

# 浒苔对 $\text{NH}_4^+$ -N 与 $\text{NO}_3^-$ -N 吸收的相互作用

田千桃, 霍元子, 王阳阳, 倪晓波, 何培民

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 在国内首次研究了大型海洋绿潮藻浒苔(*Ulva prolifera*)对  $\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{NO}_3^-$ -N 两种氮源的选择吸收作用。结果表明: 当两种氮源等浓度比例存在时, 随着  $\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度升高, 藻体对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率逐渐升高, 而对  $\text{NO}_3^-$ -N 吸收受到抑制; 当  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 高浓度比存在时, 藻体对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率随着  $\text{NO}_3^-$ -N /  $\text{NH}_4^+$ -N 比例的升高和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度的下降而降低; 当  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 低浓度比存在时, 藻体对  $\text{NH}_4^+$ -N 保持较高的吸收速率, 而对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收效率随着  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度的降低而降低; 浒苔具有同时利用水体中较高浓度的  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的能力, 只有当  $\text{NH}_4^+$ -N 或  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度较低时, 才以吸收相对应的氮源为主。这说明浒苔能够快速、大量地吸收水体中氮源, 为爆发性增殖储备物质条件。同时, 即便两种氮源同时存在, 浒苔对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率也远高于对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率, 因此, 控制  $\text{NH}_4^+$ -N 的大量输入仍是预防浒苔绿潮爆发的关键。

**关键词:** 浒苔(*Ulva prolifera*);  $\text{NH}_4^+$ -N;  $\text{NO}_3^-$ -N; 绿潮

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)07-0041-05

大型海洋绿藻大量增殖的现象, 被称为“绿潮”(Green tide)<sup>[1]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 在世界范围内的近海、海湾和河口内, 绿潮已成为一类频发的生态异常现象<sup>[2-5]</sup>, 已造成了严重的经济和生态问题, 而且受绿潮影响的国家和海区数量仍在增加<sup>[1, 6, 7]</sup>。近两年来, 在中国黄海中、南部海域也爆发了由浒苔属(*Ulva*)大型绿藻引发的绿潮灾害。因此, 绿潮已经成为一个严重的世界性生态问题。

在自然条件下, 海藻生长和海藻体内化学组成既受光照、温度及盐度等因子的调节, 又受到海水中营养盐水平的制约。但目前国内外对绿潮的溯源、成因、过程, 特别是对海洋生态系统的影响及其生态修复作用等问题尚缺乏足够的科学认识。对绿潮爆发的成因主要归结为海水富营养化、春夏季水温变化、增殖海域水动力交换缓慢导致局部种群密度增大等因素<sup>[6]</sup>。其中, 由于氮、磷等营养物质大量输入引起的富营养化对绿潮的爆发有着至关重要的作用。

氮是藻类生长繁殖所必需的主要营养元素之一, 在许多海区氮成了藻类生长的限制因子<sup>[8]</sup>。氮在海洋中的形态较多, 除溶解的无机态( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ )

和有机态(PON、DON), 还存在着气态的  $\text{N}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{NH}_3$ , 其中  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 是海藻生长繁殖所利用的最主要的氮源。

作者就浒苔(*Ulva prolifera*)对  $\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{NO}_3^-$ -N 两种氮源吸收的相互作用进行了研究, 以期探讨浒苔绿潮爆发机制及其对海洋生态系统的影响提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 藻体预培养

漂浮浒苔(*U. prolifera*)于 2007 年 7 月采自青岛第一海水浴场。对藻体进行全面清洗后培养于 VSE 培养基内, 培养条件为: 温度 25 °C, 盐度 26, 光照强度 60

收稿日期: 2009-10-12; 修回日期: 2010-01-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(2007AA09Z406); 上海市浦江人才计划项目(05PJ14086); 上海市优秀学科带头人计划项目(08XD14037); 上海市水生生物学重点学科资助项目(S30701); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金项目(ssc08002)

作者简介: 田千桃(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事大型海藻生态修复研究, E-mail: qttianm@stmail.shou.edu.cn; 何培民, 通信作者, E-mail: pmhe@shou.edu.cn

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 光照周期 12L : 12D, 充气培养。

### 1.2 藻体的饥饿处理

取浒苔成熟藻体暂养于氮缺乏(总无机氮含量  $< 3 \mu\text{mol}/\text{L}$ )的培养基内, 连续饥饿培养 2 周, 每 5 d 除氮外, 补充其他营养成分, 使海藻只处于氮饥饿状态。培养条件为: 培养容器为 1~5L 三角瓶, 温度  $15^\circ\text{C}$ , 盐度 26, 光照强度  $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 光照周期 12L : 12D, 充气培养。

### 1.3 实验设计

等浓度比实验(表 1): 设置  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度比为 1 : 1, 分别为 5、10、20、50、100、200  $\mu\text{mol}/\text{L}$  共 6 个梯度, 每组 3 个重复。

表 1 各实验组  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 等浓度比配置 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )

Tab. 1 Concentrations of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N in various experimental groups ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )

组号	D1	D2	D3	D4	D5	D6
$\text{NO}_3^-$ -N	5	10	20	50	100	200
$\text{NH}_4^+$ -N	5	10	20	50	100	200

高浓度比实验(表 2): 设置  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度比为 1、2、4、8、16, 其中  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度均为 50  $\mu\text{mol}/\text{L}$  浓度, 而  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度依次为 50、25、12.5、

表 2 实验组  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 高浓度比配置 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )

Tab. 2 Experiments with constant level of  $\text{NO}_3^-$ -N and varied levels of  $\text{NH}_4^+$ -N ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )

组号	H1(1 : 1)	H2(2 : 1)	H3(4 : 1)	H4(8 : 1)	H5(16 : 1)
$\text{NO}_3^-$ -N	50	50	50	50	50
$\text{NH}_4^+$ -N	50	25	12.5	6.25	3.125

表 3 实验组  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 低浓度比配置 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )

Tab. 3 Experiments with constant level of  $\text{NH}_4^+$ -N and varied levels of  $\text{NO}_3^-$ -N ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )

组号	L1(1 : 1)	L2(1 : 2)	L3(1 : 4)	L4(1 : 8)	L5(1 : 16)
$\text{NO}_3^-$ -N	50	25	12.5	6.25	3.125
$\text{NH}_4^+$ -N	50	50	50	50	50

## 2 结果

### 2.1 $\text{NO}_3^-$ -N 和 $\text{NH}_4^+$ -N 等浓度比对浒苔吸收速率的影响

由图 1 可知,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度分别为 5、

6.25、3.125  $\mu\text{mol}/\text{L}$ , 共 5 个梯度, 每组 3 个重复。

低浓度比实验(表 3): 设置  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度比为 1、1/2、1/4、1/8、1/16, 其中  $\text{NH}_4^+$ -N 均为 50  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度, 而  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度依次为 50、25、12.5、6.25、3.125  $\mu\text{mol}/\text{L}$ , 共 5 个梯度, 每组 3 个重复。

### 1.4 实验方法

称取 0.5g(鲜重)饥饿处理的浒苔成熟藻体放入盛有 200 mL 上述实验组培养液的 250 mL 三角烧瓶中培养 4 h, 实验条件: 温度  $23^\circ\text{C}$ , 盐度 26, 光照强度  $60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 充气培养。在实验开始前应用荷兰 SKALAR®流动分析仪测定水样中  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度, 4 h 后再次测量  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度。

### 1.5 数据处理

吸收率的计算公式如下:

$$R=(C_0-C_t)V/Wt$$

式中,  $V$  为吸收速率( $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ );  $C_0$  和  $C_t$  分别为实验前后培养介质中  $\text{NH}_4^+$ -N 或  $\text{NO}_3^-$ -N 的浓度( $\mu\text{mol}/\text{L}$ );  $V$  为培养液体积(L);  $t$  为取样时间间隔(h);  $W$  为海藻的干重(g)。

数据经方差分析(ANOVA)及 Duncan 多重比较进行处理, 以  $P < 0.05$  作为差异显著水平, 所得数据均以平均值 $\pm$ 标准差表示。

10 和 20  $\mu\text{mol}/\text{L}$  时, 浒苔对  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收速率随浓度升高而升高, 两者差异不显著( $P > 0.05$ ); 当  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度分别  $> 20 \mu\text{mol}/\text{L}$ , 浒苔  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率随着  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度的升高而降低, 对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率随着  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度的升高而升

高, 两者差异极显著 ( $P < 0.01$ )。在本实验设置的  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 等浓度比时, 浒苔对  $\text{NO}_3^-$ -N 吸收速率在其浓度为 20  $\mu\text{mol/L}$  时最高, 为 17.78  $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ; 对  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收速率在其浓度为 200  $\mu\text{mol/L}$  时

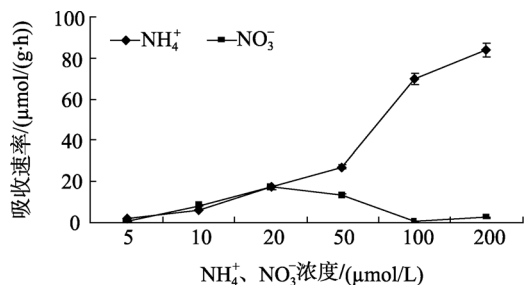


图1  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 等比例浓度对浒苔吸收速率的影响  
Fig.1 Nitrogen concentration ( $\text{NO}_3^-$ -N/ $\text{NH}_4^+$ -N = 1) affects the nitrogen absorption rate of *U. prolifera* 最高, 为 84.03 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。

## 2.2 $\text{NO}_3^-$ -N 和 $\text{NH}_4^+$ -N 高浓度比对浒苔氮吸收速率的影响

在  $\text{NO}_3^-$ -N 的浓度是保持 50  $\mu\text{mol/L}$  不变情况下, 浒苔对  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收速率随着  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度降低而降低, 而对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率逐渐升高(图 2)。当  $\text{NO}_3^-$ -N: $\text{NH}_4^+$ -N=1 : 1 和 2 : 1 时, 浒苔对  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收速率高于对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率; 而当  $\text{NO}_3^-$ -N: $\text{NH}_4^+$ -N=8 : 1 和 16 : 1 时, 浒苔对  $\text{NO}_3^-$ -N 吸收速率高于对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率。

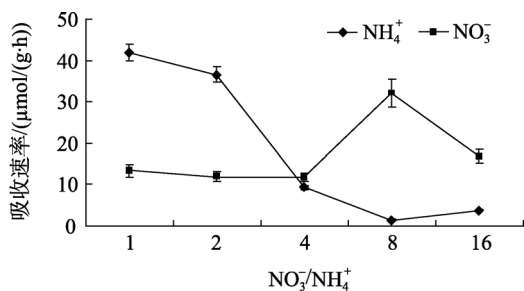


图2  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 高比值对藻体吸收速率的影响  
Fig. 2 The ratio of  $\text{NO}_3^-$ -N to  $\text{NH}_4^+$ -N affects the nitrogen absorption rate of *U. prolifera*

## 2.3 $\text{NO}_3^-$ -N 和 $\text{NH}_4^+$ -N 低浓度比对浒苔氮吸收速率的影响

当  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度保持在 50  $\mu\text{mol/L}$  不变时, 藻体

对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率随着  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度的降低而降低, 而对  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收速率逐渐升高(图 3)。当  $\text{NH}_4^+$ -N: $\text{NO}_3^-$ -N=8 : 1 时, 浒苔对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率最高, 达 70.35 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ; 当  $\text{NH}_4^+$ -N :  $\text{NO}_3^-$ -N=1 : 1 和 2 : 1 时, 浒苔对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率分别为 13.28  $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$  和 15.10  $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , 两者差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但显著高于其他各组中浒苔对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率 ( $P < 0.01$ )。

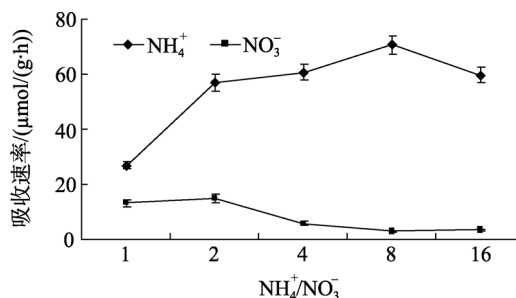


图3  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 低比值对藻体吸收速率的影响  
Fig. 3 The ratio of  $\text{NH}_4^+$ -N to  $\text{NO}_3^-$ -N affects the nitrogen absorption rate of *U. prolifera*

## 2.4 $\text{NO}_3^-$ -N 与 $\text{NH}_4^+$ -N 不同浓度比对浒苔吸收速率影响比较

由图 4 可知, 随着  $\text{NO}_3^-$ -N: $\text{NH}_4^+$ -N 浓度比的增加, 浒苔对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收速率逐渐减低, 而对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收速率逐渐升高。当  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 的比值达到 8 : 1 和 16 : 1 时, 浒苔对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收效率才极显著高于对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收效率 ( $P < 0.01$ )。

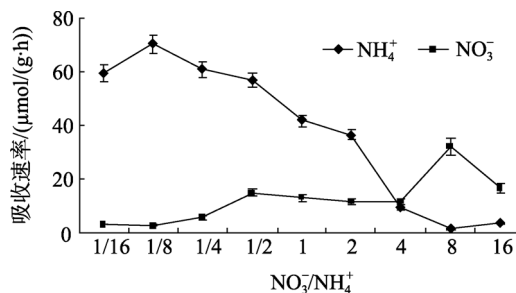


图4  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 不同浓度比对浒苔吸收速率影响  
Fig. 4 The ratio of  $\text{NO}_3^-$ -N to  $\text{NH}_4^+$ -N affects the nitrogen absorption rate of *U. prolifera*

## 3 讨论

大型海藻对  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收的相互作用

复杂多变,与海藻生长率、氮源种类以及碳代谢都有关系<sup>[9]</sup>,而且受环境因子的影响较大,主要可分为优先选择吸收  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  抑制  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的吸收以及相互抑制等 3 种情况。一般认为,在低光照和氮不足的情况下,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的优先吸收较强,而在低光照和氮充足的情况下,则抑制  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  吸收现象增强<sup>[9]</sup>。

本实验中,在光照和氮充足以及  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  等比例情况下,在  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度均在 20  $\mu\text{mol/L}$  范围内时,浒苔对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  均有较高的吸收速率,两者差异不显著。这与有关微藻的研究结果不尽相同<sup>[10-12]</sup>:当介质中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  > 1  $\mu\text{mol/L}$  时,很少或没有  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的吸收。当培养液中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度继续上升时,尽管水体中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  有着与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  相同的浓度,但浒苔表现为优先吸收  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。这符合 Flynn 从能量学角度的解释:  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  比  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  吸收需要较多的能量支出<sup>[10]</sup>。等比例浓度实验说明,当水体中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度较高时(20  $\mu\text{mol/L}$ ),仍不能满足浒苔对氮源的需求,需要  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  作为氮源,经过一系列酶的还原作用被转化为  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,作为合成有机物质的原料<sup>[13]</sup>。而当  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度达到很高时(100~200  $\mu\text{mol/L}$ ),浒苔几乎不再以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为氮源。因此,漂浮浒苔可能是典型机会种,在条件合适时会大量繁殖<sup>[14]</sup>,故在环境中营养存在或出现时,必须要快速地吸收进入体内,或利用或储存,因此选择产生了同时利用不同化合态氮的能力,这为爆发性增殖提供了必要的物质基础。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  低浓度比实验中,浒苔对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的吸收速率随着  $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$  的升高而升高,这与钱鲁闽等<sup>[15]</sup>对龙须菜(*Gracilari lemaneiformis*)和菊花江蓠(*Glichevoide*)的研究结果一致。本实验中,当培养液中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度为 50  $\mu\text{mol/L}$  而  $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$  为 4~16 时,浒苔对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  有着较高的吸收效率,而对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的吸收效率较低。这表明水体中较高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和相对较低浓度  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  共存时,浒苔优先吸收  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。但是,若水体中有较高浓度的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (50  $\mu\text{mol/L}$ )同时存在时,浒苔对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  也有着较高的吸收速率,而对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的吸收速率却低于其他各组中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度为 3.125~25

$\mu\text{mol/L}$  的情况下。这表明浒苔对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的吸收过程不仅存在对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的优先吸收这一现象,还存在  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  拥有竞争吸收位点的可能<sup>[9]</sup>,在一定浓度范围内任意一种氮源的存在都会影响浒苔对另一种氮源的吸收。

在  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  高浓度比实验中,浒苔对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的吸收速率随着  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度的降低而逐渐降低。当培养液中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度为 50  $\mu\text{mol/L}$ ,而  $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$  达到 8 和 16 时,浒苔主要以吸收  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为主,对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  只有较低的吸收率(1.38~3.84 g/h)。这说明水体中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度较低时,浒苔受到环境中较高浓度的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的诱导而生成大量的硝酸还原酶,因而表现出对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的大量吸收。不过,并不是环境中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度降低到一定程度时(<1  $\mu\text{mol/L}$ ),硝酸还原酶才受环境中存在的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的诱导<sup>[19]</sup>,如本实验中,当  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为 25~50  $\mu\text{mol/L}$ ,浒苔对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  已有较高的吸收效率(13.27 g/h 和 11.83 g/h)。综合  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  高浓度比和低浓度比实验也可知道,当环境中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度为 25~50  $\mu\text{mol/L}$  时,浒苔对两者均表现为较高的吸收效率,但对前者的吸收效率远高于后者,这与吸收  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  要支出较多的能量有关<sup>[13]</sup>。

综合看来,漂浮浒苔具有同时利用水体中较高浓度的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的能力,只有当  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  或  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度较低时,才以相对应的氮源为主。这说明,漂浮浒苔能够快速、大量的吸收水体中氮源,为爆发性增殖储备物质条件。同时,即便两种氮源同时存在,浒苔对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的吸收速率也远高于对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的吸收速率,因此,控制  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的大量输入仍是预防浒苔绿潮爆发的关键。

#### 参考文献:

- [1] Morand P, Briand X. Excessive growth of macroalgae: a symptom of environmental disturbance[J]. *Botanica Marina*, 1996, 39: 491-516.
- [2] Hiraoka M, Ohno M, Shige O, *et al.* Crossing test among floating *Ulva* thalli forming "green tide" in Japan[J]. *Hydrobiologia*, 2004, 512: 239-245.
- [3] Largo DB, Sembrano J, Hiraoka M, *et al.* Taxonomic and ecological profile of "green tide" species of *Ulva* (Ulvales, Chlorophyta) in central Philippines[J]. *Hy-*

- drobiologia*, 2004, 512: 247-253.
- [4] Worm B, Lotze HK. Effects of eutrophication, grazing, and algal blooms on rocky shores [J]. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51: 569-579.
- [5] Dion P, Lebozec S. Marine benthic vegetation recent changes and the effects of eutrophication[A]. Schramm W, Nienhuis P H. The French Atlantic Coasts[C]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 251-264.
- [6] Morand P, Merceron M. Coastal eutrophication and excessive growth of macroalgae[A]. Pandalai S G. Recent Research Developments in Environmental Biology. Vol. 1(2) [C]. Kerala India: Research Signpost Trivandrum, 2004. 395-449.
- [7] Schramm W, Nienhuis P H. The French Atlantic Coasts[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 1-4.
- [8] Carpenter E J, Capone D G. Nitrogen in the Marine Environment[M]. New York: Academic Press, 1983. 487-512
- [9] 刘静雯, 董双林.海藻的营养代谢及其主要营养盐的吸收动力学[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(4): 325-330.
- [10] Flynn KJ. Algal carbon nitrogen metabolism: A biochemical basis for modelling the interactions between nitrate and ammonium uptake[J]. *J Plankton Res*, 1991, 13 (2): 373-387.
- [11] Dortch O. The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1990, 61: 183-201.
- [12] Lomas M W, Glibert P M. Interactions between  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  uptake and assimilation: Comparison of diatoms and dinoflagellates at several growth temperature[J]. *Mar Biol*, 1999, 133: 541-551.
- [13] Leanne J, Tracy A, Villareai, *et al.* A high sensitivity nitrate reductase assay and its application to vertically migrating *Rhizosolenia* mats[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 1997, 12: 95-104.
- [14] 吴超元, 李幼芷, 林光恒, 等. 细基江蓠繁枝变型生长适宜环境条件的研究[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(1): 60-66.
- [15] 钱鲁闽, 徐永健, 王永胜. 营养盐因子对龙须菜和菊花江蓠氮磷吸收速率的影响[J]. 台湾海峡, 2005, 24(4): 546-552.

## The interaction between $\text{NH}_4^+$ -N and $\text{NO}_3^-$ -N in nitrogen uptake by *Ulva prolifera*

TIAN Qian-tao, HUO Yuan-zi, WANG Yang-yang, NI Xiao-bo, HE Pei-min  
(College of fisheries and life science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Oct., 12, 2009

Key words: *Ulva prolifera*;  $\text{NH}_4^+$ -N;  $\text{NO}_3^-$ -N; green tide

**Abstract:** The nitrogen uptake by *Ulva prolifera* in the forms of  $\text{NH}_4^+$ -N and  $\text{NO}_3^-$ -N was investigated. With increasing concentrations of the total nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N = 1), the absorption rate of  $\text{NH}_4^+$ -N was increased, but the absorption rate of  $\text{NO}_3^-$ -N was inhibited. With the ratio of  $\text{NO}_3^-$ -N/ $\text{NH}_4^+$ -N > 1, the absorption rate of  $\text{NH}_4^+$ -N decreased with the increase of the ratio of  $\text{NO}_3^-$ -N/ $\text{NH}_4^+$ -N. With the ratio of  $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N > 1, the absorption rate of  $\text{NH}_4^+$ -N was significantly higher than that of  $\text{NO}_3^-$ -N by *U. prolifera*.  $\text{NH}_4^+$ -N and  $\text{NO}_3^-$ -N can both be absorbed by *U. prolifera*; the species with higher concentrations will be the main N resource. Therefore *U. prolifera* can quickly uptake the nitrogen in water for blooming. Moreover the absorption rate of  $\text{NH}_4^+$ -N of *U. prolifera* was significantly higher than that of  $\text{NO}_3^-$ -N in the presence of  $\text{NH}_4^+$ -N and  $\text{NO}_3^-$ -N. Hence, to prevent the Green Tide blooming, it is key to control the importing of  $\text{NH}_4^+$ -N.

(本文编辑: 梁德海)