

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.05.006

有效微生物(EM)在中华绒螯蟹养殖中的应用

肖玉冰^{1,2},冯 骞^{1,2},江 峰³,卢莹莹^{1,2},李 军^{1,2},王 萧^{1,2}

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 河海大学环境学院,江苏 南京 210098; 3. 南京军区工程设计院,江苏 南京 210016)

摘要:为探讨有效微生物(EM)对蟹塘水质和螃蟹成活率的改善作用,在南京市高淳区螃蟹文化园开展了EM应用试验研究。试验结果表明:在中华绒螯蟹养殖过程中投加EM,能有效降低水体中污染物的质量浓度,提高螃蟹成活率,但EM投加质量浓度不宜过大。当 $\rho(\text{EM})=1.5\text{ mg/L}$ 时,蟹塘水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、COD和TP的质量浓度比不投加EM的对照塘降低12.7%~29.2%,螃蟹成活率提高2.4%; $\rho(\text{EM})=6.0\text{ mg/L}$ 时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD和TP的质量浓度分别降低1.1%、14.4%、0.03%,而 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 升高15.6%,螃蟹成活率升高1.0%。由此可见,当EM投加质量浓度过高(6.0 mg/L)时,水质指标及成活率改善效果不如EM投加质量浓度较低时(1.5 mg/L),且会引起 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的累积。

关键词:有效微生物(EM);中华绒螯蟹养殖;水质;螃蟹成活率;南京市高淳区
中图分类号:S966.16 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2014)05-0404-06

Application of effective microorganisms (EM) to *Eriocheir sinensis* culture

XIAO Yubing^{1,2}, FENG Qian^{1,2}, JIANG Feng³, LU Yingying^{1,2}, LI Jun^{1,2}, WANG Xiao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development of Shallow Lakes,
Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Engineering Design Institute of Nanjing Military Region, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to explore the effects of effective microorganisms (EM) on the improvement of water quality of crab ponds and survival rate of crabs, an experimental study on EM application was conducted in the Crab Cultural Park in the Gaochun District of Nanjing City. The results show that applying EM to *Eriocheir sinensis* culture can effectively decrease the concentration of pollutants in the water and increase the survival rate of crabs, but overdoses of EM should be avoided. With an EM concentration of 1.5 mg/L in the crab pond, the concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, COD, and TP decreased by 12.7% to 29.2%, and the survival rate of crabs increased by 2.4%, compared with the control group. However, when the concentration of EM in the crab pond increased to 6.0 mg/L, the concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD, and TP decreased by 1.1%, 14.4%, and 0.03%, respectively, while the concentration of $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and the survival rate of crabs increased by 15.6% and 1.0%, respectively. A high EM dosage of 6.0 mg/L resulted in poorer performance in improving the water quality and survival rate than a small EM dosage of 1.5 mg/L, and even caused accumulation of $\text{NO}_2^-\text{-N}$.

Key words: effective microorganisms (EM); *Eriocheir sinensis* culture; water quality; survival rates of crabs; Gaochun District of Nanjing City

近年来,我国水产养殖业迅猛发展。至2008年,中国水产品年产量已达3 270万t,占世界总量的62%,

收稿日期:2013-06-21
基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07301-002)
作者简介:肖玉冰(1989—),女,湖南娄底人,硕士研究生,主要从事水处理技术研究。E-mail:xiaoyubing18@163.com

成为全球最大的水产品生产国^[1]。螃蟹由于肉味鲜美且市场价格较高成为多地水产养殖的首选品种^[2]。随着螃蟹需求量的不断增长,螃蟹的养殖方式开始由传统的放养型转向集约化、规模化模式^[3]。然而这种集约化、规模化的养殖方式,也带来了日益突出的问题:一方面,未经处理的螃蟹养殖废水直接排入周边水体,导致受纳水体水质恶化,甚至影响到水源地^[4];另一方面,饵料、药物的过量使用,易导致蟹塘内环境恶化,从而引起螃蟹患病或死亡、降低产品品质、影响食用安全^[2]。因此,开展螃蟹养殖水体净化、改善养殖水体水质,不仅对降低水产养殖产生的污染负荷、改善我国水环境质量具有重要意义,还能在一定程度上提高螃蟹的品质,增加养殖户的收入。

有效微生物(effective microorganisms,EM)由日本比嘉照夫等于 20 世纪 80 年代培育成功。它是以光合细菌、乳酸菌、酵母菌和放线菌等为主的 5 科 10 属 80 余种微生物按科学比例混合发酵培养出来的复合菌剂,具有良好的降解有机物和絮凝作用,在水环境保护等领域已得到有效应用^[5-7]。由于其以有益微生物为主体,在快速降解、转化有机污染物的同时不损害养殖产品功能,因此在鱼、虾等水产养殖领域得到较为广泛的应用^[8-10]。与其他水产养殖相比,螃蟹作为特种水产品,其水质要求更高,在 EM 的使用方面尚未形成较为明确的指导。为此,笔者以南京市高淳区固城湖中华绒螯蟹养殖区为试验点,探讨 EM 在中华绒螯蟹养殖中的水质净化作用及其对中华绒螯蟹生长的影响,以期 EM 在中华绒螯蟹养殖中的科学使用提供指导和支持。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

以南京市高淳区团结圩螃蟹文化园的 3 个蟹塘为试验区,其中 1 号、2 号塘为试验塘,3 号塘为对照塘。试验过程中各蟹塘均采用以水草、螺丝、小鱼等为饲料的传统养殖方式,水草以轮叶黑藻和苦草为主,水草覆盖率为池塘水面面积的 40% 左右。中华绒螯蟹放养密度均控制在 1.2 只/m² 左右,蟹塘水深为 30 cm,沟部水深 1 m,不设水体曝气供氧装置。蟹塘的水通过沟渠河道补充。

EM 为沃纳公司提供的 EM-OUNA-S2,为 EM 原液,活菌数约为 4.5 亿个/mL。

1.2 试验方法

试验从 2012 年 5 月 27 日开始(螃蟹第 3 次蜕壳),9 月 5 日结束(螃蟹最后一次蜕壳),每 15 d 对试验塘全池泼洒 EM 菌液,共泼洒 6 次,总计投放菌液 384.0 kg,对照塘不施用 EM。试验过程中各蟹塘的 EM 投加质量浓度(以塘中质量浓度计)见表 1。

1.3 分析项目与方法

试验期间,每隔 1 d 采样 1 次,平行采样 3 次,测定各蟹塘水体的 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 、 $\rho(\text{TP})$,并记录各塘螃蟹死亡数目。各项指标的测定方法参照《水和废水监测分析方法》^[11]。

表 1 各蟹塘的 EM 投加质量浓度

Table 1 EM concentrations in experimental ponds

试验塘 编号	蟹塘面积/ hm ²	$\rho(\text{EM})$ / (mg · L ⁻¹)
1	2.0	1.5
2	0.5	6.0
3	2.0	0

2 试验结果

2.1 试验期间水质变化

在整个试验过程中,各塘水质较好,水色均呈嫩绿色,塘中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 等维持在较低浓度; $\rho(\text{DO})$ 为 4.0 ~ 7.8 mg/L。各塘条件可满足螃蟹的生长需求,螃蟹生长良好,成活率均在 90% 以上。为了便于比较 3 个塘的处理效果,选取一个典型投加周期内(8 月 20 日泼洒 EM 菌液)的试验结果加以分析说明。该投加周期内水质随时间变化如图 1(a) ~ (e) 所示,平均浓度如图 2 所示。

从图 1(a)可以看出,3 号塘的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 整体呈波动增加趋势,而 1 号、2 号塘的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 随着时间的增加均有所下降。当 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 时, $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 始终保持在 0.5 mg/L 左右,波动较小;当 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 时, $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 出现明显的先升高后降低的趋势。3 号塘、2 号塘和 1 号塘的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 平均值分别为 0.69 mg/L、0.68 mg/L 和 0.49 mg/L(图 2),1 号塘和 2 号塘比 3 号塘分别降低 29.2% 和 1.1%。

$\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 变化规律与 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 类似,如图 1(b) 所示。3 号塘的 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 于 8 月 24 日达最大值

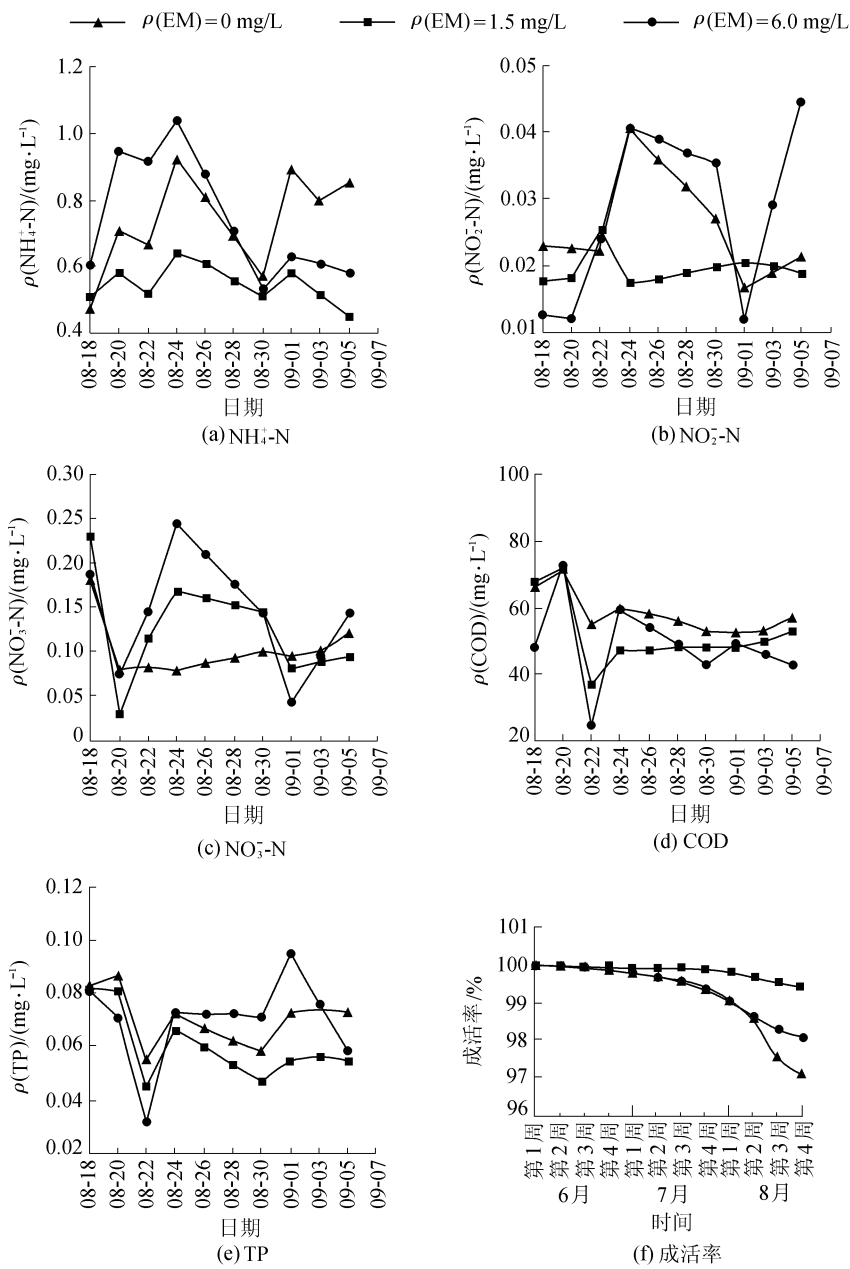


图1 典型周期内水质及成活率变化

Fig. 1 Variations of water quality and crab survival rates in typical periods

(0.042 mg/L), 随后有所下降。 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 的2号塘中 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 也表现出很大的波动。但当 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 时, $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 基本稳定保持在0.02 mg/L左右。3号塘、1号塘和2号塘的 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 平均值分别为0.024 mg/L、0.018 mg/L和0.027 mg/L。1号塘的 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 比3号塘降低25.2%,而2号塘的 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 则比3号塘增加了15.6%。

$\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 则出现与 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 相反的规律,如图1(c)所示。3号塘中 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 保持在0.1 mg/L左右,几乎不增加;而1号、2号塘中 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 明显增加。3号塘、1号塘和2号塘的 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 平均值分别为0.08 mg/L、0.10 mg/L和0.13 mg/L。相对于3号塘,1号

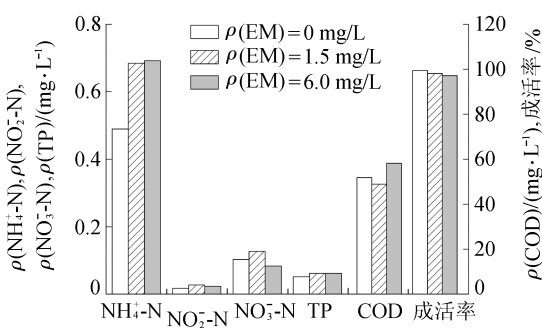


图2 典型周期内各塘中水质指标平均浓度及成活率

Fig. 2 Mean concentrations of water quality and survival rates in different ponds during typical periods

塘和 2 号塘的 $\rho(\text{NO}_3\text{-N})$ 分别增加了 23.0% 和 51.4%。

$\rho(\text{COD})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 对衡量养殖水体受污染程度也有重要作用,特别是对固城湖蟹塘来说,养殖废水的排放在一定程度上影响到蟹塘的引水水质。从图 1(d)(e)可以看出,各塘中 $\rho(\text{COD})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 均较低,但 2 号塘的 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 波动均比 3 号塘和 1 号塘大。相对于 3 号塘,1 号塘和 2 号塘中 COD 改善作用分别为 12.7% 和 14.4%;对于 TP,改善作用则分别为 16.6% 和 0.003%。

2.2 试验期间螃蟹成活率变化

在整个试验期间(5 月 27 日—9 月 5 日),每周对螃蟹死亡数进行统计,计算各周累计成活率,得螃蟹成活率曲线,如图 1(f)所示。3 号塘螃蟹平均每天死亡数前期较少,但在 7 月份第 3 周之后死亡数迅速从约 5 只/d 上升到 40 只/d,而后又有所降低。投加 EM 的 2 个塘中螃蟹死亡数均较低。至试验结束,3 号塘、1 号塘和 2 号塘的螃蟹成活率分别为 97.1%、99.4% 和 98.1%。

3 分析与讨论

3.1 EM 投加与否的分析与讨论

当 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 时,除 $\rho(\text{NO}_3\text{-N})$ 有所升高外,其他指标均有所改善,如图 2 所示。 $\rho(\text{NH}_4\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NO}_2\text{-N})$ 、 $\rho(\text{COD})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 比对照塘分别降低 29.2%、25.2%、12.7% 和 16.6%,成活率提高至 99.4%。 1.5 mg/L 的 EM 质量浓度对水质和成活率的改善作用明显。而当 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 时,改善效果降低。

a. 从水质来看。试验中通过投加 EM($\rho = 1.5 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的质量浓度保持在较低水平,COD 和 TP 质量浓度有所下降,这与黄永春^[12]的研究结果一致。但 $\text{NO}_3\text{-N}$ 有所累积,这是因为投加 EM 后,各种有益微生物对水体中有机物等的分解活动增强,COD 和 TP 得到降解,同时水体中的亚硝化细菌、硝化细菌得以繁殖, $\text{NH}_4\text{-N}$ 在亚硝化细菌作用下转化为 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 则在硝化细菌作用下进一步转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$,硝化作用完全^[13-14];另外,EM 中光合细菌等也可以利用水体中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 合成自身物质^[15]。因此,EM 通过直接利用水体中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 合成自身物质或促进完全硝化作用^[16]将二者转化为无毒的 $\text{NO}_3\text{-N}$,减少 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 对水生动植物造成的不利影响^[17-19],降低 COD 和 TP 的质量浓度。

b. 从成活率来看。图 2 显示 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 的塘中中华绒螯蟹成活率为 99.4%,较对照塘提高 2.3%。 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 的塘中中华绒螯蟹成活率为 98.1%,较对照塘提高 1.0%。EM 对中华绒螯蟹成活率有积极的促进作用。这是因为:一方面,EM 将有机物等分解成小分子无机物质后,可以促进单细胞藻类等的繁殖,丰富了食物链、扩大了食物来源;另一方面,EM 在生长过程中可以合成提高免疫力的生理活性物质(如乳酸杆菌等),调节蟹体内生态的平衡,同时通过竞争机制或产生具有杀菌、抑菌作用的抗生素抑制有害微生物的生长,减少发病率,促进养殖物的健康生长^[12],提高中华绒螯蟹成活率。水质的改善可以对养殖的成活率的提高起一定的促进作用,这与黄永春^[12]、Kuhn 等^[17]得出的 EM 可以改善水体中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、COD 并提高水产品成活率 12%~46% 的结果一致。

3.2 不同 EM 投加质量浓度的分析与讨论

投加 EM 能有效改善水质和提高成活率,但投加浓度并不是越高越好。从图 2 可看出,当 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 时,除 $\rho(\text{COD})$ 降低外, $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TP 的质量浓度均比对照塘高;与 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 的塘相比, $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 改善效果显著下降,且波动较大,螃蟹成活率降低至 98.1%,原因如下:

a. 从水质来看。EM 菌液本身含有一定的 $\text{NH}_4\text{-N}$,加入量较大时,导致水体中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量升高,出现表观无效性^[20];同时,在大量的 EM 菌作用下,水体中的有机氮迅速转化为 $\text{NH}_4\text{-N}$ ^[21],从而导致 $\text{NH}_4\text{-N}$ 改善效果比 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 的塘差。另外 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 的塘中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 并未得到有效降解,主要是因为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 质量浓度较高时, $\text{NO}_2\text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的过程受到抑制。

同时,高质量浓度 EM 对 TP 改善效果并未表现出明显的优势。这可能是因为养殖塘中本身含有一定的降解 TP 的微生物,投加的 EM 只起到补充或激活菌种的作用^[22],故质量浓度较高的 EM 并不能明显提高改善效果。另外,由于蟹塘中 COD 和 TP 的本底浓度较低,投加高浓度的 EM 反而可能引起蟹塘中 TP 浓度的波动。

b. 从成活率来看。如图 2 所示,在 $\rho(\text{EM}) = 6.0 \text{ mg/L}$ 和 $\rho(\text{EM}) = 1.5 \text{ mg/L}$ 的塘中,螃蟹成活率分别为

98.1%和99.4%,相对于对照塘,分别提高了1.0%和2.3%。高浓度EM塘的成活率改善效果稍低于低浓度塘,表明EM投加浓度高,反而不利于螃蟹成活率的提高。这可能是因为EM质量浓度过高,水体中对螃蟹具有毒性作用的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 改善效果变差,从而使得螃蟹成活率改善效果变差。

4 结 论

a. EM的使用能有效提高养殖水体污染物降解水平,提高中华绒螯蟹成活率。蟹塘中加入EM(1.5 mg/L)后,增加了水体中有益微生物的数量,使得COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和TP的质量浓度都出现了不同程度的降低(12.7%~29.2%),减少了养殖废水的排放对环境造成的污染。此外,EM促进了微生物的硝化作用,使养殖水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,降低了对螃蟹的毒害作用,螃蟹的成活率由97.1%提高至99.4%。

b. 科学确定EM的投加浓度是EM使用中的关键,EM投加浓度不宜过高。高浓度下($\rho(\text{EM})=6.0\text{ mg/L}$),蟹塘水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD和TP质量浓度比对照塘(不投加EM)中分别降低了1.1%、14.4%和0.003%, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 质量浓度比对照塘升高15.6%,螃蟹成活率提高至98.1%。相对于低浓度塘($\rho(\text{EM})=1.5\text{ mg/L}$),高浓度EM并未提高污染物的降解效果,甚至还引起 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的累积和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP改善效果的降低,影响螃蟹成活率的进一步提高。故无论从处理效果还是从经济成本上考虑,EM的投加浓度都不宜过大。本文结果表明EM投加质量浓度为1.5 mg/L时,可达到较好的蟹塘水质改善和提高中华绒螯蟹成活率的效果。

参考文献:

[1] HERBECK L S, UNGER D, WU Ying, et al. Effluent, nutrient and organic matter export from shrimp and fish ponds causing eutrophication in coastal and back-reef waters of NE Hainan, tropical China[J]. Continental Shelf Research, 2013, 57: 92-104.

[2] 卢亚芳. 中国淡水虾蟹养殖业的现状[J]. 淡水渔业, 2002, 32(6): 57-58. (LU Yafang. Current situation for shrimp and crab culture in fresh water[J]. Freshwater Fishes, 2002, 32(6): 57-58. (in Chinese))

[3] ZHOU Qunlan, LI Kangmin, XIE Jun. Role and functions of beneficial microorganisms in sustainable aquaculture[J]. Bioresource Technology, 2009, 100: 3780-3786.

[4] 管卫兵,蔡天成,杨牧川,等. 河蟹的生态养殖现状及发展对策[J]. 湖南农业科学,2012(3): 116-119. (GUAN Weibing, CAI Tiancheng, YANG Muchuan, et al. Status quo and development strategies of ecosystem approach to aquaculture of Chinese Mitten Crab in China[J]. Hunan Agriculture, 2012(3): 116-119. (in Chinese))

[5] 朱亮,汪翊,王超. EM富集培养液的絮凝特性试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2001, 29(5): 43-45. (ZHU Liang, WANG Hui, WANG Chao. Flocculation functions of cultivation solution of EM enrichment[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2001, 29(5): 43-45. (in Chinese))

[6] 罗德芳,邵孝侯,袁灿生,等. EM菌与化学絮凝剂复配实验研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(6): 1313-1316. (LUO Defang, SHAO Xiaohou, YUAN Cansheng, et al. Experimental study on combination of EM and chemical flocculants[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(6): 1313-1316. (in Chinese))

[7] 杨家华,郭志宏. EM技术及其在水环境保护中的应用研究进展[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(6): 112-114. (YANG Jiahua, GUO Zhihong. Development of EM technology and its application in water environment protection[J]. Environmental Science and Technology, 2007, 30(6): 112-114. (in Chinese))

[8] 庞德彬,罗棕贵. 有效微生物(EM)在对虾养殖中的应用[J]. 中国水产, 2001(1): 53-55. (PANG Debin, LUO Zonggui. Application of effective microorganisms (EM) in prawn culture[J]. China Aquaculture, 2001(1): 53-55. (in Chinese))

[9] 毛雪慧,徐明芳,刘辉. 复合固定化光合细菌及其处理养鱼水的效果[J]. 生态科学, 2009, 28(1): 38-42. (MAO Xuehui, XU Mingfang, LIU Hui. Immobilization technique of photosynthetic bacteria and its use in aquaculture wastewater remediation[J]. Ecological Science, 2009, 28(1): 38-42. (in Chinese))

[10] 胡庆杰,于仕斌,李永刚,等. 利用有益微生物菌调控池塘水质效果试验[J]. 北京农业, 2010, 18(6): 48-51. (HU Qingjie, YU Shibin, LI Yonggang, et al. Using microorganisms to control the quality of the beneficial effect of the virus [J]. Beijing Agriculture, 2010, 18(6): 48-51. (in Chinese))

[11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

- [12] 黄永春. 有效微生物菌群对养虾水体细菌生态和水质的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(1):44-48. (HUANG Yongchun. Effects of effective microorganisms (EM) on bacterial ecology and water quality for shrimp culture[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(1): 44-48. (in Chinese))
- [13] ROMANO N, ZENG Chaoshu. Acute toxicity of ammonia and its effects on the haemolymph osmolality ammonia-N, pH and ionic composition of early juvenile mud crabs, *Scylla serrata* (Forskal) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2007, 148: 278-285.
- [14] SCHULER D J, BOARDMAN G D, KUHN D D, et al. Acute toxicity of ammonia and nitrite to *Litopenaeus vannamei* at low salinities [J]. World Aquaculture, 2010, 41:438-436.
- [15] 张峰峰,谢凤行,周可,等. 利用复合微生物降解养殖水体中亚硝酸盐的初步研究[J]. 水产科学, 2012, 31(10): 593-596. (ZHANG Fengfeng, XIE Fengxing, ZHOU Ke, et al. Removal of nitrite from aquaculture water by a mixture of microorganisms[J]. Fisheries Science, 2012, 31(10): 593-596. (in Chinese))
- [16] 陈建国,黄荣静. EM 有效微生物在水产养殖中的应用[J]. 内陆水产, 2007, 6(2): 8-9. (CHEN Jianguo, HUANG Rongjing. Application of effective microorganisms EM in aquaculture [J]. Inland Aquaculture, 2007, 6(2): 8-9. (in Chinese))
- [17] KUHN D D, DRAHOS D D, MARSH L, et al. Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculation aquaculture systems[J]. Aquaculture Engineering, 2010, 43(2): 78-82.
- [18] SANDU S I, BOARDMAN G D, WATTEN B J, et al. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium[J]. Aquaculture Engineering, 2002, 26(1): 41-59.
- [19] LYU Kai, WANG Qianqian, CHEN Rui, et al. Inter-specific differences in survival and reproduction of cladocerans to nitrite gradient and the ecological implications[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2013, 48: 151-156.
- [20] 邵青,庄艳峰,王洪涛,等. EM 脱除氨氮效果试验研究[J]. 武汉大学学报:工学版, 2001, 34(2): 77-80. (SHAO Qing, ZHUANG Yanfeng, WANG Hongtao, et al. Experimental research on effect of effective microorganisms on removal of ammonia and nitrogen[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2001, 34(2): 77-80. (in Chinese))
- [21] 王国平,黄晓菊,李寿泉,等. 应用 EM 技术处理生活污水的研究[J]. 徐州建筑职业技术学院学报, 2002, 2(3): 33-35. (WANG Guoping, HUANG Xiaoju, LI Shouquan, et al. Sewage disposal with effective microorganisms (EM) [J]. Journal of Xuzhou Institute of Architectural Technology, 2002, 2(3): 33-35. (in Chinese))
- [22] 石和荣,林敏,马江耀,等. 益生菌的应用对鳗鲡池塘水质变化的影响[J]. 水产养殖, 2010, 31(9): 26-29. (SHI Herong, LIN Min, MA Jiangyao, et al. Effect of probiotics on the change of water quality in eel (*Anguilla japonica*) pond[J]. Journal of Aquaculture, 2010, 31(9): 26-29. (in Chinese))