

文章编号: 1674-5566(2010)02-0214-05

## 营养盐可得性对坛紫菜氮磷吸收、生长及藻红蛋白含量的影响

孟庆俊<sup>1</sup>, 林少珍<sup>2</sup>, 项彬彬<sup>1</sup>, 南春容<sup>1</sup>

(1. 温州医学院海洋科学系海洋科学研究所, 浙江温州 325035  
2. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江温州 325000)

**摘要:** 实验室条件下, 研究了 N、P 浓度、不同化合态 N 及 N:P 比值对坛紫菜 (*Porphyra haitanensis*) N、P 吸收速率, 以及 P 浓度对坛紫菜生长速率和藻红蛋白含量的影响。结果表明, 随着营养盐浓度的升高, 坛紫菜对 N、P 的吸收速率也随之增高, 当无机氮浓度达到  $100 \mu\text{mol/L}$  时, 坛紫菜对 N、P 的吸收速率趋向接近最大值; 当  $\text{NO}_3^- \text{-N}:\text{NH}_4^+ \text{-N}$  比值为 1:5 时, 坛紫菜对 N 的吸收达到最大值; 坛紫菜对 P 的吸收速率随  $\text{NO}_3^- \text{-N}:\text{NH}_4^+ \text{-N}$  比值的减小而略有增大; 坛紫菜对 N 的吸收速率随着 N:P 比值的增大而增大, 而对 P 的吸收速率随着 N:P 比值的增大而减小; 在磷浓度低于  $12 \mu\text{mol/L}$  的情况下, 坛紫菜的生长速率和藻红蛋白含量随着 P 浓度的升高而增加, 高于  $12 \mu\text{mol/L}$  时, 则不再增加。

**关键词:** 坛紫菜; 营养盐可得性; N、P 吸收速率; 生长速率; 藻红蛋白

中图分类号: S986.43 文献标识码: A

## Effect of nutrient availability on nitrogen and phosphorus uptake rate, growth rate and the content of phycoerythrin in *Porphyra haitanensis*

MENG Qing-jun<sup>1</sup>, LIN Shao-zhen<sup>2</sup>, XIANG Bin-bin<sup>1</sup>, NAN Chun-rong<sup>1</sup>

(1. Marine Science Research Institute Marine Science Department Wenzhou Medical College Wenzhou 325035 China  
2. Zhejiang Marine Culture Research Institute Wenzhou 325000 China)

**Abstract:** The effect of nutrient availability on the uptake rates of nitrogen (N) and phosphorus (P), and the effect of P concentration on the growth rate and phycoerythrin content in *Porphyra haitanensis* were studied under laboratory conditions. The uptake rates of N and P increased with their concentrations in the media and approached the highest at DN more than  $100 \mu\text{mol/L}$ . The combination of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  and  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  also affected the uptake of N by *P. haitanensis* and the best combination of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  and  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  is  $\text{NO}_3^- \text{-N}:\text{NH}_4^+ \text{-N}=1:5$ . The N uptake rate increased while the P uptake rate decreased with N:P increase; the growth rate and PE content in *P. haitanensis* increased with the increase of P when the concentration of P was below  $12 \mu\text{mol/L}$ .

**Key words:** *Porphyra haitanensis*; nutrient availability; nitrogen and phosphorus uptake rate; growth rate; phycoerythrin

收稿日期: 2009-09-09

基金项目: 浙江省自然科学基金 (Y506224)

作者简介: 孟庆俊 (1983-), 男, 硕士研究生, 专业方向为海洋生态环境修复。E-mail: mqj983@163.com

通讯作者: 南春容, Tel: 0577-86699360, E-mail: nanchunrong@163.com

自 20 世纪 80 年代以来, 随着工农业生产的快速发展, 我国近海海域富营养化问题日趋严重。海水富营养化是发生赤潮的主要原因之一, 而氮 (N)、磷 (P) 含量的升高是水体富营养化的重要特征, 抑制海水的富营养化可减少赤潮的发生<sup>[1]</sup>。近年来, 很多学者进行了海水富营养化及海藻生物修复方面的研究。例如, Colleen 等<sup>[2]</sup>进行了麒麟菜 (*Eucheuma*) 的营养吸收生理研究; 徐永健等<sup>[3]</sup>对龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 和菊花心江蓠 (*Gracilaria tikvahiae*) 的 N、P 吸收速动力学进行了研究; 许忠能等<sup>[4]</sup>研究了营养盐因子对细基江蓠繁枝变种氮、磷吸收速率的影响; 刘静雯<sup>[5]</sup>进行了氮饥饿细基江蓠繁枝变型和孔石莼氮氮的吸收动力学特征的研究。

坛紫菜 (*Porphyra haitanensis*) 为暖温带性海藻, 属于红藻门红毛菜科紫菜属, 是温州洞头海区人工养殖的重要海藻之一, 目前养殖面积已达 1 000 hm<sup>2</sup>, 年收获干品菜 1 100 t, 经济效益十分可观。但近年来洞头海域富营养化明显, 海水中 N、P 浓度升高<sup>[6]</sup>; 另外, 洞头海区网箱养殖发达, 养殖动物的排泄物中含有大量 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 这使得周围海水中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 比值发生变化; 加之无磷洗衣粉的推广使用等, 导致近海海域水体中 N:P 比值发生变化。这些营养盐组成比例的变化, 势必对海洋藻类的营养吸收等产生影响。本实验旨在研究 N、P 浓度、不同化合态氮和 N:P 比值等营养盐因子对坛紫菜 N、P 吸收的影响, 以及 P 浓度对坛紫菜生长和藻红蛋白含量的影响, 以探明坛紫菜营养吸收的基本规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用坛紫菜 (*Porphyra haitanensis*) 于 2008 年 9—12 月采自浙江温州洞头。选择新鲜健康的藻体, 除去表面附着物, 用过滤海水冲洗干净, 暂养于实验室中。期间每天更换一次海水, 并不定时搅水 6~8 次, 每日干露 3~5 h。实验前 24 h 将藻体分成 1.0 g 左右大小, 转移到光照强度为 120 μE/(m<sup>2</sup>·s), 光周期为亮暗比 L:D=12 h:12 h 温度为 20 °C 的光照培养箱中暂养备用。

实验用海水取自浙江温州洞头距海岸约 2 km 的清澈水域, 取回后经过滤、煮沸, 冷却后避光保存备用, 实验用海水盐度为 28。经测定, 海

水中亚硝氮浓度可忽略不计。

### 1.2 实验设计

#### 1.2.1 不同 N、P 浓度下坛紫菜对 N、P 的吸收速率

实验用培养液无机氮浓度设为 5、10、30、50、100、200 μmol/L (除本底硝氮和氨氮外, 以硝酸钠调节无机氮浓度), N:P=10:1, 相应各处理的 P 浓度为 0.5、1、3、10、20 μmol/L, 每组设 3 个重复和 1 个空白对照。实验条件为: 光照强度为 120 μE/(m<sup>2</sup>·s), 光周期为亮暗比 L:D=12 h:12 h 温度为 (20.0±0.5) °C, 盐度为 28。

#### 1.2.2 不同化合态的 N 对 N、P 吸收速率的影响

实验按 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 所占比例不同分为 5 个处理, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N:NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 比值分别为 10:1、5:1、1:1、1:5、1:10, 各处理的无机氮 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) 总浓度设为 50 μmol/L, P 浓度为 5 μmol/L, N:P 比值为 10:1。每处理设 3 个重复和 1 个空白对照。

#### 1.2.3 不同 N:P 比值对 N、P 吸收速率的影响

实验无机氮 (本底 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) 浓度设定为 50 μmol/L, 该浓度下 N:P 比值分别为 1:1、5:1、10:1、15:1、30:1、50:1, 共 6 个梯度, 每处理设 3 个重复和 1 个空白对照。

#### 1.2.4 P 浓度对坛紫菜生长速率和藻红蛋白含量的影响

实验按 P 浓度的不同分为 1.8 (本底)、3、6、12、25、50 μmol/L 共 6 个处理, 每处理设 3 个重复和 1 个空白对照, 各处理的总无机氮 (本底 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) 浓度为 800 μmol/L。

### 1.3 实验方法

N、P 吸收实验用 500 mL 三角烧瓶, 内装 400 mL 培养液。每个三角瓶中加入新鲜坛紫菜藻体 (1.00±0.01) g 加盖牛皮纸, 置于光照培养箱中。实验开始前将海藻置于实验设定的条件下适应 4 h 然后更换相同体积的新鲜培养液, 开始实验。吸收时间设定为 4 h 期间每隔 30 min 摇动三角瓶, 实验结束后捞出海藻终止吸收, 测定介质中 N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、P 含量。N、P 测定方法参考《海洋调查规范——海水化学要素观测》<sup>[7]</sup>。坛紫菜对 N、P 吸收速率按下述公式计算:

$$U = (S_0 - S_t) \cdot V / (t \cdot G) \quad (1)$$

式中:  $U$ 为营养盐的吸收速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ];  $S_0$ 为实验开始时培养液营养盐浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ );  $S_t$ 为实验结束时培养液营养盐浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ );  $V$ 为所用培养液体积 (L);  $t$ 为实验时间 (h);  $G$ 为坛紫菜的鲜重 (g)。

生长实验用 5 L玻璃水族缸, 内装 1/2培养液 2 L, 放新鲜坛紫菜 ( $5.00 \pm 0.20$ ) g置于光照培养箱中, 每天定时搅动培养液 6次。期间每天定时取出坛紫菜藻体, 吸去多余水分、称重、记录结果, 计算生长速率, 实验至第 7天结束。藻体生长速率 ( $R_{SG}$ ) 按以下公式计算:

$$R_{SG} (\% / d) = [(W_t / W_0)^{(1/d)} - 1] \times 100 \quad (2)$$

式中:  $W_0$ 为初始时刻坛紫菜鲜重 (g);  $W_t$ 为  $t$ 时刻坛紫菜鲜重 (g);  $d$ 为两次测定间隔时间 (d)。

生长实验开始前和结束后, 分别将坛紫菜叶状体样品经过真空冷冻干燥, 取 0.5 g用去离子水快速冲洗, 吸干水分, 玻璃匀浆器研磨匀浆, 分光光度计测定藻红蛋白含量<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据处理

用 SPSS统计软件对实验数据进行作图和统

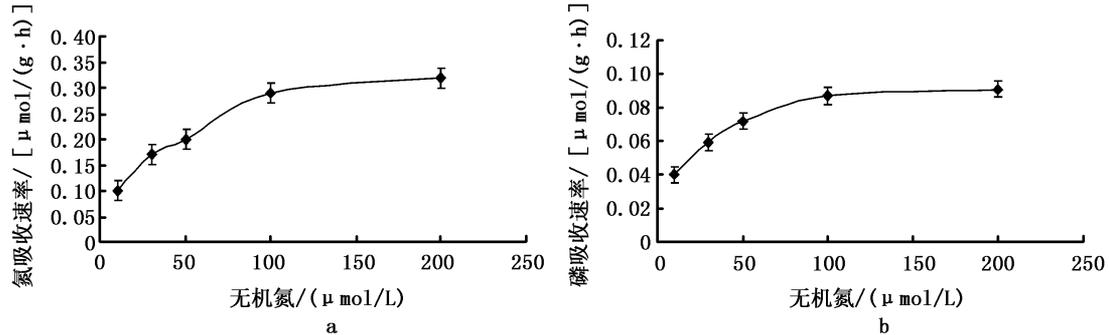


图 1 N P浓度对坛紫菜 N P吸收速率的影响

Fig 1 Effect of different concentration of N and P on nitrogen and phosphate uptake rates by *Porphyra taiwanensis*

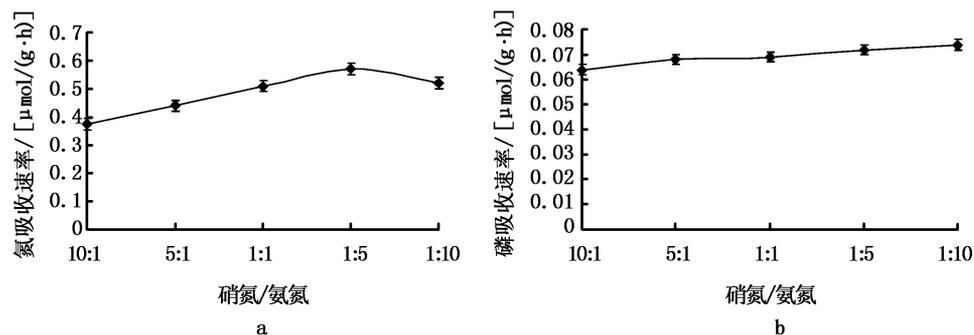


图 2  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值对坛紫菜 N P吸收速率的影响

Fig 2 Effect of different chemical combination of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  and  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  on nitrogen and phosphate uptake rates by *Porphyra taiwanensis*

计分析。

## 2 结果

### 2.1 不同 N P浓度对坛紫菜 N P吸收速率的影响

不同的 N P浓度对坛紫菜 N 的吸收速率影响显著 ( $P < 0.05$ )。在 N 浓度低于  $100 \mu\text{mol}/\text{L}$ , N:P=10:1时, 坛紫菜对 N P的吸收速率随着介质中 N浓度的升高而迅速增加 (图 1 a b), 当 N 浓度高于  $100 \mu\text{mol}/\text{L}$ , P浓度高于  $10 \mu\text{mol}/\text{L}$ 时, 坛紫菜对 N P的吸收速率趋于饱和, 增加不明显。

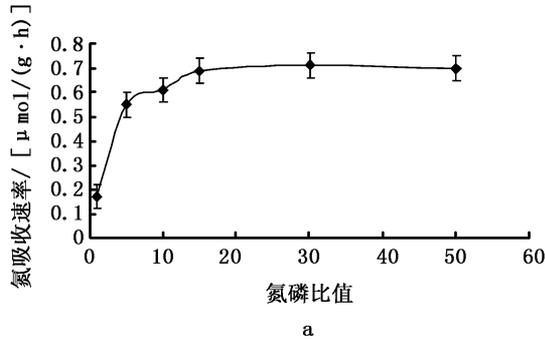
### 2.2 不同化合态 N对坛紫菜 N P吸收速率的影响

随着  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值的增大, 坛紫菜对 N ( $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ )的吸收速率增加, 当  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N} = 1 : 5$ 时, 吸收速率达到最大值, 为  $0.57 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 随后略有下降 (图 2 a)。

随着  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值的增加, 坛紫菜对 P的吸收速率略有升高 (图 2 b)。

### 2.3 不同 N:P比值对坛紫菜 N、P吸收速率的影响

N:P比值对坛紫菜  $\text{N}(\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和  $\text{NO}_3^- \text{-N})$  的吸收影响显著 ( $P < 0.05$ )。当 N:P低于 15:1时, 坛紫菜对 N的吸收速率随 N:P比值的增大而



迅速上升; 当 N:P高于 15:1时, 坛紫菜对 N的吸收速率不再增大 (图 3 a)。N:P比值对坛紫菜 P的吸收影响显著 ( $P < 0.05$ )。坛紫菜对 P的吸收速率随 N:P比值的增大而迅速降低 (图 3 b)。

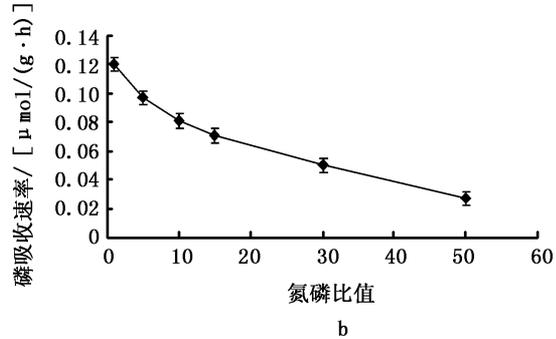
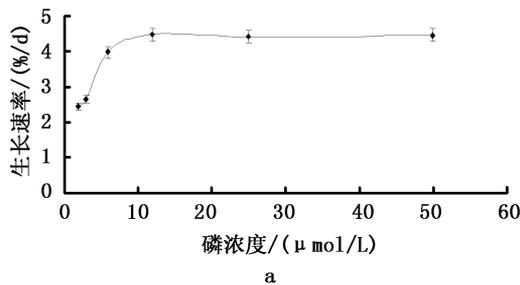


图 3 N:P比值对坛紫菜 N、P吸收速率的影响

Fig. 3 Effects of different ratios of N:P on nitrogen and phosphate uptake rates by *P. haianensis*

### 2.4 P浓度对坛紫菜生长速率和藻红蛋白含量的影响

在 P浓度低于  $12 \mu\text{mol/L}$ 时, 坛紫菜的生长



速率和藻红蛋白含量随 P浓度的升高而快速升高; 而在磷浓度高于  $12 \mu\text{mol/L}$ 时, 几乎不再增加 (图 4 a、b)。

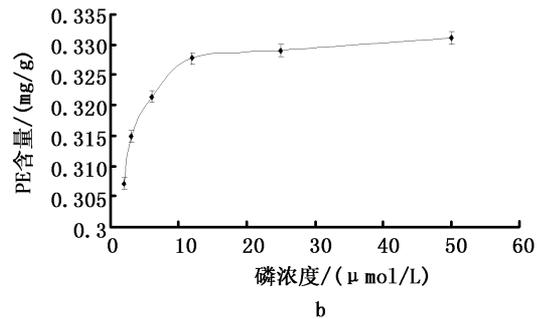


图 4 磷浓度对紫菜生长速率的影响

Fig. 4 Effect of different P concentration on growth rate of *P. haianensis*

## 3 讨论

坛紫菜对 N、P的吸收速率随着培养液中营养盐浓度的升高而增加, 当培养液中的 N、P达到一定浓度后趋向平缓。这是因为在营养盐浓度较高的情况下, 藻体内利用 N、P的一系列生理过程的底物浓度升高了, 因而在一定的范围内, 海藻的同化作用相应增加, 进而促进藻类对营养盐的吸收<sup>[9]</sup>。坛紫菜这一吸收营养盐的特性可以有效地吸收和改善富营养化水体, 降低对养殖动物的营养威胁。

坛紫菜对 N的吸收速率随着  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值的增加而升高, 并且坛紫菜对  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的吸收速率大于  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 。藻类将吸收的无机氮同化为自身的有机氮时, 必须先还原成铵, 因此直接利用环境中的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 可以节约能量的消耗<sup>[10]</sup>。但有些研究证明大型海藻对不同化合态 N的吸收与其在环境中总无机氮中所占的比例相关<sup>[11]</sup>。从本实验结果看, 坛紫菜对氨氮的吸收大于硝氮且优先吸收氨氮。根据坛紫菜的这一特性, 将其作为水产动物养殖区 (海水中氨氮浓度较高) 配套养殖藻类, 以吸收海水中氨

氮,净化海水养殖区水质,有较好的生态意义。

当介质中的 N 浓度一定时, N:P 比值对坛紫菜 N:P 吸收速率影响显著 ( $P < 0.05$ )。传统的 Redfield 比值认为海洋浮游生物中 N:P 比例近乎恒定,且与深层海水中 N:P 比例相似,其比值为 16:1<sup>[12]</sup>,这一比值在判别海洋大型藻类和浮游植物的生长是 P 限制还是 N 限制时被广泛认可。有学者认为,当  $N:P > 22$  时, P 为限制性营养盐<sup>[13]</sup>。目前,由于无磷洗衣粉的使用等原因,许多地区的近海水域 N:P 比例失调, N:P 比值明显升高,严重偏离 Redfield 比值。本实验曾在不同季节几次测定洞头近海水域的 N:P 浓度,发现 N:P 比值为 30:1~160:1。本实验的结果显示, N:P 比值过高影响坛紫菜对磷的吸收。磷浓度偏低影响坛紫菜的生长和藻红蛋白含量。

#### 参考文献:

- [1] 周名江,朱明远,张经. 中国赤潮的发生趋势和研究进展[J]. 生命科学, 2001, 13(2): 54-60.
- [2] Colleen J, Møller M, Abrahamsson K. The culture and physiology of *Eucheuma (Rhodophyta)*: its increasing price in East Africa[J]. *Ambio* 2004, 24(7-8): 497-501.
- [3] 徐永健,钱鲁闽,韦玮,等. 两种大型海藻自然环境下的营养动力学研究[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(2): 161-165.
- [4] 许忠能,林小涛,林继辉,等. 营养盐因子对细基江蓠繁枝变种氮、磷吸收速率的影响[J]. 生态学报, 22(3): 366-374.
- [5] 刘静雯,董双林. 氮饥饿细基江蓠繁枝变型和孔石莼氮氮的吸收动力学特征[J]. 海洋学报, 2004, 26(2): 95-103.
- [6] 姚炜民,陈雷,韩莉峰,等. 浙江三盘港海水养殖区水质监测及分析[J]. 海洋环境科学, 2008(1): 9-11.
- [7] 国家技术监督局. GB/T 12763.4-1991 海洋调查规范——海水化学要素观测[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [8] 戴维斯 C J 海洋植物学[M]. 厦门大学植物生态学研究室,译. 厦门: 厦门大学出版社, 1989: 258.
- [9] Daves C J, Koch E W. Physiological responses of the red algae *Gracilaria verrucosa* and *G. tikvahiae* before and after nutrient enrichment[J]. *Bulletin of Marine Science* 1990, 46(2): 335-344.
- [10] 李铁,史致丽,李俊. 营养盐对中肋骨条藻和新月藻部分生化组成和性质的影响[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(3): 239-245.
- [11] Hein M, Pedersen M F, Sand-Jensen K. Size-dependent nitrogen uptake in micro- and macroalgae[J]. *Marine Ecology Series* 1995(118): 247-253.
- [12] 王保栋,陈爱萍,刘峰. 海洋中 Redfield 比值的研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(2): 232-235.
- [13] 杨东方,张经,陈豫,等. 营养盐限制的唯一性因子探究[J]. 海洋科学, 2001, 25(12): 49-51.