-松油醇	—	18.54±1.06 ^a	26.85±3.00 ^a	—	—	—
柏木醇	—	19.97±1.75 ^b	19.48±0.91 ^b	20.16±1.74 ^b	20.01±3.37 ^b	28.50±1.35 ^a
石竹烯	—	56.78±3.08 ^a	59.11±6.77 ^a	35.77±1.64 ^b	25.95±1.74 ^c	14.79±2.44 ^d
反式-α-佛手柑	—	22.80±3.81 ^b	37.97±4.51 ^a	26.85±3.47 ^b	—	—
反式-β-紫罗兰酮	—	—	13.10±2.28 ^a	12.63±9.92 ^a	—	13.80±0.16 ^a
其他类(6种)						
2-甲基戊酸甲酯	13.10±1.69 ^{ab}	16.74±1.66 ^a	14.96±2.19 ^a	12.41±0.46 ^{ab}	7.60±0.33 ^b	17.94±5.01 ^a
2-戊基呋喃	23.13±12.28 ^b	14.78±0.47 ^b	11.38±2.42 ^b	21.75±0.62 ^b	13.23±0.03 ^b	38.44±3.22 ^a
苯并噻唑	9.74±1.76 ^b	7.39±1.83 ^b	7.25±0.00 ^b	15.09±5.17 ^{ab}	16.63±2.58 ^a	10.89±0.66 ^{ab}
γ-十二内酯	25.22±7.16 ^b	11.89±0.06 ^b	16.09±1.23 ^b	25.00±8.96 ^b	54.32±10.61 ^a	47.89±8.39 ^a
4-甲基-5-噻唑乙醇	473.91±21.48 ^b	302.04±23.70 ^c	—	654.53±58.69 ^a	647.71±111.03 ^a	494.32±20.44 ^b
邻苯二甲酸二甲酯	35.05±1.82 ^a	—	—	23.31±1.30 ^b	21.63±2.53 ^b	22.73±0.32 ^b

注: “—”表示样品中未检出该物质,同行中不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

2.5 紫苏叶及调理鲢鱼片中挥发性气味物质指纹图谱分析

然而仅根据表1及表3比较不同种类的紫苏叶或调理鱼片样品之间的差异是复杂且不直观的。因

此通过对表1、表3中气味物质的含量进行归一化处理,构建了五种紫苏叶及六组调理鱼片的气味指纹图谱,见图4,进而可视化地显示不同样本之间气味物质组成及含量的变化。香气成分对应模块的颜色

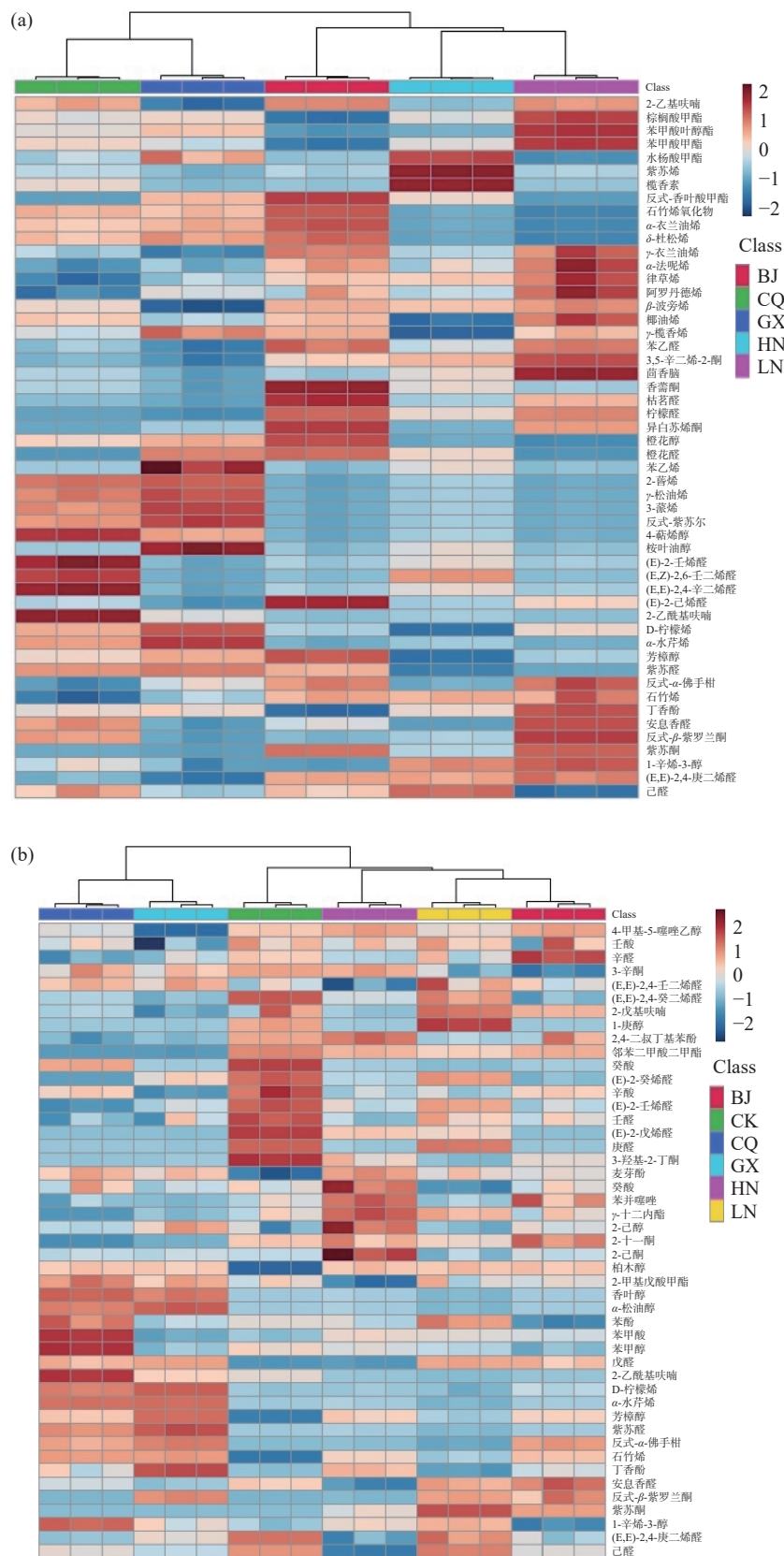


图4 紫苏叶(a)和调理鱼片(b)的气味指纹图谱

Fig.4 Flavor fingerprint of *Perilla* leaves (a) and seasoned silver carp fillets (b)

越红表示该气味物质的含量越高,颜色越蓝表示该气味物质的含量越低^[19]。

通过对紫苏叶及调理鱼片中的气味成分进行分析,共发现 14 种共有成分,包括己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、1-辛烯-3-醇、紫苏酮、反式- β -紫罗兰酮、安息香醛、丁香酚、石竹烯、反式- α -佛手柑、紫苏醛、芳樟醇、 α -水芹烯、D-柠檬烯、2-乙酰基呋喃,其中大多数香气成分在五种紫苏叶及其调理鱼片中呈现出相似的变化趋势,如紫苏醛、芳樟醇在 CQ、GX 组紫苏叶及其调理鱼片中显示出较高的含量,(E,E)-2,4-庚二烯醛、1-辛烯-3-醇在 LN 组紫苏叶及其调理鱼片中显示出较高的含量。调理鱼片与紫苏叶的聚类分析结果(图 4)也显示两者聚类结果相一致,该结果进一步表明紫苏水提物会影响及改变调理鱼片中挥发性气味化合物的组成及含量,且不同产地紫苏水提物改善鱼片风味的能力存在差异。

聚类分析结果(图 4(b))显示,六组调理鱼片分为两大类,BJ、HN、LN 组鱼片与 CK 组聚为一类,CQ、GX 组鱼片聚为一类。基于六组调理鱼片中挥发性气味物质的 PCA 分析结果(图 5)进一步显示了香气成分与样品之间的关系。由双标图可知大多数醛类、酸类成分与 CK 组样品呈正相关,如(E)-2-癸烯醛、(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、己醛、辛酸等,这些物质多呈现青草味、鱼腥味、油脂味等,与 CK 组样品“鱼腥味”评分较高一致。而大多数萜类物质与 GX、CQ 组呈现正相关,如 D-柠檬烯、紫苏醛等。尽管 BJ、HN、LN 组中也含有萜类成分,但萜

类物质数量及含量远低于 CQ、GX 组, 含量较高的紫苏酮也由于较高的气味阈值^[31], 对鱼片气味改善的贡献较小。杨蓉蓉^[32]采用八角茴香提取物腌制鲑鱼, 结果显示八角茴香提取物中茴香脑、茴香醛、芳樟醇等的引入能够增强风干鲑鱼的气味强度并改善其风味。由图 4(b)可明显看出 CQ、GX 组均显示出较高含量的紫苏醛(草本味)、D-柠檬烯(柑橘味)、石竹烯(木质味)、芳樟醇(花香味), 结合感官评价及 AEDA 结果, 这几种物质的引入可能是改善鱼片气味品质的关键, 也是 CQ、GX 组鱼片感官评分高于其他各组的原因。

3 结论

本研究采用感官评价、电子鼻、GC-MS/O 等技术探讨了不同产地紫苏水提物对鲢鱼片感官特性和挥发性香气化合物的影响。在腌制液中添加紫苏水提物能够显著减弱鲢鱼片的土腥味并改善其气味品质,且添加不同产地紫苏水提物的调理鲢鱼片的气味品质存在明显差异,其中 CQ、GX 组鱼片的气味品质优于 BJ、HN、LN 组。AEDA 及指纹图谱分析结果显示,CQ、GX 组紫苏水提物中富含的紫苏醛、芳樟醇、D-柠檬烯、石竹烯等是改善鲢鱼片气味品质的关键组分。综合以上结果表明紫苏水提物对鲢鱼片气味品质的改善能力与紫苏叶产地及紫苏叶挥发性化合物组成有关,富含紫苏醛的 CQ、GX 组紫苏叶制备的紫苏水提物更适宜于制备调理鱼片。在后续的研究中可以进一步扩大紫苏的采集样本量,对紫苏产地及品种进行有意识地筛选,为调理水产制品专用紫苏品种的选育提供一定的参考。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 黄卉, 陈胜军, 赵永强, 等. 水产品预制菜加工与质量安全控制技术进展[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(6): 152-160. [HUANG Hui, CHEN Shengjun, ZHAO Yongqiang, et al. Research advances on processing and quality safety control technology of aquatic pre-made products[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(6): 152-160.]
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation[R]. Rome, FAO, 2022.
- [3] GU S, DAI W, CHONG Y, et al. The binding of key fishy off-flavor compounds to silver carp proteins: A thermodynamic analysis[J]. *RSC Advances*, 2020, 10(19): 11292-11299.
- [4] PRESENZA L, FERRAZ TEIXEIRA B, ANTUNES GALVÃO J, et al. Technological strategies for the use of plant-derived compounds in the preservation of fish products[J]. *Food Chemistry*, 2023, 419: 136069.
- [5] 周若琳, 胡盛本, 姚磊, 等. 草鱼不同部位挥发性成分分析及生姜脱除草鱼腥味物质的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(20): 177-182. [ZHOU Ruolin, HU Shengben, YAO Lei, et al.

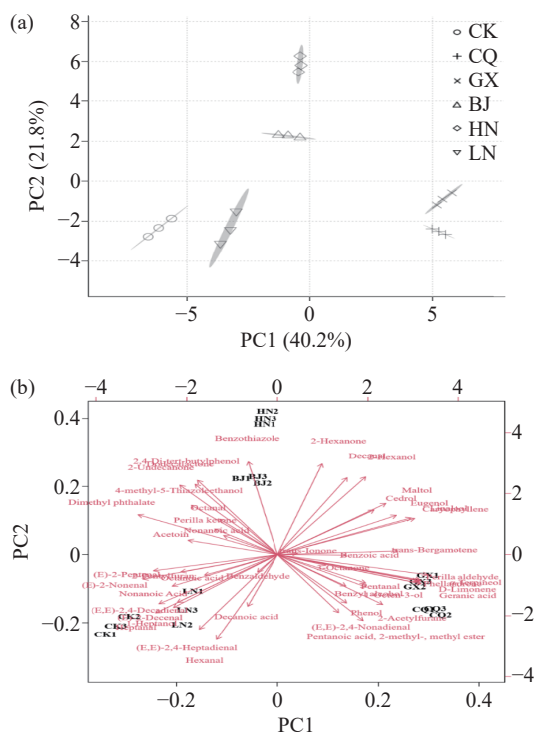


图5 调理鱼片挥发性气味物质主成分分析得分图(a)和双标图(b)

Fig.5 Principal component analysis score plot (a) and biplot (b) of aroma compounds in seasoned silver carp fillets

- Volatiles from different parts of grass carp and the process of ginger in removing fishy smell[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(20): 177-182.]
- [6] 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. [YAO Xiaobo, XIONG Guangquan, QIAO Yu, et al. Effect of yeast extract and rosemary extract on bass flavor[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(2): 144-150.]
- [7] 黄丕苗, 王智荣, 陈涓慧, 等. 迷迭香提取物对白鲢鱼肉腥味的的影响及其脱腥条件优化[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(6): 176-183. [HUANG Pimiao, WANG Zhirong, CHEN Xuhui, et al. Effect of rosemary extract on the fishy odour of silver carp and the optimization of deodorizing conditions[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(6): 176-183.]
- [8] 张海燕, 吴燕燕, 李来好, 等. 响应面法优化海鲈鱼片脱腥工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(11): 143-149. [ZHANG Haiyan, WU Yanyan, LI Laihao, et al. Optimized deodorization process of *Lateolabrax japonicus* fillets by response surface methodology[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(11): 143-149.]
- [9] 吴燕燕, 朱小静, 林婉玲, 等. 香菜和香茅对鲜鲈鱼片的脱腥、抑菌效果[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(12): 188-194. [WU Yanyan, ZHU Xiaojing, LIN Wanling, et al. Effect of Chinese parsley (*Coriandrum sativum*) and citronella (*Moslachinensis maxim*) on removing fishy taste and bacteriostasis of fresh *Micropterus salmoides* fillets[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(12): 188-194.]
- [10] 林霞, 陈峥, 朱育菁, 等. 3种紫苏属植物鲜叶的挥发性物质的异质性分析[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(3): 586-595. [LIN Xia, CHEN Zheng, ZHU Yujing, et al. Heterogeneity analysis of volatile components of fresh leaves of three *Perilla* plants[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(3): 586-595.]
- [11] 林婉玲, 丁莫, 杨贤庆, 等. 紫苏水提物联合蒸煮处理对脆肉鲩鱼片冻藏过程中品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(13): 237-244. [LIN Wanling, DING Mo, YANG Xianqing, et al. Effect of steam cooking combined with water extract from *Perilla* leaves on the quality of prepared crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) fillets during frozen storage[J]. *Food Science*, 2019, 40(13): 237-244.]
- [12] 丁莫, 林婉玲, 李来好, 等. 紫苏叶水提物对调理脆肉鲩鱼片冷藏过程中品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(23): 250-255. [DING Mo, LIN Wanling, LI Laihao, et al. Effect of water extract from *Perilla* leaf on the quality changes of prepared crisp grass carp fillets during chilling storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(23): 250-255.]
- [13] 牛宇光, 杨宏, 王玉栋, 等. 紫苏提取物对白鲢鱼糜挥发性成分及贮藏品质的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(4): 124-134. [NIU Yuguang, YANG Hong, WANG Yudong, et al. Effects of *Perilla* extract on volatile components and storage quality of silver carp surimi[J]. *Journal of Northwest A & F University (Nat Sci Ed)*, 2022, 50(4): 124-134.]
- [14] 鲍佳丽, 方旭波, 陈小娥, 等. 巴沙鱼片脱腥工艺优化及腥味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(6): 70-76. [BAO Jiali, FANG Xubo, CHEN Xiaoe, et al. Optimization of deodorization process and analysis of fishy aftertaste substances in *Pangasius bo-courti* fillets[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(6): 70-76.]
- [15] 于二汝, 袁婷婷, 杨航, 等. 14份紫叶紫苏叶片营养综合评价及精油型分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(24): 311-319. [YU Erru, YUAN Tingting, YANG Hang, et al. Comprehensive nutritional evaluation and essential oil type analysis of 14 purple *Perilla frutescens* lines[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(24): 311-319.]
- [16] WEI S, XIAO X, WEI L, et al. Development and comprehensive HS-SPME/GC-MS analysis optimization, comparison, and evaluation of different cabbage cultivars (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) volatile components[J]. *Food Chemistry*, 2021, 340: 128166.
- [17] 陈澄, 胡杨, 安玥琦, 等. 浸渍液组成与调理工艺对调理草鱼片品质的影响[J]. *肉类工业*, 2020(5): 25-35. [CHEN Cheng, HU Yang, AN Yueqi, et al. Effects of composition of impregnation solution and conditioning technology on the quality of conditioning grass carp fillets[J]. *Meat Industry*, 2020(5): 25-35.]
- [18] 杜柳, 邱文兴, 王世哲, 等. 不同解冻方式对干制武昌鱼品质及挥发性风味的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(11): 87-95. [DU Liu, QIU Wenxing, WANG Shizhe, et al. Effects of different thawing methods on the quality and volatile flavor of dried Wuchang fish[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2023, 14(11): 87-95.]
- [19] AN Y, QIUFENG R, LI W, et al. Comparison of volatile aroma compounds in commercial surimi and their products from freshwater fish and marine fish and aroma fingerprints establishment based on metabolomics analysis methods[J]. *Food Chemistry*, 2024, 433: 137308.
- [20] LI W, WEN L, XIONG S, et al. Investigation of the effect of chemical composition of surimi and gelling temperature on the odor characteristics of surimi products based on gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry[J]. *Food Chemistry*, 2023, 420: 135977.
- [21] QIAN Y, AN Y, CHEN S, et al. Characterization of Qingke liquor aroma from Tibet[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(50): 13870-13881.
- [22] YU H, QIU J F, MA L J, et al. Phytochemical and phytopharmacological review of *Perilla frutescens* L. (Labiatae), a traditional edible-medicinal herb in China[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2017, 108: 375-391.
- [23] LAUREATI M, BURATTI S, BASSOLI A, et al. Discrimination and characterisation of three cultivars of *Perilla frutescens* by means of sensory descriptors and electronic nose and tongue analysis[J]. *Food Research International*, 2010, 43(4): 959-964.
- [24] AN Y, QIAN Y L, MAGANA A, et al. Comparative characterization of aroma compounds in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), Pacific whiting (*Merluccius productus*), and Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi by aroma extract dilution analysis, odor activity value, and aroma recombination studies[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(38): 10403-10413.
- [25] HUANG B, LEI Y, TANG Y, et al. Comparison of HS-SPME with hydrodistillation and SFE for the analysis of the volatile compounds of Zisu and Baisu, two varietal species of *Perilla frutescens* of Chinese origin[J]. *Food Chemistry*, 2011, 125(1): 268-275.
- [26] YU M, LI T, SONG H. Characterization of key aroma-active compounds in four commercial oyster sauce by SGC/GC×GC-O-MS, AEDA, and OAV[J]. *Journal of Food Composition and Analy-*

sis, 2022, 107: 104368.

[27] ZHOU H, HU Z, LIU Y, et al. Flavor and sensory profile of Chinese traditional fish noodles produced by different silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) mince ingredients[J]. Food Chemistry: X, 2023, 20: 100977.

[28] CHEN Q, YANG X, LIU S, et al. Changes in protein and volatile flavor compounds of low-salt wet-marinated fermented Golden Pomfret during processing[J]. Food Chemistry, 2024, 456: 140029.

[29] LEI Y, AI M, LU S, et al. Effect of raw material frozen storage on physicochemical properties and flavor compounds of fermented mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. Food Chemistry: X, 2023, 20: 101027.

[30] WANG M, ZHAN P, GENG J, et al. Identification and inhi-

bition of key off-odorants in boiled greenfin horse-faced filefish (*Thamnaconus septentrionalis*) subjected to *Perilla* polyphenols extract[J]. LWT-Food Science and Technology, 2024, 199: 116120.

[31] 薛永霞, 张作乾, 张洪才, 等. 不同加工阶段对上海熏鱼(草鱼)风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 160–168. [XUE Yongxia, ZHANG Zuoqian, ZHANG Hongcai, et al. Effect of different processing stages on flavor components of shanghai smoked fish made from grass carp[J]. Food Science, 2019, 40(16): 160–168.]

[32] 杨蓉蓉. 八角茴香提取物对风干鲈鱼中生物胺的抑制效应及风味品质的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018. [YANG Rongrong. Effects of star anise extract on biogenic amines formation and volatile flavor quality of dry-cured perch[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018.]