

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20210235

不同产地卤虫幼体对云龙石斑鱼幼苗生长和抗胁迫能力的影响

刘晓翠¹, 邓洪刚¹, 于学权², 朱亚光², 王鹏飞³, 隋丽英¹

(1. 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 天津食品集团立达海水资源开发有限公司, 天津 300450;
3. 西藏双湖县普若岗日生物科技有限公司, 那曲 853317)

摘要: 饲料中不饱和脂肪酸(尤其是 EPA 和 DHA)是海水鱼和甲壳类亲本和苗种培育的关键营养因子。卤虫幼体是重要的水产苗种生物饵料,不同产地的卤虫幼体脂肪酸组成和含量有较大差异。本研究将西藏其香错卤虫幼体、裂殖壶藻强化和未强化的咸海卤虫幼体投喂云龙石斑鱼(♀ *Epinehelus moara* × ♂ *Epinehelus lanceolatus*),研究不同产地卤虫幼体及营养强化对石斑鱼幼苗生长、对弧菌攻毒和氨氮胁迫耐受力的影响。结果表明:其香错卤虫幼体多不饱和脂肪酸(PUFA, C>18)和 n-3 高不饱和脂肪酸(n-3HUFA, C>20)含量最高,其中 EPA 含量明显高于裂殖壶藻强化的卤虫幼体和未强化咸海卤虫幼体;强化咸海卤虫幼体 DHA 含量最高。投喂上述卤虫幼体 30 d 后,其香错卤虫幼体组和强化咸海卤虫幼体组石斑鱼个体平均体长显著高于未强化咸海卤虫幼体组($P<0.05$);其香错卤虫幼体组石斑鱼个体平均体质量显著高于其他两组,未强化咸海卤虫幼体组最低($P<0.05$)。其香错卤虫幼体组石斑鱼肌肉 PUFA 和 n-3HUFA 含量显著高于强化咸海卤虫幼体组,未强化咸海卤虫幼体组最低($P<0.05$)。通过哈维氏弧菌(*Vibrio harveyi*)攻毒和氨氮胁迫后,其香错卤虫幼体组石斑鱼存活率均显著高于其他两组($P<0.05$)。因此,其香错卤虫幼体孵化后可直接使用,无需进行营养强化,更适合在石斑鱼苗种培育中使用。

关键词: 卤虫幼体; 高度不饱和脂肪酸; 石斑鱼; 弧菌攻毒; 氨氮胁迫

中图分类号: S963.21⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2022)02-0018-06

Effects of Different *Artemia* Strains on Growth and Stress Resistance of Hybrid Grouper Juveniles

LIU Xiaocui¹, DENG Honggang¹, YU Xuequan², ZHU Yaguang², WANG Pengfei³, SUI Liying¹

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Tianjin Food Group Lida Seawater Resources Development Co., Ltd., Tianjin 300450, China;

3. Tibet Shuanghu Puruogangri Biological Technology Co., Ltd., Naqu 853317, China)

Abstract: Dietary unsaturated fatty acid (especially EPA and DHA) plays an important role in marine fish and crustacean broodstock management and larviculture. *Artemia* nauplii is a crucial live feed for marine larviculture, and the fatty acid composition and content of *Artemia* nauplii from various origins are different. In our study, the Tibet Qixiang Co *Artemia* nauplii (AN), *Schizochytrium*-enriched and non-enriched Aral Sea AN were fed to hybrid grouper (♀ *Epinehelus moara* × ♂ *Epinehelus lanceolatus*) juveniles, to evaluate the effects of different *Artemia* strains as well as nutritional enrichment on the growth, and *Vibrio* challenge resistance and ammonia nitrogen tolerance of groupers. The fatty acid analysis showed that the contents of polyunsaturated fatty acid (PUFA, C>18) and n-3 high unsaturated fatty acid (n-3HUFA, C>20) in Qixiang Co AN were the highest, and the EPA contents of Qixiang Co AN were remarkably higher than those of *Schizochytrium*-enriched and non-enriched Aral Sea AN. The DHA contents of *Schizochytrium*-enriched Aral Sea AN were also improved when compared to non-enriched one. After 30-day feeding, the average fish body length of the group fed Qixiang Co AN and

收稿日期: 2021-11-11; 修回日期: 2021-12-07

基金项目: 西藏卤虫资源调查研究(125A0604)

作者简介: 刘晓翠(1995—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生; 通信作者: 隋丽英, 教授, suily@tust.edu.cn

enriched Aral Sea AN was significantly higher than that of the group fed non-enriched Aral Sea AN ($P < 0.05$). And the average fish body weight of the group fed Qixiang Co AN was significantly higher than the other two groups, and the lowest value was observed for fish fed non-enriched Aral Sea AN ($P < 0.05$). Furthermore, the contents of PUFA and n-3HUFA in the muscles of fish fed Qixiang Co AN were significantly higher than those of *Schizochytrium*-enriched Aral Sea AN group, and those of non-enriched Aral Sea AN group were the lowest ($P < 0.05$). Upon *Vibrio harveyi* challenge and ammonia nitrogen exposure, the survival percentage of fish fed Qixiang Co AN was significantly higher than the other two groups ($P < 0.05$). In summary, the Qixiang Co *Artemia* can be used without further enrichment, and thus is better live feed for grouper larviculture.

Key words: *Artemia nauplii*; highly unsaturated fatty acids; grouper; *Vibrio* challenge; ammonia nitrogen stress

石斑鱼是具有重要经济价值的海洋鱼类,近年来我国石斑鱼养殖产量逐年上升^[1],但由于石斑鱼苗种畸形率高、对环境的应激反应强烈、自相残杀严重、病害多,因此工厂化培育难度大^[2-3].云石斑鱼是云纹石斑鱼(♀ *Epinephelus moara*)与鞍带石斑鱼(♂ *Epinephelus lanceolatus*)杂交而成的新品种,具有耐低温、肉质鲜美的特点,其生长快、抗病能力强,是市场认可度较高的优质杂交新品种. n-3 高不饱和脂肪酸(n-3HUFA, C>20)主要包括 EPA 和 DHA,是细胞膜磷脂的重要成分,在细胞膜流动性、脂质性能、生殖发育、脂质代谢和免疫功能等方面发挥重要作用.但是,海洋鱼虾蟹类自身不能合成 HUFA 或合成能力有限,需要在饲料或饵料中补充^[4-5].研究^[6]表明,饵料中一定水平的 n-3HUFA (1.47% ~ 1.70%)可显著提高杂交石斑鱼(♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*)幼鱼的生长速度、非特异性免疫力和抗病力,抑制炎症反应.饲料中一定水平的 n-3HUFA (1.27% ~ 1.42%)对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)的增重率、饵料系数和蛋白质利用率都有显著促进作用,且石斑鱼肌肉中的 n-3HUFA 含量随饲料 n-3HUFA 水平的增加而增加^[7].

卤虫(*Artemia*)具有使用方便、适口性好和营养较为丰富等特点,是水产经济动物苗种重要的开口饵料^[8].全球商业化卤虫卵生产原料主要来源于中国、美国、俄罗斯和哈萨克斯坦等国的盐湖或日晒盐场.我国是卤虫卵资源采收、加工流通和使用的主要国家,卤虫卵资源主要分布在环渤海盐田以及青海、新疆、西藏等地的盐湖中.由于生物学和环境因子(如盐度、温度和饵料等)的差异,不同产地的卤虫卵径和卤虫幼体的大小、营养组成和含量有较大差别,甚至同一产地、不同时间采收的卤虫卵,其营养水平也有所不同^[9-11].西藏其香错盐湖卤虫个体大、颜色深红、富含 EPA、孵化率高,孵化后幼体与卵、空壳分离好,近年来产量较大且稳定.中亚地区咸海卤虫卵

市场价位具有竞争力,在国内苗种培育中广泛使用.咸海卤虫幼体 EPA 含量虽然较高,但与其香错卤虫幼体相比仍有一定的差距.

卤虫是非选择性滤食动物,可通过生物包裹的方式将水产苗种所需要的特殊成分(如 HUFA、色素、免疫增强剂等)快速包裹于卤虫肠道,并通过摄食有效送达水产动物体内,因此缺乏水产动物必需脂肪酸的卤虫可以通过强化富含 n-3HUFA 的产品(如鱼油、裂殖壶藻等)实现其在海水育苗中的有效应用^[12].

本研究以西藏其香错卤虫幼体、裂殖壶藻强化的咸海卤虫幼体和不强化的咸海卤虫幼体投喂云石斑鱼幼苗,分析比较不同产地卤虫幼体和营养强化对石斑鱼幼苗生长、肌肉脂肪酸含量、抗氨氮胁迫和对弧菌攻毒的耐受力,旨在为不同产地卤虫幼体和营养强化在石斑鱼育苗中的有效应用提供参考.

1 材料与方法

1.1 卤虫幼体孵化与营养强化

本研究所用西藏其香错卤虫卵、中亚地区咸海卤虫卵分别由西藏双湖县普若岗日生物科技有限公司、天津食品集团立达海水资源开发有限公司提供.卤虫卵孵化条件:温度 28 °C,盐度 20 ~ 30 g/L,光照强度 2 000 lx,连续充气.孵化 24 h 后收集卤虫幼体,用相同盐度稀释卤水冲洗,备用.

咸海卤虫幼体收集后暂养 6 h,用裂殖壶藻(青岛越洋有限公司)进行营养强化.卤虫幼体强化条件:温度 25 °C,卤虫幼体密度 150 ~ 200 个/mL,裂殖壶藻剂量 0.2 g/L,强化时间 6 ~ 12 h.

1.2 石斑鱼养殖条件

石斑鱼苗种培育在天津食品集团立达海水资源开发有限公司进行.将石斑鱼幼苗分为 3 组,每组 2 个平行池,分别投喂其香错卤虫幼体、裂殖壶藻强化咸海卤虫幼体和未强化的咸海卤虫幼体,连续投喂

30 d. 单位养殖水体 40 m³, 每个养殖池中布卵 300 g. 养殖水体盐度 25 g/L, 温度 25 °C, 溶解氧 (DO) 含量 6 ~ 7 mg/L. 每天分别于 09:00 和 15:00 投喂卤虫幼体, 每池每天的平均投喂量为 32×10⁶ 个卤虫幼体.

1.3 指标分析

1.3.1 卤虫幼体和石斑鱼肌肉脂肪酸组成及含量测定

将卤虫幼体在冷冻干燥机(德国 Marin Christ 公司)中干燥. 精确称取冻干样品 0.03 g, 加入 1 mg 脂肪酸内标 C20:2n-6(美国 NU-CHEK PREP 公司). 分别以 $V(\text{甲醇}) : V(\text{甲苯}) = 3 : 2$ 、 $V(\text{氯乙酰}) : V(\text{甲醇}) = 1 : 20$ 的比例配制混合试剂, 各加入 5 mL, 充分匀浆后煮沸 1 h 进行脂肪酸甲酯化, 用正己烷萃取脂肪酸甲酯并浓缩. 用气相色谱仪(日本 Shimadzu 公司)进行脂肪酸组成和含量的测定^[9].

养殖结束后, 每组随机取 10 尾鱼, 用无菌海水冲洗去除体表附着物, 获取石斑鱼肌肉并进行冷冻干燥. 样品处理及脂肪酸组成和含量测定方法同上.

1.3.2 石斑鱼幼苗生长测定

育苗结束后, 每组随机取 10 尾鱼, 测定并计算平均体长、平均体质量和出苗率.

1.3.3 胁迫实验

分别从每组中随机取石斑鱼若干, 暂养 2 d. 暂养条件同养殖条件, 投喂颗粒饲料(三通生物工程有限公司). 暂养结束后, 分别从各箱中随机取 20 尾鱼, 进行弧菌攻毒和氨氮胁迫实验.

哈维氏弧菌 (*Vibrio harveyi* MCCC1A03218) 购于自然资源部第三海洋研究所, 有效感染量总计 $5 \times 10^7 \text{ mL}^{-1}$. 根据预实验结果, 氨氮胁迫 $\text{NH}_4\text{Cl-N}$ 质量浓度总计 12 mg/L, 计算得到非离子氨 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度总计 0.95 mg/L^[13]. 胁迫期间水体盐度 20 g/L, 温度 $(25 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, DO 6 ~ 7 mg/L, 单位水体 10 L. 弧菌攻毒和氨氮胁迫时长均为 72 h, 在此期间不投喂饲料, 记录每组石斑鱼的最终死亡数.

1.4 数据统计学分析

利用 SPSS 25.0 统计分析软件对数据进行 ANOVA 单因素分析和 Duncan's 多重比较分析. 所有数据以“平均值 ± 标准差”表示, 不同字母表示组间具有显著差异 ($P < 0.05$).

2 结果与分析

2.1 卤虫幼体脂肪酸组成和含量

卤虫幼体脂肪酸组成及含量(以干质量计)见表

1. 其香错卤虫幼体不饱和脂肪酸(PUFA, C>18)和

n-3HUFA 含量最高, 分别为 125.73、31.78 mg/g, EPA 含量为 30.53 mg/g, 远高于其他 2 种卤虫幼体. 威海卤虫幼体 PUFA 含量最低, 为 40.40 mg/g. 强化后威海卤虫幼体 DHA 含量有所提高, 为 2.31 mg/g.

表 1 卤虫幼体脂肪酸组成及含量

Tab. 1 Fatty acid composition and contents of *Artemia nauplii*

脂肪酸组成	脂肪酸含量/(mg·g ⁻¹)		
	其香错 卤虫幼体	强化威海 卤虫幼体	威海 卤虫幼体
C14:0	4.29	1.22	2.50
C14:1n-5	1.49	0.59	0.66
C15:0	0.40	0.37	0.55
C15:1n-5	0.39	0.48	0.42
C16:0	18.58	12.56	15.05
C16:1n-7	16.45	10.92	16.05
C17:0	0.82	0.63	0.40
C17:1n-7	1.62	1.51	1.52
C18:0	5.69	5.50	3.49
C18:1n-9	44.63	19.84	17.90
C18:2n-6	17.10	4.98	3.82
C18:3n-6	17.16	8.64	0.55
C18:3n-3	9.84	2.09	10.09
C20:0	—	0.86	—
C20:1n-9	1.18	1.15	0.49
C20:4n-6	3.20	1.76	1.00
C20:5n-3 (EPA)	30.53	14.71	14.35
C22:0	0.53	0.21	0.13
C22:1	0.84	0.79	0.58
C23:0	0.14	0.07	0.02
C22:6n-3 (DHA)	1.25	2.31	0.02
PUFA	125.73	55.48	40.40
n-3HUFA	31.78	17.02	14.37

注: —表示低于检测限

2.2 石斑鱼幼苗的生长

石斑鱼平均体长、平均体质量和出苗率见表 2. 石斑鱼出苗率为 2.53% ~ 7.60%, 整体水平较低, 这与鱼卵质量和养殖水体质量等有关. 投喂其香错卤虫幼体和强化威海卤虫幼体的石斑鱼平均体长显著高于投喂未强化威海卤虫幼体组 ($P < 0.05$). 投喂其香错卤虫幼体石斑鱼平均体质量显著大于强化威海卤虫幼体组和未强化威海卤虫幼体组 ($P < 0.05$).

表 2 石斑鱼平均体长、平均体质量和出苗率

Tab. 2 Average body length, average body weight and survival percentage of grouper juveniles

组别	体长/cm	体质量/g	出苗率/%
其香错卤虫幼体	3.17 ± 0.14 ^a	0.42 ± 0.08 ^a	7.00
强化威海卤虫幼体	3.17 ± 0.16 ^a	0.36 ± 0.05 ^b	7.60
威海卤虫幼体	2.81 ± 0.14 ^b	0.27 ± 0.03 ^c	2.53

2.3 石斑鱼肌肉脂肪酸组成和含量

石斑鱼肌肉脂肪酸组成和含量(以干质量计)见表3。投喂其香错卤虫幼体石斑鱼肌肉 PUFA 和 n-3 HUFA 含量最高,强化威海卤虫幼体组居中,未强化威海卤虫幼体组最低($P < 0.05$)。

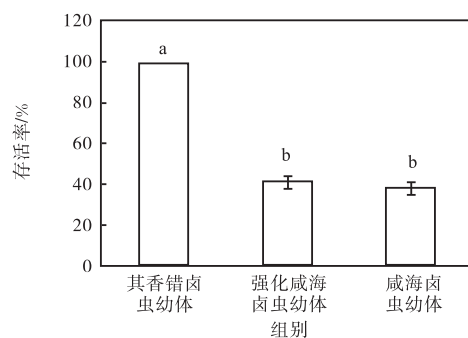
表3 石斑鱼肌肉脂肪酸组成和含量

Tab.3 Fatty acid composition and contents of grouper juvenile muscles

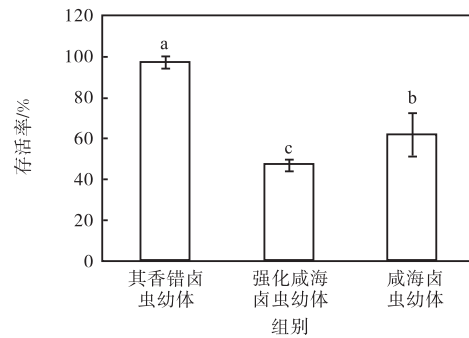
脂肪酸组成	脂肪酸含量/(mg·g ⁻¹)		
	其香错 卤虫幼体	强化威海 卤虫幼体	威海 卤虫幼体
C14:0	6.39 ± 0.34 ^a	6.56 ± 0.62 ^a	1.98 ± 0.01 ^b
C14:1n-5	0.11 ± 0.02 ^{ab}	0.13 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.03 ^b
C15:0	0.09 ± 0.03 ^b	0.11 ^b	0.17 ± 0.15 ^a
C15:1n-5	0.39 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.02 ^a	0.06 ± 0.08 ^b
C16:0	25.93 ± 0.7 ^a	23.18 ± 0.67 ^b	10.70 ± 0.1 ^c
C16:1n-7	8.16 ± 0.20 ^a	6.83 ± 0.25 ^b	3.51 ± 0.14 ^c
C17:0	0.45 ± 0.12 ^a	0.33 ^a	0.19 ± 0.25 ^b
C17:1n-7	0.51 ± 0.03 ^a	0.32 ± 0.04 ^b	0.33 ± 0.02 ^c
C18:0	8.53 ± 0.27 ^a	7.74 ± 0.1 ^b	4.21 ± 0.16 ^c
C18:1n-9	17.89 ± 0.45 ^a	13.84 ± 0.15 ^b	7.67 ± 0.21 ^c
C18:2n-6	6.28 ± 0.28 ^a	4.69 ± 0.26 ^b	2.70 ± 0.04 ^c
C18:3n-6	3.01 ± 0.28 ^a	2.25 ± 0.08 ^b	1.61 ± 0.01 ^c
C18:3n-3	1.96 ± 0.15 ^a	2.16 ± 0.10 ^a	1.11 ± 0.04 ^b
C20:0	0.53 ± 0.27 ^a	0.47 ± 0.03 ^a	0.21 ± 0.03 ^b
C20:1n-9	2.77 ± 0.31 ^a	2.16 ± 0.05 ^b	0.89 ± 0.09 ^c
C20:4n-6	1.34 ± 0.14 ^a	1.23 ± 0.2 ^a	0.64 ± 0.10 ^b
C20:5n-3 (EPA)	14.72 ± 0.60 ^a	11.67 ± 0.17 ^b	9.28 ± 0.16 ^c
C22:0	1.14 ± 0.55 ^a	0.42 ± 0.01 ^b	0.69 ± 0.2 ^{ab}
C22:1	0.76 ± 0.07 ^a	0.80 ± 0.09 ^a	0.26 ± 0.04 ^b
C23:0	2.07 ± 0.03 ^a	1.80 ± 0.03 ^b	1.95 ± 0.10 ^{ab}
C22:6n-3 (DHA)	11.38 ± 0.34 ^a	11.29 ± 0.06 ^a	7.37 ± 0.21 ^b
PUFA	60.12 ± 1.75 ^a	50.09 ± 0.85 ^b	31.53 ± 0.67 ^c
n-3HUFA	26.11 ± 1.14 ^a	22.96 ± 0.12 ^b	16.65 ± 0.27 ^c

2.4 石斑鱼对弧菌攻毒和氨氮胁迫的耐受力

弧菌攻毒和氨氮胁迫 72 h 的石斑鱼存活率见图 1。弧菌攻毒 72 h 后,投喂其香错卤虫幼体石斑鱼存活率(100%)显著高于其他两组($P < 0.05$),强化威海卤虫幼体组和未强化组石斑鱼存活率没有显著差异。



(a) 弧菌攻毒



(b) 氨氮胁迫

图1 弧菌攻毒和氨氮胁迫 72 h 的石斑鱼存活率

Fig.1 Survival percentage of grouper juveniles when exposed to *Vibrio harveyi* and ammonia nitrogen stress for 72 h

氨氮胁迫 72 h 后,投喂其香错卤虫幼体石斑鱼存活率(96.67%)显著高于其他两组,强化威海卤虫幼体组最低($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同产地卤虫对云龙石斑鱼生长和肌肉脂肪酸含量的影响

本研究表明,投喂其香错卤虫幼体和裂殖壶藻强化威海卤虫幼体可显著促进石斑鱼苗种的生长。EPA 和 DHA 是维持海水鱼虾蟹生长、发育和繁殖的必需脂肪酸^[14-15]。作为海水鱼虾蟹育苗的重要生物饵料,虽然不同产地卤虫幼体 PUFA 和 n-3HUFA 含量差异较大^[9-10],但通过鱼油和裂殖壶藻等强化剂进行短期营养强化,可显著提高其 HUFA 含量^[16-18]。研究表明,通过鱼油强化提高卤虫幼体中 n-3HUFA 含量和 DHA 与 EPA 的比例,显著提升了中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)蚤状幼体的变态生长、存活和抗盐度胁迫能力^[17];与投喂油酸(C18:1n-9)强化的卤虫幼体相比,投喂 n-3HUFA 强化的卤虫幼体能够显著提高日本牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)幼苗的生长、存活和耐盐能力^[18]。

由于病害和自相残杀等原因,石斑鱼育苗出苗率普遍较低^[3]。研究^[19]发现,鞍带石斑鱼(♂)与褐点石斑鱼(♀)杂交获得的石斑鱼苗,用未强化的卤虫和桡足类等生物饵料培育至 30 日龄,成活率为 0.5%,平均体长为 2.25 cm;黄进光等^[20]对云纹石斑鱼工厂化育苗 60 d,成活率为 2%,平均体长为 3.85 cm;余庆等^[4]应用在不同时期投喂小球藻和鱼油强化的轮虫、卤虫和桡足类的策略进行珍珠龙胆石斑鱼育苗

35 d, 成活率为 10.5%, 平均体长为 2.55 cm. 本研究中云龙石斑鱼幼苗培育 30 d 后, 各组石斑鱼成活率为 2.53% ~ 7.60%, 平均体长为 2.62 ~ 3.17 cm, 其中其香错卤虫幼体组和裂殖壶藻强化咸海卤虫幼体组石斑鱼体长显著大于未强化卤虫幼体组, 应该与其香错卤虫幼体较高的 EPA 含量以及强化后咸海卤虫幼体 DHA 含量的提升有关.

水产动物肌肉的脂肪酸积累主要来源于饵料或饲料^[6-7, 21]. 银黑鲷和金头鲷肌肉 n-3HUFA 含量随着饵料 n-3HUFA 水平的升高呈上升趋势^[22-23], 中华绒螯蟹肝胰腺脂肪酸含量随饵料 n-3HUFA 水平的增加而增加^[17]. 本研究中其香错卤虫幼体组石斑鱼肌肉 PUFA 和 n-3HUFA 含量显著高于强化咸海卤虫幼体组和未强化卤虫幼体组, 表明饵料 HUFA 影响石斑鱼肌肉 PUFA 和 n-3HUFA 组成.

3.2 投喂不同产地卤虫对云龙石斑鱼弧菌攻毒和氨氮胁迫耐受力的影响

致病性弧菌给海水养殖业造成严重的经济损失^[24]. n-3HUFA 能够有效提高水产动物的免疫能力, n-3 HUFA 可调节虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)免疫力, 提高巨噬细胞的杀菌能力^[25]. 饵料中一定水平的 n-3HUFA 可提高石斑鱼抵抗哈维氏弧菌的能力^[6], 促进大黄鱼非特异性免疫和抵抗寄生虫的能力^[5], 有效提高金鲷鱼(*Trachinotus ovatus*)血清和肝脏中 n-3HUFA 含量, 促进免疫反应^[26]. 本研究中哈维氏弧菌攻毒 72 h 后, 其香错卤虫幼体组石斑鱼存活率为 100%, 其余两组分别为 41.67% 和 38.33%, 这可能与其香错卤虫幼体中较高的 n-3HUFA, 特别是较高的 EPA 含量有关. 裂殖壶藻强化咸海卤虫幼体组石斑鱼存活率高于未强化组, 可能与强化卤虫幼体中较高的 DHA 含量有关.

养殖环境中的氨氮是主要的污染因子, 其来源于蛋白质的分解代谢^[27]. 氨氮胁迫使虾蟹鱼类机体非特异性免疫系统遭到破坏, 抗氧化能力降低, 影响机体健康^[28-31]. 研究发现, 投喂 n-3HUFA 强化的卤虫幼体可以显著提高粉红虾(*Farfantepenaeus paulensis*)对氨氮的耐受能力^[31], 提高金鲷鱼抗氧化的能力^[26], 投喂 n-3HUFA 和维生素 C 共同强化的卤虫幼体显著提高波斯鲟(*Acipenser persicus*)和欧洲鳊鱼(*Huso huso*)对温度、盐度和氨氮的耐受能力^[32]. 本研究投喂其香错卤虫幼体组石斑鱼氨氮胁迫 72 h 后存活率最高, 表明投喂西藏卤虫幼体可以显著提高云龙

石斑鱼抵抗氨氮胁迫的能力.

4 结 论

西藏其香错卤虫幼体中 PUFA 和 EPA 的含量明显高于咸海卤虫幼体, 裂殖壶藻强化后咸海卤虫幼体 PUFA 和 DHA 含量有所提升. 投喂其香错卤虫幼体和强化卤虫幼体可显著促进云龙石斑鱼苗种的生长, 提高石斑鱼肌肉中 PUFA 和 n-3HUFA 的含量; 投喂其香错卤虫幼体显著提升石斑鱼对弧菌攻毒和氨氮胁迫的耐受力, 说明生物饵料卤虫幼体中较高的 n-3HUFA 水平对石斑鱼苗种培育具有积极作用. 应该指出的是, 使用其香错卤虫幼体无需营养强化操作, 且石斑鱼的总体状况优于投喂裂殖壶藻强化的咸海卤虫, 所以西藏其香错卤虫幼体更适合作为石斑鱼苗种培育的生物饵料.

参考文献:

- [1] 刘敏, 孙广文, 王卓铎. 中国海水鱼养殖现状分析[J]. 当代水产, 2019, 44(11): 90-93.
- [2] 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.
- [3] 李振通, 田永胜, 唐江, 等. 云龙石斑鱼与云纹石斑鱼、珍珠龙胆石斑鱼的生长性状及对比分析[J]. 水产学报, 2019, 43(4): 1005-1017.
- [4] JIN M, LU Y, YUAN Y, et al. Regulation of growth, antioxidant capacity, fatty acid profiles, hematological characteristics and expression of lipid related genes by different dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile black seabream(*Acanthopagrus schlegelii*) [J]. Aquaculture, 2017, 471: 55-65.
- [5] ZUO R T, AI Q H, MAI K S, et al. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker(*Larimichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*) [J]. Fish & shellfish immunology, 2012, 32(2): 249-258.
- [6] AN W Q, DONG X H, TAN B P, et al. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth, non-specific immunity, expression of some immune-related genes and resistance to *Vibrio harveyi* in hybrid grouper(♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) [J]. Fish & shellfish immunology, 2020, 96: 86-96.
- [7] 朱庆国, 林建斌, 黄种持, 等. 饲料中不同水平 n-3 HUFA 对斜带石斑鱼幼鱼生长及肌肉脂肪酸组成的影

- 响[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 20-27.
- [8] SORGELOOS P, DHERT P, CANDREVA P. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture[J]. *Aquaculture*, 2001, 200(1/2): 147-159.
- [9] 隋丽英, 王娇. 不同品系卤虫卵的生物学测定值和营养组成分析[J]. 天津科技大学学报, 2014, 29(1): 46-50.
- [10] 杜东东, 高美荣, 张波, 等. 哈萨克斯坦和俄罗斯主要盐湖卤虫卵生物学和营养学特性分析[J]. 天津科技大学学报, 2020, 35(3): 57-62.
- [11] ROODSARI H V, MANA N P, SEIDGAR, et al. Proximate composition and fatty acids profiles of *Artemia* cysts, and nauplii from different geographical regions of Iran[J]. *Iranian journal of fisheries sciences*, 2014, 13(3): 761-775.
- [12] BAERT P, BOSTEELS T, SORGELOOS P. Manual on the production and use of live food for aquaculture[J]. FAO Fisheries technical paper, 1996(361): 295.
- [13] 薛凌展, 吴素琼, 张坤, 等. 氮氮对异育银鲫‘中科3号’幼鱼急性毒性及肝脏抗氧化酶系统的影响[J]. 农学学报, 2019, 9(3): 44-50.
- [14] 余庆, 刘明珠, 肖贺贺, 等. 珍珠龙胆石斑鱼工厂化健康育苗技术的研究[J]. 广西科学院学报, 2019, 35(3): 246-252.
- [15] 楼宝, 史海东, 柴学军. 不同生物饵料对赤点石斑鱼稚幼鱼生长和存活率的影响[J]. 上海水产大学学报, 2004(3): 270-273.
- [16] 刘忠优, 张健东, 周晖, 等. 不同饵料强化剂对龙虎斑仔稚鱼生长、存活率、消化酶活力及体成分的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2014, 34(4): 27-32.
- [17] SUI L Y, WILLE M, CHENG Y X, et al. The effect of dietary n-3HUFA levels and DHA/EPA ratios on growth, survival and osmotic stress tolerance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* larvae[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(1): 139-150.
- [18] FURUITA H, KONISHI K, TAKEUCHI T. Effect of different levels of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in *Artemia* nauplii on growth, survival and salinity tolerance of larvae of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. *Aquaculture*, 1999, 170(1): 59-69.
- [19] CH'NG C L, SENOO S. Egg and larval development of a new hybrid grouper, tiger grouper *Epinephelus fuscoguttatus* × giant grouper *E. lanceolatus*[J]. *Aquaculture science*, 2008, 56(4): 505-512.
- [20] 黄进光, 谢恩义. 云纹石斑鱼工厂化健康育苗技术初探[J]. 水产养殖, 2010, 31(4): 8-9.
- [21] JI Y, SUI L Y, WU X G, et al. Effects of different diets on reproductive performance and HUFA composition of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) broodstock during second spawning[J]. *Journal of fishery sciences of China*, 2006, 13(1): 93-99.
- [22] MOZANZADEH M T, MARAMMAZI J G, YAVARI V, et al. Dietary n-3LC-PUFA requirements in silvery-black porgy juveniles (*Sparidentex hasta*) [J]. *Aquaculture*, 2015, 448: 151-161.
- [23] IBEAS C, RODRIGUEZ C, BADA P, et al. Efficacy of dietary methyl esters of n-3HUFA vs. triacylglycerols of n-3HUFA by gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2000, 190(3/4): 273-287.
- [24] 王凤青, 孙玉增, 任利华, 等. 海水养殖中水产动物主要致病弧菌研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2018, 8(2): 49-56.
- [25] KIRON V, FUKUDA H, TAKEUCHI T, et al. Essential fatty acid nutrition and defense mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Comparative biochemistry and physiology part A physiology*, 1995, 111(3): 361-367.
- [26] LI M, XU C, MA Y, et al. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on growth, lipid metabolism and innate immunity in juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. *Fish & shellfish immunology*, 2020, 105: 177-185.
- [27] 袁丁, 张欣, 马峻峰, 等. 氮氮对西伯利亚鲟的急性毒性试验[J]. 四川农业大学学报, 2014, 32(3): 331-334.
- [28] SINHA A K, MATEY V, GIBLEN T, et al. Gill remodeling in three freshwater teleost in response to high environmental ammonia[J]. *Aquatic toxicology*, 2014, 155: 166-180.
- [29] ATWOOD H L, TOMASSO J R, RONAN P J, et al. Brain monoamine concentrations as predictors of growth inhibition in channel catfish exposed to ammonia[J]. *Journal of aquatic animal health*, 2000, 12(1): 69-73.
- [30] CHENG C H, MA H L, SU Y L, et al. Ammonia toxicity in the mud crab (*Scylla paramamosain*): the mechanistic insight from physiology to transcriptome analysis[J]. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, 179(15): 9-16.
- [31] MARTINS T G, CAVALLI R O, MARTINO R C, et al. Larviculture output and stress tolerance of *Farfantepenaeus paulensis* postlarvae fed *Artemia* containing different fatty acids[J]. *Aquaculture*, 2006, 252(2/3/4): 525-533.
- [32] NOORI F, TAKAMI G A, SPEYBROECK M V, et al. Feeding *Acipenser persicus* and *Huso huso* (Acipenseriformes) larvae with *Artemia urmiana* nauplii enriched with HUFA and vitamin C: II. Effect on tolerance to shock exposure of environmental factors[J]. *Journal of applied ichthyology*, 2011, 27(2): 787-795.