

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00443

斜生栅藻对振荡和磷胁迫的生理生化响应

王培丽¹ 沈 宏¹ 陈文捷¹ 石彭灵¹ 谢 平^{1,2}

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430074; 2. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要: 为了探讨水文条件的变化对常见绿藻水华发生的潜在影响, 实验以斜生栅藻为材料, 研究了不同水流状态及磷浓度对其生长及磷利用策略的影响。实验分别设置静止条件(0 r/min)、低振荡条件(90 r/min)和高振荡条件(120 r/min), 同时设置磷限制(0.2 mg/L)和磷充足(2 mg/L)两组磷浓度, 整个实验过程为3周。实验过程测定的指标为: 比生长速率、胞外碱性磷酸酶活性、叶绿素 *a* 含量以及磷吸收动力学参数。实验结果表明: (1) 同静止条件相比, 低振荡和高振荡条件均能显著降低斜生栅藻的比生长速率, 但是两种不同磷浓度下其比生长速率却无显著性差异。(2) 在实验第21天时, 振荡条件培养下, 斜生栅藻的胞外碱性磷酸酶活性显著高于静止条件培养, 与此相反, 胞内磷浓度却显著高于静止条件。(3) 在磷限制条件下斜生栅藻的叶绿素 *a* 含量显著降低, 同时两种振荡条件培养均使其在磷充足条件下叶绿素 *a* 含量降低。(4) 通过磷吸收动力学参数的比较, 静止条件培养的斜生栅藻对磷的亲和力高于其在振荡条件下。由此可见, 斜生栅藻适应于静止无扰动且磷营养丰富的水体, 随着水体中磷浓度进一步升高, 静止和水流缓慢的水体存在导致像斜生栅藻这一类绿藻发生水华的风险。

关键词: 斜生栅藻; 振荡; 比生长速率; 磷吸收; 碱性磷酸酶; 叶绿素 *a*

中图分类号: Q142 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)03-0443-06

由于一些水体水文条件发生改变, 水华的优势种群开始也发生演变, 一些有毒有害的蓝藻、绿藻水华占的比重呈上升趋势, 如: 三峡库区先后监测到分别以隐藻、硅藻、甲藻、绿藻和蓝藻为优势种群的五种类型水华, 总体表现出由河流型硅藻类向湖泊型蓝、绿藻类的演变趋势^[1]。湖泊和流动缓慢的水体容易富集大量营养, 有大面的浅水流域, 加上合适的温度和光照条件, 均有助于形成水华。磷(Phosphorus, P)是浮游植物生长和繁殖所必需的成分, 参与细胞生长与能量传递等一系列代谢过程^[2], 也是导致水华营养限制的重要因子^[3]。宋关玲等^[4]研究表明水体磷浓度对斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)的生长有很大影响, 这表明绿藻对磷的利用策略可能与其水华形成有着重要的联系。

在河流枯水期, 绿藻有时占整个浮游植物总生物量 30%左右^[5], 根据夏军^[6]建立的水体营养化动

态模型, 确定了相关藻类浓度与水流速度函数, 该研究也仅指出了藻类浓度与水流因素的关系。因此, 研究绿藻在不同水流环境中的磷利用策略和其他生理功能具有重要的意义。本实验选取的实验材料——斜生栅藻, 是各水流环境常见绿藻, 采用不同磷浓度, 研究静止, 低振荡和高振荡对栅藻生长, 磷吸收及生理生化的影响, 初步阐明水流扰动对斜生栅藻影响的生理机制, 为探索绿藻在不同水流环境中水华发生机制提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 藻种与培养

实验用的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)是由本实验室从武汉官桥池塘采集水样中分离纯化得到, 体积大约为 99 μm^3 。在恒温培养箱温度为(20±1)℃, 光照周期 12 h, 光照强度 35 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, SE(表

收稿日期: 2010-05-04; 修订日期: 2011-01-03

基金项目: 湖北汉江中下游水华形成机理和控制技术与集成示范(2008BCA004)资助

作者简介: 王培丽(1985—), 女, 河南省滑县人; 硕士研究生; 主要从事藻类生理生态学研究。E-mail: penny_19851217@yahoo.com.cn

通讯作者: 谢平, E-mail: xieping@ihb.ac.cn

1)培养基, pH 8.0。每隔 2 周更换培养基保持其对数生长期生长。实验前将栅藻离心收集, 用无磷培养基(用 KCl 代替 K_2HPO_4 和 KH_2PO_4)洗涤后反复离心 3 次, 以去除藻细胞表面吸附的磷, 然后将藻细胞接种于无磷培养基饥饿培养两周。实验作用培养基和器皿均 121 高温灭菌 30min。为排除磷污染, 实验用玻璃器皿等均于 0.1 mol/L 盐酸中浸泡过夜后冲洗使用。

1.2 实验设置

实验以修改后的 SE 培养基为基础, 以 K_2HPO_4 为无机磷源, 设置磷充足处理组(2 mg/L P)和磷限制处理组(0.2 mg/L P)。在静止(0 r/min, No Turbulence, NT), 低振荡(90 r/min, Light Turbulence, LT)和高振荡(120 r/min, High Turbulence, HT)的条件下培养斜生栅藻(其他培养条件同 1.1 所述), 用振荡模拟水流的搅动, 研究不同浓度的磷和环境因子振荡对栅藻生长和生理影响, 保证两组平行样。

1.3 栅藻的生长

硅藻的比生长速率由以下生长公式计算^[3]。藻类的细胞数用血球计数板在光学显微镜(Olympus CX21)下观察测定。

$$\mu = \frac{\ln B_{t2} - \ln B_{t1}}{\Delta t}$$

μ 为比生长速率 (/d); B , 藻细胞浓度(cell/L); t , 天数(d)。藻类的细胞数用血球计数板和光学显微镜(Olympus CX21)观察测定。

1.4 碱性磷酸酶活性测定

胞外碱性磷酸酶活性(APA)酶测定方法参照 Shen 和 Song^[3]。在藻液中加入底物对硝基苯磷酸二钠盐(*p*-nitrophenyl phosphate, *p*NPP; Sigma)、 $MgCl_2$ 、

Tris-HCl 缓冲液, 37 避光反应 2h, 用 0.25 mol/L 的 NaOH 溶液终止酶反应, 然后 10000 r/min 10min 离心后在紫外可见分光光度计(岛津 UV-2550)上测定上于 410 nm 处测上清吸光度值, 以未加藻液作为空白对照。APA 单位定义为 1 mL 待测酶液 1h 释放 1 μ mol 对硝基苯酚为一个活性单位(U)。

1.5 细胞内叶绿素 *a* 含量的测定

取 5 mL 藻液 10000 r/min 离心 10min, 弃上清, 加入 5 mL 90%乙醇溶液, 混匀后避光 24h。测量前混匀离心, 测上清。在紫外分光光度计下读取 665、645 和 630 nm 三个波长下的数值。叶绿素 *a* 的计算公式为^[7]: 叶绿素 *a* (mg/L) = $11.6 \times A_{665} - 1.31 \times A_{645} - 0.14 \times A_{630}$

1.6 栅藻磷吸收动力学

实验以修改后的 SE 培养基为基础, 以 K_2HPO_4 为无机磷源, 设置 5 个磷浓度: 0.02、0.2、1、2、5 mg/L。取适量磷饥饿处理的藻液, 分别加入不同终浓度的 K_2HPO_4 的 SE 培养基中, 培养 1h 后, 测定添加前后培养基中 P 的浓度变化, 吸收速率(ρ)由该浓度变化决定。磷浓度的测定方法根据磷钼蓝显色法^[8], 在紫外可见分光光度计(岛津 UV-2550)上测定(保证两组平行样)。代表浮游植物细胞对不同浓度 KH_2PO_4 的吸收速率遵循米氏方程^[9]:

$$\rho = \rho_{\max} \times \frac{S}{K_m + S}$$

$\rho_{\max}$ 为最大吸收速率(pmol/cell); K_m 为半饱和常数(μ mol/L); S 为外部磷酸盐浓度(μ mol/L)。

1.7 数据处理

本文运用 Origin 7.5 进行数据处理和图形制作。栅藻的单位细胞胞外 APA、胞内磷浓度和单位

表 1 SE 培养基成分
Tab.1 SE Medium contents

成分 Contents	浓度 Concentration (mg/L)	成分 Contents	浓度 Concentration (mg/L)
NaNO ₃	250	Na ₂ EDTA	10
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	75	HCl(0.1N)	0.5 mL
Mg ₂ SO ₄ ·7H ₂ O	75	H ₃ BO ₃	2.86
KH ₂ PO ₄	175	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.81
CaCl ₂ ·2H ₂ O	25	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22
NaCl	25	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.079
FeCl ₃ ·6H ₂ O	5	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.039
Soil Extract	20 (mL/L)		

细胞叶绿素 *a* 含量均用 ANOVA one-way 进行显著性方差分析, $P < 0.05$ 表明处理之间存在显著差异。图中 a、b、c、d、e 用来表示处理组之间的显著性差异。

2 结果

2.1 不同条件下斜生栅藻的生长曲线

从图 1 中可以看出, 低振荡和高振荡处理组栅藻的比生长速率均显著低于其在静止处理组 ($P < 0.05$)。同时, 各处理组中, 栅藻在磷限制条件下比生长速率与磷充足条件下没有显著差异。

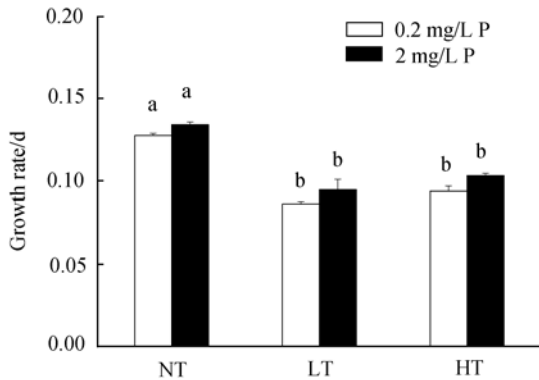


图 1 不同处理条件下斜生栅藻的比生长速率

Fig. 1 Growth rates of *S. obliquus* under different treatments

2.2 碱性磷酸酶活性和胞内磷浓度

在实验进行到第 21 天时, 测定了不同处理条件下每个细胞的胞外碱性磷酸酶活性(Alkaline phosphatase activity, APA)(图 2)。在磷限制条件下, 高振荡处理组的胞外 APA 显著高于静止和低振荡处理组 ($P < 0.05$)。同时我们还测定了胞内磷含量, 发现振荡条件下的胞内磷含量明显高于静止条件下 ($P < 0.05$)。在磷充足条件下, 胞外 APA 随着振荡增大而显著升高 ($P < 0.05$), 而高振荡和低振荡组中栅藻胞内磷浓度均显著大于静止组 ($P < 0.05$)。

2.3 胞内叶绿素含量

在磷充足条件下, 振荡培养显著降低了栅藻胞内叶绿素 *a* 含量 ($P < 0.05$); 但在磷限制条件下, 静止和振荡组中, 胞内叶绿素 *a* 含量没有显著差异(图 3)。但是, 在静止条件下, 磷限制明显抑制胞内叶绿素 *a* 含量 ($P < 0.05$)。

2.4 无机磷的吸收动力学参数

磷吸收半饱和常数 K_m 代表浮游植物对磷的亲和力, K_m 值越小表示对磷的亲和力越大^[10]。结果表明, 栅藻在静止条件下对磷的亲和力高于振荡条件,

且高振荡条件下栅藻对磷的亲和力高于低振荡条件(表 2)。 V_{max}/K_m 反映浮游植物在贫营养条件下对营养盐的竞争能力^[11], 因此, 在低振荡条件下的栅藻对磷的竞争能力高于静止和高振荡条件。

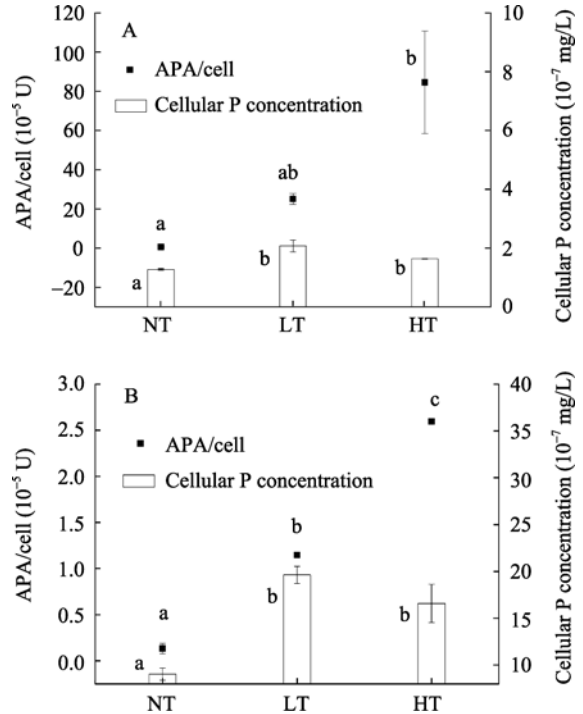


图 2 不同磷处理下碱性磷酸酶活性和胞内磷酸盐浓度随振荡强度的变化

Fig. 2 Variations of APA and cellular P concentration with turbulent intensity under different P concentrations

A. 磷限制条件 (0.2 mg/L P); B. 磷充足条件 (2 mg/L P)

A. P-limited condition (0.2 mg/L P); B. P-replete condition (2 mg/L P)

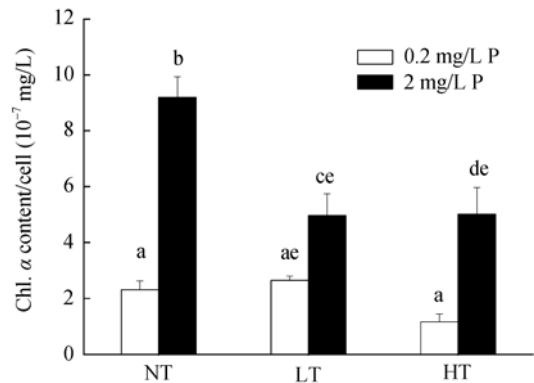


图 3 单位细胞叶绿素含量随振荡强度和磷浓度的变化

Fig. 3 Variations of Chl. *a* content /cell with turbulent intensity and initial P concentrations

3 讨论

绿藻在各种水体中都是常见藻类。尤其在湖泊和水流缓慢的河流当中, 绿藻一旦遇到合适的气候

表 2 不同振荡条件下栅藻的磷吸收动力学参数 (20℃)
Tab. 2 Phosphorus uptake kinetic parameters in *S. obliquus* under different treatments (20℃)

振荡条件 Turbulent conditions	K_m ($\mu\text{mol/L P}$)	$\rho_{\max}$ (pmol/cell)	Q_0 (pmol/cell)	$V_{\max}$ (/h)	$V_{\max}/K_m$ [$\mu\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{P}\cdot\text{h})$]
静止 NT	6.48	0.01	0.0018	5.56	0.86
低振荡 LT	7.91	0.023	0.0018	12.78	1.62
高振荡 HT	7.01	0.013	0.0018	7.22	1.03

注: K_m . 半饱和常数; $\rho_{\max}$. 最大磷吸收速率; Q_0 . 最小细胞磷含量; $V_{\max} \cdot \rho_{\max}/Q_0$; $V_{\max}/K_m$. 对磷的竞争能力

和营养能够很快成为优势藻类。Zeng, *et al.*^[5]曾报道, 汉江在冬末春初的枯水期时, 绿藻占整个浮游植物生物量的 30%左右, 成为人们较为关注的春季水华优势藻种之一。本实验研究表明: 一定的水流扰动可以显著抑制栅藻的生长, 同时栅藻的生长受磷营养限制, 暗示了栅藻较适应于静止状态的富营养水体中生长。先前的研究报道, 蓝藻和一些鞭毛藻在水流扰动下生长受到抑制^[12-14], 关于振荡对鞭毛藻的不利影响, 研究认为扰动对其身体结构造成损伤如: 鞭毛的损伤会使其运动功能降低, 中心粒的损伤会导致细胞不能正常分裂等^[15,16], 从而导致其一些生理功能受到影响。本实验结果表明, 不同的水流扰动对栅藻生长的影响与扰动改变了其磷的利用策略有一定关系。

K_m 代表了栅藻对磷的亲和力^[10], 本研究表明栅藻在振荡条件下 K_m 增加, 暗示了在振荡条件下栅藻对磷的亲和力降低。 $\rho_{\max}$ 代表栅藻对磷的最大吸收速率^[9], 本实验发现振荡条件下 $\rho_{\max}$ 显著增大, 表明了栅藻在振荡条件下对磷的吸收增强。Karpboss, *et al.*^[17]和 Warnars, *et al.*^[18]认为一定的扰动可以加快营养到细胞表面的扩散速率, 从而扰动环境增大了藻类对营养的吸收速率, 本研究结果也表明振荡可以改变栅藻对磷的吸收速率。亲和力的大小反映的是藻类对低磷环境下的耐受能力, 静止条件下的栅藻对低磷的耐受能力是要高于振荡条件下的。从磷的吸收动力学参数来分析, 栅藻在静止条件下对磷的亲和力最大, 因此静水环境更适于其生长和营养吸收。Healay^[11]提出 $V_{\max}/K_m$ 这个比例更能反映浮游植物在贫营养条件下对营养盐的亲和力, 较高比例表明浮游植物在贫营养条件下更具竞争力, 这表明在低振荡条件下, 栅藻对磷的竞争能力最大。湖泊由于缺乏水体交换很容易导致富营养化, 湖泊中水华的产生往往伴随着高磷水平, 然而河流中的磷含量一般都较湖泊低, 低流速下对磷的竞争力增

大表明栅藻可以在水流缓慢的水体中通过提高自己对磷的竞争能力取得生长优势, 同时水流变大又会减少其对磷的竞争。

胞外 APA 大小表明了细胞磷缺乏程度^[19,20], Letchman^[21]报道在相同培养条件下, 胞外 APA 的大小与胞内磷酸盐浓度是呈负相关的。然而, 本研究结果(图 3)与此相反, 振荡显著提高了栅藻胞外 APA 的表达, 特别是在高振荡条件下, 同时胞内磷酸盐浓度较静止条件下有显著性升高, 且磷限制和磷充足条件下的结果一致。Peter, *et al.*^[22]也曾报道过一定的扰动可以改变硅藻胞外 APA 的大小, 对于不同体积大小的硅藻, 振荡使较大体积硅藻胞外 APA 活性升高。目前, 已经有很多关于环境因子改变胞外 APA 大小的研究, 如温度、光照等^[23-25]。本研究表明, 胞外 APA 也受振荡的影响, 高振荡条件下 APA 显著升高, 表明磷浓度对其生长是缺乏的。因此, 可以推测, 在振荡条件下, 栅藻需要更多的能量去适应所谓“恶劣”环境同时完成对损伤的修补。磷是 ATP 形成很重要的成分^[26], 因此在振荡条件下, 栅藻对磷的需求明显要高于静止条件下。结合以上栅藻生长和磷吸收的结果, 本研究表明振荡能改变栅藻对磷的利用策略。

磷限制条件下可以导致很多浮游植物的胞内叶绿素 *a* 含量下降^[27,28], 而在振荡条件下影响胞内叶绿素含量的研究还很少。本研究结果发现, 在静止条件下, 低磷环境下的栅藻胞内叶绿素 *a* 含量明显低于高磷, 表明振荡条件可以显著降低高磷环境下栅藻的胞内叶绿素 *a* 含量。同时实验还表明, 振荡条件还抵消了磷对栅藻胞内叶绿素含量的限制作用, 高磷环境也不能显著促进胞内叶绿素的合成。这也就正好和栅藻生长的结果一致。这暗示了振荡作用使栅藻生理代谢发生变化影响到了栅藻的生长。因此, 从磷利用策略到胞内叶绿素 *a* 含量, 这些生理变化可能就是水流扰动对栅藻生长影响的部分机制。

研究水华的最终目的是要控制水华,减轻水华造成的危害。用生物和化学方法减轻、消除水华的影响是比较困难的,用水动力学控制法有一定的可取之处,例如,在冬末春初,气温回升之时,开闸放水,增加水流量,减少滞留时间,对水华的暴发可起到一定的缓解作用^[1]。针对每一条易发生水华的河流,确定一个河流的生态流速(即流速超过该生态流速时,该河流基本不会发生水华),在水华易发的气象条件下,水利部门应督促相关的湖泊、水库进行生态补水,保证河流的生态流速。这样才能有效地防止河流中暴发湖泊型水华。

参考文献:

- [1] Tang H B, Liu G X, Hu Z Y. Preliminary research on the algal bloom of *Peridiniopsis* sp. in Gaolan River of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 47—52 [汤宏波, 刘国祥, 胡征宇. 三峡高岚河甲藻水华的研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 47—52]
- [2] Wang D, Huang C X, Huang B Q, *et al.* Physiological responses of two typical species of diatoms to phosphorus stress in Yellow Sea [J]. *Marine Sciences*, 2008, **32**(5): 22—27 [王丹, 黄春秀, 黄邦钦, 等. 黄海两种典型硅藻的磷胁迫生理研究. 海洋科学, 2008, **32**(5): 22—27]
- [3] Shen H, Song L R. Comparative studies on physiological responses to phosphorus in two phenotypes of bloom-forming *Microcystis* [J]. *Hydrobiologia*, 2007, **592**(1): 475—486
- [4] Song G L, Li W, Cong C, *et al.* Study on the effect of Phosphorus concentration in water body on the growth of *Scenedesmus obliquus* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2007, **35**(35): 11576—11577 [宋关玲, 李伟, 丛超, 等. 水体磷浓度对斜生栅藻生长影响的研究. 安徽农业科学, 2007, **35**(35): 11576—11577]
- [5] Zeng H, Song L R, Yu Z G, *et al.* Post-impoundment biomass and composition of phytoplankton in the Yangtze River [J]. *International Review of Hydrobiology*, 2007, **92**(3): 276—280
- [6] Xia J, Dong M, Zhang H. Dynamic model of eutrophication in Hanjiang River [J]. *Chongqing Environmental Science*, 2001, **23**(1): 20—23 [夏军, 窦明, 张华. 汉江富营养化动态模型研究. 重庆环境科学, 2001, **23**(1): 20—23]
- [7] Stein J R. Handbook of Phycological Methods [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 1979, 238
- [8] Murphy J, Riley J P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters [J]. *Analytica Chimica Acta*, 1962, **26**(1): 31—36
- [9] Nishikawa T, Tarutani K, Yamamoto T. Nitrate and phosphate uptake kinetics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the bleaching of aquacultured *Porphyra thalli* [J]. *Harmful Algae*, 2009, **8**(3): 513—517
- [10] Eppley R W, Rogers J N, McCarthy J J. Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton [J]. *Limnology and Oceanography*, 1969, **14**(6): 912—920
- [11] Healey F P. Slope of the monod equation as an indicator of advantage in nutrient competition [J]. *Microbial Ecology*, 1980, **5**: 281—286
- [12] Peters F, Marrase C. Effects of turbulence on plankton: an overview of experimental evidence and some theoretical considerations [J]. *Marine Ecology-Progress Series*, 2000, **205**: 291—306
- [13] Zhang M, Shi X L, Jiang L J, *et al.* Effects of the exogenous phosphorous and shake on the growth of *Microcystis aeruginosa* [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2002, **8**(5): 507—510 [张民, 史小丽, 蒋丽娟, 等. 两种外源性磷及振荡对铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)生长的影响. 应用与环境生物学报, 2002, **8**(5): 507—510]
- [14] Zhu W, Wan L, Zhao L F. Effect of nutrient level on phytoplankton community structure in different water bodies [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, **22**: 32—39
- [15] Berdalet E. Effects of turbulence on the marine dinoflagellate *Gymnodinium Nelsonii* [J]. *Journal of Phycology*, 1992, **28**: 267—272
- [16] Margulis L, Corliss, J O, Melkonian, M, *et al.* Handbook of Protoctista [M]. Boston: Jones and Bartlett Publishers, 1990, 134—135
- [17] Karpboss L, Boss E, Jumars P A. Nutrient fluxes to planktonic osmotrophs in the presence of fluid motion [J]. *Oceanography and Marine Biology*, 1996, **34**(34): 71—107
- [18] Warnaars T A, Hondzo M. Small-scale fluid motion mediates growth and nutrient uptake of *Selenastrum capricornutum* [J]. *Freshwater Biology*, 2006, **51**: 999—1015
- [19] Healey F P, Hendzel L L. Indicators of phosphorus and nitrogen deficiency in 5 algae in culture [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1979, **36**(11): 1364—1369
- [20] Cotner J B, Wetzel R G. Uptake of dissolved inorganic and organic phosphorus-compounds by phytoplankton and bacterioplankton [J]. *Limnology and Oceanography*, 1992, **37**(2): 232—243
- [21] Litchman E, Nguyen B L V. Alkaline phosphatase activity as a function of internal phosphorus concentration in freshwater phytoplankton [J]. *Journal of Phycology*, 2008, **44**: 1379—1383
- [22] Peters F, Arin L, Marrase C, *et al.* Effects of small-scale turbulence on the growth of two diatoms of different size in a phosphorus-limited medium [J]. *Journal of Marine Systems*, 2006, **61**(3-4): 134—148
- [23] Giraudet H, Berthon J L, Buisson B. A comparison of the daily alkaline phosphatase activity of a cyanobacterium (*Mi-*

- crocystis aeruginosa*) and a diatom (*Synedra capitata*) [J]. *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Iii-Sciences De La Vie Life Sciences*, 1997, **320**(6): 451—458
- [24] Hernandez I, Niell F X, Fernandez J A. Alkaline-phosphatase activity in *Porphyra Umbilicalis* (L) Kutzing [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1992, **159**(1): 1—13
- [25] Hernández I, Niell F X, Whitton B A. Phosphatase activity of benthic marine algae. An overview [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2002, **14**(6): 475—487
- [26] Falkner G, Falkner R, Graffius D, *et al.* Bioenergetic and ecological aspects of phosphate uptake by blue-green algae [J]. *Archiv für Hydrobiologie*, 1984, **101**: 89—99
- [27] Wykoff D D, Davies J P, Melis A, *et al.* The regulation of photosynthetic electron transport during nutrient deprivation in *Chlamydomonas reinhardtii* [J]. *Plant Physiology*, 1998, **117**: 129—139
- [28] Litchman E, Steiner D, Bossard P. Photosynthetic and growth responses of three freshwater algae to phosphorus limitation and daylength [J]. *Freshwater Biology*, 2003, **48**(12): 2141—2148

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF *SCENDESMUS OBLIQUUS* TO PHOSPHORUS AND TURBULENCE STRESS

WANG Pei-Li¹, SHEN Hong¹, CHEN Wen-Jie¹, SHI Peng-Ling¹ and XIE Ping^{1,2}

(1. College of Fishery, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430074, China; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to explore the potential effect of changing hydrological regimes on the green algae blooms, the effect of different levels turbulences on the growth and phosphorus (P) strategy of *Scenedesmus obliquus* were studied. This experiment, lasting for 3 weeks, was designed with 3 levels turbulences, no turbulence(0 r/min), light turbulence (90 r/min) and high turbulence (120 r/min), combined with P-limit condition (0.2 mg/L) and P-replete condition (2 mg/L). The parameters determined during the experiment were listed as follows: growth rate, alkaline phosphatase activity (APA), cellular Chlorophyll *a* (Chl. *a*) contents and P uptake kinetic parameters. Our result showed: (1) Compared with the standing condition, light and high turbulence could both affect the growth rates of *S. obliquus* markedly, however, there was no significant variation between the growth rates of P-limit and P-replete condition. (2) On the 21st day, APAs of *S. obliquus* under turbulence were significantly higher than that under standing condition, contrarily, the cellular P concentrations of *S. obliquus* under turbulence were much higher than that under standing condition. (3) Chl. *a* contents of *S. obliquus* under P-limit condition declined significantly while light and high turbulences both led to the decreasing of Chl. *a* contents under P-replete condition. (4) Through P uptake kinetic parameters, the affinity for P in *S. obliquus* under standing condition was higher than that under turbulence. According to our results, *S. obliquus* adapt to the standing and P-rich condition. Once the P concentration in waters continue to increase, the standing and low flowing rate water will face the risks that Green algae like *S. obliquus* will bloom.

Key words: *Scenedesmus obliquus*; Turbulence; Growth rate; P uptake; Alkaline phosphatase; Chlorophyll *a*