

# 大亚湾浮游植物光合作用特征\*

王小冬<sup>1</sup> 江涛<sup>1</sup> 岑竞仪<sup>1</sup> 欧林坚<sup>1</sup> 王晓<sup>2</sup>  
黄邦钦<sup>3</sup> 吕颂辉<sup>1</sup>

(1. 暨南大学赤潮与水环境研究中心 广州 510632; 2. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061;  
3. 厦门大学环境与生态学院 厦门 361005)

**提要** 利用 Phyto-PAM 测量大亚湾浮游植物的光合作用能力、非化学淬灭并建立快速光曲线, 同时研究浮游植物群落结构、组成、丰度和相应的环境因素, 分析光合作用特征与浮游植物生长和分布的耦合关系。本次调查期间大亚湾浮游植物以集群化硅藻为优势物种, 各站位最大光量子收益达到 0.72。大亚湾浮游植物适应高光强, 当光照达到  $1000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  时电子传递速率逐渐达到饱和; 光照达到  $1500\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  浮游植物依然可进行光合作用, 叶黄素循环保护光合器官使其免受高光强损伤; 当光照达到  $1700\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  时, 光合器官可能受到损伤, 此时电子传递速率下降, 实际光量子收益接近于 0。集群化硅藻能够耐受较广的光照范围及其活跃的光合特征有利于它们在全球海区的广泛分布。

**关键词** 浮游植物, 光合作用, 光量子收益, 快速光曲线

**中图分类号** P735

浮游植物是海洋中最重要的初级生产者, 其贡献的初级生产力可达全球总初级生产力的 45%—50% (Field *et al*, 1998)。浮游植物通过光合作用为其它海洋生物提供物质和能量, 是支撑海洋食物链正常运转的关键和基础。浮游植物叶绿体吸收的光或进行光合作用, 或以荧光和热的形式散发出去 (Papageorgiou *et al*, 2007; Cosgrove *et al*, 2011)。叶绿素荧光的变化是浮游植物光合作用能力和效率的体现, 反映了环境因素对光合反应中心活性和电子传递效率的影响 (Kromkamp *et al*, 2003)。由于叶绿素荧光测定快速敏锐, 以测量荧光为基础并进而量化光合作用各系数的技术已成为近 20 年来海洋学研究的重要进展。

分布在不同海区的浮游植物具有不同的光合作用特征, 且受到营养盐、温度以及光照等环境因子的影响 (Suggett *et al*, 2009)。南极海区的硅藻和棕囊藻在低光照和低温下依然可保持较高的光合活性 (Pankowski *et al*, 2009; Wang *et al*, 2010), 较高的光

强可能产生光抑制甚至损伤它们的光合器官 (Arrigo *et al*, 2010)。热带海区的浮游植物则必须在高光强下才能达到最高的电子传递效率, 低光照导致其光合效率低下。在高营养盐低叶绿素海区, 铁限制显著降低了硅藻的光合效率, 营养盐加富后, 硅藻的  $F_v/F_m$  立即恢复到较高值 (Suggett *et al*, 2009)。尽管存在争议,  $F_v/F_m$  经常作为衡量营养盐胁迫对浮游植物光合作用影响的生理指标 (Kruskopf *et al*, 2005)。而快速光曲线 (RLCs) 则体现了浮游植物光合作用活性及电子传递速率的特点, 同时反映了光合器官对瞬时及长期生活光照的响应, 例如光适应、光抑制以及光保护等生理现象 (McMinn *et al*, 2004; Ralph *et al*, 2005)。

浮游植物对于光需求的差异以及各海区光照水平的不同决定了浮游植物群落结构和它们占据的生态位 (Six *et al*, 2007; Finkel *et al*, 2009), 通过阐明光合作用特征能够解释浮游植物分布特征和群落结构特点。南海具有浮游植物生物量高、多样性丰富以及藻华发生规模宏大等特点, 但是目前研究多关注于

\* 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403603 号; 国家自然科学基金项目, 41106117 号。王小冬, 博士, 助理研究员, E-mail: pouchetii@gmail.com

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

浮游植物的结构组成、群落特征、藻华生消影响因素及相应的生态效应(陈菊芳等, 2006), 而浮游植物光合作用及其影响因素相关研究则较少。鉴于浮游植物光合作用在海洋生态系统中的重要作用, 本研究以南海典型海湾——大亚湾为对象, 研究秋季大亚湾浮游植物的结构、组成和分布以及光合作用特征, 以阐明浮游植物分布特点同光合作用的耦合关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样

调查时间为 2011 年 9 月, 调查区域位于大亚湾近岸, 共布设 6 个站位(图 1)。使用 YSI6600(YSI Inc, USA)测量水体温度、盐度和叶绿素, 便携式照度计(Li-Cor, Lincoln, USA)测量表层光强。使用 Niskin 采水器(General Oceanics, USA)采集表层水, 分别注入 3 个 50ml 的塑料离心管(BD Biosciences, US)中, 立即用 3 层铝箔包裹, 置于保温盒中, 加入现场海水保持温度。50ml 水样加入浓度为 4% 的 Logul's 试剂固定用于浮游植物种类鉴定和计数。

### 1.2 光合作用的测定

光合系统各系数测定和快速光曲线的建立均由 Phyto-PAM(Walz, Effeltrich, Germany)完成。Phyto-PAM 装备高强度 LED 灯管提供激发光脉冲, 随机配置 PhytoWin 操作系统用于光合作用系数测定和曲线拟合。

以  $0\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  为基准, 每隔 20s 将激发光提高 100

$\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  直至其强度达到  $2000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 测定不同光强下实际光量子收益 ( $\Phi_{\text{PSII}}$ ) 并且建立快速光曲线 (RLCs), 获取光捕获效率 ( $\alpha$ )、最大电子传递速率 ( $rETR_{\text{max}}$ ) 和饱和光强 ( $E_k$ )。非光化学淬灭 (NPQ) 通过公式:  $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$  计算, 其中  $F_m'$  是浮游植物在稳定态时的荧光值。将浮游植物活体样品黑暗处理 5—10min 后立即测定最小荧光值  $F_0$  以及最高荧光值  $F_m$ , 继而通过公式:  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$  计算光合作用中心 II 最大光化学收益。每站位样品测定 3 次。

### 1.3 物种鉴定和环境因子测定

固定样品于 Kolkwitz 计数框内 (Hydro-Bios, German) 沉降 1h 后于 Nikon-100 倒置显微镜下计数分类。叶绿素样品在 90% 丙酮提取 24h 后, 利用 TD-700 荧光计测定叶绿素 *a* 含量。营养盐含量通过 SAN<sup>++</sup> 自动化学分析仪 (Skalar Analytica, The Netherlands) 测定(表 1)。

### 1.4 统计和分析

采用 SigmaPlot 10.0 (Systat Software, Inc, USA) 进行数据统计, 站位间  $F_v/F_m$ 、 $\alpha$ 、 $E_k$  以及  $ETR_{\text{max}}$  的差异以及  $\Phi_{\text{PSII}}$ 、NPQ 和  $rETR$  随光照强度 (PAR) 的变化均采取 one way ANOVA 分析, 显著性水平设为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 浮游植物分布和生物量

9 月大亚湾浮游植物以集群化硅藻为优势物种, 甲藻极少见(图 2)。ST2 和 ST3 站浮游植物丰度较低, 而 ST4—ST6 较高, 其细胞数量可达到 1000cells/ml 左右, 同叶绿素含量趋势相同(表 1)。角毛藻 (*Chaetoceros* sp.) 为 ST4—ST6 站位的优势种, 其细胞数量达到总细胞数量的 50%; 中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 和菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*) 的丰度也较高。ST1 站位的中肋骨条藻、菱形海线藻和菱形藻 (*Rhizosolenia* sp.) 丰度则接近于角毛藻。

表 1 大亚湾调查站位温盐、光照、营养盐和叶绿素 *a* 变化  
Tab.1 Dynamic changes in water temperature, salinity, irradiance, nutrients and chlorophyll *a*

站位	采样时间(h : min)	温度(°C)	盐度	光照 [ $\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]	无机氮( $\mu\text{mol/L}$ )	总磷( $\mu\text{mol/L}$ )	叶绿素 <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )
ST1	8:34	26.3	32.1	76.57	30.5	12.53	3.88±0.4
ST2	10:23	27.5	33.2	68.02	48.76	9.26	1.45±0.1
ST3	11:57	26	33.5	619.4	30.72	7.99	1.67±0.1
ST4	13:35	26.4	33.1	404.7	22.44	10.19	5.44±1.0
ST5	14:20	26.2	32.9	237.5	17.02	8.75	5.43±0.1
ST6	15:01	26.4	32.9	268.47	16.87	6.62	5.88±0.6

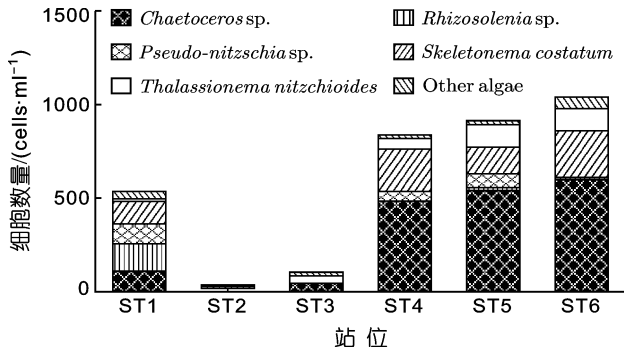


图 2 浮游植物群落结构、组成和细胞数量

Fig.2 Phytoplankton community structure, composition, and abundance

2.2 最大光量子收益( $F_v/F_m$ )

各站位浮游植物的  $F_v/F_m$  均保持较高的值, 范围在 0.45—0.72 之间(图 3)。ST1 站位  $F_v/F_m$  最高( $P < 0.005$ ), 而其它各站位  $F_v/F_m$  并无显著性差异( $P > 0.05$ )。

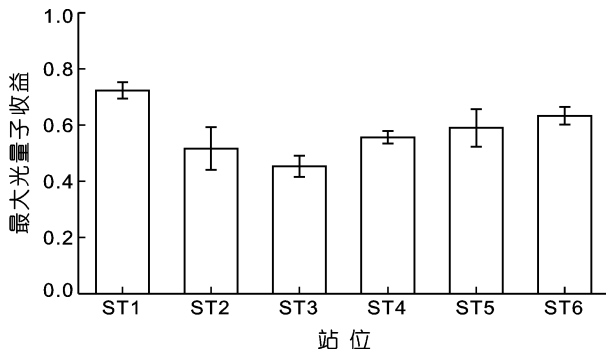


图 3 浮游植物最大光量子收益

Fig.3 The maximum quantum yield of phytoplankton

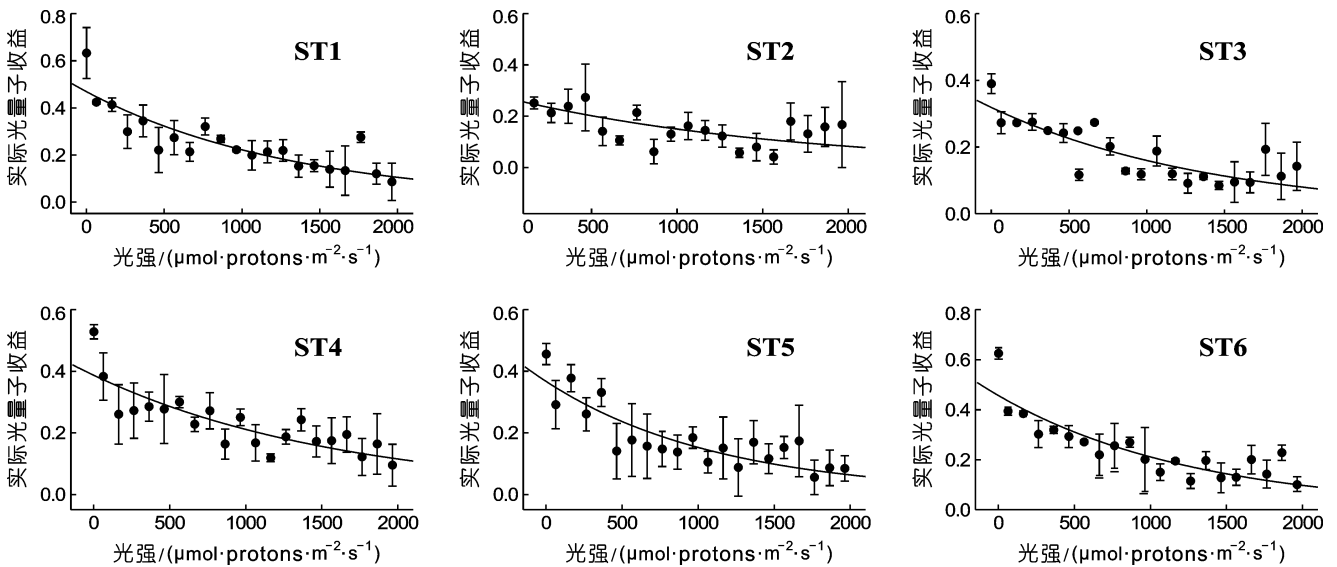


图 4 浮游植物实际光量子收益的变化

Fig.4 The variations in the effective quantum yield of phytoplankton

2.3 实际光化学收益( $\Phi_{PSII}$ )

各站位浮游植物  $\Phi_{PSII}$  随光强提高显著降低( $P < 0.05$ ), 当光强达到  $2000 \mu E / (m^2 \cdot s)$  时,  $\Phi_{PSII}$  接近 0(图 4), 光合作用进程基本停滞。此时大部分电子积累在 PSII 中心的电子受体一侧而无法持续传递, 保证了光合器官免受高光照的损伤。

2.4 非光化学淬灭( $NPQ$ )

除 ST2 站位, 各站位浮游植物  $NPQ$  值随光强的提高而增强( $P < 0.05$ )。但是当光强超过  $1700 \mu E / (m^2 \cdot s)$  左右时,  $NPQ$  开始下降(图 5)。

2.5 快速光曲线(RLCs)

各站位快速光曲线形状类似, 低光照下, 电子传递速率( $rETR$ )迅速提高, 继而缓慢增加直至达到最大值( $rETR_{max}$ ), 当光强超过  $1500 \mu E / (m^2 \cdot s)$  时, 电子传递速率开始下降(图 6)。

RLC 曲线的最初斜率为浮游植物光捕获效率( $\alpha$ ), 其中, ST2 站位最低( $P < 0.05$ ), 而其它各站位  $\alpha$  值并未有显著差异(表 2)。同样, ST2 站位浮游植物最大光传递速度( $rETR_{max}$ )也显著低于其它站位( $P < 0.001$ )。但是各站位饱和光强( $E_k$ )之间并没有显著性差异, 浮游植物均在光强达到  $1000 \mu E / (m^2 \cdot s)$  附近达到最高光传递速率。

3 讨论

3.1 大亚湾浮游植物光合特征

各站位浮游植物最大光量子收益( $F_v/F_m$ )范围在 0.5—0.7 之间, 说明浮游植物细胞生长良好, 并未受

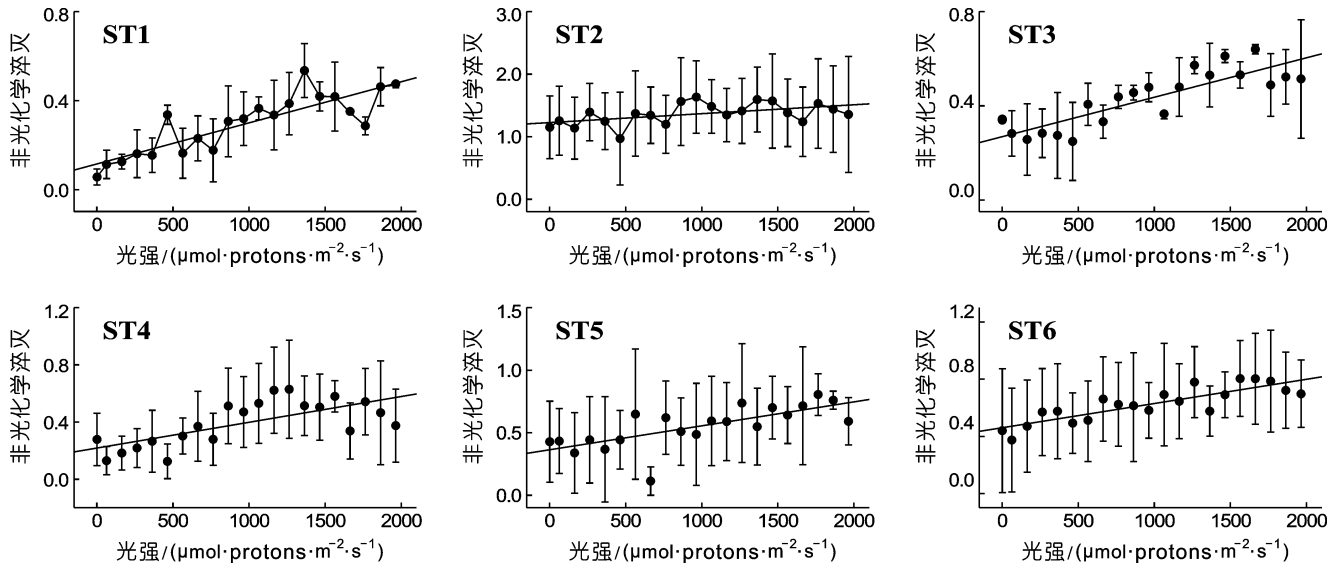


图 5 浮游植物非光化学淬灭的变化

Fig.5 The variations in the non-photochemical quenching of phytoplankton

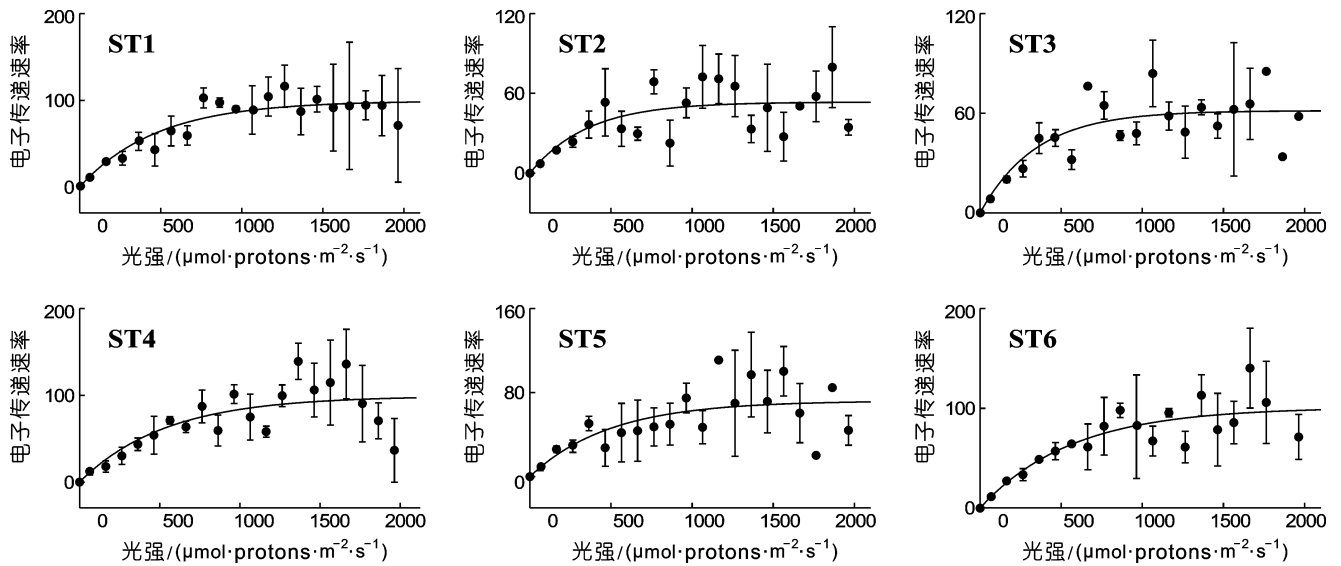


图 6 浮游植物快速光曲线的变化

Fig.6 The variations in the rapid light curves of phytoplankton

表 2 浮游植物快速光曲线系数

Tab.2 The photosynthetic parameters obtained from RLCs

站点	初始斜率( )	最大电子传递速率( $rETR_{max}$ , rel. unit)	饱和光强 [ $E_k$ , $\mu E/(m^2 \cdot s)$ ]
ST1	0.14±0.007	104.70±15.90	1193.75±152.70
ST2	0.11±0.009	50.43±1.70	980.13±386.60
ST3	0.12±0.010	60.48±7.47	1204.20±156.80
ST4	0.14±0.020	105.92±14.65	1444.94±56.80
ST5	0.16±0.020	71.48±0.00	1441.33±0.00
ST6	0.16±0.004	98.76±9.98	1576.94±69.22

到营养盐和其它因素的限制(Kruskopf *et al*, 2005)。当光照在  $1000\mu E/(m^2 \cdot s)$  之下, 光曲线逐渐饱和, 说明光合作用活跃, 电子传递速率很高。当光照达  $1500\mu E/(m^2 \cdot s)$

附近, 浮游植物依然可以进行活跃的光合作用。当光照继续提高到  $1700\mu E/(m^2 \cdot s)$  时, RLCs 曲线开始下降, 实际光子量子收益接近于 0, 即下调效应(photosynthesis

down regulation)发生, 光合器官可能受到损伤, 从而导致光曲线的衰减。大亚湾海区的浮游植物可以耐受光强达到  $1500\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  的环境条件, 有利于其生活在海水表层。

快速光曲线的初始斜率( $\alpha$ )代表了光限制条件下植物的光合效率(Dubinsky *et al.*, 2009), 生存在高光强下的浮游植物一般具有较低的 $\alpha$ 值, 而底栖藻类或者极地海区的浮游植物可能具有较高的 $\alpha$ 值(Ralph *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2008)。本次研究中的 $\alpha$ 值均低于0.2, 远远低于其它浮游植物(0.5左右)。低光照下浮游植物光合效率提高缓慢, 因此导致回归线斜率较低, 说明大亚湾浮游植物只有在高光强下才能达到较高的光合效率。

达到最高电子传递速率的饱和光强( $E_k$ )为  $1500\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右, 浮游植物只有在高于上述光强条件下才能达到饱和电子传递速率。在此光强之下, 吸收的能量大多进行光合作用; 高于此光强, 则以热的形式散发出去(Cosgrove *et al.*, 2011), 这也解释了RLCs曲线在光强达到  $1700\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 后的下降。浮游植物的饱和光强反映了它们长期生存环境的光照特点, 例如: 北极海区的冰藻长时期生活在海冰中, 必须忍受长时间的低光照甚至黑暗, 它们的 $E_k$ 值仅为  $15\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ (McMinn *et al.*, 2004), 微弱的光照即可使它们的光传递速率达到饱和。而大亚湾浮游植物长期生活在高光强中, 其 $E_k$ 值较高意味着它们在高光强下达到较高的电子传递速率, 有利于细胞更加有效的利用光化学能。

### 3.2 浮游植物的光保护能力

非光化学淬灭(Non-photochemical quenching, NPQ)指非光化学反应(例如热散失)引起的荧光减少, NPQ 可以作为浮游植物光适应和光保护的指标(Dubinsky *et al.*, 2009)。生活在高光强的浮游植物一般具有活跃的光保护机制, 例如叶黄素循环(Dubinsky *et al.*, 2009)。NPQ反映了植物细胞叶黄素循环的活性, 高光强下将多余能量以热能散发出去, 使得光合系统免受高光强的损伤(Cruz *et al.*, 2008)。NPQ的变化同样说明了大亚湾浮游植物适应高光强。各站位浮游植物的NPQ值随光照显著提高, 说明高光强刺激并增强了浮游植物的叶黄素循环, 有效避免了高光强的损伤。当光照达到  $1700\text{—}2000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时, 可能造成光合器官的损伤, 因此导致RLCs和NPQ的同时下降。

### 3.3 光合作用特征和浮游植物分布

光合作用特征决定了浮游植物的分布和生活环境(Six *et al.*, 2007; Arrigo *et al.*, 2010)。南极海区冰藻、

底栖硅藻和水体表层硅藻的饱和光强分布为 60、50 和  $137\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 表层硅藻的  $rETR_{\text{max}}$  显著高于底栖硅藻和冰藻(Ihnken *et al.*, 2011), 清晰地表明了生活水体同光合活性间的耦合。但是澳大利亚塔斯马尼亚岛邻近海域的硅藻能够适应高达  $1200\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  的光照, 光限制下的光合效率( $\alpha$ )则低至 0.05, 说明此海区硅藻能够适应幅度较宽的光照范围(Salleh *et al.*, 2011)。长期培养于高光强的浅水环境中的微球藻(*Nannochloropsis* sp.), 只有当光照达到  $2000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  时才达到饱和电子传递速率(Kromkamp *et al.*, 2009)。这些研究均说明了光合特征同藻类分布和生活环境的相关性, 与本次研究结果也非常一致。

本次研究中各站位优势物种为角毛藻、中肋骨条藻、根管藻以及海链藻等集群化硅藻, 由于具有较高的表面积: 体积比率, 它们在捕获光子并且传递光合电子方面的效率高于单细胞, 因此可能更加适合光照变化剧烈的海区。本次调查站位水深均不超过10m, 水体运动剧烈, 浮游植物因此经常经历变化强烈的光照, 从光照微弱的水体底部迁移到到高光强处的水体表层。上述硅藻由于可以耐受较高的光照, 因此当从水体底部迁移到表层时, 高光强不仅不会对其造成损伤, 且提高了它们的光合效率, 有利于它们成为该海区的优势物种, 尤其是大亚湾表层海水光照一般在  $1100\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右。考虑到上述硅藻同样也是我国胶州湾等北方海域的优势物种(李艳等, 2005), 甚至是南极冰藻的主要组成(Liu *et al.*, 2011), 说明集群化浮游植物耐受的光照范围很广, 并且具有较高的光适应能力, 有利于它们在全球海区的广泛分布。

## 参 考 文 献

- 李 艳, 李瑞香, 王宗灵等, 2005. 胶州湾浮游植物群落结构及其变化的初步研究. 海洋科学进展, 3: 328—334
- 陈菊芳, 齐雨藻, 徐 宁等, 2006. 大亚湾澳头水域浮游植物群落结构及周年数量动态. 水生生物学报, 30: 311—317
- Arrigo K R, Mills M M, Kropuenske L R *et al.*, 2010. Photo-physiology in two major Southern Ocean phytoplankton taxa: photosynthesis and growth of *Phaeocystis antarctica* and *Fragilariopsis cylindrus* under different irradiance levels. Integrative and Comparative Biology, 50: 950—966
- Cosgrove J, Borowitzka M A, 2011. Chlorophyll fluorescence terminology: an introduction. In: Suggestt Prášil O, Borowitzka M A ed. Chlorophyll *a* fluorescence in aquatic sciences: methods and applications. Springer, Dordrecht, 1—17
- Cruz S, Serôdio J, 2008. Relationship of rapid light curves of variable fluorescence to photoacclimation and non-photo-

- chemical quenching in a benthic diatom. *Aquatic Botany*, 88: 256—264
- Dubinsky Z, Stambler N, 2009. Photoacclimation processes in phytoplankton: mechanisms, consequences, and applications. *Aquatic Microbial Ecology*, 56: 163—176
- Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T *et al*, 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281: 237—240
- Finkel Z V, Jacob-Vaillancour C, Irwin A J *et al*, 2009. Environmental control of diatom community size structure varies across aquatic ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 1627—1634
- Inhken S, Roberts S, Beardall J, 2011. Differential responses of growth and photosynthesis in the marine diatom *Chaetoceros muelleri* to CO<sub>2</sub> and light availability. *Phycologia*, 50: 182—193
- Kromkamp J C, Beardall J, Sukenik A *et al*, 2009. Short-term variations in photosynthetic parameters of Nannochloropsis cultures grown in two types of outdoor mass cultivation systems. *Aquatic Microbial Ecology*, 56: 309—322
- Kromkamp J C, Forster R M, 2003. The use of variable fluorescence measurements in aquatic ecosystems: differences between multiple and single turnover measuring protocols and suggested terminology. *European Journal of Phycology*, 38: 103—112
- Kruskopf M, Flynn K J, 2005. Chlorophyll content and fluorescence responses cannot be used to gauge reliably phytoplankton biomass, nutrient status or growth rate. *New Phytologist*, 169: 525—536
- Liu X, Smith W O, 2011. Physiochemical Controls on Phytoplankton Distributions in the Ross Sea, Antarctica. *Journal of Marine Systems*, 94: 135—144
- McMinn A, Hegseth E N, 2004. Quantum yield and photosynthetic parameters of marine microalga from the southern Arctic Ocean, Svalbard. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 84: 865—871
- Pankowski A, McMinn A, 2009. Development of immunoassays for the iron-regulated proteins ferredoxin and flavodoxin in polar microalgae. *Journal of Phycology*, 45: 771—783
- Papageorgiou G C, Tsimilli-Michael M, Stamatakis K, 2007. The fast and slow kinetics of chlorophyll *a* fluorescence induction in plants, algae and cyanobacteria: a viewpoint. *Photosynthesis Research*, 94: 275—290
- Ralph P J, Gademann R, 2005. Rapid light curves: a powerful tool for the assessment of photosynthetic activity. *Aquatic Botany*, 82: 222—237
- Salleh S, McMinn A, 2011. The effects of temperature on the photosynthetic parameters and recovery of two temperature benthic microalgae, *Amphora cf. coffeaeformis* and *Cocconeis cf. sublittoralis* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 47: 1413—1424
- Six C, Finkel Z V, Irwin A J, 2007. Light variability illuminates niche-partitioning among marine picocyanobacteria. *PLoS ONE*, 12: e1341. doi:10.1371/journal.pone.0001341
- Suggett D J, MacIntyre H, Kana T M *et al*, 2009. Comparing electron transport with gas exchange: parameterising exchange rates between alternative photosynthetic currencies for eukaryotic phytoplankton. *Aquatic Microbial Ecology*, 56: 147—162
- Wang X, Tang K W, Yan W *et al*, 2010. Temperature effects on growth, colony development and carbon partitioning in three *Phaeocystis* species. *Aquatic Biology*, 9: 239—249

## PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON IN THE DAYA BAY

WANG Xiao-Dong<sup>1</sup>, JIANG Tao<sup>1</sup>, CEN Jing-Yi<sup>1</sup>, OU Lin-Jian<sup>1</sup>,  
WANG Xiao<sup>2</sup>, HUANG Bang-Qin<sup>3</sup>, LÜ Song-Hui<sup>1</sup>

(1. Research Center for Harmful Algae and Aquatic Environment, Guangzhou, 510632; 2. The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, 266061; 3. College of Environment & Ecology, Xiamen University, 361005)

**Abstract** Photosynthetic capacity, rapid light curves and NPQ of phytoplankton in the Daya Bay were measured using pulse-amplitude-modulation (PAM) fluorometry. Phytoplankton dynamics and environmental parameters were also investigated with the purpose of assessing the coupling between photosynthetic capacity and phytoplankton distribution. During the investigation periods, multi-cellular diatoms were dominant, and their maximum quantum yields were up to 0.72. Our results revealed that acclimation of phytoplankton in the Daya Bay to high irradiance allowed saturated electron transport to occur at PAR of 1000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ . The development of non-photochemical quenching and xanthophylls cycle activity could protect the photosynthesis apparatus once PAR was elevated to 1500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ . The PAR of 1700 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  triggered biophysical alterations in photosynthesis apparatus, resulting in the declined effective quantum yield and electron transport rate. The accumulation to extensive temperature range and high photosynthetic activity are in favor of the worldwide distribution of multi-cellular diatoms in the natural environments.

**Key words** Phytoplankton, Photosynthesis, Quantum yield, Rapid light curves