

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20231222010

# 不同养殖区域的卵形鲳鲹营养品质分析与评价研究

王迪<sup>1,2</sup>, 陈胜军<sup>1,2\*</sup>, 于刚<sup>1,2</sup>, 赵永强<sup>1</sup>, 吴燕燕<sup>1</sup>, 王悦齐<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部水产品加工重点实验室, 广州 510300;

2. 三亚热带水产研究院/海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 三亚 572018)

**摘要: 目的** 研究不同养殖区域的卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)营养品质差异, 并对其品质进行评价。

**方法** 以海南、广西、广东3个养殖区域的卵形鲳鲹为研究对象, 对基本营养成分、蛋白质、氨基酸与矿物元素进行测定, 采用主成分分析对营养品质指标进行评价。**结果** 3个养殖区域的卵形鲳鲹氨基酸总量、必需氨基酸含量与鲜味氨基酸含量未呈现显著差异; 氨基酸评分与化学评分结果显示3个养殖区域卵形鲳鲹氨基酸组成均衡; 脂肪酸结果显示广东养殖卵形鲳鲹饱和脂肪酸含量最高为38.84%±6.23%, 海南单不饱和脂肪酸含量最高为37.20%±2.06%, 广西多不饱和脂肪酸含量最高为39.27%±4.42%; 3个养殖区域的矿物元素含量丰富, 常量元素中最高的是钾与钠, 微量元素中海南卵形鲳鲹中铁含量最高, 显著高于广西与广东, 广西养殖卵形鲳鲹中锌元素含量最高, 显著高于海南与广东; 主成分分析得到的综合得分结果显示广西综合评分最高, 其次是海南, 最次为广东。**结论** 不同养殖区域的卵形鲳鲹营养成分存在差异, 研究为卵形鲳鲹品质评价体系构建提供数据支撑。

**关键词:** 卵形鲳鲹; 养殖区域; 营养品质; 主成分分析; 品质评价

## Analysis and evaluation of nutritional quality of *Trachinotus ovatus* in different culture areas

WANG Di<sup>1,2</sup>, CHEN Sheng-Jun<sup>1,2\*</sup>, YU Gang<sup>1,2</sup>, ZHAO Yong-Qiang<sup>1</sup>,  
WU Yan-Yan<sup>1</sup>, WANG Yue-Qi<sup>1</sup>

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China; 2. Sanya Tropical Fisheries Research Institute/Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province, Sanya 572018, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the variations in the nutritional quality of *Trachinotus ovatus* from different culture areas and assess its quality. **Methods** The study involved determining basic nutritional composition, protein,

**基金项目:** 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资助项目(2023XT0703、2023TD78、2023TD74)、广州市海珠区科技计划项目(海科工商信计 2022-48)

**Fund:** Supported by the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, Chinese Academy of Fishery Science (2023XT0703, 2023TD78, 2023TD74), and the Science and Technology Plan Project of Haizhu District, Guangzhou (Haik Industrial and Commercial Information Plan 2022-48)

\*通信作者: 陈胜军, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

\*Corresponding author: CHEN Sheng-Jun, Ph.D, Professor, South China Sea Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China. E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

amino acid, and mineral element content of *Trachinotus ovatus* from Hainan, Guangxi, and Guangdong. Principal component analysis was used to evaluate the nutritional quality index. **Results** The analysis revealed no significant differences in the total amino acid content, essential amino acid content, and delicious amino acid content among the 3 cultured *Trachinotus ovatus* varieties. The amino acid score and chemical score indicated a balanced amino acid composition across the 3 culture areas. Fatty acid analysis showed that the saturated fatty acid content was highest in Guangdong 38.84%±6.23%, followed by Hainan 37.20%±2.06% and Guangxi 39.27%±4.42%. The mineral elements in the 3 culture areas were rich, and the highest major elements were potassium and sodium. Among the trace elements, the iron content in Hainan cultured *Trachinotus ovatus* was significantly higher than that in Guangxi and Guangdong, while the zinc content in Guangxi was significantly higher than that in Hainan and Guangdong. Principal component analysis revealed that the comprehensive score was highest for Guangxi, followed by Hainan and Guangdong. **Conclusion** This study highlights the variations in the nutritional composition of *Trachinotus ovatus* in different culture areas and provides valuable data support to facilitate the development of a comprehensive quality evaluation system for *Trachinotus ovatus*.

**KEY WORDS:** *Trachinotus ovatus*; culture area; nutritional quality; principal component analysis; quality evaluation

## 0 引 言

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)是一种重要的经济鱼类,在全球范围内广泛分布。它因生长迅速、肉质鲜美、富含高品质的蛋白质和脂肪等特点,备受消费者喜爱<sup>[1]</sup>。随着全球渔业资源的不断减少和人口的增长,养殖卵形鲳鲹已成为满足水产品消费市场的新宠儿<sup>[2]</sup>。我国卵形鲳鲹养殖产量近 3 年内持续增长,2022 年养殖产量达 245435 t,成为我国第 2 大海水养殖鱼类<sup>[3]</sup>。伴随人们对食品品质和安全性关注度的不断提高,对于水产品品质的要求也提升至前所未有的高度。

不同养殖区域的自然条件、水质状况、环境温度以及饲养管理等因素对鱼类生长发育和肉质特性产生直接影响<sup>[4-6]</sup>。吴颖峰等<sup>[7]</sup>研究了不同养殖区域对养殖鳕鱼营养品质的影响发现,室内养殖的鳕鱼营养价值更高。李温蓉等<sup>[8]</sup>研究发现大湖养殖的翘嘴鲌氨基酸含量与不饱和脂肪酸含量均高于池塘养殖的翘嘴鲌。对北京、青海和新疆的养殖虹鳟进行研究发现,3 个地区的养殖虹鳟鱼在营养成分方面存在显著差异,虹鳟鱼脂肪含量在青海养殖的产品中呈现最高且显著高于北京和新疆养殖的虹鳟鱼,但其游离氨基酸含量却显著低于北京与新疆的养殖虹鳟鱼<sup>[9]</sup>。然而关于养殖区域对卵形鲳鲹的影响研究还相对较少,这制约了养殖卵形鲳鲹品质的提升与品质评价体系的构建。为了明确不同养殖区域卵形鲳鲹营养品质差异,探明养殖区域对卵形鲳鲹营养品质的影响,本研究对广西、广东、海南 3 个卵形鲳鲹主产区的养殖产品开展研究,对比鱼肉基本营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成与矿物元素含量变化,并以基本成分、氨基酸、脂肪酸、矿物元素作为品质指标,采用主成分分析评价不同养殖区域卵形鲳鲹品质,以期对卵形鲳鲹品质提升,促进养殖卵形鲳鲹全产业链发

展提供理论技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

实验用 3 个不同养殖区域的卵形鲳鲹样品于 2023 年 8 月中下旬~2023 年 9 月上旬分别采样于海南昌江棋子湾,广东湛江市特呈岛和广西北海铁山港。养殖方式均为海上深海网箱养殖,喂养同种饲料,每个海域随机采样 20 尾,体重在 500 g 左右。采样完样品置于冰水保温箱中于 4 h 内转运至最近实验室,将鱼体冷冻于-80℃条件下用于后续指标分析。

硫酸钾、硫酸铜、浓盐酸、原硼酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);氯化钠、氢氧化钠、磷酸氢二钠(分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司);十一烷酸、氨基酸混合标准品、9-苄基甲氧基羰基保护基(分析纯)、甲醇、乙腈、石油醚、三氟化硼-甲醇溶液、正己烷(色谱纯)(美国 Sigma 公司)。

### 1.2 仪器与设备

VULCAN 3-550 马弗炉(美国 Neytech 公司);NDK200-2N 氮吹仪(杭州米欧仪器有限公司);DHG-9145A 电热鼓风干燥箱(上海一恒有限公司);Kjeltec2300 全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS 公司);HH-2 数显恒温水浴锅(常州环宇仪器厂);T50 均质机(德国 IKA 公司);GC/MS-QP2010 Plus 气相色谱-质谱联用(日本岛津公司);Agilent 7900 ICP-MS 电感耦合等离子体质谱联用仪、Agilent1100 液相色谱仪(配 VWD 检测器)(美国安捷伦科技有限公司);XPR226CDR/AC 天平(精度 0.01 mg,上海梅特勒托利多科技有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 基本成分测定

鱼肉的基本成分测定,参照国家标准方法。水分:直接

干燥法参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》；粗蛋白质：凯氏定氮法参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》；粗脂肪：索氏抽提法参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》；灰分：高温灼烧法参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》。

### 1.3.2 氨基酸含量测定与营养评价

氨基酸测定根据文献所述方法进行测定<sup>[10]</sup>。取鱼肉样品 1 g，加入 6 mol/L HCl 10 mL，置于 110°C 条件下水解 22 h 后冷却定容至 50 mL。取 1 mL 液体进行氮吹后加入 1 mL 0.01 mol/L HCl 溶解，待测。鱼肉样品先经过氧化锂水解，再进行色氨酸测定。高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定氨基酸的上机参数参照 SHI 等<sup>[11]</sup>的方法进行。氨基酸评分(amino acids score, AAS)与化学评分(chemical score, CS)的计算依照文献[8]进行。

### 1.3.3 脂肪酸含量测定

脂肪酸含量测定参照 NAVA 等<sup>[12]</sup>与熊添等<sup>[13]</sup>的方法，并稍做修改。称取 2 g 鱼肉样品，进行脂肪酸提取实验。在鱼肉中加入含有 0.01% 二丁基羟甲基苯的氯仿-甲醇溶液 15 mL (2:1, V:V)，均质(2 次, 10000 r/min, 冰浴)，定容(30 mL)，静置(1 h)后，再进行过滤。过滤后的液体中加入 0.85% NaCl 溶液(1:0.2, V:V)，离心(3000 r/min, 12 min)，收取下层的脂质溶液进行氮吹后得到浓缩脂质。在得到的浓缩液中加入 14% 三氯甲烷-甲醇溶液(2 mL)，水浴(60°C, 30 min)后冷却至室温，加入 1 mL 蒸馏水与 1 mL 正己烷，振荡均匀，静置分层后吸取上层有机层用 0.22 μm 滤膜过滤后，采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)测定。

### 1.3.4 矿物元素含量测定

利用电感耦合等离子体-质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)测定鱼肉样品中矿物元素含量<sup>[14]</sup>。称取 0.5 g 鱼肉样品于微波消解罐中加入 10 mL 浓硝酸进行微波消解，消解条件为 180°C, 800 W, 100%，30 min。消解冷却后定容至 50 mL，采用 ICP-MS 进行测定。

## 1.4 数据处理

3 次平行实验结果采用平均值±标准偏差表示，并利用 SPSS 20 对数据进行处理与主成分分析，Duncan's 法进行差异显著性分析， $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同养殖区域卵形鲳鲹基本成分

不同养殖区域卵形鲳鲹基本营养成分含量变化如表 1 所示。3 个区域的卵形鲳鲹水分含量差异不显著( $P > 0.05$ )，在 69.33~70.45 g/100 g 之间；粗蛋白质含量结果显示广东养殖的卵形鲳鲹粗蛋白质含量最高，为 21.82 g/100 g，显

著高于广西养殖卵形鲳鲹粗蛋白质含量( $P < 0.05$ )；3 个养殖区域卵形鲳鲹粗蛋白质含量均大于 20%，高于小带鱼(17.39%)<sup>[15]</sup>、鲮鱼(15.72%)<sup>[15]</sup>、秋刀鱼(17.63%)<sup>[16]</sup>、围网养殖大黄鱼(17.35%)<sup>[17]</sup>等海水鱼。海南养殖的卵形鲳鲹粗脂肪含量与灰分含量最高，且显著高于广东养殖的卵形鲳鲹( $P < 0.05$ )。与其他鱼类研究结果对比发现，3 个养殖区域卵形鲳鲹粗脂肪含量高于黑鲷<sup>[18]</sup>、黄体鲷鱼<sup>[19]</sup>等海水鱼类。这可能是卵形鲳鲹口感细腻鲜嫩的原因之一。

表 1 不同养殖区域的卵形鲳鲹基本成分(g/100 g 湿样)  
Table 1 Basic chemical composition of *Trachinotus ovatus* in different culture areas (g/100 g wet weight)

区域	水分	粗蛋白质	粗脂肪	灰分
广西	70.45±0.41 <sup>a</sup>	20.06±0.07 <sup>b</sup>	7.86±0.26 <sup>a</sup>	1.60±0.02 <sup>a</sup>
海南	69.33±0.79 <sup>a</sup>	21.05±0.62 <sup>ab</sup>	8.35±0.30 <sup>a</sup>	1.67±0.11 <sup>a</sup>
广东	69.96±0.24 <sup>a</sup>	21.82±0.68 <sup>a</sup>	7.05±0.09 <sup>b</sup>	1.36±0.08 <sup>b</sup>

注：同列中不同小写字母代表区域间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同养殖区域卵形鲳鲹氨基酸组成

如表 2 所示，广东省养殖的卵形鲳鲹 TAA 与 DAA 最高，海南省的卵形鲳鲹 EAA 最高，但 3 个养殖区域的卵形鲳鲹 TAA、DAA、EAA 含量均未呈现显著差异( $P > 0.05$ )。在 3 个区域养殖的卵形鲳鲹中赖氨酸含量为 EAA 中含量最高的，赖氨酸作为人体 EAA，是人体以谷物为主食时的第一限制氨基酸<sup>[20]</sup>，本研究结果显示卵形鲳鲹是补充赖氨酸的优质水产品蛋白质来源。广东养殖的卵形鲳鲹 DAA 含量最高，广西的卵形鲳鲹次之，海南养殖的卵形鲳鲹最低。卵形鲳鲹中谷氨酸在 DAA 中占比最高，且广东的卵形鲳鲹谷氨酸含量显著高于海南的卵形鲳鲹( $P < 0.05$ )。谷氨酸作为鲜味特征氨基酸，在鱼肉鲜味中起到重要作用<sup>[21]</sup>，除了在呈现鲜味方面具有重要功能，它对于降低机体代谢中的氨毒害，保护机体肝脏方面同样具有重要作用<sup>[22]</sup>。世界卫生组织/联合国粮食及农业组织(World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO/FAO)推荐优质蛋白质模式 EAA/TAA 在 40%<sup>[18]</sup>，本研究中 3 个养殖区域的卵形鲳鲹 EAA/TAA 均大于 40%，表明卵形鲳鲹蛋白质质量较好。研究结果显示，3 个养殖区域的卵形鲳鲹 DAA/TAA 值与蓝鳍金枪鱼(34.24%)<sup>[23]</sup>与五条鲷鱼(34.79%)<sup>[19]</sup>较为接近，蓝鳍金枪鱼与鲷鱼作为生食水产品的顶尖食材，口感鲜甜，结果说明卵形鲳鲹的鱼肉鲜美度也较高。根据 DAA/TAA 值结果显示广东的卵形鲳鲹鲜味更佳，但 EAA 作为人体维持氨基酸平衡不可或缺的氨基酸，EAA/TAA 值结果则显示海南的卵形鲳鲹更优。3 种养殖区域的 AAS 评分大多数接近 1，CS 评分均大于 0.5(表 3)，说明 3 个区域的卵形鲳鲹氨基酸组成均较为均衡<sup>[24]</sup>。对 AAS 评分结果进行分析发现，异亮氨酸和亮氨酸分别是广西与广东的第一限制氨基酸与第二限

制氨基酸, 海南则与之相反, 亮氨酸是第一限制氨基酸, 异亮氨酸则是第二限制氨基酸。由 CS 评分结果可知, 异亮氨酸是广西与海南卵形鲳鲹的第一限制氨基酸, 苯丙氨酸+酪氨酸是广西卵形鲳鲹的第二限制氨基酸, 蛋氨酸+胱氨酸是海南卵形鲳鲹第二限制氨基酸; 广东卵形鲳鲹则与之不同, 苯丙氨酸+酪氨酸是广东卵形鲳鲹的第一限制氨基酸, 异亮氨酸则是第二限制氨基酸。

### 2.3 不同养殖区域的卵形鲳鲹脂肪酸组成

如表 4 所示, 海南与广东的卵形鲳鲹中均检测到 10 种 SFA, 而广西检测到 8 种 SFA。SFA 中 C<sub>16:0</sub> 含量最高, 且广东的卵形鲳鲹中 C<sub>16:0</sub> 最高, 显著高于广西的卵形鲳鲹 ( $P < 0.05$ )。广西卵形鲳鲹中检测出 5 种 MUFA, 海南与广东卵形鲳鲹检测出 7 种 MUFA。不饱和脂肪酸中 C<sub>16:1 n-7</sub>(棕榈油酸)在 3 个养殖区域的卵形鲳鲹中含量呈现差异, 广西的卵形鲳鲹棕榈油酸含量显著高于海南与广东的卵形鲳鲹 ( $P < 0.05$ )。海南与广东卵形鲳鲹中检测出 9 种 PUFA, 广西的卵形鲳鲹检测出 8 种。但广西 PUFA 含量却为最高, 其次是海南, 广东含量最低。DHA+EPA 含量呈现相反的结果, 广东的卵形鲳鲹中 DHA+EPA 含量最高, 广西的卵形鲳鲹含量则最低。研究报道称控制  $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA 的摄入比例, 对于保持健康具有重要意义<sup>[25]</sup>。国际脂类学会推荐最佳  $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA 摄入量为 4-6<sup>[13]</sup>, 较高的  $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA 可能会促进炎症的发生<sup>[26-27]</sup>。本研究中西南、海南与广东卵形鲳鲹中  $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA 值分别为 4.31, 3.17 与 1.95。

### 2.4 不同养殖区域的卵形鲳鲹矿物元素

矿物元素对维持机体日常生理生化功能十分重要, 尤其是微量元素对于维持机体日常代谢具有重要作用<sup>[28]</sup>。如表 5 所示, 常量元素中 Na 与 K 含量最高(海南除外), 微量元素则显示 Fe 与 Zn 含量最高, 新西兰长尾鲱鱼、太平洋真鲱鱼以及大西洋鲱鱼这 3 种海水鱼微量元素结果与本研究结果一致<sup>[29]</sup>。广西卵形鲳鲹中 Na、Mg 与 Ca 元素含量均显著高于海南与广东养殖的卵形鲳鲹 ( $P < 0.05$ )。Fe 元素含量在海南卵形鲳鲹中最高, 显著高于广西与广东的卵形鲳鲹。Zn 元素结果显示广西的卵形鲳鲹中 Zn 含量最高,

高于广东与海南, 且 3 个养殖区域卵形鲳鲹中 Zn 含量呈现显著差异 ( $P < 0.05$ )。养殖饲料、生境等是影响鱼体内矿物元素组成不同的主要原因<sup>[30]</sup>, 本实验中养殖卵形鲳鲹饲养同种饲料, 推测矿物元素组成差异可能是由于养殖环境不同。

表 2 不同养殖区卵形鲳鲹的氨基酸含量变化(mg/g 湿样)  
Table 2 Amino acids content of *Trachinotus ovatus* in different culture areas (mg/g wet weight)

氨基酸	广西	海南	广东
苏氨酸(Thr)*	7.44±0.32 <sup>a</sup>	8.33±0.89 <sup>a</sup>	7.85±0.90 <sup>a</sup>
缬氨酸(Val)*	10.30±0.73 <sup>a</sup>	8.88±1.23 <sup>a</sup>	10.61±3.55 <sup>a</sup>
蛋氨酸(Met)*	6.67±1.02 <sup>a</sup>	5.72±1.09 <sup>a</sup>	6.09±1.52 <sup>a</sup>
异亮氨酸(Ile)*	5.00±0.70 <sup>a</sup>	5.89±0.45 <sup>a</sup>	5.31±1.24 <sup>a</sup>
亮氨酸(Leu)*	9.15±0.58 <sup>a</sup>	9.71±0.45 <sup>a</sup>	9.43±1.66 <sup>a</sup>
苯丙氨酸(Phe)*	4.88±0.88 <sup>a</sup>	6.83±1.38 <sup>a</sup>	5.06±1.01 <sup>a</sup>
赖氨酸(Lys)*	16.65±2.87 <sup>a</sup>	19.68±1.43 <sup>a</sup>	17.03±4.41 <sup>a</sup>
色氨酸(Trp)*	2.64±0.33 <sup>a</sup>	2.72±2.74 <sup>a</sup>	2.76±0.62 <sup>a</sup>
酪氨酸(Tyr)*	3.95±0.92 <sup>a</sup>	5.93±0.06 <sup>a</sup>	4.01±1.96 <sup>a</sup>
必需氨基酸(EAA)	66.68±1.91 <sup>a</sup>	73.70±2.81 <sup>a</sup>	68.24±6.45 <sup>a</sup>
天冬氨酸(Asp) <sup>#</sup>	12.21±0.14 <sup>a</sup>	11.91±1.07 <sup>a</sup>	12.43±0.31 <sup>a</sup>
谷氨酸(Glu) <sup>#</sup>	17.84±1.03 <sup>ab</sup>	17.40±0.14 <sup>b</sup>	19.63±0.76 <sup>a</sup>
甘氨酸(Gly) <sup>#</sup>	7.20±1.37 <sup>a</sup>	7.66±0.94 <sup>a</sup>	8.83±2.20 <sup>a</sup>
丙氨酸(Ala) <sup>#</sup>	9.31±1.04 <sup>a</sup>	9.31±1.63 <sup>a</sup>	10.30±1.33 <sup>a</sup>
鲜味氨基酸(DAA)	46.56±1.76 <sup>a</sup>	46.28±2.74 <sup>a</sup>	51.19±3.03 <sup>a</sup>
丝氨酸(Ser)	5.40±0.08 <sup>a</sup>	5.31±0.17 <sup>a</sup>	5.72±0.34 <sup>a</sup>
脯氨酸(Pro)	4.95±2.04 <sup>a</sup>	4.15±0.90 <sup>a</sup>	4.78±1.26 <sup>a</sup>
组氨酸(His)	2.95±0.14 <sup>a</sup>	2.85±0.13 <sup>a</sup>	2.86±0.13 <sup>a</sup>
精氨酸(Arg)	7.10±2.21 <sup>a</sup>	7.23±0.88 <sup>a</sup>	7.90±1.42 <sup>a</sup>
胱氨酸(Cys)	0.93±0.60 <sup>a</sup>	1.16±0.25 <sup>a</sup>	1.19±0.93 <sup>a</sup>
TAA	134.56±5.30 <sup>a</sup>	140.68±5.19 <sup>a</sup>	141.87±10.70 <sup>a</sup>
EAA/TAA	0.50±0.01 <sup>ab</sup>	0.52±0.00 <sup>a</sup>	0.48±0.02 <sup>b</sup>
DAA/TAA	0.35±0.00 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>b</sup>	0.36±0.02 <sup>a</sup>

注: 同行中不同小写字母代表区域间差异显著 ( $P < 0.05$ ); \*为必需氨基酸, #为鲜味氨基酸; 总氨基酸(total amino acids, TAA); 鲜味氨基酸(delicious amino acids, DAA); 必需氨基酸(essential amino acids, EAA)。

表 3 不同养殖区域的卵形鲳鲹 AAS 与 CS 评分(mg/g N)  
Table 3 AAS and CS of *Trachinotus ovatus* in different culture areas (mg/g N)

评分	区域	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Thr	Lys	Phe+Tyr
AAS	广西	1.12	1.17	0.68 <sup>I</sup>	0.71 <sup>II</sup>	1.00	1.69	0.80
	海南	0.93	1.02	0.77 <sup>II</sup>	0.72 <sup>I</sup>	1.11	1.93	1.12
	广东	1.12	1.08	0.70 <sup>I</sup>	0.77 <sup>II</sup>	0.98	1.57	0.75
CS	广西	0.85	0.66	0.51 <sup>I</sup>	0.58	0.86	1.30	0.54 <sup>II</sup>
	海南	0.71	0.58 <sup>II</sup>	0.58 <sup>I</sup>	0.59	0.95	1.49	0.75
	广东	0.85	0.61	0.53 <sup>II</sup>	0.64	0.84	1.21	0.51 <sup>I</sup>

注: <sup>I</sup>代表第一限制氨基酸, <sup>II</sup>代表第二限制氨基酸。

表 4 不同养殖区域的卵形鲳鲹脂肪酸组成(%)  
Table 4 Fatty acid compositions of *Trachinotus ovatus* in different culture areas (%)

脂肪酸	广西	海南	广东
C <sub>12:0</sub>	-	0.43±0.11 <sup>a</sup>	0.20±0.07 <sup>b</sup>
C <sub>14:0</sub>	1.54±0.53 <sup>a</sup>	2.11±1.59 <sup>a</sup>	1.88±0.33 <sup>a</sup>
C <sub>15:0</sub>	0.22±0.08 <sup>a</sup>	0.27±0.31 <sup>a</sup>	0.31±0.09 <sup>a</sup>
C <sub>16:0</sub>	21.57±1.72 <sup>b</sup>	24.41±0.60 <sup>ab</sup>	28.06±3.99 <sup>a</sup>
C <sub>17:0</sub>	0.17±0.14 <sup>a</sup>	0.20±0.01 <sup>a</sup>	0.28±0.20 <sup>a</sup>
C <sub>18:0</sub>	4.79±0.74 <sup>a</sup>	5.22±1.97 <sup>a</sup>	6.82±2.15 <sup>a</sup>
C <sub>20:0</sub>	0.24±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.08 <sup>a</sup>	0.22±0.05 <sup>a</sup>
C <sub>22:0</sub>	0.29±0.04 <sup>a</sup>	0.33±0.10 <sup>a</sup>	0.39±0.26 <sup>a</sup>
C <sub>23:0</sub>	-	0.09±0.03 <sup>a</sup>	0.10±0.07 <sup>a</sup>
C <sub>24:0</sub>	0.50±0.29 <sup>a</sup>	0.43±0.08 <sup>a</sup>	0.59±0.33 <sup>a</sup>
SFA	29.31±2.57 <sup>a</sup>	31.73±1.61 <sup>a</sup>	38.84±6.23 <sup>a</sup>
C <sub>14:1 n-5</sub>	-	0.04±0.01 <sup>a</sup>	0.03±0.03 <sup>a</sup>
C <sub>16:1 n-7</sub>	3.15±0.68 <sup>a</sup>	0.37±0.30 <sup>b</sup>	0.30±0.07 <sup>b</sup>
C <sub>17:1 n-7</sub>	-	0.26±0.32 <sup>a</sup>	0.32±0.18 <sup>a</sup>
C <sub>18:1 n-9c</sub>	27.76±4.37 <sup>a</sup>	29.18±4.08 <sup>a</sup>	31.26±6.62 <sup>a</sup>
C <sub>18:1 n-9t</sub>	2.58±0.20 <sup>a</sup>	3.20±1.41 <sup>a</sup>	3.00±0.97 <sup>a</sup>
C <sub>22:1 n-9</sub>	0.70±0.12 <sup>a</sup>	0.66±0.38 <sup>a</sup>	1.56±0.99 <sup>a</sup>
C <sub>24:1 n-9</sub>	0.23±0.24 <sup>a</sup>	0.49±0.24 <sup>a</sup>	0.62±0.72 <sup>a</sup>
MUFA	31.42±4.52 <sup>a</sup>	37.20±2.06 <sup>a</sup>	36.70±5.26 <sup>a</sup>
C <sub>18:3 n-6</sub>	-	0.17±0.04 <sup>a</sup>	0.10±0.04 <sup>a</sup>
C <sub>18:2 n-6</sub>	30.93±5.46 <sup>a</sup>	24.34±4.65 <sup>a</sup>	14.78±12.60 <sup>a</sup>
C <sub>18:3 n-3</sub>	2.36±0.37 <sup>a</sup>	1.35±0.58 <sup>a</sup>	1.36±1.03 <sup>a</sup>
C <sub>20:4 n-6</sub>	0.36±0.02 <sup>b</sup>	0.77±0.13 <sup>ab</sup>	0.85±0.30 <sup>a</sup>
C <sub>20:5 n-3</sub> (EPA)	0.62±0.20 <sup>a</sup>	0.69±0.17 <sup>a</sup>	0.68±0.47 <sup>a</sup>
C <sub>20:3 n-6</sub>	0.18±0.10 <sup>b</sup>	0.43±0.07 <sup>a</sup>	0.27±0.05 <sup>ab</sup>
C <sub>20:3 n-3</sub>	0.52±0.12 <sup>a</sup>	0.36±0.10 <sup>a</sup>	0.44±0.34 <sup>a</sup>
C <sub>22:6 n-3</sub> (DHA)	3.89±0.51 <sup>a</sup>	5.77±2.96 <sup>a</sup>	5.80±2.95 <sup>a</sup>
C <sub>22:2 n-6</sub>	0.41±0.09 <sup>a</sup>	0.21±0.07 <sup>b</sup>	0.18±0.04 <sup>b</sup>
PUFA	39.27±4.42 <sup>a</sup>	34.07±2.46 <sup>a</sup>	24.46±8.93 <sup>a</sup>
DHA+EPA	4.51±0.50 <sup>a</sup>	6.45±2.79 <sup>a</sup>	6.47±3.09 <sup>a</sup>

注:同行中不同小写字母代表区域间差异显著( $P<0.05$ );-代表未检出;饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA);单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA);多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA);二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA);二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)。

## 2.5 卵形鲳鲹的主成分分析与综合评价

利用主成分分析评价品质已经在水果、蔬菜、水稻与中药等领域得到广泛应用<sup>[31-34]</sup>。刘丙花等<sup>[35]</sup>利用主成分分析对蓝莓品质进行了综合评价;常娟等<sup>[36]</sup>也利用主成分分析对敦煌 4 个产区‘李广杏’完成了综合评价。为了对不同养殖区域的卵形鲳鲹营养品质进行综合评价,研究通过主成分分析将来自 3 个区域的养殖卵形鲳鲹的 18 个品质指标

(EAA、DAA、TAA、SFA、MUFA、PUFA、Na、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn、水分、粗蛋白质、粗脂肪、灰分)转化为主成分,根据各个主成分的特征值与贡献度进行提取,结果如表 6 所示。结果显示有 4 个主成分入选,其中第 1 主成分特征值 7.224,方差贡献率为 32.360%,是最主要的主成分;第 2 主成分特征值为 6.089,方差贡献率为 30.314%;第 3 主成分结果特征值为 1.684,方差贡献率是 13.956%;第 4 主成分的特征值是 1.247,方差贡献率为 13.615%;4 个主成分累计方差贡献率为 90.245%,可以反映 3 个养殖区域卵形鲳鲹的 18 个品质指标,作为评价卵形鲳鲹的综合标准。

表 5 不同养殖区域卵形鲳鲹的矿物元素含量变化  
(mg/100 g 湿样)

Table 5 Changes of mineral element content of *Trachinotus ovatus* in different culture areas (mg/100 g wet weight)

区域	广西	海南	广东
Na	143.68±2.50 <sup>a</sup>	36.68±2.73 <sup>c</sup>	49.16±2.05 <sup>b</sup>
Mg	54.52±0.62 <sup>a</sup>	48.09±1.62 <sup>b</sup>	47.42±1.65 <sup>b</sup>
K	267.05±199.21 <sup>a</sup>	272.46±9.01 <sup>a</sup>	86.65±1.55 <sup>a</sup>
Ca	42.06±1.52 <sup>a</sup>	3.41±0.09 <sup>c</sup>	13.47±0.21 <sup>b</sup>
Mn	0.09±0.00 <sup>a</sup>	0.07±0.02 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>
Fe	4.11±0.02 <sup>b</sup>	6.82±0.35 <sup>a</sup>	4.30±0.09 <sup>b</sup>
Cu	0.24±0.01 <sup>b</sup>	0.28±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.00 <sup>c</sup>
Zn	1.10±0.01 <sup>a</sup>	0.85±0.02 <sup>c</sup>	1.02±0.00 <sup>b</sup>

注:同行中不同小写字母代表区域间差异显著( $P<0.05$ )。

表 6 养殖卵形鲳鲹营养品质的主成分方差贡献率  
Table 6 Contribution rate of variance of main components to nutritional quality of cultured *Trachinotus ovatus*

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	7.224	32.360	32.360
2	6.089	30.314	62.674
3	1.684	13.956	76.630
4	1.247	13.615	90.245

为了更好地反映卵形鲳鲹品质与主成分之间的关系,计算了品质相关矩阵的特征向量。表 7 中显示了养殖卵形鲳鲹品质相关矩阵的特征向量,结果显示第 1 主成分中粗脂肪、粗灰分中有较大的荷载,说明主成分 1 主要反映养殖卵形鲳鲹的基本成分含量。主成分 2 中大多矿物元素荷载均为正向影响,说明主成分 2 主要反映养殖卵形鲳鲹的矿物元素含量。主成分 3 中 EAA、DAA、TAA 有较大荷载,说明主成分 3 主要反映养殖卵形鲳鲹的氨基酸变化。主成分 4 中 MUFA 荷载最高,再次为 DAA,其次为 K 与 Mn,表明主成分 4 反映卵形鲳鲹的 MUFA、DAA 与矿物元素 K 与 Mn 的变化。根据 4 个主成分的方差贡献度计算得到了卵形鲳鲹的综合得分,如表 8 所示。结果显示养殖卵形鲳鲹综合得分由高到低为:广西>海南>广东。

表 7 养殖卵形鲳鲹营养品质相关矩阵的特征向量  
Table 7 Eigenvector of nutritional quality correlation matrix of cultured *Trachinotus ovatus*

品质指标	主成分 1 (F1)		主成分 2 (F2)		主成分 3 (F3)		主成分 4 (F4)	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量
EAA	0.276	0.076	-0.427	0.047	0.804	0.415	-0.023	-0.100
DAA	-0.645	-0.058	0.088	0.097	0.541	0.248	0.387	0.038
TAA	-0.192	0.022	-0.180	0.116	0.939	0.483	0.207	-0.058
SFA	-0.683	-0.105	-0.276	-0.014	0.435	0.136	0.294	-0.020
MUFA	-0.142	0.136	-0.215	-0.009	0.156	-0.096	0.927	0.521
PUFA	0.528	0.000	0.294	0.014	-0.370	-0.041	-0.674	-0.256
Na	0.155	0.031	0.926	0.186	-0.234	0.059	-0.198	-0.035
Mg	0.282	0.033	0.835	0.172	-0.201	0.090	-0.340	-0.107
K	0.791	0.251	0.153	0.039	-0.234	-0.133	0.335	0.397
Ca	0.034	0.015	0.951	0.187	-0.246	0.041	-0.127	-0.011
Mn	-0.606	-0.030	0.300	0.057	-0.020	-0.071	0.558	0.245
Fe	0.600	0.114	-0.740	-0.122	0.188	0.012	-0.034	0.043
Cu	0.917	0.177	-0.184	0.010	0.118	0.109	-0.222	0.010
Zn	-0.402	-0.074	0.880	0.158	-0.219	0.012	-0.034	-0.040
水分	-0.101	0.058	0.841	0.224	0.109	0.171	0.223	0.124
粗蛋白质	-0.629	-0.165	-0.597	-0.146	0.145	-0.048	0.036	-0.132
粗脂肪	0.903	0.148	-0.184	-0.010	0.021	0.069	-0.335	-0.048
粗灰分	0.921	0.184	0.023	0.046	0.035	0.095	-0.218	0.031

表 8 养殖卵形鲳鲹营养品质的主成分得分及综合得分  
Table 8 Principal component score and comprehensive score of nutritional quality of cultured *Trachinotus ovatus*

区域	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	综合得分	排序
广西	0.341	1.205	-0.287	-0.280	0.443	1
海南	0.884	-0.947	0.259	-0.093	0.023	2
广东	-1.225	-0.258	0.028	0.374	-0.467	3

综上, 对养殖卵形鲳鲹各营养品质指标进行测定与分析发现, 养殖区域对产品品质存在影响。有研究报道称, 养殖区域的温度、密度、水体中生物环境等是影响养殖产品品质的主要因素<sup>[37]</sup>。对比研究流水槽养殖与传统养殖的罗非鱼发现, 水质更好的流水槽养殖的罗非鱼蛋白质含量更高, 营养品质更佳<sup>[38]</sup>。3 个养殖区域卵形鲳鲹检测出的脂肪酸种类与含量均不相同, 相似的结果也在鳙鱼的研究中被发现, 冷水水库养殖的鳙鱼较普通池塘与天然湖泊养殖的鳙鱼, 不饱和脂肪酸种类更多, 含量更高, 且存在大量具有香气的挥发物质使其鲜味更强<sup>[39]</sup>。鱼肉中矿物元素的含量与养殖生物环境密切相关, 在与本研究类似的研究中发现, 不同生物环境条件下的黑斑小鲷鱼肉中矿物元素含量不尽相同<sup>[40]</sup>。

### 3 结 论

本研究中卵形鲳鲹基本营养成分显示广东养殖的卵形鲳鲹粗蛋白质含量最高, 海南的卵形鲳鲹粗脂肪与灰

分结果显示最高。氨基酸结果显示广东的卵形鲳鲹 TAA 与 DAA 最高, 海南则 EAA 最高。脂肪酸结果显示广西的卵形鲳鲹 PUFA 含量最高。矿物元素在各养殖区域的卵形鲳鲹中含量不尽相同。利用主成分分析卵形鲳鲹营养品质指标的综合表现发现, 3 个养殖区域的卵形鲳鲹产品综合得分结果为广西>海南>广东。研究目前仅开展了对养殖卵形鲳鲹的基本成分、脂肪酸、氨基酸与矿物元素的分析, 后续还将对卵形鲳鲹功能活性物质、风味等影响品质的因素做进一步解析, 并采用更多的产品评价方式完善养殖卵形鲳鲹的综合评价, 旨在为优化养殖方式、提升产品品质与构建卵形鲳鲹品质评价体系提供理论数据支撑。

### 参考文献

- [1] DOHUU H, NGUYEN HTN, VO HT. Effects of dietary mannan oligosaccharides on growth, nonspecific immunity and tolerance to salinity stress and *Streptococcus iniae* challenge in golden pompano, *Trachinotus ovatus* [J]. *Aquacul Nutr*, 2023. DOI: 10.1155/2023/9973909
- [2] WANG YQ, CHEN Q, XIANG H, *et al.* Insights into microbiota

- community dynamics and flavor development mechanism during golden pomfret (*Trachinotus ovatus*) fermentation based on single-molecule real-time sequencing and molecular networking analysis [J]. Food Sci Human Wellness, 2024, 13(1): 101–114.
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业年鉴 2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
- The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China Fishery Statistical Yearbook 2023 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023.
- [4] WARREN FM, SWEARER SE, OVERTON K, *et al.* Stocking density and rearing environment affect external condition, gonad quantity and gonad grade in onshore sea urchin roe enhancement aquaculture [J]. Aquaculture, 2020, 515: 734591.
- [5] WANG G, JIANG Y, JIANG J, *et al.* Effects of feed supplemented with probiotics on the culture of sea cucumber *Apostichopus japonicus* [J]. Aquacult Nutr, 2021, 27(6): 2703–2711.
- [6] 洪涛, 王保, 刘可群, 等. 鄂州市不同天气条件对水产养殖水温的影响[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(9): 57–63.
- HONG T, WANG B, LIU KQ, *et al.* The influence of different weather conditions on aquaculture water temperature in Ezhou City [J]. Hubei Agric Sci, 2023, 62(9): 57–63.
- [7] 吴颖峰, 张仁康, 董合磊, 等. 不同养殖环境、不同部位鳕鱼的营养品质和加工特性[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 302–307.
- WU YF, ZHANG RK, DONG HL, *et al.* Nutrient quality and processing characteristics of the crocodile meat from different breeding environments and different parts [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(3): 302–307.
- [8] 李温蓉, 田明礼, 安玥琦, 等. 池塘养殖和大湖养殖对“华海 1 号”团头鲂鱼肉品质的影响[J]. 水产学报, 2022, 46(7): 1220–1234.
- LI WR, TIAN ML, AN YQ, *et al.* Effects of pond culture and lake culture on fish quality of *Megalobrama amblycephala* “Huahai No.1” [J]. J Fish China, 2022, 46(7): 1220–1234.
- [9] 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 YJ, WANG YT, SHI WZ, *et al.* Comparison of flavor substances of different parts of rainbow trout in different regions [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2017, 26(6): 888–899.
- [10] 冀德伟, 闫茂仓, 胡利华, 等. 不同规格野生刀额新对虾肌肉营养成分分析[J]. 水产科学, 2022, 41(6): 1045–1051.
- JI DW, YAN MC, HU LH, *et al.* Analysis of nutritional compositions in muscle of wild sword prawn *Metapenaeus ensis* with different sizes [J]. Fish Sci, 2022, 41(6): 1045–1051.
- [11] SHI L, SONG F, XING S, *et al.* The muscle nutritional components analysis of golden pompano (*Trachinotus blochii*) in different mariculture area, growth stages, and genders [J]. Front Nutr, 2023, 10: 1148687.
- [12] NAVA V, TURCO VL, LICATA P, *et al.* Determination of fatty acid profile in processed fish and shellfish foods [J]. Foods, 2023, 12(13): 2631.
- [13] 熊添, 吴燕燕, 李来好, 等. 卵形鲳鲹肌肉原料特性及食用品质的分析与评价[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 104–112.
- XIONG T, WU YY, LI LH, *et al.* Material characteristics and eating quality of *Trachinotus ovatus* muscle [J]. Food Sci, 2019, 40(17): 104–112.
- [14] KOPRU S, CADIR M, SOYLAK M. Investigation of trace elements in vegan foods by ICP-MS after microwave digestion [J]. Biol Trace Elem Res, 2022, 200(12): 5298–5306.
- [15] 李佳蔚, 丁玉竹, 薛敬林, 等. 莱州湾 6 种海水鱼肌肉营养成分与健康评价[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 319–322.
- LI JW, DING YZ, XUE JL, *et al.* Muscle nutrients and health evaluation of six species of marine fish in Laizhou bay [J]. Food Ind, 2023, 44(11): 319–322.
- [16] 叶彬清, 陶宁萍, 王锡昌. 秋刀鱼肌肉营养成分分析及评价[J]. 营养学报, 2014, 36(4): 406–408.
- YE BQ, TAO NP, WANG XC. Analysis and evaluation of nutritional composition of *Cololabis saira* muscle [J]. Acta Nutr Sin, 2014, 36(4): 406–408.
- [17] 郭全友, 邢晓亮, 姜朝军, 等. 野生和养殖大黄鱼(*Larimichthys crocea*)品质特征与差异性探究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 92–101.
- GUO QY, XING XL, JIANG CJ, *et al.* Quality characteristics and differences of wild and cultured large yellow croakers (*Larimichthys crocea*) [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(10): 92–101.
- [18] 刘芳芳, 杨少玲, 林婉玲, 等. 七种海水鱼背部肌肉营养成分及矿物质分布与健康评价[J]. 水产学报, 2019, 43(11): 2413–2423.
- LIU FF, YANG SL, LIN WL, *et al.* Nutritional components and mineral element distribution and health evaluation of back muscle of seven marine fishes [J]. J Fish China, 2019, 43(11): 2413–2423.
- [19] 徐永江, 王开杰, 姜燕, 等. 三种鲷属鱼类肌肉肉质构特性及营养成分比较分析[J]. 中国水产科学, 2022, 29(7): 1022–1032.
- XU YJ, WANG KJ, JIANG Y, *et al.* Comparative analysis of the muscle texture characteristics and nutrient compositions among three *Seriola* fishes [J]. J Fish Sci China, 2022, 29(7): 1022–1032.
- [20] 哈斯额尔敦, 敖长金, 萨茹丽, 等. 内蒙古地区不同养殖草食动物背最长肌氨基酸组成及营养价值评价[J]. 肉类研究, 2022, 36(4): 1–6.
- KHASE D, AO CJ, SA RL, *et al.* Evaluation of amino acid composition and nutritional value of *Longissimus doris* from different farmed herbivores in Inner Mongolia region [J]. Meat Res, 2022, 36(4): 1–6.
- [21] 马文智, 兰若林, 梁利群, 等. 黑龙江省连环湖地区 3 种土著虾肌肉营养成分分析[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(4): 197–200.
- MA WZ, LAN RL, LIANG LQ, *et al.* Muscle nutrient composition analysis of three indigenous shrimps in Lianhuan lake area Heilongjiang Province [J]. J Anhui Agric Sci, 2023, 51(4): 197–200.
- [22] LIMON ID, ANGELO CIA, SANCHEZ AL, *et al.* Disturbance of the glutamate-glutamine cycle, secondary to hepatic damage, compromises memory function [J]. Front Neurosci, 2021, 15: 578922.
- [23] 赵玲, 胡梦月, 曹荣, 等. 三种金枪鱼不同部位肌肉营养成分与风味物质比较[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 319–326.
- ZHAO L, HU MY, CAO R, *et al.* Comparison of nutritional components and flavor substances of different muscle parts of three kinds of tuna species [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(21): 319–326.

- [24] 黄卉, 魏涯, 李来好, 等. 季节变化对杂交鲟鱼肉营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 360–365.  
HUANG H, WEI Y, LI LH, *et al.* Effects of seasonal variation on nutrient composition of hybrid sturgeon (*Huso dauricus* ♀×*Acipenser schrenckii* ♂) [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(7): 360–365.
- [25] ROS E. Linoleic acid intake and reduction in mortality: The icing on the cake of health benefits from *n*-6 PUFAs? [J]. *Am J Clin Nutr*, 2020, 112(1): 3–4.
- [26] BIGORNIA SJ, SCOTT TM, HARRIS WS, *et al.* Prospective associations of erythrocyte composition and dietary intake of *n*-3 and *n*-6 PUFA with measures of cognitive function [J]. *Nutrients*, 2018, 10(9): 1253.
- [27] SAKAMURI A, SAKAMURI SSVP, KONA SR, *et al.* Diets with low *n*-6: *n*-3 PUFA ratio protects rats from fructose-induced dyslipidemia and associated hepatic changes: Comparison between 18: 3 *n*-3 and long-chain *n*-3 PUFA [J]. *Prostagl Leukot Essent Fatty Acids*, 2020, 155: 102082.
- [28] SHI Y, ZOU Y, SHEN Z, *et al.* Trace elements, PPARs, and metabolic syndrome [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(7): 2612.
- [29] 苗晓庆, 尚珊, 秦宁波, 等. 3 种海水鱼鱼排营养成分分析及评价[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(12): 160–165.  
MIAO XQ, SHANG S, QIN NB, *et al.* Analysis and evaluation of nutrient composition of three seawater fish steaks [J]. *Food Res Dev*, 2023, 44(12): 160–165.
- [30] TERECH ME, PAJDAK J, SIWICKI AK. Water as a source of macronutrients and micronutrients for fish with special emphasis on the nutritional requirements of two fish species: The common carp (*Cyprinus carpio*) and the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *J Elem*, 2016, 21(3): 947–961.
- [31] LIU H, LV Z, YANG W, *et al.* Virtual cold chain method to evaluate the effect of rising temperature on the quality evolution of peach fruit [J]. *Foods*, 2023, 12(12): 2403.
- [32] POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ JB, KOSTIĆ AŽ, RAJKOVIĆ MB, *et al.* Organically vs. conventionally grown vegetables: Multi-elemental analysis and nutritional evaluation [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2022, 200: 426–436.
- [33] SHI S, WANG E, LI C, *et al.* Comprehensive evaluation of 17 qualities of 84 types of rice based on principal component analysis [J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2883.
- [34] CHEN J, CHENG XL, LI LF, *et al.* A general procedure for establishing composite quality evaluation indices based on key quality attributes of traditional Chinese medicine [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2022, 207: 114415.
- [35] 刘丙花, 孙锐, 王开芳, 等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 70–76.  
LIU BH, SUN Y, WANG KF, *et al.* comparison and comprehensive evaluation of fruit quality of different blueberry (*Vaccinium* spp.) varieties [J]. *Food Sci*, 2019, 40(1): 70–76.
- [36] 常娟, 罗政成, 常永义, 等. 敦煌 4 个产区‘李广杏’品质综合评价[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(10): 71–76.  
CHANG J, LUO ZC, CHANG YI, *et al.* Comprehensive evaluation of the quality of ‘Liguangxing’ in four producing areas in Dunhuang [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2023, 29(10): 71–76.
- [37] WANG E, ZHOU Y, LIANG Y, *et al.* Rice flowering improves the muscle nutrient, intestinal microbiota diversity, and liver metabolism profiles of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in rice-fish symbiosis [J]. *Microbiome*, 2022, 10(1): 1–15.
- [38] 高瑞昌, 刘璐, 马之瑞, 等. 流水槽养殖与传统池塘养殖的罗非鱼肌肉差异蛋白组学分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(15): 63–70.  
GAO RC, LIU L, MA ZR, *et al.* Differential proteomic analysis of muscle of *Oreochromis mossambicus* between raceway system aquaculture and traditional aquaculture in ponds [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(15): 63–70.
- [39] HU B, ZHOU J, QIU H, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among bighead carp from three aquaculture systems [J]. *Saud J Biol Sci*, 2021, 28(8): 4291–4299.
- [40] ÁLVAREZ V, MEDINA I, PREGO R, *et al.* Lipid and mineral distribution in different zones of farmed and wild blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*) [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2009, 111(10): 957–966.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

## 作者简介



王 迪, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与品质调控。  
E-mail: wangdi1991624@hotmail.com



陈胜军, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。  
E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn