

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00851

## 环境因子对鼠尾藻生殖托生长及光合特性的影响

马兴宇<sup>1,2</sup>, 梁洲瑞<sup>1</sup>, 刘福利<sup>1</sup>, 孙修涛<sup>1</sup>, 王飞久<sup>1</sup>, 汪文俊<sup>1</sup>, 刘坤<sup>1,2</sup>

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东 青岛 266071;  
2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

**摘要:** 鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)样本采自青岛太平角, 以光照、温度、盐度及营养盐水平 4 项环境因子分别设置 4 组单因素实验, 研究其对鼠尾藻生殖托的生长、表观光合作用、暗呼吸作用以及色素积累的影响。结果显示: (1) 光照度为 8 000 lx、温度为 20℃和盐度为 20 的条件下生殖托的比生长速率(SGR)较大, 表观光合作用较强。光照 12 000 lx 抑制生殖托的光合作用与生长, 15℃下比生长速率比 20℃小 50.64% ( $P < 0.05$ ), 盐度从 31 下降到 28, 比生长速率与表观光合速率显著增大。(2) 色素含量与光照度、温度呈显著的负相关性, 叶绿素 a 和类胡萝卜素含量受环境因子影响较大, 而叶绿素 c 相对稳定。(3) 氮磷营养盐的浓度对比对生殖托的生长、光合作用影响显著, 适宜的氮磷比(N/P)范围为 5 1~1 1, 而 50 1 显著抑制生殖托的生长。(4) 相比氮元素而言, 磷浓度变化对生殖托光合作用影响更大, 说明磷元素对于生殖托的构建至关重要。(5) 氮磷比对生殖托色素含量影响不显著, 而富氮、富磷培养液有利于色素的积累。结果表明, 上述 4 项环境因子对鼠尾藻生殖托的生长及光合特性均有显著影响, 适宜的培养条件为光照度 8 000 lx、温度 20℃、盐度 20、氮磷浓度比(N/P)在 5 1~1 1。本研究旨在为鼠尾藻人工育苗技术的优化提供科学依据。

**关键词:** 鼠尾藻; 生殖托; 环境因子; 比生长速率; 光合作用; 色素

中图分类号: Q945;S917.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)04-0851-08

鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)是马尾藻属(*Sargassum*)的习见种, 广泛分布于潮间带, 依靠假根固着在礁石上和池沼中。作为一种大型海藻, 鼠尾藻参与调节近岸海域的生态环境<sup>[1-4]</sup>, 同时还具有多重的经济价值<sup>[5-6]</sup>。目前对于鼠尾藻的研究主要集中在生物活性物质的提取与药理研究<sup>[7-9]</sup>、生态资源调查<sup>[10-13]</sup>、繁殖生物学与人工育苗技术<sup>[14-15]</sup>、遗传多样性研究<sup>[16-18]</sup>, 而鼠尾藻对环境因子的生理响应研究较少<sup>[19-21]</sup>。

生殖托作为鼠尾藻的有性繁殖器官, 其生长发育的好坏, 直接关系到精卵排放的数量与质量, 从而影响繁殖的结果。而关于环境因子对鼠尾藻生殖托的生长以及生理作用的研究还未见报道。

本研究通过探讨光照、温度、盐度及营养盐水平对发育初期生殖托的生长以及光合特性的影响, 找出生殖托生长发育的适宜条件, 旨在为进一步优化鼠尾藻的人工育苗技术提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与培养方案

实验用鼠尾藻于 2012 年 7 月取自青岛太平角, 选取生殖托(长度约为 0.3 cm, 质量约为 0.001 g)数量多, 个体小的鼠尾藻枝条作为培养材料。将挑选好的枝条每 7 枝盛放于一个 1 L 烧杯中, 用过滤灭菌的海水作为培养液, 置于 GXZ 智能型光照培养箱适应两天, 然后按以下实验条件进行培

收稿日期: 2012-11-02; 修订日期: 2012-12-28.

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA10A413); 公益性行业(农业)专项(200903030).

作者简介: 马兴宇(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为海藻生物学. E-mail: maxingyugood@163.com

通信作者: 王飞久, 研究员. E-mail: wangfj@ysfri.ac.cn

养(培养周期为 8 d, 每天搅动培养液 3~4 次)。

**1.1.1 光照实验** 光强梯度设置为 12 000 lx、8 000 lx 和 4 000 lx 3 个光照度处理组(光照度用 HANNA-HI97500 便携式照度计调节), 其他条件为温度 20℃、盐度 31。

**1.1.2 温度实验** 温度梯度设置 25℃、20℃ 和 15℃ 3 个温度处理组, 其他条件为光照强度 5 000 lx、盐度 31。

**1.1.3 盐度实验** 盐度梯度设置 31、28、24 和 20 共 4 个盐度处理组(盐度用 WTW-Multi 340i 多参数计调节), 其他条件为光照 5 000 lx、温度 20℃。

**1.1.4 营养盐水平实验** 营养盐水平梯度设置 50 : 1、10 : 1、5 : 1、1 : 1 共 4 个氮磷元素质量浓度比(N/P)组, 用 PhotoLab 多参数水质分析仪(德国 WTW 公司)测定实验用自然海水的氮磷浓度, 用等物质的量浓度的  $\text{NH}_4\text{Cl}$  与  $\text{NaNO}_3$  溶液作为氮源, 用  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  作为磷源进行添加。每个比例均设置两个实验组, 共 8 组: 将氮元素浓度恒定为 3 mg/L, 按氮磷元素质量浓度比(N/P)调节磷元素质量浓度至 0.06 mg/L(50 : 1)、0.3 mg/L(10 : 1)、0.6 mg/L(5 : 1)、3 mg/L(1 : 1); 将磷元素浓度恒定为 0.6 mg/L, 按氮磷元素质量浓度比(N/P)调节氮元素质量浓度至 30 mg/L(50 : 1)、6 mg/L(10 : 1)、3 mg/L(5 : 1)、0.6 mg/L(1 : 1)。其他培养条件为光照 5 000 lx、温度 20℃。

## 1.2 测定方法

培养前用分析天平测量每个试验组鼠尾藻生殖托的初始质量( $W_0$ ), 培养 8 d 后测量终末质量( $W_t$ ), 计算比生长速率( $\text{SGR}$ )= $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$ 。

培养终末, 用液相氧电极(Hansatech Oxygraph, 英国)测定生殖托的表观光合速率和暗呼吸速率。反应体系温度由恒温水浴系统控制, 反应介质为灭菌天然海水, 通过加入少量  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  粉末标定零刻度线, 由氧电极自带的软件得出表观光合速率和暗呼吸速率数值。

参照王丽梅<sup>[22]</sup>与 Jeffrey<sup>[23]</sup>等方法, 用 80% 的丙酮溶液研磨生殖托至材料无色, 4 000 r/min 离心 15 min, 弃去沉淀后定容色素溶液。用 UV-2802 型紫外可见分光光度计测定溶液在 664 nm、647

nm、639 nm、630 nm、510 nm、480 nm 处的吸光度, 按以下公式分别计算叶绿素 a、叶绿素 c 和类胡萝卜素的质量浓度:

$$\text{叶绿素 a 质量浓度(mg/L)} = 11.85 \times A_{664} - 1.54 \times A_{647} - 0.08 \times A_{639} \quad (1)$$

$$\text{叶绿素 c 质量浓度(mg/L)} = 24.36 \times A_{630} - 3.73 \times A_{664} \quad (2)$$

$$\text{类胡萝卜素质量浓度(mg/L)} = 7.6 \times (A_{480} - 1.49 \times A_{510}) \quad (3)$$

将(1)、(2)、(3)式分别代入(4)式, 求出生殖托中各色素的质量分数。

$$\text{色素质量分数(mg/g)} = (\rho \times V) / m \quad (4)$$

式中,  $A_{664}$  代表色素溶液在 664 nm 处的吸光度, 其他  $A$  值意义类同;  $\rho$  代表求得的各色素质量浓度, mg/L;  $V$  代表色素溶液总体积, L;  $m$  代表生殖托样本质量, g。

## 1.3 数据分析

采用 Excel 整理数据及绘制图形, SPSS 16.0 进行单因子方差分析(one-way ANOVA), 用 Duncan 氏多重比较分析组间差异显著性(以  $P < 0.05$  作为差异显著)。数据用平均值±标准差( $\bar{x} \pm \text{SD}$ )形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子对鼠尾藻生殖托生长的影响

由表 1 可知, 光照度从 4 000 lx 升高到 12 000 lx 时, 鼠尾藻生殖托 SGR 呈先升后降低的趋势。光照度为 8 000 lx 时, 生殖托 SGR 最大, 达 8.50%。25℃ 与 20℃ 温度组生殖托的生长速率均较快, 其 SGR 是 15℃ 组的 2 倍左右, 可见温度在 20~25℃ 时较利于生殖托的生长, 而 15℃ 时生殖托生长缓慢。随着培养液盐度的降低, 生殖托 SGR 呈上升趋势, 盐度降到 20 时, SGR 高达 9.10%, 是盐度 31 组的 1.73 倍。可见低盐度短期内可以促进鼠尾藻生殖托的生长。

由表 2 可知, 氮浓度恒定(3 mg/L)时, 随着氮磷浓度比值的减小, 生殖托生长速率先升高后降低, 高值出现在 5 : 1 处, SGR 为 12.07%。氮磷浓度比为 5 : 1 时生长速率显著高于 10 : 1 ( $P < 0.05$ ), 但与 1 : 1 差异不显著 ( $P > 0.05$ )。氮磷浓度比为 50 : 1 时, SGR 最小, 只有 2.28%。磷浓度恒定

表 1 光照度、温度和盐度对鼠尾藻生殖托比生长速率的影响

Tab. 1 Effect of illuminance, temperature and salinity on specific growth rate of receptacles of *S. thunbergii*

$n=21; \bar{x} \pm SD$

环境因子 environment factors	光照度/lx illuminance			温度/°C temperature			盐度 salinity			
	12000	8000	4000	25	20	15	31	28	24	20
比生长速率 /% SGR	6.49±0.18 <sup>b</sup>	8.50±0.16 <sup>c</sup>	5.48±0.12 <sup>a</sup>	9.32±0.17 <sup>b</sup>	9.40±0.16 <sup>b</sup>	4.64±0.13 <sup>a</sup>	5.26±0.18 <sup>a</sup>	8.22±0.11 <sup>b</sup>	8.56±0.13 <sup>b</sup>	9.10±0.16 <sup>c</sup>

注: 同一因子各参数上方字母不同代表水平间有显著性差异( $P<0.05$ ).

Note: Values with different letters under the same factor are significantly different between the different levels ( $P<0.05$ ).

表 2 氮磷浓度比值对鼠尾藻生殖托比生长速率的影响

Tab. 2 Effect of the ratio of nitrogen to phosphorus on specific growth rate of receptacles of *S. thunbergii*

$n=21; \bar{x} \pm SD$

项目 item	氮磷浓度比值(N/P) the ratio of nitrogen to phosphorus			
	50 1	10 1	5 1	1 1
氮浓度恒定(3 mg/L)比生长速率/% SGR	2.28±0.13 <sup>a</sup>	8.19±0.13 <sup>b</sup>	12.07±0.15 <sup>c</sup>	10.81±0.16 <sup>c</sup>
磷浓度恒定(0.6 mg/L)比生长速率/% SGR	5.74±0.18 <sup>a</sup>	11.03±0.12 <sup>b</sup>	12.07±0.15 <sup>c</sup>	13.12±0.11 <sup>c</sup>

注: 同一行参数上方字母不同代表有显著性差异( $P<0.05$ ).

Note: Values in the same row with different letters are significantly different from each other ( $P<0.05$ ).

(0.6 mg/L)时, 生殖托生长速率随着氮磷比值的减小, 呈上升趋势。在氮磷比为 5 1 与 1 1 处生长速率较高, SGR 分别为 12.07%、13.12%, 两者之间差异不显著( $P>0.05$ ), 而显著高于 10 1 ( $P<0.05$ )。同样, 氮磷浓度比值为 50 1 时, 生殖托生长速率最低。由以上分析可知, 氮磷浓度比值为 50 1 时, 不利于生殖托的生长, 而 5 1 与 1 1 时生长速率较高, 适合鼠尾藻生殖托的生长。

## 2.2 环境因子对鼠尾藻生殖托表观光合速率与暗呼吸速率的影响

由图 1 可知: 光照度从 4 000 lx 升高到 12 000

lx 时, 鼠尾藻生殖托表观光合速率先上升后下降, 8 000 lx 时生殖托表观光合速率较大, 显著高于其他两组。12 000 lx 表观光合速率值较小, 可见高光照度对鼠尾藻生殖托的光合作用有抑制作用。暗呼吸速率在 12 000 lx 较高, 8 000 lx 较低, 但无显著性差异( $P>0.05$ )。3 个温度梯度(15°C、20°C、25°C)组, 生殖托表观光合速率并没有显著性差异( $P>0.05$ ), 20°C 时表观光合速率较高, 为 378.78 nmol/(g·min)。15°C 时暗呼吸速率高达 569.97 nmol/(g·min), 显著高于其他两组( $P<0.05$ )。随着盐度的降低, 生殖托的表观光合速率呈上升

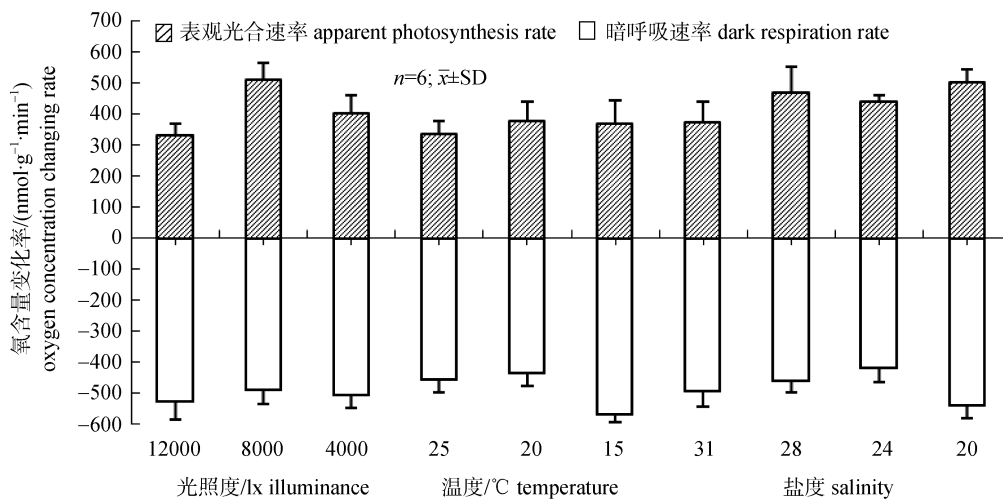


图 1 光照度、温度和盐度对鼠尾藻生殖托表观光合速率与暗呼吸速率的影响

Fig.1 Effect of illuminance, temperature and salinity on apparent photosynthesis and dark respiration of receptacles of *S. thunbergii*

趋势, 盐度由 31 降到 28 时, 表观光合速率显著升高( $P<0.05$ ), 增幅达 25.83%。暗呼吸速率随着盐度降低而呈下降趋势,但在盐度 20 时又显著升高。

由图 2 可知, 随着氮磷浓度比的减小, 生殖托表观光合速率呈上升趋势, 在 5 : 1、1 : 1 处具有较高值, 暗呼吸速率呈先上升后下降趋势, 在 5 : 1 处出现峰值。对比氮浓度恒定组与磷浓度恒定组曲线的变化斜率, 可以看出磷浓度的改变对鼠尾藻生殖托的表观光合速率与暗呼吸速率的影响大于氮元素。氮磷比为 50 : 1 的两试验组生殖托表观光合速率与暗呼吸速率差异显著( $P<0.05$ ), 其中氮水平恒定组(N-3 mg/L, P-0.06 mg/L)光合作用较弱。氮磷比 10 : 1 的两试验组中, 磷水平恒定组(P-0.6 mg/L, N-6 mg/L)表观光合速率显著大于氮浓度恒定组(N-3 mg/L, P-0.3 mg/L)组, 两者暗呼吸速率差异不显著( $P>0.05$ )。氮磷比 1 : 1 的两试验组(N-3 mg/L, P-3 mg/L ; P-0.6 mg/L, N-0.6 mg/L), 尽管浓度相差 5 倍, 但生殖托表观光合速率与暗呼吸速率差异不显著( $P>0.05$ )。表明氮磷比例适宜时, 一定幅度的浓度变化对生殖托光合作用与呼吸作用影响不显著。

### 2.3 环境因子对鼠尾藻生殖托色素积累的影响

由图 3 可知, 鼠尾藻生殖托叶绿素 a、叶绿素 c、类胡萝卜素含量均随着光强的增大而下降。光

照度由 8 000 lx 增加到 12 000 lx 时, 叶绿素 a 由 0.379 mg/g 减小到 0.310 mg/g, 减小了 18.21% ( $P<0.05$ )。叶绿素 c 变化不显著( $P>0.05$ ), 类胡萝卜素减小了 16.90% ( $P<0.05$ )。8 000 lx 与 4 000 lx 光照下 3 种色素含量差异不显著( $P>0.05$ )。3 个温度组叶绿素 a 含量差异均显著( $P<0.05$ ), 温度从 25℃降低到 15℃时, 叶绿素 a 含量由 0.348 mg/g 增到 0.528 mg/g, 增大了 51.72%。25℃组与 20℃组叶绿素 c 含量差异不显著( $P>0.05$ )。20℃组与 15℃组类胡萝卜素含量差异不显著( $P>0.05$ ), 而两者显著高于 25℃组( $P<0.05$ )。盐度由 31 降到 28 时, 叶绿素 a 和类胡萝卜素含量显著降低, 分别降低了 16.63%、11.18%。盐度由 28 降到 20 过程中, 叶绿素 a 和类胡萝卜素含量又显著升高, 因此在盐度 28 处色素含量出现了波谷。叶绿素 c 含量随着盐度降低而减小( $P>0.05$ )。

由图 4 可知, 氮水平恒定时, 氮磷比从 50 : 1 到 5 : 1 叶绿素 a、叶绿素 c、类胡萝卜素含量变化不显著( $P>0.05$ ), 从 5 : 1 到 1 : 1 三种色素均有大幅度的上升( $P<0.05$ ), 分别增加了 27.83%、15.57%、21.38%。磷水平恒定时, 50 : 1 组(P-0.6 mg/L, N-30 mg/L)3 种色素含量均较高, 10 : 1 组叶绿素 a 含量比 50 : 1 下降了 18.39% ( $P<0.05$ ), 而 5 : 1 组的叶绿素 a 含量比 10 : 1 又上升了 19.77% ( $P<0.05$ )。随

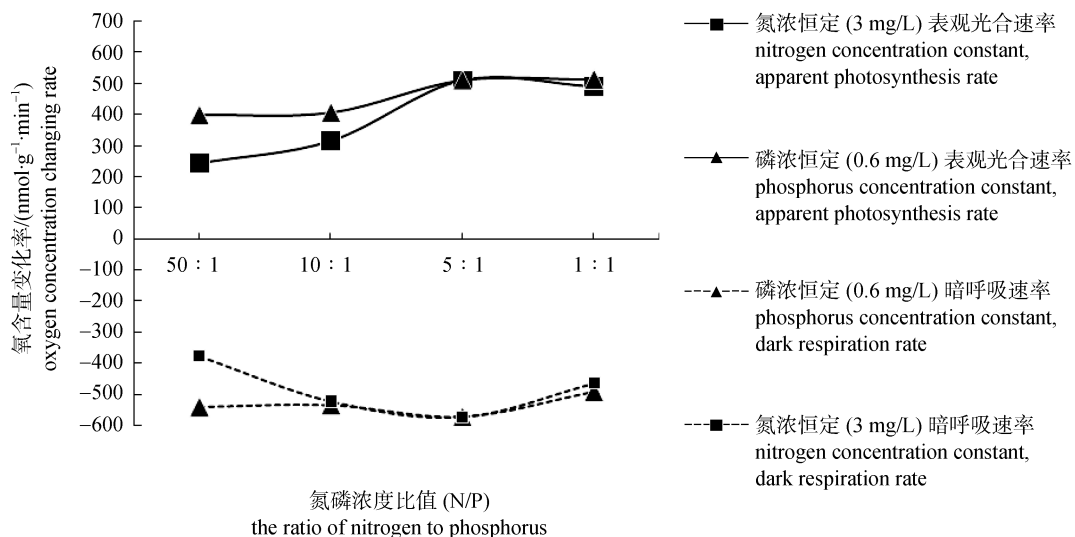


图 2 氮磷浓度比值对鼠尾藻生殖托表观光合速率与暗呼吸速率的影响( $n=6$ )

Fig. 2 Effect of the ratio of nitrogen to phosphorus on apparent photosynthesis and dark respiration of receptacles of *S. thunbergii* ( $n=6$ )

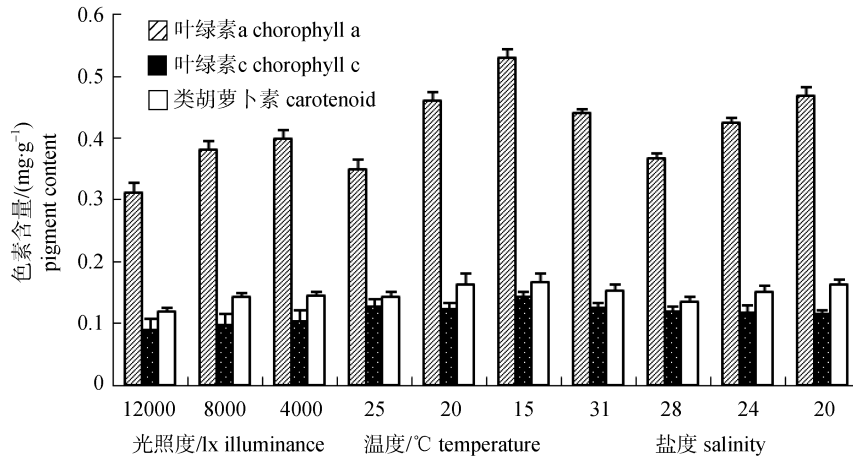


图 3 光照度、温度和盐度对鼠尾藻生殖托色素积累的影响 (n=6)

Fig. 3 Effect of illuminance, temperature and salinity on pigment content of receptacles of *S. thunbergii* (n=6)

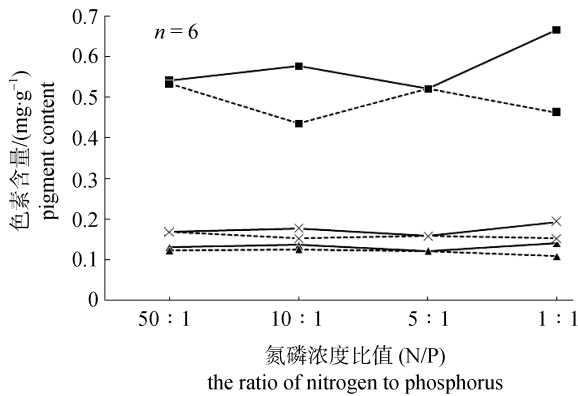


图 4 氮磷浓度比值对鼠尾藻生殖托色素积累的影响

1. 实线代表氮浓度恒定组, 虚线代表磷浓度恒定组; 2. 表示叶绿素 a, 表示叶绿素 c, × 表示类胡萝卜素.

Fig. 4 Effect of the ratio of nitrogen to phosphorus on pigment content of receptacles of *S. thunbergii*

1. Solid lines representing nitrogen concentration constant, dotted line srepresenting phosphorus concentration constant; 2. representing chlorophyll a, representing chlorophyll c, × representing carotenoid.

着氮磷比的减小, 叶绿素 c 和类胡萝卜素含量有降低的趋势, 但变化均不显著(P>0.05)。可见, 氮磷比对鼠尾藻生殖托色素含量的影响没有显著的规律性, 而在一定的浓度范围内, 高浓度的磷或者氮培养液有利于色素积累。

3 讨论

3.1 光照度、温度、盐度对鼠尾藻生殖托生长和光合特性的影响

在鼠尾藻生活史中, 其形态特征和构件有着

很大的变化, 生殖托是鼠尾藻有性繁殖器官, 青岛太平角野生鼠尾藻的生殖托发生在 6 月下旬, 水温达到 17~23.5℃时快速生长发育<sup>[15]</sup>, 7 月中旬进入繁殖期。光照作为能源因子对鼠尾藻生殖托的生长影响较大, 研究发现在光照度 8 000 lx 培养下的鼠尾藻生殖托有较大的生长速率和表观光合速率, 光照度达到 12 000 lx 时, 生殖托的光合速率受到抑制。随着光照度的增加生殖托叶绿素 a、叶绿素 c 与类胡萝卜素含量均显著减少, 这与姜宏波<sup>[24]</sup>研究结果一致。许多研究表明<sup>[25-27]</sup>, 海藻在高光强下叶绿素 a 含量下降, 即出现“失绿”现象, 因此人工养殖的鼠尾藻, 在生殖托发育期间, 晴天中午可以适当提高养殖的深度, 减少强光的损害。

温度 20℃、25℃条件下, 生殖托生长发育很快, 比生长速率相近, 但当温度由 20℃降到 15℃时, 比生长速率也大幅的下降, 说明水温 15℃抑制生殖托的生长。研究表明野生鼠尾藻生殖托的发生与发育主要受温度的调节, 王增福<sup>[28]</sup>观测到青岛汇泉角鼠尾藻生殖托在水温 22℃时开始发育, 24℃生长速率达最大; 而青岛太平角沿岸鼠尾藻生殖托发生温度为 19.1℃, 繁殖高峰为 22℃<sup>[29]</sup>; 烟台芦洋湾生殖托发生温度为 15.5℃, 繁殖高峰为 18~21℃<sup>[30]</sup>; 可见不同海域的鼠尾藻对温度的响应有一定的差异。实验发现, 随着温度的降低, 生殖托的色素积累越多, 这可能是因为在低温条件

下色素的代谢作用缓慢。

盐度组实验表明,低盐度在短期内会促进生殖托的生长,盐度 20 时生殖托有较大比生长速率与表观光合速率。当盐度从 31 降到 28 时,比生长速率与表观光合速率显著增大,而叶绿素 a、类胡萝卜素含量显著的降低,具体机理有待进一步研究。

### 3.2 氮磷比对鼠尾藻生殖托生长和光合特性的影响

氮、磷元素作为构成氨基酸、蛋白质、核酸、维生素等有机物的基础元素,直接关系到植物细胞色素的合成、酶的活性、组织的形成等,从而影响植物的光合作用与生长<sup>[31-32]</sup>。鼠尾藻生殖托的快速发育期,需要大量的营养物质和能量进行组织构建,氮磷营养盐作为大量元素对生殖托的生长发育有着重要的影响。研究发现,氮磷浓度比在 5 1~1 1 时,鼠尾藻生殖托有较高的比生长速率与表观光合速率,这一比值比实验用自然海水氮磷比(经检测为 7.5 1)小,说明生殖托作为繁殖器官在发育期间对磷元素需求较高。值得注意的是,氮磷浓度比为 50 1 的两试验组生殖托的比生长速率和表观光合作用均明显的低于其他组,其中 N-3 mg/L, P-0.06 mg/L 组生长效果较差,我们通过对照(氮质量浓度为 0.45 mg/L、磷质量浓度为 0.06 mg/L)试验,测得其比生长速率为 9.86%,表观光合速率为 486.30 nmol/(g·min),均为较高值,因此我们分析认为磷浓度偏低不是主要原因,而是因为低磷的条件下,较高的氮磷比例抑制了鼠尾藻生殖托对营养元素的吸收,从而影响生长和光合作用。姜宏波等<sup>[33]</sup>研究发现氮磷比例是影响鼠尾藻对氮、磷吸收的重要因子,认为氮磷比(N/P)5 1 时两种元素吸收速率均最高。磷浓度的变化对生殖托的表观光合速率以及暗呼吸速率影响大于氮元素,可能是因为 P 参与合成 ATP 等高能化合物而直接影响磷酸化作用<sup>[32]</sup>。氮磷比对生殖托色素含量影响并不显著,相比而言在富氮或富磷的培养液中培养,生殖托色素更易积累。但是氮浓度过高对鼠尾藻有很强的胁迫作用,本实验中 N-30 mg/L, P-0.6 mg/L 组鼠尾藻

藻体发黑、松软,生殖托易脱落,比生长速率与表观光合作用较低。可能是由于高浓度的铵态氮(质量浓度为 15 mg/L)对机体的毒害作用引起的。

### 参考文献:

- [1] 邹定辉, 夏建荣. 3 种大型海藻的营养盐代谢及其与近岸海域富营养化的关系[J]. 生态学杂志, 2011, 30(3): 589-595.
- [2] 刘青, 李鹏, 关春江, 等. 鼠尾藻围隔生态系统中浮游生物的变化[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(增刊): 88-92.
- [3] 吴海一, 詹冬梅, 刘洪军, 等. 鼠尾藻对重金属锌、镉富集及排放作用的研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(1): 69-74.
- [4] 王仁君, 唐学玺, 冯蕾, 等. 鼠尾藻对赤潮异弯藻和中肋骨条藻的抑制作用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2421-2452.
- [5] 韩晓弟, 李岚萍. 鼠尾藻特征特性与利用[J]. 特种经济动植物, 2005, 8(1): 27.
- [6] 刘朝阳, 孙晓庆, 范仕亮. 当前刺身养殖面临的主要困境及发展策略[J]. 饲料工业, 2006, 27(22): 28-30.
- [7] 魏玉西, 李敬, 赵爱云, 等. 鼠尾藻多糖的制备及其抗凝血活性的初步研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2006, 25(2): 41-44.
- [8] 张尔贤, 俞丽君, 范益华. 鼠尾藻醇提取物的生理活性和若干生化性质研究[J]. 药物生物技术, 1994, 1(1): 30-34.
- [9] 杨方美, 王林, 胡秋辉. 鼠尾藻多糖的制备及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2005, 26(2): 224-227.
- [10] 王志芳, 张全胜, 潘金华. 烟台芦洋湾鼠尾藻种群生物量结构的季节变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 992-998.
- [11] 邵魁双, 巩宁, 王金霞, 等. 鼠尾藻种群生态学研究[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(3): 332-336.
- [12] 宋广军, 王丽梅, 李世国, 等. 大连沿海野生鼠尾藻种群生态调查[J]. 水产科学, 2011, 30(9): 527-532.
- [13] Chu S H, Zhang Q S, Liu S K. Trade-off between vegetative regeneration and sexual reproduction of *Sargassum thunbergii*[J]. Hydrobiologia, 2011, 678:127-135.
- [14] 张泽宇, 李晓丽, 韩余香, 等. 鼠尾藻的繁殖生物学及人工育苗的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(4): 254-259.
- [15] 王飞久, 孙修涛, 李峰. 鼠尾藻的有性繁殖过程和幼苗培育技术研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(5): 1-6.
- [16] Zhao F J, Wang X L, Liu J D. Population genetic structure of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyta) detected by RAPD and ISSR markers[J]. J Appl Phycol, 2007, 19: 409-416.

- [17] 伊新华, 李世国, 何平, 等. 6个野生鼠尾藻种群遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 922-929.
- [18] 刘玮, 李美真, 吴海一, 等. 我国沿海鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)遗传资源 RAPD 分析[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 608-611.
- [19] 梁洲瑞, 王飞久, 孙修涛, 等. 环境因子对鼠尾藻幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(8): 1225-1232.
- [20] 梁洲瑞, 王飞久, 孙修涛, 等. 利用叶绿素荧光技术揭示光照、温度和盐度对鼠尾藻嫩芽的影响[J]. 海洋科学, 2011, 35(12): 21-27.
- [21] 李丽霞, 赵妍, 周斌, 等. UV-B 辐射对大型海藻鼠尾藻抗氧化酶活性及同工酶谱的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(6): 1246-1250.
- [22] 王丽梅, 李世国, 柴雨. 鼠尾藻幼苗的室内培养及有性生殖同步化[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 395-404.
- [23] Jeffrey S W, Humphrey G F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b,  $c_1$  and  $c_2$  in higher plants algae and natural phytoplankton[J]. Biochem Physiol Pflanzen, 1975, 167: 191-194.
- [24] 姜宏波, 田相利, 董双林, 等. 温度和光照度对鼠尾藻生长和生化组成的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 185-189.
- [25] 庄树宏, Hendrik S. 光照强度和波长对底栖藻类种群生长的影响(I)-光合色素的变化[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 1999, 12(2): 108-113.
- [26] 刘静雯, 董双林. 光照和温度对细基江蓠繁枝变型的生长及生化组成影响[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(3): 332-338.
- [27] 林贞贤, 宫相忠, 李大鹏. 光照和营养盐胁迫对龙须菜生长及生化组成的影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 22-26.
- [28] 王增福, 刘建国. 鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)有性生殖过程与育苗[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(5): 453-457.
- [29] 潘金华, 张全胜, 李晓捷, 等. 黄海太平角鼠尾藻有性繁殖分配[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2167-2172.
- [30] 潘金华, 张全胜, 许博. 鼠尾藻有性繁殖和幼孢子体发育的形态学观察[J]. 水产科学, 2007, 26(11): 589-592.
- [31] 拉特涅尔. . . 植物营养与施肥[M]. 北京: 科学出版社, 1956: 9, 14-18.
- [32] Naldi M, Wheeler P A. Changes in nitrogen pools in *Ulva eenestrata* (Chlorophyta) and *Gracilaria pacifica* (Rhodophyta) under nitrate and ammonium enrichment[J]. J Phycol, 1999, 35: 70-77.
- [33] 姜宏波, 田相利, 董双林, 等. 不同营养盐因子对鼠尾藻氮、磷吸收速率的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 37(增刊): 175-180.

## Effect of environmental factors on growth and photosynthetic characteristics of the receptacles of *Sargassum thunbergii*

MA Xingyu<sup>1,2</sup>, LIANG Zhouhui<sup>1</sup>, LIU Fuli<sup>1</sup>, SUN Xiutao<sup>1</sup>, WANG Feijiu<sup>1</sup>, WANG Wenjun<sup>1</sup>, LIU Kun<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries and Life Science, Qingdao 266071, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** We evaluated the effect of illuminance (12 000, 8 000, and 4 000 lx), temperature (15°C, 20°C, and 25°C), salinity (31, 28, 24, and 20), and the ratio of nitrogen to phosphorus (50 : 1, 10 : 1, 5 : 1, and 1 : 1) on growth, apparent photosynthesis, dark respiration, and pigment content of the primary receptacles of *Sargassum thunbergii* collected from the Taipingjiao coast, Qingdao. We tested the influence of these factors in four single-factor experiments. The highest values for specific growth rate and apparent photosynthesis rate were observed in algal plants reared under 8 000 lx, 20°C and salinity 20. Exposure to 12 000 lx significantly inhibited growth and photosynthesis. The specific growth rate at 15°C was 50.64% lower than at 20°C ( $P < 0.05$ ). The specific growth rate and apparent photosynthesis rate increased significantly when salinity decreased from 31 to 28. As illuminance and temperature increased, pigment content decreased. Chlorophyll *a* and carotenoid content were significantly influenced by the environmental factors, whereas levels of Chlorophyll *c* remained stable. The growth and photosynthesis of the primary receptacles was significantly influenced by the ratio of nitrogen to phosphorus. The range of suitable ratios was between 5 : 1 and 1 : 1. A ratio of 50 : 1 resulted in inhibition of growth and photosynthesis. Changes in the concentration of phosphorus affected the photosynthesis of primary receptacles more significantly than did changes in nitrogen. Thus, phosphorus appears to be more important during the growth of reproductive organs in *S. thunbergii* than nitrogen. The ratio of nitrogen to phosphorus had no effect on the pigment content. Culture media that was rich in nitrogen or phosphorus had a beneficial effect on the accumulation of pigment. Our results provide guidance for the optimization of artificial breeding technologies for *S. thunbergii*.

**Key words:** *Sargassum thunbergii*; receptacle; environment factors; specific growth rate; photosynthesis; pigment content

**Corresponding author:** WANG Feijiu. E-mail: wangfj@ysfri.ac.cn