

大型海藻吸收氮磷营养盐能力的初步研究

王翔宇 詹冬梅 李美真* 徐智广

(山东省海水养殖研究所, 青岛 266002)

摘要 将日本马泽藻 *Mazzaella japonica*、孔石莼 *Ulva pertusa*、鼠尾藻 *Sargassum thunbergii*、红毛菜 *Bangia fusco-purpurea*、蠕枝藻 *Helminthocladia australis*、扇形拟伊藻 *Ahnfeltiopsis flabelliformis* 6 种大型海藻培养在富含氮磷海水中 72 h, 分析海水中氨氮、硝氮和活性磷浓度的变化, 目的在于比较它们对营养盐去除效果。实验结果表明, 6 种海藻对氮磷都有明显的去除作用, 日本马泽藻和孔石莼对氨氮、硝氮和活性磷的去除效果最好, 分别吸收了培养水体中氨氮初始总量的 98.0% 和 97.1%、硝氮初始总量的 76.9% 和 82.0%、活性磷初始总量的 90.8% 和 86.9%。

关键词 大型海藻 富营养化 氮 磷

中图分类号 S917.3 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2011)04-0067-05

Preliminary studies on the nitrogen and phosphorus absorption capability of macroalgae

WANG Xiang-yu ZHAN Dong-mei LI Mei-zhen* XU Zhi-guang

(Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002)

ABSTRACT To investigate the removal efficiency of nutrient by macroalgae, six species of algae, including *Mazzaella japonica*, *Ulva pertusa*, *Sargassum thunbergii*, *Bangia fuscopurpurea*, *Helminthocladia australis*, and *Ahnfeltiopsis flabelliformis*, were cultured in natural seawater for 72 h, and then the concentrations of ammonia, nitrate, and phosphate in the culture media were measured respectively. The results showed that compared with the other species, *M. japonica* and *U. pertusa* showed much higher efficiency in removing all three nutrients. The percentages of the three nutrients absorbed by *M. japonica* and *U. pertusa* in 72 h were 98.0% and 97.1% of ammonia, 76.9% and 82.0% of nitrate, 90.8% and 86.9% of phosphate, respectively.

KEY WORDS Eutrophication Macroalgae Nitrogen Phosphorus

随着海水养殖业的迅猛发展, 养殖动物的排泄、残饵的腐化分解及水流状况不佳, 导致了养殖水体中营养盐的不断积累, 使近海海域出现了富营养化现象, 如我国黄海南部近岸海域和胶州湾大部分水域处于中度营养和富营养化水平(徐德明等 2006; 姚云等 2004)。营养盐存在的主要形式是氨氮、硝氮和活性磷, 其中

国家海洋公益性行业科研专项经费项目(20090519-2 和 20090520-4)和山东省科技攻关计划(2009GG10005012)共同资助

* 通讯作者。E-mail: li-meizhen@163.com, Tel: 13668895515

收稿日期: 2010-11-15; 接受日期: 2011-01-18

作者简介: 王翔宇(1979-), 男, 硕士, 主要从事海藻生态学研究。E-mail: xiangyuwang@139.com, Tel: 15964217350

氨氮在动物养殖水体中含量较高(胡海燕等 2003),而硝氮是水体中无机氮的主要存在形式,且极易被藻类和植物利用,水体中硝氮含量较高时,很容易促使藻类大量繁殖,造成水域污染(Mittler *et al.* 1995),在水体生态系统中磷含量高时,固氮微生物会大量繁殖,使水体中的氮含量上升(Takahashi *et al.* 1999)。国内外学者一致认为,养殖大型藻类是吸收、利用营养物质和延缓水质富营养化的有效措施之一,还可以为提取藻胶或肥料提供生物材料来源(Schramm 1999;杨宇峰等 2003;何培民等 2005)。

因此,利用大型海藻净化富营养化水体,对富营养化海水进行生物修复成为研究热点,主要应用实例包括:利用龙须菜净化轻度富营养化海水水体(彭长连等 2007;赵先庭等 2007);在网箱养殖区用菊花心江蓐改善水环境(汤坤贤等 2005);江蓐与三文鱼共养,降低水体中的氨氮含量(Troell *et al.* 1999);建立藻鱼混养系统,大幅度降低水体中的营养物质(Lüning *et al.* 2003);实验室内研究海藻吸收氮、磷营养盐的主要进展包括:蛎菜和草叶马尾藻等7种大型藻类吸收营养盐的情况(岳维忠等 2004);细基江蓐繁枝变型、孔石莼和蜈蚣藻在不同温度和盐度下的对氨氮的吸收情况(刘静雯等 2001)。可是目前可利用的海藻种类还较少,对各种海藻去除氮、磷营养盐的能力了解不足,这导致利用海藻改善水质受到种类选择的限制。基于这个原因,本实验采集了生长于青岛太平角近岸海域的6种大型海藻,在实验室内比较它们对氮、磷营养盐的吸收效果,以丰富这方面的研究,为利用海藻进行水环境修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验材料

选择6种大型海藻:日本马泽藻 *Mazzaella japonica*、孔石莼 *Ulva pertusa*、鼠尾藻 *Sargassum thunbergii*、红毛菜 *Bangia fusco-purpurea*、蠕枝藻 *Helminthocladia australis*、扇形拟伊藻 *Ahnfeltiopsis flabelliformis* 作为实验材料,于2009年12月取自青岛太平角近岸海域。从形态上,日本马泽藻和孔石莼都属于叶片较大的海藻,而其余海藻的枝叶均细小;从分类上,日本马泽藻、红毛菜、蠕枝藻和扇形拟伊藻为红藻,孔石莼为绿藻,鼠尾藻为褐藻。选择鲜活的藻体,除净表面附着物,实验前在50 L培养缸内预培养4d。预培养海水为经过砂滤的新鲜海水,海水pH为 7.28 ± 0.15 ,盐度为28,水温为 15°C ,光照强度为 $50 \pm 2.5 \mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$,光/暗比为12 h : 12 h。

1.1.2 培养水体

培养水体是加入适量 NH_4Cl 和 KH_2PO_4 的过滤煮沸海水,其中添加氨氮的浓度在 $0.5 \pm 0.05 \text{ mg/L}$,活性磷的浓度在 $0.1 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ 。

1.2 方法

1.2.1 水质指标测定

实验开始后按照0、3、6、12、24、48、72 h的时间段取水样测定氨氮、硝氮和活性磷的浓度,重复3次。海水分析方法标准为GB17378.4-2007,其中氨氮采用次溴酸钠氧化法,硝氮采用镉柱还原法,活性磷采用抗坏血酸还原钼蓝法。

1.2.2 大型海藻去除氮磷实验

分别称取(用吸水纸吸干水分)大型海藻各10 g,移入装有供试用水的玻璃烧杯中,实验水体体积为5 L,实验设定两个平行样,每个时间段取120 ml水样,测定3次。试验在藻类培养架上进行,实验期间烧杯用保鲜膜覆盖防止水分蒸发,充气使藻体悬浮,培养的光温条件同预培养。

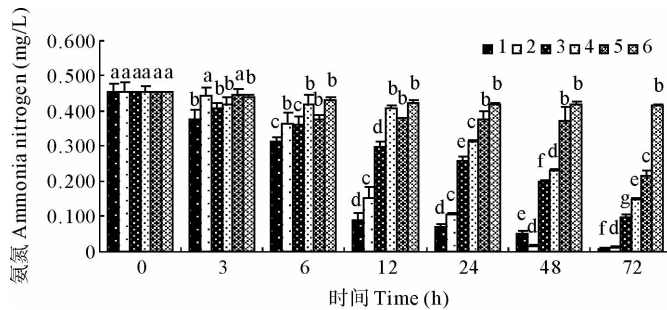
1.3 数据处理与分析

所得数据用平均值±标准差(Mean±S.D)表示。数据统计分析采用SPSS软件进行,用单因子方差分析(One-way ANOVA)的Duncan's multiple法来比较处理海藻数据间的差异性,以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 对氨氮的去除作用

数据分析结果显示,供试水体中氨氮的浓度随着时间的推移呈现下降趋势,72h 的浓度与初始浓度有明显差异。不同海藻对水体中氨氮的吸收能力差异显著($F=246.601, P<0.05$)。由图 1 可见,日本马泽藻对水体中氨氮的吸收能力最强,72 h 内实验水体中氨氮的浓度从 0.454 下降到 0.009 mg/L,吸收效率为 98.0%;其次是孔石莼,吸收效率为 97.1%;蠕枝藻、红毛菜、扇形拟伊藻和鼠尾藻的吸收效率分别为 78.0%、67.2%、52.4%、8.3%。日本马泽藻和孔石莼差异不显著。因此,在供试海藻中,去除作用大小的顺序为:日本马泽藻>孔石莼>蠕枝藻>红毛菜>扇形拟伊藻>鼠尾藻。



1. 日本马泽藻; 2. 孔石莼; 3. 蠕枝藻; 4. 红毛菜; 5. 扇形拟伊藻; 6. 鼠尾藻

注:同一海藻标有不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上存在显著差异

1. *M. japonica*; 2. *U. pertusa*; 3. *H. australis*; 4. *B. fuscopurpurea*; 5. *A. flabelliformis*; 6. *S. thunbergii*

Note: Different letters in the same macroalgae indicate significant difference at $P=0.05$

图 1 培养水体中氨氮的浓度

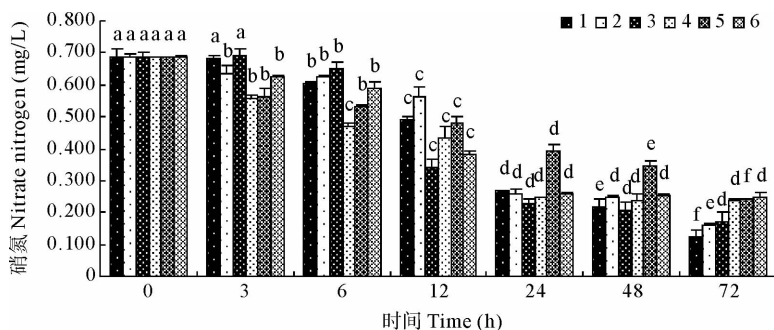
Fig. 1 The $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in the cultrue media

2.2 对硝氮的去除作用

数据分析结果表明,供试水体中硝氮的浓度随着时间的推移,呈现下降趋势,72 h 的浓度与初始浓度有明显差异。不同海藻对水体中硝氮的吸收能力差异极其显著($F=13.423, P<0.05$)。由图 2 可见,孔石莼对硝氮的吸收能力最强,72 h 内实验水体中硝氮的浓度从 0.688 下降到 0.124 mg/L,吸收效率为 82.0%;其次是日本马泽藻,吸收效率为 76.9%;蠕枝藻、扇形拟伊藻、鼠尾藻和红毛菜吸收效率分别为 75.0%、65.5%、65.0%、63.8%。方差分析结果显示,孔石莼和蠕枝藻差异不显著,鼠尾藻和红毛菜差异不显著,蠕枝藻和扇形拟伊藻差异不显著。在供试海藻中,对硝氮去除作用的顺序为:孔石莼>日本马泽藻>蠕枝藻>扇形拟伊藻>鼠尾藻>红毛菜。

2.3 对活性磷的吸收作用

结果表明,供试水体中活性磷的浓度随着时间的推移,呈现下降趋势,72 h 的浓度与初始浓度有明显差异。不同海藻对水体中活性磷的吸收能力差异显著($F=23.732, P<0.05$),同一海藻不同时间段对水体中活性磷的吸收能力差异显著($F=208.616, P<0.05$)。由图 3 可见,其中日本马泽藻对活性磷的吸收能力最强,72 h 内实验水体中活性磷的浓度从 0.595 下降到 0.055 mg/L,吸收效率为 90.8%;其次是孔石莼,吸收效率为 86.9%;蠕枝藻、红毛菜、扇形拟伊藻和鼠尾藻吸收效率分别为 77.1%、62.3%、56.7%、40.4%。方差分析结果显示,日本马泽藻和孔石莼差异不显著,红毛菜与扇形拟伊藻差异不显著。在供试海藻中,对水体中活性磷去除效果的顺序为:日本马泽藻>孔石莼>蠕枝藻>红毛菜>扇形拟伊藻>鼠尾藻。



1. 日本马泽藻; 2. 孔石莼; 3. 蠕枝藻; 4. 扇形拟伊藻; 5. 鼠尾藻; 6. 红毛菜

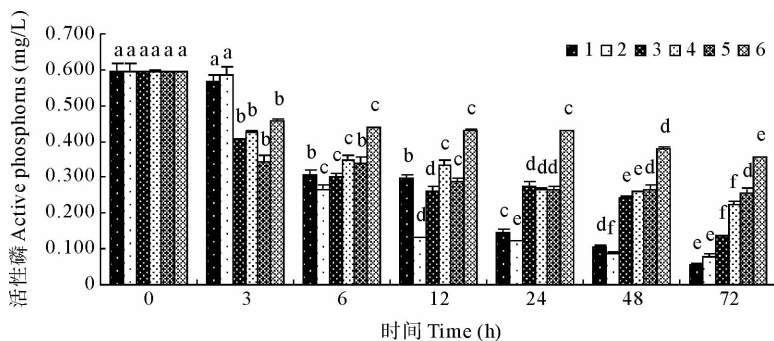
注: 同一海藻标有不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上存在差异显著

1. *M. japonica*; 2. *U. pertusa*; 3. *H. australis*; 4. *A. flabelliformis*; 5. *S. thunbergii*; 6. *B. fuscopurpurea*

Note: Different letters in the same macroalgae indicate significant difference at $P=0.05$

图2 培养水体中硝氮的浓度

Fig. 2 The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in the cultrue media



1. 日本马泽藻; 2. 孔石莼; 3. 蠕枝藻; 4. 红毛菜; 5. 扇形拟伊藻; 6. 鼠尾藻

注: 同一海藻标有不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上存在差异显著

1. *M. japonica*; 2. *U. pertusa*; 3. *H. australis*; 4. *B. fuscopurpurea*; 5. *A. flabelliformis*; 6. *S. thunbergii*

Note: Different letters in the same macroalgae indicate significant difference at $P=0.05$

图3 培养水体中活性磷的浓度

Fig. 3 The $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration in the cultrue media

3 讨论

关于海水富营养化的分析方法较多,有 Carlson 营养状态指数、化学参数法、AGP(藻类增值潜力)(林荣根等 1996)、营养指数法(海洋调查规范 GB/T 12763. 9-2007),近年来又有模糊数学综合评价法等(王化泉等 1985),相应的评价标准也有所不同。本研究的目的在于分析海藻吸收氮、磷的能力,为水质修复寻找工具藻提供参考,因此添加氮、磷的含量以李锦秀等(2002)的文章为参考,他们认为 TN 达到 0.5 mg/L, TP 达到 0.1 mg/L,水体已达到富营养化的程度。

大型海藻去除氮、磷营养盐效果的研究多集中于几种常见经济海藻如石莼、江蓠,实验环境主要是藻鱼或者藻虾等开放式混养模式,这些实验结果尽管数据结果有所不同,但是都发现海藻能明显降低养殖系统中的营养盐含量,提高养殖用水的质量(申玉春等 2005;黄道建等 2005;岳维忠等 2004;Krom *et al.* 1995;Natori *et al.* 2004)。本研究结果中也证明了石莼和鼠尾藻对海水中的氮、磷营养盐有较好的去除作用,其中石

莼的效果尤其明显,而日本马泽藻、红毛菜、蠕枝藻和扇形拟伊藻的研究尚未见报道。本研究发现,在6种大型海藻中,日本马泽藻和孔石莼对氮、磷营养盐的去除能力最强。其中孔石莼为石莼属海藻中最常见的种类,分布范围广,为温带海域的优势种,我国沿海均有生长,是研究较多的一种大型绿藻,而日本马泽藻是一种红藻,生长在潮间带石沼中或低潮线下的岩石上,全年可见,藻体较大,几乎每个季节都有成熟藻体(曾呈奎 2009)。因此利用孔石莼对富营养化海域进行生物修复将有很大的发展空间,而对马泽藻研究较少,可继续研究其生理生态特性,以期能够充分利用。

另外,关于海藻吸收营养盐的功能部位没有相关研究,从本实验的结果来看,叶片较大的海藻如日本马泽藻和孔石莼对氮、磷营养盐的吸收结果较强,而叶片较小的海藻,如红毛菜等的去除作用相比而言较差,因此,可以初步认为叶片去除营养的作用较大,但需要进一步研究确定。

本实验只是采集了12月份常见的潮间带代表海藻,在实验室模拟当时的环境所做的研究,要筛选出适合于不同水质条件下的工具藻,还要进一步研究不同时空和环境条件下的情况。

综上所述,本实验采集的大型海藻日本马泽藻和孔石莼在此条件下具有较强的吸收营养盐能力,能够为水环境改善寻找工具藻提供参考。

参 考 文 献

- 王化泉,赵丽云. 1985. 海洋环境质量评价探讨-模糊集理论的应用. 热带海洋学报, 4(2): 44~51
- 申玉春,熊邦喜,叶富良,阮芳. 2005. 虾-贝-藻生态优化养殖及其水质生物调控技术研究. 生态学杂志, 24(6): 613~618
- 刘静雯,董双林,马牲. 2001. 温度和盐度对几种大型海藻生长率和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸收的影响. 海洋学报, 23(2): 109~116
- 汤坤贤,焦念志,游秀萍,陈敏儿,沈东煜,林亚森,林泗彬. 2005. 菊花心江蓠在网箱养殖区的生物修复作用. 中国水产科学, 12(2): 156~161
- 何培民,徐珊楠,张寒野. 2005. 海藻在海洋生态修复和海水综合养殖中的应用研究简介. 渔业现代化, 4: 15~16
- 李锦秀,廖文根. 2002. 富营养化综合防治调控指标探讨. 水资源保护, 2: 4~5
- 杨宇峰,费修缙. 2003. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 33(1): 53~57
- 林荣根. 1996. 海水富营养化水平评价方法浅析. 海洋科学, 15(2): 28~30
- 岳维忠,黄小平,黄良民,谭焯辉,殷键强. 2004. 大型海藻净化养殖水体的初步研究. 海洋环境科学, 23(1): 13~15
- 姚云,沈志良. 2004. 胶州湾海水富营养化水平评价. 海洋科学, 28(6): 14~17, 22
- 赵先庭,刘云凌,张继辉,曲克明,马德林. 2007. 龙须菜处理海水养殖废水的初步研究. 海洋水产研究, 28(2): 24~27
- 胡海燕,卢继武,杨红生. 2003. 大型海藻对海水鱼类养殖水体的生态调控. 海洋科学, 27(2): 19~21
- 徐明德,韦鹤平,张海平. 2006. 黄海南部近岸海域水质现状分析. 中北大学学报(自然科学版), 27(1): 66~70
- 黄道建,黄小平,岳维忠. 2005. 大型海藻体内 TN 和 TP 含量极其对近海环境修复的意义. 台湾海峡, 24(3): 316~321
- 彭长连,温学,林植芳,周厚诚,陈少薇,林桂珠. 2007. 龙须菜对海水氮磷富营养化的响应. 植物生态学报, 31(3): 505~512
- 曾呈奎. 2009. 中国黄渤海海藻. 北京: 科学出版社
- Krom, M. D., Ellner, S., Rijn, J., and Neori, A. 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Marine Ecology*, 118: 25~36
- Lüning, K., and Pang, S. J. 2003. Mass cultivation of seaweeds: current aspects and approaches. *J. Appl. Phycol.* 15(2): 115~119
- Mittler, R., Shulaev, V., and Lam, E. 1995. Coordinated activation of programmed cell death and defense mechanisms in transgenic tobacco plants expressing a bacterial pump. *Plant Cell*, 7: 29~42
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Alejandro, H., Buschmann, G., P., Kraemer, H., C., Shpigiel, M., and Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231(1): 361~391
- Schramm, W. 1999. Factors influencing seaweed responses to eutrophication: some results from EU-project EU-MAC. *J. Appl. Phycol.* 11: 69~78
- Takahashi, A., Kawasaki, T., Kenji, H., Katsuhiko, S., Osamu, K., Hikaru, S., and Shimamoto, K. 1999. Lesion mimic mutants of rice with alterations in early signaling events of defense. *Plant Journal*, 17: 535~545
- Troell, M., Rönnbäck, P., Halling, C., Kautsky, N., and Buschmann, A. 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intense mariculture. *J. Appl. Phycol.* 11(1): 89~97