

## 饲喂富硒酵母强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼的生长、成活率、脂肪酸组成、肝肠组织结构及抗逆性的影响

曹亚辉<sup>1</sup>, 胡泽超<sup>1</sup>, 吉红<sup>1\*</sup>, 孙健<sup>1</sup>, 薛荣荣<sup>1</sup>, 李汉东<sup>1</sup>,  
袁想通<sup>1</sup>, 孙巍<sup>1</sup>, 谢醒达<sup>2</sup>, 张斌鑫<sup>2</sup>, 黄陈翠<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 安康市汉滨区安瀛农业科技有限公司, 陕西 安康 725000)

**摘要:** 为探究饲喂富硒酵母强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼的生长、存活率、脂肪酸组成、肝肠组织结构以及抗逆性的影响, 设置了 0 (Y-se0)、5 (Y-se5)、10 (Y-se10)、15 (Y-se15)、20 mg/L (Y-se20) 酵母硒添加浓度对卤虫无节幼体进行硒营养强化, 并使用强化后的卤虫饲喂养殖在玻璃缸中的 3 000 尾大口黑鲈仔鱼 (2.1 mg/尾, 200 尾/缸) 20 d。饲养实验结束后, 将每缸 10 尾仔鱼放入 35 °C 恒温水浴缸中进行急性温度胁迫试验。结果显示: ① Y-se15 组的存活率、终末体重、体长以及特定生长率均显著高于对照组, 肥满度 (CF) 在各组间无显著差异。② Y-se5 组 EPA 含量显著低于对照组, Y-se5 及 Y-se15 组 DHA/EPA 值显著高于对照组。③ Y-se10、Y-se15 和 Y-se20 组肝脏中过氧化氢酶 (CAT) 活性显著高于对照组, 所有处理组肝脏中, 谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活性显著高于对照组, 丙二醛 (MDA) 含量显著低于对照组, 处理组和对照组间总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 活性无显著差异。④ Y-se15 组肝脏组织空泡化现象较轻, 酵母硒添加组的肠道绒毛长度显著高于对照组。⑤ Y-se15 组在 35 °C 应激条件下, 存活时间显著高于对照组。研究表明, 卤虫无节幼体强化液酵母硒添加浓度为 15 mg/L 时可显著提高大口黑鲈仔鱼生长、存活率及 DHA/EPA 水平, 增强机体抗氧化以及抗应激能力, 改善鱼体健康状况。本研究初步探究了饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼的影响, 旨在为进一步完善水生动物苗种开口饵料营养强化技术提供参考, 促进水产养殖业高质量发展。

**关键词:** 大口黑鲈; 卤虫; 酵母硒; 营养强化; 脂肪酸; 抗氧化; 肝肠组织结构; 抗逆性  
**中图分类号:** S 963.73<sup>+4</sup> **文献标志码:** A

一般认为, 在早期仔鱼培养阶段使用活体生物饵料, 如轮虫、卤虫无节幼体等<sup>[1]</sup>, 比人工饲料更具优势<sup>[2]</sup>。尽管人工饲料的开发工作不断取得进展, 但尚无某种配合饲料可以完全满足鱼类和甲壳类幼体的营养需求<sup>[3]</sup>。与微粒饲料不同, 活体生物饵料能够在水体中自由游动, 易刺激鱼

类和虾蟹类幼体的摄食反应进行捕食<sup>[4]</sup>。卤虫 (*Artemia*) 也称盐水丰年虫, 在分类上属节肢动物门 (Arthropoda) 甲壳纲 (Crustacea) 鳃足亚纲 (Branchiopoda) 无甲目 (Anostacea) 卤虫科 (Artemidae)<sup>[5]</sup>。卤虫含有大多数水产养殖物种生长所需的蛋白质、维生素、碳水化合物、矿物质、氨基酸和脂肪酸

收稿日期: 2022-10-23 修回日期: 2023-02-22

资助项目: 蓝色粮仓科技创新重大专项 (2019YFD0900200); 重要经济鱼类生物饵料培育技术研究与示范项目 (2018NY-024); 大口黑鲈的反季节繁育技术研究与推广项目 (AK2021-NY-11)

第一作者: 曹亚辉 (照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: 836456115@qq.com

通信作者: 吉红, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: jihong@nwsuaf.edu.cn



等营养素<sup>[6]</sup>, 被称为“营养活胶囊”<sup>[7]</sup>, 被广泛用于甲壳类动物和鱼类养殖业中<sup>[8-11]</sup>。另一方面, 浮游动物, 包括卤虫, 作为生物开口饵料也存在着营养成分不足或不平衡的缺陷, 而这种状况可以通过对其进行营养强化等方式予以改善<sup>[12]</sup>。迄今为止, 已有许多物质被用于生物饵料的营养强化, 包括乳剂<sup>[13]</sup>、微藻类<sup>[14]</sup>和酵母类<sup>[9]</sup>等。

硒(Se)是许多水生动物生长所需的重要微量元素, 被广泛用作动物饵料添加剂<sup>[15]</sup>。作为一种抗氧化剂, 硒在调节甲状腺激素代谢和内分泌系统、细胞信号传导、生长和存活中起着重要作用, 可保护细胞膜免受自由基的氧化<sup>[16]</sup>。硒不能由生物体自然产生, 因此必须从饵料中获得<sup>[17]</sup>。在基础日粮中直接添加适量的硒, 可促进点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)<sup>[18]</sup>、大西洋鳕(*Gadus morhua*)<sup>[19]</sup>和异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)<sup>[20]</sup>的生长。硒还对皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)中镉和银纳米颗粒(Ag-NP)毒性的解毒起着重要作用<sup>[21-22]</sup>。另一方面, 活体生物饵料尤其是卤虫无节幼体的硒含量可以通过一定的硒富集手段来提高<sup>[23]</sup>。通过浮游动物富集补充硒可以提高鱼类的生长<sup>[15]</sup>和存活<sup>[21]</sup>。硒的生物利用度取决于其吸收和代谢方式<sup>[24]</sup>。对鱼类而言, 有机硒比无机硒的生物利用度更高<sup>[11]</sup>, 因为前者能被更好地吸收且硒的留存率更高<sup>[25]</sup>, 其中酵母硒已被证明比无机硒化合物的毒性更低<sup>[26]</sup>。研究指出, 同时补充硒和碘会影响大西洋鳕幼鱼的脂肪酸组成, 并影响其生长和发育<sup>[19]</sup>。目前, 硒化合物在稚鱼和幼鱼阶段的营养需求和生物利用度方面研究较多, 但其对于仔鱼期养殖鱼类影响方面的报道相对较少。

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)原产于北美洲<sup>[27]</sup>, 环境适应性强、生长速率快、肉鲜味美, 于20世纪70年代末被引入中国<sup>[28]</sup>。根据《中国渔业统计年鉴》的最新数据, 2021年大口黑鲈产量达到702 093万t, 比2020年的619 519 t增加82 574 t, 增长率达13.33%, 是淡水经济鱼类中产量增速较快的名优养殖对象<sup>[29]</sup>。迄今为止, 大口黑鲈营养的相关研究主要集中在人工配合饲料的开发与改善等方面, 鲜有关于大口黑鲈初孵仔鱼生物开口饵料方面的研究, 尤其是硒强化卤虫作为生物开口饵料饲养大口黑鲈仔鱼的报道。

本研究使用酵母硒作为硒源对卤虫无节幼体进行营养强化, 并使用强化后的富硒卤虫饲喂大

口黑鲈仔鱼, 探究大口黑鲈仔鱼生长情况、存活率、鱼体硒含量、脂肪酸组成、肝肠组织结构、抗氧化以及抗逆性等方面的情况, 为大口黑鲈仔鱼培育技术的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 卤虫的营养强化

卤虫卵购自海友佳音生物科技股份有限公司(天津)。使用经高锰酸钾浸泡消毒洗净的1.5 L容量锥形瓶进行卤虫孵化。卤虫孵化条件: 人工海水盐度30, pH 8~9, 光照2 000 lx, 充气泵连续充气, 鱼缸加水放置于卤虫孵化桶底部, 使用加热棒提供28 °C恒温水浴, 每次孵化需要提前将冷冻的卤虫卵从冰箱中取出备用。卤虫卵经24 h孵化后, 使用80目、100目双层网筛将卤虫无节幼体与卵壳分离, 分离后置于5个孵化桶中, 分别添加不同浓度(0、5、10、15和20 mg/L)的酵母硒(硒含量3 mg/g, 湖北安琪酵母股份有限公司)进行富硒强化, 分别表示为Y-se0(对照组)、Y-se5、Y-se10、Y-se15和Y-se20[卤虫硒含量(干重)分别为(0.17±0.03)、(0.80±0.06)、(1.52±0.27)、(3.69±0.24)和(4.44±0.37) mg/kg], 富集24 h后进行投喂, 期间保持恒定温度、光照及通气。

### 1.2 大口黑鲈仔鱼饲养与管理

刚孵出的大口黑鲈仔鱼来自西北农林科技大学安康水产试验示范站。大口黑鲈亲鱼在池塘自然产卵后, 将黏附在棕榈片上的受精卵转移至温度为(22±1) °C、具备持续微孔增氧条件的室内培育池进行孵化出膜。大口黑鲈仔鱼出膜3日龄, 完全平游后, 选用体质健康且规格一致的仔鱼开始正式实验。

将3 000尾规格一致的大口黑鲈仔鱼分别随机分配至15个长45 cm、宽45 cm、高30 cm, 经高锰酸钾充分消毒的玻璃缸中, 养殖水体积为45 L, 每缸仔鱼初始数量为200尾。实验共分5个组, 分别饲喂不同浓度的酵母硒强化卤虫, 每组设3个重复。实验大口黑鲈仔鱼初始平均体长为5 mm, 初始平均体重为2.1 mg。饲养过程中放置加热棒保持水温(24±1) °C, 光照周期为12:12, 每3天检测1次水质。每天投喂4次(6:00、12:00、18:00、24:00)经富硒营养强化后的卤虫, 投喂时使用5 mL滴管吸取卤虫进行等量投喂。实验期间每天进行1次吸污, 及时清除死鱼及残饵粪便,

对各缸死亡仔鱼数量进行统计, 饲养周期共 20 d。饲养期间水质数据为 pH 为  $7.0 \pm 0.4$ 、亚硝酸盐氮小于 0.01 mg/L、氨氮小于 0.90 mg/L、溶解氧含量大于 8 mg/L。

### 1.3 样品采集

实验过程中操作人员严格遵守实验动物伦理规范, 并按照西北农林科技大学动物伦理委员会的规章制度执行。每缸中大口黑鲈仔鱼用 MS-222 (50 mg/L) 进行麻醉, 吸水纸擦干后立即称重并记录, 拍照, 并使用 Image view 软件测量仔鱼体长、全长。从每缸中取 30 尾仔鱼解剖, 采集肝脏, 置于  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  保存, 用于抗氧化指标检测; 12 尾鱼采集肝脏、肠道并快速放置于多聚甲醛组织固定液中, 用于组织切片制作; 50 尾鱼保存在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中用于硒含量的检测; 10 尾鱼放入  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  恒温水浴缸中进行急性温度胁迫实验。记录存活的仔鱼数量与实验开始时的仔鱼数量以计算存活率。

特定生长率 (specific growth rate, SGR, %/d) =  $[\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})] / t \times 100\%$

存活率 (survival rate, SR, %) =  $\text{终末鱼尾数} / \text{初始鱼尾数} \times 100\%$

肥满度 (condition factor, CF,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) =  $(m/L^3) \times 100$

式中,  $t$  为实验天数 (d),  $m$  为鱼体重 (g),  $L$  为鱼体长 (cm)。

### 1.4 卤虫及鱼体硒含量分析

取酵母硒营养强化后的卤虫以及饲喂 20 d 后的全鱼样冷冻干燥后, 将样品分别称取 0.2 g 后倒入赶酸仪微波管中, 加入 5 mL 浓硝酸, 在  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度下预消解 30 min。预消解结束, 拿出微波管冷却 10 min 后, 补加 1 mL 硝酸、1 mL 过氧化氢, 随后置于微波消解仪 (Multiwave PRO, 奥地利) 中进行消解。待消解结束冷却后, 将消解后的微波管转移回通风橱, 置于赶酸仪中, 在  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度条件下赶酸 1 h。冷却后, 加入 5 mL 盐酸溶液, 赶酸仪温度调至  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 加热 30 min, 此步骤使样品中  $\text{Se}^{6+}$  被还原成  $\text{Se}^{4+}$ 。微波管冷却后, 将还原后的样品转移至 50 mL 容量瓶中, 纯水定容至 50 mL, 取 10 mL 于 10 mL 离心管中, 使用液相原子荧光光度计 (LC-AFS-8530, 中国) 进行测定, 测定条件为高负压 260 V、阴极电流 40 mA、载气流量 400 mL/min、屏蔽器流量 1 000 mL/min、读

数时间 16 s、延迟时间 4 s、进样体积 1.0 mL、原子化器温度设置为室温。

### 1.5 脂肪酸分析

大口黑鲈仔鱼全鱼样品称量后加入氯仿/甲醇溶液 (质量: 体积 = 2:1) 进行研磨, 最终得到样品总脂质。将每个样品约 100 mg 的脂质重新溶解于 1 mL 正己烷中, 加入 2 mL 0.4 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液并振荡, 放置 1 h 后加入 1 mL 去离子水, 静置 0.5 h 以上分层, 上清液即为甲酯化产物。使用安捷伦 7820a 气相色谱仪 (美国) 分析脂肪酸甲酯组成, 色谱柱型号为 HP-88, 长度 100 m, 内径 0.25 mm。进样口和检测器的温度分别为  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。程序升温过程为  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  10 min, 在 20 min 内以  $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率升至  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 然后在 10 min 内以  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率升至  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最终通过脂肪酸甲酯标准品 (47015-U, Sigma-Aldrich, 美国) 对样品脂肪酸组成进行分析。

### 1.6 肝肠组织结构观察

将样品在二甲苯中浸润并包埋在石蜡中。包埋好的石蜡块用切片机 (RM2235, Leica, 德国) 切成  $5\text{ }\mu\text{m}$  的切片后, 安装在载玻片上, 用苏木精-伊红 (H.E) 染色。石蜡切片由成都里来生物科技有限公司制作。观察组织学样品并用正置显微镜 (Leica biosystems, 德国) 拍照。根据拍照结果观察组织变化并使用 Image view 软件测量肠道绒毛长度。

### 1.7 抗氧化指标分析

准确称取肝脏, 按重量 (g): 体积 (mL) = 1:9 的比例, 加入 9 倍体积的生理盐水, 冰水浴条件下机械匀浆, 2 500 r/min, 离心 10 min, 取上清液, 分装后  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱保存待用。使用南京建成生物工程研究所的试剂盒检测样品总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 的活性以及丙二醛 (MDA) 的含量, 蛋白浓度用考马斯亮蓝染色法测定。

### 1.8 急性温度应激实验

饲养实验结束后, 将每缸中的 10 尾仔鱼转入温度为  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  的恒温水浴后开始计时, 以表现死亡 (鱼体完全漂浮不再游动) 为准, 记录 5 尾鱼死亡时间及 10 尾鱼全部死亡时间。

### 1.9 数据分析

采用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析



(One-Way ANOVA), 使用 Duncan 氏检验来检验均值之间的差异。数据表示为平均数±标准差 (mean±SD)。图表均使用 GraphPad prism8 软件绘制。

## 2 结果

### 2.1 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼生长状况和成活率的影响

大口黑鲈仔鱼生长、生物学参数、SR 及硒含量结果见表 1。Y-se5、Y-se15 组大口黑鲈仔鱼终末体重显著高于 Y-se0 组 ( $P<0.05$ )。Y-se15 组大口黑鲈仔鱼终末体长、SGR 显著高于 Y-se0 组 ( $P<0.05$ )。各处理组间大口黑鲈仔鱼的 CF 无显著差异 ( $P>0.05$ )。各处理组间大口黑鲈仔鱼的硒含量呈梯度递增趋势且差异均显著 ( $P<0.05$ )；Y-se15 组大口黑鲈仔鱼存活率显著高于其他实验组 ( $P<0.05$ )。

### 2.2 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼脂肪酸组成的影响

大口黑鲈仔鱼脂肪酸组成结果见表 2。Y-se5、Y-se10 和 Y-se15 组 SFA 及 MUFA 含量显著低于对照组 ( $P<0.05$ )。∑n-3PUFA 以及 ∑n-6PUFA 含量在各组间没有显著差异 ( $P>0.05$ )。Y-se5 组 EPA 含量显著低于对照组 ( $P<0.05$ )，其余实验组间无显著差异 ( $P>0.05$ )。DHA 含量在各组间无显著差异 ( $P>0.05$ )。Y-se5 以及 Y-se15 组仔鱼的 DHA/EPA 比值显著高于对照组 ( $P<0.05$ )。

### 2.3 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼肝脏、肠道组织结构的影响

大口黑鲈仔鱼肝脏、肠道组织结构切片照片见图版 I 和图版 II，肠道绒毛长度分别为 80.03±1.20 (Y-se0)、112.25±3.02 (Y-se5)、145.50±2.11 (Y-se10)、130.00±2.05 (Y-se15)、121.05±1.42 (Y-se20)。Y-se15 组中观察到的仔鱼肝脏组织空泡化及细胞核偏位情况较轻 (图版 I -4)，优于对照组 (图版 I -1)。各处理组肠道绒毛长度显著高于对照组 ( $P<0.05$ ) (图版 II)。

### 2.4 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼肝脏抗氧化指标的影响

Y-se10、Y-se15 和 Y-se20 组大口黑鲈仔鱼肝脏 CAT 活性显著高于 Y-se0 组 ( $P<0.05$ ) (图 1-a)。Y-se5、Y-se10、Y-se15 和 Y-se20 组大口黑鲈仔鱼肝脏中的 GSH-Px 活性显著高于 Y-se0 组 ( $P<0.05$ ) (图 1-b)。各处理组大口黑鲈仔鱼肝脏中的 T-SOD 活性与对照组间无显著差异 ( $P>0.05$ ) (图 1-c)。Y-se10、Y-se15 和 Y-se20 组大口黑鲈仔鱼肝脏中的 MDA 含量显著低于对照组 ( $P<0.05$ ) (图 1-d)。

### 2.5 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼急性温度应激能力的影响

各实验组间在 35 °C 应激处理后半数致死时间无显著差异 ( $P>0.05$ )。Y-se15 及 Y-se20 组全部致死时间显著高于对照组 ( $P<0.05$ ) (表 3)。

表 1 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼生长、生物学参数、成活率及硒含量的影响

Tab. 1 Effects of feeding yeast selenium enriched *Artemia* nauplii on growth, biological parameters, survival rate and selenium content of *M. salmoides* larvae

项目 items	组别 groups				
	Y-se0	Y-se5	Y-se10	Y-se15	Y-se20
存活率/% SR	63.50±1.47 <sup>b</sup>	66.00±3.24 <sup>b</sup>	68.33±1.25 <sup>b</sup>	78.67±1.55 <sup>a</sup>	61.67±1.70 <sup>b</sup>
终末体重/mg FBW	41.02±0.30 <sup>c</sup>	46.47±3.91 <sup>ab</sup>	43.78±1.81 <sup>bc</sup>	49.28±1.56 <sup>a</sup>	40.54±1.40 <sup>c</sup>
终末体长/cm FBL	1.17±0.04 <sup>c</sup>	1.34±0.05 <sup>a</sup>	1.29±0.01 <sup>ab</sup>	1.35±0.05 <sup>a</sup>	1.25±0.03 <sup>bc</sup>
特定增长率/(%/d) SGR	14.86±0.04 <sup>c</sup>	15.47±0.43 <sup>ab</sup>	15.18±0.20 <sup>bc</sup>	15.78±0.16 <sup>a</sup>	14.80±0.17 <sup>c</sup>
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	2.33±0.27 <sup>a</sup>	1.93±0.15 <sup>a</sup>	2.05±0.06 <sup>a</sup>	2.01±0.17 <sup>a</sup>	2.10±0.21 <sup>a</sup>
鱼体硒含量(干重)/(mg/kg) level of Se in fish body (dry weight)	0.65±0.02 <sup>c</sup>	1.82±0.02 <sup>d</sup>	2.00±0.04 <sup>c</sup>	3.94±0.10 <sup>b</sup>	4.28±0.11 <sup>a</sup>

注: Y-se0. 对照组, 饲喂 0 mg/L 酵母硒强化卤虫组; Y-se5. 饲喂 5 mg/L 酵母硒强化卤虫组; Y-se10. 饲喂 10 mg/L 酵母硒强化卤虫组; Y-se15. 饲喂 15 mg/L 酵母硒强化卤虫组; Y-se20. 饲喂 20 mg/L 酵母硒强化卤虫组, 同行不同上标表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同。  
Notes: Y-se0. control group, fed with 0 mg/L yeast selenium enriched *Artemia* group; Y-se5. fed with 5 mg/L yeast selenium enriched *Artemia* group; Y-se10. fed with 10 mg/L yeast selenium enriched *Artemia* group; Y-se15. fed with 15 mg/L yeast selenium enriched *Artemia* group; Y-se20. fed with 20 mg/L yeast selenium enriched *Artemia* group, values in the same line with different superscript letters are significantly different ( $P<0.05$ ), the same below.

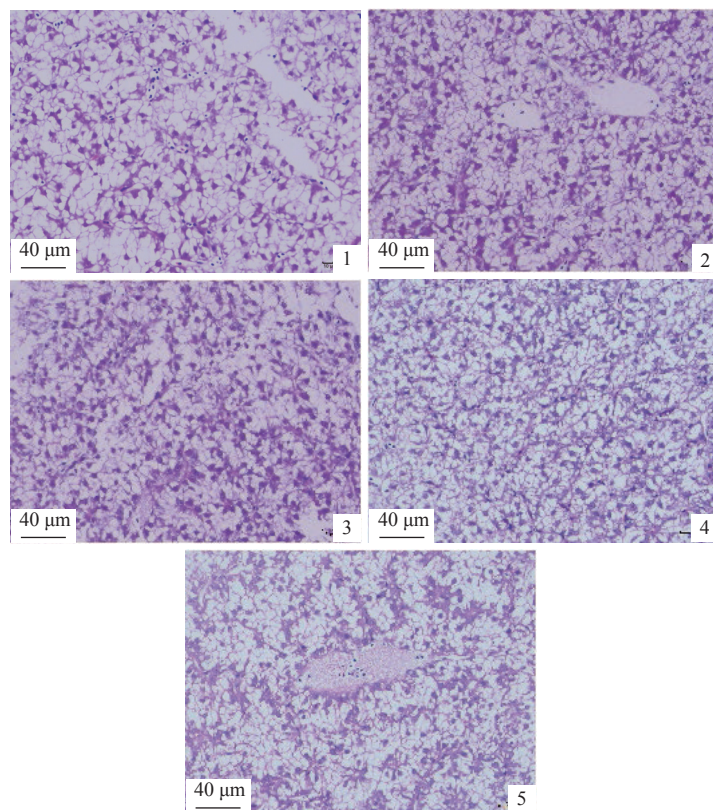
表 2 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼脂肪酸组成的影响

Tab. 2 Effects of feeding selenium yeast fortified *Artemia nauplii* on fatty acid composition of *M. salmoides* larvae %

项目 items	组别 groups				
	Y-se0	Y-se5	Y-se10	Y-se15	Y-se20
C6:0	2.76±0.03 <sup>a</sup>	1.95±0.13 <sup>c</sup>	2.03±0.08 <sup>bc</sup>	1.92±0.20 <sup>c</sup>	2.33±0.18 <sup>b</sup>
C8:0	1.69±0.02 <sup>a</sup>	1.11±0.03 <sup>c</sup>	1.13±0.06 <sup>c</sup>	1.13±0.10 <sup>c</sup>	1.34±0.10 <sup>b</sup>
C15:1	4.60±0.15 <sup>a</sup>	3.74 ±0.15 <sup>c</sup>	4.04±0.19 <sup>bc</sup>	3.91±0.28 <sup>bc</sup>	4.53±0.22 <sup>ab</sup>
C16:1	0.62±0.05	0.60±0.06	0.68±0.07	0.66±0.05	0.71±0.04
C17:1	0.83±0.08 <sup>a</sup>	0.49±0.05 <sup>bc</sup>	0.42±0.03 <sup>bc</sup>	0.39±0.07 <sup>c</sup>	0.55±0.02 <sup>b</sup>
C18:0	4.95±0.07 <sup>a</sup>	4.01±0.04 <sup>c</sup>	4.29±0.23 <sup>c</sup>	4.03±0.26 <sup>c</sup>	4.76±0.26 <sup>b</sup>
C18:2n-6c	0.96±0.07 <sup>b</sup>	0.90±0.07 <sup>b</sup>	1.02±0.01 <sup>ab</sup>	0.97±0.08 <sup>ab</sup>	1.10±0.01 <sup>a</sup>
C18:3n-3	1.08±0.11 <sup>a</sup>	0.90±0.05 <sup>b</sup>	1.06±0.01 <sup>a</sup>	0.99±0.12 <sup>ab</sup>	1.11±0.06 <sup>a</sup>
C20:3n-3	1.07±0.02 <sup>a</sup>	1.08±0.05 <sup>a</sup>	0.95±0.06 <sup>b</sup>	0.95±0.16 <sup>b</sup>	1.04±0.01 <sup>ab</sup>
C20:5n-3	0.89±0.04 <sup>a</sup>	0.75±0.08 <sup>b</sup>	0.81±0.02 <sup>ab</sup>	0.78±0.03 <sup>ab</sup>	0.83±0.06 <sup>ab</sup>
C20:4n-6	1.03±0.11 <sup>a</sup>	0.86±0.15 <sup>ab</sup>	0.80±0.02 <sup>ab</sup>	0.70±0.12 <sup>b</sup>	0.87±0.05 <sup>ab</sup>
C22:6n-3	2.39±0.10	2.51±0.10	2.45±0.03	2.49±0.02	2.46±0.10
∑SFA	8.86±0.06 <sup>a</sup>	7.08±0.18 <sup>b</sup>	7.45±0.38 <sup>b</sup>	7.07±0.55 <sup>b</sup>	8.42±0.54 <sup>a</sup>
∑n-3PUFA	5.36±0.13	5.24±0.20	5.29±0.02	5.19±0.16	5.34±0.12
∑n-6PUFA	1.99±0.18	1.76±0.22	1.83±0.03	1.67±0.17	1.96±0.06
DHA/EPA	2.70±0.07 <sup>b</sup>	3.36±0.29 <sup>a</sup>	3.04±0.12 <sup>ab</sup>	3.21±0.11 <sup>a</sup>	2.98±0.27 <sup>ab</sup>

注: SFA. 饱和脂肪酸, MUFA. 单不饱和脂肪酸, PUFA. 多不饱和脂肪酸, C22:6n-3. DHA, C20:5n-3. EPA。

Notes: SFA. saturated fatty acids, MUFA. monounsaturated fatty acids, PUFA. polyunsaturated fatty acids, C22:6 n-3. DHA, C20:5 n-3. EPA.

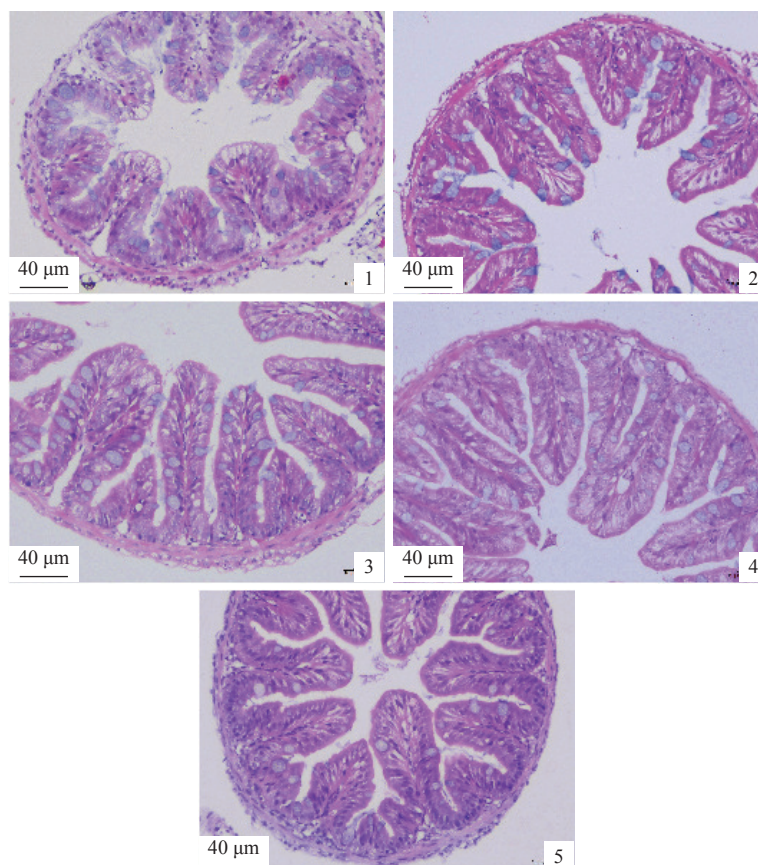


图版 I 饲喂 20 d 后大口黑鲈仔鱼的肝脏切片

1. 0 mg/L 酵母硒添加组, 2. 5 mg/L 酵母硒添加组, 3. 10 mg/L 酵母硒添加组, 4. 15 mg/L 酵母硒添加组, 5. 20 mg/L 酵母硒添加组, ×400, 下同。

Plate I Liver sections of *M. salmoides* larvae after feeding for 20 days

1. 0 mg/L yeast selenium supplementation group, 2. 5 mg/L yeast selenium supplementation group, 3. 10 mg/L yeast selenium supplementation group, 4. 15 mg/L yeast selenium supplemented group, 5. 20 mg/L yeast selenium supplemented group, ×400, the same below.



图版 II 饲喂 20 d 后大口黑鲈仔鱼的肠道切片

Plate II Intestinal sections of *M. salmoides* larvae after feeding for 20 days

### 3 讨论

#### 3.1 饲喂酵母硒强化卤虫对大口黑鲈仔鱼硒含量、生长性能、成活率以及脂肪酸含量的影响

研究表明, 饲料中添加硒蛋氨酸会导致硒在鱼类几乎所有重要器官(包括大脑)中含量显著增加<sup>[30]</sup>。本研究结果与之类似, 用于仔鱼培育的酵母硒营养强化卤虫硒含量显著影响鱼体中的硒含量, 可能是因为有机硒摄入机体后可以在合成蛋白的过程中替代含硫氨基酸中的硫, 固定到蛋白质中, 进而增加动物机体中的硒含量。这一结果表明, 本研究中以卤虫作为载体, 采用酵母硒强化后用以饲喂大口黑鲈仔鱼的方法是可行的。Ziaei-nejad 等<sup>[31]</sup>的研究指出, 经 10 mg/L 纳米硒营养强化卤虫饲喂的孔雀花鱒(*Poecilia reticulata*) 幼鱼的生长表现最好, 表明适量浓度硒的摄入会对仔鱼的生长产生积极影响。本研究结果与之一致, 饲喂富硒卤虫促进了大口黑鲈仔鱼的生长状况, 但是 Y-se10 和 Y-se20 组与对照组 (Y-se0) 的 SGR 差异并不显著, 且在 CF 方面各实验组间并

没有显示出差异。这可能是由于本实验中大口黑鲈仔鱼摄入的硒浓度过高, 导致对机体产生了抑制。Hamre 等<sup>[19]</sup>观察到, 与对照组相比, 喂食浓度为 7 mg/L 亚硒酸钠和 400 mg/L 碘化钠强化的轮虫的大西洋鳕的存活率提高了 32%。Juhász 等<sup>[32]</sup>发现, 以经 10 mg/L 浓度硒富集的卤虫为饵料的红鼓鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 仔鱼存活率也略有提高。与之相同, 在本研究中, Y-se15 组仔鱼存活率相对对照组提高了 23.89%, 表明饲喂酵母硒强化卤虫对于提高仔鱼存活率是有帮助的。另一方面, Y-se20 组仔鱼却出现成活率下降的现象, 这可能是由于过量的硒浓度产生的毒性对仔鱼的存活产生的负面影响。仔鱼生长以及存活率指标的改善可能与硒在抗氧化防御系统中的重要作用有关<sup>[33]</sup>。必需脂肪酸对鱼体的生长和发育很重要<sup>[11]</sup>, 在这些脂肪酸中, 二十碳五烯酸 (EPA)、二十二碳六烯酸 (DHA) 和其他多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的含量对于幼鱼的生长和发育非常重要<sup>[34]</sup>。饲喂富含硒的轮虫不会影响紫红笛鲷 (*Lutjanus argentimaculatus*) 幼鱼的 n-3 HUFA 和 DHA 水平<sup>[35]</sup>,

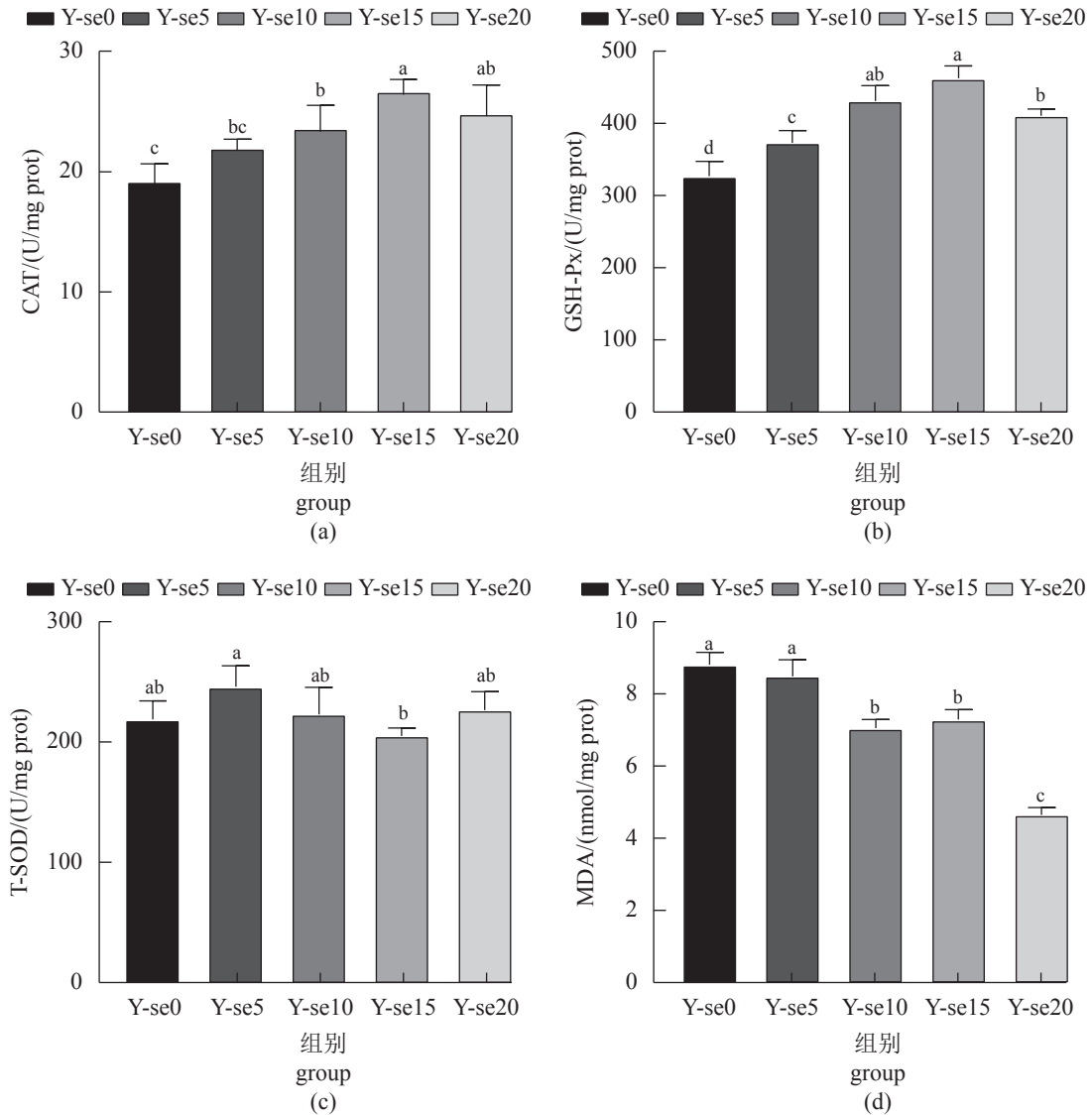


图 1 饲喂不同酵母硒添加水平的卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼抗氧化能力的影响

不同字母表示差异显著, P<0.05。

Fig. 1 Effects of *Artemia* nauplii fed with different levels of yeast and selenium on the antioxidant capacity of *M. salmoides* larvae

Different superscript letters mean significantly different, P<0.05.

表 3 饲喂酵母硒强化卤虫无节幼体对大口黑鲈仔鱼 35 °C 应激致死时间的影响

Tab. 3 Effect of feeding yeast selenium enriched *Artemia* nauplii on 35 °C stress lethal time of *M. salmoides* larvae min

项目 items	组别 groups				
	Y-se0	Y-se5	Y-se10	Y-se15	Y-se20
半数致死时间 median lethal time	4.85±0.33	7.07±2.46	5.45±0.85	5.09±0.60	6.90±1.13
全部致死时间 total lethal time	9.01±3.11 <sup>c</sup>	12.60±4.63 <sup>bc</sup>	7.54±1.44 <sup>bc</sup>	9.41±0.11 <sup>ab</sup>	10.65±0.44 <sup>a</sup>

在本研究中, 饲喂富含酵母硒的卤虫似乎也并不显著影响仔鱼的 n-3 HUFA、n-6 HUFA 以及 DHA 含量。此外, DHA/EPA 的比例被认为是鱼

类幼体最佳生长和存活的重要因素<sup>[36]</sup>。本实验发现, 饲喂硒含量较高卤虫的大口黑鲈仔鱼体内 DHA/EPA 的比值增大, 这也可能是硒促进仔鱼生长的



原因之一。

### 3.2 使用酵母硒强化卤虫饲喂大口黑鲈仔鱼对其肝肠组织结构的影响

本研究发现, 对照组出现肝脏组织空泡化以及细胞核偏位现象, 而 Y-se15 组的情况有所改善, 可能也是得益于鱼体硒含量增加而被激活的抗氧化防御系统。这也与已有研究发现一致, 在饲料中添加酵母硒, 团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 摄入硒后抗氧化能力提高, 减轻了肝脏暴露于亚硝酸盐的组织病理学影响<sup>[37]</sup>。有研究表明, 纳米硒可显著增加齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 肠体指数<sup>[38]</sup>。纳米硒对鱼类生长的影响可能归因于硒在肠上皮细胞中构建了硒蛋白, 进而促进了营养物质的有效利用和消化<sup>[39]</sup>。此外, 硒可作为消化酶合成的辅酶, 从而提高其活性<sup>[40]</sup>。消化酶的激活增加了营养物质的消化率并释放更多的营养物质供肠上皮细胞吸收, 这种对鱼体肠道的有益影响在本研究中体现在肠道绒毛长度的增加, 从而增强仔鱼的消化吸收, 进而改善其生长性能。

### 3.3 使用酵母硒强化卤虫饲喂大口黑鲈仔鱼对其抗氧化以及抵抗热应激的影响

硒通过形成硒蛋白激活抗氧化防御系统, 它是构成 GSH-Px 的主要活性成分<sup>[41]</sup>。当活性氧 (ROS) 生成和清除之间失衡时, 就会发生氧化应激<sup>[42]</sup>。各种抗氧化酶可阻止氧化反应的进行, 防止鱼体内的氧化损伤, 这种清除 ROS 的防御系统包括 CAT、SOD 和 GSH-Px 等酶<sup>[43]</sup>。SOD 催化超氧自由基快速歧化为过氧化氢和氧气, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 通过 GSH-Px 和 CAT 转化为水, 从而保护细胞膜免受氧化损伤<sup>[44]</sup>。在舌齿鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 的研究中也发现, 饲喂含纳米硒的日粮可提高其 SOD、CAT 以及 GSH-Px 活性<sup>[45]</sup>。在本研究中观察到相似的结果, Y-se10、Y-se15 以及 Y-se20 组大口黑鲈仔鱼肝脏中 CAT 活性显著增加, 各处理组 GSH-Px 活性均显著高于对照组, 这可能与 CAT 和 GSH-Px 对仔鱼体内硒的响应机制有关。T-SOD 活性呈现出先升高后降低再升高的趋势, 这可能是由于合理浓度范围内的硒能使 T-SOD 活性表现出正效应关系, 当硒水平超出一定范围则会抑制 T-SOD 活性, 然而当硒含量过高后机体再次激活 T-SOD 以降低高硒引起的氧化应激反应, 这

一推断有待进一步验证。MDA 含量被认为是脂质过氧化产物的一个指标, 常用于监测内源性氧化损伤<sup>[46]</sup>。因此, MDA 的升高通常与动物的各种环境应激和病理状态有关。据报道, 饲料中添加硒可以降低花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 仔鱼<sup>[47]</sup>、鲤 (*Cyprinus carpio*)<sup>[48]</sup> 和尼罗罗非鱼<sup>[49]</sup> 的脂质过氧化。本研究也得到了同样的结果, Y-se10、Y-se15 和 Y-se20 组大口黑鲈仔鱼鱼体 MDA 水平显著低于对照组。

研究表明, 通过饮食方式提高机体的硒水平, 可以显著增强动物热应激蛋白 (HSPs) 的表达和 GSH-Px 活性, 有效缓解热应激引起的氧化损伤<sup>[50]</sup>。据报道, 饵料中添加硒可以使虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 更好地应对空气暴露等应激环境<sup>[51]</sup>。本研究发现, 使用经适当浓度酵母硒富集的卤虫饲喂大口黑鲈仔鱼, 可导致其对温度应激耐受性的增加, 承受应激的大口黑鲈仔鱼表现为在 35 °C 高温应激挑战期间, 随着酵母硒添加浓度的升高而延长了存活时间。这与在虹鳟的研究中类似, 热应激干扰了鱼体甘油磷脂和脂肪酸的代谢, 导致虹鳟肝细胞膜损伤和脂质代谢紊乱。同时, 鱼体内硒发挥作用下调半乳糖代谢, 激活谷氨酸和谷氨酰胺代谢, 这似乎是对抗热应激的关键代谢策略<sup>[52]</sup>, 相关机理需进一步探讨。

## 4 结论

本研究发现, 使用经过浓度为 15 mg/L 酵母硒营养强化的卤虫饲喂大口黑鲈仔鱼, 可显著改善大口黑鲈仔鱼生长性能, 提高存活率, 改善脂肪酸组成和肝肠健康, 提高抗氧化以及抵抗高温应激的能力。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] Herath S S, Atapaththu K S S. Sudden weaning of angel fish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) (Pisces; Cichlidae) larvae from brine shrimp (*Artemia* sp.) nauplii to formulated larval feed[J]. *SpringerPlus*, 2013, 2(1): 102.
- [2] Ghanbari M, Kneifel W, Domig K J. A new view of the fish gut microbiome: advances from next-generation sequencing[J]. *Aquaculture*, 2015, 448: 464-475.
- [3] Samat N A, Yusoff F M, Rasdi N W, et al. Enhance-



- ment of live food nutritional status with essential nutrients for improving aquatic animal health: a review[J]. *Animals*, 2020, 10(12): 2457.
- [4] Bengtson D A. Status of marine aquaculture in relation to live prey: past, present and future[M]//Støttrup J G, McEvoy L A. Live feeds in marine aquaculture. Oxford: Blackwell Science Ltd., 2003: 1-16.
- [5] 陈瑞楠. 渤海湾卤虫生物学特性及其对环境因子和营养因子的响应[D]. 天津: 天津农学院, 2015: 4.
- Chen R N. Biological characteristics and its response to environmental and nutritional factors of Bohai Bay *Artemia*[D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2015: 4 (in Chinese).
- [6] Mona M H, El-Gamal M M, Razeq F A A, *et al.* Utilization of *Daphnia longispina* as supplementary food for rearing *Marsupenaeus japonicus* post larvae[J]. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 2017, 59(2): 73-78.
- [7] Simhachalam G, Kumar N S S, Rao K G. Biochemical composition and nutritional value of *Streptocephalus simplex* as live feed in ornamental fish culture[J]. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 2015, 72: 66-72.
- [8] Rasdi N W, Qin J G. Improvement of copepod nutritional quality as live food for aquaculture: a review[J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(1): 1-20.
- [9] Gatesoupe F J. Managing the dietary value of *Artemia* for larval turbot, *Scophthalmus maximus*; the effect of enrichment and distribution techniques[J]. *Aquacultural Engineering*, 1991, 10(2): 111-119.
- [10] Jaramillo F Jr, Li P, Gatlin III D M. Selenium nutrition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) bioavailability, toxicity and interaction with vitamin E[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15(2): 160-165.
- [11] Long M, Lin W, Hou J, *et al.* Dietary supplementation with selenium yeast and tea polyphenols improve growth performance and nitrite tolerance of Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 68: 74-83.
- [12] Carter C G. Feeding in hatcheries[M]//Davis D A. Feed and feeding practices in aquaculture. Oxford: Woodhead Publishing, 2015: 317-348.
- [13] Clawson J A, Lovell R T. Improvement of nutritional value of *Artemia* for hybrid striped bass/white bass (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*) larvae by n-3 HUFA enrichment of nauplii with menhaden oil[J]. *Aquaculture*, 1992, 108(1-2): 125-134.
- [14] Watanabe T, Tamiya T, Oka A, *et al.* Improvement of dietary value of live foods for fish larvae by feeding them on ω3 highly unsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1983, 49(3): 471-479.
- [15] Kim H J, Sakakura Y, Maruyama I, *et al.* Feeding effect of selenium enriched rotifers on larval growth and development in red sea bream *Pagrus major*[J]. *Aquaculture*, 2014, 432: 273-277.
- [16] Wang C, Lovell R T. Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *Aquaculture*, 1997, 152(1-4): 223-234.
- [17] Ponce M, Giraldez I, Calero S, *et al.* Toxicity and biochemical transformation of selenium species in rotifer (*Brachionus plicatilis*) enrichments[J]. *Aquaculture*, 2018, 484: 105-111.
- [18] Lin Y H, Shiao S Y. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*[J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1-2): 356-363.
- [19] Hamre K, Mollan T A, Sæle Ø, *et al.* Rotifers enriched with iodine and selenium increase survival in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae[J]. *Aquaculture*, 2008, 284(1-4): 190-195.
- [20] Zhou X X, Wang Y B, Gu Q, *et al.* Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. *Aquaculture*, 2009, 291(1-2): 78-81.
- [21] Ibrahim A T A. Toxicological impact of green synthesized silver nanoparticles and protective role of different selenium type on *Oreochromis niloticus*: hematological and biochemical response[J]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2020, 61: 126507.
- [22] Luo H T, Wang Q, He Z L, *et al.* Protection of dietary selenium-enriched seaweed *Gracilaria lemaneiformis* against cadmium toxicity to abalone *Haliotis discus hannai*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 171: 398-405.
- [23] Cavrois-Rogacki T, Rolland A, Migaud H, *et al.* Enrich-

- ing *Artemia nauplii* with selenium from different sources and interactions with essential fatty acid incorporation[J]. *Aquaculture*, 2020, 520: 734677.
- [24] Dziewulska K, Kirczuk L, Czerniawski R, *et al.* Survival of embryos and fry of sea trout (*Salmo trutta m. trutta*) growing from eggs exposed to different concentrations of selenium during egg swelling[J]. *Animals*, 2021, 11(10): 2921.
- [25] Rider S A, Davies S J, Jha A N, *et al.* Bioavailability of co-supplemented organic and inorganic zinc and selenium sources in a white fishmeal-based rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2010, 94(1): 99-110.
- [26] Le K T, Fotadar R. Bioavailability of selenium from different dietary sources in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*)[J]. *Aquaculture*, 2014, 420-421: 57-62.
- [27] Bai J J, Li S J. Development of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) culture[M]//Gui J F, Tang Q S, Li Z J, *et al.* Aquaculture in China: success stories and modern trends. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd. , 2018: 421-429.
- [28] Zhang Y D, Huang X L, Zhao J, *et al.* Effects of different light spectra on the growth performance and survival of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) larvae in recirculating aquaculture systems[J]. *Transactions of the ASABE*, 2019, 62(6): 1811-1818.
- [29] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2022[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2022(in Chinese).
- [30] Misra S, Peak D, Chen N, *et al.* Tissue-specific accumulation and speciation of selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to elevated dietary selenomethionine[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2012, 155(4): 560-565.
- [31] Ziaei-nejad S, Shojaei S S, Amini Chermahini M. Effects of enriched artemia with selenium nanoparticles on growth, survival and biochemical factors of guppy (*Poecilia reticulata*)[J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2020, 19(5): 2593-2607.
- [32] Juhász P, Lengyel S, Udvari Z, *et al.* Optimised selenium enrichment of *Artemia* sp. feed to improve red drum (*Sciaenops ocellatus*) larvae rearing[J]. *Acta Biologica Hungarica*, 2017, 68(3): 255-266.
- [33] Li H, Zhang J, Wang T, *et al.* Elemental selenium particles at nano-size (nano-Se) are more toxic to medaka (*Oryzias latipes*) as a consequence of hyper-accumulation of selenium: a comparison with sodium selenite[J]. *Aquatic Toxicology*, 2008, 89(4): 251-256.
- [34] 李彦红, 张飞飞, 黄丽娟, 等. 纳米硒对齐口裂腹鱼生长、肌肉成分、血清生化及抗氧化指标的影响[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(6): 682-691.
- Li Y H, Zhang F F, Huang L J, *et al.* Influence of dietary nano-selenium on growth, muscle composition, and serum biochemical and antioxidant indices of *Schizothorax prenanti*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(6): 682-691 (in Chinese).
- [35] Wang Y B, Yan X X, Fu L L. Effect of selenium nanoparticles with different sizes in primary cultured intestinal epithelial cells of crucian carp, *Carassius auratus gibelio*[J]. *International Journal of Nanomedicine*, 2013, 8(1): 4007-4013.
- [36] Shenkin A. Micronutrients in health and disease[J]. *Postgraduate Medical Journal*, 2006, 82(971): 559-567.
- [37] Izquierdo M S. Essential fatty acid requirements of cultured marine fish larvae[J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2(4): 183-191.
- [38] Komilus C F, Shichi N, Koshio S, *et al.* Influences of palm oil blended with fish oil on growth performances and lipid profiles of red sea bream *Pagrus major*[J]. *Aquaculture Science*, 2008, 56(3): 317-326.
- [39] Kim H J, Nakamura K, Hagiwara A. Dietary effect of selenium-fortified *Chlorella vulgaris* on reproduction of *Brachionus plicatilis* species complex (Rotifera: Monogononta)[J]. *International Review of Hydrobiology*, 2014, 99(1-2): 161-165.
- [40] Watanabe T. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1993, 24(2): 152-161.
- [41] El Ghany Hefnawy A, Tórtora-Pérez J L. The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health[J]. *Small Ruminant Research*, 2010, 89(2-3): 185-192.

- [42] Rando T A. Oxidative stress and the pathogenesis of muscular dystrophies[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2002, 81(11): S175-S186.
- [43] Bell J G, Cowey C B, Adron J W, *et al.* Some effects of selenium deficiency on enzyme activities and indices of tissue peroxidation in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*)[J]. *Aquaculture*, 1987, 65(1): 43-54.
- [44] Fang Y Z, Yang S, Wu G Y. Free radicals, antioxidants, and nutrition[J]. *Nutrition*, 2002, 18(10): 872-879.
- [45] El-Dahhar A A, Rashwan R S, EL-Zaeem S Y, *et al.* Evaluation of the nutritional value of *Artemia nauplii* for European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) larvae[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2022, doi: 10.1016/j.aaf.2022.03.014.
- [46] Dotan Y, Lichtenberg D, Pinchuk I. Lipid peroxidation cannot be used as a universal criterion of oxidative stress[J]. *Progress in Lipid Research*, 2004, 43(3): 200-227.
- [47] Betancor M B, Caballero M, Terova G, *et al.* Selenium inclusion decreases oxidative stress indicators and muscle injuries in sea bass larvae fed high-DHA microdiets[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108(12): 2115-2128.
- [48] Menezes C, Leitemperger J, Santi A, *et al.* Evaluation of the effects induced by dietary diphenyl diselenide on common carp *Cyprinus carpio*[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2014, 40(1): 141-149.
- [49] Ghaniem S, Nassef E, Zaineldin A I, *et al.* A comparison of the beneficial effects of inorganic, organic, and elemental nano-selenium on Nile tilapia: growth, immunity, oxidative status, gut morphology, and immune gene expression[J]. *Biological Trace Element Research*, 2022, 200(12): 5226-5241.
- [50] Hu J R, Huang Y H, Wang G X, *et al.* Deficient and excess dietary selenium levels affect growth performance, blood cells apoptosis and liver HSP70 expression in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2016, 42(1): 249-261.
- [51] Rider S A, Davies S J, Jha A N, *et al.* Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): implications on selenium status and health responses[J]. *Aquaculture*, 2009, 295(3-4): 282-291.
- [52] Li L L, Liu Z, Quan J Q, *et al.* Metabonomics analysis reveals the protective effect of nano-selenium against heat stress of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Journal of Proteomics*, 2022, 259: 104545.



## Effects of feeding selenium yeast fortified *Artemia* on the growth, survival rate, fatty acid composition, liver and intestinal tissue structure and stress resistance of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) larvae

CAO Yahui<sup>1</sup>, HU Zechao<sup>1</sup>, JI Hong<sup>1\*</sup>, SUN Jian<sup>1</sup>, XUE Rongrong<sup>1</sup>, LI Handong<sup>1</sup>,  
YUAN Xiangtong<sup>1</sup>, SUN Wei<sup>1</sup>, XIE Xingda<sup>2</sup>, ZHANG Binxin<sup>2</sup>, HUANG Chencui<sup>2</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Ankang Hanbin District Anying Agricultural Technology Co., Ltd., Ankang 725000, China)

**Abstract:** At present, there are still some problems in the cultivation of aquatic fry in the market, such as the low survival rate caused by the inappropriateness of food. Therefore, it is particularly important to meet the nutritional needs of fish larvae at the stage of breeding high-quality fry. The purpose of this study was to investigate the effects of feeding selenium-enriched yeast on growth, survival rate, fatty acid composition, liver and intestinal structure, and stress resistance of *Micropterus salmoides* larvae. The five selenium supplementation concentrations of 0 (Y-se0), 5 (Y-se5), 10 (Y-se10), 15 (Y-se15) and 20 (Y-se20) mg/L were set to enhance the selenium nutrition of the *M. salmoides* larvae, and the enhanced selenium larvae were fed to 3 000 *M. salmoides* larvae in glass tank (2.1 mg/ind., 200 ind./tank) for 20 days. At the end of the feeding experiment, 10 larvae per tank were placed in the 35 °C thermostatic water bath for acute temperature stress test. The results showed as follows: ① The survival rate (78.67%±1.55%), final body weight (49.28±1.56) mg, body length (1.35±0.05) cm and specific growth rate (15.78±0.16) of the Y-se15 group were significantly higher than those of the control group ( $P<0.05$ ), but there were no significant differences in the condition factor (CF) among all groups ( $P>0.05$ ). ② EPA content in the Y-se5 group was significantly lower than that of the control group ( $P>0.05$ ); the DHA/EPA value of Y-se5 and Y-se15 groups were significantly higher than that of the control group ( $P<0.05$ ). ③ The catalase (CAT) activity in the liver of Y-se10, Y-se15 and Y-se20 groups were significantly higher than that of the control group ( $P<0.05$ ), and the glutathione peroxidase (GSH-Px) activity in the liver of all treatment groups were significantly higher than that of the control group ( $P<0.05$ ). However, the content of malondialdehyde (MDA) in the liver of Y-se10, Y-se15 and Y-se20 groups were significantly lower than that of the control group ( $P<0.05$ ), and the activity of total superoxide dismutase (T-SOD) exhibited no significant difference between all the treatment groups with the control group ( $P>0.05$ ). ④ The vacuolation of liver tissue in the Y-se15 group was much less, and the intestinal villus length in the selenium yeast supplemental groups were significantly higher than that of the control group ( $P<0.05$ ). ⑤ Under the 35 °C stress condition, the survival time of the Y-se15 group was significantly higher than that of the control group ( $P<0.05$ ). In conclusion, the supplementation of selenium yeast at 15 mg/L level could significantly increase the growth, survival rate and DHA/EPA level of *M. salmoides* larvae, and improve the health status of fish by the enhancement of the organism's antioxidant and anti-stress ability. This study preliminarily explored the effect of feeding artemia nauplii with enriched yeast selenium on *M. salmoides* larvae, with the aim of providing reference for further improving the technology of nutrient fortification in the open-mouth diet of aquatic animal seedlings and promoting the high-quality development of aquaculture.

**Key words:** *Micropterus salmoides*; *Artemia*; selenium yeast; nutritional fortification; fatty acid; antioxidant; liver and intestine structure; resistance

**Corresponding author:** JI Hong. E-mail: jihong@nwsuaf.edu.cn

**Funding projects:** Blue Granary Technology Innovation Project (2019YFD0900200); Research and Demonstration Project on Breeding Technology of Biological Bait for Important Economic Fish (2018NY-024); Research and Extension of Off-season Breeding Techniques for Largemouth Bass (AK2021-NY-11)