

# 营养盐对浒苔生长影响的围隔生态实验<sup>\*</sup>

吴晓文<sup>1,2</sup>, 李瑞香<sup>1,2\*</sup>, 徐宗军<sup>1,2</sup>, 韦钦胜<sup>1,2</sup>, 臧家业<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 2008 年 6 月在青岛近海围隔实验研究了营养盐对浒苔生长的影响。结果表明, 添加营养盐的围隔浒苔湿重生物量明显高于未添加营养盐的对照组和海区实验组。一次性添加 f/2 配方的营养盐和一次性添加 N 的 2 组浒苔日均相对增长率分别达 10% 和 9%, 围隔外海区对照只达 4%。浒苔可在短期内快速大量地吸收营养盐, 一次性添加 f/2 配方的营养盐储备液(水体浓度约 f/8)的围隔中, 浒苔 24 h 内对 N 和 P 的吸收速率分别为  $9.25 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $0.63 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。丰富的营养盐能够促进浒苔的迅速生长, 营养盐的种类和浓度对浒苔的生长影响显著, 种类多、浓度高的营养盐环境有利于浒苔生长。相对于  $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$ , 充足的 N 源是浒苔快速生长的重要影响因素。

**关键词:** 围隔; 营养盐; 浒苔

**中图分类号:** Q142

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-6647(2010)04-0538-07

浒苔(*Enteromorpha prolifera*)是一种典型的绿海藻, 广泛分布于我国河口和海洋潮间带中、低潮区, 是我国海洋野生植物资源中极为丰富的大型绿藻, 也是较为理想的海洋生态修复海藻种类<sup>[1]</sup>。浒苔含有很多人体必需的营养成分<sup>[2]</sup>, 具有较高的食用和药用价值。

现今海洋生态环境污染越来越严重, 水体富营养化现象已成为世界性的环境问题<sup>[3]</sup>, 浒苔在营养充足、条件适宜情况下生长迅速, 易形成绿潮<sup>[4]</sup>, 也常附着在人造基质形成危害<sup>[5]</sup>。此外, 因其光合补偿点比紫菜低很多, 已成为我国紫菜栽培和紫菜加工的最主要敌藻。绿海藻类近 3 a 频频在我国东海、黄海近海海域爆发成灾, 成为社会共同关注、急需研究解决的海洋环境问题。因此, 研究浒苔生长与营养盐之间的关系、探讨浒苔爆发成因与消长过程已成为当前亟待研究的课题之一。

目前国内对于浒苔的研究多见于浒苔生活史<sup>[6,7]</sup>、生态因子<sup>[8,9]</sup>及营养药用价值方面<sup>[2,10]</sup>的初步研究。我们首次利用现场围隔实验手段研究了营养盐对浒苔藻体生长的影响, 为浒苔绿潮的监测、预警和控制提供理论支撑和科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 围隔装置

实验于 2008 年 6 月 28 日—7 月 14 日在青岛沿岸麦岛海区进行, 周期 17 d。围隔装置由金属环架、浮体和围隔塑料袋组成, 上部固定在海区缆绳上, 底部系一个铅锤, 以防围隔袋子倾斜和漂移。围隔材料为聚

\* 收稿日期: 2009-03-18

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目——我国近海藻华灾害演变机制与生态安全(2010CB428701); 国家科技支撑计划课题——浒苔绿潮暴发应急处置关键技术研究与应用(2008BAC49B01); 国家海洋局第一海洋研究所基本科研业务费——青岛近海浒苔水华的控制与杀灭研究(GY02-2008T07)、青岛近海浒苔绿潮形成的生物学和生态学机制(GY02-2008T30)和浒苔生长对海水碳循环的影响(GY02-2008G46)

作者简介: 吴晓文(1987-), 女, 山东平度人, 硕士研究生, 主要从事海洋生态学方面研究. E-mail: xiaowenwu1020@163.com

\* 通讯作者, E-mail: liruixiang@fio.org.cn

(高 峻 编辑)

乙烯塑料袋,直径 1 m,深度 1 m。另缝制 0.5 m×0.5 m、一端开口的塑料纱网袋放入实验海区以作对照,实验围隔装置见图 1。

## 1.2 实验用浒苔藻体来源及预处理

实验用浒苔藻体取自 2008 年 6 月青岛麦岛海区浒苔绿潮现场海面,现场采样后挑选生长状态良好的藻体,剔除杂物,人工控干表面水分,用杆称(最大称量 2.5 kg)每份称取(500±10) g,分别放入各实验围隔中和围隔外的纱网袋中,备用。

## 1.3 实验设计

实验围隔共 5 个(表 1),M1 是一次性添加 250 f 储备液(f/2 培养液的 500 倍)300 mL 至初始浓度为  $c_{\text{PO}_4\text{-P}}$  为  $7.82 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $c_{\text{NO}_3\text{-N}}$  为  $111.07 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,M2 是每日添加 250 f 储备液 5 mL 至初始浓度为  $c_{\text{PO}_4\text{-P}}=1.1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $c_{\text{NO}_3\text{-N}}=12.27 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,随后每日添加  $\text{PO}_4\text{-P}$   $90.5 \mu\text{mol}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$   $2206 \mu\text{mol}$ ,M3 是一次添加含 N 营养液( $5 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaNO}_3$  溶液)至  $c_{\text{NO}_3\text{-N}}$  为  $111.14 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,M4 为无添加营养盐的对照,M5 为围隔外海区对照(将装有藻体的纱网袋固定在围隔外海水中,以防止漂流)。每日 10:00 左右捞取浒苔藻体控干表面水分(以 3 分钟内不滴水为准),称其湿重,待取完水样后再放回围隔中;取表层水样带回实验室,用 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤后用营养盐自动分析仪测定各项营养盐指标。

表 1 围隔及营养盐添加设计

Table 1 The nutrient-supply design for the mesocosm experiment

实验组	设计及添加方案	初始实测浓度/ $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	
		$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{NO}_3\text{-N}$
M1	700L 中一次性添加 250f 培养液 300mL	7.82	111.07
M2	700L 中每日添加 250f 培养液 5mL	1.10	12.27
M3	一次添加含 N 营养液( $5 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaNO}_3$ 溶液)	0.60	111.14
M4	对照(无添加)	0.54	5.25
M5	围隔外海区对照(无添加)	0.59	5.09

## 1.4 实验数据处理

### 1.4.1 日均相对增长率的计算

在浒苔生长期用每天的增长速率的平均值表示浒苔日均相对增长速率,计算公式<sup>[11]</sup>:

$$K_i = \left( \frac{W_{i+1}}{W_i} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{N} \quad (2)$$

式中, $i$  代表第  $i$  次取样, $K_i$  代表第  $i$  次与第  $i+1$  次之间每天的相对增长速率, $W_i$  代表第  $i$  次取样的湿重生物量, $N$  代表取样总数, $\bar{K}$  代表生长期日均相对增长速率。

### 1.4.2 营养盐表观吸收速率的计算

公式<sup>[12]</sup>:



图 1 围隔外观图

Fig. 1 The view of mesocosms

$$V_n = \frac{(S'_n - S_{n+1}) \times 10^3}{24W_n} \quad (3)$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{n=1}^i V_n}{t'} \quad (4)$$

式中,  $V_n$  表示浒苔对营养盐的表观吸收速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\bar{V}$  表示每天表观吸收速率的平均值,  $n$  表示第  $n$  天,  $W_n$  是第  $n$  天的相应围隔中浒苔藻体总湿重 ( $\text{g}$ ),  $S'_n$  表示第  $n$  天添加营养盐后介质中营养盐的浓度 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $S_{n+1}$  是第  $n+1$  天未添加营养盐前的介质中的营养盐浓度 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $t'$  表示参与求和的  $V_n$  的个数。

## 2 结果和讨论

### 2.1 实验期间围隔内外温、盐要素的基本情况

2008 年 6—7 月实验期间围隔内外海水的温度波动范围为  $19.43 \sim 20.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , 围隔内部与海区相同; 实验期内海区盐度为  $30.26 \sim 30.42$ , 围隔盐度波动范围为  $30.30 \sim 30.38$ , 海区盐度因受海流影响变动相对围隔略大, 但总体变幅均不明显。

### 2.2 浒苔藻体湿重生物量的变化与相对增长率的计算

#### 2.2.1 生物量的变化

由浒苔湿重生物量日变化的测定结果(图 2), 可以看出添加营养盐的围隔浒苔湿重生物量明显高于对照 M4(未添加营养盐的围隔)和 M5(围隔外海区)。其中, M1 的浒苔湿重生物量在实验前期、中期均是最高, 自第 11 天起生长速率平缓下降; M3 中浒苔湿重生物量仅次于 M1, 从第 11 天起持续增长超过 M1, 至第 13 天达最高值  $1.6 \text{ kg}$ , 是初始值的  $320\%$ ; M2 的浒苔生长趋势与 M3 的相似, 生物量相对 M1、M3 较低, 也从实验第 12 天起平缓下降, 最高增长是初始值的  $230\%$ ; 对照 M4 和围隔外海区 M5 的浒苔湿重生物量明显偏低, 二者生物量增长曲线基本一致, 至第 11 天达到其最大值  $0.875 \text{ kg}$ 。所有添加营养盐的围隔组中浒苔藻体生物量的最大值(M3,  $1.6 \text{ kg}$ )是围隔外海区中浒苔生物量最大值(M5,  $0.85 \text{ kg}$ )的  $1.88$  倍。由此可见, N 和 P 对浒苔生长具有强烈的刺激作用, 能够促进浒苔在短期内快速大量生长, 尤其是 N 营养盐。这些结论与李瑞香等的研究成果<sup>[11]</sup>基本一致。

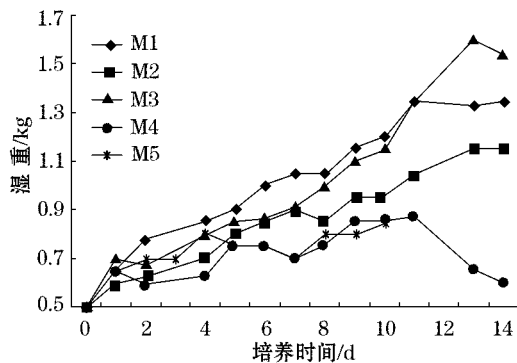


图 2 湿重生物量的日变化

Fig. 2 The daily variation of wet biomass

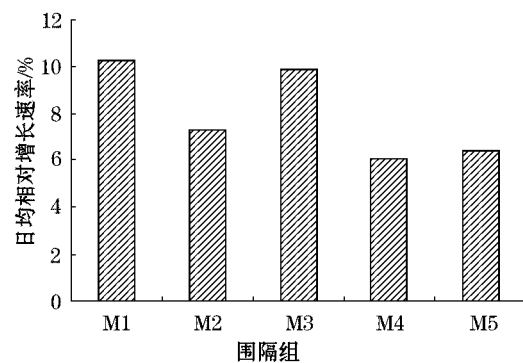


图 3 生物量日均相对增长率

Fig. 3 The relative growth rates of daily average biomass

### 2.2.2 日均相对增长率

各围隔中浒苔湿重生物量的日均相对增长率见图 3。总的来说,添加营养盐的围隔组浒苔湿重生物量的日均相对增长率均高于 2 个对照组(无添加),而一次性添加大量营养盐的 2 个围隔组(M1、M3)又高于其他几组的日均相对增长率,添加 N、P 的 M1 日均相对增长率略高于只添加 N 的 M3。M1、M3 中浒苔日均相对增长率分别达到 10.3% 和 9.9%,围隔内对照和海区对照的浒苔日均相对增长率仅为 6.1% 和 6.4%。每日添加营养盐的 M2 浒苔日均相对增长率为 7.4%,低于 M1、M3。M1 中 N、P 总添加量各为 0.132 mol、 $5.430 \times 10^{-3}$  mol, M2 每日营养盐的总添加量为 N 0.033 mol、P  $5.430 \times 10^{-3}$  mol,前者的浒苔生物量和日均相对增长速率均明显高于后者。这说明一次性过量补充营养盐对浒苔的快速生长更具刺激作用。

### 2.3 围隔实验中无机态营养盐的变化及 N、P 的吸收速率

#### 2.3.1 无机态营养盐的变化

图 4 为实验期内在不同营养盐培养条件下,3 种无机溶解态营养盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 随时间的变化,及围隔外海区各种无机溶解态营养盐的变化。

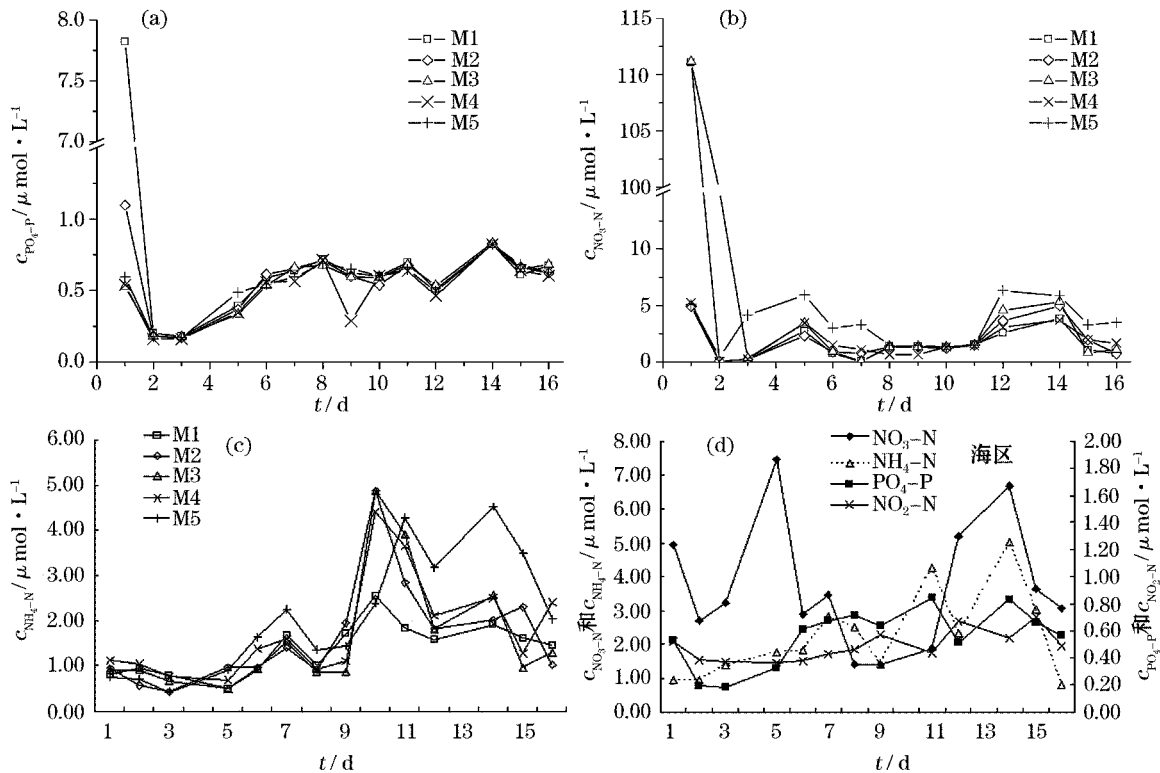


图 4 围隔内(a,b,c)和实验海区(d)溶解态营养盐的变化

Fig. 4 The variations of dissolved nutrients respectively in mesocosm (a, b, c) and in the surrounding sea water (d)

各围隔在浒苔生长的前期,溶解态无机营养盐含量被吸收而快速下降,浒苔因营养盐的消耗其生长速率也很快降低。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 在整个实验期内呈明显下降趋势。其中,M1的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 在实验的第1~2天内被大量吸收,由 $7.80 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 $0.2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,降低了38倍,直到实验末期都保持较低浓度。M2中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 变化趋势与M1相似。M3、M4和M5三个围隔中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的初始含量较低,整个实验过程中变化幅度不大,除去降雨时段,其余时间基本在 $0.16 \sim 0.39 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 变动。实验第4~7天、第11~14天分别有一次降雨

过程以及雨后的大雾天气,据青岛新闻网消息<sup>[13]</sup>,7月1日的降水量达47.6 mm(实验的第4天)。大气湿沉降是海洋生态系统营养元素的一个重要来源,局部降水可能导致表层海水的暂时富营养化<sup>[14,15]</sup>,因此雨水携带部分营养盐添加到围隔中,使得 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NO}_3\text{-P}$ 浓度在这2段时间内出现“小高峰”现象。到实验末期 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度略有升高,原因可能是藻体死亡分解,有机磷部分转化为无机磷又释放到水体中。

由于围隔中浒苔藻体对 $\text{NO}_3\text{-P}$ 的吸收利用使其含量整体呈现降低趋势,同 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的变化相似,即在实验第2天被大量吸收而达到低值水平,直至实验结束。M1中 $\text{NO}_3\text{-P}$ 含量从 $111.07 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 经过1 d降至 $0.07 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,同样是添加等量N的M3中 $\text{NO}_3\text{-P}$ 含量从初始值 $111.14 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,直到第3天降至 $0.32 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,可见对于浒苔的生长而言,N、P共存的环境要优于只含有足量N的环境,一定量的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 可促进浒苔对N营养盐的迅速大量吸收,但吸收的最适N/P值还有待于进一步研究。其他几个围隔尽管 $\text{NO}_3\text{-P}$ 始值略有差别,但至第2天均降到较低值,直到实验结束。

$\text{NH}_4\text{-N}$ 的浓度变化基本维持一种先下降再波折上升的趋势,波动范围为 $0.41 \sim 4.87 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 因无需改变其中N的化合价即可被浮游植物吸收利用而被认为是浮游植物首先吸收的氮源,也有研究表明某些浮游植物以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为首要氮源<sup>[16,17]</sup>。本文围隔实验中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为添加氮源,水体中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的浓度比 $\text{NH}_4\text{-N}$ 要高很多,且随着 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度的快速降低藻体的生物量增加很快,而实验中期 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度不减反增,这可能与连续降水<sup>[14,15]</sup>或藻体释放有关。本实验中浒苔藻体优先大量利用的氮源是 $\text{NO}_3\text{-N}$ ,死亡的藻体分解后可释放 $\text{NH}_4\text{-N}$ 。

### 2.3.2 围隔内氮、磷营养盐的吸收速率

计算得实验前10 d M2围隔中浒苔对N的平均吸收速率为 $0.54 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,N的最大吸收速率出现在第1天,为 $1.02 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,实验前6 d中每天的吸收速率均大于 $0.68 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,对应于浒苔生物量变化表现为与藻体的快速增长期相同。前10 d M2围隔中浒苔对P的吸收速率为 $0.013 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,水体中的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 在短时间内(约1 d)即被大量吸收,剩余浓度几乎接近零,最大吸收速率 $0.075 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 也出现于第1天,可见在本实验中也出现了所谓的磷的“奢侈消费”现象,即当无机磷较丰富时藻体吸收过量的磷,待其欠缺时再加以利用,这与张水浸<sup>[18]</sup>和侯继灵<sup>[16]</sup>等人的研究现象较为一致。此后3 d水体中磷酸盐含量不减反微量增多,自第6天开始又恢复吸收大于释放的趋势,这与实验第4~6天内的降雨及大雾天气有密切关系,雨水丰富了围隔中的营养盐含量,同时因雨雾影响,浒苔正常的生理过程减缓,对营养盐的吸收也相应减少。

相比与M2,一次性添加f/2的M1围隔内浒苔对N、P的吸收主要集中在第1天,第1天内浒苔对N的吸收速率为 $9.25 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,对P的吸收速率为 $0.63 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。可见,营养盐越丰富,浒苔对其吸收越快,N、P的吸收比例也高于添加比例(表2),表明浒苔在吸收营养盐过程中N的需求比要高于P。相关文献也表明,一些大型海藻吸收N的速率很快<sup>[11,19-21]</sup>,某些大型海藻的吸收速率常数一般是浮游植物的10倍<sup>[21,22]</sup>。

表2 围隔M1和M2第1天浒苔对N、P吸收速率的比较

Table 2 The comparison between the uptake rates respectively of N and P by *Enteromorpha prolifera* in the first day of the M1 and M2 mesocosms

围 隔	M1		M2	
	N	P	N	P
吸收速率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	9.25	0.63	1.02	0.075
添加 N/P	14.2 : 1		11.2 : 1	
吸收 N/P	14.6 : 1		13.6 : 1	

## 3 结 论

通过海区围隔生态实验,研究了营养盐对浒苔生长的影响以及围隔内营养盐含量、种类与结构的变化。

(1)本次实验中,实验初期浒苔生物量迅速增加,2 d内各组生物量增重比为20%~40%,随实验时间的延长,湿生物量增幅小于实验初期的。营养盐浓度最高、种类最丰富的实验组(M1和M3)浒苔生长最快,其

次是连续添加实验组(M2),而未添加营养盐的2个对照组(M4和M5)浒苔增长缓慢。

(2)营养盐的种类和浓度对浒苔的生长影响显著。营养盐的种类和形态相同情况下,高营养盐浓度组浒苔生长率高于低浓度组,说明在本实验设置的最高浓度范围内(N的最高浓度为 $111.1 \mu\text{mol/L}$ ,P的最高浓度为 $7.8 \mu\text{mol/L}$ )营养盐浓度越高越有利于浒苔的生长;比较N、P全加的组与只加N的组,二者的浒苔生长率差别不明显,而N、P全加的组和只加N的组比较,后者的浒苔生长率较高,充分说明了浒苔对N的需求远大于对P的需求,尤其是 $\text{NO}_3\text{-N}$ 是本实验中浒苔生长首先吸收的主要氮源;添加营养盐组与2个对照组相比,前者的浒苔生长率几乎是后者的2倍,说明了一次性过量补充营养盐对浒苔的快速增长更具刺激作用。

(3)浒苔对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的吸收速率非常快,连续添加实验组实验前期对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的平均吸收速率达 $0.54 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,对 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的平均吸收速率为 $0.013 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。天气变化对浒苔的生长和营养盐的吸收均会造成影响,实验期内共有2个雨雾时段(第4~6天,第11~14天),雨水携带部分营养盐补充到围隔中,因缺少光照,浒苔自身光合速率降低,对营养盐的吸收也减慢。此外,据文献报道<sup>[19-21]</sup>,一些大型海藻吸收N的速率远高于浮游植物,可见在绿潮爆发期海洋中的浮游植物就失去了对营养盐物质的竞争力,形成赤潮危害的可能性将会大为降低。本实验结果进一步表明,河口区和近岸海域中丰富的营养盐是浒苔大量繁殖继而暴发成灾的前提条件之一。

#### 参考文献(References):

- [1] ZHANG H Y, WU W X, SONG L Z, et al. Trial and field cultivation of *Enteromorpha clathrata* and effects of ecological factors on its growth[J]. Journal of Fishery Science of China, 2006, 13(5): 781-786. 张寒野, 吴望星, 宋丽珍, 等. 条浒苔海区试栽培及外界因子对藻体生长的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(5): 781-786.
- [2] XU D L, HUANG X C, YANG W G, et al. Analysis of Nutrition Composition of *Enteromorpha prolifera*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University. Natural Science, 2003, 22(4): 318-320. 徐大伦, 黄晓春, 杨文鸽, 等. 浒苔营养成分分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2003, 22(4): 318-320.
- [3] NIXON S W, AMMERMAN J W, ATKINSON L P, et al. The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean[J]. Biogeochemistry, 1996, 35: 141-180.
- [4] ZOU D H, CHEN X W. Effects of elevated  $\text{CO}_2$  concentration on growth and some physiological and biochemical traits in *Enteromorpha clathrata* (Chlorophyta)[J]. Marine Science Bulletin, 2002, 21(5): 38-45. 邹定辉, 陈雄文. 高浓度  $\text{CO}_2$  对条浒苔 (*Enteromorpha clathrata*) 生长和一些生理生化特征的影响[J]. 海洋通报, 2002, 21(5): 38-45.
- [5] CALLOW M E, CALLOW J A. Primary adhesion of *Enteromorpha* (Chlorophyta Ulvales) propagules: quantitative settlement studies and video microscopy[J]. J. Phycol., 1997, 33: 938-947.
- [6] LIN A P, WANG J W, YAN B L, et al. The primary study of tissue culture of *Enteromorpha prolifera*[J]. Ecologic Science, 2006, 25(4): 320-324. 林阿朋, 王建伟, 阎斌伦, 等. 浒苔 *Enteromorpha prolifera* 组织培养初步研究[J]. 生态科学, 2006, 25(4): 320-324.
- [7] WANG X K, MA J H, CHEN D C, et al. Preliminary study on the life history of *Enteromorpha prolifera*[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(5): 1212-1216. 王晓坤, 马家海, 陈道才, 等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史的初步研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(5): 1212-1216.
- [8] WU H X, XU A G, WU A N. Preliminary study of experimental ecology of *Enteromorpha prolifera* (Miull.) [J]. Journal of Zhejiang Ocean University, 2000, 19(3): 230-234. 吴洪喜, 徐爱光, 吴爱宁. 浒苔实验生态的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2000, 19(3): 230-234.
- [9] WANG J W, YAN B L, LIN A P, et al. Ecological factor research on the growth and induction of spores release in *Enteromorpha prolifera* (Chlorophyta)[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 60-65. 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋, 等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生长及孢子释放的生态因子研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 60-65.
- [10] ZHOU H P, JIANG X T, WANG S R, et al. Effect of Polysaccharide from *Enteromorpha prolifera* on lipemia, SOD activity and LPO content[J]. Chinese Biochemical Journal, 1995, 11(2): 161-164. 周慧萍, 蒋巡天, 王淑如, 等. 浒苔多糖的降血脂及其对 SOD 活力和 LPO 含量的影响. 生物化学杂志, 1995, 11(2): 161-164.
- [11] LI R X, WU X W, WEI Q S, et al. Growth of *Enteromorpha prolifera* Under Different Nutrient Conditions[J]. Advances in Marine Science, 2009, 27(2): 211-216. 李瑞香, 吴晓文, 韦钦胜, 等. 不同营养盐条件下浒苔的生长[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(2): 211-216.
- [12] JIN S D, LI Y H, NI C H, et al. Uptake by *Potamogeton Crispus* of Nitrogen and Phosphorus from water and some affecting Factors [J]. Acta Ecologica Sinica, 1994, 14(2): 168-173. 金送笛, 李永函, 倪彩虹, 等. 菹草 (*Potamogeton Crispus*) 对水中氮、磷的吸收及若干影响因素[J]. 生态学报, 1994, 14(2): 168-173.

- [13] Qingdao Weather Station. Main wet season began in Qingdao yesterday. It will rains with a mediate intensity in a few days in future [EB/OL]. Qingdao News Web <http://www.Qingdaonews.com> [2008-07-02]. 青岛气象台. 我市昨进入主汛期, 未来几天还将有中强度降水[EB/OL]. 青岛新闻网 <http://www.Qingdaonews.com> [2008-07-02].
- [14] ZHANG G S, CHEN H T, ZHANG J, et al. Nutrient elements in the atmospheric wet deposition in Changjiang River Estuary[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003,14(7):1107-1111. 张国森, 陈洪涛, 张经, 等. 长江口地区大气湿沉降中营养盐的初步研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1107-1111.
- [15] ZHANG J L, YU Z G, ZHANG J, et al. Wet and dry deposition and its influences on Marine Ecosystem[J]. Marine Environmental Science, 1999,18(1):70-76. 张金良, 于志刚, 张经. 大气的干湿沉降及其对海洋生态系统的影响[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(1): 70-76.
- [16] HOU J L, ZHANG C S, SHI X Y, et al. Effect of phosphate on two typical HAB species in East China Sea by mesocosm experiment [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(Sup. ): 163-169. 侯继灵, 张传松, 石晓勇, 等. 磷酸盐对两种东海典型赤潮藻影响的围隔实验[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(Sup. ): 163-169.
- [17] FENG S Z, LI F Q, LI S J. Introduction of Ocean Science[M]. Beijing: Higher Education Press, 1999. 冯士筵, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [18] ZHANG S J, YANG Q L, QIU H H, et al. Red tide and control measures[M]. Beijing: Ocean Press, 1994: 112-114. 张水浸, 杨清良, 邱辉煌, 等. 赤潮及其防治对策[M]. 北京: 海洋出版社, 1994: 112-114.
- [19] FLYNN K J. Algal carbon-nitrogen metabolism; a biochemical basis for modeling the interactions between nitrate and ammonium uptake [J]. Plankton Res., 1991, 13(2): 373-387.
- [20] LAPOINTE B E, LITTLER M M, LITTLER D S, et al. Nutrient availability to marine macroalgae in siliciclastic versus carbonate-rich coastal waters[J]. Estuaries, 1992, 15: 75-82.
- [21] LIU J W, DONG S L. Nutrient metabolism and the major nutrient uptake kinetics of seaweed[J]. Plant Physiology Communications, 2001, 37(4): 325-329. 刘静雯, 董双林. 海藻的营养代谢及其对主要营养盐的吸收动力学[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(4): 325-329.
- [22] LOMAS M W, GLIBERT P M. Interactions between  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  up-take and assimilation; Comparison of diatoms and dinoflagellates at several growth temperature[J]. Marine Biology, 1999, 133: 541-551.

## Mesocosm Experiments of Nutrient Effects on *Enteromorpha prolifera* Growth

WU Xiao-wen<sup>1,2</sup>, LI Rui-xiang<sup>1,2</sup>, XU Zong-jun<sup>1,2</sup>, WEI Qin-sheng<sup>1,2</sup>, ZANG Jia-ye<sup>1,2</sup>

(1. First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;

2. Key Lab of Science and Engineering for Marine Ecologic Environment of SOA, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** Nutrient effects on *Enteromorpha prolifera* growth are studied in mesocosm experiments in the coastal sea area of Qingdao in June 2008. It is shown in the results from the mesocosm experiment that the wet weight biomass of *Enteromorpha prolifera* group supplied with nutrients becomes evidently higher than that of either the group supplied without any nutrients or the group directly sampled from the studied sea area. The daily average growth rate of the group supplied only once with a f/2 nutrient dose is 10%, that with N is 9%, and the daily average growth rate of the group directly sampled from the studied sea area is only 4%. *Enteromorpha prolifera* (*E. prolifera* for short) can rapidly absorb a large quantity of nutrients in a short time. The experimental group supplied only once with the f/2 dose (diluted from the stored solution with the f/8 concentration) can absorb  $9.25 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  of N, and  $0.63 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  of P in the 24 h after the nutrient solution has been added. Richer nutrients can make *E. prolifera* grow more rapidly. *E. prolifera* growth obviously depends upon nutrient type and concentration. The surroundings with multiple and rich nutrients is helpful for the *E. prolifera* growth. It is learnt from the comparison between  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{PO}_4\text{-P}$  that the N supply is a more important role for *E. prolifera* growth.

**Key words:** Mesocosm; nutrients; *Enteromorpha prolifera*

**Received:** March 18, 2009