

固定化藻菌胶球去除养殖用水中无机氮的 试验研究

黄莺, 张树林*, 张达娟, 王泽斌

天津农学院, 天津
Email: *466325960@qq.com

收稿日期: 2021年9月14日; 录用日期: 2021年10月20日; 发布日期: 2021年10月27日

摘要

未经处理的养殖用水排放进湖泊等水域原生态水域极易造成水质恶化, 养殖用水虽然无法限制用量, 但是具有易于集中处理的特点, 是一种可再生的水资源。相较于物理处理的方法覆盖面积有限, 化学处理方法会对水质产生无法掌控的影响, 生物净化综合成本较低, 可以作为水生生态系统的一部分与养殖动物相辅相成。本实验选用PVA-SA作为藻菌复合载体, 硼酸-CaCl₂作为交联剂, 将藻菌一同固定化, 以固定化藻菌胶球对养殖用水中整体的无机氮即氨态氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的去除率作为主要指标, 进行固定化藻菌胶球去除养殖用水中无机氮的试验研究。固定化藻菌胶球中藻菌比例10:1较1:1和1:10组在净化无机氮上有明显的优势, 藻菌比例10:1分别对氨态氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮最大去除率为86.44%、95.57%、79.16%。

关键词

固定化, 小球藻, 芽孢杆菌, 净化, 无机氮

Experimental Study of Removing Inorganic Nitrogen in Aquaculture Water by Immobilized Algal Pellets

Ying Huang, Shulin Zhang*, Dajuan Zhang, Zebing Wang

Tianjin Agricultural University, Tianjin
Email: *466325960@qq.com

Received: Sep. 14th, 2021; accepted: Oct. 20th, 2021; published: Oct. 27th, 2021

作者简介: 黄莺, 女, 北京人, 出生于1996年2月, 硕士研究生, 研究方向为养殖水质调控等。
*通讯作者。

文章引用: 黄莺, 张树林, 张达娟, 王泽斌. 固定化藻菌胶球去除养殖用水中无机氮的试验研究[J]. 水资源研究, 2021, 10(5): 509-515. DOI: 10.12677/jwrr.2021.105055

Abstract

The discharge of untreated aquaculture water into lakes and other water bodies in the original ecological water is extremely easy to cause deterioration of water quality. Although the amount of aquaculture water cannot be limited, it can concentrate on treatment and is a kind of renewable water resources. Compared with the limited area covered by physical treatment methods, chemical treatment methods will have an uncontrollable impact on water quality. The overall cost of biological purification is lower, which can be used as a part of the aquatic ecosystem to complement each other with farmed animals. In this experiment, PVA-SA was used as a composite carrier for algae and bacteria, and boric acid-CaCl₂ was used as a cross-linking agent to immobilize the algae and bacteria together. The immobilized algae gel ball was used to affect the overall inorganic nitrogen in the breeding water, namely ammonia nitrogen and nitrite. The removal rate of nitrogen and nitrate nitrogen was used as in our experimental study to remove inorganic nitrogen in aquaculture water by immobilized algal gelatin balls. Compared with 1:1 and 1:10 groups, the ratio of 10:1 in immobilized algae gel pellets has obvious advantages in purifying inorganic nitrogen. The maximum removal rate of nitrogen, nitrite nitrogen and nitrate nitrogen is 86.44%, 95.57% and 79.16%.

Keywords

Immobilization, *Chlorella*, *Bacillus*, Purification, Inorganic Nitrogen

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

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

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



1. 引言

面对水污染问题需要更行之有效的方法净化水质，可以从解决养殖用水污染问题着手提高水再利用率。水质恶化的原因之一是自然条件下水产动物活动中会遗留残饵、粪便等污染物，这些污染物在养殖用水中其他微生物的作用下降解成如氨态氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮等小分子物质[1] [2]，极易引起水体富营养化。

目前我国在处理养殖用水方面操作较简单的方法是用重力分离、气浮法和沉淀等物理方法对养殖用水简单处理[3] [4]，效果较好的处理方法是化学法[5]和生物法[6] [7]。但随着水质恶化情况的加重，投入的化学药品也在增加，水质理化因子逐渐变化，经过二次处理的养殖用水仍然存在无机氮超标的现象。Gao [8]在水产养殖用水中培养了大量的藻类，利用水产养殖用水中的营养物质帮助藻类生长，达到去除养殖用水中营养物质的效果。选择早在 20 多亿年前就开始生长繁殖的普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)不光可以起到净化水质的作用，而且其作为养殖动物的生物饵料适口性极好[9] [10]。小球藻以与蓝藻(*Cyanobacteria*)、裸藻(*Euglena*)和甲藻(*Dinoflagellates*)等有害藻类竞争水体内有机物的方式来抑制有害藻类[11]，去除水中无机氮，防止水体富营养化。一定条件下，小球藻在养殖用水中生存并吸收其中部分多余营养物质，达到水质净化效果，其对温度和盐度等环境条件要求低，有利于吸收多种重金属离子[12] [13] [14]，是一种前景广阔的净化水质的生物材料。枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)是为数不多的能形成内生孢子的革兰氏阳性细菌，对环境适应能力强，可防御外界部分有害因子，有耐高温以及可快速复活等优点，在土壤、水、空气和动物体内等都有分布[15]。目前研究表明，芽孢杆菌对提高水质方面具有出色的能力，并且其对人体有一定的安全性，是一种优秀的微生物添加剂[16]。芽孢杆菌可以对有害病原体进行粘附竞争，产生酶并刺激免疫系统进行生物修复。但是，游离态的藻和菌比养殖用水中其他污染

物质比重小,不易形成类似活性污泥的絮凝体,换水过程中通常都悬浮于水中无法分离,所以需要频繁投洒液态小球藻和芽孢杆菌,经济投入相对较高,可尝试使用固定化技术可以行之有效地解决游离态藻与菌处理养殖用水的弊端。

固定化技术是近年发展起来的一项新型研究, Maryam Latifian [17]的研究表明,固定化微藻可保证次生代谢物质的生产,用作种质保存,在养殖用水处理等方面具有广阔的应用前景。此外,考虑到小球藻体态圆球状,藻细胞与细胞之间间隔较大,并且生长初期喜好高浓度无机氮环境,所以在固定小球藻时加入与其协同的芽孢杆菌不仅可以提高空间利用率,还可以为小球藻提供氮肥。小球藻可以通过光合作用在不断繁殖中释放氧气供给芽孢杆菌,芽孢杆菌可以为小球藻提供养料,两者之间相辅相成,目前关于固定化藻菌胶球的试验研究尚不成熟,可借鉴固定化藻类的方式适量加入有益菌,或可成为一种新的研究方向。固定化藻菌的载体分为天然与人工两大类,天然载体具有较好亲和力,传质性好,人工载体价格低廉,抗物分解性好但有毒性[18]。人工固定化材料大多选用琼脂、明胶、海藻酸钠(SA)、聚乙烯醇(PVA)以及聚丙烯酰胺凝胶等。在各种固定化备选材料中,琼脂强度较差,明胶虽结构比琼脂密实但传质性能差,聚丙烯酰胺凝胶的毒性不利于水生生态环境的健康[19],SA和PVA具有无毒、内部结构密实、固定化方法简单和价格便宜容易得到等优点成为较为适合的包埋载体[20]。影响固定化的因素有固定化载体、交联剂、固定化时间、胶球成球情况、胶球传质性等,本实验将PVA与SA作为复合固定化载体,硼酸与CaCl₂作为固定化交联剂,固定出胶球以固定化小球藻对养殖用水中的无机氮去除率为主要指标,筛选出固定化藻菌胶球最优制备条件,研究固定化藻菌胶球净化养殖水体无机氮的效果。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

普通小球藻购自中国科学院武汉水生生物研究所;芽孢杆菌购自天津歆毅翎科技有限公司;海藻酸钠和聚乙烯醇均购自天津市光复精细化工研究所;无水氯化钙购自天津市汇航化工科技有限公司;硼酸购自天津市福晨化学试剂厂;草金鱼(*Carassius auratus*)购自天津市西青区曹庄花卉市场,体重为1.50 g(±0.2 g),体长为4 cm(±0.5 cm)。本试验人工养殖用水配方参照王书亚[21]的方法,灭菌后调节配制所得养殖用水中无机氮为:2.2 mg/L 氨态氮,0.1 mg/L 亚硝酸盐氮,4 mg/L 硝酸盐氮。

2.2. 试验方法

2.2.1. 固定化藻菌胶球的制备方法

预先浸泡一定质量的PVA 12 h直至溶解,备用。称取一定质量的SA、CaCl₂、硼酸,其中CaCl₂和硼酸可直接用玻璃棒搅拌溶解;SA需在磁力搅拌器60℃下缓慢加入超纯水中持续搅拌1 h,静置冷却去除气泡;在准备好的PVA溶液中加入适量的SA配制成PVA-SA复合包埋载体;将一定浓度的CaCl₂溶液与硼酸混合配制成不同浓度的CaCl₂-硼酸复合交联剂。按浓度梯度稀释获得2%的SA和CaCl₂、1%PVA、3%硼酸,每组设置三个平行,在温度121℃、压力0.1 MPa的高压灭菌锅中灭菌1 h。试验过程中 6.4×10^4 cells/mL的小球藻[21]和等密度的芽孢杆菌混合后与等体积的SA或PVA-SA固定化载体溶液混合,使用50 mL注射器吸取PVA-SA包埋液从20 cm的高度滴入CaCl₂-硼酸复合交联剂中形成固定化胶球,交联一定时间后捞出固定化胶球,用生理盐水溶液冲洗3~4次固定胶球。

2.2.2. 固定化藻菌胶球对草金鱼养殖用水无机氮的影响

取暂养半个月后的草金鱼养殖用水平均分装于2 L锥形瓶内,将小球藻与芽孢杆菌以1:10、1:1、10:1三个比例混合,分别加入固定化载体溶液中进行藻菌固定化,将制作好的固定化藻菌胶球投入草金鱼养殖用水中,各设三个平行,置于光照4000 lux~4500 lux,温度25℃恒温光照培养箱中培养以固定化藻菌胶球中藻菌浓度比

例对草金鱼养殖用水中整体的无机氮去除效果为参考得出结果。

2.2.3. 测定方法

本实验参考国家环保总局《水和废水监测分析方法》[22], 氨态氮测定为纳氏试剂分光光度法; 亚硝酸盐氮测定为重氮-偶氮比色法; 硝酸盐氮测定为锌镉还原法。

2.3. 数据处理与统计分析

实验数据采用 Origin 软件进行数据计算分析和作图。试验结果采用 SPSS 进行方差分析, 多重比较检验各试验组间是否具有显著差异($P < 0.05$)。

3. 结果与分析

选用 2% 的 SA 和 1% 的 PVA 固定化载体溶液与小球藻和芽孢杆菌等体积混合, 其中小球藻和芽孢杆菌以 1:10、1:1 和 10:1 三个比例进行固定化藻菌胶球试验, 交联剂溶液以 3% 的硼酸和 2% 的 CaCl_2 溶液混合, 固定化藻菌胶球的制作共处理 12 h, 冲洗后投入草金鱼养殖用水水样中连续 7 d 监测无机氮浓度。根据图 1 所示, 在第 7 d 时氨态氮浓度出现最小值, 该试验组为藻菌比 10:1, 氨态氮浓度从起始值 1.18 mg/L 降至 0.16 mg/L, 去除率为 86.44%, 3 组试验之间浓度对草金鱼养殖用水中氨态氮浓度的影响有显著差异($P < 0.05$)。

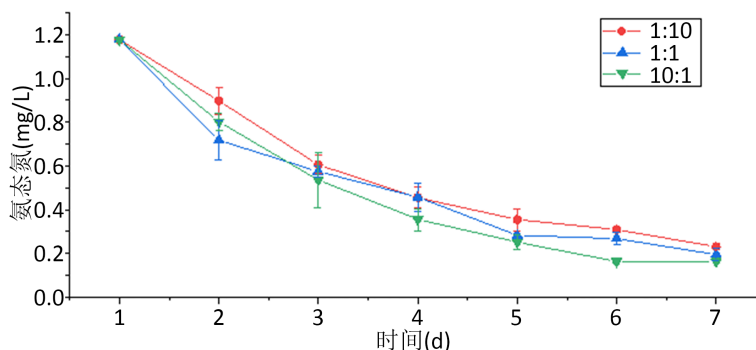


Figure 1. Trend chart of $\text{NH}_4\text{-N}$ over time

图 1. 氨态氮随时间变化趋势图

图 2 为亚硝酸盐氮随时间变化趋势图, 从图中可明显的看出亚硝酸盐氮去除率最高的组别藻菌比为 10:1, 去除率为 95.57%, 亚硝酸盐氮浓度从起始值 0.55 mg/L 去除到只剩 0.02 mg/L, 3 组试验之间浓度对养殖用水中亚硝酸盐氮浓度的影响有显著差异($P < 0.05$)。

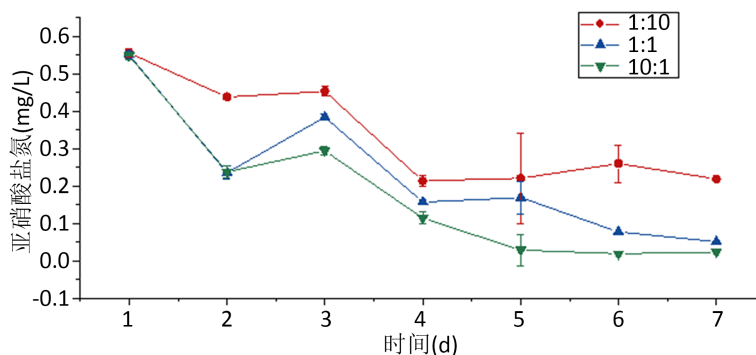


Figure 2. Trend chart of $\text{NO}_2\text{-N}$ over time

图 2. 亚硝酸盐氮随时间变化趋势图

图3客观地表示出了硝酸盐氮浓度随时间的波动, 10:1藻菌比的试验组在7d时将养殖用水中硝酸盐氮浓度降到最低值0.67 mg/L, 最大去除率为79.16%, 3组试验之间浓度对草金鱼养殖用水中硝酸盐氮浓度的影响有显著差异($P < 0.05$)。

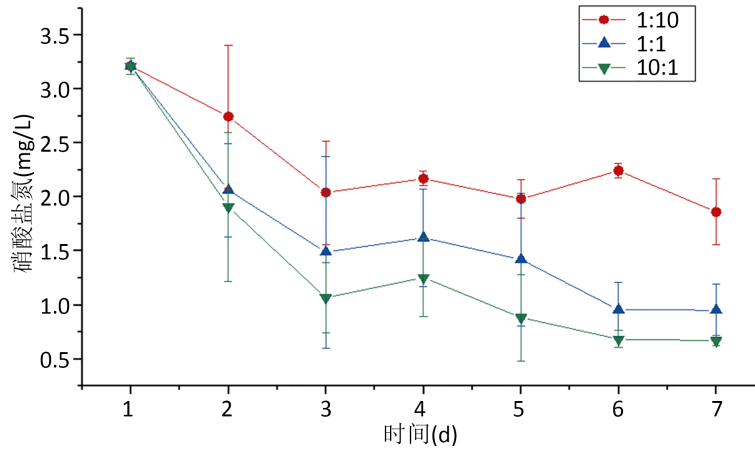


Figure 3. Trend chart of NO₃-N over time
图3. 硝酸盐氮随时间变化趋势图

4. 讨论

为防止悬浮态的藻和菌的生长速率远小于从养殖水体中流失的速率, 致使养殖用水净化效率大大降低, 后期难以将藻和菌分离回收, 以及为藻菌停留和水体停留在时空上分离的实现, 本实验综合考虑随着SA浓度的增加, 交联出的凝胶网格逐渐致密, 在牢固包埋藻菌的同时通过小孔排泄废物, 但当SA浓度过高后, 交联出的凝胶网格过于致密, 妨碍了物质交换, 选用2%SA在形成凝胶网格的同时可保证藻菌在胶球中有最高的生命力和生长速率[23], 在配置固定化载体的基础上添加低浓度PVA对固定化藻菌胶球有整体加强效果[24]。选用PVA-SA作为藻菌复合载体, 硼酸-CaCl₂[25][26]作为交联剂将藻菌一同固定化, 可以更有效地方便藻菌的回收。草金鱼养殖用水中氨态氮浓度在固定化藻菌胶球的作用下随着时间的延长逐渐降低, 在最后一天藻菌比10:1试验组草金鱼养殖用水中氨态氮去除率可达到86.44%, 亚硝酸盐氮去除率95.57%, 硝酸盐氮浓度去除率为79.16%。在刘盼等[27]对小球藻去除氨态氮和亚硝酸盐氮的试验研究中, 氨态氮去除率86.75%与本试验结果相似, 亚硝酸盐氮去除率83.75%, 去除率明显低于小球藻与芽孢杆菌共同处理亚硝酸盐氮, 说明芽孢杆菌可以在不影响小球藻生长的同时辅助小球藻一同去除养殖用水中亚硝酸盐氮等, 沈南南等[28]的研究验证了这一想法, 小球藻与芽孢杆菌共生系统对水质净化的效果明显优于单一添加小球藻或芽孢杆菌。

基金项目

天津市自然科学基金项目(18JCZDJC97800); 天津市自然科学基金项目(19JCYBJC30000); 天津市淡水养殖产业技术体系(ITFRS2021000); 天津市科技计划项目(20ZYCGSN00280); 天津市高等学校创新团队基金项目“天津市现代水产生态健康养殖创新团队”(TD13-5089)。

参考文献

- [1] 唐金艳. 水生植物腐烂分解对水质的影响[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2013.
TANG Jinyan. The effect of decay and decomposition of aquatic plants on water quality. Master's Thesis, Nanjing: Nanjing University, 2013. (in Chinese)
- [2] 林志军. 三种挺水植物腐烂分解及其污染物释放规律的研究[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2017.

- LIN Zhijun. Study on the decay and decomposition of three emergent plants and the release of pollutants. Master's Thesis, Zhenjiang: Jiangsu University, 2017. (in Chinese)
- [3] 杨彪. 村镇小型污水处理适用性技术研究[J]. 生态环境与保护, 2021, 3(11): 90-91.
YANG Biao. Research on applicability technology of miniaturized sewage treatment in villages and towns. *Ecological Environment and Protection*, 2021, 3(11): 90-91. (in Chinese)
- [4] 李兆军, 李建忠. 一种水产养殖污水处理装置[P]. 中国, CN210726430U. 2020.
LI Zhaojun, LI Jianzhong. A kind of aquaculture sewage treatment device. China, CN210726430U. 2020. (in Chinese)
- [5] 徐鹏. 浅谈化学工艺在废水处理中的应用[J]. 现代盐化工, 2020, 47(3): 2.
XU Peng. Discussion on the application of chemical technology in wastewater treatment. *Modern Salt Chemical Industry*, 2020, 47(3): 2. (in Chinese)
- [6] 林炳金. 一种基于膜分离技术的养殖污水净化设备及方法[P]. 中国, CN110183055A. 2019.
LIN Bingjin. A kind of aquaculture sewage purification equipment and method based on membrane separation technology. China, CN110183055A. 2019. (in Chinese)
- [7] 朱伟浩, 肖阳. 微滤膜技术在淡水资源回收利用领域的应用[J]. 山东化工, 2019(17): 108.
ZHU Weihao, XIAO Yang. Application of microfiltration membrane technology in the field of freshwater resource recycling. *Shandong Chemical Industry*, 2019(17): 108. (in Chinese)
- [8] GAO Feng, LI Chen, YANG Zhao-Hui, 等. 膜光生物反应器在水产养殖废水中连续培养微藻用于生物质生产和养分去除[J]. 生态工程, 2016(92): 55-61.
GAO Feng, LI Chen, YANG Zhao-Hui, *et al.* Continuous microalgae cultivation in aquaculture wastewater by a membrane photo bioreactor for biomass production and nutrients removal. *Ecological Engineering*, 2016(92): 55-61. (in Chinese)
- [9] 刘梅, 朱曦露, 苏艳秋, 等. 微藻和动物性生物饵料在水产养殖中的应用研究[J]. 海洋与渔业, 2016(4): 56-57.
LIU Mei, ZHU Xilu, SU Yanqiu, *et al.* Research on the application of microalgae and animal bio feeds in aquaculture. *Ocean & Fisheries*, 2016(4): 56-57. (in Chinese)
- [10] JEHLÍK, T., KODRÍK, D., KRIŠTŮFEK, V., 等. 小球藻属对蜜蜂蜂蜜生物学特性的影响[J]. 蜜蜂学, 2019(19): 670.
JEHLÍK, T., KODRÍK, D., KRIŠTŮFEK, V., *et al.* Effects of *Chlorella sp.* on biological characteristics of the honey bee apes mellifera. *Aphidology*, 2019(19): 670. (in Chinese)
- [11] SYLWIA, LIWIŃSKA-WILCZEWSKA, ALDO, 等. 形成水华的蓝藻属和聚球藻属产生的异种化感物对共存微藻的生理效应[J]. 毒素, 2019, 11(12): 712.
SYLWIA, LIWIŃSKA-WILCZEWSKA, ALDO, *et al.* Physiological effects on coexisting microalgae of the allelochemicals produced by the bloom-forming cyanobacteria *synechococcus sp.* and *Nodularia spumigena*. *Toxins*, 2019, 11(12): 712. (in Chinese)
- [12] KUMAR, K. S., DAHMS, H. U., WON, E. J., 等. 微藻——一种很有前景的重金属修复工具[J]. 生态毒理学和环境安全, 2015(113): 329-352.
KUMAR, K. S., DAHMS, H. U., WON, E. J., *et al.* Microalgae—A promising tool for heavy metal remediation. *Ecotoxicology Environment Safety*, 2015(113): 329-352. (in Chinese)
- [13] WAFEEK, M., SHAKR, I. and ALY, S. M. 水葫芦和小球藻对重金属污染水体的影响及鱼在其中的生化和病理生理反应 [C]//第八届水产养殖罗非鱼国际研讨会. 2008.
WAFEEK, M., SHAKR, I. and ALY, S. M. Effect of water hyacinth and chlorella on water polluted by heavy metals and the biochemical and pathophysiological response of exposed fish. In 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. 2008. (in Chinese)
- [14] 邹安琪, 赵伟华, 李青云, 等. 典型污染物对藻类生态毒性效应研究进展[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(6): 100-109.
KUAI Anqi, ZHAO Weihua, LI Qingyun, *et al.* Research advances in ecotoxicological effects of typical pollutants on algae. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2015, 32(6): 100-109. (in Chinese)
- [15] WOLKEN, W. A. M., TRAMPER, J. and VAN DER WERF, M. J. 孢子能为我们做什么[J]. 生物技术趋势, 2003, 21(8): 338-345.
WOLKEN, W. A. M., TRAMPER, J. and VAN DER WERF, M. J. What can spores do for us? *Trends in Biotechnology*, 2003, 21(8): 338-345. (in Chinese)
- [16] LALLOO, R., MAHARAJH, D., GRGENS, J., 等. 水产养殖中蜡状芽孢杆菌生物制剂遇到生理变量时的响应及功能[J]. 应用微生物生物技术, 2008, 79(1): 111-118.
LALLOO, R., MAHARAJH, D., GRGENS, J., *et al.* Functionality of a bacillus cereus biological agent in response to physiological variables encountered in aquaculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 79(1): 111-118. (in Chinese)
- [17] LATIFIAN, M., LIU, J. and MATTIASSON, B. 鸟粪石基肥料及其理化性质[J]. 环保科技, 2012, 33(22/23/24): 2691-2697.
LATIFIAN, M., LIU, J. and MATTIASSON, B. Struvite-based fertilizer and its physical and chemical properties. *Environ-*

- mental Technology, 2012, 33(22/23/24): 2691-2697. (in Chinese)
- [18] 张秀霞, 秦丽姣, 黄聪聪, 等. 微生物固定化载体的选择及其性能[J]. 化工进展, 2011(12): 2781-2786.
ZHANG Xiuxia, QIN Lijiao, HUANG Congcong, *et al.* Selection and performance of microbial immobilization carriers. Progress in Chemical Industry, 2011(12): 2781-2786. (in Chinese)
- [19] 谢丹, 黄涛. 海藻酸钠/聚丙烯酰胺凝胶纤维的制备与性能研究[J]. 人造纤维, 2019, 272(4): 4-7.
XIE Dan, HUANG Tao. Preparation and properties of sodium alginate/polyacrylamide gel fiber. Man-Made Fibers, 2019, 272(4): 4-7. (in Chinese)
- [20] 张永栋, 汪龙眠, 张毅敏, 等. 聚乙烯醇凝胶包埋固定化细菌联合植物的除氮研究[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(6): 744-748.
ZHANG Yongdong, WANG Longmian, ZHANG Yimin, *et al.* Nitrogen removal of polyvinyl alcohol gel-embedded and immobilized bacteria combined with plants. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, 30(6): 744-748. (in Chinese)
- [21] 杨福利, 李秀辰, 白晓磊, 等. 小球藻脱氮除磷及其生物量增殖潜力的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 193-197.
YANG Fuli, LI Xiuchen, BAI Xiaolei, *et al.* Research on chlorella nitrogen and phosphorus removal and its biomass proliferation potential. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(2): 193-197. (in Chinese)
- [22] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
Editorial Board of the State Environmental Protection Administration "Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods". Water and wastewater monitoring and analysis methods. Fourth Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese)
- [23] 陈娟. 固定化小球藻及其对氮磷利用的研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2007.
CHEN Juan. Study on immobilized chlorella and its utilization of nitrogen and phosphorus. Master's Thesis, Nanchang: Nanchang University, 2007. (in Chinese)
- [24] 王黎颖. 小球藻对水产养殖废水的净化及响应[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2018.
WANG Liying. Purification and response of chlorella to aquaculture wastewater. Master's Thesis, Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018. (in Chinese)
- [25] 丁一, 侯旭光, 郭战胜, 等. 固定化小球藻对海水养殖废水氮磷的处理[J]. 中国环境科学, 2019, 39(1): 338-344.
DING Yi, HOU Xuguang, GUO Zhansheng, *et al.* Treatment of nitrogen and phosphorus in mariculture wastewater by immobilized chlorella. China Environmental Science, 2019, 39(1): 338-344. (in Chinese)
- [26] 卢徐节, 周世力, 刘延湘, 刘君侠. 固定化微生物技术对养殖水体脱氮的研究[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 34-36.
LU Xujie, ZHOU Shili, LIU Yanxiang and LIU Junxia. Study on denitrification of aquaculture water by immobilized microbial technology. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2011, 39(4): 34-36. (in Chinese)
- [27] 刘盼, 贾成霞, 杨慕. 两种微藻对养殖水体中氨氮和亚硝态氮的净化作用[J]. 水产科学, 2018, 37(3): 103-107.
LIU Pan, JIA Chengxia and YANG Mu. Purification effect of two kinds of microalgae on ammonia nitrogen and nitrite nitrogen in culture water. Fisheries Science, 2018, 37(3): 103-107. (in Chinese)
- [28] 沈南南, 李纯厚, 贾晓平, 等. 小球藻与芽孢杆菌对对虾养殖水质调控作用的研究[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 50-54.
SHEN Nannan, LI Chunhou, JIA Xiaoping, *et al.* Studies on the regulation of chlorella and bacillus on the water quality of prawn culture. Marine Fisheries Research, 2008, 29(2): 50-54. (in Chinese)