

网络优先数字出版时间: 2015-11-26

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20151126.1017.020.html>

浒苔的营养盐吸收及生长特性研究*

Nutrient Uptaking and Growth Performance of *Ulva prolifera*

王翔宇, 吴海一**

WANG Xiang-yu, WU Hai-yi

(山东省海洋生物研究院, 山东青岛 266104)

(Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shangdong, 266104, China)

摘要:【目的】了解浒苔(*Ulva prolifera*) 在富营养化状态下对氮磷吸收的作用以及生物量增长的规律, 为浒苔绿潮的治理及利用提供参考。【方法】设置 2 个营养盐浓度组, 采用国家标准方法检测不同时间水体中可溶性无机氮(DIN)和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的浓度, 考察浒苔对氮磷的吸收效率; 设置不同温度和营养盐浓度组合, 定时测量藻体重量, 并据此了解浒苔的生长特性。【结果】在本实验条件下, 浒苔最高吸收了水体中 62.2% 的 DIN 和 27.5% 的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, 吸收速率分别达到 0.022 mg N/(g·h) 和 0.006 mg P/(g·h); 浒苔在各实验组生长都较快, 其中在 15℃, N:P(mg/L)=3:0.3 的条件下生长最快, 日特异生长率达 9.44%, 8 d 生物量就能加倍; 在 20℃, 不添加氮磷的情况下生长最慢, 但也只需 13 d 生物量就能翻倍。【结论】浒苔能够较好的吸收氮磷营养盐, 但其生长速度也较快。

关键词: 浒苔 氮磷吸收 生长特性

中图分类号: S917.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2015)04-0243-04

Abstract: 【Objective】The nutrient uptaking and growth of *Ulva prolifera* was measured in the laboratory, in order to provide a reference for management and utilization of *Ulva prolifera*.

【Methods】The concentrations of DIN and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in water under two nutrient concentration were tested by national standard. The weight of algae under different temperature and nutrient concentration was timely measured. 【Results】The results showed that the maximum percentages of DIN and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ absorbed by *U. prolifera* were 62.2% and 27.5%, and the uptaking rates were 0.022 mg N/(g·h) and 0.006 mg P/(g·h). *U. prolifera* grew fast under various experimental conditions. The max SGR was 9.44% with the doubled weight after 8 d when the temperature was 15℃ and added N:P(mg/L)=3:0.3. When the temperature was 20℃ without adding chemicals, the growth was the slowest and the weight doubled after 13 d. 【Conclusion】*U. prolifera* showed the characteristics of high nutrients absorbance and growth rate.

Key words: *Ulva prolifera*, nitrogen and phosphorus absorption, growth characteristics

收稿日期: 2015-07-10

作者简介: 王翔宇(1979-), 男, 助理研究员, 主要从事藻类生态学研究。

* 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305021, 201405010)和青岛市市南区科技发展资金项目(2013-12-005-SW)资助。

** 通讯作者: 吴海一(1973-), 男, 副研究员, 主要从事海洋生态学, E-mail: wuhaiyi1997@163.com。

0 引言

【研究意义】浒苔(*Ulva prolifera*) 属绿藻纲、石莼科, 自然生长在平静的港湾中, 多在大干潮线附近的岩石上或在比较隐蔽的处于中、高潮带的石沼

中,全年均可生长^[1]。它生命力较强,经常会大量繁殖,从而导致绿潮的出现^[2],影响生态环境,但是在其生长的同时会大量吸收营养盐^[3]和重金属^[4],因此可作为一种生态修复海藻。【前人研究进展】浒苔对氮源的吸收作用因其来源不同而不同,不同氮源之间存在竞争关系^[5,6]。李婷等^[7]研究不同生态因子对缘管浒苔可溶性无机氮(DIN)和可溶性无机磷(DIP)吸收速率的影响,认为缘管浒苔对氮磷有良好的吸收;朱明等^[8]以缘管浒苔为对象,研究不同氮磷水平对其生长和光合作用的影响;何进等^[9]研究浒苔、肠浒苔在不同温度和营养条件下的生长特性。【本研究切入点】以往研究多集中在浒苔对不同来源氮的吸收或者生长过程中生理变化,对在富营养化水体中,浒苔的生长和氮磷吸收作用少有报道。因此,本文以近海浒苔较多时的环境特点为实验条件设置基础,研究浒苔对造成水体富营养化的主要因子——氮磷的吸收特点,并了解其在设定条件下的生长变化。【拟解决的关键问题】掌握浒苔在富营养化状态下对氮磷吸收的作用以及生物量增长的规律,为浒苔绿潮的治理及利用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

浒苔于2014年5月采自青岛太平角近岸海域。培养所用海水均来源于青岛海域。

1.2 方 法

1.2.1 预培养

摘取缠绕在岩礁上的浒苔,选择健康藻体,清洗藻体并除去表面附着物,用滤纸吸干浒苔表面的水分,干燥30 min;然后放入淡水中30 min,以去除附着在浒苔的原生动物及海藻;最后置于光照培养箱(GXZ-260A)内预培养1周,每2 d换1次海水。预培养期的培养条件:光照强度 $75 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;光暗周期为12 h;温度 $(18 \pm 1)^\circ\text{C}$;培养密度约 $1 \text{ g}/\text{L}$;连续充气培养。

1.2.2 DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 吸收效果测定

将预培养后的藻体事先放于海水中充气培养5 d,不更换海水,使它处于营养盐饥饿状态,培养的光温条件同预培养期。

设置低、高2个营养盐梯度,即在过滤灭菌海水中添加 NaNO_3 和 KH_2PO_4 ,添加 $\text{N}:\text{P}(\text{mg}/\text{L})$ 为 $3:0.3, 6:0.6$,然后于黑暗中静置48 h,即得本次实验所用培养液。然后将处于营养盐饥饿状态下的 1 g 湿重藻体放入装有 0.5 L 培养液的 1 L 培养瓶

中,每个浓度梯度设置3个重复组,光温条件同预培养期,连续充气并覆盖保鲜膜防止水分蒸发。于试验开始后3 h、6 h、12 h取样,每次取样 20 mL ,测定培养液中可溶性无机氮(DIN,包括 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$)和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度,测量方法采用国家标准GB 17378.4—2007^[10],其中亚硝氮采用萘乙二胺分光光度法,硝氮采用镉柱还原法,氨氮采用次溴酸钠氧化法, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 采用抗坏血酸还原钼蓝法。

根据上述所得结果,即可得出单位藻体重量吸收DIN和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 速率,计算公式为 $V = [(C_{t1} - C_t) \cdot V_{t1}] / t$,式中: V 为吸收速率, $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$; C_{t1} 、 C_t 为每次取样时间间隔起始和结束时培养液中DIN或 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的浓度, mg/L ; V_{t1} 为每次取样时间间隔起始的培养液体积, L ; t 为每次取样的时间间隔, h 。

1.2.3 藻体生长和生长率测定

称取预培养后的初始湿重为 1 g 的较大藻体(体长 $15 \sim 18 \text{ cm}$),培养于盛有 1000 mL 培养液的三角烧瓶中。实验条件设置如下:培养温度I为 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$,II为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$;培养液①为自然海水,培养液②~④为添加有营养盐的自然海水,即在过滤灭菌海水中添加 NaNO_3 和 KH_2PO_4 ,添加比例分别是 $\text{N}:\text{P}(\text{mg}/\text{L})=3:0.3, 6:0.6$ 和 $9:0.9$;共设置8个试验组,为I-①, I-②, I-③, I-④, II-①, II-②, II-③和II-④,每个实验组设置3个重复;光照强度和光周期同预培养期,每天更换 $2/3$ 培养液,连续充气培养。每4 d定时取出浒苔,用滤纸吸干表面水分后称生物量,试验持续16 d。藻体体重生长率计算公式如下:

$$\text{SGR} = [(W_n/W_0)^{1/n} - 1] \times 100\%$$

式中: W_0 为初始藻体湿重, g ; W_n 为第 n 天湿重, g ; n 为试验天数, d 。

1.3 数据 分析

所得数据用统计软件Excel分析。以 $P < 0.05$ 作为差异显著性水平,所得数据均以平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

2 结果与分 析

2.1 浒苔对 DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的吸收效果及吸收速率

浒苔对DIN的吸收较快。由图1可知,实验前3 h内,低浓度组的营养盐浓度从 $0.82 \text{ mg}/\text{L}$ 降到 $0.36 \text{ mg}/\text{L}$,藻体吸收 59.1% 的营养盐;高浓度组的

营养盐浓度从 0.93 mg/L 降到 0.33 mg/L,藻体吸收 64.4% 的营养盐;藻体吸收速率分别为 0.080 mg/(g·h) 和 0.100 mg/(g·h),此后 DIN 的浓度变化较小并趋于稳定。12 h 时低、高浓度组的藻体分别吸收 58.6% 和 62.2% 的营养盐,12 h 的平均吸收速率分别为 0.018 mg/(g·h) 和 0.022 mg/(g·h)。

浒苔对 $PO_4^{3-}-P$ 吸收较慢。如图 2 所示,实验前 6 h 内, $PO_4^{3-}-P$ 浓度变化较小,分别从 0.40 mg/L,0.60 mg/L 降到 0.36 mg/L,0.59 mg/L;12 h 时低、高浓度组下浒苔分别吸收 11.0% 和 27.5% 的营养盐,12 h 的平均吸收速率分别为 0.005 mg/(g·h) 和 0.006 mg/(g·h)。

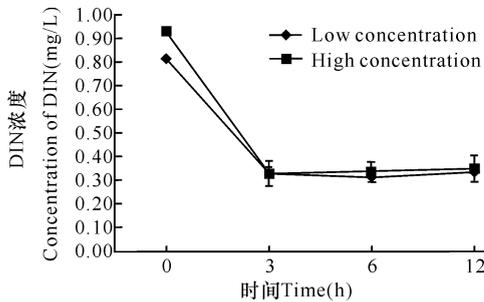


图 1 培养水体中 DIN 的浓度变化

Fig. 1 Changes of DIN concentration in culture media

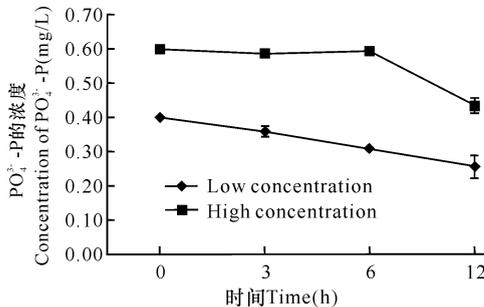


图 2 培养水体中 $PO_4^{3-}-P$ 的浓度变化

Fig. 2 Changes of $PO_4^{3-}-P$ concentration in culture media

2.2 浒苔在不同温度和盐度条件下的生长特性

由图 3 可见:在培养温度 15℃ (I) 条件下,经过 16 d,培养液①、③、④中的浒苔日特异生长率分别为 7.39%,7.09% 和 6.86%;培养液②中的浒苔生长一直最快,第 8 天时它的重量就能翻倍,到实验结束时其重量达到 4.23 g,日特异生长率超过 9%。另外,由图 4 可知在培养温度 20℃ (II) 条件下,培养液①、④中的浒苔生长速率基本相同,日特异生长率都超过 5%;培养液②、③中的浒苔日特异生长率

分别达到 6.6% 和 6.5%;在培养液①中(不添加氮磷时),浒苔重量翻倍所需时间最长,约 13 d。方差分析结果表明在相同温度不同营养盐条件下,浒苔生长差异部分不明显;不同温度同一营养盐梯度时,它的生长差异显著(表 1)。

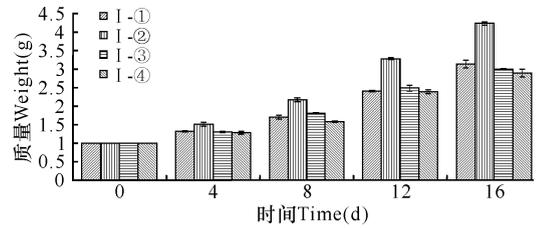


图 3 15℃ 时浒苔的重量变化

Fig. 3 Weight of *U. prolifera* at 15°C

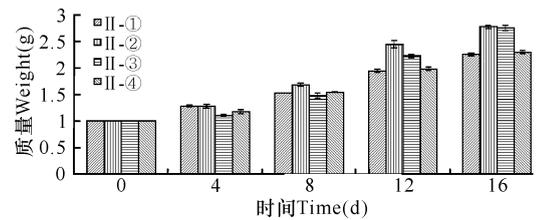


图 4 20℃ 时浒苔的重量变化

Fig. 4 Weight of *U. prolifera* at 20°C

表 1 不同温度和营养盐条件下生长的 P 值

Table 1 P under different combinations of temperature and nutrition

| P 值 P value | I-① | I-② | I-③ | I-④ | II-① | II-② | II-③ | II-④ |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I-① | / | 0.03 | 0.44 | 0.06 | 0.04 | / | / | / |
| I-② | 0.03 | / | 0.04 | 0.03 | / | 0.04 | / | / |
| I-③ | 0.44 | 0.04 | / | 0.05 | / | / | 0.01 | / |
| I-④ | 0.06 | 0.03 | 0.05 | / | / | / | / | 0.04 |
| II-① | 0.04 | / | / | / | / | 0.06 | 0.21 | 0.47 |
| II-② | / | 0.04 | / | / | 0.06 | / | 0.03 | 0.04 |
| II-③ | / | / | 0.01 | / | 0.21 | 0.03 | / | 0.17 |
| II-④ | / | / | / | 0.04 | 0.47 | 0.04 | 0.17 | / |

3 讨论

3.1 浒苔对营养盐的吸收

浒苔对氮磷的吸收效果显著,对氮磷的吸收各有特点。在营养盐饥饿的情况下,浒苔对氮的吸收较快,而对磷的需求较少,说明浒苔对氮较为敏感。本实验条件下,经过 12 h 浒苔最高可以吸收 62.2% 的总氮和 27.5% 的活性磷,吸收速率分别达到 0.022 mg N/(g·h) 和 0.006 mg P/(g·h);同时在试验过程中发现 12 h 的 DIN 浓度稍高于 3 h 的浓度,可能原因是起初浒苔处于氮限制状态,细胞内

的氮库较小,对氮源的快速吸收用于充盈细胞内营养库,随后由于细胞内氮库的反馈抑制作用^[11],使得细胞又释放出部分氮,造成 12 h 的 DIN 浓度稍高于 3 h 的浓度。

造成富营养化的主要因子是可溶性无机氮和活性磷,浒苔对它们有着较高的吸收速率和去除率,尤其是对可溶性无机氮的吸收,经过 3 h 就能吸收培养液中 59.1% 的氮;同时,根据本实验结果,很低的藻体密度(2 g/L)就可以达到上述效果,因此从理论上来说,吸收营养盐所需要的藻体密度不需太大。

3.2 浒苔的生长速度

浒苔的生长速度快,并且适应范围广^[12,13]。本实验进一步研究不同温度和营养盐条件下浒苔的生长特征,发现浒苔的生物量在加富海水中增长速度比自然海水要快,最快 8 d 就能翻倍,最慢 13 d 就能翻倍,说明浒苔不仅能够适应不同营养盐水平的海域,而且少量的浒苔也能在短时间内快速增殖。这就说明可利用其生命力强和能够快速吸收营养盐的能力的特点修复富营养化的水体,但须注意海藻的快速增殖,否则容易导致绿潮的出现。

4 结论

浒苔具有较强的吸收氮磷营养盐的能力和较快的生长速度,这种特性有利有弊;优势在于可以利用它具有较强吸收氮磷营养盐能力的特点,将其作为修复富营养化水体的一种备选海藻;劣势在于其生物量增长很快,很容易成为海域优势种,影响海域的生物多样性,甚至造成生态灾难。

参考文献:

[1] 曾呈奎. 中国黄渤海海藻[M]. 北京:科学出版社, 2009:392.
Zeng C K. Seaweeds in Yellow Sea and Bohai Sea of China[M]. Beijing: Science Press, 2009:392.

[2] 刘峰,逢少军. 黄海浒苔绿潮及其溯源研究进展[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(3): 441-449.
Liu F, Pang S J. Research advances on Green Tides in the Yellow Sea[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(3): 441-449.

[3] 庞秋婷,李凤,刘湘庆,等. 围隔实验中浒苔在不同营养盐条件下的生长比较[J]. 环境科学, 2013, 34(9): 3398-3404.
Pang Q T, Li F, Liu X Q, et al. Compare the growth of

Enteromorpha prolifera under different nutrient conditions[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2013, 34(9): 3398-3404.

- [4] 郭赣林,注明,徐军田,等. 浒苔对重金属 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 的生物吸附及其生理反应[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(6): 850-852.
Guo G L, Zhu M, Xu J T, et al. Biosorption of Cu^{2+} and Cd^{2+} by *Enteromorpha prolifera* and their physiological responses[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(6): 850-852.
- [5] 田千桃,霍元子,张寒野,等. 浒苔和条浒苔生长及其氨氮吸收动力学特征研究[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 252-258.
Tian Q T, Huo Y Z, Zhang H Y, et al. Preliminary study on growth and NH_4^+ -N uptake kinetics of *Enteromorpha prolifera* and *Enteromorpha clathrata*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(2): 252-258.
- [6] 吴婷,田小亭,刘召辉,等. 浒苔对不同氮源吸收特性的初步研究[J]. 海洋科学, 2011, 35(4): 51-54.
Wu T, Tian X T, Liu Z H, et al. Absorption of different nitrogen species by *Enteromorpha prolifera* [J]. Marine Sciences, 2011, 35(4): 51-54.
- [7] 李婷,徐安敏,孙成波,等. 生态因子对缘管浒苔氮、磷吸收速率的影响[J]. 热带生物学报, 2010, 1(3): 197-201.
Li T, Xu A M, Sun C B, et al. Effects of some ecological factors on the absorption of N, P by *Enteromorpha linza* Ulva[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2010, 1(3): 197-201.
- [8] 朱明,刘兆普,徐军田,等. 不同氮磷水平对缘管浒苔生长及光合作用的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2011(3): 57-61.
Zhu M, Liu Z P, Xu J T, et al. The effects of different levels of N and P on the growth and photosynthesis of *Enteromorpha linza* [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011(3): 57-61.
- [9] 何进,石雅君,王玉珏,等. 不同温度和营养盐条件对浒苔和肠浒苔的生长影响[J]. 海洋湖沼, 2013, 32(5): 573-579.
He J, Shi Y J, Wang Y J, et al. Impact of temperature and nutrients on the growth of *Ulva prolifera* and *Ulva intestinalis* [J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(5): 573-579.
- (下转第 252 页 Continue on page 252)

- licheniformis* and xylo-oligosaccharide on growth performance, intestinal microflora and enzyme activities in grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(2): 136-139.
- [9] 王嘉妮,熊焰,胡敏. 高效降解蛋白枯草芽孢杆菌的筛选及促建鲤生长的研究[J]. 微生物学通报, 2014, 41(10): 2043-2051.
- Wang J N, Xiong Y, Hu M. Screening of high effective protein-degrading *Bacillus subtilis* and study on promotion to Jian carp growth[J]. Microbiology China, 2014, 41(10): 2043-2051.
- [10] 布坎南 R E, 吉本斯 N E. 伯杰细菌鉴定手册[M]. 中国科学院微生物研究所(译). 北京: 科学出版社, 1984: 729-794.
- Buchanan R E, Gibbons N E. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology[M]. Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences (ed.). Beijing: Science Press, 1984: 729-794.
- [11] 赵伟伟, 王秀华, 孙振, 等. 一株产絮凝剂芽孢杆菌的分离鉴定及絮凝剂特性分析[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 647-653.
- Zhao W W, Wang X H, Sun Z, et al. Isolation and identification of a flocculant producing *Bacillus* sp. and analysis of the properties of the bioflocculant [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 647-653.
- [12] 陶天申, 杨瑞馥, 东秀珠. 原核生物系统学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 63.
- Tao T S, Yang R F, Dong X Z. Systematics of Prokaryotes[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 63.
- [13] 武鹏, 赵大千, 蔡欢欢, 等. 3种微生态制剂对水质及刺参幼参生长的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 21-26.
- Wu P, Zhao D Q, Cai H H, et al. Effects of three probiotics on water quality and growth in sea cucumber *Apostichopus japonicus* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(1): 21-26.
- [14] 吴保承, 沈国强, 杨春霞, 等. 微生态制剂在水质净化中的应用现状及展望[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12): 408-410.
- Wu B C, Shen G Q, Yang C X, et al. The application status and prospects about the probiotics used in water purification[J]. Environmental Science and Technology, 2010, 33(12): 408-410.

(责任编辑:米慧芝)

(上接第 246 页 Continue from page 246)

- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范第 4 部分: 海水分析 GB 17378.4—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ), Standardization Administration of the People's Republic of China, SAC. The specification for marine monitoring—Part 4: Seawater analysis GB 17378.4—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [11] McGlathery K J, Pedersen M F, Borum J. Changes in intracellular nitrogen pools and feedback controls on nitrogen uptake in *Chaetomorpha phalinum* (Chlorophyta)[J]. J Phycol, 1996, 32(3): 393-401.
- [12] Kim J H, Kang E J, Park M G, et al. Effects of temperature and irradiance on photosynthesis and growth of a green-tide-forming species (*Ulva linza*) in the Yellow Sea[J]. Journal of Applied Phycology, 2011, 23(3): 421-432.
- [13] 姜红霞, 王云霞, 徐璞. 江苏海域沿岸不同居群浒苔生长特性比较[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 315-317.
- Jiang H X, Wang Y X, Xu Y. The growth characteristics of different populations of *Enteromorpha prolifera* in the coastal waters of Jiangsu[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(6): 315-317.

(责任编辑:米慧芝)