

石莼修复富营养化海水的实验研究

胡劲召, 胡鑫鑫, 刘成前, 徐功娣, 卢徐节*

(热带生态环境保护学院, 海南热带海洋学院, 海南 三亚 572022)

摘要:富营养化可引发赤潮和养殖动物病害, 给养殖业带来巨大损失, 中国的多数海水养殖区富营养化相当严重。研究了石莼对富营养化海水中营养盐的吸收去除效果。结果表明:总氮、氨氮和总磷初始浓度分别为14、3.8、1.9 $\mu\text{mol/L}$, 石莼种植藻体密度2.5 g/L, 吸收时间10 d, 总氮、氨氮和总磷去除率分别达80%、81.6%和79%。因此, 利用石莼处理养殖废水具有时间短、效率高的特点, 可用于富营养化水体或养殖废水的处理。

关键词:石莼; 富营养化; 海水; 生物修复; 脱氮; 除磷

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1673-0143(2017)05-0395-05

DOI: 10.16389/j.cnki.cn42-1737/n.2017.05.002

Bioremediation of Eutrophic Sea Waters with *Ulva Pertusa*

HU Jinzhao, HU Xinxin, LIU Chengqian, XU Gongdi, LU Xujie*

(School of Tropical Eco-environment Protection, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, Hainan, China)

Abstract: Eutrophication is becoming a serious problem in most of the mariculture areas in China. It can induce the red tide and animal disease, and results in heavy losses of aquaculture industry. In this study, *Ulva pertusa* was applied for bioremediation of aquaculture wastewater and its nutrient (TP, TN, and $\text{NH}_4\text{-N}$) removal capacity was analyzed. The experimental results showed that the removal rates of total nitrogen, ammonia nitrogen and total phosphorus were 80%, 81.6% and 79%, respectively, under the conditions of the TN, $\text{NH}_4\text{-N}$ and TP initial concentrations of 14, 3.8, 1.9 $\mu\text{mol/L}$, the planting density of *Ulva pertusa* of 2.5 g/L and experimental time of 10 d. Therefore, it has advantage of high efficiency to treat aquaculture wastewater with *Ulva pertusa*. *Ulva pertusa* can be a candidate for treating eutrophic water or aquaculture wastewater.

Keywords: *Ulva pertusa*; eutrophication; sea waters; bioremediation; nitrogen removal; phosphorus removal

氮、磷元素向近岸海域的输送主要是以生活污水、工业废水等形式或农业生产中过量使用的化肥随地表径流雨水进入海洋;近年来随着海水养殖业迅猛发展,大量未经处理的养殖废水也是近岸海水中氮、磷营养物质的主要来源。靠近海岸、海湾的海水动力交换性能比较差,又容易受人类生产生活活动的影响,当海水中氮、磷营养物质积累达到一定程度,超出水体自净能力时,就会发生海水富营养化现象。富营养化海水中的某些海水浮游藻类和浮游生物大量繁殖,使得海水中溶解氧降低,水质恶化,鱼类和其他水生生物大量死亡,严重破坏海洋生态平衡,甚至导致发生赤潮等海洋生态灾害。

富营养化海水生物处理是一种绿色环保、具有巨大应用潜力的修复技术^[1],它通过利用植物生长

收稿日期: 2017-07-11

基金项目: 三亚市院地科技合作项目(2015YD13); 大学生创新创业训练计划项目(201511100012, 20160177)

作者简介: 胡劲召(1968—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向: 水污染控制与治理。

*通讯作者: 卢徐节(1974—), 男, 教授, 博士, 研究方向: 水污染控制与治理。E-mail: xujie_lu@163.com

过程同化、降解和代谢等过程降低氮、磷营养物质的含量,从而改善水质、逐渐恢复原有生态系统^[2-5]。

石莼(*Ulva pertusa*)是常见海藻,生长快、质地薄、可食用,基部以固着器固着于岩石上,生活于海岸潮间带,多生长在海湾内中、低潮带的岩石上,属于我国野生藻类资源中比较丰富的一种大型海藻,其0~35℃的适温范围和15~35‰的适盐范围,使其易于大量生长繁殖^[6-8]。关于石莼对富营养化海水中营养盐的吸收情况已有一些研究^[9-13],研究表明石莼对去除富营养化海水中的营养盐具有一定作用,可作为一种高效、绿色的修复藻类。

在海藻生长所需要的元素中,氮和磷是限制性元素,其中氮居第一,磷次之。因此,本文主要就石莼对富营养化海水中氮、磷营养物质的吸收利用情况开展了研究,探讨了石莼对富营养化海水的净化效果,可以为消除富营养化海水中的营养盐及开展生态环境修复工作提供参考依据。

1 水质评价指标和测定方法

选择总氮、氨氮和总磷作为水质评价指标。测定方法按GB 17378.4-2007《海洋监测规范 第4部分:海水分析》规定进行,选择过硫酸钾氧化法测定总氮,选择次溴酸盐氧化法测定氨氮,选择过硫酸钾氧化法测量总磷。

2 实验方案设计

2.1 石莼藻体采集和预培养

实验选用的石莼均为三亚近岸海域岩石上采集的新鲜藻体。藻体呈片状,选择藻体较完好且呈鲜绿色的石莼个体,用自然海水洗净石莼表面附着的泥沙、螺贝以及其他杂藻后,放进加入适量采集现场海水的容器带回实验室,捞出后用适量过滤海水(取石莼采集现场的海水经0.45μm滤膜过滤制得)淘洗,再放入过滤海水中进行预培养,连续曝气,期间不更换海水,使浒苔藻体处于营养盐饥饿状态。藻类培养水箱为塑料整理箱。

预培养条件:温度(25±1)℃;光照强度5 000~6 000 Lx;培养时间24 h(光、暗各12 h)。

2.2 石莼藻体对氮磷吸收实验

在过滤海水中根据需要添加适量NH₄Cl、Na₂HPO₄·12H₂O、NaNO₃(均为分析纯)配制实验富营养化海水。

将预培养石莼用滤纸吸去藻体表面水分,用电子天平称取一定质量的石莼,放入塑料整理箱(长×宽×高=35 cm×20 cm×25 cm)中,再加入4 L实验富营养化海水进行培养,藻体密度设计2.5、5.0 g/L两种,实验同时设计空白对照样(未种植石莼)。

培养时间为10 h,温度和光照强度条件同预培养,每隔1 h取样分析总氮、氨氮和总磷含量。

3 结果与讨论

3.1 石莼藻体密度对总氮、氨氮和总磷去除效果的影响

对总氮、氨氮和总磷初始浓度分别为14、3.8、1.9 μmol/L的富营养化海水,种植藻体密度2.5、5.0 g/L的石莼后,总氮、氨氮和总磷随吸收时间的去除情况分别见图1、图2和图3。

从图1可以看出,总氮初始浓度为14 μmol/L,当吸收时间为8 d时,石莼藻体密度2.5、5.0 g/L对总氮的去除率分别是78.6%、80.0%;当吸收时间为10 d时,石莼藻体密度2.5、5.0 g/L对总氮的去除率分别是80.0%、82.1%。

从图2可以看出,氨氮初始浓度为3.8 μmol/L,当吸收时间为8 d时,石莼藻体密度2.5、5.0 g/L对氨氮的去除率分别是79.0%、81.6%;当吸收时间为10 d时,石莼藻体密度2.5、5.0 g/L对氨氮的去除率分别是81.6%、81.6%。

从图3可以看出,总磷初始浓度为1.9 μmol/L,当吸收时间为8 d时,石莼藻体密度2.5、5.0 g/L对总磷的去除率分别是79.0%、84.2%;当吸收时间为10 d时,石莼藻体密度2.5、5.0 g/L对总磷的去除率分别是79.0%、84.2%。

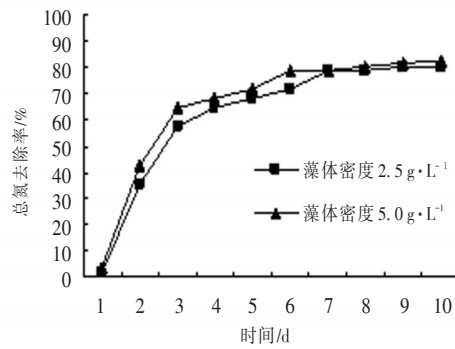


图1 石莼藻体密度对总氮(初始浓度 $14\mu\text{mol/L}$)去除率的影响

Fig. 1 Impact of density of *Ulva pertusa* on removal rate of TN (initial concentration of $14\mu\text{mol/L}$)

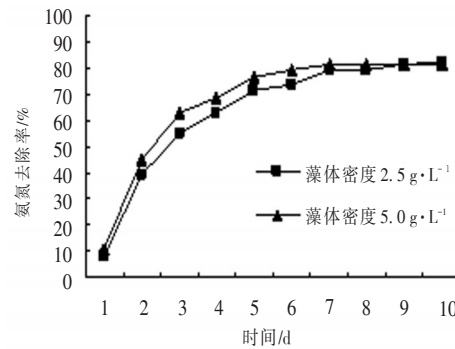


图2 石莼藻体密度对氨氮(初始浓度 $3.8\mu\text{mol/L}$)去除率的影响

Fig. 2 Impact of density of *Ulva pertusa* on removal rate of $\text{NH}_4\text{-N}$ (initial concentration of $3.8\mu\text{mol/L}$)

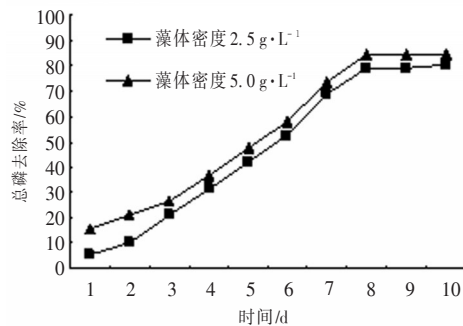


图3 石莼藻体密度对总磷(初始浓度 $1.9\mu\text{mol/L}$)去除率的影响

Fig. 3 Impact of density of *Ulva pertusa* on removal rate of TP (initial concentration of $1.9\mu\text{mol/L}$)

总体上可以看出,当富营养化海水中总氮、氨氮和总磷初始浓度分别为 14 、 3.8 、 $1.9\mu\text{mol/L}$ 、吸收时间在 $0\sim 10\text{d}$ 范围时,两种石莼藻体密度 2.5 、 5.0g/L 条件下,富营养化海水中总氮、氨氮和总磷浓度都是随吸收时间延长而逐渐降低,去除率都随吸收时间延长而逐渐增加;当吸收时间为 10d 时,总氮、氨氮和总磷去除率都可以达到 80% 左右;在相同实验条件下,藻体密度($2.5\sim 5.0\text{g/L}$)对总氮、氨氮和总磷的去除效果影响不大,去除率百分点的提升不超过 5% 。因此,对不同富营养化程度的海水进行实验研究时,选择固定石莼藻体密度为 2.5g/L 。

3.2 石莼对不同富营养化程度海水中总氮去除率的影响

固定氨氮、总磷初始浓度分别为 3.8 、 $1.9\mu\text{mol/L}$,配制总氮初始浓度分别为 14 、 17.8 、 26 、 $37.5\mu\text{mol/L}$ 的富营养化海水,种植藻体密度 2.5g/L 的石莼后,总氮随吸收时间的去除情况见图4。由图4可以看出,当总氮初始浓度为 $37.5\mu\text{mol/L}$,石莼在吸收时间为 9d 时对总氮去除率仅达到约 25% ;当总氮初始浓度为 14 、 17.8 、 $26\mu\text{mol/L}$,石莼在吸收时间为 2d 时对总氮去除率分别达到约 35.7% 、 28.1% 和 32.7% ,在吸收时间为 9d 时对总氮去除率则分别又提高到约 80% 、 83.2% 和 80.8% 。

因此,相比总氮初始浓度 $37.5\mu\text{mol/L}$,当富营养化海水中总氮初始浓度介于 $14\sim 26\mu\text{mol/L}$ 时,藻体密度为 2.5g/L 的石莼对总氮具有较好的去除效果。

3.3 石莼对不同富营养化程度海水中氨氮去除率的影响

固定总氮、总磷初始浓度分别为14、1.9 $\mu\text{mol/L}$, 配制氨氮初始浓度分别为3.8、4.8、7.3、8.5 $\mu\text{mol/L}$ 的富营养化海水, 种植藻体密度2.5 g/L的石莼后, 氨氮随吸收时间的去除情况见图5。

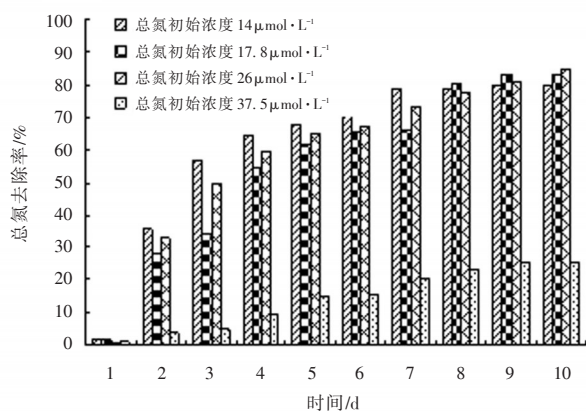


图4 种植石莼(藻体密度 $2.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)后不同富营养化程度海水中总氮去除率的变化

Fig. 4 Dynamic change of removal rate of TN in different degree eutrophic sea water after planting of *Ulva pertusa* (density of $2.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)

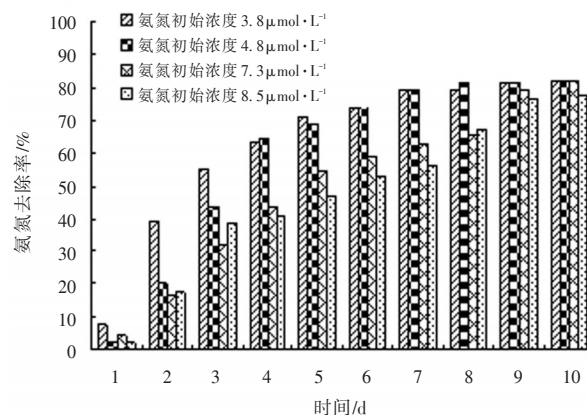


图5 种植石莼(藻体密度 $2.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)后不同富营养化程度海水中氨氮去除率的变化

Fig. 5 Dynamic change of removal rate of $\text{NH}_4\text{-N}$ in different degree eutrophic sea water after planting of *Ulva pertusa* (density of $2.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)

由图5可以看出:在吸收时间介于1~8 d时,藻体密度2.5 g/L的石莼对富营养化海水中氨氮的去除率受氨氮初始浓度影响较大。当氨氮初始浓度为3.8 $\mu\text{mol/L}$,石莼在吸收时间为2 d时对氨氮去除率即可达到约39.57%;当氨氮初始浓度为4.8、7.3、8.5 $\mu\text{mol/L}$,石莼在吸收时间为2 d时对氨氮去除率分别只有20.8%、16.4%、17.7%。

在吸收时间为9 d时,藻体密度2.5 g/L的石莼对富营养化海水中氨氮的去除率受氨氮初始浓度影响较小,氨氮初始浓度3.8、4.8、7.3、8.5 $\mu\text{mol/L}$ 的富营养化海水中石莼对氨氮去除率分别达到81.6%、81.3%、79.5%和77.7%。

3.4 石莼对不同富营养化程度海水中总磷去除率的影响

固定总氮、氨氮初始浓度分别为14、3.8 $\mu\text{mol/L}$, 配制总磷初始浓度分别为1.9、3、3.5、15 $\mu\text{mol/L}$ 的富营养化海水,种植藻体密度2.5 g/L的石莼后,总磷随吸收时间的去除情况见图6。

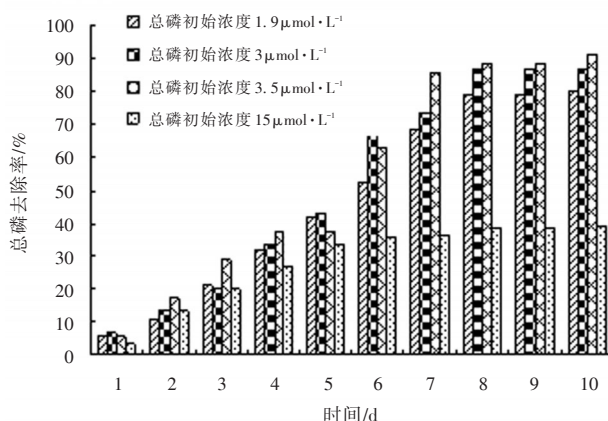


图6 种植石莼(藻体密度 $2.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)后不同富营养化程度海水中总磷去除率的动态变化 Fig. 6 Dynamic change of removal rate of TP in different degree eutrophic sea water after planting of *Ulva pertusa* (density of $2.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)

由图6可知,总磷初始浓度为1.9、3、3.5 $\mu\text{mol/L}$ 的富营养化海水,总磷去除率随吸收时间增加而逐渐增加,当吸收时间为6 d时,总磷去除率均可达到50%以上(分别为52.6%、66.7%、62.9%);当吸收时间为8 d时,总磷去除率均可达到80%以上(分别为80.0%、86.7%、88.6%)。在此吸收条件下,石莼对富营养化海水中的总磷具有比较好的吸收和去除效果。

但总磷处于较高的初始浓度 15 $\mu\text{mol/L}$ 、吸收时间 1~4 d 时,总磷去除率随吸收时间增加而逐渐增加;吸收时间为 5~10 d 时,总磷去除率基本保持在约 37%。说明在较高总磷浓度(15 $\mu\text{mol/L}$)时,2.5 g/L 藻体密度的石莼对总磷的去除效果较差,在 0~10 d 吸收时间内,其总磷最大去除率不超过 37%。

4 结论

通过室内培养实验,研究了石莼对富营养化海水中总氮、氨氮和总磷等营养盐的吸收效果。在实验条件下,研究结果表明:

1) 当石莼在总氮、氨氮和总磷初始浓度分别为 14、3.8、1.9 $\mu\text{mol/L}$ 的富营养化海水中种植藻体密度为 2.5 g/L、吸收时间 10 d 时,其对总氮、氨氮和总磷去除率可分别达到 80%、81.6% 和 79%。

2) 吸收时间 9 d,石莼种植藻体密度 2.5 g/L,总氮初始浓度 14、17.8、26、37.5 $\mu\text{mol/L}$,总氮去除率分别为 80%、83.2%、80.8%、25%。说明在实验条件下,石莼对总氮的去除率受总氮初始浓度影响较大。当总氮初始浓度控制在 26 $\mu\text{mol/L}$ 以下时,石莼对总氮具有比较高的去除效果,而当总氮初始浓度由 26 $\mu\text{mol/L}$ 增加到 37.5 $\mu\text{mol/L}$ 时,总氮去除率降幅达 55.8%。

3) 吸收时间 9 d,石莼种植藻体密度 2.5 g/L,氨氮初始浓度 3.8、4.8、7.3、8.5 $\mu\text{mol/L}$,石莼对氨氮去除率可分别达到 81.6%、81.3%、79.5%、77.7%。说明当氨氮初始浓度控制在 8.5 $\mu\text{mol/L}$ 以下时,石莼对氨氮都具有比较高的去除效果,氨氮去除率受其初始浓度影响较小。

4) 吸收时间 8 d,石莼种植藻体密度 2.5 g/L,总磷初始浓度 1.9、3、3.5、15 $\mu\text{mol/L}$,石莼对总磷去除率分别为 80.0%、86.7%、88.6%、37%。说明在实验条件下,石莼对总磷的去除率受总磷初始浓度影响也比较大。当总磷初始浓度控制在 3.5 $\mu\text{mol/L}$ 以下时,石莼对总磷具有比较高的去除效果,而当总磷初始浓度由 3.5 $\mu\text{mol/L}$ 增加到 15 $\mu\text{mol/L}$ 时,总磷去除率降幅达 51.6%。

参考文献 (References)

- [1] 宋志文,王玮,赵丙辰,等. 海水养殖废水的生物处理技术研究进展[J]. 青岛理工大学学报,2006,27(1):13-17.
- [2] 杜少文. 湿地植物污水净化效果及其机理的初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学海洋生命学院,2011.
- [3] KANSHIME F, ORYEM-ORIGA H, RUKWAGO S. Comparative assessment of the value of papyrus and cocoyams for the restoration of the Nakivubo wetland in Kampala, Uganda[J]. *Physics & Chemistry of the Earth*, 2005, 30(11):698-705.
- [4] MAHUJCHARIYAWONG J, IKEDA S. Modelling of environmental phytoremediation in eutrophic river—the case of water hyacinth harvest in Tha-chin River, Thailand[J]. *Ecological Modelling*, 2001, 142(1):121-134.
- [5] 张亚,常雅军,刘晓静,等. 碱蓬对不同盐度富营养化模拟海水的净化效应及其生长特性[J]. 植物资源与环境学报,2016,25(4):34-41.
- [6] 安卫征. 石莼多糖的提取、纯化及生物活性初步研究[D]. 广州:暨南大学,2008.
- [7] 程丽巍. 三种大型海藻对海水中营养盐供应变化的生理响应研究[D]. 南京:南京农业大学,2010.
- [8] 田华. 南海绳江篱及石莼多糖的提取、结构与活性研究[D]. 海口:海南大学,2014.
- [9] 张永正,王萍,桂福坤,等. 石莼、铁钉菜和蜈蚣藻对氮源利用的研究[J]. 海洋环境科学,2012,31(3):341-345.
- [10] 王萍,桂福坤,吴常文. 营养盐因子对孔石莼和繁枝蜈蚣藻氮、磷吸收的影响[J]. 水产科学,2010,29(4):208-211.
- [11] 孙琼花,闫慧,沈淑芬,等. 孔石莼对养虾废水营养盐吸收的研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2013,29(4):109-113.
- [12] 秦传新,刘长发,张立勇. 孔石莼和角叉菜对硝酸氮、磷的吸收及其生化组成变化[J]. 水生态学杂志,2010,3(6):41-45.
- [13] 张达娟,张树林,刘阔晨,等. 孔石莼净化珊瑚养殖水体水质的研究[J]. 天津农业科学,2015,21(7):13-16.

(责任编辑:叶冰)