

## 温度、光照和 pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响及光暗周期对其生长速率和生物量的影响

邓光<sup>1,3</sup>, 李夜光<sup>1\*</sup>, 胡鸿钧<sup>1</sup>, 齐雨藻<sup>2</sup>, 耿亚红<sup>1</sup>, 李中奎<sup>1</sup>

(1. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 2. 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632; 3. 北京大学化学学院, 北京 100871)

**摘要:** 用测定净光合放氧速率的方法研究了温度、光照和 pH 对锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)光合作用的影响。在不同光暗周期(L:D)条件下培养锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻,研究了光暗周期对生长繁殖速率和生物量的影响。2种藻对温度的变化敏感,适宜的温度范围是17~25℃,最适温度20~22℃,低于10℃和高于30℃不能生长;锥状斯氏藻的光饱和点是 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,塔玛亚历山大藻的光饱和点是 $650 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,都属于喜高光强的微藻;2种藻对pH值的变化极其敏感,适宜的pH值范围很小,为7.0~9.0,最适pH值7.5~8.0,与其生活的海洋环境一致,pH值高于9.5时,不能进行有效的光合作用,pH值10.0可致全部细胞死亡;在一定范围内,2种藻的生长速率( $\mu$ )和生物量随着光照时间的延长呈比例增加。

**关键词:** 锥状斯氏藻; 塔玛亚历山大藻; 温度; 光照; pH值; 光合作用; 生长速率; 生物量

中图分类号: Q945

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2004)02-0129-07

## Effects of Temperature, Light and pH on Photosynthesis, and of Light-dark Cycle on Growth Rate and Biomass of *Scrippsiella trochoidea* and *Alexandrium tamarense*

DENG Guang<sup>1,3</sup>, LI Ye-Guang<sup>1\*</sup>, HU Hong-Jun<sup>1</sup>, QI Yu-Zao<sup>2</sup>, GENG Ya-Hong<sup>1</sup>, LI Zhong-Kui<sup>1</sup>

(1. Wuhan Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2. Hydrobiology Institute, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 3. Chemistry Department, Beijing University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** The effects of temperature, light intensity and pH on photosynthesis of *Scrippsiella trochoidea* and *Alexandrium tamarense* were investigated. The effects of light-dark cycle on growth rate and biomass were investigated by cultivation of the two algae under different photo phases. These two algae were sensitive to temperature, suitable temperature 17–25℃, and the optimal temperature 20–22℃. They could not grow when the temperature was below 10℃ or above 30℃. The saturation light intensity for *S. trochoidea* and *A. tamarense* were  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and  $650 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively, both of them were adaptable to high light intensity. These two algae were very sensitive to pH, suitable pH 7.0–9.0, and the optimal pH 7.5–8.0, which were accordant to that of the sea water. The photosynthesis of these two algae were not effective when pH was above 9.5, pH10.0 was deadly to them. Growth rate and biomass increased with the extension of photo phase in certain range.

收稿日期: 2003-05-23, 修回日期: 2003-06-16。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(001CB409701), 中国科学院武汉植物园创新工程所长基金资助项目(04035116); 国家自然科学基金重大资助项目(39790110)。

作者简介: 邓光(1972—), 男, 中国科学院武汉植物园在读硕士研究生, 研究方向为藻类生物技术。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: yeguang@rose.whiob.ac.cn)。

**Key words:** *Scrippsiella trochoidea*; *Alexandrium tamarense*; Light intensity; Temperature; pH; Photosynthesis; Growth rate; Biomass

锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)都是广布性的赤潮藻,由其形成的赤潮在世界各地海域多次发生<sup>[1-5]</sup>,随着沿海经济的发展,我国赤潮发生的频率和规模也不断增加<sup>[6-8]</sup>。由于锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻都比较容易培养,前人在实验室内进行了大量的营养生长动力学研究,初步了解了氮(N)、磷(P)及其比例(N:P),以及微量元素(Fe, Mn)对生长繁殖速率及生物量的影响<sup>[9,10]</sup>,为进一步认识这两种藻赤潮发生的机理提供了依据。

锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻都是光合自养生物,除了营养物质的供应外,温度、光照、pH 值是影响其生长繁殖速率的主要因素。江天久等<sup>[11]</sup>用测定生长速率的方法研究了温度、盐度、pH 值对塔玛亚历山大藻生长的影响;颜天等<sup>[12]</sup>用监测活体荧光值的方法研究了温度、盐度、光照强度 3 个因子交互对塔玛亚历山大藻生长的影响;国外科学家们曾调查过塔玛亚历山大藻的分布、形成赤潮的环境条件和毒性的变化<sup>[13,14]</sup>。藻类光合作用速率是其生长繁殖和生物量积累的基础。目前关于温度、光照、pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响还少有报道。我们用测定光合放氧速率的方法研究温度、光照、pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响,旨在了解这两种赤潮生物光合作用的基本特征,为认识赤潮发生与环境条件的关系提供新的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**藻种** 锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)分离于中国南海珠江口水域,由暨南大学水生生物研究所藻种室提供。

### 1.2 方法

**培养条件** 藻种用人工海水配制的 f/2 培养基<sup>[15]</sup>培养,温度为(21±1)℃,光照强度为 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,光暗比为 12 h:12 h,静置培养,每天摇动数次。

**pH 值的测定** 用便携式 pHB-4 型 pH 计测定。

**光照强度的测定** 用 LX-1332 型照度计测定。

**光合放氧速率的测定** 采用中国科学院武汉植

物园藻类实验室组装的溶解氧测定系统测定藻液的净光合放氧速率。系统由具有温度自动补偿功能的 RSS5100 型便携式溶解氧测定仪、带夹层的玻璃反应杯、磁力搅拌器、LKB 2219 multitemp I 恒温循环水浴(控温精度 0.1℃)和 6 组蓝光冷光源组成,光照强度调节范围:0~800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。藻液在磁力搅拌器的作用下持续运动,直接读取每分钟溶解氧的变化值(mg/L),连续读取 10 个数据,取平均值,计算净光合放氧速率(μmol O<sub>2</sub>·mg<sup>-1</sup>chl a·h<sup>-1</sup>)。

**叶绿素含量的测定** 取水样 20 mL(可根据水样中藻类生物量的大小增加或减少水样数量),离心,去上清液,向沉淀中加入 5 mL 90%丙酮,置于冰箱中(4℃)过夜,离心,用分光光度计在波长 630、645、665 下测定丙酮溶液的吸光度(A),按下列公式计算提取藻体中色素含量(mg/L)<sup>[16]</sup>。

$$Ca = 11.6 A_{665} - 1.31 A_{645} - 0.14 A_{630}$$

$$Cb = 20.7 A_{645} - 4.34 A_{665} - 4.42 A_{630}$$

$$Cc = 55.0 A_{630} - 4.64 A_{665} - 16.3 A_{645}$$

$$Ct = Ca + Cb + Cc$$

根据样品浓缩倍数计算水样中色素含量。

**温度对光合放氧速率的影响** 取对数生长期(接种 5 d 后)的藻液,将 pH 值调到 8.6(对数生长期藻液的 pH 值),在光照强度为 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>条件下,测定温度为 9℃、13℃、15℃、17℃、19℃、21℃、25℃、29℃、33℃时每分钟藻液溶解氧浓度的变化,连续读取 10 个数据,取平均值,计算净光合速率,绘制光合放氧速率随温度变化的曲线。

$$\text{净光合速率} (\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{chl a} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{\Delta\text{DO} (\text{mg/L}) \times 1000}{32 \times \text{chl a} (\text{mg/L}) \times t (\text{h})}$$

**光照强度对光合放氧速率的影响** 取对数生长期(接种 5 d 后)的藻液,将 pH 值调到 8.6(对数生长期藻液的 pH 值),在 21℃下,测定光照强度为 50、100、125、200、300、400、600、800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>时每分钟藻液溶解氧浓度的变化,连续读取 10 个数据,取平均值,计算净光合速率,绘制光合速率随光强变化的曲线,计算公式同上。

**pH 对光合放氧速率的影响** 取对数生长期(接种 5 d 后)的藻液,将 pH 值分别调为 6.0、7.0、8.0、9.0、10.0,在黑暗中放置 12 h。放置过程中,

pH 值会有所变化,分别在 4 h、8 h 和测定前用 HCl 和 NaOH 溶液调节藻液 pH 值。在温度为 21℃ 和光照强度为  $200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  条件下,测定不同 pH 值的藻液每分钟藻液溶解氧浓度的变化,连续读取 10 个数据,取平均值,计算净光合速率,绘制光合速率随 pH 值变化的曲线,计算公式同上。

**光暗周期对生长繁殖速率的影响** 取对数生长期(接种 5 d 后)的藻液,接入人工海水配置的 f/2 培养基中,分别在光暗周期为 9:15、10:14、11:13、12:12、13:11、14:10 和连续光照下培养,温度为  $(21\pm 1)^\circ\text{C}$ ,光照强度为  $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,每隔 1 d 取样测藻细胞密度,绘制生长曲线,计算生长速率。

**藻细胞大小的测定和体积的计算** 用显微镜目镜测微尺测量细胞的大小,每次随机选取 20 个藻细胞测量,取平均值。计算藻体体积时,将锥状斯氏藻细胞当作一个圆锥和一个半球的组合,将塔玛亚历山大藻细胞当作圆球形来处理。

**生物量的测算** 根据藻细胞的数量和大小计算生物量(鲜重),鲜藻比重按  $1\ \text{g/mL}$  计算。

**生长速率( $\mu$ )的计算** 取一定体积的藻液,用 Lugous 液固定,在显微镜下用血球计数板计数,每一样品重复计数 4 次,取平均值,然后计算平均生长速率。

$$\mu = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{T_2 - T_1}$$

其中, $N_2$  是时间  $T_2$  时的细胞密度, $N_1$  是时间  $T_1$  时的细胞密度。

2 结果和分析

2.1 温度对光合放氧速率的影响

锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用对温度的变化都很敏感,净光合放氧速率随温度的变化曲线基本相同(见图 1 和图 2)。在  $10\sim 17^\circ\text{C}$  范围内,光合放氧速率随温度的升高而直线上升;在  $17\sim 25^\circ\text{C}$  范围内,温度对光合放氧速率的影响不大,最大光合放氧出现在  $20\sim 22^\circ\text{C}$  之间;当温度超过  $25^\circ\text{C}$ ,光合放氧速率随温度的升高而直线下降,温度达到  $32^\circ\text{C}$ ,呼吸作用大于光合作用。锥状斯氏藻在  $33^\circ\text{C}$  时净光合放氧速率为  $-53.3\ \mu\text{mol}\ \text{O}_2\cdot\text{mg}^{-1}\text{chl}\ \text{a}\cdot\text{h}^{-1}$ ,塔玛亚历山大藻  $34^\circ\text{C}$  时的净光合放氧速率为  $-162.8\ \mu\text{mol}\ \text{O}_2\cdot\text{mg}^{-1}\text{chl}\ \text{a}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

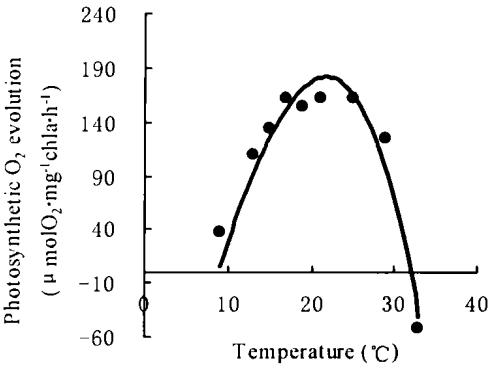


图 1 温度对锥状斯氏藻光合放氧速率的影响  
Fig. 1 Photosynthesis-tempearture response curve of *Scrippsiella trochoidea*

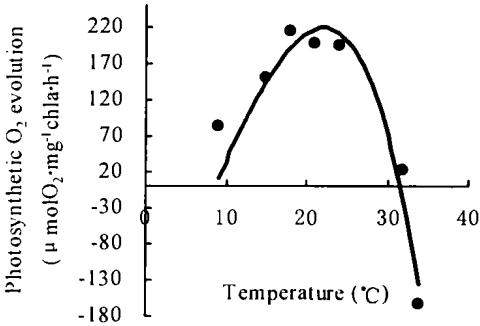


图 2 温度对塔玛亚历山大藻光合放氧速率的影响  
Fig. 2 Photosynthesis-tempearture response curve of *Alexandrium tamarense*

2.2 光照强度对光合放氧速率的影响

锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻净光合放氧速率随光照强度变化的曲线见图 3 和图 4。对于锥状斯氏藻在光照强度低于  $250\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  的范围内,光合速率随光强的增大而直线上升,光照强度超过

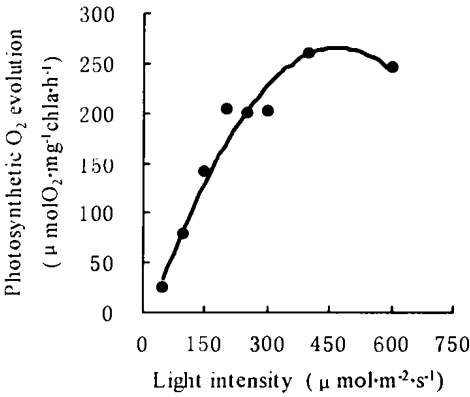


图 3 光强对锥状斯氏藻光合放氧速率的影响  
Fig. 3 Photosynthesis-light response curve of *Scrippsiella trochoidea*

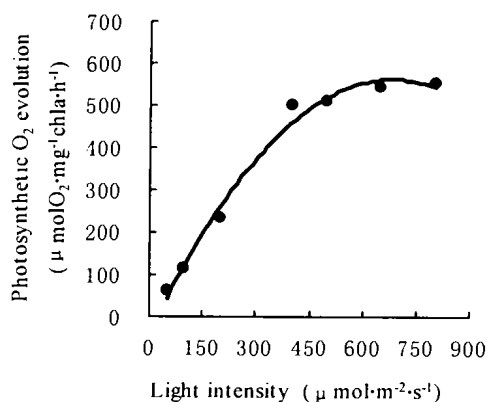


图 4 光强对塔玛亚历山大藻光合放氧速率的影响

Fig. 4 Photosynthesis-light response curve of *Alexandrium tamarense*

250  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后, 光合速率随光强的增大而上升, 但上升的幅度越来越小, 光强超过 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 光合速率不再随光强的增大而上升, 达到了饱和。塔玛亚历山大藻光合放氧速率随光照强度变化的趋势与锥状斯氏藻相似, 但光饱和点和达到的最大光合放氧速率均比锥状斯氏藻高。塔玛亚历山大藻的光饱和点是 650  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 比锥状斯氏藻 (250  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 高, 对应的最大光合放氧速率为 542  $\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{chl a} \cdot \text{h}^{-1}$ , 比锥状斯氏藻高一倍。

### 2.3 pH 值对光合放氧速率的影响

锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻净光合放氧速率随 pH 值的变化而变化, 曲线很相似 (图 5 和图 6)。这 2 种藻对 pH 值的变化都很敏感, pH 值微小的变化就会对光合作用产生显著的影响。它们适宜的 pH 值范围很小, 为 pH 6.5~9.0, 超出这个范围, 就不利于细胞的光合作用。锥状斯氏藻的最适 pH 值是 7.5, 塔玛亚历山大藻的最适 pH 值是 8.0。当 pH 值超过 9.5, 呼吸作用大于光合作用, 净光合作用为负值, 锥状斯氏藻在 pH 10.0 时的净光合放氧速率为  $-137 \mu\text{mol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{chl a} \cdot \text{h}^{-1}$ , 塔玛亚历山大藻 pH 10.0 时的净光合放氧速率为  $-105 \mu\text{mol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{chl a} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

研究和观察表明, 维持藻液的 pH 值在 10.0 左右 12 h 时, 锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的细胞均解体。在培养锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的过程中观察到, 旺盛生长的锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的 pH 值不超过 9.5。藻类光合作用使环境 pH 值升高, pH 值升高对光合作用产生抑制作用, 阻止 pH 值进一步升高, 这种负反馈调控对于藻细胞非

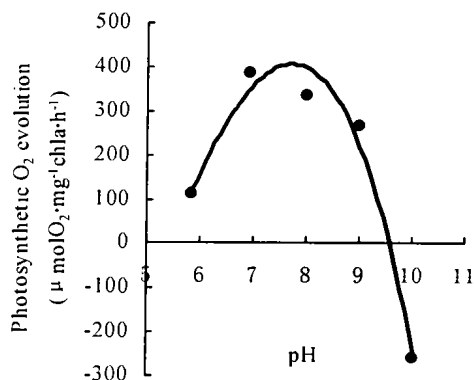


图 5 pH 值对锥状斯氏藻光合放氧速率的影响

Fig. 5 Photosynthesis-pH response curve of *Scrippsiella trochoidea*

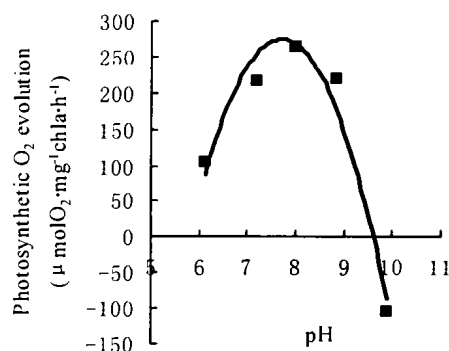


图 6 pH 值对塔玛亚历山大藻光合放氧速率的影响

Fig. 6 Photosynthesis-pH response curve of *Alexandrium tamarense*

常重要, 避免了藻液的 pH 值太高而将细胞全部杀死。

### 2.4 锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻单个细胞的体积

测得锥状斯氏藻细胞圆锥的高度是  $12.75 \pm 1.35 \mu\text{m}$ , 半球的直径是  $17.25 \pm 1.35 \mu\text{m}$ , 计算出细胞的体积是  $2378.305 \pm 557.177 \mu\text{m}^3$ 。测得塔玛亚历山大藻细胞的直径是  $37 \pm 1 \mu\text{m}$ , 计算出细胞的体积是  $26565.71 \pm 2063.90 \mu\text{m}^3$ 。显微镜观察和测量结果表明, 在本实验的各种培养条件下, 锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻细胞的平均大小没有明显变化。

### 2.5 光暗周期对生长繁殖速率和生物量的影响

光暗周期对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的生长繁殖速率及生物量有显著的影响。不同光暗周期 (L:D) 的锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的生长曲线见图 7 和图 8。光暗周期对生物量和生长繁殖速率的影响见图 9 和图 10。比较不同光暗周期锥状斯氏藻、塔玛亚历山大藻的生长繁殖速率及生物量, 除了光照时间为 9 h 的锥状斯氏藻生物量偏低外, 在光照时间为 9~14 h 范围内, 2 种藻生物量的累积

与光照时间基本成比例。连续光照条件下，锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻生物量的累积虽然进一步增加，但并没有随光照时间的延长呈比例增加。

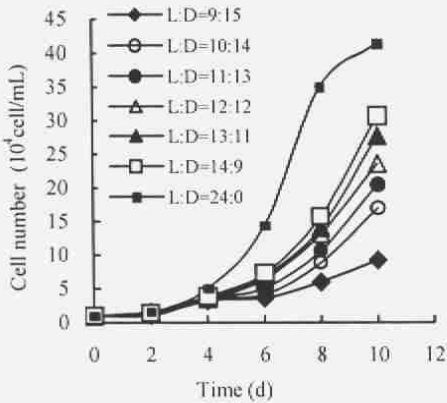


图 7 锥状斯氏藻在不同光暗周期下的生长  
Fig. 7 Growth curves of *Scrippsiella trochoidea* under different L:D

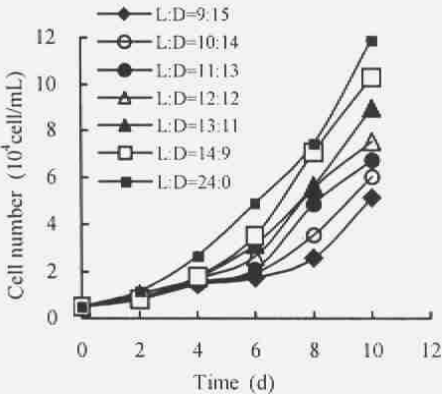


图 8 塔玛亚历山大藻在不同光暗周期下的生长  
Fig. 8 Growth curves of *Alexandrium tamarensis* under different L:D

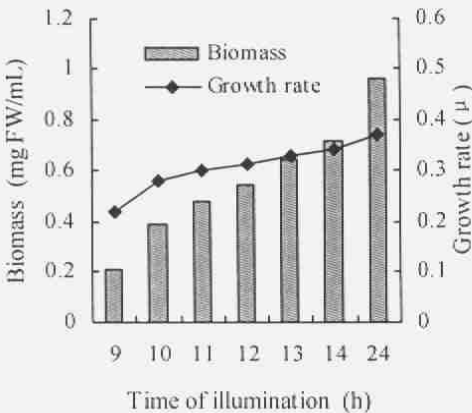


图 9 光暗周期对锥状斯氏藻生物量和生长速率的影响  
Fig. 9 Effect of light time on growth rate and biomass of *Scrippsiella trochoidea*

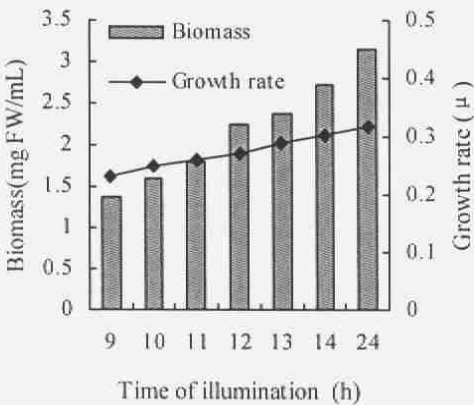


图 10 光暗周期对塔玛亚历山大藻生物量和生长速率的影响  
Fig. 10 Effect of light time on growth rate and biomass of *Alexandrium tamarensis*

3 讨论

光合作用特性是微藻最基本、最重要的生理生态特征，温度、光照强度和 pH 值是最重要的环境因子。研究温度、光照强度和 pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响，可以了解它们在自然水体中生长繁殖和生物量累积的规律、认识赤潮发生的机理提供最基本的信息。

锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的光合作用对温度的变化很敏感。温度在 17~25℃ 范围内，光合作用最强；温度低于 17℃ 和高于 25℃ 时，光合作用随着温度的降低或升高都呈直线下降；当温度低于 10℃ 和高于 30℃ 时，光合作用受到强烈的抑制。所以，当其它条件适合时，水温在 17~25℃ 范围内，极有利于这 2 种赤潮甲藻的快速生长繁殖和生物量的累积，最易形成赤潮；水温低于 17℃，高于 25℃，锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的光合速率降低，生物量积累减慢，形成赤潮的可能性减小；水温低于 10℃，高于 30℃，即使其它条件适合，锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用受阻，细胞不能生长繁殖，不可能形成赤潮。已报道的锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻形成的赤潮，多发生在温带及亚热带地区，气温高、光照充足，水温在 20~25℃，正适合赤潮藻的快速生长繁殖<sup>[17]</sup>。

天然海水的 pH 值比较稳定，一般在 8.0 左右，长期生活于海洋中的锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻在 pH 值适应性方面与环境高度一致，表现在 2 个方面：①最适 pH 值 7.5~8.0，适宜的 pH 值范围很小，仅为 7.0~9.0；②光合作用对 pH 值的变化极为敏感，pH 值超出适宜的范围，光合速率大幅度下

降。由于海水的 pH 值比较稳定,基本维持在锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻适宜的 pH 值范围内,所以 pH 值一般不会成为生长繁殖的限制因子。

锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻的光饱和点分别为  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $650 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,都属于喜高光强的微藻。充足的光照有利于它们快速生长繁殖,累积生物量。可以推论,长期晴朗的天气,是引发这 2 种甲藻赤潮的有利条件,日照强烈,更有利于塔玛亚历山大藻大量繁殖,形成赤潮。与此相反,长期阴雨的天气,则不利于这 2 种甲藻形成赤潮。颜天等<sup>[12]</sup>的实验结果表明,在较高温度、强光照时易形成赤潮。

江天久等<sup>[11]</sup>报道,在实验室内培养塔玛亚历山大藻,  $20^\circ\text{C}$  生长最快,其次是  $15^\circ\text{C}$  和  $25^\circ\text{C}$ , 温度达到  $30^\circ\text{C}$  时,培养 10 d,藻细胞全部死亡; pH 6 和 pH 7 的生长速率基本相同, pH 8 的生长速率次之, pH 9 和 pH 10 时,藻细胞不能生长,分别在培养的第 10 d 和第 8 d 全部死亡,除了最适 pH 值稍低外,本实验结果与之基本相同。颜天等<sup>[12]</sup>报道,在实验室内培养塔玛亚历山大藻,  $19^\circ\text{C}$  生长最适,光饱和强度为  $1.6 \times 10^{16} \text{ S}^{-1}/\text{cm}^2$  ( $270 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),其温度比江天久等<sup>[11]</sup>报道的和本实验结果稍低,生长的光饱和强度低于我们测得的光合作用的光饱和点。2 种方法测得光饱和强度差异较大,原因可能有多种,我们分析,颜天等<sup>[12]</sup>所采用测活体荧光计算生长率的方法可能使测得的光饱和强度偏低。根据 Qin X M (秦晓明)等报道,随着细胞密度的增大,塔玛亚历山大藻每个细胞的 chl a 含量下降<sup>[18]</sup>。所以基于 chl a 总量的活体荧光法与细胞记数法相比是有差异的,随着细胞密度增大,前者与后者相比,净光合速率会越来越小,从而导致计算的光饱和强度比实际值低。

测定温度、光照强度和 pH 值对光合放氧速率的影响,与测定生长速率的方法相比,具有时间短,工作量小,灵敏度高的优点,可以快速、准确地测定藻类适应环境条件的特性。这一方法在作者的实验室已经被广泛地用于螺旋藻、红球藻、小球藻等藻种的筛选和培养条件优化研究。本实验尝试用测定光合放氧速率的方法研究温度、光照强度及 pH 值对赤潮生物影响的规律,用光合放氧速率法和生长速率法测得的塔玛亚历山大藻的最适温度和最适 pH 值很接近,说明温度和 pH 值对光合放氧速率的影响能够较准确地反映对生长速率的影响,光照强度对光合放氧速率的影响能否较准确地反映对生长速率的影响,还有待进一步研究。

作者发现在一定的光暗周期范围内,2 种藻生物量的累积与光照时间基本成正比。连续光照条件下,锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻生物量的累积虽然进一步增加,但并没有随光照时间的延长呈比例增加。目前还未见这两种藻生长速率与光照时间关系的报道,关于它们对光暗周期有无严格要求,还需要进一步研究。

引发赤潮,需要多方面的条件同时具备<sup>[19]</sup>。了解温度、光照强度和 pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响,为研究这两种藻大量繁殖与环境条件的关系提供了有用的信息,但是,对于阐明赤潮发生的机理,还远远不够,需要结合营养生长动力学、生物之间的相互作用(主要包括微生物和浮游动物对微藻的作用)、海洋环境变化、气候变化及海风海流的作用等多学科的研究,才能认识赤潮发生的机理。

#### 参考文献:

- [1] 秦晓明,邹景忠. N, P, Fe-EDTA, Mn 对赤潮生物锥状斯氏藻增殖影响的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(6): 594 - 598.
- [2] 刘令梅. 赤潮的监测技术和防治措施[J]. 海洋技术, 1998, 17(3): 58 - 64.
- [3] 肖咏之,齐雨藻,王朝晖,吕颂辉. 大亚湾海域锥状斯氏藻赤潮及其与孢囊的关系[J]. 海洋科学, 2001, 25(9): 50 - 54.
- [4] 陈月琴,邱小忠,屈良鸽. 南海有毒塔玛亚历山大藻的分子地理标记分析[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(1): 45 - 51.
- [5] 林元烧. 有毒甲藻-塔玛亚历山大藻在厦门地区虾塘引起赤潮[J]. 台湾海峡, 1996, 15(1): 16 - 18.
- [6] 邹景忠. 赤潮生物与赤潮灾害研究[A]. 见:曾呈奎编. 中国海洋科学研究及开发[M]. 青岛:青岛出版社, 1992. 248 - 287.
- [7] Tseng C K, Zhou M, Zou J. Toxic phytoplankton studies in China[A]. In: Smayda T J, Shimizu Y eds. Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea[C]. Amsterdam: Elsevier, 1993. 651 - 656.
- [8] 苏纪兰. 中国的赤潮研究[J]. 中国科学院院刊, 2001, 16(5): 339 - 342.
- [9] 齐雨藻. 大鹏湾几种赤潮甲藻的分类学研究[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 132 - 138.
- [10] 邹景忠. 渤海富营养化和赤潮生物生态研究[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41 - 45.
- [11] 江天久,黄伟建,王朝晖,纪桑. 几种环境因子对塔玛亚历山大藻(大鹏湾株)生长及其藻毒力影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(2): 151 - 154.