

暂养净化对池塘养殖大口黑鲈营养成分及挥发性风味物质的影响

崔雁娜¹, 徐磊¹, 郭水荣^{2*}, 雷宁³, 林锋¹, 周冬仁¹, 王俊¹,
沈亚芳¹, 黄爱霞¹, 郝贵杰^{1*}

- (1. 农业农村部淡水渔业健康养殖重点实验室, 浙江省鱼类健康与营养重点实验室, 湖州市水产品品质提升与加工技术重点实验室, 浙江省淡水水产研究所, 湖州 313001; 2. 杭州市农业技术推广中心, 杭州 310020; 3. 上饶市农林水科学研究中心, 上饶 334000)

摘要: **目的** 探究暂养净化处理对大口黑鲈肌肉中营养成分及挥发性风味物质的影响。**方法** 利用氨基酸自动分析仪、气相色谱-质谱法、气相色谱-离子迁移谱法(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)对暂养净化处理前后大口黑鲈肌肉中的基本营养组分、氨基酸、脂肪酸及挥发性风味物质进行测定。**结果** 相较于对照组, 暂养净化后大口黑鲈肌肉中的水分、总灰分、脂肪和蛋白质含量均无显著变化。大口黑鲈肌肉中共鉴定出16种氨基酸、19种脂肪酸, 暂养净化后大口黑鲈肌肉中的氨基酸营养价值有所降低, 脂肪酸的抗氧化能力也会降低。大口黑鲈肌肉中的挥发性风味物质中以醛类(11种)、醇类(7种)和酮类(8种)物质为主, 伴有少量酯类(2种), 暂养净化后大口黑鲈肌肉中的正戊醛、正己醛、正庚醛、正辛醛、正壬醛、反-2-戊烯醛、反-2-己烯醛和2-戊酮的含量升高, 异丁醛、2-甲基丁醛、异戊醛、苯甲醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、3-戊酮、2-庚酮、2-己酮、2-丁酮、异丙醇、异戊醇、2-乙基己醇和3-异戊酸甲酯的含量降低。此外, 暂养净化后大口黑鲈肌肉中的2-甲基异莰醇(2-methylisobornyl, 2-MIB)含量会显著降低($P<0.05$)。**结论** 暂养净化对大口黑鲈肌肉的营养成分影响不大, 对挥发性风味物质的影响较大, 能有效改善鲈鱼风味, 并减少鱼肉中的土腥味。

关键词: 大口黑鲈; 暂养净化; 营养成分; 挥发性风味物质

基金项目: 湖州市科技局重点研发项目(2022ZD2052)、浙江省科技厅重点研发项目(2022C02028)、浙江省科技厅省属科研院所扶持专项(2022YSZX005)、杭州市农业和社会发展科研项目(202203B16)

Fund: Supported by the Key Research and Development Project of Science and Technology Department of Huzhou City (2022ZD2052), the Key Research and Development Project of Science and Technology Department of Zhejiang Province (2022C02028), the Provincial Research Institutes Supported by Science and Technology Department of Zhejiang Province (2022YSZX005), and the Hangzhou Agricultural and Social Development Research Project

*通信作者: 郭水荣, 正高级工程师, 主要研究方向为水产养殖。E-mail: xsgsr@163.com

郝贵杰, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与加工。E-mail: 391601350@qq.com

*Corresponding author: GUO Shui-Rong, Senior Engineer, Hangzhou Center for Agricultural Technology Extension, Hangzhou 310020, China. E-mail: xsgsr@163.com

HAO Gui-Jie, Ph.D, Professor, Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China. E-mail: 391601350@qq.com

Effects of purification and temporary maintenance on the nutritional components and volatile flavor compounds of *Micropterus salmoides* in pond

CUI Yan-Na¹, XU Lei¹, GUO Shui-Rong^{2*}, LEI Ning³, LIN Feng¹, ZHOU Dong-Ren¹, WANG Jun¹, SHEN Ya-Fang¹, HUANG Ai-Xia¹, HAO Gui-Jie^{1*}

(1. Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou Key Laboratory of Aquatic Product Quality Improvement and Processing Technology, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China; 2. Hangzhou Center for Agricultural Technology Extension, Hangzhou 310020, China; 3. Shangrao Agriculture, Forestry and Water Science Research Center, Shangrao 334000, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of purification and temporary maintenance on the nutritional components and volatile flavor compounds in the muscle of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) cultured in pond. **Methods** Automatic amino acid analyzer, gas chromatograph-mass spectrometry, and gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) were used to determine the amino acids, fatty acids, and volatile flavor compounds in the muscle of largemouth bass. **Results** Compared with the control group, the content of water, total ash, fat and protein in muscle of largemouth bass after purification and temporary maintenance had no significant change. A total of 16 amino acids and 19 fatty acids were identified in the muscle of largemouth bass. The amino acid nutritional value and antioxidant capacity of fatty acids in muscle of largemouth bass were decreased after temporary maintenance and purification, but their anti-cardiovascular disease ability was enhanced. The volatile flavor substances in the muscle of largemouth bass were mainly aldehydes (11), alcohols (7) and ketones (8) with a small amount of esters (2), and the content of pentanal, hexanal, heptanal, octanal, *n*-nonanal, (*E*)-2-pentenal, (*E*)-2-hexenal and 2-pentanone in the muscle of largemouth bass after temporary cultivation and purification were increased, while those of methylpropanal, 2-methylbutanal, 3-methylbutanal, benzaldehyde, 6-methyl-5-heptene-2-one, 3-pentanone, 2-heptanone, 2-butyl methyl ketone, 2-butanone, 2-propanol, 3-methylbutanol, 2-ethyl-1-hexanol and methyl 3-methylbutanoate were increased. In addition, the 2-methylisobornyl (2-MIB) content in the muscle of largemouth bass was significantly reduced after temporary incubation and purification ($P < 0.05$). **Conclusion** Temporary cultivation and purification has little effect on the nutrient composition of largemouth bass muscle, but has great effect on volatile flavor substances, which can effectively improve the flavor of bass and reduce the earthy taste in fish.

KEY WORDS: *Micropterus salmoides*; purification and temporary maintenance; nutritional components; volatile flavor compounds

0 引言

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*, *M. salmoides*)俗称加州鲈, 广温性淡水鱼类, 肉质鲜嫩、无肌间刺、营养丰富、养殖周期短、生长速度快, 是国内重要的淡水养殖品种之一。我国大口黑鲈主要养殖区域是佛山、苏州、南京及湖州等城市^[1], 其养殖模式以传统池塘养殖模式为主。池塘养殖模式是我国水产养殖业的支柱^[2], 其在淡水养殖中占据着重要地位, 根据 2021 年《中国渔业统计年鉴》数据显示, 我国 2020 年大口黑鲈养殖产量约为 61 万 t, 是养殖产量最高的特色淡水鱼。

池塘养殖模式下, 因养殖密度较大, 饲料投喂量较高导致饵料过剩, 养殖水体通常处于富营养化状态, 放线菌

和蓝藻等浮游植物生长过剩导致水体中土臭味素(geosmin, GSM)和二甲基异茨醇(2-methylisoborneol, 2-MIB)含量较高^[3]。GSM 和 2-MIB 是土腥味物质的主要成分, 水产养殖的淡水鱼类通常都会有一种土腥味^[4-6]。土腥味会降低消费者对水产品的接受程度, 部分物质甚至会危害人体健康^[7-9]。因此, 研究人员进行了清洗和掩盖处理、食盐或复合磷酸盐处理等一系列脱腥研究^[10-12]。除此之外, 净化和暂养处理也是改善养殖淡水鱼不良风味的有效方法^[13-15]。有研究显示, 禁食暂养可以降低卵形鲳鲹应激, 进而降低肌肉组织氧化损失, 可能对其品质产生影响^[16]。

随着消费者对食物风味需求的提高, 腥味作为一种不良风味, 已成为限制水产品消费的关键因素之一。另外, 水产品营养价值也是水产品品质的重要组成部分, 且目前

关于暂养净化对大口黑鲈肌肉营养成分和挥发性风味物质的影响的研究较为缺乏。因此,本研究以池塘养殖的大口黑鲈为研究对象,对暂养净化后大口黑鲈肌肉中的营养成分及挥发性风味物质进行测定,以评估净化处理对大口黑鲈肌肉品质的影响,为大口黑鲈暂养净化的优化及后续研究提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

氢氧化钠、盐酸、海砂、乙酸镁、浓盐酸、石油醚(沸程为 30~60℃)、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、氢氧化钠、无水乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂(上海源叶生物科技有限公司);GSM 和 2-MIB 混合标准溶液(100 μg/mL,坛墨质检科技股份有限公司);顺式-十氢-1-萘酚标准物质(纯度 99%,美国 Sigma-Alorich 公司);甲醇(色谱纯,美国 Fisher Chemical 公司);本研究所用水均为 Milli-Q Gradient 去离子水。

1.2 仪器与设备

SECURA125-1CN/SQP 万分之一分析天平(德国 Sartorius 公司);DGG-9140AD 型电热恒温干燥箱(上海森信实验仪器有限公司);SXL-1016 程控箱式炉(杭州卓驰仪器有限公司);DK-S24 恒温水浴锅(上海智诚分析仪器制造有限公司);FS-SE-54-CB-1 色谱柱为(15 m×0.53 mm, 1 μm)、FlavourSpec®风味分析仪(德国 G.A.S.公司);GM200 组织捣碎机(德国 Retsch 公司);S-433D 氨基酸分析仪(德国 SYKAM 公司);7890A/5975C 气质联用仪、HP-5ms 弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司);FY-SXT-06 索氏抽提器(杭州菲跃有限公司);K9840 自动凯氏定氮仪(海能仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品的处理方法

将湖州某传统养殖池塘规格为(0.563±0.082) kg 的大口黑鲈转移至暂养池中。暂养池为直径 6 m,高 1.15 m,水位 1 m,养殖密度 100 尾/m³的圆形帆布池。暂养分为 3 个周期,每个周期 7 d。暂养池采用常流水的方式换水,每次换水量为 150~200 m³。第一个周期采用 3%~5%的氯化钠和适量五倍子浸泡的水溶液换水,以去除鱼体腥味,增强抵抗力;第二和第三周期分别用清水换水,增强鱼体适应正常养殖环境的能力。传统池塘养殖组(CT 组)为对照组、暂养净化组(JH 组)为实验组,对照组和实验组分别为 3 条鱼,体重(500±25) g,体长(32±3) cm,分别采集大口黑鲈肌肉进行相关指标检测。

1.3.2 常规营养成分测定

分别参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品

中水分的测定》第一法、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》第一法、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第二法和 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法测定大口黑鲈肌肉水分、总灰分、脂肪和蛋白质。

1.3.3 氨基酸分析及评价

大口黑鲈肌肉的氨基酸组成采用氨基酸自动分析仪测定,检测方法参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,并与联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)提出的人体必需氨基酸均衡模式进行比较,按氨基酸计分方法^[17],以氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)、必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)评定鱼肉中蛋白质的氨基酸营养价值,分别按照公式(1)~(3)计算:

$$AAS = \frac{\text{待测样品中某种氨基酸含量(mg/g pro)}}{\text{FAO/WHO评分模式中同种氨基酸含量(mg/g pro)}} \times 100 \quad (1)$$

$$CS = \frac{\text{待测样品中某种氨基酸含量(mg/g pro)}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(mg/g pro)}} \times 100 \quad (2)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{Lys(t)}{Lys(s)} \times 100 \times \frac{Met(t)}{Met(s)} \times 100 \times \dots \times \frac{Val(t)}{Val(s)} \times 100} \quad (3)$$

式中, n 表示比较的氨基酸数量; t 表示待测样品蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g pro); s 表示全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g pro)。

1.3.4 脂肪酸分析及评价

大口黑鲈肌肉的脂肪酸组成参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》第二法进行测定。按公式(4)、(5)计算致动脉粥样化指数(atherogenic index, AI)和血栓形成指数(thrombogenic index, TI),用以评估不同养殖模式大口黑鲈肌肉脂肪酸对人类心血管疾病发生的影响;AI 和 TI 指数越低,越有利于防止心脑血管疾病;按公式(6)计算多烯指数(polyene index, PI),用于评估不同养殖模式下大口黑鲈多烯不饱和脂肪酸的氧化程度,PI 指数越高,越有利于增强人体抗氧化能力:

$$AI = \frac{C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0}{\Sigma MUFA + \Sigma n6 + \Sigma n3} \quad (4)$$

$$TI = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{0.5 \times \Sigma MUFA + 0.5 \times \Sigma n6 + \Sigma n3 + \Sigma n3 / \Sigma n6} \quad (5)$$

$$PI = \frac{C_{20:5} + C_{22:6}}{C_{16:0}} \quad (6)$$

式中, C12:0 代表 12 个碳原子的饱和脂肪酸含量,其他同理; $\Sigma MUFA$ 代表单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)含量之和; $\Sigma n6$ 代表 $n6$ 脂肪酸含量之和; $\Sigma n3$ 代表 $n3$ 脂肪酸含量之和。

1.3.5 挥发性风味物质检测

GSM 和 2-MIB: 准确称取 10 g 样品进行匀浆处理,利

用固相微萃取法提取样品中的 GSM 和 2-MIB, 1000 r/min 顶空萃取 30 min 后取出, 并迅速插入到气相色谱仪的进样口, 以顺式-十氢-1-萘酚溶液作为内标, 通过 GC-MS 进行分析鉴定。检测条件: HP-5ms 弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 程序升温: 柱初温 60°C, 保持 4 min, 然后以 8.5°C/min 升至 200°C, 保持 15 min, 以 20°C/min 升至 250°C, 保持 2 min; 进样口温度 250°C; 载气: He, 流量 1.0 mL/min; 解析温度 250°C, 解析时间 5 min, 不分流进样。传输线温度 260°C; 离子源温度 230°C; 四极杆温度 150°C; 电子能量 70 eV; 扫描方式: 选择性离子监测(selected ion monitoring, SIM); GSM 扫描离子为 125、112、97; 2-MIB 扫描离子为 135、108、95; 顺式-十氢-1-萘酚的扫描离子为 136、94、121。

其他风味物质: 采用气相色谱-离子迁移谱法(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)进行检测。称取 2 g 鱼糜装入 20 mL 顶空瓶中, 100°C 孵育 15 min 后进样。检测条件: FS-SE-54-CB-1 色谱柱为(15 m×0.53 mm, 1 μm, 德国 G.A.S 公司), 柱温 80°C, 载气/漂移气 N₂, IMS 温度 45°C, 分析时间 30 min; 自动顶空进样单元: 进样体积 500 μL, 孵育时间: 15 min, 孵育温度 100°C, 进样针温度 105°C, 孵化转速 500 r/min。气相色谱升温程序: 2 mL/min 保持 2 min, 然后以 2 mL/min 的速度在 18 min 内升至 100 mL/min, 再以 100 mL/min 的速度在 10 min 内升至 150 mL/min。

1.4 数据处理

采用 SPSS Statistics 23.0 软件进行分析, 实验数据以平均值±标准偏差表示, 根据单因素方差分析法中的 Duncan 比较法进行显著性分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 大口黑鲈肌肉中的基本营养成分

各组大口黑鲈肌肉中的常规营养成分检测结果见表 1。CT 组和 JH 组大口黑鲈肌肉中水分、总灰分、脂肪和蛋白质含量之间均无显著性差异($P>0.05$), 表明净化暂养

处理对大口黑鲈肌肉中基本营养成分的影响甚微。

表 1 大口黑鲈肌肉中的基本营养成分比较
Table 1 Comparison of essential nutritional components in muscle of *M. salmoides*

指标/(g/100 g)	CT 组	JH 组
水分	76.2±0.0045 ^a	76.4±0.0074 ^a
总灰分	1.20±0.0177 ^a	1.10±0.0321 ^a
脂肪	4.90±0.0404 ^a	4.30±0.0148 ^a
蛋白质	18.4±0.0254 ^a	18.7±0.0000 ^a

注: 同一行的不同上标字母表示有显著差异($P<0.05$), 相同上标字母表示差异不显著($P>0.05$), 下同。

2.2 大口黑鲈肌肉的氨基酸组成及评价

由表 2 可知, CT 组和 JH 组鱼肉中各类氨基酸含量及总氨基酸含量均无显著性差异($P>0.05$), 均共鉴定出 16 种氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸、2 种半必需氨基酸和 7 种非必需氨基酸。CT 组和 JH 组大口黑鲈肌肉中均以谷氨酸含量最高, 其次是天冬氨酸, 而含量最低的是组氨酸。谷氨酸是一种酸性氨基酸, 是调味和改善肉风味的重要物质。并且谷氨酸是动物体内氮代谢的基本氨基酸之一, 参与机体蛋白质和多肽的合成, 维持体内氮平衡^[18], 而且在机体免疫、抗氧化应激、肠道发育等方面具有重要作用^[19]。天冬氨酸作为天然水中主要的氨基酸之一, 广泛存在于湖泊、水库和河流中, 在长江和汉江中占总氨基酸的 40.00%~60.00%, 这与天冬氨酸主要存在于大型水生植物和维管植物组织中(占 15%左右)有关, 此外, 天冬氨酸还是重要的消毒副产物前体物质^[20]。组氨酸属于苦味氨基酸, 是合成组胺的前体, 鱼肉腐败的过程种会致组氨酸通过脱羧作用转化为组胺^[21]。组胺毒性较大, 当人体过量摄入时会产生头痛、恶心等不良反应, 严重时还会危及生命^[22]。高含量的谷氨酸和低含量的组氨酸可以赋予大口黑鲈肌肉鲜美的风味。

CT 组和 JH 组大口黑鲈肌肉中的氨基酸的营养评价结果见表 3。参与评价的氨基酸的 AAS 评分、CS 评分、

表 2 大口黑鲈肌肉中的氨基酸含量比较(g/100 g pro)
Table 2 Comparison of amino acid content in muscle of *M. salmoides* (g/100 g pro)

氨基酸种类	氨基酸含量		氨基酸种类	氨基酸含量	
	CT 组	JH 组		CT 组	JH 组
赖氨酸 [*]	1.52±0.01 ^a	1.52±0.01 ^a	谷氨酸	2.54±0.01 ^a	2.48±0.02 ^a
蛋氨酸 [*]	0.45±0.00 ^a	0.42±0.02 ^a	天冬氨酸	1.66±0.01 ^a	1.60±0.03 ^a
亮氨酸 [*]	1.30±0.01 ^a	1.26±0.01 ^a	丙氨酸	0.94±0.01 ^a	0.91±0.02 ^a
异亮氨酸 [*]	0.74±0.01 ^a	0.72±0.01 ^a	丝氨酸	0.66±0.03 ^a	0.63±0.00 ^a
苏氨酸 [*]	0.74±0.01 ^a	0.70±0.01 ^a	脯氨酸	0.54±0.05 ^a	0.52±0.01 ^a
缬氨酸 [*]	0.77±0.02 ^a	0.76±0.03 ^a	甘氨酸	0.75±0.06 ^a	0.73±0.02 ^a
苯丙氨酸 [*]	0.68±0.01 ^a	0.66±0.01 ^a	酪氨酸	0.48±0.00 ^a	0.48±0.01 ^a
组氨酸 [#]	0.38±0.02 ^a	0.37±0.00 ^a	总氨基酸	15.1±0.05 ^a	14.6±0.06 ^a
精氨酸 [#]	0.94±0.01 ^a	0.88±0.00 ^a			

注: ^{*}必需氨基酸; [#]半必需氨基酸。

表3 大口黑鲈肌肉中的氨基酸评分比较
Table 3 Comparison of amino acid scores in muscle of *M. salmoides*

氨基酸种类	FAO/WHO	鸡蛋蛋白	AAS		CS		EAAI	
			CT组	JH组	CT组	JH组	CT组	JH组
赖氨酸	55	70	150	148	118	116		
蛋氨酸+半胱氨酸	35	57	70	64	43	39		
亮氨酸	70	86	101	96	82	78		
异亮氨酸	40	54	100	96	74	71	73.28	69.96
苏氨酸	40	47	100	94	86	80		
缬氨酸	50	66	84	81	63	62		
酪氨酸+苯丙氨酸	60	93	105	102	68	66		

EAAI 评分均表现为 CT 组高于 JH 组。AAS、CS 和 EAAI 评分值越接近 100 表示营养价值越高。这说明 CT 组大口黑鲈肌肉中氨基酸的营养价值高于 JH 组, 也提示净化暂养过程种氨基酸营养价值有所损失。

2.3 肌肉脂肪酸组成及评价

在 CT 组和 JH 组大口黑鲈肌肉中共鉴定出 19 种脂肪酸, 包括 5 种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、6 种 MUFA、8 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA), 详见表 4。CT 组肌肉中 SFA 和 PUFA 含量均显著高于 JH 组。这可能是因为净化过程中能量消耗所致, 大口黑鲈净化过程中优先消耗 SFA, 性腺发育过程会消耗更多 PUFA^[23]。CT 组和 JH 组大口黑鲈肌肉均以亚油酸含量最高, 其次是油酸, 含量最低的是二十四碳一烯酸。值得注意的是, 净化处理后, 饱和脂肪酸中的硬脂酸(C18:0)未检出, 而单不饱和脂肪酸中增加了反式油酸(C18:1n9t)。

表4 大口黑鲈肌肉中脂肪酸含量

Table 4 Comparison of fatty acid content in muscle of *M. salmoides*

脂肪酸种类	脂肪酸含量/(g/100 g)	
	CT组	JH组
SFA	1.153±0.005 ^a	0.834±0.002 ^b
豆蔻酸(C14:0)	0.096±0.001 ^a	0.088±0.000 ^a
十五碳酸(C15:0)	0.014±0.000 ^a	0.011±0.000 ^a
棕榈酸(C16:0)	0.862±0.001 ^a	0.726±0.001 ^b
十七碳酸(C17:0)	0.012±0.001 ^a	0.009±0.001 ^a
硬脂酸(C18:0)	0.168±0.002 ^a	- ^b
MUFA	1.634±0.002 ^a	1.640±0.002 ^a
豆蔻油酸(C14:1n5)	0.006±0.000 ^a	0.004±0.000 ^a
棕榈一烯酸(C16:1n7)	0.214±0.001 ^a	0.202±0.000 ^a
反式油酸(C18:1n9t)	- ^a	0.122±0.001 ^b
油酸(C18:1n9c)	1.360±0.001 ^a	1.260±0.001 ^b
花生一烯酸(C20:1)	0.050±0.000 ^a	0.049±0.000 ^a
二十四碳一烯酸(C24:1n9)	0.005±0.000 ^a	0.003±0.000 ^a

表4(续)

脂肪酸种类	脂肪酸含量/(g/100 g)	
	CT组	JH组
PUFA	2.114±0.001 ^a	1.824±0.001 ^b
亚油酸(C18:2n6c)	1.400±0.001 ^a	1.330±0.001 ^b
α -亚麻酸(C18:3n3)	0.138±0.000 ^a	0.126±0.000 ^b
二十碳二烯酸(C20:2)	0.028±0.000 ^a	0.031±0.000 ^a
二十碳三烯酸(C20:3n6)	0.012±0.000 ^a	0.010±0.000 ^a
花生四烯酸(C20:4n6)	0.032±0.000 ^a	0.017±0.000 ^b
二十碳三烯酸(C20:3n3)	0.011±0.000 ^a	0.008±0.000 ^a
二十碳五烯酸(C20:5n3)	0.063±0.000 ^a	0.040±0.000 ^b
二十二碳六烯酸(C22:6n3)	0.430±0.000 ^a	0.262±0.000 ^b
总脂肪酸	4.901±0.008 ^a	4.298±0.005 ^b

注: -表示无此项。

由表 5 可知, CT 组的 PI、AI 和 TI 指数均显著高于 JH 组, 说明暂养净化后大口黑鲈肌肉的防止心脑血管疾病功能有所增强, 但抗氧化能力有所降低, 这可能是因为暂养净化过程中优先消耗 SFA, 去除了导致心脑血管疾病的元凶, 但同时也消耗掉了更多的 PUFA, 而 PUFA 尤其是 ω -3 PUFA 是影响抗氧化能力的主要因素^[24]。

表5 大口黑鲈肌肉中的脂肪酸评分比较

Table 5 Comparison of fatty acid scores in muscle of *M. salmoides*

各项指数	CT组	JH组
AI	0.335 ^a	0.314 ^b
TI	0.288 ^a	0.260 ^b
PI	0.572 ^a	0.416 ^b

2.4 挥发性风味物质

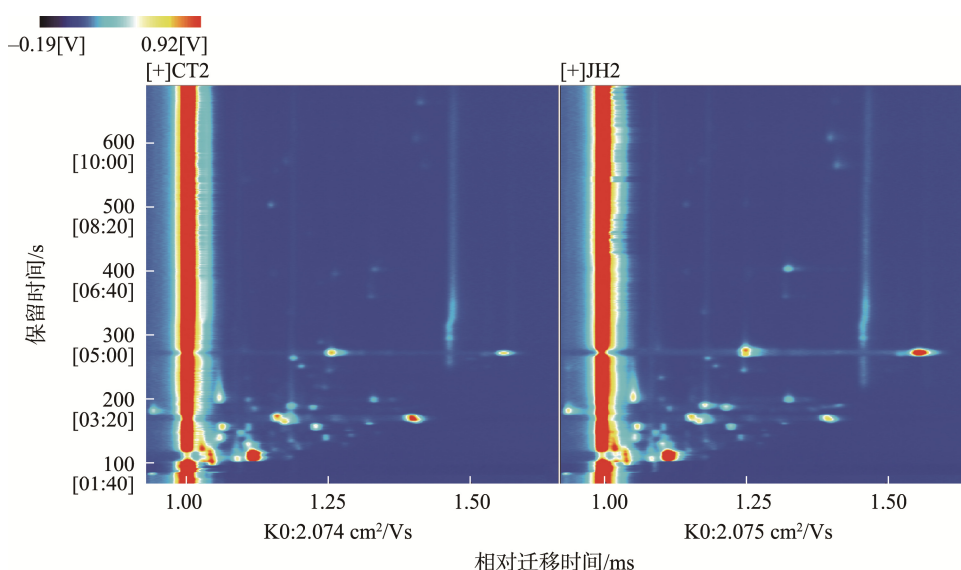
GC-MS 结果显示, CT 组和 JH 组 GSM 分别为 (0.780±0.025) $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、(0.870±0.038) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 无显著性差异 ($P>0.05$); CT 组 2-MIB 为(1.13±0.048) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 而 JH 组未检

出, 这提示净化暂养过程可有效去除鱼体肌肉中的 2-MIB, 进而减少其土腥味。

由图 1 可知, CT 组和 JH 组大口黑鲈肌肉中的挥发性风味物质的种类和含量存在差异。GC-IMS 从大口黑鲈肌肉中共鉴定出 28 种挥发性风味物质, 其中醛类 11 种、酮类 8 种、醇类 7 种和酯类 2 种, 详见表 6。

图 2 为挥发性风味物质的主成分分析(principal component analysis, PCA)图, 传统池塘养殖和暂养净化后的大口黑鲈肌肉中的挥发性风味物质存在明显差异。为了

进一步明确两组鱼肉中的挥发性风味物质的差异, 对两者的指纹图谱(图 3)进行对比, 发现净化处理后大口黑鲈肌肉中正戊醛、己醛、正庚醛、正辛醛、壬醛、反-2-戊烯醛和反-2-己烯醛等醛类的相对含量升高, 异丁醛、2-甲基丁醛、异戊醛、苯甲醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、3-戊酮、2-庚酮、2-己酮、2-丁酮、异丙醇、异戊醇和 2-乙基己醇等有机物的含量降低, 降低的主要物质除醛类外, 还包含酮类、醇类, 提示暂养净化可以去除了一些风味复杂的杂环有机物, 使大口黑鲈肌肉风味更加纯正。



注: 纵坐标代表气相色谱的保留时间(s), 横坐标代表离子迁移时间(归一化处理); 横坐标1.0处的红线为反应离子峰(reactive ion peak, RIP), RIP峰两侧的每一个点代表一种挥发性风味物质, 颜色代表物质的浓度, 白色表示浓度较低, 红色表示浓度较高, 颜色越深表示浓度越大。

图1 不同组别大口黑鲈肌肉中挥发性风味物质的GC-IMS二维谱图

Fig.1 Two-dimensional GC-IMS spectra of volatile flavor compounds in *M. salmoides* muscle from different groups

表 6 不同组别大口黑鲈肌肉中挥发性风味物质定性结果

Table 6 Volatile flavor compounds qualitative results in *M. salmoides* muscle from different groups

化合物	CAS#	分子式	相对分子质量	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms
醛类						
异戊醛*	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	642.8	166.014	1.17442
异戊醛#	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	645.3	167.129	1.40632
2-甲基丁醛*	C96173	C ₅ H ₁₀ O	86.1	655.8	172.037	1.16097
2-甲基丁醛#	C96173	C ₅ H ₁₀ O	86.1	659.1	173.598	1.39803
正己醛*	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.2	792.7	274.784	1.25188
正己醛#	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.2	792.7	274.784	1.55959
苯甲醛	C100527	C ₇ H ₆ O	106.1	957.9	504.184	1.15182
正辛醛	C124130	C ₈ H ₁₆ O	128.2	1010.8	607.611	1.40685
正壬醛	C124196	C ₉ H ₁₈ O	142.2	1104.8	791.183	1.47362
反式-2-己烯醛	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	98.1	851.3	339.229	1.18444
反式-2-戊烯醛	C1576870	C ₅ H ₈ O	84.1	749.8	235.127	1.10983
正戊醛*	C110623	C ₅ H ₁₀ O	86.1	693.8	191.813	1.18444

表6(续)

化合物	CAS#	分子式	相对分子质量	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms
正戊醛 [#]	C110623	C ₅ H ₁₀ O	86.1	694.5	192.316	1.41836
异丁醛 [*]	C78842	C ₄ H ₈ O	72.1	553.9	130.061	1.10782
异丁醛 [#]	C78842	C ₄ H ₈ O	72.1	557.5	131.366	1.28006
正庚醛 [*]	C111717	C ₇ H ₁₄ O	114.2	900.3	405.362	1.34005
正庚醛 [#]	C111717	C ₇ H ₁₄ O	114.2	899.5	404.059	1.69925
酮类						
丙酮	C67641	C ₃ H ₆ O	58.1	494.4	110.472	1.11956
2-丁酮 [*]	C78933	C ₄ H ₈ O	72.1	584.6	141.477	1.06055
2-丁酮 [#]	C78933	C ₄ H ₈ O	72.1	585.1	141.7	1.24793
3-羟基-2-丁酮 [*]	C513860	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	708.5	202.373	1.06158
3-羟基-2-丁酮 [#]	C513860	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	707.0	201.258	1.33074
2-庚酮	C110430	C ₇ H ₁₄ O	114.2	891.6	392.199	1.26346
2-戊酮 [*]	C107879	C ₅ H ₁₀ O	86.1	682.8	185.251	1.12297
2-戊酮 [#]	C107879	C ₅ H ₁₀ O	86.1	684.2	185.991	1.37183
6-甲基-5-庚烯-2-酮	C110930	C ₈ H ₁₄ O	126.2	991.9	573.528	1.17605
2-己酮	C591786	C ₆ H ₁₂ O	100.2	783.9	266.219	1.18954
3-戊酮	C96220	C ₅ H ₁₀ O	86.1	707.2	201.401	1.11108
醇类						
乙醇	C64175	C ₂ H ₆ O	46.1	448.2	97.311	1.04295
正戊醇	C71410	C ₅ H ₁₂ O	88.1	759.8	243.886	1.24936
正己醇	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	868.0	360.36	1.3277
2-乙基-己醇	C104767	C ₈ H ₁₈ O	130.2	1043.1	665.197	1.41622
1-辛烯-3-醇	C3391864	C ₈ H ₁₆ O	128.2	983.9	556.492	1.15948
异戊醇	C123513	C ₅ H ₁₂ O	88.1	732.9	221.162	1.24433
异丙醇	C67630	C ₃ H ₈ O	60.1	490.1	109.172	1.08791
酯类						
3-异戊酸甲酯	C556241	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	771.4	254.362	1.20075
乙酸乙酯	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	606.8	150.4	1.09471

注: *表示单体; #表示二聚体。

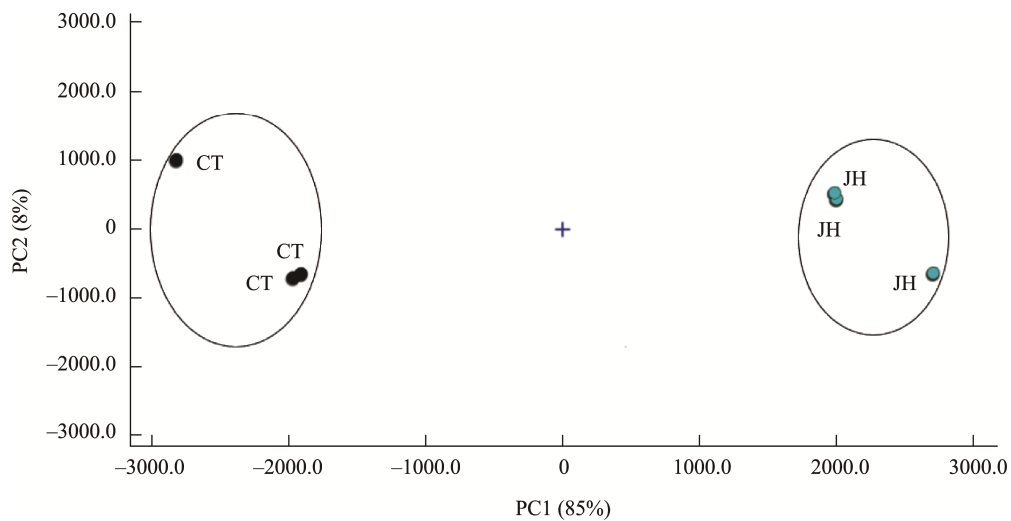
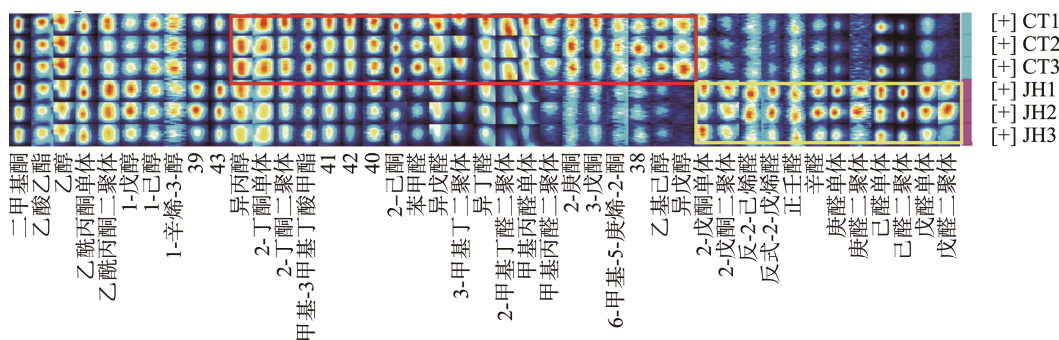


图2 不同组别大口黑鲈肌肉挥发性风味物质的PCA图

Fig.2 PCA diagrams of volatile flavor compounds of *M. salmoides* muscle in different groups



注: 图中每行代表单个鱼肉样品中选取的全部信号峰, 每列代表同一挥发性风味物质在不同鱼肉样品中的信号峰, 每个亮斑代表一种挥发性化合物, 亮斑颜色越深代表物质含量越高; 黄框代表在JH样品中含量更高, 红框代表在CT样品中含量更高。

图3 不同组别大口黑鲈肌肉中挥发性风味物质的Gallery Plot图(指纹图谱)

Fig.3 Gallery plot of volatile flavor compounds in *M. salmoides* muscle from different groups (fingerprint)

3 讨论

3.1 暂养净化对大口黑鲈肌肉营养价值的影响

大口黑鲈肌肉氨基酸营养价值评估结果显示, 传统池塘养殖方式下的 AAS、CS、EAAI 评分均高于净化暂养, 表明暂养净化后大口黑鲈肌肉中的氨基酸营养价值略有降低。脂肪酸成分测定结果显示, 净化暂养后大口黑鲈肌肉中硬脂酸含量低于检出限, 而反式油酸含量却由 0 g/100 g 升高至 0.122 g/100 g。硬脂酸广泛存在于自然界, 几乎存在于所有油脂, 其在动物脂肪中的含量较高。硬脂酸更多地应用于化工行业^[25-26], 其对食品风味影响的研究目前仅发现与小米粥感官品质呈负相关^[27]。因此暂养净化后硬脂酸含量降低对大口黑鲈肌肉品质的影响还不明确。反式油酸已经被公认为是一种不受消费者欢迎的脂肪酸。反式油酸对人体健康的危害比饱和脂肪酸的危害要大^[28]。反式油酸的摄入量与冠心病发病率呈显著正相关^[29], 而且摄入反式油酸能升高总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平, 降低高密度脂蛋白水平, 使心血管疾病的发病率增加^[30-31]。故推测暂养净化后可能对心血管疾病产生负面影响, 但本研究结果显示, 暂养净化处理后的大口黑鲈肌肉 AI 和 TI 指数均显著高于传统养殖组, 这可能是反式油酸所产生的负面作用有限, 事实上, 脂肪酸对心血管疾病发生的影响机制复杂, 仍需要进一步的研究。

3.2 暂养净化对大口黑鲈肌肉挥发性风味物质的影响

醛类物质通常阈值较低, 被认为是鱼肉的主体风味, 具有脂肪香味^[32]。正戊醛具有杏仁味、水果味和麦芽味^[33]。通常在刚捕获的鱼中会检测到 C6 化合物如己醛, 其提供一种鲜香和青香的特征性气味。己醛则具有青草香、酸败味和辛辣味^[34]。正庚醛、正辛醛和壬醛都是油酸和亚油酸氧化的产物, 正庚醛、正辛醛通常具有脂肪味、干鱼味、青草味、柑橘水果味和辛辣味^[33], 壬醛则有柑橘的香味^[35]。酮类物质对鱼肉风味的贡献比醛类小, 水产品中的酮类物质通常是氨基酸降解、热降解、脂质氧化、微生物氧化和美拉德反应的产物^[33]。酮类化合物大多数呈脂肪味和焦燃味, 具

有增强鱼肉腥味的功效^[36]。醇类物质阈值较高, 通常认为其对食物风味的影响较小。净化处理后大口黑鲈肌肉中多种令人愉悦的醛类物质含量的升高, 多种酮类和醇类物质含量的下降, 都初步表明了净化处理对改善大口黑鲈肌肉挥发性风味具有一定促进作用。值得注意的是, 大口黑鲈肌肉土腥味的主要贡献成分 GSM 和 2-MIB 含量测定结果显示, 净化处理后大口黑鲈肌肉中 GSM 含量无显著变化, 而 2-MIB 含量出现显著降低, 这进一步证实暂养净化对大口黑鲈肌肉风味品质的提升具有促进作用。

4 结论

本研究结果显示暂养净化处理后大口黑鲈肌肉中的基本营养成分、氨基酸无显著性变化, 而脂肪酸组成和含量发生了显著性变化, 但抗氧化能力和氨基酸营养价值有所降低。暂养净化处理可有效减少鱼肉中的土腥味, 且对改善大口黑鲈肌肉挥发性风味具有一定促进作用, 但暂养的时间和换水量还需进一步优化, 暂养前后反映大口黑鲈肌肉品质的指标还需进一步细化。本研究可为水产养殖及水产加工前材料的处理提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] 廖静, 白俊杰. 加州鲈产业发展未来可期[J]. 海洋与渔业, 2020, (1): 78-79. LIAO J, BAI JJ. the future of the sea bass industry in California [J]. Oceans Fish, 2020, (1): 78-79.
- [2] 高鸣, 陈洁, 姚志. 中国淡水养殖业绿色发展: 提质增效与未来路径[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2022, 41(3): 96-106. GAO M, CHEN J, YAO Z. Green development of freshwater aquaculture in China: Quality improvement and efficiency enhancement and future path [J]. J Huazhong Agric Univ Sci, 2022, 41(3): 96-106.
- [3] 邹剑敏, 卢奇, 桂源, 等. 罗非鱼体内土腥味物质的分布特征研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7704-7709. ZOU JM, LV Q, GUI Y, et al. Study on the distribution characteristics of soil odor substances in tilapia [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(19):

- 7704–7709.
- [4] HOWGATE P. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-isoborneol: A review of sensory aspects and of uptake/deposition [J]. *Aquaculture*, 2004, 234(1-4): 155–181.
- [5] ZIMBA PV, SCHRADER KK, HYLDIG G, *et al.* Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol off-flavour in smoked rainbow trout fillets using instrumental and sensory analyses [J]. *Aquac Res*, 2011, 43(1): 149–153.
- [6] PETERSEN MA, HYLDIG G, STROBEL BW, *et al.* Chemical and sensory quantification of geosmin and 2-methylisoborneol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from recirculated aquacultures in relation to concentrations in basin water [J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(23): 12561–12568.
- [7] JONES B, FULLER S, CARTON AG. Earthy-muddy tainting of cultured barramundi linked to geosmin in tropical Northern Australia [J]. *Aquac Environ Interac*, 2013, 3(2): 117–124.
- [8] YARNAKDEE S, BENJAKUL S, PENJAMRAS P, *et al.* Chemical compositions and muddy flavour/odour of protein hydrolysate from Nile tilapia and broadhead catfish mince and protein isolate [J]. *Food Chem*, 2014, 142(1): 210–216.
- [9] LIU SY, LIAO T, MCCRUMMEN ST, *et al.* Exploration of volatile compounds causing off-flavor in farm-raised channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillet [J]. *Aquac Int*, 2016, 25: 413–422.
- [10] 郭思亚. 人工养殖鲟鱼肉制品开发及其品质评价[D]. 成都: 成都大学, 2019.
- GUO SY. Artificial cultured sturgeon meat products development and quality evaluation [D]. Chengdu: Chengdu University, 2019.
- [11] 张含昆. 鲟鱼肉冻融稳定性的研究及其调理食品的开发[D]. 大连: 大连工业大学, 2019.
- ZHANG HK. The freezing-thawing stability of sturgeon and its frozen prepared product development [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2019.
- [12] 苏怡, 姜启兴, 夏文水. 不同脱腥方法对鲟鱼肉脱腥效果的比较研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(10): 138–146.
- SU Y, JIANG QX, XIA WS. Comparison of effects of different deodorization methods on deodorizing sturgeon fish (*Acipenser sinensis*) [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(10): 138–146.
- [13] 王宾, 胡凯, 齐茜, 等. 活体鱼土腥物质及去除研究进展[J]. *现代农业研究* 2021, 27(2): 2.
- WANG B, HU K, QI Q, *et al.* Research progress in the removal of fishy substances from fish soil *in vivo* [J]. *Mode Agric Res*, 2021, 27(2): 2.
- [14] 廖涛, 杨玉平, 何建军, 等. Gsm 和 2-Mib 在斑马鱼体内的富集及暂养效果研究[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(16): 4272–4275.
- LIAO T, YANG YP, HE JJ, *et al.* Study on the enrichment of Gsm and 2-Mib in zebrafish and effect of temporary culture [J]. *Hubei Agric Sci*, 2016, 55(16): 4272–4275.
- [15] 周敏, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 短期暂养对草鱼肉质和挥发性风味的影响[J]. *食品工业*, 2016, 37(11): 139–143.
- ZHOU M, ZHOU LL, YUAN ML, *et al.* Research on the effects of short term starvation to the grass carp meat quality and volatile flavor [J]. *Food Ind*, 2016, 37(11): 139–143.
- [16] 张坤, 周结倩, 范秀萍, 等. 禁食暂养对卵形鲳鲆有水保活生理响应的研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2022, 42(1): 44–49.
- ZHANG K, ZHOU JJ, FAN XP, *et al.* Effects of fasting acclimation on the physiological response to water preservation of *trachinotus ovatus* [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2022, 42(1): 44–49.
- [17] FAO/WHO, 1989. Protein quality evaluation: report of the joint FAO/WHO expert consultation [Z].
- [18] 陈力, 柴捷, 张廷焕, 等. 谷氨酸的生物学功能及其在猪生产应用中的研究进展[J/OL]. *中国畜牧杂志*: 1–9. [2023-07-24]. <https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20230321-01>
- CHEN L, CHAI J, MZHANG TH, *et al.* The research progress on the biological function of glutamic acid and its application in pig production [J/OL]. *Chin J Anim Sci*: 1–9. [2023-07-24]. <https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20230321-01>
- [19] HISADOMI S, HARUNO A, FUJIEDA T, *et al.* Effects of rumen-protected glutamate supplementation during the periparturient period on digestibility, inflammation, metabolic responses, and performance in dairy cows [J]. *J Dairy Sci*, 2022, 105: 3129–3141
- [20] 赵娜, 曹瑞华, 黄廷林, 等. 水源水库温跃层溶解氧最小值条件下天冬氨酸的转化规律与机制[J/OL]. *中国环境科学*: 1–14. [2023-07-24]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230530.003>
- ZHAO N, DONG RH, HUANG TL, *et al.* Transformation and mechanism of aspartic acid under metalimnetic oxygen minimum condition in water source reservoirs [J/OL]. *China Environ Sci*: 1–14. [2023-07-24]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230530.003>
- [21] 邹家明, 何珊, 梁旭方, 等. 脑室注射和饲料缺乏组氨酸或缬氨酸对翘嘴鲻摄食的调控作用[J]. *华中农业大学学报*, 2022, 41(2): 168–175.
- ZOU JM, HE S, LIANG XF, *et al.* Regulatory effects of intracerebroventricular injection and deprived feed of histidine or valine on feeding of Chinese perch (*Siniperca chuatsi*) [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2022, 41(2): 168–175.
- [22] 遇世友, 张丝瑶, 王鑫, 等. CeO₂/RGO/GCE 电化学传感器的构建及鱼肉中组胺的检测[J]. *分析试验室*, 2023, 42(5): 624–630.
- YU SY, ZHANG SY, WANG X, *et al.* Construction of CeO₂/RGO/GCE electrochemical sensor for the determination of histamine in fish [J]. *Chin J Anal Lab*, 2023, 42(5): 624–630.
- [23] 马凤娇, 郭文君, 应聪萍, 等. 长江刀鲚生殖洄游期间脂肪酸组成及含量变化分析[J]. *水生生物学学报*, 2023, 47(1): 156–167.
- MA FJ, GUO WJ, YING CP, *et al.* Changes of fatty acid components and content of coilia nasus in the yangtze river during spawning migration [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2023, 47(1): 156–167.
- [24] 杨红秀, 李丽华. Omega-3 多不饱和脂肪酸对缺血缺氧性脑损伤幼鼠炎症和细胞凋亡反应的影响[J]. *临床神经外科杂志*, 2023, 20(2): 173–178.
- YANG HX, LI LH. Effects of omega-3 Polyunsaturated fatty acid on inflammation and apoptosis in young rats with hypoxic-ischemic brain

- injury [J]. *J Clin Neurosurg*, 2023, 20(2): 173–178.
- [25] PATTI A, LECOCQ H, SERGHEI A, *et al.* The universal usefulness of stearic acid as surface modifier: Applications to the polymer formulations and composite processing [J]. *J Ind Eng Chem*, 2021, 96: 1–33.
- [26] NEGAHBAN Z, SHOJAOSADATI SA, HAMEDI S. A novel self-assembled micelles based on stearic acid modified schizophyllan for efficient delivery of paclitaxel [J]. *Colloid Surface B*, 2021, 199: 111524.
- [27] 郑倩茹, 胡萌萌, 张丽玲, 等. 小米油脂成分含量与小米粥感官品质的相关性[J]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(4): 38–46.
- XI XR, HU MM, ZHANG LL, *et al.* Correlation between oil content in Xiaomi and sensory quality of millet porridge [J]. *J China Agric Univ*, 2021, 26(4): 38–46.
- [28] SHEN JF, ZHANG ZY. Safety of trans fatty acids and recent research progress [J]. *J Chin Oils Assoc*, 2005, 20(4): 88–90.
- [29] COUNIL E, JULIEN P, LAMARCHE B, *et al.* Association between trans-fatty acids in erythrocytes and pro-atherogenic lipid profiles among Canadian Inuit of Nunavik: Possible influences of sex and age [J]. *Brit J Nutr*, 2009, 102(5): 766–76.
- [30] LEMAITRE RN, KING IB, RAGHUNATHAN TE, *et al.* Cell membrane trans-fatty acids and the risk of primary cardiac arrest [J]. *Circulation*, 2002, 105(6): 697–701.
- [31] 李小平. 反式脂肪酸对人脐静脉平滑肌细胞增殖及功能的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- LI XP. Effects of trans fat on proliferation and function of human umbilical vein smooth muscle cells [D]. Nanchang: Nanchang University, 2013.
- [32] 徐斯婕, 张权, 胡明明, 等. 6 种鱼类鱼汤中脂肪酸组成和挥发性风味物质比较[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(10): 3115–3122.
- XU SJ, ZHANG Q, HU MM, *et al.* Comparison of fatty acid composition and volatile flavor compounds in 6 kinds of fish soup [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(10): 3115–3122.
- [33] MU H, WEI Z, YI L, *et al.* Effects of low dietary fish meal on the volatile compounds in muscle of large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. *Aquac Res*, 2017, 48(9): 5179–5191.
- [34] MOTTRAM DS. Flavour formation in meat and meat products: A review [J]. *Food Chem*, 1998, 62(4): 415–424.
- [35] QIN Z, PANG X, CHEN D, *et al.* Evaluation of Chinese tea by the electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry: Correlation with sensory properties and classification according to grade level [J]. *Food Res Int*, 2013, 53(2): 864–874.
- [36] 赵凤, 许萍, 曾诗雨, 等. 鲟鱼传统发酵过程中挥发性风味物质的分析评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 236–242.
- ZHAO F, XU P, ZENG SY, *et al.* Analysis and evaluation of volatile flavor compounds in traditional sturgeon fermentation [J]. *Food Sci*, 2019, 40(10): 236–242.

(责任编辑: 郑 丽 韩晓红)

作者简介

崔雁娜, 工程师, 主要研究方向为水产品质量安全与加工。
E-mail: 384396455@qq.com

郭水荣, 正高级工程师, 主要研究方向为水产养殖。
E-mail: xsgsr@163.com

郝贵杰, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与加工。
E-mail: 391601350@qq.com