



DOI:10.14188/j.ajsh.20251223004

斜带石斑鱼受精卵的营养成分分析

林琳¹, 林铃生², 林伟强²

(1. 福州海洋研究院/闽江大学材料与化工工程学院/福建省海洋生物多样性保护与永续利用重点实验室, 福建 福州 350108;
2. 福建省逸源水产科技有限公司, 福建 漳州 363000)

摘要: 斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)为热带与亚热带海域重要的经济鱼类,是较早实现规模化人工繁育的石斑鱼种类之一。在人工养殖条件下,该种石斑鱼可在5月—10月间多次自然产卵,单尾雌鱼产卵量可达数百万粒,苗种场在满足育苗需求后仍存在大量剩余受精卵。为评估其资源化利用潜力,本研究系统分析了斜带石斑鱼受精卵的营养组成特征。结果表明,受精卵水分含量为90.15%,蛋白质4.06%,脂类2.25%,灰分0.44%。氨基酸分析显示,7种必需氨基酸(色氨酸未测)含量为12.42 g/kg,占总氨基酸(TAA)的39.72%;鲜味氨基酸(Glu、Asp、Gly、Ala)含量为10.25 g/kg,占TAA的32.78%。检测出的18种脂肪酸中,不饱和脂肪酸占比59.98%,显著高于饱和脂肪酸(40.02%);DHA和EPA分别占总脂肪酸的24.09%和4.34%。此外,受精卵含有泛酸、叶酸、维生素B6、B12、维生素D及维生素E等多种维生素,以及锌、镁、钾、钠、钙、磷、硒等矿物元素,胆固醇含量为82.2 mg/100 g,属低胆固醇水平。综上,斜带石斑鱼受精卵富含优质蛋白质、*n*-3多不饱和脂肪酸及多种微量营养素,具有较高的资源化开发潜力,可作为功能性食品、营养补充剂及高附加值生物制品的潜在原料。

关键词: 石斑鱼;受精卵;营养组成

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2026)02-0125-10

Nutritional composition of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) fertilized eggs

LIN Lin¹, LIN Lingsheng², LIN Weiqiang²

(1. Fuzhou Institute of Oceanography/College of Materials and Chemical Engineering, Minjiang University/Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Biodiversity Conservation and Sustainable Utilization, Fuzhou 350108, Fujian, China;
2. Fujian Yiyuan Aquatic Technology Co., Ltd., Zhangzhou 363000, Fujian, China)

Abstract: The orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) is an economically important marine fish widely cultured in tropical and subtropical regions. Under aquaculture conditions, this species exhibits multiple spawning events annually, generating a substantial surplus of fertilized eggs beyond hatchery requirements. To evaluate its potential for value-added utilization, this study systematically characterized the nutritional composition of fertilized eggs. Proximate analysis revealed that the fertilized eggs contained 90.15% moisture, 4.06% protein, 2.25% lipids, and 0.44% ash (wet weight basis). Amino acid analysis results showed that the content of seven essential amino acids (tryptophan not determined) was 12.42 g/kg, accounting for 39.72% of the total amino acids (TAA). The umami amino acids (Glu, Asp, Gly, and Ala) accounted for 10.25 g/kg, and 32.78% of TAA. Eighteen fatty acids were detected, with unsaturated fatty acids comprising 59.98% of total fatty acids, exceeding saturated fatty acids (40.02%). Notably, docosa-

收稿日期: 2025-12-23 修回日期: 2026-03-16 接受日期: 2026-04-15

作者简介: 林琳(1963-),女,教授,博士,主要从事生物医药与海洋生物技术研究, E-mail: llinlynn2@163.com

基金项目: 福建省重大科技专项(2022NZ033021);福建省促进海洋与渔业产业高质量发展专项(FJHYF-L-2025-16);福州海洋研究院“揭榜挂帅”科技项目(2022F15、2024F12、2025F15);福建省自然科学基金(2023J011576)

引用格式: 林琳, 林铃生, 林伟强. 斜带石斑鱼受精卵的营养成分分析[J]. 生物资源, 2026, 48(2): 125-134.

Lin L, Lin L S, Lin W Q. Nutritional composition of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) fertilized eggs [J]. Biotic Resources, 2026, 48(2): 125-134.

hexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA) accounted for 24.09% and 4.34%, respectively. The eggs also contained various vitamins (pantothenic acid, folate, vitamins B6, B12, D, and E) and essential minerals (Zn, Mg, K, Na, Ca, P, and Se). Cholesterol content was relatively low (82.2 mg/100 g). These findings demonstrate that fertilized eggs of *E. coioides* represent a rich source of high-quality protein, *n*-3 polyunsaturated fatty acids, and micronutrients, suggesting promising potential for applications in functional foods, nutraceuticals, and high-value bioproducts.

Key words: grouper; fertilized egg; nutritional composition

0 引言

斜带石斑鱼或点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*), 俗称青斑、青鳍、泥斑因, 分类上属于鲈形目, 鲈亚目鲈科, 石斑鱼属, 斜带石斑鱼种。该鱼广泛分布于印度洋-西太平洋海域, 其肉质鲜美、营养丰富、抗逆性强、生长快, 是中国南方沿海规模化养殖的重要对象之一。该物种具有明显的多次产卵特性, 在人工养殖条件下可于5月—10月间连续自然产卵。一般2~3龄鱼达雌性性成熟, 3~4龄可达雄性性成熟, 先雌后雄。人工饲养斜带石斑鱼的产卵受到水温、节律、月相或潮汐影响, 在水温较高的季节的黄昏或夜间进行自然产卵。斜带石斑鱼受精卵为浮性卵, 呈透明球形, 刚刚受精的卵的直径为0.75~0.95 mm, 经过约21 h孵化成幼鱼^[1]。在苗种生产过程中, 受精卵除满足孵化需求外, 往往存在一定数量的剩余资源。然而, 目前对鱼类受精卵的研究多集中于胚胎发育生理与分子调控机制, 对于其营养组成及资源化利用价值的系统研究仍相对匮乏。

鱼类受精卵和鱼籽有所不同, 鱼籽往往指来自母鱼腹中未完全成熟的鱼卵, 其营养价值高, 富含必需氨基酸、脂肪酸和矿物质。一般鱼卵含有75%的卵球蛋白、13%的胶原蛋白和11%的白蛋白^[2], 多种多不饱和脂肪酸、卵磷脂等。而鱼类受精卵是发育成熟的鱼卵并完成了受精, 是鱼类胚胎早期发育的唯一营养来源, 富含蛋白质、脂类及多种生物活性物质, 其营养构成直接反映了物种在早期生命阶段的能量分配策略。相比传统鱼籽产品, 受精卵在营养功能性成分方面可能具有独特优势。因此, 本研究系统分析了斜带石斑鱼受精卵的基本营养组成、氨基酸谱、脂肪酸谱、维生素及矿物质元素含量, 旨在为其资源化利用与高值开发提供理论依据。

1 材料、仪器与方法

1.1 实验材料

氯仿、甲醇、石油醚、硝酸、硫酸等均为分析纯, 正己烷、三氟化硼、甲醇等均为高级纯, 购于美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器设备

L8900氨基酸分析仪(日本日立), Agilent7900电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦公司), e2695高效液相色谱仪(美国Waters公司), MARS5高压高通量微波消解装置(美国CEM公司), Milli-Q超纯水系统(美国密理博公司), HH-4快速恒温数显水浴箱(常州澳华仪器公司), T50高速分散均质机(德国IKA公司), BS224S分析天平(美国Sartorius公司), Avanti J-26X高速离心机(美国贝克曼库尔特公司), 2010 PLUS GC-MS气相色谱-质谱联用仪(日本岛津公司)。Ultimate XB-C18(250 mm×4.6 mm, 5 μm), B5 B9离子交换柱(4.6 mm×60 mm, 3 μm), 色谱柱Supelco SP-2560(100 mm×0.25 mm, 0.20 μm)脂肪酸分析, 色谱柱Ultimate XB-C18(150 mm×4.6 mm, 5 μm), 硅胶柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)来自月旭科技公司。

1.3 方法

1)斜带石斑鱼的饲养、产卵和鱼卵的收集。斜带石斑鱼亲鱼饲养于福建省逸源水产科技有限公司养殖场, 饲养温度20℃~30℃, 海水盐度18℃~20℃, 日换水量100%, 喂食巴浪鱼等鲜饵料, 每日1次。采用雌鱼与雄鱼混养, 自然产卵和自然受精。受精卵用80~200目细网收集, 清水洗涤3~4次、沥干备用。

2)受精卵的大小、形态。将受精卵30粒置显微镜下, 观测形态、测量大小; 取1 g受精卵, 统计个数。

3)总蛋白、总脂肪、水分及灰分测定。水分含量参照国标^[3]测定。称取湿鱼卵1 g, 在101.3 kPa(一个大气压)、温度101℃~105℃下挥发干燥, 通过干燥前后的称量数值计算出水分的含量。灰分含量参照国标^[4]测定, 蛋白质含量参照国标^[5]测定, 脂肪含量参照国标^[6]测定。

4)氨基酸的测定。参照国标^[7]测定。水解氨基酸, 氨基酸分析仪L8900, 离子交换柱(4.6 mm×60 mm, 3 μm), 柱温57℃, 进样量20 μL, 脯氨酸测定波长440 nm, 其他氨基酸测定波长570 nm。

5)脂肪酸组成的测定。参照国标^[8]测定。Agilent 7890-GC-FID, 色谱柱Supelco SP-2560

(100 mm×0.25 mm, 0.20 μm), 进样量 1 μL, 进样口温度 270 °C, 分流进样, 分流比(40:1), 载气流速 0.9 mL/min。升温程序为起始温度 120 °C, 保持 2.5 min, 3 °C/min 升温至 210 °C, 保持 1 min, 0.5 °C/min 升温至 221 °C, 保持 1 min, 10 °C/min 升温至 240 °C, 保持 17 min, 检测器温度 280 °C, 氢气流量 40 mL/min, 空气流量 400 mL/min。

6) 维生素 B1 及 B2 的测定。采用国标^[9]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪, 色谱柱为 Ultimate XB-C18 (150 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为 0.05 mol/L 乙酸钠与甲醇(65:35), 流速为 1.0 mL/min, 进样量 10 μL, 柱温 35 °C。测定维生素 B1 的激发波长为 375 nm, 发射波长为 435 nm。测定维生素 B2 的激发波长为 462 nm, 发射波长为 522 nm。

7) 烟酸(维生素 B3 或尼克酸)的测定。采用国标^[10]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪, 色谱柱 Ultimate XB-C18 (150 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为 1 g/L 辛烷磺酸钠溶液(pH 4.0)与甲醇(70:30), 流速 1.0 mL/min, 进样量 10 μL, 柱温为 35 °C, 检测波长 261 nm。

8) 维生素 B6 的测定。采用国标^[11]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪(配备荧光检测器), 色谱柱 Ultimate XB-C18 (150 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为 1 g/L 辛烷磺酸钠溶液(pH 4.0)与甲醇(70:30), 流速 1.0 mL/min, 进样量 10 μL, 柱温为 35 °C, 激发波长为 293 nm, 发射波长为 395 nm。

9) 泛酸(维生素 B5)的测定。采用国标^[12]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪(配备紫外检测器), 色谱柱 Ultimate XB-C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为 0.05% 磷酸溶液和乙腈(梯度), 流速 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL, 柱温 35 °C, 波长为 200 nm。

10) 叶酸(维生素 B9)的测定。采用国标^[13]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪, 色谱柱 Ultimate XB-C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为 1 g/L 辛烷磺酸钠溶液(pH 4.0)与甲醇(梯度), 流速为 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL, 柱温为 35 °C, 波长为 282 nm。

11) 维生素 C 的测定。采用国标^[14]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪, 色谱柱 Ultimate XB-C18 (150 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为浓度 0.02 mol/L KH₂PO₄ 溶液(等度), 流速 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL, 柱温为 35 °C, 波长为

245 nm。

12) 维生素 D 的测定。采用国标^[15]测定。Waters 高效液相色谱仪, 正相液相色谱条件为硅胶柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为环己烷与正己烷(1:1), 按体积分数 0.8% 加入异丙醇, 流速 1.0 mL/min, 进样量 100 μL, 柱温 35 °C, 波长 264 nm。反相液相色谱条件为色谱柱 Ultimate XB-C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为甲醇和水(98:2), 流速 1.0 mL/min, 进样量 50 μL, 柱温 35 °C, 波长 264 nm。

13) 生物素的测定。采用国标^[16]测定。Waters e2695 高效液相色谱仪, 色谱柱 Ultimate XB-C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为 0.05% 磷酸溶液和乙腈(梯度), 流速 1.0 mL/min, 进样量 10 μL, 柱温 35 °C, 波长 210 nm。

14) 微量元素的测定。锌、铁、镁、锰、钾、钠、钙、铜的检测采用国标^[17]测定, 磷采用国标^[18]测定, 硒采用国标^[19]测定。电感耦合等离子体质谱仪, ICP-MS 工作条件为射频功率 1 550 W, 载气流速 1.03 L/min, 等离子体气流量 15.0 L/min, 辅助气流量 0.90 L/min, 氦气流量为 4.3 L/min, 采样深度 9.0 mm, 雾化室温度 2 °C, 样品提升速率 0.10 rps, 同心雾化器, 镍采样锥/截取锥, 采样模式为氢碰撞模式, 每峰测定点数 100, 重复次数 3 次。

15) 胆固醇含量的测定。采用国标^[20]测定。Waters 高效液相色谱仪(配备紫外检测器), 色谱柱 Ultimate XB-C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为甲醇和水(98:2), 流速为 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL, 柱温为 35 °C, 波长 205 nm。

16) 数据处理。实验数据重复测定 3 次, 使用 Excel 计算和分析, 结果采用重复测定取均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 斜带石斑鱼受精卵形态

观察福建东山岛岸基养殖池中人工饲养斜带石斑鱼的产量情况, 发现该类石斑鱼每年可进行多次产卵, 产卵期长达半年, 一般从 5 月份持续到 10 月份, 斜带石斑鱼受精卵为浮性卵, 呈透明球形, 实验收集的受精卵一般是在完成受精后 5~10 h 内, 其直径约 1.23~1.32 mm (图 1), 受精卵的重量约为 0.30~0.35 mg。

受精卵是石斑鱼人工育苗的基础, 在福建东山岛岸基人工养殖状态下, 斜带石斑鱼可多次自然产卵, 产卵期从 5 月份到 10 月份, 每头雌鱼的产卵量可

达数百万粒以上,是人工养殖石斑鱼中产卵期最长、产卵量最大的石斑鱼之一。成熟鱼卵排出体外后与雄鱼排出的精子在养殖水体中自然受精形成受精卵,受精卵漂浮在水体中,可通过过滤装置收集,经洗卵后,在适宜的水温(26℃~28℃)下,受精卵约21 h后孵化。斜带石斑鱼的自然产卵受到气候、水温、营养、雌雄配比等多种因素的影响,如果需求大量优质受精卵,可在种鱼产卵前2~3个月投喂高蛋白饲料(如小杂鱼、虾、鱿鱼等),以促进性腺发育,增强产卵质量和数量。

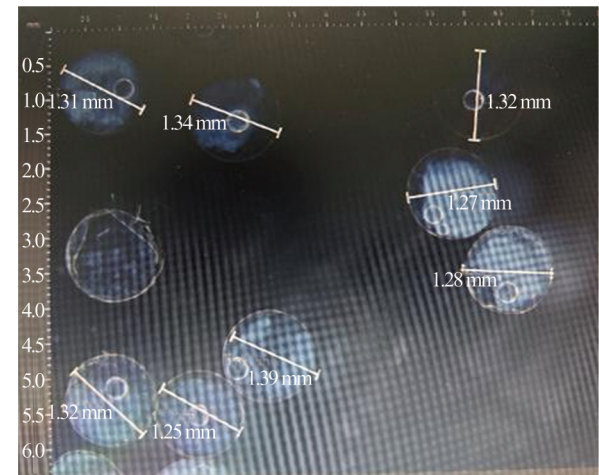


图1 斜带石斑鱼受精卵

Figure 1 Fertilized eggs of orange-spotted grouper

2.2 斜带石斑鱼受精卵的物质组成

物质组成的测试结果显示斜带石斑鱼受精卵的含水量为90.15%,蛋白质为4.06%,脂肪为2.25%,灰分为0.44%(表1)。蛋白质、脂肪、灰分

表1 斜带石斑鱼受精卵的物质组成

Table 1 Composition of fertilized eggs of orange-spotted grouper

物质	湿重含量/(g·(100 g) ⁻¹)	干物质占比/%
水分	90.15±0.25	—
干物质	9.85±0.11	100.00
灰分	0.44±0.01	4.47
蛋白质	4.06±0.14	41.22
脂肪	2.25±0.05	22.84

占干物质重量比分别为41.22%、22.84%及4.47%。可见,发育成熟排入水体的斜带石斑鱼受精卵的含水量(90.15%)与蓝斑背肛海兔卵的含水量(90.73%)相当^[21],明显高于从大西洋蛙、飞鱼、大黄鱼、西伯利亚鲟、达氏鳇、金鳊、泥鳅的卵巢中取出的未成熟鱼卵的含水量(50.0%~81.3%)^[22],也明显高于棕点石斑、金虎斑、珍珠龙胆、云纹、云龙、鞍

带石斑鱼、青石斑鱼肌肉的含水量(69.37%~75.70%)^[23-25]。斜带石斑鱼受精卵蛋白质含量(4.06%)高于蓝斑背肛海兔卵的蛋白含量(2.53%),低于上述未完全成熟鱼卵(13.35%~28.15%)和各种石斑鱼肌肉的蛋白质含量(15.37%~19.60%)^[26]。受精卵脂肪含量(2.25%)低于上述未完全成熟鱼卵(5.49%~16.63%)、棕点石斑、金虎斑、珍珠龙胆、云纹、云龙、鞍带石斑鱼肌肉的脂肪含量(3.10%~10.10%),高于青石斑鱼肌肉(0.81%),褐点石斑鱼肌肉(1.95%)、点带石斑鱼肌肉(1.4%)和蓝斑背肛海兔卵(0.62%)^[26-27]。受精卵相对较低的蛋白质和脂肪含量可能与其高含水量有关。

2.3 斜带石斑鱼受精卵的氨基酸组成与含量

本研究测试了受精卵的16种氨基酸含量,包括人体需要的必需氨基酸(Lys、Val、Met、Ile、Leu、Phe、Thr)、半必需(His、Arg)及非必需氨基酸(Asp、Glu、Ser、Gly、Ala、Tyr),其含量分别为12.42 g/kg、2.70 g/kg和16.15 g/kg,分别占氨基酸总量的39.72%、8.63%和51.65%;与珍珠龙胆石斑鱼、鞍带石斑鱼、褐点石斑鱼和青石斑鱼肌肉中氨基酸含量的占比相仿^[23]。必需氨基酸(色氨酸在酸水解时破坏,未测)在总氨基酸中的占比(39.72%)与FAO/WHO建议的优质蛋白的氨基酸标准(EAA/TAA为40%)相仿^[26]。受精卵的鲜味氨基酸(Glu、Gly、Asp、Ala)含量为10.25 g/kg,占氨基酸总量的32.78%(DAA/TAA),与人工养殖的云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼、云龙石斑鱼肌肉鲜味氨基酸(分别为33.48%、32.44%、34.77%)在总氨基酸中的占比相仿^[24](表2)

2.4 斜带石斑鱼受精卵的脂肪酸组成与含量

本研究共测试了受精卵的35种脂肪酸含量,可检出的脂肪酸有18种(表3),包括7种饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)、4种单不饱和脂肪酸(MUFA)和7种多不饱和脂肪酸(PUFA),含量分别占油脂总量的40.02%、27.09%和32.89%。饱和脂肪酸中,棕榈酸(C16:0)含量最高;硬脂酸(C18:0)和豆蔻酸(C14:0)次之。斜带石斑鱼卵的不饱和脂肪酸占比高(59.98%),单不饱和脂肪酸中,油酸(C18:1)含量最高,棕榈油酸(C16:1)次之。在多不饱和脂肪酸中,二十二碳六烯酸(DHA, C22:6)的含量占比为(24.09±0.1%),二十碳五烯酸(EPA, C20:5)的占比为(4.34±0.04)%,DHA+EPA总含量占比为28.43%,高于珍珠龙胆(24.02%)、金虎斑(23.56%)、棕点石斑鱼

表2 斜带石斑鱼受精卵的氨基酸组成
Table 2 Amino acid composition of fertilized eggs of orange-spotted grouper

氨基酸种类	湿重含量/(g·kg ⁻¹)
赖氨酸(Lys) ^Δ	2.20±0.00
缬氨酸(Val) ^Δ	2.00±0.00
蛋氨酸(Met) ^Δ	0.77±0.00
异亮氨酸(Ile) ^Δ	1.60±0.00
亮氨酸(Leu) ^Δ	2.80±0.00
苯丙氨酸(Phe) ^Δ	1.45±0.07
苏氨酸(Thr) ^Δ	1.60±0.00
组氨酸(His) [#]	0.75±0.01
精氨酸(Arg) [#]	1.95±0.07
天冬氨酸(Asp)*	2.35±0.07
谷氨酸(Glu)*	4.25±0.07
丝氨酸(Ser)	1.60±0.00
甘氨酸(Gly)*	1.20±0.07
丙氨酸(Ala)*	2.45±0.00
脯氨酸(Pro)	2.35±0.07
酪氨酸(Tyr)	1.95±0.07
TAA	31.27±0.50
EAA	12.42±0.07
HEAA	2.70
NEAA	16.15
DAA	10.25±0.21
EAA/TAA	39.72%
DAA/TAA	32.78%

TAA:总氨基酸;EAA:必需氨基酸(Δ);HEAA:半必需氨基酸(#);DAA:鲜味氨基酸(*)

TAA: total amino acids; EAA: essential amino acids (Δ); HEAA: conditionally essential amino acids (#); DAA: delicious amino acids(*)

(22.76%)的肌肉含量,受精卵的DHA含量远高于EPA含量,这与一些其他鱼类很不同^[28]。PUFA/SFA为0.82,高于联合国健康组织的推荐值0.40。表3中未检出或含量很低具体指癸酸、月桂酸和木焦油酸的定量限为0.0066%;丁酸、己酸、辛酸、十一碳酸、十三碳酸、十五碳一烯酸、十七碳一烯酸、二十一碳酸、8,11,14-二十碳三烯酸、芥酸、11,14,17-二十碳三烯酸、二十三碳酸、二十二碳二烯酸和二十四碳一烯酸的定量限为0.0033%。

2.5 斜带石斑鱼受精卵的胆固醇含量

研究发现,斜带石斑受精卵湿重的胆固醇含量为82.2 mg/(100 g),低于大多数已报道的其他种类的鱼卵。例如,大西洋鳕鱼卵(*Gadus morhua* (Atlantic))为90~320 mg/(100 g),扁鱼卵(*Limanda herzensteni*)为410 mg/(100 g),比目鱼卵(*Paralich-*

表3 斜带石斑鱼受精卵的脂肪酸组成
Table 3 Fatty acid composition of fertilized eggs of orange-spotted grouper

脂肪酸	湿重占检出脂肪酸含量/%
豆蔻酸(C14:0)	4.28±0.05
豆蔻油酸(C14:1 n-5)	0.05±0.00
十五碳酸(C15:0)	1.05±0.01
棕榈酸(C16:0)	26.01±0.45
棕榈油酸(C16:1 n-7)	8.89±0.07
十七碳酸(C17:0)	1.25±0.05
硬脂酸(C18:0)	7.12±0.03
油酸(C18:1 n-9)	17.67±0.15
亚油酸(C18:2 n-6)	1.95±0.01
花生酸(C20:0)	0.18±0.01
γ-亚麻酸(C18:3 n-6)	0.14±0.01
花生一烯酸(C20:1 n-9)	0.48±0.01
α-亚麻酸(C18:3 n-3)	0.62±0.01
花生二烯酸(C20:2 n-6)	0.19±0.01
山嵛酸(C22:0)	0.14±0.01
二十碳四烯酸(C20:4 n-6) (ARA)	1.56±0.04
二十碳五烯酸(C20:5 n-3) (EPA)	4.34±0.04
二十二碳六烯酸(C22:6 n-3) (DHA)	24.09±0.10
丁酸(C4:0)	—
己酸(C6:0)	—
辛酸(C8:0)	—
癸酸(C10:0)	—
十一碳酸(C11:0)	—
月桂酸(C12:0)	—
十三碳酸(C13:0)	—
十五碳一烯酸(C15:1 n-5)	—
十七碳一烯酸(C17:1 n-7)	—
二十一碳酸(C21:0)	—
8,11,14-二十碳三烯酸(C20:3 n-6)	—
芥酸(C22:1 n-9)	—
11,14,17-二十碳三烯酸(C20:3 n-3)	—
二十三碳酸(C23:0)	—
二十二碳二烯酸(C22:2 n-6)	—
木焦油酸(C24:0)	—
二十四碳一烯酸(C24:1 n-9)	—
饱和脂肪酸SFA	40.02
单不饱和脂肪酸MUFA	27.09
多不饱和脂肪酸PUFA	32.89
DHA+EPA	28.43
MUFA+PUFA	59.98

“—”表示未检测出或含量很低

“—” indicates undetected or very low content

thys olivaceus) 为 540 mg/(100 g), 飞鱼卵 (*Tobiko* (salted)) 为 430 mg/(100 g), 大比目鱼卵 (*Hippoglossus hippoglossus*) 为 120 mg/(100 g), 大马哈鱼卵 (*Oncorhynchus keta*(chum salmon)) 为 450 mg/(100 g), 沙鳗鱼卵 (*Ammodytes lancea*) 为 240 mg/(100 g), 沙丁鱼卵 (*Sardinops melandosticta*) 为 400 mg/(100 g), 金枪鱼卵 (*Thunnus tonggol*) 为 120 mg/(100 g)^[29], 三文鱼鱼卵为 357.0 mg/(100 g)^[30]等。也远低于鱼子酱的胆固醇含量 500 mg/(100 g)^[31]。鉴于每 100 克食物中,胆固醇含量低于 100 mg 的食物属于低胆固醇含量食物,100~200 mg 的为中胆固醇含量食物,高于 200 mg 则属于高胆固醇含量食物,斜带石斑鱼受精卵属于低胆固醇食物。

2.6 斜带石斑鱼受精卵的维生素含量

对各种维生素含量的测试结果显示,斜带石斑鱼受精卵中检出了泛酸、叶酸、B6、B12、维生素 E、维生素 D 等 6 种维生素,未检出维生素 A、维生素 B1、维生素 B2、维生素 C、烟酸、维生素 K1、生物素(表 4)。斜带石斑鱼受精卵中维生素 E 含量最多,为 0.49 mg/(100 g),与大眼金枪鱼的维生素 E 含量 0.46 mg/(100 g) 相仿,低于黄鳍金枪鱼含量 1.40 mg/(100 g)、蓝鳍金枪鱼含量 0.79 mg/(100 g)、篮斑背肛海兔卵含量 42.2 mg/(100 g)^[21,24]。斜带石斑鱼受精卵中维生素 D 含量为 6.85 μg/(100 g),与大眼金枪鱼 7.1 μg/(100 g) 相仿,远高于黄鳍金枪鱼 0.81 μg/(100 g),而低于蓝鳍金枪鱼 37.3 μg/(100 g) 和篮斑背肛海兔卵 47.0 μg/(100 g)。总体来讲,该受精卵可提供多种维生素,特别是与抗衰老抗氧化相关的维生素 E 及助力机体钙吸收的维生素 D。

表 4 中未检出或含量很低具体指维生素 A 的定量限为 30 μg/(100 g)、维生素 B1 的定量限为 100 μg/(100 g)、维生素 B2 的定量限为 50 μg/(100 g)、烟酸定量限为 100 μg/(100 g)、维生素 C 的定量限为 2 000 μg/(100 g)、维生素 K1 的定量限为 5 μg/(100 g)、生物素的定量限为 4 μg/(100 g)。

2.7 斜带石斑鱼受精卵的矿物质含量

矿物质在生命大分子结构维持、代谢调控及信号传导等方面发挥着关键作用,是维持正常生命活动不可或缺的元素。

从斜带石斑鱼受精卵中检测出了 8 种矿物质,含量依次为钠(Na)>钾(K)>镁(Mg)>磷(P)>钙(Ca)>锌(Zn)>铜(Cu)>硒(Se),未检测到铁和锰(表 5)。受精卵中钠元素含量最高(1 020 mg/kg),其次是钾(537 mg/kg),钠和钾是维持细胞内外渗透压、电解质平衡及神经-肌肉兴奋性的核心元素^[27],

表 4 斜带石斑鱼受精卵的维生素含量
Table 4 Vitamin content in fertilized eggs of orange-spotted grouper

维生素种类	湿重含量/(μg·(100 g) ⁻¹)
维生素 A	—
维生素 B1	—
维生素 B2	—
烟酸(维生素 B3)	—
泛酸(维生素 B5)	97.00±0.71
维生素 B6	60.75±0.07
叶酸(维生素 B9)	13.60±0.28
维生素 B12	3.10±0.00
维生素 C	—
维生素 D	6.85±0.02
维生素 E	486.00±2.83
维生素 K1	—
生物素	—

“—”表示未检测出或含量很低

“—” indicates undetected or very low content

其比例备受关注。大多数海产的鱼卵和鱼肉的钾含量高于钠含量;例如,云纹石斑、鞍带石斑和云龙斑的肌肉中钾含量(分别为 4 380 mg/kg、3 900 mg/kg 和 4 480 mg/kg) 远高于钠(分别为 373 mg/kg、410 mg/kg 和 475 mg/kg)^[24]。鱼卵如金枪鱼鱼卵的钾含量(471.4 mg/kg)高于钠含量(143.4 mg/kg)。表 5 中未检测出或含量很低具体指铁和锰的定量限分别为 3 mg/kg、0.3 mg/kg。

表 5 斜带石斑鱼受精卵的矿物质元素含量
Table 5 Mineral element content in fertilized eggs of orange-spotted grouper

元素	湿重含量/(mg·kg ⁻¹)
锌	5.96±0.03
铁	—
镁	146.50±0.50
锰	—
钾	537.00±2.00
钠	1 020.00±18.00
钙	56.60±6.48
磷	730.15±0.40
硒	0.23±0.00
铜	0.95±0.01

“—”表示未检测出或含量很低

“—” indicates undetected or very low content

经过研究发现,斜带石斑鱼受精卵含有较高含量的镁(146.5 mg/kg)、磷(730.15 mg/kg)、钙(56.6 mg/kg)。镁是多种酶促反应的辅因子,参与 ATP 合成、核酸和蛋白质代谢以及神经和肌肉功能

调节^[30]。磷和钙是骨骼和牙齿的重要结构成分,其中钙以羟磷灰石形式赋予骨骼机械强度,而磷不仅参与骨矿化过程,还在细胞能量代谢中以ATP、磷脂和核酸等形式发挥关键作用。此外,钙作为重要的第二信使,广泛参与肌肉收缩、神经递质释放、细胞分裂及基因表达调控,其稳态对神经、肌肉和内分泌系统功能至关重要^[32]。

锌、硒是儿童、孕妇和病患等需要膳食补充的微量元素,在免疫调节、抗氧化、DNA合成、蛋白质代谢及组织修复过程中发挥重要作用^[33]。斜带石斑鱼受精卵含锌量(5.96 mg/kg)高于云纹石斑鱼(3.98 mg/kg)、鞍带石斑鱼(5.62 mg/kg)和杂交“云龙斑”(4.03 mg/kg)肌肉中锌的含量^[21],而低于大西洋鲑(39.62 mg/kg)、飞鱼(30.56 mg/kg)、大黄鱼(34.67 mg/kg)、西伯利亚鲟(24.22 mg/kg)、施氏鲟(24.15 mg/kg)、俄罗斯鲟(26.59 mg/kg)和达氏鳇鱼卵(26.34 mg/kg)中锌的含量。受精卵硒含量为0.23 mg/kg,低于大黄鱼卵(2.3 mg/kg)^[22]、大西洋鲑(0.52 mg/kg)、飞鱼(0.65 mg/kg)、西伯利亚鲟(1.12 mg/kg)、施氏鲟(1.42 mg/kg)、俄罗斯鲟(1.03 mg/kg)和达氏鳇鱼卵(1.35 mg/kg)^[22],与云纹石斑(0.397 mg/kg)、鞍带石斑(0.145 mg/kg)和云龙斑(0.278 mg/kg)肌肉中的硒含量相仿^[21]。

3 讨 论

本研究系统揭示了斜带石斑鱼受精卵的基本物质组成及营养成分谱。其结果阐明了该种石斑鱼早期生命发育的物质基础,也从营养角度提示了其作为高价值生物资源的潜力。

1)物质组成与胚胎发育适应性。斜带石斑鱼受精卵含水量高达90.15%,符合典型海洋浮性卵特征,有利于浮力维持与气体交换。干物质中蛋白质与脂类合计占比超过64%,表明其为胚胎发育提供充足的结构物质与能量储备。这种高蛋白、高脂类的组成模式,是鱼类在摄食前阶段维持细胞分裂、器官形成及代谢活动的关键物质基础。

2)优质蛋白特征。EAA/TAA比例为39.72%,接近FAO/WHO推荐优质蛋白模式,表明其氨基酸组成较为平衡。亮氨酸与赖氨酸含量较高,前者参与mTOR信号通路调控蛋白合成,后者为谷物蛋白常见限制性氨基酸。因此,受精卵是优异的蛋白质来源,具有理想的营养补充之价值。鲜味氨基酸占比较高,提示有潜在的风味强化应用价值。

3)脂质营养优势。受精卵的不饱和脂肪酸占比达59.98%,显著高于饱和脂肪酸的40.02%,其PUFA/SFA比值(0.82)是健康推荐值(>0.40)的

2倍,其中,二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)合计占比达28.43%,明显高于许多常见食用鱼类肌肉,如三文鱼肌肉约12%~18%,金枪鱼约15%~25%,表明受精卵为优质 $n-3$ 长链多不饱和脂肪酸来源。DHA在神经系统发育中发挥关键作用,而EPA与抗炎调节密切相关,高DHA和EPA有利于维持神经系统发育、视觉功能和心血管健康。鱼卵普遍被视为高胆固醇食物,斜带石斑鱼受精卵胆固醇含量仅为82.2 mg/(100 g),低于鸡蛋(约585 mg/(100 g))及鲑鱼卵、鳕鱼卵等常见鱼子酱产品。该高不饱和脂肪酸含量与低胆固醇含量的特点、使受精卵在高PUFA背景下仍有较好的脂质健康属性。

4)抗氧化与营养协同。受精卵中检测到较高水平维生素E(486 μ g/(100 g))及硒(0.23 mg/kg)。维生素E作为脂溶性抗氧化剂,可保护高含量PUFA免于脂质过氧化,硒为谷胱甘肽过氧化物酶活性中心元素,维生素E与微量元素硒的协同抗氧化作用,有助于防止其在胚胎发育过程中发生脂质过氧化,确保仔鱼神经系统的正常发育。对以鱼卵为原材料的后加工而言,具有延长其后加工产品保质期的作用。天然食物中维生素D来源有限,而斜带石斑鱼受精卵检测出了含量为6.85 μ g/(100 g)的维生素D,结合其丰富的钙、磷含量,提示其可能在促进钙质吸收、支持骨骼健康方面有天然协同作用。

5)浮性卵的物质基础。斜带石斑鱼受精卵为浮性卵,便于其随洋流扩散,卵的浮性与其含水量高及高钠低钾的特性相关。与典型海水硬骨鱼浮性卵(含水量89%~92%)相仿,受精卵含水量高(90.15%),导致其密度与海水密度接近,从而维持其悬浮状态,有利于溶氧获取、温度稳定、光照适当及随水体扩散。而受精卵的钠钾比约为1.90:1,显著高于成体,该特征可能与以下因素有关:(1)卵巢液中高 Na^+ 环境的影响;(2)胚胎早期渗透调节系统尚未发育完善, Na^+/K^+ -ATP酶活性较低,从而受精卵通过 Na^+ 驱动渗透压变化以促进吸收海水而实现浮性。

4 结束语

1)应用前景。(1)功能性食品与保健品:斜带石斑鱼受精卵具有高DHA/EPA、高优质蛋白、低胆固醇、富含维生素E、维生素D的特点,契合婴幼儿、孕妇、中老年人及脑力劳动者的特殊营养需求,可开发为鱼卵蛋白粉、DHA微胶囊、复合营养补充剂等。(2)天然风味基料:受精卵富含鲜味氨基酸的特点提示其可加工为天然海鲜风味基料,用于高端汤包、调味酱、休闲零食中。(3)优质饲料原料:其营养成分与

仔鱼需求高度匹配,可作为开口饵料或亲鱼营养强化剂的优质蛋白源和脂肪酸源。(4)医美原料:受精卵含有与保湿、抗氧化、修复皮肤方面相关的磷脂、蛋白质、寡肽、维生素E、硒等成分,具有开发和应用于高端护肤产品的潜力。

2)未来研究。本研究对斜带石斑鱼受精卵进行了较全面的营养成分分析,后续可对受精卵中的特殊生物活性物质(如磷脂分子、活性肽、糖蛋白等)的分离纯化与功能鉴定、功能分子的体内实验(动物及临床)、食品加工适应性(如脱腥、干燥、酶解)、加工过程的稳定性等开展进一步研究。

参考文献

- [1] 邹记兴,常林,向文洲,等.点带石斑鱼的亲鱼培育,产卵受精和胚胎发育[J].水生生物学报,2003,27(4): 378-384.
Zou J X, Chang L, Xiang W Z, et al. Broodstock rearing, spawning, fertilization and embryonic development of the orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27 (4) : 378-384.
- [2] Sikorski Z E. The contents of proteins and other nitrogenous compounds in marine animals[M]//Seafood Proteins. New York, NY: Springer US, 1994: 6-12.
- [3] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-Determination of moisture in foods: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-Determination of ash in foods: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard-Determination of protein in foods: GB 5009.5—2025 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2025.
- [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪
- 的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Determination of fat in food: GB 5009.6—2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-Determination of amino acids in foods: GB 5009.124—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-Determination of fatty acids in foods: GB 5009.168—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中维生素B1的测定: GB 5009.84—2016(含第1号修改单)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-Determination of vitamin B1 in foods: GB 5009.84—2016 (including Amendment No. 1) [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中烟酸和烟酰胺的测定: GB 5009.89—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard-Determination of niacin and niacinamide in foods: GB 5009.89—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中维生素B6的测定: GB 5009.154—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Na-

- tional food safety standard-Determination of vitamin B6 in foods: GB 5009.154—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [12] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中泛酸的测定: GB 5009.210—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard-Determination of pantothenic acid in foods: GB 5009.210—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [13] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 添加剂预混合饲料中烟酸与叶酸的测定 高效液相色谱法: GB/T 17813—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of nicotinic acid and folic acid in premix-High performance liquid chromatography: GB/T 17813—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- Determination of Ascorbic Acid in National Food Safety Standard Food: GB 5009.86—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中维生素A、D、E的测定: GB 5009.82—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-Determination of vitamins A, D and E in foods: GB 5009.82—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 预混合饲料中d-生物素的测定: GB/T 17778—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of d-biotin in premix: GB/T 17778—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [17] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定: GB 5009.268—2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
- National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard-Determination of multiple elements in foods: GB 5009.268—2025[S]. Beijing: Standards Press of China, 2025.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中磷的测定: GB 5009.87—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-Determination of phosphorus in foods: GB 5009.87—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中硒的测定: GB 5009.93—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-Determination of selenium in foods: GB 5009.93—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中胆固醇的测定: GB 5009.128—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-Determination of cholesterol in foods: GB 5009.128—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [21] 孙玉林, 赵娟, 罗琴琴, 等. 蓝斑背肛海兔卵营养成分分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 220-227.
- Sun Y L, Zhao J, Luo Q Q, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of the *Notarchus leachii freeri* eggs [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(23): 220-227.
- [22] 马双, 郝淑贤, 李来好, 等. 几种鱼卵营养成分对比分析[J]. 南方水产科学, 2019, 15(4): 113-121.
- Ma S, Hao S X, Li L H, et al. Comparative analysis of nutritional components of several roes[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(4): 113-121.
- [23] 陈晓婷, 林瑜, 路海霞, 等. 4种石斑鱼肌肉中营养成分分析与评价[J]. 渔业研究, 2020, 42(5): 463-472.
- Chen X T, Lin Y, Lu H X, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of four grou-

- per species[J]. Journal of Fisheries Research, 2020, 42(5): 463-472.
- [24] 王林娜, 田永胜, 唐江, 等. 云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼及杂交“云龙斑”肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1085-1093.
- Wang L N, Tian Y S, Tang J, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus moara*, *E. lanceolatus* and hybrid “Yunlong grouper” [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(7): 1085-1093.
- [25] 王林娜, 田永胜, 李振通, 等. 棕点石斑鱼、杂交“金虎斑”及珍珠龙胆的肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2023, 47(9): 111-119.
- Wang L N, Tian Y S, Li Z T, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus fuscoguttatus*, *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. tukula* ♂ and *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂ [J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(9): 111-119.
- [26] Li S N, Yang X Q, Fan S Y, et al. Comparative analysis of muscle nutrient in two types of hybrid bream and native bream[J]. Reproduction and Breeding, 2022, 2(3): 71-77.
- [27] Razzaque M S, Wimalawansa S J. Minerals and human health: from deficiency to toxicity[J]. Nutrients, 2025, 17(3): 454.
- [28] 金洪宇, 李雷, 覃东立, 等. 弧唇裂腹鱼肌肉营养成分分析[J]. 生物资源, 2022, 44(2): 198-204.
- Jin H Y, Li L, Qin D L, et al. Nutritional composition in muscle of *Schizothorax curvlabiatus* [J]. Biotic Resources, 2022, 44(2): 198-204.
- [29] Schmidt C V, Raza H, Olsen K, et al. Proximate nutritional composition of roe from fish, crustaceans, mollusks, echinoderms, and cephalopods [J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2024, 36: 100944.
- [30] Bunga S, Ahmmed M K, Carne A, et al. Effect of salted-drying on bioactive compounds and microbiological changes during the processing of karasumi-like Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) roe product [J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129780.
- [31] Gil A, Gil F. Fish, a Mediterranean source of n-3 PUFA: benefits do not justify limiting consumption [J]. The British Journal of Nutrition, 2015, 113(Suppl 2): S58-S67.
- [32] Chande S, Bergwitz C. Role of phosphate sensing in bone and mineral metabolism[J]. Nature Reviews Endocrinology, 2018, 14(11): 637-655.
- [33] Costa M I, Sarmiento-Ribeiro A B, Gonçalves A C. Zinc: from biological functions to therapeutic potential [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(5): 4822.