

不同养殖地域及规格卵形鲳鲹品质特性分析

杨晓红¹, 郭全友^{2*}, 张斌³, 林娜²

(1. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁大连 116000) (2. 中国水产科学院东海水产研究所, 上海 200000)
(3. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南郑州 450000)

摘要: 为探究养殖地域及规格对卵形鲳鲹品质特性的影响, 该研究选取两区域 (湛江, 海口) 和两规格 (300~400 g/尾、500~600 g/尾) 卵形鲳鲹, 对其形体、体色、营养、风味等品质指标进行分析。结果表明: 湛江地区鱼体 (除腹部) b^* 值、鲜味氨基酸总量 (大规格: 26.69 mg/100 g, 小规格: 25.72 mg/100 g) 和 IMP (大规格: 247.85 mg/100 g, 小规格: 235.16 mg/100 g) 含量显著高于海口。大规格肌肉中具有较低的水分 (湛江: 68.48%, 海口: 71.69%), 较高的脂肪 (湛江: 9.96%, 海口: 7.43%) 及蛋白质 (湛江: 19.48%, 海口: 18.57%) 含量, 小规格苦味和苦味回味, HX, HxR 含量 (湛江: 10.13 mg/100 g, 海口: 12.04 mg/100 g) 显著高于大规格 (湛江: 6.88 mg/100 g, 海口: 8.28 mg/100 g), 挥发性风味物质分析表明: 大规格醇类含量较高, 小规格醛类含量丰富。综上, 湛江地区养殖卵形鲳鲹体色更加鲜艳, 同时具有更加丰富的滋味特性, 大规格卵形鲳鲹营养价值更高, 不同鱼体规格之间滋味轮廓, 挥发性风味物质差异显著。该研究可以为后续品质调控及养殖加工提供理论指导。

关键词: 卵形鲳鲹; 养殖地域; 营养组成; 规格; 品质特性

文章编号: 1673-9078(2026)07-151-160

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.7.0541

Effects of Geographic Origin and Size Specification on Quality Characteristics of Farmed Ovate Pompano (*Trachinotus ovatus*)

YANG Xiaohong¹, GUO Quanyou^{2*}, ZHANG Bin³, LIN Na²

(1.College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116000, China)
(2.East China Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200000, China)
(3.College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Samples from two regions (Zhanjiang and Haikou) and two size groups (300~400 and 500~600 g/fish) were selected to investigate the effects of aquaculture region and size specification on the quality characteristics of *Trachinotus ovatus*. Quality indicators, including morphology, body color, nutritional composition, and flavor, were analyzed. The results showed that the b^* values of the body (excluding the abdomen), total umami amino acids (large-size: 26.69 mg/100 g; small-size: 25.72 mg/100 g), and inosine monophosphate content (large-size: 247.85 mg/100 g; small-size: 235.16 mg/100 g) of *T. ovatus* from the Zhanjiang region were significantly higher than those from Haikou. Muscles from large-size samples had a lower water content (Zhanjiang: 68.48%; Haikou: 71.69%), but higher fat (Zhanjiang: 9.96%; Haikou: 7.43%) and protein contents (Zhanjiang: 19.48%; Haikou: 18.57%). Significantly higher levels of bitterness, bitter aftertaste, hypoxanthine, and inosine were detected in small-size samples (Zhanjiang:

引文格式:

杨晓红, 郭全友, 张斌, 等. 不同养殖地域及规格卵形鲳鲹品质特性分析[J]. 现代食品科技, 2026, 42(7): 151-160.

YANG Xiaohong, GUO Quanyou, ZHANG Bin, et al. Effects of geographic origin and size specification on quality characteristics of farmed ovate pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(7): 151-160.

收稿日期: 2025-04-16; 修回日期: 2025-06-03; 接受日期: 2025-06-12

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFD2401401); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (2023TD73)

作者简介: 杨晓红 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 渔业发展, E-mail: 18790094338@163.com

通讯作者: 郭全友 (1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: dhsguoqy@163.com

10.13 mg/100 g; Haikou: 12.04 mg/100 g) than in large-size samples (Zhanjiang: 6.88 mg/100 g; Haikou: 8.28 mg/100 g). Analysis of volatile flavor compounds revealed higher alcohol levels in large-size samples, whereas aldehydes were more abundant in small-size samples. In conclusion, Zhanjiang-farmed *T. ovatus* exhibited more vivid body color and more pronounced flavor characteristics. Higher nutritional value was observed in large-size samples, while significant differences in flavor profiles and volatile flavor compounds were detected among different size groups. This study provides theoretical guidance for future quality control and aquaculture processing.

Key words: *Trachinotus ovatus*; aquaculture region; nutritional composition; size specification; quality characteristics

卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 又称金鲳鱼, 隶属于辐鳍鱼纲, 鲈形目, 鲳科, 鲳属, 具有生长速度快、抗病力强、肉质鲜美和无肌间刺等特点^[1]。广东、海口是卵形鲳鲹的主要养殖区, 养殖模式包括池塘养殖、近岸网箱和深水网箱等。自 20 世纪 90 年代以来, 我国卵形鲳鲹的养殖规模逐渐扩大, 2023 年养殖产量为 29.23 万 t, 是我国最大的海水养殖鱼类^[2]。随着消费者营养健康观念的增强, 对优质鱼类及健康消费需求逐渐增加。水产品的养殖、加工、流通全链各环节均会对品质产生影响^[3], 其中原料鱼品质特性解析和提升成为关注点之一。

养殖地域和大小规格等要素影响了养殖鱼类的生长速率和代谢机能, 进而导致其肌肉品质及商业价值的差异性。Liu 等^[4]研究发现, 与河口养殖、近岸养殖相比, 近海养殖的鱼表现出更高水平的必需氨基酸, 不饱和脂肪酸和鲜味核苷酸。张秀洁等^[5]研究发现, 在大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 的成鱼养殖阶段, 养殖至第 6 个月的大黄鱼表现出的滋味最佳, 与养殖 0、3 个月相比气味得到改善。王煜坤等^[6]研究指出, 广东罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 与广西和海口地区相比, 氨基酸、脂肪酸, 鲜味氨基酸含量更高。目前国内关于养殖卵形鲳鲹品质的研究已多有报道, 如: 王迪等^[7]研究发现, 随着养殖卵形鲳鲹规格的增大其脏体指数、粗脂肪与粗蛋白质增加, 水分减少, 必需氨基酸与氨基酸总量上升。但先前的研究内容相对单一, 尚未有学者从养殖地域和鱼体规格角度对卵形鲳鲹品质及风味的变化进行系统性探讨。

本研究拟选取两个养殖地域 (广东湛江、海南海口) 的两种规格 (300~400 g/尾、500~600 g/尾) 卵形鲳鲹, 分析形体, 色泽, 基本营养成分, 脂肪酸, 滋味物质和挥发性风味物质等品质差异, 为卵形鲳鲹品质提升和标准化养殖及加工提供支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

选取湛江 (ZJ), 海口 (HK) 区域深水网箱养

殖的卵形鲳鲹, 分为 300~400 g (S) / 尾, 500~600 g (L) / 尾的市售商品。分为 ZJ-L 组 (湛江, 大规格), ZJ-S 组 (湛江, 小规格), HK-L 组 (海口, 大规格), HK-S 组 (海口, 小规格)。采样时间集中在 10 月下旬到 11 月上旬, 每组样品随机选取 10 尾, 经冰鲜处理冷链物流运至实验室测定其形体和色泽后, 取背部肌肉搅碎, 分别混匀密封, 保存在 -80 °C 冰箱待测。

养殖环境: 湛江属于亚热带气候, 冬季水温略低, 盐度水平在 20%~28% 之间。海口属于热带季风气候, 全年水温较高, 盐度水平在 29.6%~31.8% 之间。养殖期间投喂饲料以海水鱼膨化配合饲料为主 (湛江区域投喂饲料: 粗蛋白 $\geq 42.0\%$ 、粗脂肪 ≥ 5.0 、粗纤维 ≥ 5.0 、粗灰分 ≤ 15.0 、水分 ≤ 12.0 、总磷 ≤ 2.0 、赖氨酸 ≥ 2.1 , 海口区域投喂饲料: 粗蛋白 $\geq 42.0\%$ 、粗脂肪 ≥ 5.0 、粗纤维 ≥ 5.0 、粗灰分 ≤ 15.0 、水分 ≤ 12.0 、总磷 ≤ 1.0 、赖氨酸 ≥ 2.2)。

1.2 实验方法

1.2.1 形体指标的测定

体长 / 体高的测定参照 GB/T 18654.3-2008 进行; 肥满度、脏体指数的测定参照王迪等^[7]的方法进行。

1.2.2 色泽的测定

参照谢家俊^[8]的方法, 使用 CR400 色差计测定鳃盖 (S)、背部 (B1~B3)、腹部 (F1~F3)、背鳍 (D)、臀鳍 (A) 和尾鳍 (C) 的色泽, 采用国际标准 CIE 规定的 L^* 、 a^* 、 b^* 值表示。测量点如图 1 所示。

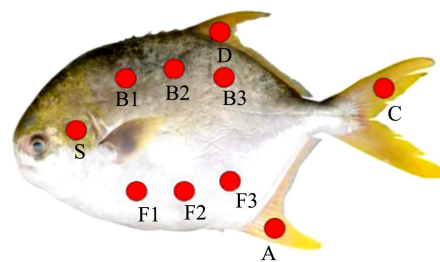


图 1 卵形鲳鲹鱼体色泽测量点示意图

Fig.1 Schematic diagram of measurement points for body color of *T. ovatus*

1.2.3 基本营养成分的测定

水分测定参照 GB 5009.3-2016 中的直接干燥法；灰分测定参照 GB 5009.4-2016 的高温灼烧法；粗蛋白的测定参照 GB 5009.5-2016 中的凯氏定氮法；粗脂肪的测定参照 GB 5009.6-2016 中的索氏抽提法。

1.2.4 脂肪酸的测定和营养价值评价

参照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》中的归一化法进行测定，样品经脂肪提取及甲酯化后，使用 7820 型气相色谱仪进行色谱分析。

动脉粥样硬化指数 (Atherogenic Index, AI) 和血栓形成指数 (Thrombogenic Index, TI) 按式 (1)、(2) 计算^[9]：

$$D = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{M + P} \quad (1)$$

$$W = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{0.5 \times M + 0.5 \times P_1 + 3 \times P_2 + \frac{P_2}{P_1}} \quad (2)$$

式中：

D ——AI 指数；

W ——TI 指数；

C_1 —— $C_{12:0}$ 含量，%；

C_2 —— $C_{16:0}$ 含量，%；

C_3 —— $C_{18:0}$ 含量，%；

M —— $\sum$ MUFA 含量，%；

P —— $\sum$ PUFA 含量，%；

P_1 —— $\sum$ PUFA_{n-6} 含量，%；

P_2 —— $\sum$ PUFA_{n-3} 含量，%。

1.2.5 呈味核苷酸的测定

前处理：参照 Su 等^[10]方法并稍作修改。称取样品 2 g 左右，加入 20 mL 预冷的 10% 高氯酸溶液浸泡肌肉 2 min，然后超声处理 5 min。然后在 4℃ 下以 8 000 r·min⁻¹ 离心 10 min，取上清液，再加入 10 mL 预冷的 10% 高氯酸溶液浸泡样品 2 min，重复沉降步骤，将合并的上清液调节 pH 值至 6.0~6.4，用超纯水定容至 50 mL，0.22 μm 滤膜过滤后，使用 Chromater 型液相色谱仪 (HPLC) 分析测定。

色谱条件：柱温：35℃，流速：1.0 mL·min⁻¹，检测波长：254 nm，进样量 20 μL，流动相：A：甲醇，B：0.02 mol·L⁻¹ 磷酸二氢钾和 0.02 mol·L⁻¹ 磷酸氢二钾（调节 pH 值至 6.0~6.4）。

1.2.6 游离氨基酸的测定

参照张秀洁等^[5]的方法，并稍做修改。称取 1 g

左右样品进行脱脂处理，与 0.1 mol 盐酸溶液以 1:10 的比例均匀混合。超声提取 20 min，加入 10 mL 10% 的磺基水杨酸，10 000 r·min⁻¹ 离心 10 min，调节 pH 值至 2.0 后定容至 25 mL，使用 5510 型全自动氨基酸自动分析仪分析测定。

1.2.7 滋味强度

滋味物质的滋味强度 (TAV) 值按式 (3) 计算^[5]：

$$A = \frac{C}{T} \quad (3)$$

式中：

A ——TAV 值；

C ——滋味物质的绝对质量浓度值，mg·mL⁻¹；

T ——滋味物质的阈值，mg·mL⁻¹。

1.2.8 滋味轮廓

参照庄小妹等^[11]的方法，并稍做修改。称取 60 g 左右的样品，放入水浴锅 (80℃) 蒸煮 20 min 后称重放至料理机，以 1:5 的比例加入 80℃ 的水，搅拌 1 min；沉淀后取上清液 8 000 r·min⁻¹ 离心 10 min 过滤后，使用 SA-402B 型电子舌进行分析测定。

1.2.9 挥发性风味物质

参照方心如等^[12]的方法，并稍作修改。称取 2.5 g 左右样品置于 20 mL 顶空瓶中，使用 5H1-00319 型气相色谱-离子迁移谱联用仪进行分析测定：设置孵育温度为 45℃，孵育时间 15 min，采用顶空自动进样方式进样，进样量 500 μL，进样针温度 65℃，分析时间 30 min，IMS 迁移管温度 45℃。

1.3 数据处理

每组实验重复三次，结果用平均值 ± 标准偏差表示，数据分析采用 SPSS Statistics 27 中的单因素分析， $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。图形采用 Origin pro 2021 软件及 R 4.4.1 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 形体指标分析

鱼类的形体是评价其经济性状的重要指标，如表 1 所示，海口地区大规格组脏体指数 (7.49%) 显著高于小规格组 (6.28%) ($P < 0.05$)，体长/体高和肥满度之间无显著差异。王迪等^[7]研究发现，养殖卵形鲳鲹脏体指数随着养殖规格的增大呈现上升趋势 ($P < 0.05$)，不同规格之间的肥满度差异不显著，这

可能是受卵形鲳鲹的生长特性所影响。肝脏作为鱼体的能量储备器官，卵形鲳鲹在生长过程中肝脏中能量储备增加，从而肝脏占比增加，大规格脏体指数高于小规格。

表 1 不同养殖规格和地域的卵形鲳鲹形体指标

Table 1 Physical indicators of *T. ovatus* in different culture specifications and regions

项目	ZJ-L	ZJ-S	HK-L	HK-S
体长/体高	1.77 ± 0.42 ^a	1.81 ± 0.41 ^a	1.83 ± 0.56 ^a	1.80 ± 0.66 ^a
肥满度 (g/100 cm ³)	3.58 ± 0.15 ^a	3.33 ± 0.17 ^{ab}	3.32 ± 0.26 ^{ab}	3.08 ± 0.28 ^b
脏体指数	6.93 ± 0.86 ^{ab}	6.55 ± 0.65 ^b	7.49 ± 0.63 ^a	6.28 ± 0.65 ^b

注：不同小写字母代表实验结果差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

2.2 体表色泽

鱼类的体色与其养殖效益和市场价值密切相关，体色鲜艳鱼类通常更加健康活力。如图 2 所示，在相同地域条件下，大规格组与小规格组体表色泽差异不明显。相同规格条件下，海口地区卵形鲳鲹背部（B1~B3）表现出较低的 L^* 值和 a^* 值，湛江地区卵形鲳鲹的背部（B1~B3），背鳍（D），尾鳍（A），臀鳍（C），鳃盖（S）表现出较高的 b^* 值 ($P<0.05$)。李欢^[13]在探究环境对大黄鱼体色的影响时发现，白天和夜间大黄鱼的体色差异十分明显，其皮肤的 a^* 值和 b^* 值夜间比白天高，其中 b^* 值差异显著。马本贺等^[14]研究表明，在不同的光照条件下，白条双锯鱼 (*Amphiprion frenatus*) 在红光环境下体表类胡萝卜素含量增加，酪氨酸酶活性减弱，有提高鱼体色泽鲜艳度的作用。在本研究中，由于采样时间处于深秋初冬时期，霞山地区光照强度较弱。因此，鱼体表现出较高的 b^* 值可能受光照环境的影响。

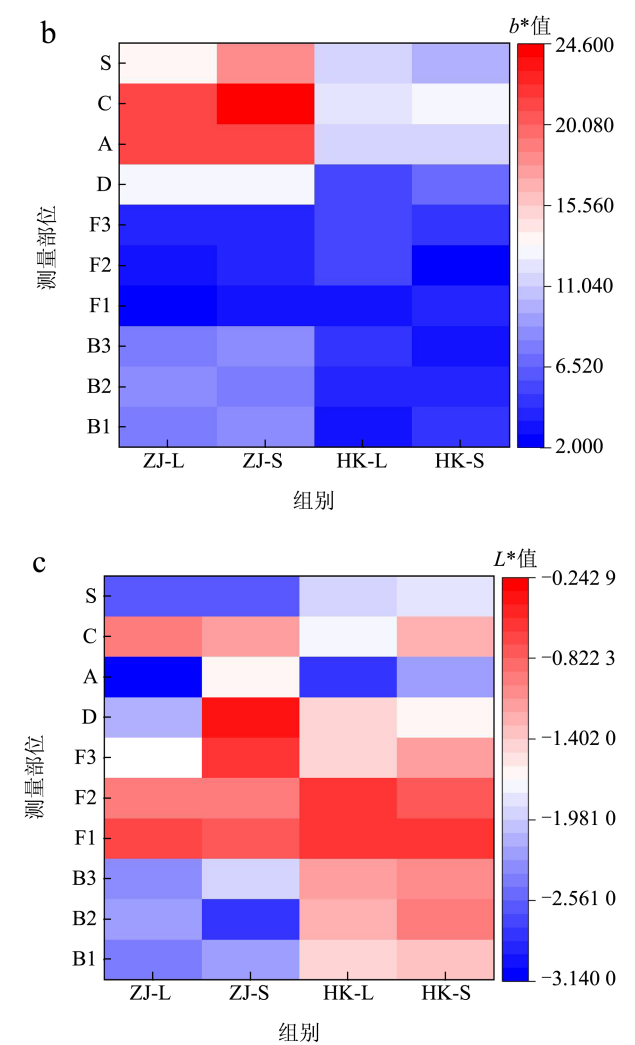
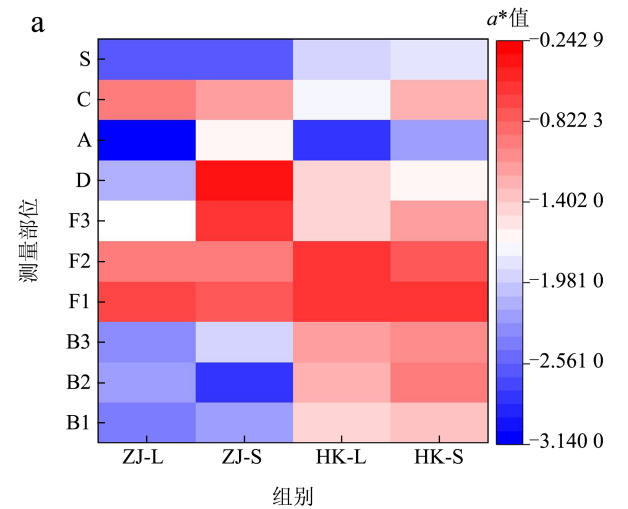


图 2 不同养殖规格和地域的卵形鲳鲹体表色泽热图

Fig.2 Surface color difference of *T. ovatus* in different culture sizes and regions

2.3 基本营养成分

如表 2 所示，不同养殖地域和规格卵形鲳鲹的水分含量具有显著性差异 ($P<0.05$)。大规格组水分含量显著低于小规格组 ($P<0.05$)，粗脂肪含量显著高于小规格组 ($P<0.05$)。王琳等^[15]指出：3 种规格秋刀鱼肌肉粗脂肪含量随鱼体规格增大而增加，水分含量随个体增大而降低。肌肉的营养价值主要与脂肪和蛋白质含量有关^[11]，大规格组卵形鲳鲹肌肉中具有较低的水分（湛江：68.48%，海口：71.69%），较高的脂肪（湛江：9.96%，海口：7.43%）及蛋白质（湛江：19.48%，海口：18.57%）含量，这表明大规格组具有更高的营养价值，鱼体的基本营养成分受多种因素影响，王迪等^[7]在研究不同规格之间卵形鲳鲹营养差异时发现：不同规格的卵形鲳鲹粗脂肪含量在 8%~10% 之间，高于本研究测定值（5.40%~9.96%），这可能是

由于实验方法，饲养条件等不同所导致。分析可知，脂肪含量呈负相关，说明脂肪对水分置换的影响因鱼体不同的比较因素中粗蛋白含量无显著差异，水分与脂肪大小和养殖地域而存在差异。

表 2 不同养殖规格和地域的卵形鲳鲹基本营养成分（%）

Table 2 Basic nutritional components of <i>T. ovatus</i> in different culture sizes and regions (%)				
项目	ZJ-L	ZJ-S	HK-L	HK-S
水分	68.48 ± 0.28 ^d	73.19 ± 0.30 ^b	71.69 ± 0.32 ^c	74.19 ± 0.58 ^a
灰分	1.44 ± 0.07 ^a	1.48 ± 0.90 ^a	1.43 ± 0.11 ^a	1.45 ± 0.06 ^a
粗脂肪	9.96 ± 0.47 ^a	5.83 ± 0.24 ^c	7.43 ± 0.29 ^b	5.40 ± 0.14 ^c
粗蛋白	19.48 ± 0.36 ^a	19.21 ± 0.34 ^{ab}	18.57 ± 0.67 ^{ab}	17.97 ± 0.67 ^b

表 3 不同养殖规格和地域卵形鲳鲹的脂肪酸组成（%）

Table 3 Fatty acid composition of <i>T. ovatus</i> in different culture sizes and regions (%)				
脂肪酸	ZJ-L	ZJ-S	HK-L	HK-S
C14:0	1.39 ± 0.03 ^d	1.52 ± 0.00 ^c	1.85 ± 0.01 ^b	1.96 ± 0.02 ^a
C15:0	0.20 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.01 ^c	0.25 ± 0.01 ^b	0.29 ± 0.01 ^a
C16:0	22.4 ± 0.05 ^c	21.62 ± 0.01 ^d	25.27 ± 0.02 ^a	24.88 ± 0.07 ^b
C17:0	0.28 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.01 ^c	0.37 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.02 ^a
C18:0	4.65 ± 0.01 ^c	4.40 ± 0.01 ^d	5.31 ± 0.06 ^b	5.68 ± 0.02 ^a
C20:0	0.26 ± 0.01	0.56 ± 0.49	0.31 ± 0.01	—
C22:0	0.29 ± 0.01	0.26 ± 0.03	0.24 ± 0.01	—
ΣSFA	29.47 ± 0.23 ^c	28.52 ± 0.49 ^d	33.61 ± 0.14 ^a	33.22 ± 0.06 ^b
C15:1n-5	0.17 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.01 ^b	0.54 ± 0.01 ^c
C16:1n-7	2.63 ± 0.01 ^b	2.51 ± 0.01 ^c	3.19 ± 0.02 ^a	3.17 ± 0.04 ^a
C17:1n-7	0.14 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.01 ^b	0.16 ± 0.01 ^c	0.36 ± 0.01 ^a
C18:1n-9t	0.22 ± 0.01 ^a	0.16 ± 0.03 ^b	0.18 ± 0.01 ^b	0.22 ± 0.01 ^a
C18:1n-9c	29.09 ± 0.01 ^b	27.36 ± 0.03 ^d	30.82 ± 0.05 ^a	28.03 ± 0.04 ^c
C20:1	1.59 ± 0.02 ^c	1.65 ± 0.54 ^b	1.75 ± 0.03 ^a	1.71 ± 0.01 ^a
C22:1n-9	0.42 ± 0.01 ^a	0.20 ± 0.10 ^b	0.40 ± 0.03 ^a	0.45 ± 0.01 ^a
ΣMUFA	34.26 ± 0.02 ^c	31.95 ± 0.06 ^d	36.75 ± 0.07 ^a	34.49 ± 0.03 ^b
C18:2n-6c	28.36 ± 0.05 ^a	31.34 ± 0.04 ^b	21.58 ± 0.08 ^c	22.75 ± 0.04 ^d
C18:3n-3	2.53 ± 0.03 ^b	2.72 ± 0.01 ^a	1.96 ± 0.01 ^c	1.98 ± 0.01 ^c
C20:2	2.43 ± 0.01 ^a	2.41 ± 1.04 ^a	1.92 ± 0.01 ^c	2.18 ± 0.01 ^b
C20:3n-6	0.25 ± 0.02 ^a	0.30 ± 0.05 ^a	0.20 ± 0.01 ^b	0.29 ± 0.01 ^a
C20:4n-6	0.33 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.05 ^{ab}	0.44 ± 0.04 ^b	0.67 ± 0.03 ^c
C20:3n-3	0.54 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.11 ^{ab}	0.37 ± 0.02 ^c	0.48 ± 0.01 ^b
C20:5n-3	0.22 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.07 ^a	0.51 ± 0.01 ^b	0.65 ± 0.04 ^c
C22:2n-6	0.28 ± 0.03 ^a	0.27 ± 0.54 ^a	0.26 ± 0.02 ^a	0.33 ± 0.02 ^a
C22:6n-3	1.33 ± 0.01 ^a	1.41 ± 0.02 ^b	2.41 ± 0.01 ^c	2.97 ± 0.03 ^d
ΣPUFA	36.27 ± 0.05 ^a	39.52 ± 0.03 ^b	29.64 ± 0.05 ^c	32.29 ± 0.06 ^d
PUFA·SFA ⁻¹	1.23	1.39	0.88	0.97
AI	0.41	0.40	0.41	0.40
TI	0.62	0.55	0.54	0.53

注：“—”表示未检出，ΣSFA 为饱和脂肪酸总量，ΣMUFA 为单不饱和脂肪酸总量，ΣPUFA 为多不饱和脂肪酸总量，AI 为动脉粥样硬化指数，TI 为血栓形成指数。

2.4 脂肪酸

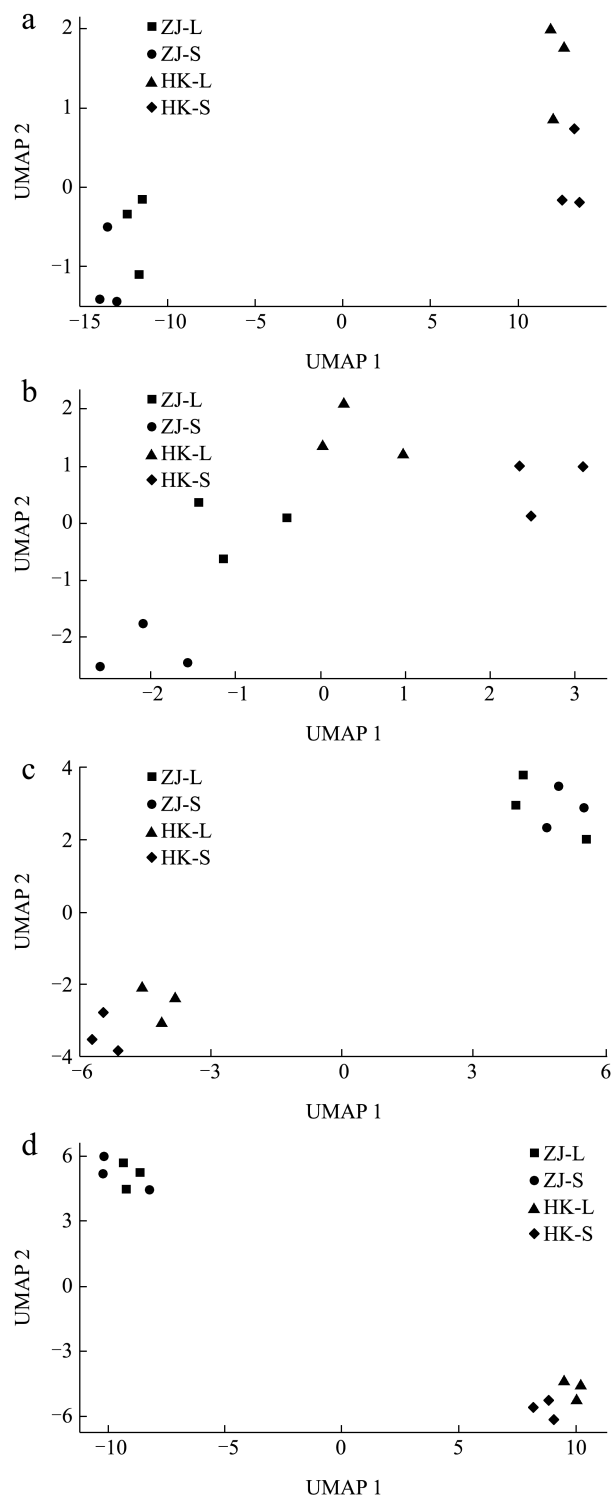


图3 脂肪酸和核苷酸 UMAP 图

Fig.3 UMAP plot of fatty acids and nucleotides

注: a 为 SFA; b 为 MUFA; c 为 PUFA; d 为呈味核苷酸。

脂肪酸是脂肪的组成部分,水产品风味的形成与脂肪酸的含量及组成密切相关^[16]。由表3可知,除HK-L组外共检出23种脂肪酸,饱和脂肪酸(SFA)7种,单不饱和脂肪酸(MUFA)7种,多不饱和脂

肪酸(PUFA)9种。其中,卵形鲳鲹的主要脂肪酸为C16:0(21.62%~24.88%)、C18:1n9(28.03%~30.82%)、C18:2n6(21.58%~31.34%)。四组样品中, Σ SFA、 Σ MUFA和 Σ PUFA在不同养殖规格及地域之间均具有显著性差异($P<0.05$)。采用UMAP对脂肪酸数据进行可视化处理,如图3所示,ZJ-L组、ZJ-S组聚集在一起,远离HK-L组、HK-S组(图3a~3c),这表明相比于鱼体规格,养殖区域的不同更容易影响卵形鲳鲹脂肪酸的组成。其中,湛江地区表现出较高的 Σ PUFA(ZJ-L组:36.27%,ZJ-S组:39.52%)含量,海口地区表现出较高的 Σ SFA(HK-L组:33.61%,HK-S组:33.22%)和 Σ MUFA(ZJ-L组:36.75%,ZJ-S组:34.49%)含量。

脂肪酸的营养价值通常用AI和TI指数进行评价,较低的AI和TI指数有利于维持心脑血管健康。四组卵形鲳鲹的AI指数在0.40~0.41之间,TI指数在0.53~0.62之间,小规格组低于大规格组,证明小规格组的卵形鲳鲹脂肪酸组成更加合理。另外,PUFA和SFA的比值是一个关键的营养指标,通常认为高于0.40的值对于维持健康的心血管状态是最佳的^[17]。在卵形鲳鲹中,PUFA/SFA的比值范围为0.88~1.39,表明卵形鲳鲹可能有助于维持最佳的心血管健康。

2.5 呈味核苷酸和游离氨基酸分析

2.5.1 呈味核苷酸

ATP及其降解产物是水产品鲜味的重要成分,在水产品加工和贮运等品质劣变过程中,ATP依次降解成ADP、AMP、IMP、Hx和HxR,IMP和AMP具有天然的鲜味,Hx和HxR是苦味的重要来源^[4]。如表4所示,IMP是卵形鲳鲹主要的鲜味核苷酸,四组样品中IMP含量ZJ-L组最高为247.85 mg/100 g,其次是ZJ-L组为235.16 mg/100 g,且不同地域和规格之间差异显著($P<0.05$)。AMP总含量HK-S组最高为1.68 mg/100 g,其次是HK-L组为1.12 mg/100 g。与IMP相反,这可能是因为水产品中的一些IMP是由AMP降解和脱氨基形成。如图3d所示,与鱼体规格相比,养殖地域对卵形鲳鲹的呈味核苷酸的形成具有更大的影响,湛江地区养殖的卵形鲳鲹鲜味核苷酸含量高于海口地区,苦味核苷酸含量低于海口地区。Liu等^[4]研究表明:近海养殖区的卵形鲳鲹IMP总含量显著高于河口养殖区($P<0.05$),这可能是由于在不同的养殖环境中盐度水平之间的差异所造成的,近海养殖区具有更稳定的盐度水平。本研究中,湛江地区盐度水平在20%~28%之间,海口地区盐度水平在29.6%~31.8%之间,因此,由于湛江、海口两地不同的盐度水平,可能导致了其能量代谢不同,进而造成核苷酸含量之间的差异^[18]。

表 4 游离氨基酸和呈味核苷酸分析

Table 4 Analysis of free amino acids and umami nucleotides equivalents

滋味组分/(mg/100 g)	呈味特性	阈值/(mg·mL ⁻¹)	ZJ-L	ZJ-S	HK-L	HK-S
谷氨酸 Glu	鲜 (+)	0.3	21.17 ± 0.06 ^a	20.46 ± 0.14 ^b	15.84 ± 0.12 ^c	15.33 ± 0.08 ^d
天冬氨酸 Asp	鲜 (+)	1	5.52 ± 0.01 ^a	5.26 ± 0.13 ^b	3.90 ± 0.10 ^c	3.92 ± 0.02 ^c
ΣUAA			26.69 ± 0.06 ^a	25.72 ± 0.26 ^b	19.74 ± 0.12 ^c	19.25 ± 0.10 ^d
甘氨酸 Gly	甜 (+)	1.3	156.77 ± 0.46 ^b	162.83 ± 1.17 ^a	85.92 ± 0.38 ^d	111.89 ± 0.20 ^c
丙氨酸 Ala	甜 (+)	0.6	19.94 ± 0.12 ^a	19.32 ± 0.11 ^b	18.72 ± 0.13 ^c	19.80 ± 0.10 ^a
丝氨酸 Ser	甜 (+)	1.5	9.35 ± 0.01 ^a	8.95 ± 0.03 ^b	5.84 ± 0.02 ^d	6.80 ± 0.06 ^c
苏氨酸 Thr	甜 (+)	2.6	7.03 ± 0.03 ^a	6.69 ± 0.01 ^b	5.07 ± 0.01 ^c	5.82 ± 0.05 ^d
脯氨酸 Pro	甜 / 苦 (+)	3	5.53 ± 0.31 ^a	5.22 ± 0.14 ^{ab}	4.51 ± 0.20 ^b	5.20 ± 0.42 ^{ab}
ΣSAA			198.62 ± 0.29 ^b	203.01 ± 1.04 ^a	120.06 ± 0.44 ^d	149.52 ± 0.25 ^c
酪氨酸 Tyr	苦 (-)	—	5.63 ± 0.08 ^a	4.30 ± 0.15 ^b	3.79 ± 0.11 ^c	4.05 ± 0.04 ^d
半胱氨酸 Cys	苦 / 甜 / 硫 (-)	—	0.07 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.02 ^a
精氨酸 Arg	苦 (-)	0.5	8.25 ± 0.01 ^a	5.61 ± 0.01 ^b	4.62 ± 0.16 ^c	3.62 ± 0.72 ^d
组氨酸 His	苦 (-)	0.2	4.25 ± 0.04 ^a	3.72 ± 0.22 ^b	3.22 ± 0.09 ^c	3.53 ± 0.06 ^{bc}
赖氨酸 Lys	苦 / 甜 (-)	0.5	16.38 ± 0.06 ^a	12.18 ± 0.22 ^a	11.41 ± 0.20 ^a	4.34 ± 4.45 ^b
亮氨酸 Leu	苦 (-)	1.9	6.85 ± 0.19 ^a	5.96 ± 0.07 ^b	4.20 ± 0.14 ^c	4.37 ± 0.10 ^c
缬氨酸 Val	苦 / 甜 (-)	0.4	6.85 ± 0.01 ^a	5.97 ± 0.07 ^b	4.53 ± 0.08 ^c	4.70 ± 0.01 ^d
异亮氨酸 Ile	苦 (-)	0.9	4.51 ± 0.01 ^a	3.86 ± 0.02 ^b	2.69 ± 0.05 ^c	2.74 ± 0.05 ^c
苯丙氨酸 Phe	苦 (-)	0.9	2.18 ± 1.70 ^a	2.42 ± 1.14 ^a	1.96 ± 1.57 ^a	2.15 ± 0.84 ^a
甲硫氨酸 Met	苦 / 甜 / 硫 (-)	0.3	4.52 ± 0.0 ⁴ a	3.63 ± 0.03 ^b	3.14 ± 0.02 ^c	3.13 ± 0.04 ^c
ΣBAA			59.49 ± 1.67 ^a	47.68 ± 1.30 ^b	39.62 ± 1.39 ^c	32.73 ± 4.56 ^d
总氨基酸			284.80 ± 1.48 ^a	276.41 ± 2.35 ^b	179.42 ± 1.50 ^d	201.50 ± 4.88 ^c
ATP			—	—	2.28 ± 0.29	1.17 ± 0.13
ADP			89.26 ± 1.11 ^b	94.07 ± 0.47 ^a	79.97 ± 1.30 ^d	86.43 ± 0.73 ^c
IMP	鲜 (+)	0.25	247.85 ± 1.25 ^a	235.16 ± 2.94 ^b	227.68 ± 1.92 ^d	210.61 ± 3.44 ^c
AMP	鲜 (+)	0.5	0.45 ± 0.04 ^d	0.59 ± 0.09 ^c	1.12 ± 0.09 ^b	1.68 ± 0.20 ^a
HX	苦 (+)	—	0.63 ± 0.04 ^c	0.86 ± 0.02 ^a	0.46 ± 0.01 ^d	0.76 ± 0.02 ^b
HxR	苦 (+)	—	6.25 ± 0.43 ^d	11.18 ± 0.51 ^a	7.82 ± 0.20 ^c	9.37 ± 0.18 ^b

注：“—”表示未检出，ΣUAA表示鲜味氨基酸总量，ΣSAA表示甜味氨基酸总量，ΣBAA表示苦味氨基酸总量。

2.5.2 游离氨基酸

游离氨基酸是重要的味觉化合物和芳香化合物的前体^[19]。如表4所示，卵形鲳鲹肌肉中共检测出了17种游离氨基酸：天冬氨酸、谷氨酸主要呈现鲜味，甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸等主要呈现甜味，亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸等主要以苦味为主。杨欣怡^[20]在研究卵形鲳鲹肌肉中呈味物质含量时发现，甘氨酸是卵形鲳鲹肌肉中主要的呈味氨基酸，含量为136.34 mg/100 g，其次是丙氨酸（27.47 mg/100 g），谷氨酸（16.84 mg/100 g）。在本研究中甘氨酸含量在162.83~85.92 mg/100 g之间，丙氨酸含量为18.72~19.94 mg/100 g，谷氨酸含量为

15.33~21.17 mg/100 g。卵形鲳鲹肌肉中各游离氨基酸的含量存在个体差异性：在同规格条件下，湛江地区卵形鲳鲹游离氨基酸总量显著高于海口地区（*P*<0.05），总含量由高到低为：ZJ-L组284.80 mg/100 g，ZJ-S组276.41 mg/100 g，HK-L组179.42 mg/100 g，HK-S组201.50 mg/100 g。Wang等^[21]在研究三种不同产地的中华绒螯蟹（*Eriocheir sinensis*）风味品质中得出：野生蟹和阳澄蟹体内游离氨基酸含量比崇明蟹高，这可能是受水环境影响的结果。因此，温度，盐度等水域因子的综合影响可能是导致湛江和海口养殖卵形鲳鲹游离氨基酸差异的主要原因。另外，在同地域条件下，大规模组的鲜味，苦味氨基酸显著高于小

规格组 ($P < 0.05$), 甜味氨基酸显著低于小规格组 ($P < 0.05$)。类似的研究结果在虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[22]中也有报道。

2.5.3 游离氨基酸TAV值

TAV 通常用来评价游离氨基酸对风味的贡献^[23]。四组卵形鲳鲹游离氨基酸 TAV 值见图 4。呈味强度较大的有 Glu、Gly、Ala。其中 Gly 的 TAV 值最大, 总含量由高到低为: ZL-S 组 (1.25), ZJ-L 组 (1.20), HK-S 组 (0.86), HK-L 组 (0.66)。且湛江地区养殖卵形鲳鲹 Gly 的 TAV 值大于 1, 证明其具有滋味活性, 对卵形鲳鲹整体滋味轮廓具有显著贡献。另外, 组氨酸 (His) 的补充可以增强鱼类肌肉的风味^[24], 四组样品中组氨酸 TVA 值湛江地区高于海口地区, 总含量由高到低为: ZJ-L 组 (0.21), ZJ-S 组 (0.19), HK-S 组 (0.18), HK-L 组 (0.16)。精氨酸 (Arg) 在水产品风味中起着重要作用, 但它在低浓度时 (低于阈值的 2 倍) 呈甜味, 在高浓度时呈高度苦味^[23]。由图 4 可知, 四组样品中精氨酸的 TAV 值 (0.07~0.16) 远低于 2 倍的阈值, 因此, 它对卵形鲳鲹甜味的形成具有一定的贡献。

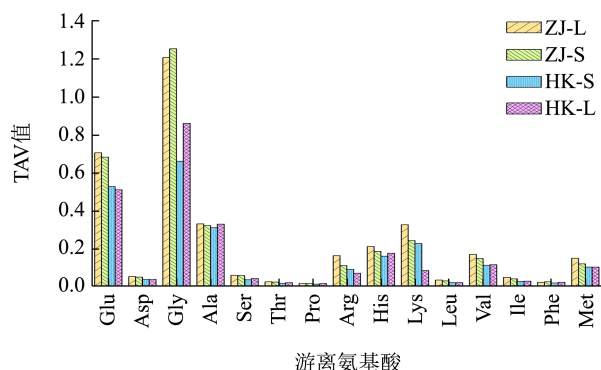


图 4 卵形鲳鲹游离氨基酸 TAV 值

Fig.4 Free amino acid TAV values of *T. ovatus*

2.6 滋味轮廓分析

电子舌可以通过电子传感器分析食物的基本味道 (如甜、酸、苦、咸、鲜)^[25]。图 5 为四组卵形鲳鲹肌肉滋味轮廓图, 4 组样本在酸味、涩味、涩味回味、鲜味等方面无显著差异, 小规格组的咸味、苦味、苦味回味显著高于大规格组 ($P < 0.05$), 张秀洁等^[5]研究表明, 不同养殖周期的大黄鱼整体滋味轮廓存在差异。庄小妹等^[11]研究表明, 不同规格的大菱鲆 (*Cophthalmus maximus*) 肌肉滋味特性存在区别, 小规格大菱鲆肌肉咸味均显著高于大商品规格组。综上, 相比于养殖地域, 卵形鲳鲹肌肉滋味轮廓在鱼体规格上差异更加明显。

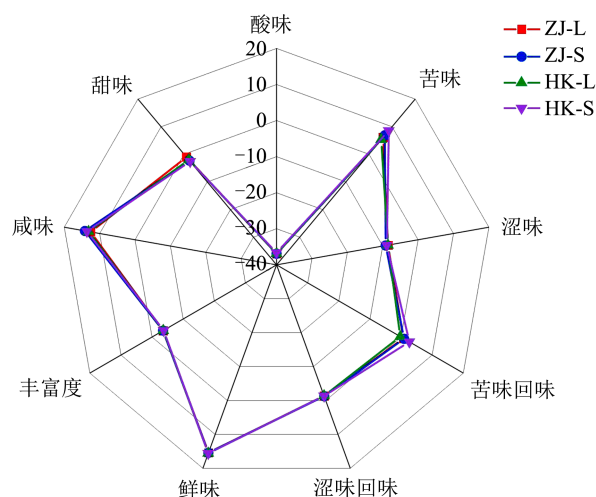


图 5 肌肉滋味轮廓雷达图

Fig.5 Radar chart of muscle taste profile

2.7 挥发性风味物质分析

风味是决定食物整体感官特征的重要指标, 在评估食物的营养价值和商品接受度方面发挥着重要作用^[26]。图 6 为四组卵形鲳鲹挥发性物质指纹图谱, 信号峰颜色的深浅表示含量的高低。共检测出了 26 种挥发性风味物质, 包括 7 种醇类, 7 种醛类, 5 种酮类, 两种酸类等。其中, 四氢呋喃为湛江地区特有挥发性化合物, 呋喃类化合物通过 1,2-烯醇化产生, 能够协调整体风味^[16]。为进一步明确不同地域及规格卵形鲳鲹挥发性风味化合物之间的差异, 对检测峰值进行半定量分析, 如图 7 所示, 卵形鲳鲹肌肉样品中酮类含量占比 33.39%~39.75%, 醛类 12.52%~35.07%, 醇类 11.31%~29.87%, 酸类 8.84%~11.99%, 其他 11.05%~13.61%。在所有挥发性化合物中, 酮类和醛类化合物含量较高。Liu 等^[4]利用 GC-MS 对卵形鲳鲹的挥发性化合物进行分析表明, 在所有挥发性化合物中, 醛类化合物含量最高约占总化合物的 50%, 其次是酮类。但由于酮类化合物相对浓度较小且阈值较高, 对鱼体风味的整体贡献度不如醛酮类化合物^[27]。

四组样品在挥发物浓度上存在差别, 在相同地域条件下, 小规格组含有较高含量的正丙醛、异戊醛、异丁醛, 醛类化合物的阈值较低, 其对水产品的风味具有重要的影响, 具有甜、鲜、果香等香气^[28]。大规格组含有较高含量的正丙醇、正丁醇。醇类可以由一些醛类物质经脂氧合酶途径转化形成, 具有独特的清香和果香^[29]。Wang 等^[30]在分析不同年龄羔羊的挥发性风味时发现, 不同日龄羔羊所检测到的挥发性风味物质存在差异。Hou 等^[31]在探究不同年龄的中华鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 的风味时发现, 烷烃在 6 龄组中

含量最高,醛类和酮类等化合物在5龄组中浓度最高。因此,不同规格的卵形鲳鲹挥发性化合物产生差异的原因可能是由于养殖周期不同所导致。另外,海口地区鱼体酮类化合物含量高于湛江地区,醛醇类总含量低于湛江地区,庄小妹等^[10]在分析不同地域和规格的大菱鲆的品质特征时发现,海阳地区养殖大菱鲆挥发性化合物种类多于乳山地区和绥中地区,说明不同地域可能由于气候、饲养条件等方面的不同也会导致其挥发性成分产生差异。

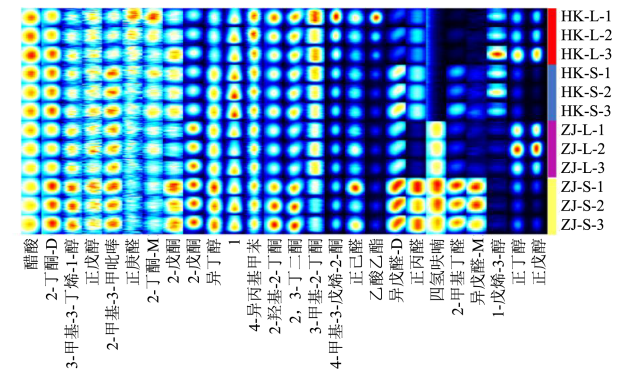


图6 不同养殖规格和地域卵形鲳鲹挥发性风味指纹图谱

Fig.6 Volatile flavor fingerprints of *T. ovatus* in different culture sizes and regions

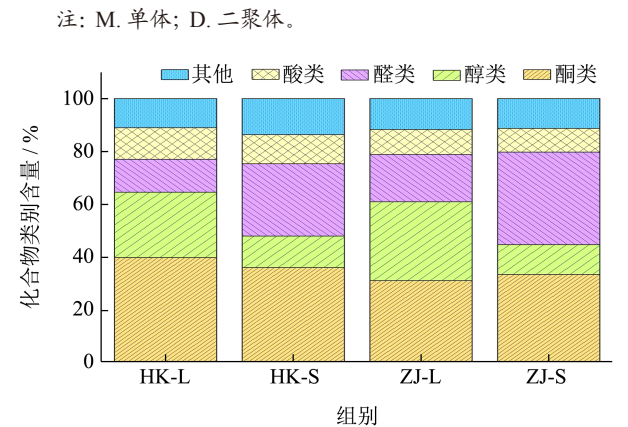


图7 卵形鲳鲹挥发性化合物相对含量百分比图

Fig.7 Plot of relative percentage content of volatile compounds in *T. ovatus*

3 结论

本研究以两个养殖区域(湛江、海口)的两种规格(300~400 g/尾、500~600 g/尾)卵形鲳鲹为研究对象,分别从形体,色泽,营养和风味探究了品质之间的差异。结果表明:湛江地区养殖鱼体 b^* 值显著高于海口地区,基本营养成分的差异主要体现在鱼体规格上,大规格组具有更高的粗脂肪含量和更低的水分含量($P<0.05$)。四组样品共检测出23种脂肪酸,UMAP结果显示:养殖区域的不同更容易影响卵形鲳

鲹脂肪酸的组成。游离氨基酸和呈味核苷酸结果表明,湛江地区养殖的卵形鲳鲹表现出更丰富的滋味特性。电子舌结果显示,不同规格之间咸味、苦味和苦味回味具有显著性差异($P<0.05$)。另外,四组样品中共检测出了26种挥发性风味,其在挥发物种类和浓度上均存在差别。四氢呋喃为海口地区特有化合物,大规格组含有较高的正丙醇,正丁醇,小规格组含有较高的正丙醛,异戊醛,异丁醛。综上所述,不同养殖环境和规格的卵形鲳鲹的品质特性不同。总体而言,湛江地区养殖卵形鲳鲹体色更加鲜艳,滋味特性更加丰富,大规格组卵形鲳鲹营养价值更高,不同规格之间其滋味轮廓,挥发性风味物质差异显著。本研究对卵形鲳鲹的养殖加工,品质提升和分等分级提供了思路。

参考文献

- [1] LIU M J, GUO H Y, GAO J, et al. Characteristics of microplastic pollution in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) aquaculture areas and the relationship between colonized-microbiota on microplastics and intestinal microflora [J]. Science of the Total Environment, 2023, 856(2): 159180.
- [2] 刘新中,崔利锋,王欣太,等.2024中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2024.
- [3] LI Y, WV Y, CHEN S, et al. Exploring the key flavor compounds and aroma profiles in traditionally fermented golden pompano (*Trachinotus ovatus*): perspective from molecular sensory science [J]. Food Chemistry, 2025, 463(2): 141383
- [4] LIU M J, GAO J, GUO H Y, et al. Influence of aquaculture environments on the muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) in the beibu gulf: a multifaceted analysis of nutritional, textural, and flavor profiles [J]. Lwt Food Science and TechHkology, 2024, 212(21): 116957.
- [5] 张秀洁,郭全友,王鲁民,等.养殖大黄鱼滋味和气味物质组成及评价[J].食品与发酵工业,2019,45(20):242-249.
- [6] 王煜坤,郝淑贤,李来好,等.不同地区、品种及养殖模式罗非鱼营养差异分析[J].食品工业科技,2018,39(12):231-237.
- [7] 王迪,陈胜军,于刚,等.不同养殖规格卵形鲳鲹品质差异性研究[J].南方水产科学,2024,20(2):172-180.
- [8] 谢家俊.虾青素对卵形鲳鲹幼鱼生长、体色、抗氧化、抗炎能力及肠道菌群的影响[D].上海:上海海洋大学,2017.
- [9] 韩悦,马剑锋,陈雪昌,等.4种养殖河豚鱼肌肉营养成分分析与评价[J].食品研究与开发,2022,43(8):28-35.
- [10] SU X L, HOU C Y, ZHENG G D, et al. Evaluation of muscle nutritional value and flavor quality between triploid and diploid blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*): applications of breeding improvement in fish quality [J]. Aquaculture Reports, 2024, 39(5): 102493.
- [11] 庄小妹,郭全友,郑尧,等.养殖地域和商品规格划分对大菱鲆营养及风味品质的影响[J].食品与机械,2023,39(11):179-185.
- [12] 方心如,肖乃勇,郭全友,等.基于顶空-气相色谱-离子迁移谱分析蒸制过程中草鱼肉挥发性成分的变化[J].食品与发酵工业,

- 2023,49(24):241-250.
- [13] 李欢.大黄鱼皮肤主成色素分析及光对其体色影响的初步研究[D].宁波:宁波大学,2014.
- [14] 马本贺,孙志宾,马爱军,等.环境光色对白条双锯鱼(*Amphiprion frenatus*)幼鱼生长和体色的影响[J].海洋与湖沼,2017,48(1):148-154.
- [15] 王琳,赵玲,齐祥明,等.不同规格秋刀鱼肌肉的营养成分分析与品质评价[J].食品安全质量检测学报,2022,13(21):6815-6820.
- [16] DING A Z, ZHU M, QIAN X Q, et al. Effect of fatty acids on the flavor formation of fish sauce [J]. Lwt, 2020, 134(17): 110259.
- [17] DUAN Z, ZHOU Y, LIU W, et al. Variations in flavor according to fish size in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2020, 526(12): 735398.
- [18] 刘波.盐度和投喂频率对卵形鲳鲹生长和生理的影响[D].上海:上海海洋大学,2019.
- [19] JIANG Q X, ZHANG H F, GAO P, et al. Effects of different thermal methods and degrees on the flavor of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets: fatty acids, volatile flavor and taste compounds [J]. Food Chemistry, 2024, 461(31): 140887.
- [20] 杨欣怡.网箱海养卵形鲳鲹肌肉营养品质评价和风味物质研究[D].上海:上海海洋大学,2016.
- [21] WANG S, YU H, WANG Y Y, et al. Comparison of flavour qualities of three sourced eriocheir sinensis [J]. Food Chemistry, 2016, 200(10): 24-31.
- [22] DUAN Z L, ZHOU Y G, LIU W J, et al. Variations in flavor according to fish size in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2020, 526(12): 735398.
- [23] CHEN G, LI J, SUN Z W, et al. Rapid and sensitive ultrasonic-assisted derivatisation microextraction (UDME) technique for bitter taste-free amino acids (FAA) study by HPLC-FLD [J]. Food Chemistry, 2014, 143(2): 97-105.
- [24] ZENG X, ZHOU X Q, JIANG W D, et al. Histidine improves flesh quality: an assessment of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) muscle in terms of texture, nutritional value and flavor [J]. Food Chemistry, 2025, 474(12): 143214.
- [25] DAMIRD T, ANNU M, AMALIA B B. New methods to assess sensory responses: a brief review of innovative techniques in sensory evaluation [J]. Current Opinion in Food Science, 2023, 49(1): 100978.
- [26] CERMEN D S, ROLANG M, HALL R D. Mass spectrometry-based metabolomics of volatiles as a new tool for understanding aroma and flavour chemistry in processed food products [J]. Metabolomics, 2019, 15(3): 1-20.
- [27] 栗紫慧,曲映红,施文正,等.利用顶空-气相色谱-离子迁移谱结合电子鼻分析黑鱼蒸制过程中挥发性风味物质的变化[J].食品与发酵工业,2025,51(1):322-329.
- [28] CHENG H, WANG J F, XIE J. Progress on odor deterioration of aquatic products: characteristic volatile compounds, analysis methods, and formation mechanisms [J]. Food Bioscience, 2023, 53(3): 102666.
- [29] 衡新蕊,王天亮,姚云平,等.冷榨亚麻籽油特征风味成分分析[J].食品科学,2024,45(2):211-217.
- [30] WANG F, GAO Y Q, WANG H B, et al. Analysis of volatile compounds and flavor fingerprint in jingyuan lamb of different ages using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. Meat Science, 2021, 175(4): 108449.
- [31] HOU M D, SUN W B, MA Y, et al. Comparative analysis for nutrients, flavor compounds, and lipidome revealed the edible value of pond-cultured male *Pelodiscus sinensis* with different ages [J]. Food Chemistry, 2024, 454(24): 139795.