

饵料营养强化对黄姑鱼仔稚鱼生长和抗逆的影响

叶坤^{1,2}, 闫云杰^{1,2}, 王秋荣^{1,2}, 王志勇^{1,2}, 陈庆凯³, 谢仰杰^{1,2}

(1. 集美大学水产学院, 福建厦门 361021; 2. 农业农村部东海海水健康养殖重点实验室, 福建厦门 361021;
3. 福建省宁德市水产技术推广站, 福建宁德 352100)

[摘要] 为研究饵料营养强化对黄姑鱼仔稚鱼生长性能和抗逆性的影响, 以孵化后第10天(10 dph)的黄姑鱼仔鱼(0.16 ± 0.01)g为研究对象, 分别用经裂殖壶菌、乳化鱼油, 以及浓缩小球藻强化的轮虫和卤虫无节幼体投喂黄姑鱼仔稚鱼。实验分为7个组: A组(对照组)投喂未强化轮虫; B组全程投喂浓缩小球藻强化的轮虫; C组全程投喂乳化鱼油强化的轮虫; D组全程投喂裂殖壶菌强化的轮虫; E组在10~22 dph(前期)投喂浓缩小球藻强化的轮虫, 20~25 dph(后期)投喂浓缩小球藻强化的卤虫无节幼体; F组前期投喂乳化鱼油强化的轮虫, 后期投喂乳化鱼油强化的卤虫无节幼体; G组前期投喂裂殖壶菌强化的轮虫, 后期投喂裂殖壶菌强化的卤虫无节幼体。每组3个平行, 每个平行12 000尾黄姑鱼仔鱼, 养殖时间为15 d。实验结果显示: B组黄姑鱼仔稚鱼的增重率、特定生长率、成活率和肥满度高于对照组, 但不显著($P > 0.05$), 其他实验组黄姑鱼仔稚鱼的这4个指标都显著高于对照组($P < 0.05$); 各组黄姑鱼稚鱼在经历干露刺激不同时间后, 成活率为G组>F组>E组>A组、D组>C组>B组>A组; 各组黄姑鱼稚鱼耐饥饿能力为G组>F组>E组>D组>C组>B组>A组, 稚鱼的耐饥饿能力F、G和E组显著高于其他4组($P < 0.05$)。实验结果表明: 对黄姑鱼仔稚鱼的饵料(轮虫和卤虫无节幼体)进行营养强化, 可以显著提高黄姑鱼仔稚鱼的生长性能和抗逆性, 其中采用裂殖壶菌强化的效果最好, 其次是用鱼油强化, 再次是用浓缩小球藻强化; 在适宜的养殖阶段(20~22日龄)进行饵料转换有利于提高黄姑鱼仔稚鱼的生长速度和抗逆性。

[关键词] 黄姑鱼; 仔稚鱼; 营养强化; 生长性能; 抗逆性

[中图分类号] S 963

Growth Performance and Ant-Stress Capacity of Yellow Drum Larvae Fed with Nutrition-Intensified Diet

YE Kun^{1,2}, YAN Yunjie^{1,2}, WANG Qiurong^{1,2}, WANG Zhiyong^{1,2}, CHEN Qingkai³, XIE Yangjie^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xiamen 361021, China;
3. Fishery Technical Extension Station of Ningde City, Ningde 352100, China)

Abstract: A 15-day feeding experiment was conducted to investigate the effects of dietary fed with nutrition-intensified diet on growth performance and anti-stress capacity of yellow drum larvae. Ten days post hatching (dph) yellow drum larvae were chosen for the study, and fed with the nutrition-intensified rotifer and artemia which were intensified by *Schizochytrium* sp., emulsified fish oil, and concentrated *Chlorella* sp.. Seven groups were designed and marked as A to G group. Each group were repeated three times with

[收稿日期] 2022-4-15

[基金项目] 福建省高校产学研合作项目(2018N5010); 海水鱼产业技术体系项目(CARS-47-G04)

[作者简介] 叶坤(1984—), 男, 实验师, 主要从事鱼类遗传育种方向研究。通信作者: 谢仰杰(1967—), 男, 教授, 主要从事水产动物增养殖方向研究。E-mail: kye1015@jum.edu.cn

12 000 yellow drum larvae, and fish were given rotifer with no intensify (the control, A), rotifer intensified by concentrated *Chlorella* sp. (B), rotifer intensified by emulsified fish oil (C), rotifer intensified by *Schizochytrium* sp. (D), rotifer (10-22 dph) and artemia (20-25 dph) intensified by concentrated *Chlorella* sp. (E), rotifer (10-22 dph) and artemia (20-25 dph) intensified by emulsified fish oil (F), and rotifer (10-22 dph) and artemia (20-25 dph) intensified by *Schizochytrium* sp. (G), respectively. Results showed that, the weight gain, specific growth rate, survival rate (SR), and condition factor of yellow drum larvae in group B were higher than the control but not remarkable ($P > 0.05$), while those parameters of yellow drum larvae in other groups are significantly higher than the control ($P < 0.05$). The SR of yellow drum larvae in each group with drying stress showed the consequence that $G > F > E > A$ and $D > C > B > A$, while the anti-hunger capacity of fish in group E, F, G was significantly higher than other groups ($P < 0.05$), and showed the consequence that $G > F > E > D > C > B > A$. In conclusion, diet with nutrition-intensified can significantly improve the growth performance and anti-stress capacity of yellow drum larvae. The performance of fish showed the best in dietary condition that rotifer and artemia were intensified by *Schizochytrium* sp., while the performance followed by dietary condition that rotifer and artemia were intensified by emulsified fish oil, and concentrated *Chlorella* sp., respectively. Besides, the conversion of dietary rotifer to artemia can also improve the growth performance and anti-stress capacity of yellow drum larvae (about 20-22 dph).

Keywords: yellow drum; larva; nutrition enhancement; growth performance; anti-stress

0 引言

黄姑鱼 *Nibea albiflora* (Richardson) 属鲈形目石首鱼科黄姑鱼属, 分布于东海、台湾海峡和南海。其肉质鲜美, 对环境适应性与大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 相似, 生长速度较快, 不易患刺激隐核虫病, 近年来已成为我国沿海网箱养殖的重要海水鱼类。有关黄姑鱼人工繁殖和育苗技术等方面的研究虽然开展较早, 但人工育苗成活率仍较低下。

在鱼类人工育苗生产上, 一般采用微藻、双壳类受精卵、担轮幼虫、轮虫、卤虫无节幼体 (*Artemia nauplii*)、桡足类和枝角类等作为仔稚鱼的生物饵料^[1]。众多研究表明, 饵料的营养对仔稚鱼的存活和生长影响很大。通过对海水鱼投喂经营养强化的轮虫、卤虫或桡足类, 可以提高海水鱼仔稚鱼的存活率, 并促进其生长^[2]。刘忠优等^[3]研究了浓缩小球藻、深海鱼油和鱼肝油 3 种强化剂对龙虎斑仔稚鱼生长、存活率、消化酶及体成分的影响, 结果表明这 3 种强化剂均可用于龙虎斑仔稚鱼生物饵料的强化, 其中深海鱼油提高的存活率最显著; 邱小琮等^[4]研究了营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 仔鱼的成活、生长及体脂肪酸组成的影响, 结果表明用强化的轮虫和卤虫无节幼体投喂牙鲆仔鱼, 可以提高牙鲆仔鱼的生长速度和成活率。对于海水鱼类, 仔鱼前期靠吸收自身卵黄营养物质满足生长需要, 成活率高, 但在开口后, 从内源性营养转为外源性营养, 一些重要营养物质的缺乏和不足是导致仔鱼大量死亡的一个重要原因^[5]。众多学者^[4,6-7]认为, 生物饵料中缺少海水鱼必需的高度不饱和脂肪酸等重要营养物质是导致海水鱼类育苗成活率低、生长缓慢的重要原因。因此, 为仔稚鱼提供营养丰富的饵料生物是保证海水鱼类仔稚鱼高存活率和生长率的前提。

本文通过给黄姑鱼仔稚鱼投喂经不同强化剂强化的饵料, 比较各组仔稚鱼的生长性能及抗逆性, 探究饵料营养强化对黄姑鱼仔稚鱼生长性能和抗逆性的影响, 以为黄姑鱼的育苗生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用仔鱼系宁德市横屿岛水产科技有限公司培育的黄姑鱼亲鱼经人工催产所得。仔鱼在室内水泥池进行常规培育, 开口后的前 3 天用牡蛎受精卵作为饵料, 开口后第 4 天开始投喂经浓缩小球藻强

化的轮虫, 培育至 10 dhp (days post hatching) 时全长平均 3.86 mm, 体重平均 0.16 mg。

实验期间所用轮虫为室外池塘培养的褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) (以下简称轮虫), 用 50 μm 孔径的筛绢网收集后暂养于室内水泥池中备用, 暂养期间投喂浓缩小球藻。

实验期间所用卤虫无节幼体由卤虫卵孵化获得。采用 0.5 m^3 的圆锥形玻璃钢孵化桶进行孵化, 孵化水温 28 $^{\circ}\text{C}$, 盐度 30, 孵化过程连续强充气, 经 24 h 孵出, 再停气、遮光、静置 10 min, 使空壳浮于水面, 然后打开底部排水孔, 在排水口用筛绢网收集卤虫无节幼体。分离后的无节幼体置玻璃缸孵化桶中备用, 连续充气增氧。

乳化鱼油: 由福建高龙实业有限公司提供的精炼鱼油, 按 40 mL 鱼油 + 300 mL 淡水 + 1 个鸡蛋黄的比例, 通过食物搅拌机搅拌制成乳化鱼油, 置 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存备用 (限 2 d 内使用)。

裂殖壶菌 (*Schizochytrium*) 干粉: 购自山东青岛微藻生物技术有限公司, 使用前用孔径约 50 μm 的筛绢网搓洗分散后泼洒使用。

浓缩小球藻 (*Chlorella* sp.): 浓缩小球藻购自山东集大生物科技有限公司。

1.2 饵料营养强化

用浓缩小球藻、乳化鱼油、裂殖壶菌等强化剂分别强化轮虫和卤虫无节幼体。用容积为 100 L 的塑料桶作为强化桶, 实际水体 80 L, 轮虫密度 1000 ind/mL, 卤虫无节幼体密度 100 ind/mL, 水温 21 $^{\circ}\text{C}$, 盐度 30, 每桶放一个散气石进行充气增氧, 每次强化 12 h。

强化剂的用量: 每个强化桶每次用乳化鱼油 40 mL 或裂殖壶菌 4 g 或浓缩小球藻 40 mL。

1.3 实验方法

实验设计: 实验共设 7 组, 用 A、B、C、D、E、F 和 G 表示。其中 A 组 (对照组) 投喂未强化的轮虫; B 组 (小球藻强化轮虫组) 全程投喂浓缩小球藻强化的轮虫; C 组 (鱼油强化轮虫组) 全程投喂乳化鱼油强化的轮虫; D 组 (裂殖壶菌强化轮虫组) 全程投喂裂殖壶菌强化的轮虫; E 组 (小球藻强化卤虫组) 10~22 dph (前期) 投喂浓缩小球藻强化的轮虫, 20~25 dph (后期) 投喂小球藻强化的卤虫无节幼体; F 组 (鱼油强化卤虫组) 前期投喂乳化鱼油强化的轮虫, 后期投喂乳化鱼油强化的卤虫无节幼体; G 组 (裂殖壶菌强化卤虫组) 前期投喂裂殖壶菌强化的轮虫, 后期投喂裂殖壶菌强化的卤虫无节幼体。每组设 3 个平行组。采用容积为 1000 L 的玻璃钢圆桶为养殖桶, 每桶分别装海水 900 L。实验开始时每桶放入常规培育至 10 dph 的黄姑鱼仔鱼 12 000 尾。实验期间每日换水 50%, 定时吸污。每桶放 1 个气石进行适量充气。按时投饵及补充饵料, 投饵前计算饵料密度, 轮虫密度维持在 3~5 ind/mL, 卤虫无节幼体密度维持在 0.5~2 ind/mL。实验期间水温保持在 22~24 $^{\circ}\text{C}$, 盐度 30。

生长情况测定: 于 10、13、16、19、22、25 dph 对仔稚鱼的生长情况进行测定, 每次从各桶中随机取 30 尾用解剖镜测定全长, 用电子天平测定 30 尾仔鱼的体重, 再计算出各组仔鱼的平均全长、平均体重。

成活率测定: 于 25 dph 随机取样计数, 计算各桶中存活的鱼苗数。根据实验开始时的鱼苗数量计算成活率。

抗应激实验: 于 25 dph 进行抗应激实验。从各桶中用捞网随机捞取稚鱼 30 尾, 分别在干露刺激一定时间后 (10 s、20 s、30 s、1 min、2 min、3 min、5 min、10 min), 放回海水中, 1 h 后记录死亡尾数, 根据存活率来评判稚鱼的抗应激能力。

耐饥饿实验: 于 25 dph 进行耐饥饿实验。从各桶中随机取 50 尾稚鱼放入 50 L 的塑料桶中, 实际水体 30 L, 静水培育, 每天观察记录各桶中的鱼苗死亡情况, 根据存活情况以及无给饵生存活力指数 I_{SA} (survival activity index, SAI) 评判鱼苗的耐饥饿能力。

1.4 计算公式

增重率 (weight gain rate, WGR) $R_w = (W_t - W_0) \div W_0 \times 100\%$;

特定生长率 (specific growth rate, SGR, d^{-1}) $R_c = (\ln W_t - \ln W_0) \div t \times 100\%$;

成活率 (survival rate, SR) $R_s = N_t \div N_0 \times 100\%$;

肥满度 (condition factor, CF) $C_f = W_t \div L_t \times 100\%$ 。

其中: W_t 为终末体重 (g); W_0 为初始体重 (g); t 为养殖天数 (d); N_t 为终末尾数; N_0 为初始尾数; L_t 为终末全长 (cm)。

在不充气、不投饵的条件下至稚鱼全部死亡, 稚鱼生存活力指数 (SAI) $I_{SA} = \sum_{i=1}^k (N - h_i) \times i \div N_0$ 。

其中: N 为实验起始的稚鱼数; k 为稚鱼全部死亡所需天数; h_i 为第 i 天时稚鱼的累计死亡数。

1.5 数据分析和处理

结果以平均值 ± 标准差表示, 应用 SPSS 20 软件对实验结果进行单因素方差分析, 采用 Duncan 法对各实验组之间进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 饵料营养强化对黄姑鱼仔稚鱼生长性能的影响

用不同强化剂强化的饵料投喂黄姑鱼仔稚鱼后, 其体重和全长的生长差异见图 1、图 2。

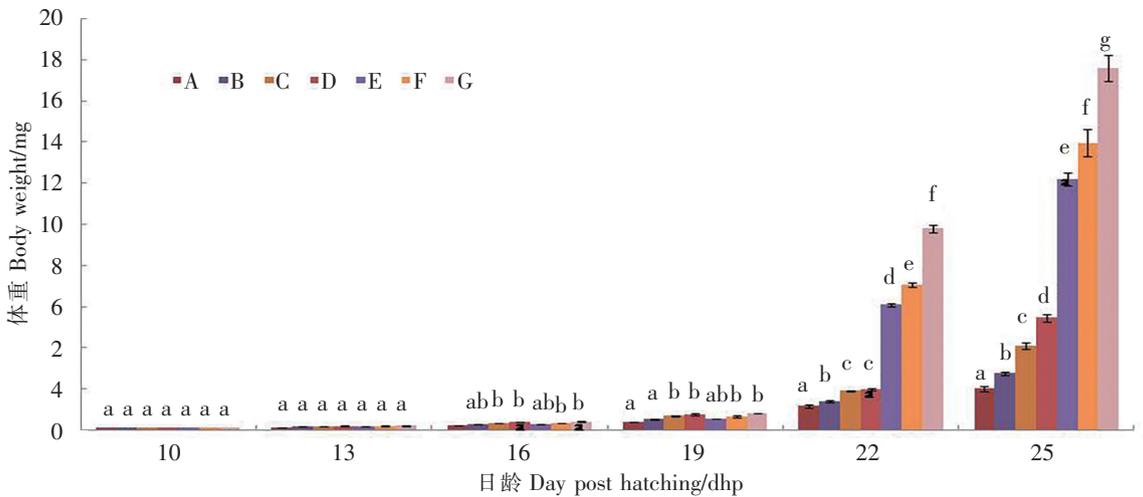


图 1 不同强化饵料对黄姑鱼仔稚鱼体重的影响

Fig.1 Effect of different enhanced diets on body weight of larva and juveniles of *Nibea albiflora*

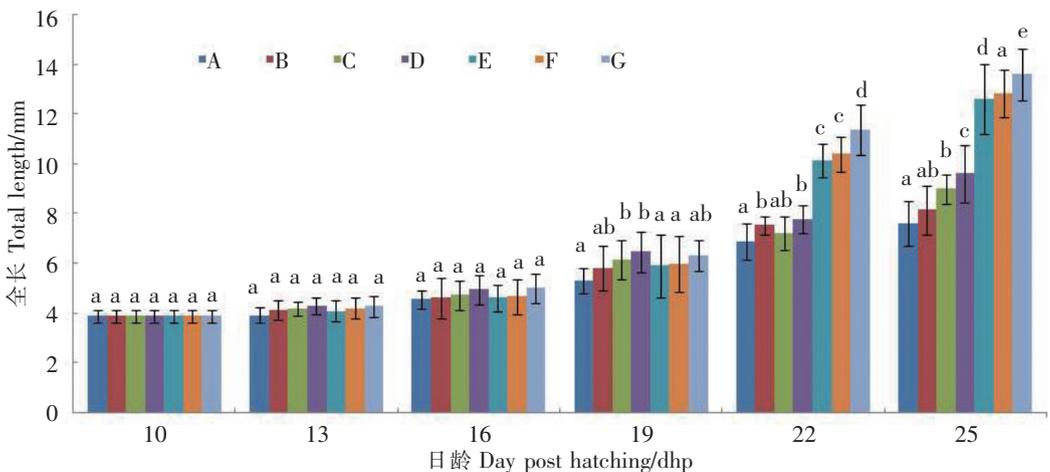


图 2 不同强化饵料对黄姑鱼仔稚鱼全长的影响

Fig.2 Effect of different enhanced diets on total length of larva and juveniles of *Nibea albiflora*

无论是轮虫还是卤虫经过营养强化后投喂给黄姑鱼仔稚鱼, 黄姑鱼仔稚鱼的体重和全长的增加都高于对照组, 随着投喂天数的增加, 这种差异越来越显著 ($P < 0.05$)。16~25 dph, C、D、F 和 G 组的体重显著大于 A 组 (对照组), B 组和 E 组的体重也大于对照组; 19~25 dph, D 组和 G 组的全长显著大于 A 组 ($P < 0.05$), 其他组的全长也大于 A 组。

用不同强化剂强化的轮虫和卤虫投喂黄姑鱼仔稚鱼后, 各实验组之间的黄姑鱼仔稚鱼体重和全长也有差异。全程用轮虫投喂, 各组黄姑鱼仔稚鱼的体重和全长差异为 D 组 > C 组 > B 组, D 组显著大于 B 组和 C 组 ($P < 0.05$); 前期用轮虫和后期用卤虫投喂, 各组黄姑鱼仔稚鱼的体重和全长差异为 G 组 > F 组 > E 组, G 组显著大于 E 组和 F 组 ($P < 0.05$); 黄姑鱼仔稚鱼投喂卤虫后的组, 仔稚鱼体重和全长的增加显著大于未投喂卤虫的组 ($P < 0.05$)。

投喂用不同强化剂强化的轮虫和卤虫无节幼体, 黄姑鱼仔稚鱼的生长性能差异显著 (见表 1)。C、D、E、F、G 组的增重率、特定生长率、肥满度和成活率显著大于对照组 ($P < 0.05$), B 组的增重率、特定生长率、肥满度和成活率也大于对照组, 但差异并不显著。

表 1 不同强化饵料对黄姑鱼仔稚鱼生长性能的影响

Tab. 1 Effect of different enhanced diets on growth performances of larva and juveniles of *Nibea albiflora* during the experiment

项目 Item	组别 Group						
	A	B	C	D	E	F	G
增重率 WGR/%	1172 ± 70 ^a	1636 ± 59 ^b	2460 ± 99 ^c	3319 ± 114 ^d	7514 ± 197 ^e	8619 ± 417 ^f	10 889 ± 403 ^g ..
特定生长率 SGR/%	15.89 ± 0.35 ^a	17.84 ± 0.21 ^b	20.26 ± 0.24 ^c	22.07 ± 0.21 ^d	27.08 ± 0.16 ^e	27.92 ± 0.29 ^f	29.37 ± 0.23 ^g
成活率 SR/%	39.01 ± 1.50 ^a	46.01 ± 0.87 ^{ab}	53.01 ± 0.87 ^c	49.51 ± 1.50 ^{bc}	56.01 ± 2.29 ^c	43.01 ± 1.73 ^a	59.02 ± 1.74 ^c
肥满度 CF/ (g · cm ⁻³)	0.46 ± 0.013 ^a	0.52 ± 0.009 ^{ab}	0.57 ± 0.011 ^b	0.62 ± 0.010 ^b	0.61 ± 0.008 ^b	0.66 ± 0.016 ^{bc}	0.70 ± 0.013 ^c

说明: 同一行数值上标字母不同的差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Values in the same row with different superscripts represent significantly different ($P < 0.05$).

不同时期用不同强化剂强化的轮虫和卤虫投喂黄姑鱼仔稚鱼后, 各组之间的黄姑鱼仔稚鱼生长性能也有差异。全程用轮虫投喂, 各组黄姑鱼仔稚鱼的增重率、特定生长率、肥满度和成活率差异为 D 组 > C 组 > B 组, 且 D 组显著大于 B 组和 C 组 ($P < 0.05$); 前期用轮虫和后期用卤虫投喂, 各组黄姑鱼仔稚鱼的增重率、特定生长率、肥满度差异为 G 组 > F 组 > E 组, 且 G 组显著大于 E 组和 F 组 ($P < 0.05$)。

与未投喂卤虫的实验组相比, 投喂卤虫的实验组黄姑鱼仔稚鱼的增重率、特定生长率、肥满度、成活率等生长性能显著提高 ($P < 0.05$)。

2.2 饵料营养强化对黄姑鱼稚鱼抗逆性的影响

2.2.1 强化饵料对黄姑鱼稚鱼抗干露能力的影响

各实验组稚鱼在干露刺激 10 s 后, 1 h 内除了 A 组死亡 1 尾, 其余均未出现死亡。干露刺激 20 s 后, 1 h 内出现一些死亡, 各实验组黄姑鱼稚鱼的存活率都比 A 组高, 且 C、D、E、F 和 G 组的存活率显著高于 A 组 ($P < 0.05$)。干露刺激 30 s 后, 1 h 内的死亡数明显增加, D 组和 G 组的存活率显著高于 A 组 ($P < 0.05$), E 组和 F 组的存活率也高于 A 组, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。干露刺激 1 min 后, 1 h 内的死亡数量显著增加, 除 B 组外, 其他实验组的稚鱼存活率显著高于 A 组 ($P < 0.05$)。干露刺激 2 min 后, 1 h 内除 E 组外其他实验组稚鱼的存活率显著高于 A 组 ($P < 0.05$)。干

露刺激 3 min 后, 1 h 内的死亡率均高于 50%, 除 E 组外其他实验组黄姑鱼稚鱼的存活率都比 A 组高, 且 C、D、F 和 G 组的存活率显著高于 A 组 ($P < 0.05$)。干露刺激 5 min 后, 1 h 内各实验组稚鱼的存活率高于 A 组 ($P < 0.05$)。干露刺激 10 min 后, A 组和 B 组在 1 h 内全部死亡, 其余各组的存活率也均低于 10%, 成活率较低 (见图 3)。

不同强化剂强化的轮虫和卤虫投喂黄姑鱼稚鱼后, 各实验组的黄姑鱼稚鱼在经历不同时间干露刺激后的存活率也有差异。全程用轮虫投喂, 各实验组黄姑鱼稚鱼在经历不同时间干露刺激后的存活率差异为 D 组 > C 组 > B 组, D 组显著大于 B 组 ($P < 0.05$); 前期用轮虫和后期用卤虫投喂, 各组黄姑鱼稚鱼在经历不同时间干露刺激后的存活率差异为 G 组 > F 组 > E 组, 且 G 组显著大于 E 组 ($P < 0.05$); 投喂卤虫的实验组 (E、F、G 组) 黄姑鱼稚鱼在经历不同时间干露刺激后的存活率都高于未投喂卤虫的实验组 (B、C、D 组)。

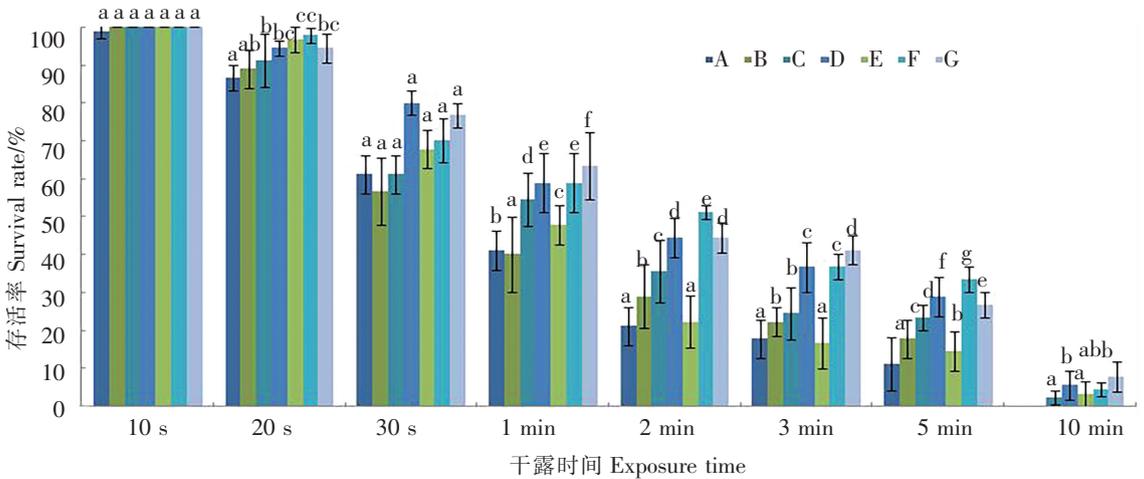


图 3 不同强化饵料对黄姑鱼稚鱼在干露刺激不同时间后 1 h 的存活率的影响

Fig.3 Effect of different enhanced diets on one hour survival rates of larva and juveniles of *Nibea albiflora* after different exposure time

2.2.2 强化饵料对黄姑鱼稚鱼耐饥饿能力的影响

经过 15 d 不同饵料的投喂, 各组黄姑鱼稚鱼对饥饿的耐受能力存在差异 (见图 4)。

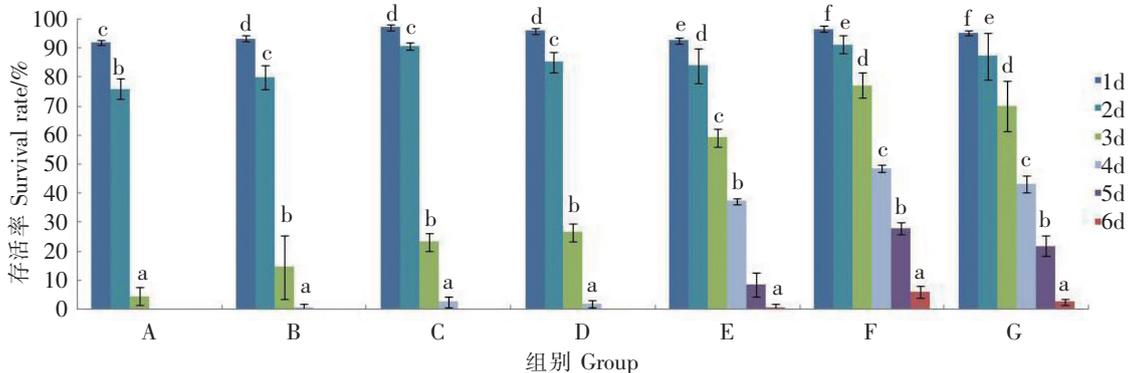


图 4 不同强化饵料对黄姑鱼仔稚鱼在停饲后不同时间的存活率的影响

Fig.4 Effect of different enhanced diets on survival rates of larva and juveniles of *Nibea albiflora* after no feeding

停饲后的第 1 天和第 2 天, 各组黄姑鱼稚鱼均出现少量死亡。停饲后第 3 天, 各组出现大量死亡, 但各实验组黄姑鱼稚鱼的存活率显著高于 A 组 ($P < 0.05$), 其中存活率最高的是 F 组和 G 组, 其次是 E 组, 都显著高于 B、C、D 组 ($P < 0.05$)。停饲后第 4 天, F、G、E 组的存活率显著高于其

他4组 ($P < 0.05$), 而F组和G组的存活率显著高于E组 ($P < 0.05$), A组全部死亡, B、C、D组稚鱼也所剩无几。停饲后第5天, E、F、G组的存活率显著高于其他4组 ($P < 0.05$), 且F、G组稚鱼存活率显著高于E组 ($P < 0.05$), B、C、D组稚鱼全部死亡。停饲后第6天, E、F、G组的存活率也大幅下降, F组存活率显著高于其他2组 ($P < 0.05$)。停饲后第7天, 所有稚鱼全部死亡。各组黄姑鱼稚鱼生存活力指数 (SAI) 存在差异, 除C组外, 其他实验组的SAI显著高于A组 ($P < 0.05$), 且D、E、F、G组的SAI显著高于B组和C组 ($P < 0.05$), D、E、F、G组之间的SAI差别不显著 ($P > 0.05$)。此外, 投喂卤虫实验组 (E、F、G组) 的黄姑鱼稚鱼在停饲后不同时间的存活率高于未投喂卤虫的实验组 (B、C、D组)。

3 讨论

3.1 饵料营养强化对黄姑鱼仔稚鱼生长性能的影响

大多数海水鱼自身不能合成 $n-3$ 系列高度不饱和脂肪酸 ($n-3$ HUFA), 其生长发育所需 $n-3$ HUFA 只能从饵料中获得^[8-9]。对海水鱼仔稚鱼的生物饵料 (轮虫和卤虫无节幼体) 进行营养强化, 主要是为了提高轮虫和卤虫无节幼体的 $n-3$ HUFA 含量, 尤其是 DHA 的含量。当仔稚鱼对 $n-3$ HUFA 摄入不足时, 仔稚鱼会出现生长缓慢、神经系统发育不良、脊椎弯曲、对不良环境的耐受力低、抵抗力低、死亡率高症状。轮虫体内 $n-3$ HUFA 的含量与其培养方式密切相关, 用面包酵母培养的轮虫, $n-3$ HUFA 的含量非常低, 卤虫无节幼体也缺乏 $n-3$ HUFA^[10-11], 对大多数海水鱼类的投喂效果不理想。研究^[12-16]表明, 采取一定的营养强化措施, 可以提高饵料的营养价值, 进而促进海水鱼仔稚鱼的生长并提高其成活率。

本实验中, 轮虫和卤虫经裂殖壶菌、乳化鱼油以及浓缩小球藻强化后投喂黄姑鱼仔稚鱼, 除小球藻强化轮虫组之外, 其他组黄姑鱼仔稚鱼的体重、全长、增重率、特定生长率、肥满度及成活率显著高于对照组 ($P < 0.05$), 这表明黄姑鱼仔稚鱼所需的饵料经过营养强化后, 可以提高黄姑鱼仔稚鱼的生长速度和成活率, 这与欧洲狼鲈 (*Dicentrarchus labrax*)^[12]、条纹鲈 (*Morone saxatilis*)^[13]、花尾胡椒鲷 (*Plectorhinchus cinctus*)^[17] 研究的结果一致。

不同强化剂的强化效果也各有差异, 从轮虫和卤虫投喂情况及不同时间段的生长差异来看, 裂殖壶菌的强化效果最好, 其次是乳化鱼油, 而浓缩小球藻最差。裂殖壶菌能够有效提高黄姑鱼仔稚鱼的生长性能与它含有丰富的 DHA 有关。朱路英等^[18]对裂殖壶菌营养成分分析结果表明, 其细胞主要组分为脂类、蛋白质和总糖, 而脂肪比例占到细胞干重的 55%~75%, 且多为不饱和脂肪酸, 其中 $n-3$ HUFA 含量达 20% 以上。裂殖壶菌中的 DHA 等不饱和脂肪酸包藏于细胞内, 相对不容易氧化^[19]。本实验结果与马静等^[20]、宋晓金等^[21]的研究结果基本一致。Yamasaki 等^[22]也指出经裂殖壶菌营养强化的轮虫、卤虫、桡足类等饵料生物, 可促进鱼、虾、贝幼体的生长, 提高存活率。

用乳化鱼油对生物饵料进行营养强化, 在许多海产鱼类的苗种生产中得到应用, 效果显著^[23-24]。本研究中, 用乳化鱼油强化的轮虫和卤虫无节幼体投喂的黄姑鱼仔稚鱼的生长速度、成活率均较高。乳化鱼油除了可增加轮虫和卤虫的 DHA 和 EPA 含量, 还可以增加卵磷脂含量^[25-26]。许多研究^[27-30]表明, 在饵料中添加适当比例的卵磷脂能在不同程度上提高仔稚鱼的生长率和存活率, 降低畸形率。但是鱼油容易氧化变质, 尤其是其中的 DHA 和 EPA 处于游离状态, 在曝气及较高温度下易发生自然氧化, 而氧化脂肪对饵料生物是有毒的, 加上饵料生物用乳化鱼油强化后容易造成水质恶化, 不利于黄姑鱼仔稚鱼的生长和存活, 这可能就是乳化鱼油比裂殖壶菌强化效果差的原因。

有研究^[31]表明, 小球藻中 EPA 含量较高, 但缺乏 DHA。胡坤华等^[32]的研究也指出, 经小球藻强化的轮虫体内 EPA 含量显著提高, 但是 DHA 含量与强化前没有明显的差异。本研究中, 用小球藻强化轮虫和卤虫无节幼体的效果相对裂殖壶菌和乳化鱼油差, 但能提高黄姑鱼仔稚鱼的生长性能。张利民等^[15]也指出单用小球藻强化轮虫效果不佳, 需多种强化剂联合强化, 才能达到更好的强化效果。

投喂卤虫的实验组 (E、F、G 组) 黄姑鱼仔稚鱼的生长性能相对于未投喂卤虫的实验组 (B、C、D 组) 显著提高, 这可能与营养状况有关。轮虫的个体大小和营养可以满足黄姑鱼仔鱼阶段的生长与营养需求, 而随着黄姑鱼仔鱼的生长, 轮虫偏小的个体无法满足鱼苗的生长与营养需求, 需要及时转换个体较大且能满足黄姑鱼仔稚鱼生长与营养需求的卤虫。因此, 在黄姑鱼育苗过程中, 不仅要保证充足的饵料, 还要及时转换不同的饵料, 以满足黄姑鱼仔稚鱼的生长与营养需求。

3.2 饵料营养强化对黄姑鱼稚鱼抗逆性的影响

鱼类幼体的抗逆性与体内的脂肪酸组成相关, n -3HUFA 含量高会影响幼体的生长和存活, 因此抗逆性是评价鱼类幼体的生物质量指标之一^[33]。本实验中, 饵料经过营养强化后投喂给稚鱼, 稚鱼在干露刺激后的存活率显著高于饵料未经营养强化组, 各实验组的稚鱼成活率差异为 D 组 > C 组 > B 组、G 组 > F 组 > E 组; 各实验组稚鱼在停饲后不同时间的存活率和 SAI 高于对照组, 各实验组黄姑鱼稚鱼存活率和 SAI 表现为 G 组 > F 组 > E 组 > D 组 > C 组 > B 组。这表明饵料经营养强化后可以显著提高稚鱼在干露刺激后的存活率以及停饲后不同时间的存活率, 即投喂经营养强化的饵料后, 可以显著增强黄姑鱼稚鱼的抗逆性。这与 Cavalli 等^[33]、王春琳等^[34]的研究结果相一致。本实验结果表明, 无论是轮虫还是轮虫 + 卤虫投喂方式, 经不同强化剂强化后, 黄姑鱼稚鱼的抗逆性差异显著, 裂殖壶菌强化组 (D 组和 G 组) 的黄姑鱼稚鱼抗逆性最强, 其次是乳化鱼油, 而浓缩小球藻最差。由于投喂卤虫的实验组黄姑鱼稚鱼生长性能提高显著, 稚鱼的个体增大显著, 鱼体更健壮, 因此其抗逆性也就明显增强。

综上所述, 对黄姑鱼仔稚鱼的饵料 (轮虫和卤虫无节幼体) 进行营养强化, 可以显著提高黄姑鱼仔稚鱼的生长性能和抗逆性, 其中, 采用裂殖壶菌强化的效果最好, 其次是用鱼油强化, 再次是用浓缩小球藻强化。在适宜的养殖阶段 (20 ~ 22 日龄) 进行饵料转换有利于提高黄姑鱼仔稚鱼的生长速度和抗逆性。

[参 考 文 献]

- [1] 张驰远, 杨晓璐, 刘刚健, 等. 名特优水产配合饲料 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1997: 141-180, 217-228.
- [2] 郑智莺, 苏跃中, 游岚, 等. 轮虫的营养强化对大黄鱼生长及成活率影响的试验 [J]. 台湾海峡, 1996, 15(增刊 1): 6-10.
- [3] 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.
- [4] 邱小琼, 周洪琪, 曾庆华, 等. 营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆仔鱼的成活、生长及体脂肪酸组成的影响 [J]. 水产科学, 2004, 23(2): 4-8.
- [5] 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, 13(3): 270-273.
- [6] 陈立侨. ω -3HUFA 对中华绒螯蟹幼体存活率及体脂肪酸组成的影响 [J]. 水产学报, 2000, 24(5): 448-452.
- [7] 王秀英, 邵庆均, 黄磊. n -3HUFA 强化培养的卤虫无节幼体在日本川鲷幼苗养殖中的应用效果 [J]. 水利渔业, 2003, 23(4): 31-33.
- [8] MENOYO D, LOPEZ-BOTE C J, DIEZ A, et al. Impact of n -3 fatty acid chain length and n -3/ n -6 ratio in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diets [J]. Aquaculture, 2007, 267(1/2/3/4): 248-259.
- [9] 马长兴, 王际英, 李宝山, 等. n -3/ n -6 HUFA 对许氏平鲉幼鱼生长、体组成及组织脂肪酸组成的影响 [J]. 水产学报, 2019, 43(10): 2138-2153.
- [10] 日本水产学会. 稚鱼的摄饵和发育 [M]. 蔡完其, 李思发, 译. 上海: 上海科技出版社, 1979: 1-120.
- [11] 荻野珍吉. 鱼类的营养和饲料 [M]. 陈国铭, 黄小秋, 译. 北京: 海洋出版社, 1987: 122-149.
- [12] BALLAER E V, AMATF, HONTORIA F, et al. Preliminary results on the nutritional evaluation of ω 3-HUFA-enriched *Artemia* nauplii for larvae of the sea bass, *Dicentrarchus labrax* [J]. Aquaculture, 1985, 49(3/4): 223-229.
- [13] LEMM A C, LEMARIE P D. Survival and growth of larval striped bass (*Morone saxatilis*) fed *Artemia* enriched with highly unsaturated fatty acids (HUFA) [J]. Aquaculture, 1991, 99(1/2): 117-126.

- [14] 王秋荣, 赵述建, 林利民, 等. 轮虫中 n-3HUFA 含量对大黄鱼仔稚鱼生长与存活的影响[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2010, 15(4): 262-266.
- [15] 张利民, 常建波, 张秀珍, 等. n-3 多价不饱和脂肪酸营养强化轮虫技术研究[J]. 水产学报, 1997, 21(4): 415-421.
- [16] MATSUNARI H, HASHIMOTO H, ODA K, et al. Effect of different algae used for enrichment of rotifers on growth survival and swim bladder inflation of larval amberjack *Seriola dumerili* [J]. *Aquacult Int*, 2012, 20(5): 981-992.
- [17] 谢仰杰, 郑金宝, 林锦宗, 等. 饵料对花尾胡椒鲷仔稚鱼存活和生长的影响[J]. 台湾海峡, 1998, 17(增刊1): 34-38.
- [18] 朱路英, 张学成, 宋晓金, 等. 碳、氮源浓度和培养时间对裂殖壶菌生长和脂肪酸组成的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2007, 37(2): 293-298.
- [19] 李浩洋, 班甲, 陈骏佳, 等. 日粮添加裂殖壶藻对鸡蛋 DHA 含量、品质及蛋鸡生产性能的影响[J]. 中国饲料, 2015(11): 37-39, 42.
- [20] 马静, 秦帮勇, 于朝磊, 等. 卤虫无节幼体的营养强化对半滑舌鳎稚鱼生长、消化酶及相关激素水平的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 35-43.
- [21] 宋晓金, 张学成, 朱路英, 等. 用富含 DHA 的裂殖壶菌对轮虫进行营养强化的研究[J]. 海洋科学, 2007(12): 43-46.
- [22] YAMASAKI T, AKI T, MORI Y, et al. Nutritional enrichment of larval fish feed with thraustochytrid producing polyunsaturated fatty acids and xanthophylls [J]. *Journal of Bioscience & Bioengineering*, 2007, 104(3): 200-206.
- [23] 张雅芝, 谢仰杰, 徐广丽, 等. 不同饵料条件下花尾胡椒鲷仔稚鱼的生长发育及存活[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2004, 9(1): 17-21.
- [24] 张雅芝, 胡家财, 谢仰杰, 等. 不同饵料对斜带髯鲷稚鱼生长和存活的影响[J]. 海洋科学, 2003, 27(1): 30-33.
- [25] 邱小琮, 周洪琪, 曾庆华, 等. 营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆仔鱼的成活、生长及体脂肪酸组成的影响[J]. 水产科学, 2004, 23(2): 4-8.
- [26] 徐同城, 朱艺峰. 轮虫营养强化技术研究进展[J]. 水产科学, 2005, 24(6): 42-45.
- [27] COUTTEAU P, GEURDEN I, CAMARA M R, et al. Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture [J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1/2/3/4): 149-164.
- [28] 黄周英, 陈彦, 谢仰杰, 等. 饲料卵磷脂对花尾胡椒鲷幼鱼生长的影响[J]. 泉州师范学院学报(自然科学版), 2005, 23(4): 89-93.
- [29] KANAZAWA A. Effects of docosahexaenoic acid and phospholipids on stress tolerance of fish [J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1/2/3/4): 129-134.
- [30] 尹彦强, 黄旭雄, 李伟微, 等. 不同强化剂及其剂量对褶皱臂尾轮虫成活率和脂肪酸组成的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(5): 532-538.
- [31] 李荷芳, 周汉秋. 海洋微藻脂肪酸组成的比较研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(1): 34-40.
- [32] 胡坤华, 王福平, 韦明利, 等. 三种不同强化剂对轮虫营养强化效果的研究[J]. 南方农业, 2017, 11(14): 82-85.
- [33] CAVALLI R O, BERGHE E V, LAVENS P, et al. Ammonia toxicity as a criterion for the evaluation of larval quality in the prawn *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2000, 125(3): 333-343.
- [34] 王春琳, 尹飞, 王武. 饵料卤虫的营养强化对黑斑口虾幼体消化酶活力及其抗逆性的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 778-784.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)