

文章编号: 1674-5566(2015)03-0350-07

利用循环水养殖固体废弃物进行卤虫幼体营养强化的效果研究

罗国芝^{1,2,3}, 姚妙兰¹, 鲁璐¹, 姜瑞¹, 吴万浩¹, 谭洪新^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海高校知识服务平台 上海海洋大学水产动物育种中心, 上海 201306)

摘要: 研究了在悬浮式生物反应器中利用养殖固体废弃物产生的细菌悬浊液孵化卤虫的效果。结果表明, 利用生物絮体悬浊液孵化卤虫的存活率均高于人工海水孵化组, 且卤虫个体长度 (953.41 ± 55.64) μm 大于人工海水孵化组的卤虫个体长度 (916.31 ± 73.43) μm 。生物絮体悬浊液孵化的卤虫的二十碳五烯酸 (EPA) 和二十二碳六烯酸 (DHA) 含量分别为 ($12.00\% \pm 1.28\%$) 和 ($1.72\% \pm 0.07\%$), 均高于人工海水孵化的卤虫。本研究认为, 利用养殖固体废弃物生产的生物絮体可以用来营养强化卤虫。

研究亮点: 利用养殖固体废弃物培养形成的生物絮体悬浊液, 营养强化卤虫, 使卤虫达到较高的存活率和较快的生长速度, 并通过测定卤虫营养成分中的脂肪酸, 得出生物絮体能够营养强化卤虫的结论, 既为卤虫营养强化寻找了一种价格低廉的原料, 也是一种水产养殖固体废弃物资源化利用的有效途径。

关键词: 卤虫; 营养强化; 生物絮体; 养殖固体废弃物

中图分类号: S 963.1

文献标志码: A

卤虫幼体和成虫均含有丰富的营养物质, 是鱼类和甲壳类及其幼体的优质饵料^[1-2], 但在营养方面存在缺陷, 可通过营养强化提高卤虫的营养价值^[3]。常用的卤虫营养强化原料包括微藻、鱼油、脂质体等^[4]。

由于水生动物特殊的代谢特性, 投喂 1 kg 饲料可以产生 162 g 养殖固体废弃物^[5]。循环水养殖系统中可以收集养殖固体废弃物进行厌氧消化产甲烷、堆肥或者作为养殖用水反硝化碳源^[6-7]。生物絮凝技术通过刺激异养细菌优势生长, 同化利用氨氮, 形成可被水生动物摄食的微生物絮团, 可将养殖水体中的氨氮升级为微生物蛋白, 实现养殖废弃物中氮的二次利用和养殖水体的原位控制^[8]。目前生物絮凝技术已经成功应用于罗非鱼和对虾的养成等^[9]。针对卤虫非选择性滤食的特点, 将残饵粪便培养形成的生物絮凝体作为卤虫幼体的饵料来源, 既有利于摄食卤虫的水产动物幼体的生长, 又能够避免残饵粪便中的营养物质直接排入水中造成的浪费及水质污

染^[10-11]。因此, 本实验将生物絮凝技术应用于水产养殖领域中卤虫的营养强化, 既能为卤虫营养强化寻找廉价的原料, 也可实现水产养殖固体废弃物的资源化利用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

卤虫卵来自于美国旧金山大盐湖。生物絮体由上海海洋大学循环水养殖系统中心实验室利用水产养殖固体废弃物培养所得。水质测试所用药品均为分析纯, 来自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 生物絮体的培养

残饵和粪便取自养殖高体革鲮 (*Scortum barcoo*) 的循环养殖系统的沙滤缸。

实验用 5 个悬浮式生物反应器作为生产生物絮凝体的装置。反应器为有机玻璃材质、桶状, 有效体积为 10 L, 高为 100.0 cm, 内径 15.0

收稿日期: 2014-11-28 修回日期: 2015-03-10

基金项目: 上海工程技术中心能力提升项目(13DZ2280500); 上海市虾类产业技术体系建设项目[沪农科产字(2014)第5号]

作者简介: 罗国芝(1974—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为养殖用水重复利用和循环水养殖系统与工程。E-mail: gzhluo@shou.edu.cn

cm,外径 15.8 cm。用 1 台 135 W、曝气量为 100 L/min 的空气压缩泵 (ACO-008,森森有限公司,浙江,中国)分装 5 个沸石曝气头(每个反应器一个)以提供溶解氧和混合强度。

残饵粪便在进入 SBR 反应器之前先进行预处理。取 5 个 500 mL 的锥形瓶,每个锥形瓶中放入 25 g 残饵粪便、200 mL 自来水连续曝气 72 h。将曝气后的悬浊液完全转入洁净的 SBR 反应器,加水至 10 L,放入曝气石用磁式空气泵曝气,采取连续曝气方式以提供有氧环境。培养过程中,附着在悬浮式生物反应器壁上的生物絮体,采用手动刷洗的方式定期去除。每日需向反应器中加一定水量,以补充曝气导致的蒸发失水及实验检测失水。不定期添加葡萄糖,使水体中

溶解有机碳与氨氮的比值(DOC/TAN)保持 15 以上^[12]。培养 40 d 后,测得絮体粗蛋白含量为 28.52% ± 1.72%,粗纤维含量为 5.73% ± 0.49%,粗灰分含量为 11.62% ± 2.08%。开始投喂卤虫。

1.2.2 生物絮凝体悬浮液和人工海水的配制

从序批式生物絮凝反应器中取出培养成熟的生物絮体悬浮液,定容到 1 L,测得 TSS 为 344.7 mg/L。加入海水晶,将盐度调节为 30 左右,并加入 1 mL 微量元素浓缩液(表 1),pH 调节为 7 左右^[11]。

取 1 L 超纯水,加入海水晶,将盐度调节为 30 左右,并加入 1 mL 微量元素浓缩液(表 1),pH 调节为 7 左右,配制为人工海水备用。

表 1 微量元素浓缩液

Tab. 1 The concentrate solution of microelement

MgSO ₄ · 7H ₂ O	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	CaCl ₂ · 2H ₂ O	MnCl ₂ · 4H ₂ O	CoCl ₂ · 6H ₂ O	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	FeSO ₄ · 7H ₂ O	CuSO ₄ · 7H ₂ O	超纯水 ultra-pure water
10 g	2.2 g	7.3 g	2.5 g	0.5 g	0.5 g	5 g	0.2 g	1 L

1.2.3 实验设计

取 10 个容量为 1 L 的烧杯作为卤虫孵化器,将卤虫孵化器用 300 mg/L 高锰酸钾溶液浸泡 5

min,用海水冲洗干净。将孵化器分为 2 组,每组 5 个平行。孵化器中的条件设计见表 2。

表 2 实验条件设计

Tab. 2 The design of experiments

组号 group number	人工海水/L artificial seawater	生物絮凝体悬浮液 /L bio-floc suspension	TAN /(mg/L) total Ammonia	NO ₂ -N /(mg/L) nitrite	NO ₃ -N /(mg/L) nitrate	温度/°C temperature	pH	溶解氧 /(mg/L) DO
1	0	1	2.96	0.66	7.03	24.97	7.78	7.50
2	1	0	2.62	0.68	6.17	24.47	7.86	7.39

每升水放 3 g 卤虫卵,连续曝气 24 h。24 h 后减少充气量。每天取样进行显微镜观察。

1.3 实验方法

水质 pH、溶解氧 (DO)、温度 (T)、盐度 (SAL) 等参数使用 YSI 多参数水质测量仪 (YSI Incorporated 1725, Yellow Springs, 美国)测定。TAN, NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N, 总氮 (TN) 以《水和废水监测分析方法》第四版为参考^[13]。

总脂的提取参照 FOLCH 等^[14]的方法,脂肪酸分析采用毛细管气相色谱法^[15]。所用气相色谱仪为 HP6890A 型气相色谱,毛细管柱为 30.0

m × 0.32 mm × 0.25 μm (温度上限为 325 °C) 的 HP-5.5% Phenyl Methyl Siloxane, 载气为高纯度氮,流量为 1.9 mL/min,氢气流量为 30 mL/min,空气流量为 300 mL/min,型号为 Agilent19091J-413。

2 结果与分析

2.1 卤虫的存活率

图 1 为生物絮凝体强化组和人工海水孵化组中卤虫的存活率。由图 1 可知,生物絮凝体强化组第 1 天的存活率为 61% ± 1%,第 5 天的存

活率为 $70\% \pm 2\%$; 而人工海水孵化组第 1 天的存活率为 $57\% \pm 1\%$, 第 5 天的存活率为 $52\% \pm 1\%$ 。在第 1 天, 两组的存活率相差不大, 在第 5 天, 生物絮凝体强化组的卤虫存活率大于人工海水孵化组。

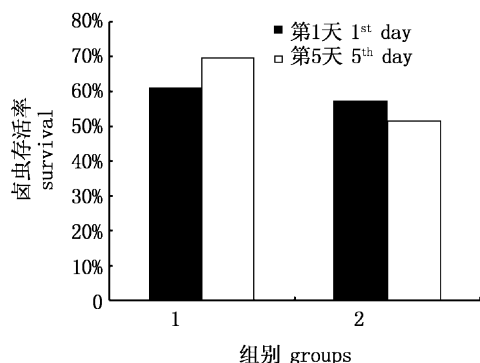


图 1 不同实验组中卤虫的存活率

Fig. 1 The survival rates of Artemia in different experiment groups

第 1 组为生物絮凝体强化组, 第 2 组为人工海水孵化组。

Group 1: The artificial seawater; Group 2: The bioflocs group.

2.2 卤虫的体长

图 2 为生物絮凝体强化组和人工海水孵化组中卤虫的体长。在第 1 天和第 2 天, 生物絮凝体强化组的卤虫体长略高于人工海水孵化组的卤虫。而第 3 和第 4 天, 则是人工海水孵化组的卤虫体长略高于生物絮凝体强化组的卤虫。第五天, 生物絮凝体强化组的卤虫体长达到 $(953.41 \pm 55.64) \mu\text{m}$, 人工海水孵化组的卤虫体长达到 $(916.31 \pm 73.43) \mu\text{m}$ 。生物絮凝体强化组的卤虫体长高于人工海水孵化组的卤虫。

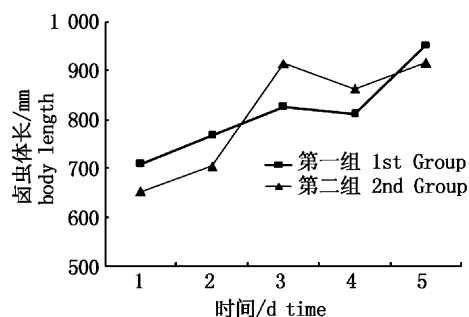


图 2 孵化过程中不同实验组卤虫的体长变化

Fig. 1 The variation of body length during hatch

2.3 卤虫和生物絮体的形态

由图版可见, 培养的生物絮凝体呈淡黄褐色, 形状开放不规则, 结构非常松散, 粒径为 $10 \sim$

$400 \mu\text{m}$ 之间, 这与 AZIM 和 LITTLE^[16] 的研究结果描述相似。人工海水组内水体无较多其他物质可被卤虫摄食, 而生物絮凝体悬浊液组中, 则含有丰富的絮凝体等可供卤虫幼体摄食。通过显微镜观察, 看到第 5 天人工海水孵化的卤虫肠道内容物较少, 而生物絮凝体悬浮液强化的卤虫肠道内容物较多。表明卤虫可以摄食絮体或悬浊液中内容物。

2.4 生物絮凝体和卤虫的脂肪酸含量

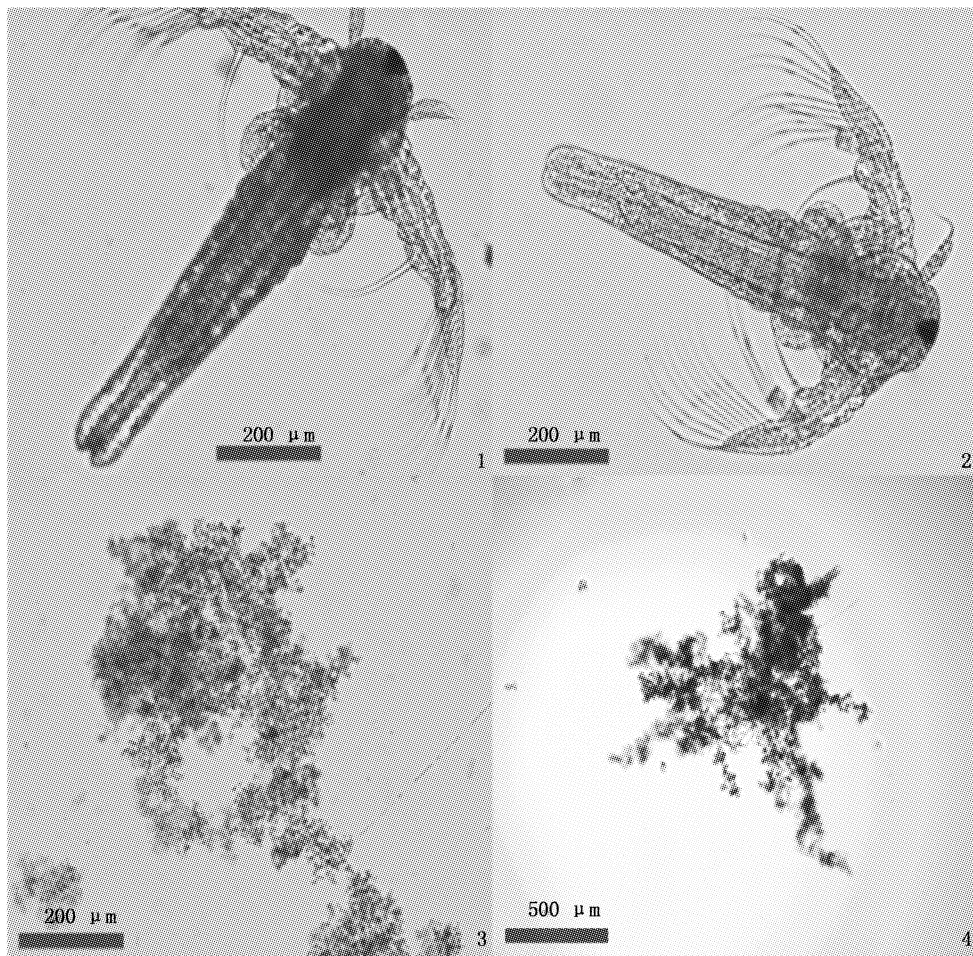
表 3 为生物絮凝体和分别用生物絮凝体悬浊液与人工海水强化的卤虫的脂肪酸含量。由表 3 可知, 卤虫脂肪酸组成主要包括饱和脂肪酸 C16:0、单不饱和脂肪酸 16:1n9、18:1n9、18:1n5 和多不饱和脂肪酸 EPA。生物絮凝体中检测出 17 种脂肪酸, 而生物絮凝体悬浊液强化的卤虫与人工海水强化的卤虫分别检测出 13 种和 12 种脂肪酸。生物絮凝体的脂肪酸种类相对比较丰富, 说明生物絮凝体的营养价值较高。强化的两组卤虫体内, 五种必需脂肪酸十八碳二烯酸 18:2n6、十八碳三烯酸 18:3n6、二十碳四烯酸 (ARA)、二十碳五烯酸 (EPA)、二十二碳六烯酸 (DHA)^[17] 的含量均为经过生物絮凝体悬浊液强化组高于人工海水孵化组, 可见生物絮凝体对卤虫的强化起到了一定的作用。一般情况下, EPA 和 DHA 对养殖对象幼体的生长影响较大, 加入生物絮凝体悬浮液的实验组中, 卤虫体内 EPA 和 DHA 含量较高, 分别达到 12.00% 和 1.72%。可见, 生物絮体悬浮液可以强化卤虫营养。

3 讨论

生物絮凝体是由微生物、藻类、原生动物及其他碎屑、有机颗粒组成的, 含有丰富的营养物质及不饱和脂肪酸 EPA、DHA 及 PHB 等^[18]。在水产养殖生产中应用生物絮凝技术 (Bio-flocs Technology, BFT), 可以将养殖过程中产生的固体颗粒物转化为可被部分养殖对象重新摄食的絮体饵料, 解决养殖过程中的水质净化问题, 并实现蛋白质的重复利用^[19]。絮体的粒径在 $1 \mu\text{m}$ 到数千 μm 之间, 而卤虫是无选择性滤食的浮游动物, 可以滤食粒径为 $1 \sim 50 \mu\text{m}$ 之间的颗粒物。因此, 卤虫可以摄食部分生物絮凝体, 利用生物絮凝体悬浊液营养强化卤虫是可行的。本实验中, 通过显微镜观察, 在第 5 天生物絮凝体悬浮

液强化的卤虫肠道内容物比人工海水孵化的卤虫肠道内容物明显增多。表明卤虫可以摄食絮体或悬浊液中内容物。实验结果为卤虫在第 5 天存活率为 69.70%,表明卤虫在生物絮凝体环境中可以生存。廖永岩等^[20]研究发现,在一定范围内,卤虫存活率、体长和体重均随饵料密度的增加而逐渐增加,本实验中,人工海水水体中可供卤虫摄食的颗粒物较少,而生物絮凝体悬浊液中含有大量粒径在 1 μm 到数千 μm 之间的颗粒物,可认为生物絮凝体组的饵料密度比人工海水组的饵料密度大,因而生物絮凝体组的卤虫存活率应比人工海水组的卤虫存活率高,本实验结果为,生物絮凝体强化组的卤虫存活率在第 1 天和第 5 天均大于人工海水孵化组,在第 5 天生物絮凝体强化组的卤虫体长高于人工海水孵化组的卤虫,与廖永岩等^[20]的研究吻合。但在实践中,

水体中悬浮颗粒和溶解性有机物的量过多会影响卤虫的摄食。本实验中,生絮凝体悬浊液的总固体悬浮颗粒物浓度(TSS)为 344.7 mg/L,此浓度对卤虫的生长是否有影响仍需进一步研究。此外,絮体是一个无时不在变化的结构,在絮体的形成和降解过程中,水体中的氨氮等浓度会发生较大变化,对水质影响较为严重,对卤虫的生长会产生一定的影响,探究影响卤虫存活率的因子,絮体 TSS 浓度可作为一个影响因子进行研究。且絮体具有絮凝作用,而卤虫初孵无节幼体个体小,游泳能力弱,在强化过程中需注意避免絮体对卤虫幼体造成絮凝致死现象。在卤虫营养强化过程中,维持卤虫较高的存活率是保证经济效益的直接方法。本实验中,生物絮凝体强化组卤虫在第五天存活率为 69.70%,是否有卤虫幼体产生絮凝致死现象仍需进一步探讨。



图版 卤虫和生物絮凝体的显微镜图

Plate The optical micrographs of artemias and Biological flocculation

1. 生物絮凝体悬浮液组; 2. 人工海水组; 3,4. 生物絮凝体。

1. Artemia with Bioflocs group; 2. Artemia with artificial sea water; 3,4. Biological flocculation.

表3 生物絮凝体和卤虫中的脂肪酸含量

Tab.3 The fatty acid content of the bio-flocs and artemia %

脂肪酸 fatty acid	第1组 1st group	第2组 2nd group	生物絮凝体 bio-floc
14:0	1.27 ± 0.23	1.57 ± 1.04	4.18 ± 1.22
15:0	0	0.63 ± 0.08	1.31 ± 0.27
16:0	12.13 ± 1.09	10.28 ± 2.58	22.76 ± 2.55
16:1n9	10.06 ± 0.31	15.69 ± 3.16	4.93 ± 0.98
16:1n7	0	0	0.71 ± 0.59
16:1n5	0	0	0.85 ± 0.02
17:0	1.09 ± 0.77	0.94 ± 0.05	0
18:0	7.35 ± 2.03	6.75 ± 1.29	5.77 ± 1.74
18:1n9	12.14 ± 1.19	12.00 ± 3.82	9.46 ± 3.18
18:1n5	17.16 ± 0.57	0	3.86 ± 1.07
18:2n6	3.85 ± 0.03	3.81 ± 0.94	12.35 ± 2.23
18:3n6	1.78 ± 1.72	1.50 ± 0.71	1.14 ± 0.72
19:0	12.13 ± 2.06	14.03 ± 3.24	10.19 ± 0.90
20:1n9	0	0	1.58 ± 1.02
20:4n6(ARA)	3.84 ± 0.50	0	3.94 ± 0.56
20:5n3(EPA)	12.00 ± 1.28	11.56 ± 2.96	5.55 ± 1.28
22:1n11	0	0	1.11 ± 0.06
22:6n3(DHA)	1.72 ± 0.07	1.03 ± 0.47	10.32 ± 2.74

注:第1组为生物絮凝体强化组;第2组为人工海水孵化组。
Note: Group 1. The artificial seawater; Group 2. The bioflocs group.

卤虫的营养强化是利用其非选择性滤食的特点,将粒径适口的颗粒状物质包裹于卤虫消化道内,水产动物通过捕食卤虫而间接地将包裹颗粒摄入体内,达到输送营养物质的目的^[21]。其基本原理是卤虫饲料的营养组成及含量会影响卤虫体内营养的组成及含量^[15]。脂类是水产动物必需的营养物质之一,脂肪酸的组成会影响其生长速度、存活率和应激抵抗能力。卤虫无节幼体体内多不饱和脂肪酸的缺乏,是影响卤虫营养价值和实际应用的重要因素^[22]。因此,营养强化要使卤虫体内脂肪酸,尤其是多不饱和脂肪酸的种类和含量增加。

本实验中,生物絮凝体的5种必需脂肪酸十八碳二烯酸 18:2n6、十八碳三烯酸 18:3n6、二十碳四烯酸(ARA)、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)含量均较高,经生物絮凝体悬浊液强化的卤虫体内这5种必需脂肪酸的含量均比人工海水孵化组的卤虫高。表明生物絮凝体能够营养强化卤虫。EPA和DHA是其中最为重要的不饱和脂肪酸,同时是水产动物生长和发育必需的脂肪酸,多数水产动物幼体缺乏C:20及以上的碳链延长酶,不能合成EPA、DHA等不饱和脂肪酸,需要从饵料中获得,其含量高低直接

影响营养价值,因此卤虫体内EPA和DHA的含量优劣一定程度上决定了其营养价值^[23]。本实验中,加入生物絮凝体悬浮液的实验组中卤虫体内EPA和DHA含量较高,分别达到12.00%和1.72%,均高于人工海水孵化的卤虫。表明生物絮凝体悬浮液可以强化卤虫营养。但是,生物絮凝体内DHA的含量为10.32%,而强化后的卤虫体内DHA含量仅为1.72%,比人工海水孵化组的卤虫体内DHA含量仅高0.69%,强化效果并不明显。因此,寻求更高的营养强化效果的强化方法是接下来应该研究的方向之一。

参考文献:

- [1] 马志珍. 世界卤虫增殖养殖业的现状[J]. 国外水产, 1992(1): 1-7.
MA Z Z. Research of the world artemia culture and proliferation[J]. Journal of the Foreign Aquaculture, 1992(1): 1-7.
- [2] 张登澍, 刘其根. 饵料对卤虫生长和生殖的影响[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(2): 93-96.
ZHANG D L, LIU Q G. Effects of the diets on growth and reproduction of *Artemia* sp. [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(2): 93-96.
- [3] 孙易, 刘凤岐, 孙广明. 卤虫的营养强化及其在水产养殖上的应用[J]. 内陆水产, 1999(4): 4-6.
SUN Y, LIU F Q, SUN G M. The nutrient enrichment of *artemia* and its application in aquaculture [J]. Inland Fisheries, 1999(4): 4-6.
- [4] 成永旭. 生物饵料培养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 174-183.
CHENG Y X. Live food cultivatology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 174-183.
- [5] PIEDRAHITA R H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation[J]. Aquaculture, 2003, 226(1/4): 35-44.
- [6] MIRZOYAN N, PARNES S, SINGER A, et al. Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor [J]. Aquaculture, 2008, 279(1/4): 35-41.
- [7] 李平, 罗国芝, 谭洪新. 循环水养殖系统固体废弃物厌氧消化处理技术与分析[J]. 渔业现代化, 2009, 36(6): 16-19.
LI P, LUO G Z, TAN H X. Analysis of anaerobic digestion of waste solids derived from recirculating aquaculture system [J]. Fishery Modernization, 2009, 36(6): 16-19.
- [8] 秦伯强, 杨柳燕, 陈非洲, 等. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报, 2006, 51(16): 1857-1866.

- QIN B Q, YANG L Y, CHEN F Z, et al. Research of formation mechanism, control technology and its application of lake eutrophication[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(16): 1857-1866.
- [9] AVNIMELECH Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds [J]. Aquaculture, 2007, 264: 140-147.
- [10] 党志超, 李永祺. Ca^{2+} , pH 和盐度对卤虫卵孵化的综合作用[J]. 海洋环境科学, 1992, 11(2): 71-73.
- DANG Z C, LI Y Q. Effects of the Ca^{2+} , pH and salinity on hatch of *Artemia* spawn[J]. Marine Environmental Science, 1992, 11(2): 71-73.
- [11] VISVANATHAN C, HUNG N Q, JEGATHEESAN V. Hydrogenotrophic denitrification of synthetic aquaculture wastewater using membrane bioreactor [J]. Process Biochemistry, 2008, 43(6): 673-682.
- [12] 罗国芝, 朱泽闻, 潘雪峰, 等. 生物絮凝技术在水产养殖中的应用[J]. 中国水产, 2010(2): 62-63.
- LUO G Z, ZHU Z W, PAN Y F, et al. Application of biofloc technology in aquaculture[J]. China Fisheries, 2010(2): 62-63.
- [13] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 3版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- MINISTRY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. Water and wastewater monitoring and analysis methods [M]. 3rd ed. Beijing: China Environment Science Press, 1989.
- [14] HARGREAVES J A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture[J]. Aquaculture Engineering, 2006, 34(3): 344-363.
- [15] CRAB R, AVNIMELECH Y, DEFOIRD T, et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production[J]. Aquaculture, 270(1/4): 1-14.
- [16] AZIM M E, LITTLE D C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2008, 283(1/4): 29-35.
- [17] 黄旭雄, 王瑞, 吕耀平, 等. 不同强化饵料对卤虫必需脂肪酸组成的影响[J]. 水产科学, 2005, 24(10): 1-4.
- HUANG X X, WANG R, LÜ Y P, et al. The effects of enrichments on essential fatty acids of cultured artemia[J]. Fisheries Science, 2005, 24(10): 1-4.
- [18] TOI H T, BOECKX P S, SORGELOOS P, et al. Bacteria contribute to *Artemia* nutrition in algae-limited conditions: A laboratory study[J]. Aquaculture, 2013, 388-391: 1-7.
- [19] AVNIMELECH Y. Bio-filters; The need for an new comprehensive approach[J]. Aquacultural Engineering, 2006, 34(3): 172-178.
- [20] 廖永岩, 夏营顺, 何碧华. 不同投饵密度对卤虫高密度养殖的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16149-16153, 16179.
- LIAO Y Y, XIA Y S, HE B H. Effects of different feeding density on the high density culture of *Artemia salina* [J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2011, 39(26): 16149-16153, 16179.
- [21] SORGELOOS P, LAVENS P, LEGER P, et al. Manual for the culture and use of brine shrimp *Artemia* in aquaculture [M]. Rome: Fan Fisheries Technical Paper, 1986.
- [22] 曾庆华, 周洪琪, 黄旭雄, 等. 我国六个产地卤虫初孵无节幼体的营养价值[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(3): 213-217.
- ZENG Q H, ZHOU H Q, HUANG X X, et al. Nutritional value of new hatched *Artemia nauplii* of six geographic strains in China [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2001, 10(3): 213-217.
- [23] 彭瑞冰, 蒋霞敏, 鲁凯, 等. 不同饵料对卤虫生长、总脂含量及脂肪酸组成的影响[J]. 生物学杂志, 2013, 30(5): 68-72.
- PENG R B, JIANG X M, LU K, et al. Effects of different on growth, total lipid and fatty acids composition of *Artemia* [J]. Journal of Biology, 2013, 30(5): 68-72.
- [24] LUO G Z, AVNIMELECH Y, PAN Y F, et al. Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge [J]. Aquacultural Engineering, 2013, 52: 73-79.
- [25] ASADUZZAMAN M, WAHAB M A, VERDEGEM M C J, et al. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems [J]. Aquaculture, 2009, 287(3/4): 371-380.
- [26] 刘晓东, 王韩信, 张根玉, 等. 芽孢杆菌微生态制剂对卤虫异养细菌的影响[J]. 中国水产, 2013(8): 71-73.
- LIU X D, WANG H X, ZHANG G Y, et al. Impact of bacillus probiotics on *Artemia* heterotrophic bacteria [J]. China Fisheries, 2013(8): 71-73.
- [27] MOTLAGH H R A, FARHANGI M, RAFIEE G, et al. Modulating gut microbiota and digestive enzyme activities of *Artemia urmiana* by administration of different levels of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* [J]. Aquaculture International, 2012, 20(4): 693-705.

The effect of *Artemia* nauplii nutrient enrichment by using circulating water aquaculture solid waste

LUO Guozhi^{1,2,3}, YAO Miaolan¹, LU Lu¹, JIANG Rui¹, WU Wanhao¹, TAN Hongxin^{1,2,3}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Aquaculture Engineering Technical Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Aquatic Livestock Breeding Center of Shanghai Ocean University, Knowledge Service Platform for Colleges and Universities of Shanghai, Shanghai 201306, China)

Abstract: *Artemia* was incubated and then nutrient enrichment was conducted by the turbid liquid of biological flocculation (bio-floc) in the current experiment. The group using the artificial sea water was the control. We studied the survival, growth of *Artemia* nauplii in turbid liquid of bio-floc. The result was the survival of the group in bio-floc was higher than the control both on the first day and the fifth day. the growth of the group in bio-floc was faster than the control both on the first day and the fifth day, but on the third and fourth day was the opposite. Through the microscope, the intestinal contents of the group in floc significantly was more than the control group on the fifth day. That indicated *Artemia* can feed on floc or dissolved matter within the suspension. Biological floc is a kind of good food for *Artemia*. We analysed the aliphatic acid of *Artemia* nauplii, found that the eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) of *Artemia* nauplii in group using bio-floc were both higher than those of the control group. All showed that bio-floc can enrich *Artemia* nauplii.

Key words: *Artemia*; nutrient enrichment; biological flocculation; aquaculture solid waste