

微藻营养强化对卤虫生长和营养成分的影响

张跃群¹ 陈爱华² 张雨² 闫生荣¹ 王小红¹ 陆德祥¹

(1.南通科技职业学院 环境与生物工程学院,江苏南通 226007;

2.江苏省海洋水产研究所,江苏南通 226007)

摘要 为研究在培育水产经济动物苗种过程中投喂的营养强化的卤虫幼体,以促进苗种生长及提高存活率,本研究以卤虫(*Artemia* sp.)为研究对象,利用镜检、凯氏定氮和气相色谱等方法,测定了卤虫发育过程中的生物学体长、蛋白质以及 EPA(二十碳五烯酸)和 DHA(二十二碳六烯酸)含量,并选择采用湛江叉鞭金藻(*Dicrateria zhanjiangensis*)、亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)和小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)强化营养卤虫幼体(三龄期),检测了投喂 24 h 和 48 h 后卤虫幼体体长、蛋白质、EPA 和 DHA 含量。结果表明:随着卤虫幼体的发育,EPA 含量在 120 h 时显著降低;3 种微藻能促进卤虫幼体的生长,但不能提高其蛋白质含量;微藻强化 48 h 后,可以提高卤虫幼体 EPA 含量。上述结果说明微藻营养强化有利于提高卤虫幼体生长和 EPA 含量,其中以扁藻的强化效果最为显著。

关键词 卤虫;微藻;营养强化;生长

中图分类号 S963.21

文章编号 1007-4333(2018)08-0077-08

文献标志码 A

Effects of microalgae on the growth and nutrient enrichment of cultured *Artemia*

ZHANG Yuequn¹, CHEN Aihua², ZHANG Yu², YAN Shengrong¹, WANG Xiaohong¹, LU Dexiang¹

(1. Department of Environmental and Biological Engineering, Nantong College of Science and Technology, Nantong 226007, China;

2. Institute of Oceanology & Marine Fisheries of Jiangsu, Nantong 226007, China)

Abstract To investigate the effects of nutrients-enriched *Artemia nauplii* on the growth and survival rate of aquacultural seedlings during cultivation, *Artemia* is taken as study object in this study. The body length of *Artemia*, contents of crude proteins as well as EPA and DHA are determined or assayed by microscopy, Kjeldahl determination and gas chromatography methods during the development following cysts hatching. Three species of microalgae, *Dicrateria zhanjiangensis*, *Platymonas subcordiformis* and *Chlorella pyrenoidosa*, are used to feed *Artemia* from 3 instar stage. The body length of *Artemia*, contents of crude proteins as well as EPA and DHA at 24 h and 48 h following feeding tests are determined to evaluate the effects. The results show that: The EPA content of *Artemia* is reduced at 120 h following hatching. All the 3 species of microalgae are able to promote growth of *Artemia* rather than increase the contents of proteins. The enrichment with microalgae for 48 h is capable of elevating the content of EPA in *Artemia*. The results suggest that the enrichment of microalgae is beneficial for the *Artemia* growth and enhancement of EPA contents. Of three microalgae species tested, *P. subcordiformis* displays the best performance.

Keywords *Artemia*; microalgae; nutrient enrichment; growth

卤虫(*Artemia* sp.)属甲壳纲鳃足亚纲无甲目,具有地理分布广泛和耐盐耐温特性^[1]。因其具有良好的适口性以及较高的营养价值,卤虫幼体和成体

被作为水产动物苗种生产中的主要饵料^[2]。卤虫幼体目前被广泛用于经济虾蟹类和鱼类的苗种培育,如纽澳多刺岩龙虾(*Jasus edwardsii*)和白鲈

收稿日期:2017-12-20

基金项目:江苏省南通市科技计划项目(MS22015024)

第一作者:张跃群,教授,主要从事植物生理生态研究,E-mail:zyqntnx@sina.com

(*Morone chrysops*) 等^[3-4]。水产经济动物投喂卤虫,可以提高存活率,增强其对盐度和水温的应急能力,而卤虫蛋白质和脂肪含量以及组成成分起着关键的作用^[5-6]。与卤虫卵营养成分不同,孵化后的卤虫幼体和成体的蛋白含量和脂肪酸含量随着发育的行进发生变化^[7-8],尤其是 $\omega 3$ 不饱和脂肪酸含量^[9]。该营养成分因个体发育的自然改变,影响其在水产动物苗种生产中产量的稳定性。已有研究探索利用不同强化饵料以期提高卤虫的蛋白质和脂肪酸含量^[10]。

卤虫初孵无节幼体的蛋白含量在40%以上,脂肪含量在20%以上(干重),因不同品种和不同的测定方法略有差异^[11]。卤虫蛋白组成中必须氨基酸约占总氨基酸含量的0.48%,但其中的蛋氨酸含量较少。虽然卤虫不饱和脂肪酸含量较高,但孵化后的无节幼体均含少量的18:3 n-3和20:4 n-6,并缺乏22:6 n-3^[12-13]。海洋微藻作为卤虫的活体生物饵料,含有丰富的蛋白质含量和不饱和脂肪酸含量,用微藻强化饲养卤虫可以补充卤虫缺乏的营养成分^[14]。微拟球藻(*Nannochloropsis salina*)强化投喂卤虫,可以提高不饱和脂肪酸含量56.5%以上,其中花生四烯酸9.5%,EPA(二十碳五烯酸)25.8%,DHA(二十二碳六烯酸)4.18%,投喂效果要远远大于面包酵母^[15]。但同时也发现,微藻强化投喂后卤虫蛋白含量、脂肪酸含量以及碳水化合物含量之间存在负相关性变化^[14],这与微藻的品种、生长周期和投喂时间有关。虽然采用微藻强化饲养卤虫的研究很多,但仅限于不饱和脂肪酸含量的富集研究,而对卤虫的蛋白质和脂肪酸的均衡营养评价较少,为进一步了解微藻强化投喂对卤虫生长和营养价值的影响,本研究选取3种常用微藻对孵化卤虫进行了投喂,并对其生物学长度、蛋白质含量、EPA和DHA含量进行了分析,以期在水产经济动物苗种生产过程中,微藻强化投喂卤虫的品种选择、强化时间和效果等提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用卤虫(*Artemia* sp.)由渤海湾盐田卤虫卵孵化。试验所用湛江叉鞭金藻(*Dicrateria zhanjiangensis*)、亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)和小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)取自江苏省海洋水产研究所。

生物摄影显微镜(NikonE2400)、冷冻离心机(BK-DL-5M)、安捷伦7890B-7000C气质联用仪等。

1.2 试验方法

1.2.1 微藻培养

湛江叉鞭金藻、亚心形扁藻和小球藻培养基参照陈明耀等^[16],采用自然光照,水温24~26℃。经过4天培养,每毫升微藻饵料中细胞的密度分别达到 300×10^4 、 15×10^4 和 500×10^4 个。

1.2.2 卤虫孵化

100 L孵化桶中加入盐度30‰的海水。准确称取卤虫卵10 g放入孵化桶中充气孵化,孵化温度28℃。

1.2.3 卤虫接种

卤虫孵化后,分离并选出健康的无节幼体用于营养强化试验,卤虫初始接种密度为1000 ind/L,置于40 L白色塑料桶内进行培育,每天50%换水,实验过程采取微充气。

1.2.4 强化投喂

卤虫发育至三龄期(培养时间72 h),采用不同微藻饵料营养强化试验。试验设4种饵料处理,以不投喂饵料组为对照,各设3个平行组。4种饵料分别为湛江叉鞭金藻、亚心形扁藻、小球藻、混合藻(湛江叉鞭金藻+亚心形扁藻+小球藻)。初次投喂量为每毫升微藻饵料中细胞的密度湛江叉鞭金藻 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ 个,亚心形扁藻 0.5×10^4 个,小球藻 $8 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ 个,混合藻按照单种藻的1/3来投喂。定时测定饵料密度,及时补加微藻饵料。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 卤虫体长测量

每试验样品随机取30只卤虫,镜检测量幼体体长,计算平均体长。

1.3.2 蛋白质、EPA和DHA含量测定

采收不同时间点的卤虫幼体,0.1 M的PBS(pH7.4)冲洗3次,-20℃保存,用于后续检测。蛋白质含量测定采用凯氏定氮法(GB 5009.5—2010)。EPA、DHA含量测定:甲醇(3%浓硫酸)、正己烷与样品体积比例(10:10:1)加入反应器,70℃冷凝回流反应2 h。冷却,倒入分液漏斗静置,取正己烷层,60℃旋转蒸发。用色谱纯正己烷定容,过膜进样。气相条件:色谱柱:HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)。进样口温度:250℃,进样量1.0 μL,不分流。载气:He,流速:1.2 mL/min。升温程序:100℃(保持5 min)以

4 °C/min 升至 240 °C(保持 20 min)。MSD 传输线 250 °C。质谱条件: 电离源, EI 离子源, 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C, 电离能量 70 eV, 全扫描模式, 质量范围(m/z): 50~500。定量方法: 峰面积百分比法。

1.4 数据分析

将测得的数据进行方差分析, 并进行多重比较 ($P < 0.01$ 表示差异极显著, $P < 0.05$ 表示差异显著)。

2 结果与分析

2.1 卤虫幼体不同发育时期体长、蛋白质、EPA 及 DHA 含量变化

卤虫的发育分期多以龄表示, 性成熟前每蜕皮 1 次即为一龄, 孵化卤虫在三龄期消化道才具备生理功能开始摄食^[17]。在卤虫发育一龄早期(培养 24 h)、一龄后期(培养 34 h)、三龄早期(培养 54 h)、三龄后期(培养 72 h)、培养 96 h、培养 120 h 等 6 个时间点, 测量幼体平均体长。结果表明, 幼体在培养前 3 天体长增加较快, 由 0.432 mm 增加到 0.808 mm, 平均日增长 0.125 mm; 4 天后增长幅度减小, 达到体长平台期(表 1)。

表 1 卤虫幼体不同时期体长

Table 1 Body length of *Artemia* at different developmental stages

培养时间/h Culture time	体长/mm Body length
24	0.432±0.002
34	0.504±0.006
54	0.747±0.041
72	0.808±0.016
96	0.820±0.021
120	0.812±0.006

卤虫幼体不同发育时期蛋白质含量存在一定变化。一龄至三龄期(培养 24 至 72 h)幼体蛋白质含量差异不大。随着发育的进行, 蛋白含量逐渐增加, 发育第 4 天和第 5 天, 幼体蛋白质含量分别达到 56% 和 59.8%(干重)(表 2)。

表 2 卤虫幼体不同时期蛋白质质量分数(干重)

Table 2 Contents of crude proteins (DW) in *Artemia* at different developmental stages

培养时间/h Culture time	蛋白质含量/% Percentage of protein
24	53.0±3.61
34	53.2±1.14
54	52.2±3.53
72	54.0±3.46
96	56.0±2.65
120	59.8±1.59

对卤虫幼体不同发育时期不饱和脂肪酸 EPA 含量的测定结果发现, EPA 含量随着发育时期的不同发生显著的变化。一龄期的 EPA 含量占总脂肪酸含量的 1.97%, 此后逐渐增加, 到发育 96 h, 含量达到最高值为 3.34%, 随后有所下降, 为 2.59%(表 3)。

表 3 卤虫幼体不同时期 EPA 含量

Table 3 Contents of EPA in *Artemia* at different developmental stages

培养时间/h Culture time	EPA 占总脂肪酸比例/% Percentage of EPA in total fatty acids
24	1.97±0.021
34	2.30±0.067
54	2.98±0.012
72	2.93±0.072
96	3.34±0.107
120	2.59±0.076

卤虫幼体不同时期未能检测到 DHA 含量。

2.2 微藻的蛋白质、EPA 及 DHA 含量

3 种微藻培养至投喂所需密度, 离心收集, 分别测定其蛋白质、EPA 和 DHA 含量。结果表明: 3 种微藻中, 小球藻蛋白质、EPA 和 DHA 的含量最高, 分别为 38.4%、11.3% 和 4.87%; 扁藻的蛋白质、EPA 含量次之, 分别为 34.5% 和 8.63%; 金藻蛋白质、EPA 含量略低于扁藻, 但 DHA 含量高于扁藻, 达到 3.12%(表 4)。

表4 微藻营养成分含量

Table 4 Contents of microalgae nutrients

%

品种 Breed	蛋白质含量(干重) Content of crude proteins (DW)	EPA 占总脂肪酸比例 Percent age of EPA in total fatty acids	DHA 占总脂肪酸比例 Percentage of DHA in total fatty acids
小球藻 <i>Chlorella pyenoidosa</i>	38.4±1.78	11.33±0.365	4.87±0.082
亚心形扁藻 <i>Platymonas subcordiformis</i>	34.5±2.03	8.63±0.452	2.14±0.031
湛江叉鞭金藻 <i>Dicrateria zhanjiangensis</i>	33.6±1.63	7.25±0.214	3.12±0.028

2.3 微藻营养强化对卤虫体长的影响

卤虫孵化发育至三龄期,采用湛江叉鞭金藻、亚心形扁藻和小球藻强化投喂卤虫 24 h 和 48 h。保持每毫升微藻饵料中细胞的密度分别为 $3\sim 4\times 10^4$ 、 0.5×10^4 和 $8\sim 10\times 10^4$ 个。强化投喂 24 h 后,卤虫幼体体长与对照组相比(未投喂组)略有增加,但没有

显著差异($P>0.05$);投喂 48 h 后,卤虫幼体生长速度明显加快,体长显著增加,各投喂组体长极显著大于对照($P<0.01$),在 3 种强化藻类中,投喂扁藻对卤虫幼体生长的促进作用最为明显,平均体长达到 0.935 mm;其次是小球藻,为 0.882 mm(表 5,图 1)。该结果提示,微藻强化投喂促进卤虫幼体生长。

表5 微藻营养强化对卤虫体长的影响

Table 5 Effects of microalgae on the body length of *Artemia*

mm

处理 Treatment	投喂 24 h Nutrient enrichment time 24 h	投喂 48 h Nutrient enrichment time 48 h
CK	0.820±0.021	0.812±0.006
小球藻 <i>Chlorella pyenoidosa</i>	0.847±0.033	0.882±0.012
亚心形扁藻 <i>Platymonas subcordiformis</i>	0.858±0.024	0.935±0.012
湛江叉鞭金藻 <i>Dicrateria zhanjiangensis</i>	0.831±0.010	0.860±0.013
混合藻 Mixed microalgae	0.832±0.012	0.876±0.022

注: * 和 ** 分别表示差异在 0.05 和 0.01 水平。下同。

Note: * and ** mean differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same bellow.

2.4 微藻营养强化对卤虫蛋白质含量的影响

采用同样方法微藻强化投喂卤虫 24 h 后,除扁藻组外,其他各组卤虫幼体中的蛋白含量略有下降,金藻

组下降最为显著($P<0.05$),而小球藻组和混合组则没有显著差异;投喂 48 h 后,各组卤虫幼体中蛋白质含量除扁藻组外,下降均较为显著($P<0.05$)(表 6,图 2)。

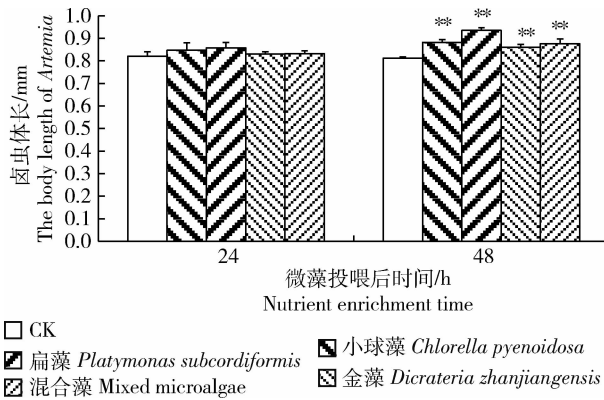


图 1 微藻营养强化对卤虫体长的影响

Fig. 1 Effects of microalgae on the body length of *Artemia*

表 6 微藻营养强化对卤虫蛋白质含量(干重)的影响

Table 6 Effects of microalgae on the protein contents (DW) of *Artemia* %

处理 Treatment	投喂 24 h Nutrient enrichment time 24 h	投喂 48 h Nutrient enrichment time 48 h
CK	56.0 ± 2.65	59.8 ± 1.59
小球藻 <i>Chlorella pyenoidosa</i>	55.8 ± 2.03	56.0 ± 1.83
亚心形扁藻 <i>Platymonas subcordiformis</i>	56.7 ± 1.67	59.0 ± 1.11
湛江叉鞭金藻 <i>Dicrateria zhanjiangensis</i>	53.1 ± 2.01	57.5 ± 1.04
混合藻 Mixed microalgae	55.0 ± 1.73	58.6 ± 2.12

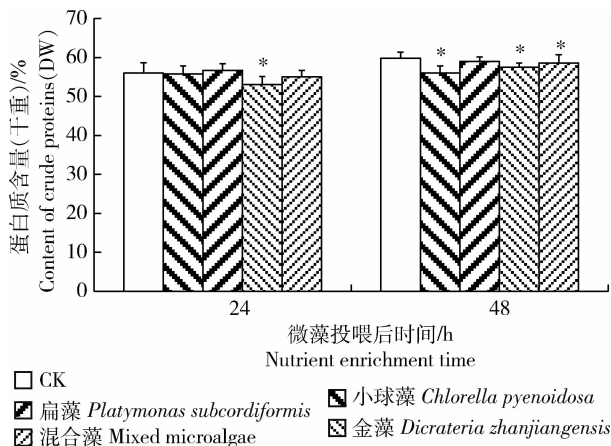


图 2 微藻营养强化对卤虫蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effects of microalgae on the protein contents of *Artemia*

2.5 微藻营养强化对卤虫 EPA 和 DHA 含量的影响

不同微藻饵料投喂卤虫 24 h 后, 卤虫幼体中 EPA 含量发生变化, 小球藻组卤虫幼体中 EPA 含量显著高于对照 ($P < 0.05$), 而扁藻组显著低于对照 ($P < 0.05$), 混合藻组极显著低于对照 ($P < 0.01$); 微藻饵料投喂 48h 后, 卤虫幼体中 EPA 含量显著增加, 各投喂组 EPA 含量均极显著高于对照 ($P < 0.01$), 其中扁藻组含量最高, 为 3.46%, 其次是小球藻组, 为 3.36%, 而混合藻组 EPA 含量升高幅度较低, 为 2.86% (图 3, 表 7)。结果提示微藻营养强化有利于促进卤虫幼体 EPA 含量的增加。

表7 微藻营养强化对卤虫 EPA 含量的影响

Table 7 Effects of microalgae on the EPA contents of *Artemia* %

处理 Treatment	EPA 占总脂肪酸比例 Percentage of EPA in total fatty acids	
	投喂 24 h Nutrient enrichment time 24 h	投喂 48 h Nutrient enrichment time 48 h
	CK	3.34±0.107
小球藻 <i>Chlorella pyenoidosa</i>	3.50±0.068	3.36±0.065
亚心形扁藻 <i>Platymonas subcordiformis</i>	3.13±0.153	3.46±0.050
湛江叉鞭金藻 <i>Dicrateria zhanjiangensis</i>	3.37±0.035	3.03±0.047
混合藻 Mixed microalgae	2.97±0.010	2.86±0.140

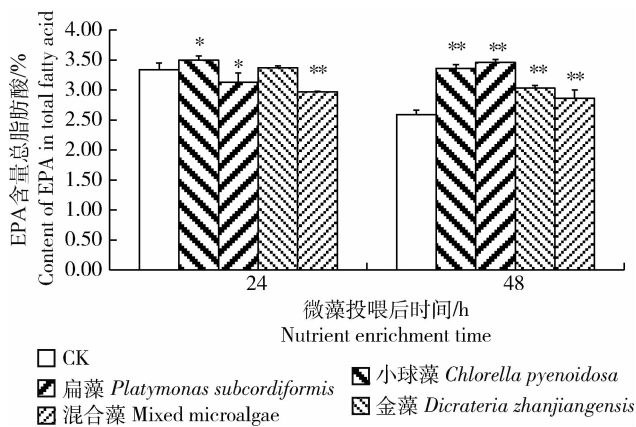


图3 微藻营养强化对卤虫 EPA 含量的影响

Fig. 3 Effects of microalgae on the EPA contents of *Artemia*

金藻投喂卤虫 24 h 后,未能检测到卤虫幼体 DHA 含量;投喂 48 h 后,DHA 含量为 0.357%。其它强化投喂组的卤虫幼体中均未能检测到 DHA 含量。

3 讨论与结论

蛋白质和不饱和脂肪酸含量对水产经济动物苗种生长和存活率具有显著的影响。降低饵料中蛋白含量将会影响仔鱼的增重率、饲料转化率以及存活率等^[18]。同样,如果饵料中缺乏不饱和脂肪酸尤其

是 EPA 和 DHA,一些鱼类如白鲈的生长将减少超过 50%^[4]。虽然人工合成饵料中添加蛋白质和不饱和脂肪酸含量可以适度促进苗种生长,但是易污染水质以及难以控制均衡营养。因此,采用卤虫幼体等活体饵料培育水产经济动物苗种,大大提高幼苗的存活率、体长、体重、抗感染力和缺氧耐受力等指标^[19]。

卤虫幼体蛋白质效率与其它饵料动物相比,粗蛋白含量适中,低于短额刺糠虾,但高于强壮藻钩虾等^[7]。虽然卤虫幼体的总脂肪含量较高,但其中的长链不饱和脂肪酸含量远远低于其它饵料动物,尤其是 EPA 和 DHA 含量,原因是卤虫幼体内易于合成短链不饱和脂肪酸^[12]。因此,生产中常常采用营养强化方式补充卤虫幼体中的蛋白质和长链不饱和脂肪酸含量。但生化检测结果表明,不同饵料的强化饲养,导致卤虫幼体体内蛋白质、脂肪(酸)和碳水化合物的含量发生非均衡性变化。如浮游生物 *Tetraselmis suecica* 喂养卤虫,可以提高蛋白质含量,但同时降低脂肪和碳水化合物含量^[14]。因此采用合适的饵料有针对性地提高卤虫幼体体内某一成分的营养强化卤虫的根本途径。本文研究结果表明,湛江叉鞭金藻、亚心形扁藻和小球藻营养强化卤虫幼体,尽管不能提高卤虫幼体的蛋白含量和 DHA 含量,但可以促进卤虫幼体生长和 EPA 的积

累,为增加水产经济动物的饵料生物量及促进存活率提供了藻类品种选择。

卤虫的营养强化效果除了与饵料本身的营养成分有关外,还与饵料所处的生长周期、适口性、消化率及食物转化等相关^[14]。黄旭雄等采用 5 种不同饵料强化卤虫 6 和 12 h,研究发现小球藻对卤虫幼体中的 EPA 和 DHA 强化效果不明显^[10]。本研究结果表明,小球藻可以显著提高卤虫幼体 EPA 含量,但减少卤虫幼体内的粗蛋白含量。这种差别可能是由于强化时间的差异或是藻类投喂时所处于的不同生长周期。此外,研究发现投喂混合藻与投喂单种藻类相比,在提高卤虫幼体的体长、蛋白含量以及 EPA 含量方面没有显著效应,EPA 含量甚至略有降低。这可能与卤虫对饵料的适口性选择有关,而混合藻中某一单种藻类浓度减少。

分析 3 种微藻营养强化卤虫幼体,发现在促进卤虫幼体生长方面,其效果为扁藻组>小球藻组>混合藻组>金藻组(48 h);在提高 EPA 含量方面,扁藻组>小球藻组>金藻组>混合藻组(48 h)。投喂上述饵料均会导致卤虫粗蛋白含量的降低。因此,在微藻营养强化卤虫幼体过程中,可适量补充高蛋白含量的其它饵料。尽管小球藻蛋白质、EPA 和 DHA 的含量最高,但其促卤虫幼体生长和提高 EPA 含量方面不及扁藻,可能与小球藻厚的细胞壁不易于消化有关。本试验选择了 3 种代表性微藻进行了试验,从卤虫生长、蛋白质含量、EPA 和 DHA 含量进行了综合考虑,该结果为卤虫的营养强化方式提供了参考。

参考文献 References

- [1] Triantaphyllidis G V, Abatzopoulos T J, Sorgeloos P. Review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca)[J]. *Journal of Biogeography*, 1998, 25(2): 213-226
- [2] 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
- [3] Ritar A J, Dunstan G A, Crear B J, Brown M R. Biochemical composition during growth and starvation of early larval stages of cultured spiny lobster (*Jasus edwardsii*) phyllosoma[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2003, 136(2): 353-370
- [4] Harel M, Place A R. Tissue essential fatty acid composition and competitive response to dietary manipulations in white bass (*Morone chrysops*), striped bass (*M saxatilis*) and hybrid striped bass (*M chrysops* × *M saxatilis*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2003, 135(1): 83-94
- [5] Jalali M A, Hosseini S A, Imanpour M R. Physiological characteristics and stress resistance of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles fed with vitamins C, E, and HUFA-enriched *Artemia urmiana* nauplii [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2010, 36(3): 555-564
- [6] Lund I, Skov P V, Hansen B W. Dietary supplementation of essential fatty acids in larval pikeperch (*Sander lucioperca*); short and long term effects on stress tolerance and metabolic physiology [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2012, 162(4): 340-348
- [7] 彭瑞冰, 蒋霞敏, 乐可鑫, 高秀芝, 罗江, 唐锋. 5 种饵料动物的营养成分分析及评价 [J]. *水产学报*, 2014, 38(2): 257-264
Peng R B, Jiang X M, Le K X, Gao X Z, Luo J, Tang F. Nutritive composition and evaluation of five food animals [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 257-264 (in Chinese)
- [8] 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): 46-64
Sui L Y, Wang J. Biometrics and nutritional composition analysis of different *Artemia* cysts [J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 2014, 29(1): 46-64 (in Chinese)
- [9] Ito M K, Simpson K L. The biosynthesis of omega 3 fatty acids from 18: 2 omega 6 in *Artemia spp* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1996, 115(1): 69-76
- [10] 黄旭雄, 王瑞, 吕耀平, 周洪琪. 不同强化饵料对卤虫必需脂肪酸组成的影响 [J]. *水产科学*, 2015, 24(10): 1-4
Huang X X, Wang R, Lv Y P, Zhou H Q. The effects of enrichments on essential fatty acids of cultured *artemia* [J]. *Fisheries Science*, 2015, 24(10): 1-4 (in Chinese)
- [11] Maldonado-Montiel T D, Rodríguez-Canché L G. Biomass production and nutritional value of *Artemia sp* (*Anostraca: Artemiidae*) in *Capeche, México* [J]. *Revista de Biología Tropical*, 2005, 53(3-4): 447-454
- [12] Reis D B, Acosta N G, Almansa E, Navarro J C, Tocher D R, Andrade J P, Sykes A V, Rodríguez C. Comparative study on fatty acid metabolism of early stages of two crustacean species: *Artemia sp. metanauplii* and *Grapsus adscensionis* zoeae, as live prey for marine animals [J]. *Comparative Biochemistry*

- and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2017, 204:53-60
- [13] 曾庆华,周洪琪,黄旭雄,丁卓平. 我国六个产地卤虫初孵无节幼体的营养价值[J]. 上海海洋大学学报, 2001, 10(3): 213-217
Zeng Q H, Zhou H Q, Huang X X, Ding Z P. Nutritional value of new hatched *Artemia nauplii* of six geographic strains in China[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10(3): 213-217 (in Chinese)
- [14] Fábregas J, Otero A, Domínguez A, Patiño M. Growth rate of the microalga *tetraselmis suecica* changes the biochemical composition of *Artemia* species [J]. *Marine Biotechnology (New York)*, 2001, 3(3): 256-263
- [15] Chakraborty R D, Chakraborty K, Radhakrishnan E V. Variation in fatty acid composition of *Artemia salina nauplii* enriched with microalgae and baker's yeast for use in larviculture[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(10): 4043-4051
- [16] 陈明耀. 生物饵料培养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 27-37
Chen M Y. *Live Food Cultivatology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 27-37 (in Chinese)
- [17] 廖承义, 欧毓麟, 程樱. 卤虫的发育与蜕皮[J]. 中国海洋大学学报, 1990, 20(2): 70-79
Liao C Y, Ou Y L, Cheng Y. The development and molt of *Artemia parthenogenetica* [J]. *Journal of Ocean University of China*, 1990, 20(2): 70-79 (in Chinese)
- [18] 周晖, 陈刚, 古滨河, 董晓慧. 饲料中的玉米蛋白质对军曹鱼幼鱼蛋白质生长的贡献率[J]. 动物营养学报, 2013, 25(11): 2633-2642
Zhou H, Chen G, Gu B H, Dong X H. Contribution rate of dietary corn protein to protein growth of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* L) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(11): 2633-2642 (in Chinese)
- [19] 朱丽岩, 郑家声, 王梅林, 祁自忠, 徐怀恕. 不同饵料及添加剂对中国对虾幼体的影响[J]. 海洋科学, 2000, 24(11): 41-45
Zhu L Y, Zheng J S, Wang M L, Qi Z Z, Xu H H. The effects of different foods and additives on the health of larvae of *Penaeus chinensis* [J]. *Marine Sciences*, 2000, 24(11): 41-45 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东