

铜锈环棱螺对水体中叶绿素a的去除作用

任燕玲, 董 军, 陈文雅, 孙 静, 罗国宇, 李成耀, 陈可欣

成都工业学院, 四川 成都
Email: 1939841623@qq.com

收稿日期: 2021年5月10日; 录用日期: 2021年6月11日; 发布日期: 2021年6月18日

摘 要

本文通过室内水箱建立短时间(72 h)和较长时间(15 d)的模拟实验, 探究铜锈环棱螺对富营养化水体叶绿素a和总氮、总磷的去除作用。实验结果表明铜锈环棱螺对叶绿素a有较为明显的去除作用, 短时组(72 h)对叶绿素a平均去除率为55.13%, 长时组(15 d)对叶绿素a的平均去除率为98.31%。两组对总氮没有明显的去除作用反而会使水体总氮上升; 长时组(15 d)总磷平均上升5.036%; 而短时组(72 h)总磷水平呈现先下降再上升且第8 d总磷水平小于初始值, 证明此系统可以在短时间内降低总磷水平。

关键词

铜锈环棱螺, 叶绿素a, 富营养化, 总磷, 总氮

Removal of Chlorophyll a from Water by *Bellamyia aeruginosa*

Yanling Ren, Jun Dong, Wenya Chen, Jing Sun, Guoyu Luo, Chengyao Li, Kexin Chen

Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan
Email: 1939841623@qq.com

Received: May 10th, 2021; accepted: Jun. 11th, 2021; published: Jun. 18th, 2021

Abstract

In this paper, short-term (72 h) and long-term (15 d) simulation experiments were established in indoor water tanks to explore the removal of chlorophyll a, total nitrogen and total phosphorus in eutrophic water. The results of the experiment show that *Bellamyia aeruginosa* has a relatively obvious removal effect on chlorophyll a. The average removal rate of chlorophyll a in the short-term group (72 h) is 55.13%, and the average removal rate of chlorophyll a in the long-term group (15 d) is 98.31%. The two groups had no obvious removal effect on total nitrogen, but would increase

the total nitrogen in the water body; the long-term group's (15 d) total phosphorus increased by an average of 5.036%; while the short-term group's (72 h) total phosphorus level first decreased and then increased, and the 8 d total phosphorus level was less than the initial value, which proves that this system can reduce the total phosphorus level in a short time.

Keywords

Bellamyia aeruginosa, Chlorophyll a, Eutrophication, Total Phosphorus, Total Nitrogen

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

从北美五大湖到非洲的维多利亚湖,以藻类过度生长为特征的富营养化现象已成为淡水湖泊、池塘和水库的一个全球性环境问题[1],大量的资料记录了全球范围内海洋和淡水水体中富营养化对生物多样性的有害后果[2]。据调查,欧洲、非洲、北美洲和南美洲分别有 53%、28%、48% 和 41% 的湖泊在不同程度上受到富营养化所带来的困扰,亚太地区有 54% 的湖泊处于富营养化状态[3],我国的湖泊富营养化率为 60%,其中约四分之一属于重富营养和超富营养。富营养化不但影响人类饮用和娱乐用水,还会对水环境中其他浮游动植物的生存产生影响。低级藻类作为水环境中重要的生产者,对平衡和稳定水生态系统有着至关重要的作用,一旦这一环节被破坏,原有生态系统就会失去原有稳定功能甚至崩溃。譬如在富营养化水体中,蓝藻往往能释放出各种毒素,如微囊藻毒素(MCs),这对水生生物会造成严重的损害[4]。

铜锈环棱螺作为腹足类动物被视为评估藻类毒素造成的生态风险的哨兵物种,水体中微囊藻毒素总体水平对富营养化湖泊野生淡水铜锈环棱螺的生长繁殖无影响[5]。通过在富营养化水体中投放铜锈环棱螺来控制富营养化进程,是常见的湖泊生态修复的生态调控措施之一[6]。薛庆举[7]等人的研究也表明,投放铜锈环棱螺对湖泊的生态修复会产生有益影响;屈铭志[8]、赵峰[9]等认为铜锈环棱螺在呼吸过程中能够截留水中悬浮藻类,可以在短时间内降低水体叶绿素含量;周露洪[10]等认为在封闭水体中环棱螺的存在会使叶绿素 a 浓度先下降再上升。

本文通过室内水箱建立短时间(72 h)和较长时间(15 d)的模拟实验。探究了铜锈环棱螺的投放密度和培养时间对叶绿素 a、总氮、总磷的去除作用的影响,为依靠底栖动物铜锈环棱螺控制和修复富营养化水体提出可行性建议。

2. 实验材料与方法

2.1. 材料

实验在成都工业学院校内实验室玻璃水箱(长 × 宽 × 高 = 40 cm × 38 × 50 cm)中进行。实验用水短时组和长时组分别采用校内九州湖湖水和自来水作为基底,通过添加硝酸钾、磷酸二氢钾,小球藻进行调配至富营养化状态。实验用小球藻购买至河南九山宠物营养科技有限公司。铜锈环棱螺(以下简称螺蛳)从四川水城新津的养殖户购买,源自天然河流,选取大小相近、表壳完整的健康个体(长度为 2.50 cm 左右、平均重量 3.70 g)在实验之前用软毛刷小心刷去螺蛳体表面青苔等附着生物,并于试验前一周用实验

用水驯养。

2.2. 方法

实验时间为2021年4月29日至2021年5月14日,控制每个水箱所处光照环境基本一致,实验期间充分曝气。每个水箱中放入约50 L实验用水。A组螺蛳生物量分别为0.8 g/L、1.2 g/L、2.0 g/L, B组螺蛳生物量分别为0(空白)、1.0 g/L、2.0 g/L、4.0 g/L。每天观察水箱内螺蛳的生长情况,及时用规格相近、螺壳完整的健康个体替换死螺,并将幼螺移出水体。A组于5月4日9时投放螺蛳开始,按0、1、2、4、7、12、24、48、72 h九个时间间隔取样; B组实验于2021年4月29日投放螺蛳开始,按0、1、2、4、8、15 d六个时间间隔取样。具体实验设计参照下表1、表2。

Table 1. Short-term group (72 h) experimental design

表 1. 短时组(72 h)实验设计

实验编号	A ₁	A ₂	A ₃
螺蛳投放密度	0.8 g/L	1.2 g/L	2.0 g/L

Table 2. Long-term group (15 d) experimental design

表 2. 长时组(15 d)实验设计

实验编号	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
螺蛳投放密度	空白	1.0 g/L	2.0 g/L	4.0 g/L

实验水质检测包括总氮(TN)、总磷(TP)和叶绿素 a 总量(Total Chl-a) 3 个指标。采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN; 采用钼酸铵分光光度法测定 TP; 用热乙醇法测定 Total Chl-a 水平[11]。

3. 结果与讨论

3.1. 叶绿素 a 变化规律特性分析

图 1 所示是 A 组三个水族箱 72 h 内叶绿素 a 变化情况,且三条曲线均呈现明显下降趋势。1 h 时, A1、A2 较初始量未发生明显变化,而 A3 较初始量有下降,可能是因为时间较短,较低密度螺蛳未对藻类产生明显影响。A1、A2、A3 在时间间隔 12 h、12 h、7 h 时叶绿素 a 浓度均出现上升现象,可能是因为经过一个日间的光合作用,藻类生长导致,另一方面可能是螺蛳生物活动程度受昼夜影响[12]。此后,各实验组叶绿素 a 浓度均持续走低,24 h 内 A1、A2、A3 叶绿素 a 消除量分别为 25.0%、25.0%、44.4%; 48 h 内 A1、A2、A3 叶绿素 a 消除量分别为 37.5%、50.1%、55.6%; 72 h 内 A1、A2、A3 叶绿素 a 消除量分别为 50.1%、62.7%、55.6%。

实验数据表明随着养殖时间推移,螺蛳对叶绿素 a 有着明显的去除作用,这种去除作用与密度有着紧密关系,效果随着螺蛳密度上升而上升,这与李寅安[13]等人研究结果相似。A 组螺蛳投放密度虽然呈低中高,但 3 条曲线斜率差异不明显,这可能与小球藻初始投加量低有一定关系。

B 组 15 天内叶绿素变化情况如图 2 所示。与各组叶绿素 a 初始浓度相比,第 1 天实验组的叶绿素 a 含量下降均特别明显,这可能是与螺蛳经过较长一段驯养期,一直处于饥饿状态有关。时间越长,各组去除效果越明显。初期表现为迅速下降,后期表现为缓慢下降,可能是后期螺类误食与藻类相似的颗粒物而减弱对藻类的捕食能力[14],直至实验末期 5 月 14 日,螺蛳大量消耗藻类,使得水中浮游藻类低于检测下限而不能被检测出。截止 5 月 14 日, B₂、B₃、B₄ 的去除率分别为 99.73%、97.22%、100.00%,此

系统中螺蛳的密度对叶绿素 a 的除去作用相关性并不大。对照组 B₁ 中叶绿素 a 含量也呈下降趋势，可能是由于水箱中缺少生物扰动，部分藻类沉降在水箱底部、而有的附着在四周，使得水中浮游数量很低。

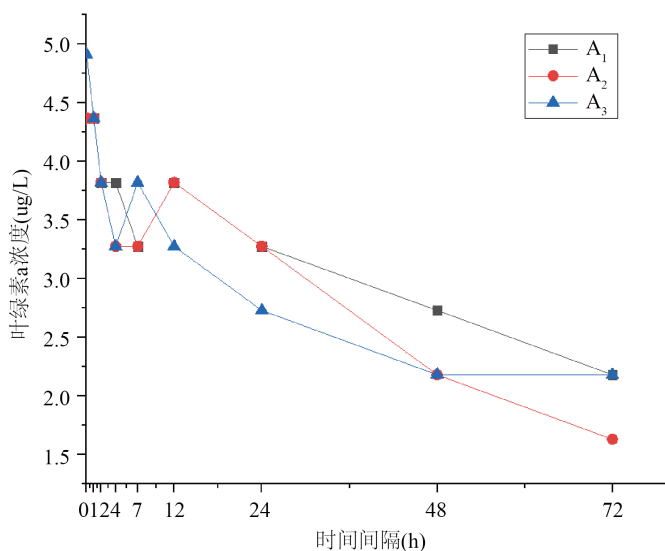


Figure 1. Change trend of chlorophyll a in the short-term group (72 h)

图 1. 短时组(72 h)叶绿素 a 变化趋势

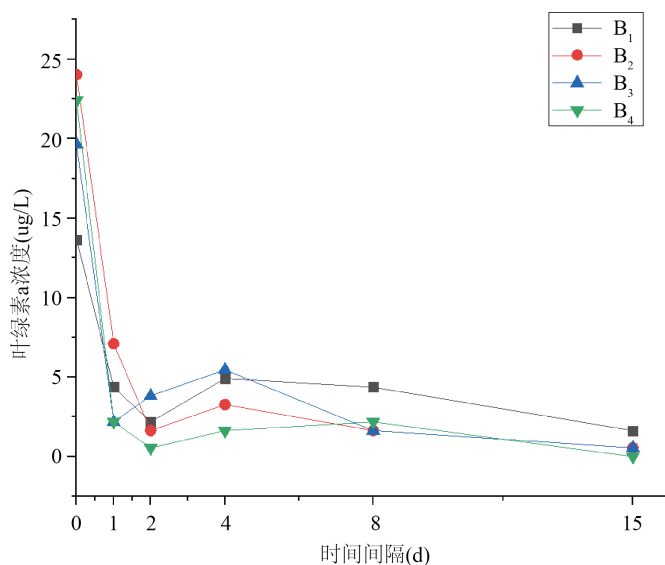


Figure 2. Chlorophyll change trend of long-term group (15 d)

图 2. 长时组(15 d)叶绿素 a 变化趋势

3.2. 总磷变化规律特性分析

磷是藻类生长的必须元素之一，水生生态系统中磷的去除主要是通过微生物降解和生物生长利用等途径去除。由图 3 所示，A₁、A₂、A₃ 在整个实验过程中总磷总体上均呈现不规则变化，表现为先下降再上升，且在第 72 h 都表现为上升(超过初始值)。上升率分别为 2.23%、7.25%、5.52%。出现先下降再上升的现象可能是因为温度和光照的变化使得整个系统包括藻类、螺蛳和底部的少量微生物的活性产生变化，

藻类光合作用增强、微生物分解也加快。1~4 h 时,水族箱受到一定强度光照,且水体温度持续上升,藻类光合作用增强,而且螺蛳实验之前驯养在自来水中,投放实验组中可能会有一小段适应期,螺蛳在这段时间里新陈代谢慢,几者综合作用使水体总磷下降;螺蛳活动受温度影响,其代谢率存在明显的昼夜变化规律[12],晚上螺蛳代谢强,而白天较弱。

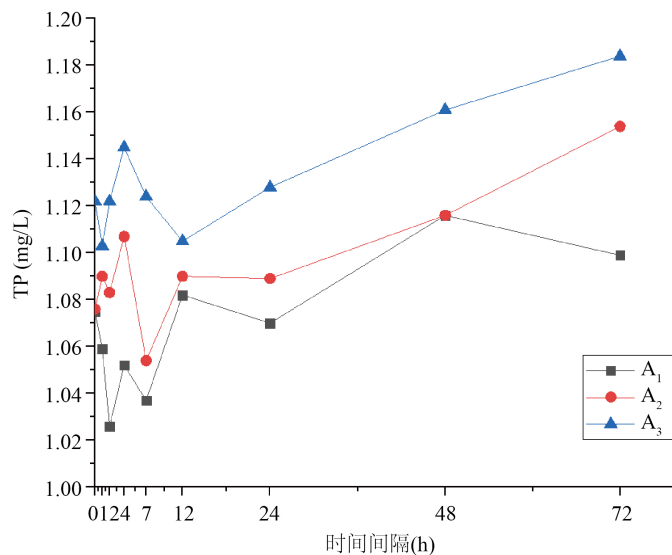


Figure 3. 72 h change trend of TP in short-term group
图 3. 短时组总磷 72 h 变化趋势

总磷 15 天变化情况如图 4 所示。B₁ 的变化趋势为持续下降,且随着时间推移,下降幅度越来越大,15 天后,总磷浓度下降为 0.032 mg/L,较初始值下降了 80.5%,总磷水平从中度富营养降到贫营养水平。B₂、B₃、B₄ 均表现为先下降再上升,15 天后,总磷浓度分别为 0.126 mg/L、0.188 mg/L、0.235 mg/L。且这种趋势与螺蛳投放密度有密切关系,这与卢晓明[15]的研究结果相近。可能是前期藻类和滋生的微生物

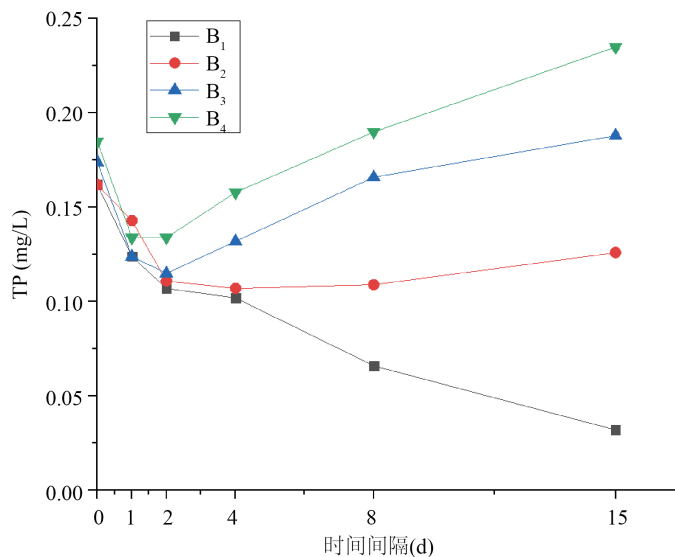


Figure 4. 15 d change trend of TP in long-term group
图 4. 长时组总磷 15 d 变化趋势

消耗磷的速度大于螺蛳新陈代谢产生的速度，表现为水体总磷降低；随着螺蛳刮食藻类使其数量减少，藻类和微生物对磷的消耗作用弱于螺蛳新陈代谢作用，表现为水中总磷升高。

3.3. 总氮变化规律特性分析

72 h 内 TN 变化见图 5 所示，三条曲线在整个过程上均表现为上升，其 72 h 内上升率分别为 10.5%、17.8%、21.0%。前两小时内三条曲线的总氮浓度均比较稳定；A₁、A₂ 第 4 h 的 TN 浓度较第 3 h 出现下降，下降幅度分别为 15.7%、12.3%；A₃ 却出现小幅度上升，上升幅度为 1.4%。从前 4 h 的数据看，投放 1.0 g/L、2.0 g/L 螺蛳的系统，对总氮的消除有一定的作用。在第 72 h，三个水族箱的总氮浓度均超过初始值。

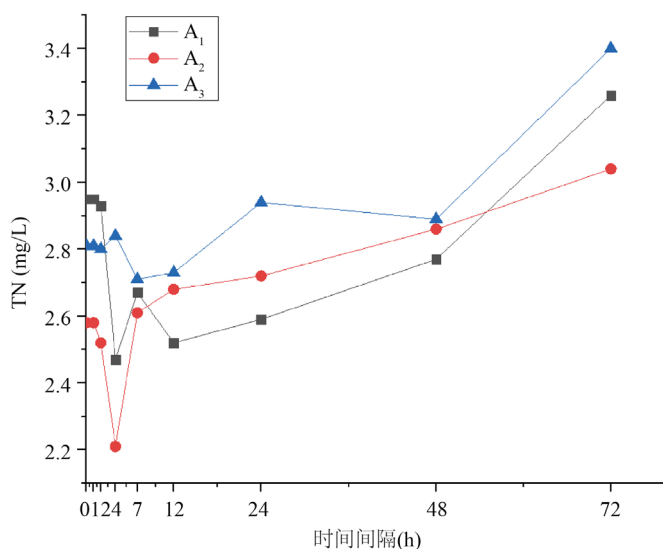


Figure 5. Change trend of total nitrogen in short-term group (72 h)

图 5. 短时组(72 h)总氮变化趋势

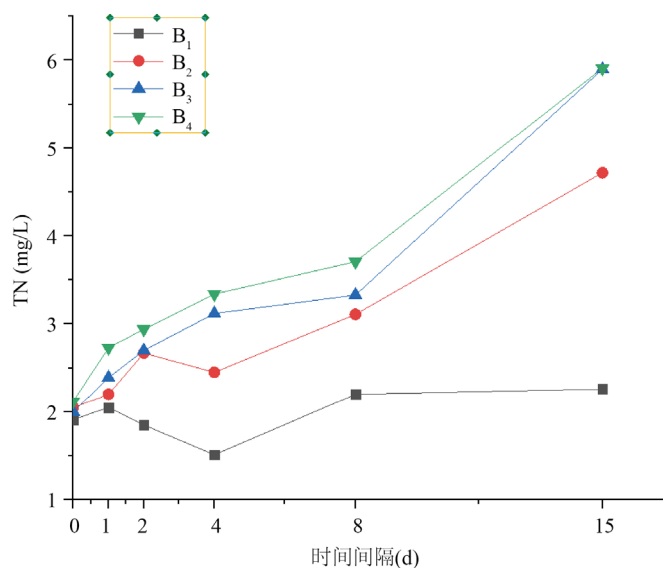


Figure 6. Change trend of total nitrogen in long-term group (15 d)

图 6. 长时组(15 d)总氮变化趋势

15 天内总氮变化趋势如图 6 所示,除空白对照外,其他各实验组总氮水平均呈现明显上升趋势。 B_2 、 B_3 、 B_4 三条曲线初步表明,投放螺蛳对此系统中总氮没有去除效果。 B_1 组 15 天内总氮呈现先略微增长,然后持续下降,再上升的趋势,总变化与初始值无异。这可能是因为前期藻类生长不断利用水中氮,表现为吸收氮,总氮水平降低;后期总氮增高,可能与温度上升而未受到足够的光照,水中藻类、和摇蚊幼虫死亡释放氮使得总水平升高。 B_2 、 B_3 、 B_4 中总氮随时间推移不断升高,第 15 天的上升量、上升率分别为 2.76 mg/L、130.24%、3.90 mg/L、195.00%、3.79 mg/L、178.77%,随着时间延长,总氮上升趋势也逐渐增大,可能是随着时间增长,藻类对氮的吸收利用减弱、微生物对螺的排泄物分解也减弱。实验后期,水中 DO 降低,导致 B_2 、 B_3 部分螺在夜晚死亡或者已经死亡未被及时移出水体,而出现图 3~6 所示情况。

4. 结论

1) A、B 两组实验表明,铜锈环棱螺对富营养化水体中的叶绿素 a 都有一定的去除效果。只有摄食速度超过藻类生长速度时才表现为对叶绿素 a 有明显的去除效果。

2) 铜锈环棱螺对富营养化水体中叶绿素 a、总氮、总磷的去除作用受多方面的影响:包括水质、时间、放养密度以及曝气程度。在实验系统中,叶绿素 a 的去除作用、总氮总磷的上升作用均随着铜锈环棱螺的投放密度升高而升高。

3) AB 两组在短时间内的总磷都有微弱下降,这可能是由于铜锈环棱螺絮凝沉淀、滤食刮食作用所致;长时间总磷和总氮均高于初始值,分析其与温度、螺的状态、水中 DO 有关。

基金项目

成都工业学院博士基金项目,“低能耗仿生湖库净化技术”修复富营养化水体,项目编号:2019RC008;四川省教育厅重点研发项目,湖库型饮用水源营养物质阻断关键技术与示范,立项编号:2019YFS0055。

参考文献

- [1] Smith, V.H. (2003) Eutrophication of Freshwater and Coastal Marine Ecosystems a Global Problem. *Environmental Science and Pollution Research*, **10**, 126-139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
- [2] Qin, B.Q., Gao, G., Zhu, G.W., Zhang, Y.L., Song, Y.Z., Tang, X.M., Xu, H. and Deng, J.M. (2013) Lake Eutrophication and Its Ecosystem Response. *Chinese Science Bulletin*, **58**, 961-970. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5560-x>
- [3] Ingrid, C. and Jamie, B. (1999) Toxic Cyanobacteria in Water. E&FN Spon Publisher, London and New York.
- [4] Zurawell, R.W., Chen, H., Burke, J.M. and Prepas, E.E. (2005) Hepatotoxic Cyanobacteria: A Review of the Biological Importance of Microcystins in Freshwater Environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, **8**, 1-37. <https://doi.org/10.1080/10937400590889412>
- [5] Zhang, X., Taylor, W.D. and Rudstam, L.G. (2017) Herbivorous Snails Can Increase Water Clarity by Stimulating Growth of Benthic Algae. *Environmental Science and Pollution Research*, **24**, 24698-24707. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0108-x>
- [6] 顾静,王绍祥,朱宜平,王喆人,孟晓情.铜锈环棱螺对原水中藻类及营养盐的影响[J].净水技术,2012,31(5):1-5.
- [7] 薛庆举,汤祥明,龚志军,高光,蔡永久.典型城市湖泊五里湖底栖动物群落演变特征及其生态修复应用建议[J].湖泊科学,2020,32(3):762-771.
- [8] 屈铭志,屈云芳,任文伟,等.铜锈环棱螺控制微囊藻水华的机理研究[J].复旦学报(自然科学版),2010,49(3):301-308.
- [9] 赵峰,谢从新,张念,等.不同密度梨形环棱螺对养殖池塘水质及沉积物氮、磷释放的影响[J].水生态学杂志,2014,35(2):32-38.
- [10] 周露洪,谷孝鸿,曾庆飞,等.利用环棱螺调控池塘水质的实验生态学研究[J].生态学杂志,2012,31(11):2966-2975.

- [11] 张丽彬, 王启山, 徐新惠, 等. 乙醇法测定浮游植物叶绿素 a 含量的讨论[J]. 中国环境监测, 2008, 24(6): 9-10.
- [12] 孙陆宇, 温晓蔓, 禹娜, 等. 温度和盐度对中华圆田螺和铜锈环棱螺标准代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 275-282.
- [13] 李寅安, 马泽民, 雷澄, 等. 自然放养下铜锈环棱螺、河蚬、三角帆蚌对水质影响研究[J]. 环境生态学, 2020, 2(7): 71-76.
- [14] 张爱菊, 宓国强, 练青平, 等. 不同密度铜锈环棱螺对不同水体指标影响效果的研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2011, 30(3): 205-210.
- [15] 卢晓明, 金承翔, 黄民生, 等. 底栖软体动物净化富营养化河水实验研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(7): 7-9+115.