食品工业科技
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF FOOD INDUSTRY
半月刊 ISSN 1002-0306 CN 11-1759/TS

☑ EI
☑ Scopus
☑ DOAJ
☑ EBSCO
☑ CA
☑ FSTA
☑ JST

☑ 北大核心期刊
☑ 中国精品科技期刊
☑ 中国科技核心期刊CSTPCD
☑ 中国核心学术期刊RCCSE
☑ 世界期刊影响力指数（WJCI）报告
☑ 食品科学与工程领域高质量科技期刊分级目录第一方阵T1

不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成比较分析

宁舒娴，曾金秀，沙小梅，丁红秀

Comparative Analysis of Volatile Substances in *Aristichthys nobilis* from Different Habitat Sources

NING Shuxian, ZENG Jinxiu, SHA Xiaomei, and DING Hongxiu

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120134

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

SPME-GC-MS结合ROAV分析腌制时间对大河乌猪火腿挥发性风味物质的影响
Analysis of the Effect of Curing Time on the Volatile Flavor Compounds of Dahe Black Pig Ham by SPME-GC-MS and ROAV
食品工业科技. 2021, 42(18): 317-324 https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010250

加州鲈挥发性物质分析方法的建立与分析
Establishment of Analysis Method of Volatile Compounds and Analysis of Flavor Components in *Micropterus salmoides*
食品工业科技. 2020, 41(24): 237-244,297 https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030118

气味活度值法评价蓝莓果皮、果肉、果汁挥发性香气成分
Evaluation of Volatile Aroma Components in Blueberry Peel, Pulp and Juice by Odor Activity Value
食品工业科技. 2020, 41(1): 195-200 https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.031

GC-MS结合化学计量学方法分析桂花净油分子蒸馏馏分的挥发性成分
Analysis of Volatile Components in the Molecular Distillation Fractions of *Osmanthus fragrans* Absolute by GC-MS Combined with Chemometrics Methods
食品工业科技. 2024, 45(7): 276-285 https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060055

基于电子鼻、GC-MS和GC-IMS技术分析老香黄发酵期间的挥发性成分变化
Analysis of Volatile Components in Laoxianghuang During Fermentation by Electronic Nose, GC-MS and GC-IMS
食品工业科技. 2021, 42(12): 70-80 https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100170

基于GC-IMS和GC-MS技术结合化学计量法分析干燥方式对香椿挥发性成分的影响
Analysis of the Effect of Drying Methods on Volatile Components of *Toona sinensis* Based on GC-IMS and GC-MS Combined with Chemometrics
食品工业科技. 2024, 45(11): 222-234 https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070120

关注微信公众号，获得更多资讯信息

宁舒娴, 曾金秀, 沙小梅, 等. 不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成比较分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(18): 265−272. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120134

NING Shuxian, ZENG Jinxiu, SHA Xiaomei, et al. Comparative Analysis of Volatile Substances in *Aristichthys nobilis* from Different Habitat Sources[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(18): 265−272. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120134

· 分析检测 ·

不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成比较分析

宁舒娴, 曾金秀, 沙小梅, 丁红秀*

（江西师范大学生命科学学院, 国家淡水鱼加工技术研发专业中心, 江西南昌 330022）

摘　要: 为探究不同生境来源鳙鱼肉在挥发性物质方面的差异，本研究利用气相色谱-质谱法（Gas Chromatography-Mass Spectrometry，GC-MS）对洪门水库、军山湖、柘林湖、大塘、南新养殖塘五种不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质进行检测及比较分析。结果显示，五种不同生境来源鳙鱼肉共检测到 56 种挥发性物质，分别是醛类 12 种，酮类 8 种、醇类 15 种、烃类 8 种、芳香类和其它类共 13 种。其中，己醛、庚醛、壬醛、正己醇、1-辛烯-3-醇、十七烷等六种物质为所有生境来源鳙鱼肉共有。相对气味活度值法（Relative Odor Activity Value，ROAV）结果显示，鳙鱼肉主要关键气味成分为醛类、醇类和酚类物质。聚类（Cluster Analysis，CA）和主成分分析（Principal Component Analysis，PCA）分析结果表明，PC1 和 PC2 的累积贡献率达到 73.5%，大型水体生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成和气味相似，且气味显著优于高密度养殖生境来源鳙鱼肉。总体而言，不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质组成与含量及关键气味物质组成方面存在显著差异（$P<0.05$），本文可为鳙鱼养殖和产品加工提供参考。

关键词: 鳙鱼肉, 生境, 挥发性物质, 气相色谱-质谱法（GC-MS）, 相对气味活度值法（ROAV）

中图分类号: TS254.1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2024)18−0265−08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120134

本文网刊:

Comparative Analysis of Volatile Substances in *Aristichthys nobilis* from Different Habitat Sources

NING Shuxian, ZENG Jinxiu, SHA Xiaomei, DING Hongxiu*

（National R&D Center for Freshwater Fish Processing, College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China）

Abstract: In order to investigate the differences in volatile substances of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) meat from various habitats, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to detect and compare the volatile substances of bighead carp meat from five different habitats, including Hongmen Reservoir, Junshan Lake, Zhelin Lake, Datang Reservoir, and Nanxin culture pond. The results showed that a total of 56 volatile substances were detected in bighead carp meat from five habitats, including 12 aldehydes, 8 ketones, 15 alcohols, 8 hydrocarbons, 13 aromatic and other substances. Moreover, hexyl aldehyde, heptyl aldehyde, nonyl aldehyde, n-hexyl alcohol, 1-octene-3-alcohol, and heptadecane were common chemicals found in bighead carp meat of all habitats. Utilizing relative odor activity value (ROAV), aldehydes, alcohols, and phenols were identified as the key odor substances in bighead carp meat. Cluster analysis (CA) and principal component analysis (PCA) results showed the cumulative contribution rate of PC1 and PC2 reached 73.5%. Moreover, the volatile substance composition and odor of bighead carp meat from macro-aquatic habitats were similar. Meanwhile, the odor was significantly better than that of bighead carp meat from high-density aquaculture habitats. On the whole, significant differences were observed in the composition, content of volatile compounds, and key odor

收稿日期: 2023−12−14

基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助（CARS-45）。

作者简介: 宁舒娴（1998−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 动物生态学, E-mail: ningshuxian7@163.com。

*** 通信作者:** 丁红秀（1970−）, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 鱼类生态和营养、课程与教学论, E-mail: sd_dinghx@sina.com。

substances among bighead carp meat from different habitats (P<0.05). This study would provide valuable insights in aquaculture and product processing of bighead carp culture.

Key words: bighead carp meat; habitat; volatile compounds; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); relative odor activity value (ROAV)

肉类的挥发性物质是评价肉类品质的重要指标，研究表明，动物肉类的挥发性物质组成与含量受环境因素的影响[1−3]。鱼肉为白色肉类，是公认的营养价值很高的动物源蛋白，鱼肉品质与其所生活的环境之间存在着非常密切的联系，生境因子发生改变时，鱼肉营养品质也会发生相应改变[4]，鱼肉的挥发性物质组成与含量也受到环境因子的影响[5]，吴永俊等[6]研究发现不同产地虹鳟（*Oncorhynchus mykiss*）的挥发性物质存在差异。也有研究表明不同来源饲料对鱼类挥发性物质会产生影响[7−9]。Duan 等[10]发现不同产地鲑鱼（*Oncorhynchus*）的挥发性物质存在差异，并利用其差异进行了产地溯源。

鳙鱼（*Aristichthys nobilis*）属鲤形目（Cypriniformes）、鲤科（Cyprinidae）、鲢属（*Hypophthalmichthys*），俗名大头鱼、胖头鱼、花鲢等，原产于我国，南北分布极广，能适应各种水体。鳙鱼生长快，疾病少，捕捞方便，鱼肉细嫩，鱼头肥大美味，深受人们喜爱，是餐桌上不可缺少的一道美食。2022 年鳙鱼产量 326.85 万吨，占我国淡水养殖鱼总产量的 12.06%，仅次于草鱼和鲢鱼，位居第三，在我国渔业生产中占有重要的经济地位[11]。

我国鳙鱼的来源广泛，有自然水域纯野外生长、湖泊水库的人放天养以及池塘精养等，不同水域中产出的鳙鱼在品质、口感、气味等方面是否存在显著差异？差异主要体现在哪些方面？这些问题的解答对鳙鱼的生产、加工和食用选择非常重要。已有研究表明不同营养型水库来源鳙鱼肉挥发性物质存在差异[12]，但不同水域来源且生境差异较大的鳙鱼肉挥发性物质之间的比较研究相对缺乏。本文选取了江西省几种典型生境，包括大型水库及湖泊、小型水库、精混养塘来源的鳙鱼为样本，分析了不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成和含量，探讨不同生境来源的鳙鱼肉在挥发性物质组成和含量方面的差异，以期为鳙鱼的绿色养殖和产品加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜鳙鱼　产自洪门水库（江西省第三大型水库）、柘林湖（江西省第一大型水库）、军山湖（江西省进贤县鄱阳湖子湖）、大塘（江西省上高县大塘村小型水库）、南新养殖塘（江西省南昌县南新乡精养塘），每种生境随机选取鳙鱼五条（体重 1.5~1.75 kg，二龄），活体保鲜运送至实验室，称重剖杀，取背肉绞碎后分装待测；氯化钠　分析纯，西陇科学股份有限公司。

7890A/5975 气相色谱-质谱联用仪　美国 Agilent 公司；75 μm 碳分子筛/聚二甲基硅氧烷萃取头　美国 Supelco 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 挥发性风味成分测定　参考 LI 等[13]的方法，采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用（SPME-GC-MS）检测鳙鱼肉挥发性物质。称取鳙鱼肉样品 2.5 g，加饱和 NaCl 溶液 2.5 mL，匀浆后于 20 mL 顶空瓶中，60 ℃ 水浴加热平衡 30 min 后，插入老化好的萃取头，继续顶空吸附 30 min 后取出萃取头，并迅速插入气相色谱进样口中，于 250 ℃ 下解析 20 min。

气相质谱测定条件：色谱柱为 Agilent DB-wax 毛细管柱（30 m×0.25 μm×0.25 mm）；进样口温度 250 ℃，载气 He，流速 1.0 mL/min，采用不分流模式，升温程序为起始温度 40 ℃，保持 3 min，以 5 ℃/min 的速度升至 240 ℃，保持 15 min。质谱条件：EI 电离源，电离电压 70 eV，离子源温度 230 ℃、四极杆温度 150 ℃[14]。

1.2.2 挥发性风味物质鉴定与分析　通过 NIST 14 质谱库对未知化合物进行检索匹配，并结合保留指数（RI）对正反匹配度大于 800（最大值为 1000）的化合物进行鉴定，给出化合物名称。鳙鱼肉中各挥发性风味成分相对含量根据所得峰面积之比计算。

1.2.3 关键挥发性成分评价方法　利用刘登勇等[15]提出的相对气味活度值法（ROAV）确定五种不同来源鳙鱼肉的关键挥发性成分，定义样品中挥发性成分贡献最大的组分为 ROAVmax=100，其它挥发性成分按公式（1）计算各成分的 ROAV 值。

$$\mathrm{ROAVi} = \frac{\mathrm{Ci}}{\mathrm{Cmax}} \times \frac{\mathrm{Tmax}}{\mathrm{Ti}} \qquad \text{式（1）}$$

式中：Ci 为各挥发性成分的相对含量，%；Ti 为各挥发性成分的感觉阈值，μg/kg；Cmax 为对鳙鱼气味贡献值最大的挥发性成分所对应的相对含量；Tmax 为对鳙鱼气味贡献值最大的挥发性成分所对应的感觉阈值。

ROAV 值越大的组分对样品的整体风味的贡献越大，ROAV ≥ 1 的物质为关键气味成分，0.1 ≤ ROAV<1 的物质为修饰气味成分，ROAV<0.1 的物质为潜在气味成分[16]。

1.3 数据处理

所有试验均做 5 次平行，结果以平均值±标准差表示，实验数据采用 Origin 2019 绘制聚类热图及主成分分析（PCA）。用 SPSS 16.0 统计软件对数据进行单因素方差分析（ANOVA），显著性差异分析采用

Duncan 检验，$P<0.05$ 表示存在显著性差异。

2　结果与分析

2.1　不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质组成

2.1.1　挥发性物质组成与相对含量　对不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成进行检测，得到各生境来源鳙鱼肉挥发性物质成分与相对含量如表 1 所示。

由表 1 可知，不同生境来源鳙鱼肉中共检出 56 种挥发性物质，根据挥发性物质的性质特征将其分为醛、酮、醇、烃、芳香及其它等五种类别，其中醛类 12 种，酮类 8 种，醇类 15 种，烃类 8 种，芳香及其它 13 种。洪门水库、军山湖、柘林湖、大塘、南新养殖塘鳙鱼肉中分别检测到 18 种、25 种、21 种、30 种、20 种挥发性物质，各生境来源的鳙鱼肉中均存在特征挥发性物质。己醛、庚醛、壬醛、正己醇、

表 1　不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质与相对含量

Table 1　Composition and proportion of volatile substances of *Aristichthys nobilis* in different habitats

种类	序号	挥发性化合物	分子式	感觉阈值（μg/kg）	相对含量(%)				
					洪门水库	军山湖	柘林湖	大塘	南新养殖塘
醛类	1	己醛	$C_6H_{12}O$	4500	1.95±0.72^{c}	8.23±1.99^{b}	14.3±4.85^{a}	9.35±3.3^{b}	12.72±12.76^{a}
	2	庚醛	$C_7H_{14}O$	3	0.38±0.02^{b}	2.88±1.14^{a}	1.95±1.35^{a}	2.29±0.66^{a}	3.32±4.31^{a}
	3	己-2-烯醛	$C_6H_{10}O$	17	–	0.03±0.01^{a}	–	0.18±0.16^{a}	–
	4	正辛醛	$C_8H_{16}O$	0.7	0.86±0.14^{a}	–	–	3.55±0.12^{a}	3.71±4.56^{a}
	5	(Z)-4-庚烯醛	$C_7H_{12}O$	0.8	–	0.86±0.07^{a}	–	0.28±0.21^{b}	–
	6	苯甲醛	C_7H_6O	350	1.14±0.06^{b}	0.96±0.20^{b}	–	2.35±0.83^{a}	–
	7	壬醛	$C_9H_{18}O$	1	1.05±0.05^{c}	3.52±0.09^{b}	13.1±6.99^{a}	7.75±1.77^{ab}	9.6±7.26^{ab}
	8	2,4-癸二烯醛	$C_{10}H_{16}O$	0.07	–	–	–	0.10±0.02	–
	9	5-乙基环戊-1-烯甲醛	$C_8H_{12}O$	–	–	0.21±0.01^{b}	–	0.40±0.04^{a}	0.24±0.01^{b}
	10	反式,顺式-2,6-壬二烯醛	$C_9H_{14}O$	0.02	–	0.12±0.02^{a}	–	–	–
	11	4-N-戊基苯甲醛	$C_{12}H_{16}O$	–	–	–	–	–	0.22±0.16^{a}
	12	4-乙基苯甲醛	$C_9H_{10}O$	–	–	0.65±0.20^{a}	–	–	–
酮类	1	3,5-辛二烯-2-酮	$C_8H_{12}O$	150	–	1.50±0.03^{a}	–	1.18±0.15^{b}	–
	2	2,3-戊二酮	$C_5H_8O_2$	5.1	–	–	–	0.37±0.16^{a}	1.09±0.83^{a}
	3	甲基壬基甲酮	$C_{11}H_{22}O$	–	–	–	0.33±0.10^{a}	–	–
	4	甲基庚烯酮	$C_8H_{14}O$	–	–	–	0.08±0.03^{a}	–	–
	5	3-辛酮	$C_8H_{16}O$	28	–	0.33±0.08^{b}	0.39±0.10^{b}	0.75±0.06^{a}	–
	6	1-(3-丁基-2-环氧乙烷基)乙酮	$C_8H_{14}O_2$	–	0.18±0.03	–	–	–	–
	7	苯乙酮	C_8H_8O	65	–	–	0.17±0.02^{a}	–	0.49±0.62^{a}
	8	2,5-辛烷二酮	$C_8H_{14}O_2$	–	–	14.55±1.20^{a}	–	–	17.70±9.51^{a}
醇类	1	1-戊醇	$C_5H_{12}O$	4000	3.22±0.27^{b}	3.14±0.86^{b}	6.97±3.88^{a}	–	5.76±2.40^{ab}
	2	1-戊烯-3-醇	$C_5H_{10}O$	400	0.76±0.11	–	–	–	–
	3	(2Z)-2-辛烯-1-醇	$C_8H_{16}O$	–	1.67±0.48	–	–	–	–
	4	2-乙基-1-己醇	$C_8H_{18}O$	27000	1.28±0.08^{b}	–	0.21±0.06^{c}	1.48±0.13^{a}	–
	5	正己醇	$C_6H_{14}O$	700	14.3±0.67^{b}	12.68±3.57^{b}	9.18±1.61^{b}	22.13±4.17^{a}	21.88±9.97^{a}
	6	苯乙醇	$C_8H_{10}O$	750	–	–	–	–	0.05±0.02
	7	1-十五烷醇	$C_{15}H_{32}O$	–	16.7±19.30	–	–	–	–
	8	1-辛烯-3-醇	$C_8H_{16}O$	1	16.6±3.60^{b}	28.9±1.35^{b}	29.9±0.09^{b}	27.6±0.77^{b}	55.14±37.84^{a}
	9	顺式-2-戊烯-1-醇	$C_5H_{10}O$	–	–	–	1.80±0.51^{a}	1.71±0.58^{a}	1.35±0.33^{a}
	10	1-壬醇	$C_9H_{20}O$	150	–	–	0.65±0.04^{a}	–	0.65±0.18^{a}
	11	3-己烯-1-醇	$C_6H_{12}O$	–	–	–	–	0.13±0.11	–
	12	4-庚烯-1-醇	$C_7H_{14}O$	–	–	0.30±0.02	–	–	–
	13	反式-2-辛烯-1-醇	$C_8H_{16}O$	50	–	–	2.50±3.16^{b}	3.73±0.05^{b}	11.73±4.48^{a}
	14	1-辛醇	$C_8H_{18}O$	900	1.65±0.10^{b}	1.17±0.04^{b}	4.07±1.75^{a}	3.09±0.14^{a}	–
	15	2,7-辛二烯醇	$C_8H_{14}O$	–	–	5.54±0.79^{ab}	6.20±0.12^{a}	4.62±0.48^{b}	–
烃类	1	十六烷	$C_{16}H_{34}$	3000	–	–	–	–	1.94±0.13^{a}
	2	十七烷	$C_{17}H_{36}$	–	25.2±8.64^{a}	10.12±0.56^{b}	5.49±1.74^{bc}	1.58±1.40c	11.76±5.44^{b}
	3	十八烷	$C_{18}H_{38}$	–	–	0.22±0.07^{a}	–	–	–
	4	十五烷	$C_{15}H_{30}O$	–	–	0.08±0.02^{b}	0.77±0.18^{a}	0.11±0.12^{b}	–
	5	8-庚二烯	$C_{17}H_{34}$	–	–	–	–	0.14±0.05^{a}	–
	6	E-14-十六碳烯	$C_{16}H_{30}O$	–	–	–	1.28±0.44	–	–
	7	L-石竹烯	$C_{15}H_{24}$	64	–	–	–	0.34±0.19	–
	8	beta-榄香烯	$C_{15}H_{24}$	–	0.09±0.03	–	–	–	–

续表 1

种类	序号	挥发性化合物	分子式	感觉阈值（μg/kg）	相对含量(%)				
					洪门水库	军山湖	柘林湖	大塘	南新养殖塘
芳香族及其它	1	甲酸庚酯	$C_8H_{16}O_2$	–	2.43±0.40[a]	1.84±0.21[b]	–	–	–
	2	己酸乙烯酯	$C_8H_{14}O_2$	–	6.49±6.55	–	–	–	–
	3	2-正戊基呋喃	$C_9H_{14}O$	–	–	–	–	0.38±0.09	–
	4	氯甲酸正壬基酯	$C_{10}H_{19}ClO_2$	–	–	–	–	0.82±0.11	–
	5	4-甲基苯酚	C_7H_8O	–	–	–	–	0.03±0.00	–
	6	香芹酚	$C_{10}H_{14}O$	0.1	–	–	–	3.06±3.51	–
	7	5-羟基2,4-二叔丁基苯基戊酸酯	$C_{19}H_{30}O_3$	–	–	–	–	0.03±0.00	–
	8	4-羟基丁酸	$C_4H_8O_3$	–	–	–	0.40±0.21	–	–
	9	吲哚	C_8H_7N	140	–	0.02±0.00[b]	–	0.46±0.18[a]	–
	10	3-环己烯-1-甲腈	C_7H_9N	–	–	0.05±0.00	–	–	–
	11	氨基蝶呤	$C_{19}H_{20}N_8O_5$	–	–	–	0.06±0.01	–	–
	12	5-乙基-1-壬烯	$C_{11}H_{22}$	–	–	–	–	–	2.16±0.48
	13	苯酚	C_6H_6O	5900	–	0.51±0.01[a]	–	–	0.23±0.01[b]

注: “—”为未检出或检索到该物质; 同行不同字母表示差异显著(P<0.05)。

1-辛烯-3-醇、十七烷等六种物质在所有生境来源鳙鱼肉中都有检测到, 后四种的含量存在着显著差异(P<0.05)。

2.1.2　挥发性物质组成及相对含量的热图聚类分析

聚类分析法可将受试样本划分为不同类群进行评价分析, 其结果具有综合性、客观性和科学性[17]。对不同生境来源鳙鱼肉中挥发性物质组成及相对含量进行聚类分析, 结果如图 1(条带的颜色越红说明该挥发性物质含量越高, 越蓝表示挥发性物质含量越低)所示。

由图 1 可知, 从鳙鱼肉挥发性物质聚类情况来看, 可以将不同生境来源的鳙鱼肉归为三类, 一类是柘林湖、军山湖、洪门水库生境来源的鳙鱼肉, 这三种来源鳙鱼肉挥发性物质组成较为相似, 2,3-戊二酮、正辛醛、香芹酚、2,4-癸二烯醛等物质含量普遍偏低, 大塘和南新养殖塘分别各为一类, 大塘来源鳙鱼肉挥发性物质中香芹酚、2,4-癸二烯醛、L-石竹烯等物质含量相对较高, 而南新养殖塘来源鳙鱼肉挥发

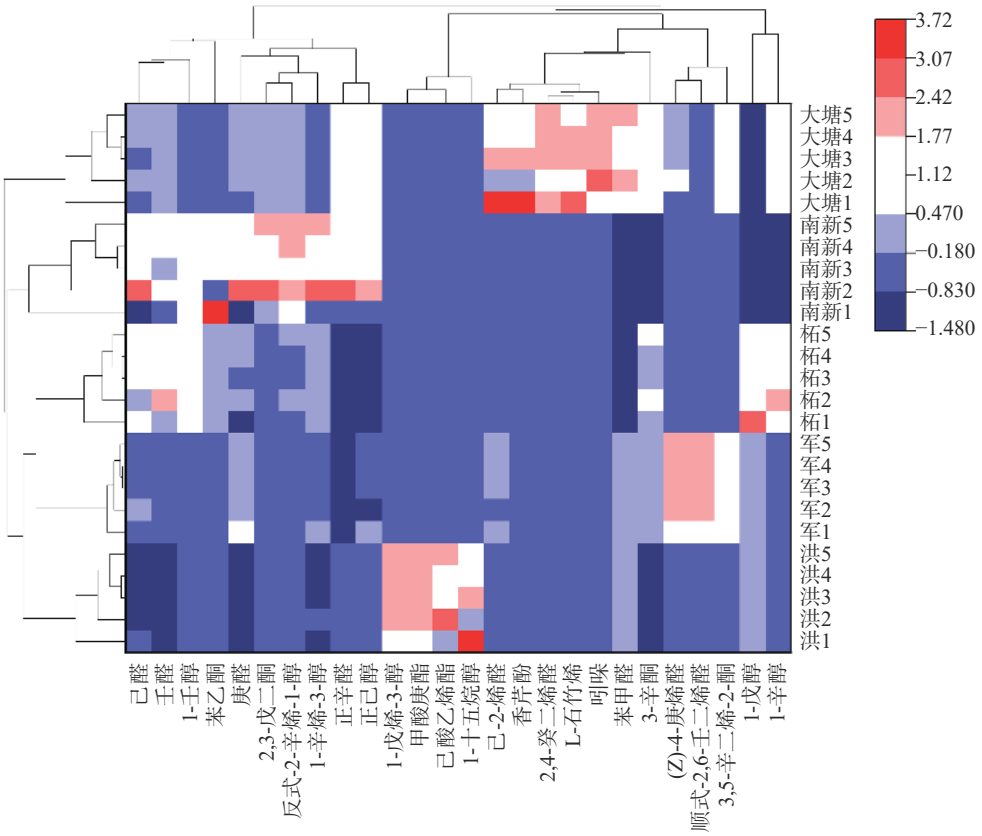

图 1　不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质聚类热图

Fig.1　Clustering heat maps of volatile substances of *Aristichthys nobilis* in different habitats

性物质中 2,3-戊二酮、1-辛烯-3-醇、正辛醛等含量相对较高。研究所涉五个取样点中，柘林湖水域面积 308 km^2[18]，为江西省第一大型水库；军山湖系鄱阳湖子湖，常年水面面积 180~220 km^2[19]，洪门水库为江西省第三大型水库，水域面积超过 40 km^2[20]，三者均为大型水体，养殖模式均为人放天养；大塘水库为一小型水库，水域面积 2.15 km^2，为半人工养殖，养殖密度为 500/亩；南新养殖塘水域面积 100 亩，为四大家鱼精混养殖模式，养殖密度 1000 尾/亩。从挥发性物质种类和相对含量聚类分析结果来看，柘林湖、军山湖和洪门水库来源的鳙鱼肉挥发性风味归为一类，而大塘水库和南新养殖塘则单独分别成类，表明养殖水体的面积、养殖模式等可能会对鳙鱼肉的整体挥发性风味产生显著影响[3]。

2.1.3　挥发性物质组成差异　将不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质组成按醛、酮、醇、烃、芳香及其它等五个类别分类统计比较它们相互之间的差异，结果如图 2 所示。

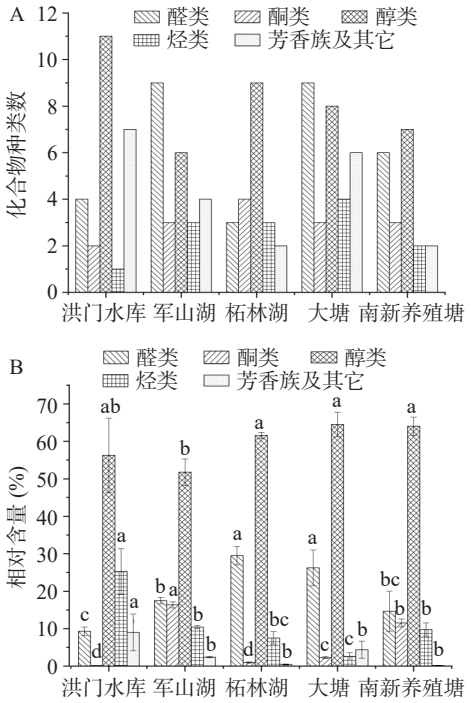

图 2　不同生境鳙鱼风味成分类别(A)及占比(B)

Fig.2　Category (A) and proportion (B) of flavor components of *Aristichthys nobilis* in different habitats

注：图中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质种类数量也存在一定的差异，军山湖和大塘鳙鱼肉中醛类挥发性物质化合物种类数最多有 9 种；各生境来源的鳙鱼肉中酮类化合物种类相似；醇类化合物种类数以洪门水库鳙鱼为最高，有 11 种；烃类化合物种类数在不同生境来源鳙鱼中普遍偏低；芳香及其它化合物种类数在洪门水库鳙鱼中含量最高，为 7 种。

一种化合物的浓度和阈值会对鱼肉风味产生影响[21]，醛类物质具有清新果香味，可以改善鳙鱼肉的鱼腥味[22]，但当醛类物质浓度过高时就会产生酸败味；大多数酮类具有水果和奶油的香味，可以消减鳙鱼肉的鱼腥味[23]；醇类的气味阈值高于醛类，因此总体对鳙鱼肉风味贡献不大[24]，但不饱和醇阈值较低，对鳙鱼风味的贡献较大；烷烃类阈值较高，对鳙鱼的风味贡献较小，但烷烃类是形成醛、酮类化合物的主要前提物质，在鱼肉风味形成过程中也起到一定的作用，是鳙鱼产生鱼腥味的潜在因素[25]；酯类、酸类等物质阈值较高，对鳙鱼整体风味贡献不大[26]。从研究结果来看，己醛、庚醛、壬醛、正己醇、1-辛烯-3-醇、十七烷等六种物质在所有生境来源的鳙鱼肉中均有检测到，己醛和庚醛含量在不同生境来源鳙鱼肉中无显著差异(P>0.05)，而后四种的含量存在着显著差异(P<0.05)，表明这六种化合物普遍存在，可能为鳙鱼肉固有气味物质，但不同生境仍然影响了部分挥发性物质的相对含量。壬醛是油酸氧化的产物[27]，在大多数的淡水鱼和海水鱼的挥发性风味物质中都有被检测到，其具有鱼腥味、油脂香[28]，1-辛烯-3-醇为不饱和醇，普遍存在于鱼类的挥发性化合物中[25]，是亚油酸裂解产物，具有土腥味和蘑菇味，其阈值较低，对鳙鱼风味贡献较大[26]。洪门水库鳙鱼醛类化合物种类较少，含量在不同生境中最低，特别是其壬醛含量显著低于其它生境(P<0.05)，而其醇类化合物种类数较多，但 1-辛烯-3-醇含量显著低于其它生境(P<0.05)，综合分析洪门水库鳙鱼肉风味较其它生境相对更佳，研究表明，洪门水库为江西省南城县境内一个山谷型水库，水质较好[29]，这可能是其鳙鱼肉风味较佳的重要原因。南新养殖塘鳙鱼肉中醛类化合物种类数和含量均较多，醇类化合物种类最少，含量却显著高于其它生境(P<0.05)，特别是 1-辛烯-3-醇含量显著高于其它生境(P<0.05)，鱼肉土腥味比较重，风味较其它生境更次，这可能与其养殖密度大有关[30]，而且前期课题组对五个生境的水质进行测定发现，南新养殖塘水体氨氮含量显著高于其他四个生境，可能也是导致其鱼肉腥味过重的原因之一[5]。

2.2　不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质 ROAV 分析

挥发性物质的相对含量与整体风味特征之间无直接关系，其对整体风味的贡献大小由相对含量和感官阈值共同决定，根据 1.2.3 计算不同生境来源的鳙鱼肉中部分挥发性物质的 ROAV 值，并依据文献[31−33]检索阈值描述其气味，结果如表 2 所示。

由表 2 可知，不同生境来源鳙鱼肉的关键气味成分存在着一定的差异，洪门水库鳙鱼肉关键气味成分有 3 种，军山湖有 5 种，柘林湖为 3 种，大塘有 7 种，南新养殖塘 4 种；不同生境来源鳙鱼肉中起修饰作用的物质和潜在的挥发性成分也存在一定差异。从 ROAV 分析结果看，五个生境来源鳙鱼肉共有的关键气味成分有壬醛和 1-辛烯-3-醇两种，1-辛烯-3-醇对五种生境鳙鱼风味贡献最大；五个生境中共有的修饰性气味成分有一种，为正己醇；庚醛在不

表 2 不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质的 ROAV 值及气味

Table 2 Key flavor components of *Aristichthys nobilis* in different habitats

序号	化合物名称	ROAV					气味描述
		洪门水库	军山湖	柘林湖	大塘	南新养殖塘	
1	己醛	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	青草香、脂香、汗味
2	庚醛	0.76	3.32	2.17	2.49	2.01	醛味、油脂味、青草味
3	己-2-烯醛	–	0.01	<0.01	0.03	<0.01	杏仁味、果味、蔬菜味
4	正辛醛	7.38	–	–	16.57	9.61	醛味、清香、草本味、脂香
5	(Z)-4-庚烯醛	–	3.71	–	1.14	–	油脂味、青草味、奶油香
6	苯甲醛	0.02	0.01	–	0.02	–	刺激气味、杏仁味、樱桃香
7	壬醛	6.31	12.16	43.95	25.33	17.46	鱼腥味、醛味、油脂味
8	2,4-癸二烯醛	–	–	–	4.67	–	鱼腥味、甜鲜味、脂香味
9	反式,顺式-2,6-壬二烯醛	–	20.73	–	–	–	青草味、油脂味
10	3,5-辛二烯-2-酮	–	0.03	–	0.03	–	果味、青草味
11	2,3-戊二酮	–	–	–	0.24	0.39	辛辣味、甜味、奶油香、焦糖味
12	3-辛酮	–	0.04	0.05	0.09	–	清香味、香草味、香菇味
13	苯乙酮	–	–	0.01	–	0.01	甜味、刺鼻味
14	1-戊醇	<0.01	<0.01	0.01	–	<0.01	醇香、油脂味、甜香、脂香
15	2-乙基-1-己醇	<0.01	–	<0.01	<0.01	–	柑橘香、鲜花香、油脂味
16	正己醇	0.12	0.06	0.04	0.10	0.06	醇香、油脂香,青草香
17	苯乙醇	–	–	–	–	<0.01	–
18	1-辛烯-3-醇	100	100.00	100.00	90.33	100.00	蘑菇香、土腥味、青草味
19	1-戊烯-3-醇	0.01	–	–	–	–	青草味、辛辣味、水果味
20	1-壬醇	–	–	0.01	–	0.01	清香、脂香、花香
21	反式-2-辛烯-1-醇	–	–	0.17	0.24	0.43	青草味、柑橘香、脂香
22	1-辛醇	0.01	<0.01	0.02	0.01	–	蜡香、青草香、玫瑰花香
23	十六烷	–	–	–	–	<0.01	–
24	L-石竹烯	–	–	–	0.02	–	甜味、木香、
25	香芹酚	–	–	–	100.00	–	香味、木香、
26	吲哚	–	<0.01	–	0.01	–	花香、粪便味
27	苯酚	–	<0.01	–	–	<0.01	酚醛香、塑料味、橡胶味

注: “—”为未检出该物质无法计算ROAV; 气味特征描述来源于http://www.perflavory.com/index.html。

同生境鳙鱼肉中均被检测到,且 ROAV 值较大,对鳙鱼肉风味贡献较大;研究结果显示,五个生境来源的鳙鱼肉主要气味成分有共同之处但又各有千秋,不同生境来源鳙鱼主要气味共同之处可能是鳙鱼鱼肉本身所共有的气味成分,而其中存在的差异可能是由于不同生境差异造成的,包括不同生境水体中挥发性物质不同也可能造成气味的差异,已有研究表明鳙鱼可通过渗透压由皮肤、鳃、鳍来吸收水体中的挥发性物质,进而直接影响鳙鱼鱼肉的挥发性风味[12]。

2.3 不同生境来源鳙鱼肉主要气味物质主成分分析

为进一步反映不同生境来源鳙鱼肉主要挥发性物质的差异,对不同生境来源鳙鱼肉挥发性物质中 ROAV ≥ 0.1 的主要气味物质进行 PCA 分析[34],结果发现不同生境来源鳙鱼肉主要气味物质聚集成两个主成分,可以将不同生境鳙鱼肉主要气味物质的差异呈现出来,如图 3 所示,前两个组分 PC1 和 PC2 分别占 29.4% 和 44.1%,解释总差异的 73.5%,表明两个主要组分可以较好地反映不同样本的主要特征信息[35]。由图 3 可知,不同生境来源鳙鱼肉主要气味物质大致可以分为三个相对独立的区域,军山湖、柘林湖和洪门水库数据相近,大塘水库和南新养殖塘数据组与其他数据组相距较远,通过 PCA 分析,不同生境来源鳙鱼肉主要气味物质得到较好的区分。PCA 分析结果表明,五个生境来源鳙鱼肉主要气味物质分成了三个相对独立的区域,军山湖、柘林湖和洪门水库数据相近,为一个区域,说明该三种生境来源的鳙鱼肉主要气味物质相似;而大塘和南新养殖塘数据组与其他数据组相距较远,分别各为一区,说明

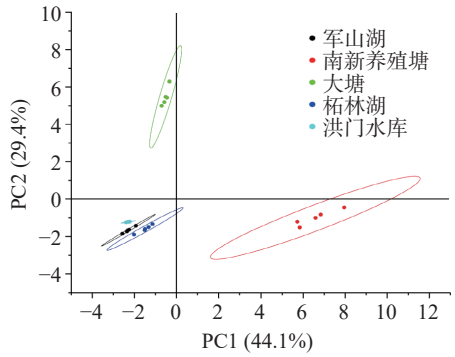

图 3 不同生境来源鳙鱼肉主要气味物质 PCA 图

Fig.3 PCA of main flavor substances of *Aristichthys nobilis* in different habitats

这两个来源鳙鱼肉的主要气味物质组成各具特色，且明显区别于前三个生境来源的鳙鱼肉主要气味物质组成，这个分析结果与 2.1.2 中聚类分析所得结果是基本一致的，且本研究结果与吴永俊等[6] 研究发现相似产地虹鳟鱼肉挥发性物质相似而差异较大来源产地虹鳟鱼肉挥发性物质差别较大结论相似。

3　结论

本研究对不同生境来源鳙鱼肉的挥发性物质进行检测及分析比较，结果表明：不同生境来源的鳙鱼肉挥发性物质的组成、含量及关键气味物质均存在差异；聚类分析和主要气味物质 PCA 分析结果表明，养殖水体的面积、养殖模式等可能会对鳙鱼肉的挥发性物质组成及整体挥发性风味产生显著影响。综合分析来看，以洪门水库为代表的大型水体出产的鳙鱼鱼肉挥发性风味整体显著优于高密度精养塘来源的鳙鱼肉，提示大型水体更有益于高品质鳙鱼的养殖。至于其中导致鳙鱼肉挥发性物质组成差异的关键环境因素具体是哪些，则还有待于后续更进一步的研究与分析，若能找出不同生境来源鳙鱼肉中特殊挥发性物质与相应环境因子之间的关系，则未来将有望通过鳙鱼肉特殊气味来实现其产地溯源。

© The Author(s) 2024. 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] 孟楠，郝丽莉，王昕岑，等. 不同温度胁迫条件下太平洋牡蛎挥发性化合物的变化[J]. 现代食品科技，2024，40(2)：265−272. [MENG Nan, HAO Lili, WANG Xincen, et al. Changes of volatile compounds in Pacific oysters under different temperature stresses [J]. Modern Food technology, 2024, 40(2): 265−272.]

[2] 张蓝月，孙万成，罗毅皓. 基于气相色谱-离子迁移谱分析不同地区羊肉的挥发性风味化合物[J]. 食品与发酵工业，2023，49(10)：265−272. [ZHANG Lanyue, SUN Wancheng, LUO Yihao. Analysis of volatile flavor compounds of mutton from different regions by gas chromatography-ion migration spectrometry[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(10): 265−272.]

[3] HU B J, ZHOU J, QIU H M, et al. Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among bighead carp from three aquaculture systems[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(8): 4291−4299.

[4] 李忠莹，丁红秀，张露，等. 不同生境来源的草鱼肌肉营养品质比较[J]. 食品与发酵工业，2021，47(17)：133−139. [LI Zhongying, DING Hongxiu, ZHANG Lu, et al. Comparison of muscle nutritional quality of grass carp from different habitat sources [J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(17): 133−139.]

[5] 张峻铭，郁二蒙，孙金辉. 水体生态因子对养殖鱼类品质影响研究进展[J]. 天津农学院学报，2022，29(2)：69−75. [ZHANG Junming, YU Ermeng, SUN Jinhui. Research progress on the effects of aquatic ecological factors on the quality of cultured fish[J]. Journal of Tianjin Agricultural College, 2022, 29(2): 69−75.]

[6] 吴永俊，王玉涛，施文正，等. 不同产地虹鳟鱼肉风味物质的比较[J]. 上海海洋大学学报，2017，26(6)：888−899. [WU Yongjun, WANG Yutao, SHI Wenzheng, et al. Comparison of fish flavor substances of rainbow trout from different places[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(6): 888−899.]

[7] 李敏，孙慧娟，张飞宇，等. 三种不同饲喂条件下石斑鱼鱼肉挥发性风味成分分析[A]中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集[C]. 中国食品科学技术学会，2022：2. [LI Min, SUN Huijuan, ZHANNG Feiyu, et al. Analysis of volatile flavor components of Grouper fish under three different feeding conditions[A] Abstract of the 18th Annual Meeting of the Chinese Society of Food Science and Technology [C]. Chinese Society of Food Science and Technology, 2022: 2.]

[8] MU H, LI J, PAN X, et al. Alterations in fatty acid composition and volatile compounds in muscle of large yellow croaker *Larimichthys crocea* fed different dietary lipid sources[J]. Aquaculture Reports, 2021, 20.

[9] BULLON N, ALFARO A C C, HAMID N, et al. Effect of dietary insect meal and grape marc inclusion on flavor volatile compounds and shell color of juvenile abalone *Haliotis iris*[J]. Aquaculture Nutrition, 2023, 2023: 6628232.

[10] DUAN Z L, DONG S L, DONG Y W, et al. Geographical origin identification of two salmonid species via flavor compound analysis using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with electronic nose and tongue[J]. Food Research International, 2021, 145: 110385.

[11] 《2022 中国渔业统计年鉴》[J]. 世界农业，2023(3)：2. [China Fishery Statistical Yearbook 2022[J]. World Agriculture, 2023(3): 2.]

[12] 袁岩聪，何航，刘瑛，等. 不同营养型水库对鳙形态性状和风味物质的影响[J]. 淡水渔业，2022，52(3)：91−97. [YUAN Yancong, HE Hang, LIU Ying, et al. Effects of different nutrient type reservoirs on morphological traits and flavor substances of Bighead carp[J]. Freshwater Fisheries, 2022, 52(3): 91−97.]

[13] LI J L, TU Z C, SHA X M, et al. Effect of frying on fatty acid profile, free amino acids and volatile compounds of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4).

[14] 李金林，涂宗财，张露，等. SPME-GC-MS 法分析草鱼汤烹制过程中挥发性成分变化[J]. 食品科学，2016，37(22)：149−154. [LI Jinlin, TU Zongcai, ZHANG Lu, et al. Analysis of volatile components in the cooking process of grass fish soup by SPME-GC-MS[J]. Food Science, 2016, 37(22): 149−154.]

[15] 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(7)：370−374. [LIU Dengyong, ZHOU Guanghong, XU Xinglian. A new method for determining key flavor compounds in food: "ROAV" method[J]. Food Science, 2008(7): 370−374.]

[16] 汤海昆，杨方慧，张艳梅，等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析不同茶树品种晒红茶的香气成分[J]. 食品工业科技，2023，44(7)：260−268. [TANG Haikun, YANG Fanghui, ZHANG Yanmei, et al. Analysis of aroma components of sunburnt black tea of different tea cultivars based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 260−268.]

[17] 李艳艳，杨金来，吴琰，等. 不同干燥方式对毛竹笋全粉中氨基酸含量和蛋白质结构的影响[J/OL]. 食品与发酵工业：1−10 [2024-07-05]. https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036959. [LI Yanyan, YANG Jinlai, WU Yan, et al. Effects of different drying methods on amino acid content and protein structure of whole powder of hairy bamboo shoots[J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1−10[2024-07-05]. https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036959.]

[18] 王红利. 基于遥感生态指数 RSEI 的柘林湖流域生态环境质量研究[D]. 南昌:南昌航空大学, 2022. [WANG Hongli. Study on ecological environment quality of Zhelin Lake Basin based on remote sensing ecological index RSEI[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2022.]

[19] 傅玲, 胡林凯. 军山湖生态环境问题诊断与防治对策[J]. 绿色科技, 2023, 25(18): 175−179. [FU Ling, HU Linkai. Diagnosis and control of ecological and environmental problems in Junshan Lake[J]. Green Science and Technology, 2023, 25(18): 175−179.]

[20] 龚守贺, 郑应龙, 陶志英, 等. 洪门水库浮游生物的群落结构特征[J]. 江西水产科技, 2019(4): 3−7. [GONG Shouhe, ZHENG Yinglong, TAO Zhiying, et al. Characteristics of plankton community structure in Hongmen Reservoir[J]. Jiangxi Fisheries Science and Technology, 2019(4): 3−7.]

[21] TIAN X Y, AHETO J H, HUANG X Y, et al. An evaluation of biochemical, structural and volatile changes of dry-cured pork using a combined ion mobility spectrometry, hyperspectral and confocal imaging approach[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(14): 5972−5983.

[22] 火玉明, 周静, 张华丹, 等. 基于 GC-IMS 分析三种植物油炒制海鲈鱼鱼松中挥发性风味物质的研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 267−275. [HUO Yuming, ZHOU Jing, ZHANG Huadan, et al. Study on the analysis of volatile flavor substances in three kinds of vegetable oil roasted sea bass pine based on GC-IMS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 267−275.]

[23] 顾赛麒, 唐锦晶, 周绪霞, 等. 腌腊鱼传统日晒干制过程中品质变化与香气形成[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 36−44. [GU Saiqi, TANG Jinjing, ZHOU Xuxia, et al. Quality change and aroma formation of preserved fish during traditional sun-drying[J]. Food Science, 2019, 40(17): 36−44.]

[24] ECHEGARAY N, PATERIO M, DOMÍNGUEZ R, et al. Effects of different cooking methods and of the inclusion of chestnut (*Castanea sativa* Miller) in the finishing diet of Celta pig breed on the physicochemical parameters and volatile profile of *Longissimus thoracis et lumborum* muscle[J]. Food Research International, 2020, 137.

[25] 吴丽香, 张雯, 童秋霞, 等. 即食秋刀鱼加工过程中挥发性成分变化规律[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 29−36. [WU Lixiang, ZHANG Wen, TONG Qiuxia, et al. Changes of volatile components in the process of ready-to-eat autumn saury[J]. Food and Machinery, 2021, 37(9): 29−36.]

[26] SUN Y W, ZHANG Y, SONG H L. Variation of aroma components during frozen storage of cooked beef balls by SPME and SAFE coupled with GC-O-MS[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(1).

[27] 王雪锋, 涂行浩, 吴佳佳, 等. 草鱼的营养评价及关键风味成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 182−189. [WANG Xuefeng, TU Xinghao, WU Jiajia, et al. Nutritional evaluation and analysis of key flavor components of Grass carp[J]. Chinese Journal of Food Science, 2014, 14(12): 182−189.]

[28] 王玉, 赵延宁, 薛勇, 等. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析咸鲅鱼加工过程挥发性风味成分变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 266−272. [WANG Yu, ZHAO Yanning, XUE Yong, et al. Analysis of volatile flavor components of salted mackerel during processing based on electronic nose and SPME-GC-MS[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(24): 266−272.]

[29] 周辉明, 郑应龙, 陶志英, 等. 洪门水库鲢鳙鱼产力评估[J]. 江西水产科技, 2021(4): 19−22. [ZHOU Huiming, ZHENG Yinglong, TAO Zhiying, et al. Productivity assessment of silver carp and bighead carp in Hongmen Reservoir[J]. Jiangxi Fisheries Science and Technology, 2021(4): 19−22.]

[30] 胥晴, 原居林, 倪蒙, 等. 生态净养对淡水养殖鱼类肌肉品质影响的研究进展[J]. 水产科学, 2024, 43(1): 152−162. [XU Qing, YUAN Julin, NI Meng, et al. Research progress on the effect of ecological purification on muscle quality of freshwater cultured fish[J]. Aquatic Sciences, 2024, 43(1): 152−162.]

[31] ZHU Y F, CHEN J, CHEN X J, et al. Use of relative odor activity value (ROAV) to link aroma profiles to volatile compounds: application to fresh and dried eel (*Muraenesox cinereus*)[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 2257−2270.

[32] 丁浩宸, 李栋芳, 张燕平, 等. 南极磷虾虾仁与 4 种海虾虾仁挥发性风味成分对比[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(10): 57−62. [DING Haochen, LI Dongfang, ZHANG Yanping, et al. Comparison of volatile flavor components of Antarctic Krill and four kinds of sea shrimp[J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(10): 57−62.]

[33] CHA Y J, JOENG J E, YU D. Volatile flavor compounds in low salt-fermented ascidians halocynthia roretzi made by flavor enhancing[J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2020, 53(3): 273−280.

[34] 张权, 李金林, 胡明明, 等. 基于电子鼻和 SAFE-GC-MS 分析调味小龙虾挥发性风味特征差异[J/OL]. 食品与发酵工业: 1−14 [2024-07-05]. https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036446. [ZHANG Quan, LI Jinlin, HU Mingming, et al. Analysis of volatile flavor characteristics of seasoned crayfish based on electronic nose and SAFE-GC-MS[J/OL]. Food and fermentation industry: 1−14[2024-07-05]. https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036446.]

[35] LI Y, YUAN L, LIU H J, et al. Analysis of the changes of volatile flavor compounds in a traditional Chinese shrimp paste during fermentation based on electronic nose, SPME-GC-MS and HS-GC-IMS[J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(1): 173−182.