

# 几种海藻富集 N, P 净化水质的研究

黄新苹<sup>1,2</sup>, 朱校斌<sup>1</sup>, 刘建国<sup>1</sup>, 王新亭<sup>1</sup>, 徐维海<sup>1</sup>, 康兴伦<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 选用几种在富营养化养殖废水中生长的大型海藻优势种: 日本多管藻(*Polysiphonia japonica*)、孔石莼(*Ulva pertusa*)、簇生刚毛藻(*Cladophora fasciculatus*)和褶曲刚毛藻(*Cladophora flexusa*), 植于富营养化的地下海水中, 研究其对水体中 N, P 等营养物质的净化效果。实验结果表明, 褶曲刚毛藻对水体中的 N, P 有很强的吸收和转化能力, 从而可快速净化富营养水体中的 N, P。地下水植入褶曲刚毛藻 9 h 后,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  的质量浓度分别降为 0.0045, 0.0545, 0.0048, 0.0116 mg/L, 降除率达到 93%, 90%, 92%, 75%。

**关键词:** 地下水; 富营养化; 海藻; 净化

中图分类号: X52; X55 文献标识码: A 文章编号 1000-3096(2004)12-0039-04

在水产养殖中, 水体生态环境的优劣起非常关键的作用。水中亚硝酸盐的质量浓度过高, 会导致鱼类患褐血病。患病鱼体内血液中运输氧气的血红蛋白与亚硝酸盐结合, 不能运输氧气, 从而使鱼窒息死亡。陈红菊等<sup>[1]</sup>选用有益菌: 光合细菌(Photosynthetic bacteris, PSB)、芽胞细菌(Bacillus, BAC)、放线菌(Actinobacillus, ACT), 研究其对养殖水体中亚硝酸盐质量浓度的影响。结果表明, 这 3 种有益菌都能净化水质, 有效降低水中亚硝酸盐质量浓度。

国内外在高速率藻塘(HRAP)污水处理系统方面进行大量试验和应用, 主要通过藻菌共生系统(Algae-bacteria symbiotic system)来净化废水<sup>[2]</sup>。由于采用的微藻或菌类个体小, 因此难以除去。目前在治理富营养化水体时, 主要采用大型水生植物来吸收 N, P 等营养元素的方法。陈汉辉<sup>[3]</sup>率先在国内开展应用水网藻去除 N, P, 净化水质的研究, 在富营养化水体中培养大型水网藻, 然后用筛绢过滤除去水网藻, 取得良好的净化效果。朱庆亮等<sup>[4]</sup>采取大型蓄水池移植川蔓藻(*Ruppia rostellata* Koch)净化育苗用水, 用川蔓藻净化的海水大幅度提高育苗成活率。谢天等<sup>[5]</sup>采用“网箱养草”方法, 把金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)和黑藻(*Hydrilla verticillata* Royle)放在类似养鱼的网箱中, 然后将网箱置入富营养化的水体, 根据需要调整箱内水草的

种类和数量, 达到净化水质的目的。

2003 年 8 月, 作者在青岛良种鱼繁育中心开展了利用藻类去除 N, P, 净化水质的研究, 对该公司养殖大菱鲆所用的地下海水中 N, P 质量浓度进行了分析测定。结果报告如下。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

采用的地下水水样是青岛良种鱼繁育中心的养殖用水, 日本多管藻(*Polysiphonia japonica*)为养殖废水池中的优势藻种, 孔石莼(*Ulva pertusa*)在青岛汇泉湾水域采集, 簇生刚毛藻(*Cladophora fasciculatus*)为该中心附近养殖虾池内自长的优势藻种, 褶曲刚毛藻(*Cladophora flexusa*)采自青岛胶州湾浅水域。所用藻种, 试验前在地下海水中暂养 1 周。

收稿日期: 2003-10-21; 修回日期: 2003-12-02

基金项目: 国家“973”计划项目(2002CB412402); 中国科学院重大项目(KJ9X315W-215)

作者简介: 黄新苹(1974-), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 研究方向: 环境友好化学和病害防治; 朱校斌, 通讯作者, 研究员, E-mail: xbzhu@ms.qdio.ac.cn

1.2 实验设计

每天上午取新鲜的地下海水,分为5组测定,每组都在20 L地下海水中植入20 g海藻,使海藻的质量浓度为1 g/L。第1组:地下海水未植入海藻,作为对照组;第2,3,4,5组:地下海水中分别植入日本多管藻、孔石莼、簇生刚毛藻和褶曲刚毛藻。在植入海藻0,1,3,5,7,9 h后,测量水样中的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 质量浓度变化。连续测定3 d,作为1个周期。共测定3个周期。

1.3 测定方法<sup>[7]</sup>

硝酸盐( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ):采用镉柱还原法;亚硝酸盐( $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ):采用萘乙二胺分光光度法;铵氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )采用次溴酸盐氧化法;磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ ):采用磷钼蓝分光光度法。

1.4 测定仪器和试剂

721分光光度计,pH计,照度计,温度计,实验箱为透明塑料箱(容量40 L)及实验室常用仪器和设备;试剂均采用分析纯。

2 结果与讨论

2.1 地下海水植入不同海藻后N, P质量浓度变化

测定5组中,各组水样中N, P等水质指标随时间变化的测定结果见表1。各组水样中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 随时间的变化,分别见图1,2,3和4。

表1 地下海水中各组水样的水质测定结果

Tab. 1 Result of water quality analysis in the sea groundwater in groups

组别	时间 (h)	$c(\text{NO}_2^- - \text{N})$ (mg/L)	$c(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ (mg/L)	$c(\text{NO}_3^- - \text{N})$ (mg/L)	$c(\text{DIN})$ (mg/L)	$c(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$ (mg/L)	温度 (℃)	pH	光照 (lx)
对照组 (第1组)	0	0.0690	0.5215	0.0618	0.6523	0.0457	22	7.50	2400
	1	0.0710	0.5348	0.0632	0.6690	0.0437	22	7.53	2900
	3	0.0733	0.5776	0.0587	0.7096	0.0428	23	7.51	3600
	5	0.0741	0.5292	0.0598	0.6631	0.0425	24	7.58	4800
	7	0.0702	0.5469	0.0558	0.6729	0.0419	25	7.67	2800
日本多管藻 (第2组)	1	0.0679	0.5748	0.0488	0.6915	0.0418	25	7.76	1430
	3	0.0683	0.5110	0.0599	0.6392	0.0456	22	7.67	2900
	5	0.0676	0.4798	0.0575	0.6049	0.0451	23	8.01	3600
	7	0.0669	0.4589	0.0518	0.5776	0.0448	24	8.09	4800
	9	0.0649	0.4537	0.0507	0.5693	0.0443	25	8.15	2800
孔石莼 (第3组)	1	0.0635	0.4516	0.0474	0.5625	0.0438	25	8.21	1430
	3	0.0635	0.5125	0.0494	0.6287	0.0461	22	7.69	2900
	5	0.0635	0.4855	0.0457	0.5947	0.0406	23	8.05	3600
	7	0.0472	0.3890	0.0371	0.4733	0.0265	24	8.17	4800
	9	0.0437	0.2981	0.0316	0.3734	0.0242	25	8.25	2800
簇生刚毛藻 (第4组)	1	0.0269	0.1617	0.0298	0.2184	0.0224	25	8.34	1430
	3	0.0642	0.5009	0.0430	0.6081	0.0445	22	7.70	2900
	5	0.0611	0.4247	0.0408	0.5266	0.0415	23	8.09	3600
	7	0.0458	0.2105	0.0324	0.2887	0.0225	24	8.19	4800
	9	0.0401	0.1815	0.0269	0.2485	0.0214	25	8.35	2800
褶曲刚毛藻 (第5组)	1	0.0220	0.1150	0.0173	0.1543	0.0202	25	8.41	1430
	3	0.0641	0.4719	0.0424	0.5784	0.0437	22	7.86	2900
	5	0.0502	0.2602	0.0404	0.3508	0.0386	23	8.33	3600
	7	0.0411	0.1307	0.0207	0.1925	0.0212	24	8.40	4800
	9	0.0254	0.0944	0.0105	0.1303	0.0201	25	8.49	2800
	9	0.0045	0.0545	0.0048	0.0638	0.0116	25	8.47	1430

注: c表示质量浓度(mg/L)。

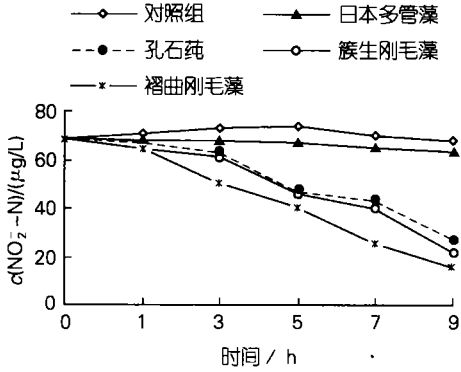


图1 地下海水中植入不同藻类后,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  质量浓度随时间的变化(图2, 3, 4图例相同)

Fig. 1 Changes in  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  content treated by different algae in sea groundwater (The legends in Fig. 2, 3, 4 being same with Fig. 1)

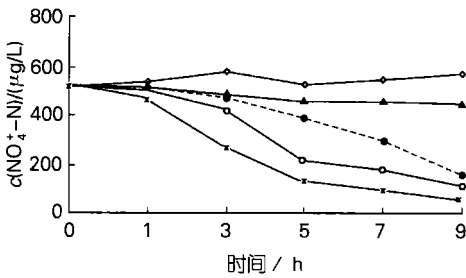


图2 地下海水中植入不同藻类后,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  质量浓度随时间的变化

Fig. 2 Decrease of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  exposed to different algae in sea groundwater

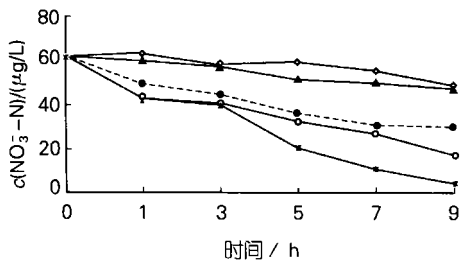


图3 地下海水中植入不同藻类后,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  质量浓度随时间的变化

Fig. 3 De- eutrophication of different algae for  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  in sea groundwater

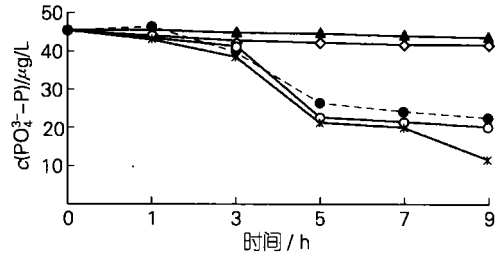


图4 地下海水中植入不同藻类后,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  质量浓度随时间的变化

Fig. 4 Variation of  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  by different algae in sea groundwater

测定结果表明, 地下海水在未植入海藻时, 水中的 N, P 质量浓度在 1 天中基本没有变化。在地下海水中植入日本多管藻, 5 h 后测  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  的去除率分别为 3%, 12%, 16%, 2%; 9 h 后相应的去除率分别为 8%, 14%, 23%, 4%。在地下海水中植入孔石莼, 5 h 后测定  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  的去除率分别为 32%, 25%, 40%, 42%; 9 h 后相应的去除率分别为 61%, 31%, 52%, 51%。在地下海水中植入簇生刚毛藻, 5 h 后测定  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  的去除率分别为 34%, 60%, 48%, 51%; 9 h 后相应的去除率分别为 68%, 78%, 72%, 56%。在地下海水中植入褶曲刚毛藻, 5 h 后测定  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  的去除率分别为 40%, 75%, 67%, 54%; 9 h 后相应的去除率分别为 93%, 90%, 92%, 75%。

## 2.2 讨论

通过日本多管藻、孔石莼、簇生刚毛藻和褶曲刚毛藻 4 种藻种对 N, P 去除率的对比, 可明显看出植入孔石莼、簇生刚毛藻和褶曲刚毛藻的地下海水的 N, P 质量浓度低于地下海水。从图中也可看到各水质指标的下降趋势, 随时间的变化具有显著的规律。而且, 褶曲刚毛藻吸收 N, P 的能力更为理想。

地下海水的 pH 在未植入海藻时为 7.50, 植入孔石莼 5 h 后为 8.05, 植入簇生刚毛藻 5 h 后为 8.19, 而植入褶曲刚毛藻的 pH 值则为 8.4, 说明随着藻类的光合作用, 水中二氧化碳减少, 从而 pH 值升高, 这与 N, P 质量浓度降低正好相对应。而植入

日本多管藻的地下水 pH 值变化较小,说明它的光和作用能力较上面 3 种海藻弱。

根据海水环境质量标准,清洁海水中无机氮质量浓度:  $c(\text{DIN}) \leq 0.2 \text{ mg/L}$ ;轻度污染海水:  $c(\text{DIN}) \leq 0.4 \text{ mg/L}$ ;中度污染海水:  $c(\text{DIN}) \leq 0.5 \text{ mg/L}$ 。地下水在未植入褶曲刚毛藻时,无机氮质量浓度为  $0.6523 \text{ mg/L}$ ,超过中度污染海水;在植入褶曲刚毛藻 9 h 后,  $c(\text{DIN})$  为  $0.0638 \text{ mg/L}$ 。清洁海水中无机磷质量浓度:  $c(\text{P}) \leq 0.015 \text{ mg/L}$ ;轻度污染海水:  $c(\text{P}) \leq 0.03 \text{ mg/L}$ ;中度污染海水:  $c(\text{P}) \leq 0.045 \text{ mg/L}$ 。地下水在未植入褶曲刚毛藻时,无机磷质量浓度为:  $0.0457 \text{ mg/L}$ ,超过中度污染海水;在植入褶曲刚毛藻 9 h 后,  $c(\text{P})$  为  $0.011 \text{ mg/L}$ 。可见经过褶曲刚毛藻处理后,地下水由污染海水达到清洁海水标准。

### 3 结语

刚毛藻在中国海区广泛分布,利用它来处理富营养化水体,并和水产养殖业相结合,既净化水体,使养殖废水能循环利用,满足水产养殖的需求,又改善水产业生态环境。同时,将刚毛藻变废为宝<sup>[8]</sup>,根据生态系统中食物链的结构,生产优良饲料,食品和

药物等,实现藻类资源的高值利用,将具有重大的生态意义和社会经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 陈红菊,岳永生,丁雷,等. 生物净化剂对养殖水体亚硝酸盐含量影响的研究[J]. 淡水渔业, 2003, 33(1): 16-18.
- [2] 韩仕群,张振华. 国内外利用藻类技术处理废水,净化水体研究现状[J]. 农业环境与发展, 2000, 17(1): 13-16.
- [3] 陈汉辉. 利用藻类净化水源水质的实践与探讨[J]. 水资源保护, 1993, 55(1): 18-23.
- [4] 朱庆亮,徐高峰,天杞承,等. 移植川蔓藻对育苗用海水净化作用的研究[J]. 齐鲁渔业, 2001, 18(4): 31-34.
- [5] 谢田,陈桂芳. 水生植物净化水质生态工程研究[J]. 网箱养草净化水质初步探讨[J]. 新能源, 1998, 20(12): 32-34.
- [6] 华栋,牛德中. 江苏盐田刚毛藻资源的综合利用[J]. 资源科学, 1998, 20(6): 56-60.
- [7] 国家海洋局. 海水监测规范[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 265-281.
- [8] 陈洪柱. 盐田刚毛藻的防治及其综合利用[J]. 海湖盐与化工, 1997, 26(3): 32-33.

## Study on enrichment of N, P and purification of water quality by several species of algae

HUANG Xin-ping<sup>1,2</sup>, ZHU Xiao-bin<sup>1</sup>, LIU Jian-guo<sup>1</sup>, WANG Xin-ting<sup>1</sup>, XU Wei-hai<sup>1</sup>, KANG Xing-lun<sup>1</sup>

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Oct., 21, 2003

key words: sea groundwater; eutrophication; algae; water purification

**Abstract:** Eutrophication is becoming a serious problem in most of the mariculture areas in China. *Ulva pertusa*, *Polysiphonia japonica*, *Cladophora fasciculatus* and *Cladophora flexuosa* are dominant species in eutrophic fishery wastewater. They were planted in eutrophic sea groundwater. The index of water quality were analysed. The results proved that *Cladophora flexuosa* could absorb and transform N, P efficiently. When *Cladophora flexuosa* were planted in the sea groundwater, the concentration of  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  and  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  decreased by 0.0045, 0.054, 0.0048, 0.0116 mg/L, within 9 h respectively. The removal reached 93%, 90%, 92%, 75%.

(本文编辑:张培新)