

doi: 10.7541/2014.72

斜生栅藻在不同磷条件下氮生态幅的研究

杨宋琪 吴忠兴

(西南大学生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 为获得斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)的氮生态幅, 研究根据中华人民共和国地表水环境质量标准磷浓度界定, 利用谢尔福德(Shelford)耐受定律进行曲线拟合对斜生栅藻在低磷(0.02 mg/L)、中磷(0.2 mg/L)和高磷(0.4 mg/L)三种不同磷浓度下氮的生态幅进行定量表达, 获得三种磷起始条件下斜生栅藻生长的最佳氮浓度、氮适宜生长范围和氮耐受范围。研究表明, 在三种磷条件下斜生栅藻生长的最佳氮浓度分别为 1.02、8.91 和 18.05 mg/L, 对应的最大比生长速率分别为(0.142±0.006)、(0.314±0.002)和(0.346±0.007)/d, 氮适宜生长范围分别为(0.52—1.52)、(4.48—13.34)和(11.72—24.38) mg/L, 氮耐受限度分别为(0.02—2.02)、(0.05—17.77)和(5.39—30.71) mg/L。这表明富营养化水体可能引起斜生栅藻的大量生长、繁殖, 也暗示了斜生栅藻能作为高氮水环境的一个良好指示生物。

关键词: 生态幅; 斜生栅藻; 最佳氮浓度; 氮适宜生长范围; 氮耐受范围

中图分类号: Q142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2014)03-0510-06

由于自然界长期自然选择, 每个生物种都适应于一定的环境, 并有其特定的适应范围和耐受范围。生物不仅受生态因子最低量的限制, 而且也受生态因子最高量的限制^[1]。当一个生态因子在数量或质量上的不足或过多, 即当其接近或到达生物的耐受限度时, 该生物将衰退或不能生存。生态学上把生物对每一种生态因子耐受的上限和下限的变化幅度称生态幅^[2]。每种藻类对营养物质(如: 氮、磷等)的摄取都存在一个耐受范围, 即存在一个营养最低浓度和最高浓度, 在这之间的范围即为该藻类的营养生态幅。

斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)是淡水中常见的浮游藻类, 极喜在营养丰富的静水中生长繁殖, 由于其对有机污染物具有较强的耐性, 因而可作为甲型中污带指示生物^[3, 4]。目前, 营养盐与斜生栅藻之间的关系主要集中在以下两个方面: 一方面是不同形态及浓度的氮和磷对斜生栅藻生长繁殖的影响^[5, 7]; 其次是不同氮磷浓度条件下斜生栅藻与其他水华蓝藻营养盐竞争能力的比较^[8—12]。此

外, 实验中设置的营养盐多局限于较高浓度, 与自然水体中的营养盐浓度相差较大。对斜生栅藻生长的营养盐生态幅也一般依据实验研究结果进行定性分析与描述, 而未对藻类的营养盐生态幅进行定量分析。

本文研究目的是通过实验结果和 Shelford 耐受性定律^[1], 建立斜生栅藻生长的氮生态幅模型, 定量划分斜生栅藻生长的氮生态幅, 为进一步研究的富营养化水体藻类水华的发生机制和防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 藻种与培养条件

本实验所用的藻种斜生栅藻 *Scenedesmus obliquus* 由中国科学院水生生物研究所提供。培养基为 HGZ 培养基^[13, 14], 培养温度为(25±1)°C, 光照强度 40 μE/(m·s), 光暗比 12:12, 每天人工摇动 3—4 次。

1.2 实验设计

整个实验以 HGZ 培养基为基础, 配制成无氮、

收稿日期: 2013-04-12; 修订日期: 2014-01-21

基金项目: 西南大学博士基金(SWU110065); 国家自然科学基金(31170372)资助

作者简介: 杨宋琪(1988—), 男, 甘肃陇南人; 硕士研究生; 主要从事藻类生态学研究。E-mail: yangzong866@126.com

通信作者: 吴忠兴(1975—), 男, 教授; 主要从事藻类生理生态及分子系统性学研究。E-mail: wuzhx@swu.edu.cn

磷的培养基。根据中华人民共和国地表水环境质量标准中磷浓度的界定, 以 $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ 为磷源设置起始磷浓度分别为低磷(I类水质)0.02 mg/L、中磷(III类水质)0.2 mg/L 和高磷(V类水质)0.4 mg/L。然后在不同磷浓度条件下以 $NaNO_3$ 为氮源分别配制不同氮浓度梯度(表 1)。

1.3 实验方法

将实验藻种进行扩大培养至对数期, 然后将藻种接入无氮磷的培养基中, 并在与实验设定的相同环境下进行饥饿培养。实验时将驯化的藻液($A_{750} \approx 0.1$)分别接到不同氮、磷梯度的 140 mL 培养基中, 每个处理设三个平行, 各接 10 mL 藻样, 最后保证总体积为 150 mL, 此时测得的 OD 为初始值, 随后每隔 48h 取样测藻液光密度 A_{750} 。

1.4 最大比生长率

根据公式(1)和公式(2)分别计算出藻类在不同条件下的比生长速率和最大比生长速率。

$$\mu = [(\ln(x_2/x_1))/(t_2 - t_1)] \tag{1}$$

$$\mu_{max} = \max(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_\theta, \dots, \mu_n) \tag{2}$$

式中, μ 表示比生长速率, 某一时间间隔内藻类生长速度; x_1 为某一时间间隔开始时藻类的现存量; x_2 为某一时间间隔终结时藻类的现存量; $(t_2 - t_1)$ 为某一段时间间隔天数; μ_{max} 表示最大比生长速率。

1.5 藻类生长的氮耐受模型及生态幅的定量表达

藻类最大比生长速率和氮浓度之间的关系呈 Gauss Amp 分布^[15], 根据公式(1)、(2)和 Shelford 耐受性定律分别将不同磷起始浓度下斜生栅藻的最大

比生长速率和对应的氮浓度进行曲线拟合, 得到不同磷起始浓度条件下斜生栅藻最大比生长速率和氮浓度的函数关系曲线和响应模型参数(表 2)。其方程为:

$$\mu_{max} = a + b \times \exp[-(N - N_{opt})^2 / 2\theta^2]$$

式中 μ_{max} 表示最大比生长率(/d); N_{opt} 表示藻类生长的最适氮浓度; θ 表示藻类对氮的耐受限度; a、b 为参数。因此, 解决斜生栅藻在不同磷起始条件下氮生态幅的关键在于求出 N_{opt} 和 θ 值。

生态幅参数可分别进行如下表述^[16]:

藻类氮适宜生长范围的上下限: $[N_{opt} - \theta, N_{opt} + \theta]$ (3)

藻类氮耐受范围上下限: $[N_{opt} - 2\theta, N_{opt} + 2\theta]$ (4)

其中, N_{opt} 为藻类生长最佳氮浓度; θ 为该藻种的忍耐度, 一个种的生态幅度变化于 4θ 内^[17]。

1.6 数据处理与分析

实验每个处理设三个重复。对不同条件培养下的细胞密度值、比生长速率和最大比生长速率差异采用单因素方差分析法(One-Way ANOVA analysis)进行显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 斜生栅藻的生长特性

在低磷浓度条件下, N/P 为 80 : 1 即氮浓度为 1.6 mg/L 时, 藻生物量达到最大值; 小于 1.6 mg/L 时, 藻生物量随氮浓度的增大而增大($P < 0.05$)。在中磷浓度条件下, N/P 为 40 : 1 即氮浓度为 8 mg/L 时,

表 1 氮和磷的浓度梯度配制
Tab. 1 The gradient of the concentration of nitrogen (N) and phosphorous (P)

磷浓度 Concentration of phosphorous (mg/L)	氮浓度 Concentration of nitrogen (mg/L)									
低磷浓度 0.02 Concentration of low phosphate 0.02	0.02	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
中磷浓度 0.2 Concentration of medium phosphate 0.2	0.2	2	4	6	8	10	12	14	16	18
高磷浓度 0.4 Concentration of high phosphate 0.4	0.4	4	8	12	16	20	24	28	32	36

表 2 三种固定磷浓度起始条件下拟合的方程及相关系数
Tab. 2 Functions and correlation coefficient at three different initial phosphate concentrations

培养条件 Condition of culture	方程 Equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient R^2	μ_{max} (/d)
低磷 Low P	$\mu_{max} = 0.02 + 0.01 \times \exp[-(N - 1.02)^2 / (2 \times 0.5^2)]$	0.81	0.142 ± 0.006
中磷 Medium P	$\mu_{max} = 0.14 + 0.17 \times \exp[-(N - 8.91)^2 / (2 \times 4.43^2)]$	0.96	0.314 ± 0.002
高磷 High P	$\mu_{max} = 0.15 + 0.18 \times \exp[-(N - 18.05)^2 / (2 \times 6.33^2)]$	0.92	0.346 ± 0.007

藻生物量达到最大值; 小于 8 mg/L 时, 藻生物量随氮浓度的增大而显著增大($P < 0.05$); 大于 8 mg/L 时, 藻生物量随着氮浓度的增大而减小。在高磷浓度条件下, N/P 为 90 : 1 即氮浓度 36 mg/L 时, 藻生物量达到最大值; 小于此浓度时藻生物量随氮浓度的增大而显著增大($P < 0.05$)(图 1)。

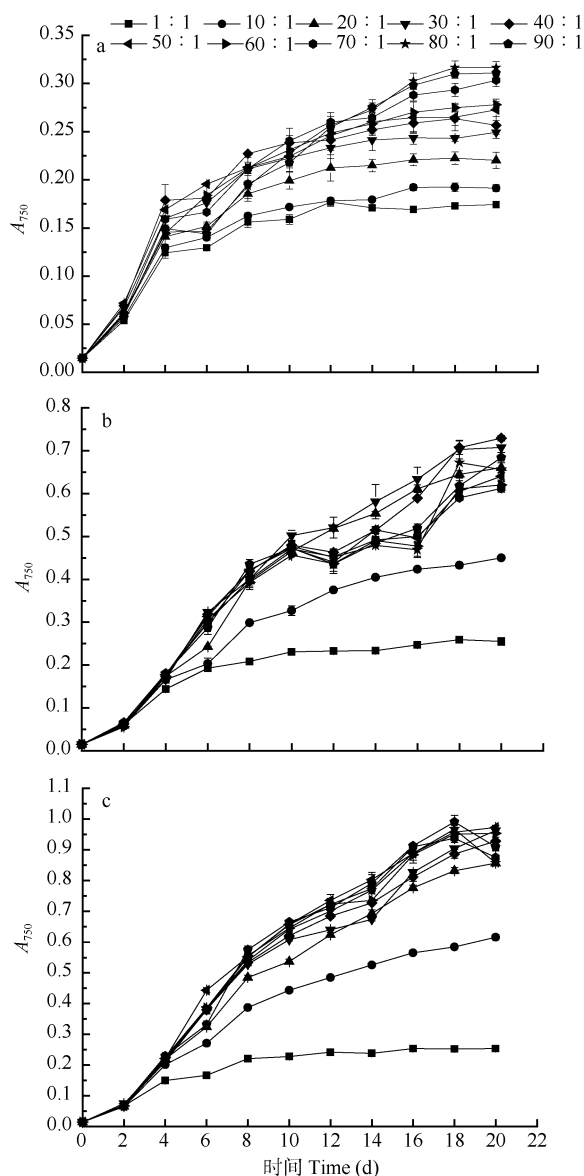


图 1 三种固定磷起始条件下氮对斜生栅藻生物量的影响

Fig. 1 Effects of nitrogen on biomass of *Scendesmus obliquus* at three different initial phosphate concentrations

a. 低磷; b. 中磷; c. 高磷

a. low phosphate; b. medium phosphate; c. high phosphate

2.2 斜生栅藻氮生态幅的定量描述

表 2 为三种固定磷浓度起始条件下拟合的方程, 相关系数 R^2 依次为 0.81、0.96 和 0.92。根据公式(3)和(4)得藻类在低磷、中磷、高磷条件下藻类生长的

最佳氮浓度(图 2)依次为 1.02、8.91 和 18.05 mg/L, 其对应的最大比生长速率分别为 (0.142 ± 0.006) 、 (0.314 ± 0.002) 和 (0.346 ± 0.007) /d; 氮适宜生长浓度范围分别为: $(0.52—1.52)$ 、 $(4.48—13.34)$ 和 $(11.72—24.38)$ mg/L; 氮耐受限度分别为: $(0.02—2.02)$ 、 $(0.05—17.77)$ 和 $(5.39—30.71)$ mg/L。

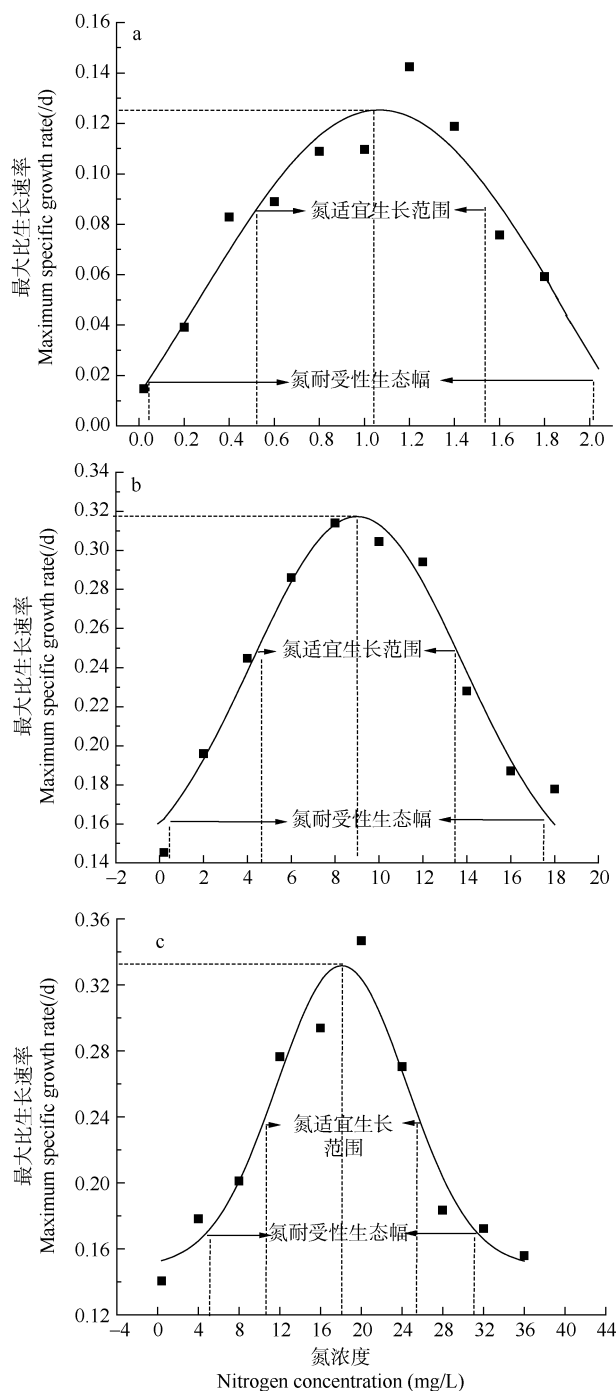


图 2 三种固定磷起始条件下斜生栅藻氮生态幅的定量表达

Fig. 2 The quantitative level of nitrogen of *Scendesmus obliquus* at three different initial phosphate conditions

a. 低磷; b. 中磷; c. 高磷

a. low phosphate; b. medium phosphate; c. high phosphate

3 讨论

氮、磷含量的增加往往导致水体富营养化并可能伴随藻类的“疯长”, 因此被认为是藻类水华发生最重要的物质基础^[18, 19]。每种藻都有其特定的营养盐浓度范围, 对藻类营养物质的生态幅进行定量分析, 能清楚地反映出藻类快速增长的浓度区间, 有助于了解藻类生长与营养之间的关系^[20, 21]。研究表明^[22, 23], 在适宜的营养水平条件下, 藻类通常对营养盐有较强的吸收能力, 其中当某一环境因子处于最适区时, 物种对其他因子的耐受限也将会增大, 因此, 富营养水体中, 一些耐污性的藻类能利用自身特性发展并形成优势种^[18]。对滇池、太湖等富营养化湖泊研究已经发现栅藻的大量分布并占据一定的优势^[24—26]。本实验设定三种固定磷条件, 分别获得了斜生栅藻在各自氮磷比条件下的比生长速率和最大比生长速率, 通过对其最大比生长速率—氮浓度曲线拟合所得结果显示在低磷、中磷、高磷条件下斜生栅藻的最佳生长的氮浓度分别为 1.02、8.91 和 18.05 mg/L, 该结果支持了许海等^[9]的研究, 即氮浓度在(4—32) mg/L 时, 斜生栅藻最大比增长率达到最大(0.41/d 左右), 为其最适氮浓度。杨扬等^[27]研究了家用洗涤剂磷对斜生栅藻生长的影响, 发现在一定范围内磷含量的增加会引起藻类现存量的显著增加。本研究也获得了相似的结果, 即在最适氮浓度条件下, 藻细胞密度和最大比生长速率随着磷浓度的增加而显著增加($P < 0.05$), 表明水体中磷含量变化直接影响着斜生栅藻的生长和繁殖。根据 Redfield ratio, N/P 为 16:1(重量比约 7:1)时^[28]藻类生长最佳。然而, 本研究发现斜生栅藻在 50:1 左右的氮—磷比条件表现出最大比生长速率。许海等^[11]对斜生栅藻的生长研究也发现了在 0.2 mg/L 磷条件下斜生栅藻最适 N/P 为 64:1, 这暗示了斜生栅藻适宜高氮、磷环境条件。先前的研究表明氮为(2—4) mg/L、磷为 0.2 mg/L 的营养水平较适于铜绿微囊藻的生长, 而栅藻则适宜更高的氮、磷营养水平(氮 8 mg/L、磷为 0.5 mg/L)^[7, 9, 10, 29]。因此, 结合本文的研究结果, 可以推测在高氮、磷条件下斜生栅藻可能表现出比微囊藻更大的竞争优势。

生物和生态因子间的相互关系是错综复杂的, 了解藻类生长与环境因子之间的关系, 可以使其在一定范围内作为良好的指示生物来反映环境的某些特征^[30]。陈艳拢等^[31]对东海原甲藻温度生态幅进行

定量表达, 探究赤潮暴发的机理; 文世勇等^[16]研究表明, 塔玛亚历山大藻在不同磷起始条件下氮的生态幅也不相同; 龙天渝等^[21]对嘉陵江重庆主城段藻类限制因子的生态幅进行研究, 为探索富营养化发生的机理与条件提供了理论依据。本研所得斜生栅藻在三种磷起始条件下氮适宜生长范围分别为(0.52—1.52)、(4.48—13.34)和(11.72—24.38) mg/L; 氮耐受限度分别为(0.02—2.02)、(0.05—17.77)和(5.39—30.71) mg/L, 说明了在富营养、重富营养型水体的湖泊、水库等均有可能引起斜生栅藻的大量繁殖和生长, 也暗示了斜生栅藻能作为高营养盐(N、P)环境的一个良好指示生物。

参考文献:

- [1] Shelford V E. Animal Communities in Temperate America [M]. Chicago: University of Chicago Press. 1913, 313—318
- [2] Cheng S G, Luo Z J. Environmental Ecology [M]. Beijing: Chemical Industry Press. 2003, 12—14 [程胜高, 罗泽娇. 环境生态学. 北京: 化学工业出版社. 2003, 12—14]
- [3] Bohuslav Fott. Algenkunde [M]. Translator: Luo di'an. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 1980, 392—394 [福迪 B. 藻类学. 罗迪安译. 上海: 上海科学技术出版社. 1980, 392—394]
- [4] Zhang M, Li Y, Wang R N, et al. Dynamic variation for the species of phytoplankton in Dianchi Lake, China [J]. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 2006, 28(1): 73—77 [张梅, 李原, 王若南, 等. 滇池浮游植物种类的动态变化. 云南大学学报(自然科学版), 2006, 28(1): 73—77]
- [5] Xia Y Z, Yu M J, Chen S H, et al. The effects of nitrogen and phosphorous compounds on the growth of *Scenedesmus obliquus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1959, 473—480 [夏宜铮, 俞敏娟, 黎尚豪, 等. 不同形式的氮和磷化合物对斜生栅藻生长繁殖的影响. 水生生物学集刊, 1959, 473—480]
- [6] Zhang Y, Li B Z, Qu J H, et al. Effect of low phosphorus concentration on the growth of *Scenedesmus obliquus* and phosphorus removal [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2010, 31(11): 2661—2665 [张莹, 李宝珍, 屈建航, 等. 斜生栅藻对低浓度无机磷去除和生长情况的研究. 环境科学, 2010, 31(11): 2661—2665]
- [7] Wang P L, Shen H, Chen W J, et al. Physiological and biochemical responses of *Scenedesmus obliquus* to phosphorus and turbulence stress [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(3): 443—448 [王培丽, 沈宏, 陈文捷, 等. 斜生栅藻对振荡和磷胁迫的生理生化响应. 水生生物学报, 2011, 35(3): 443—448]
- [8] Wang K. Comparative study of competitive ability of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* in different

- environment conditions [D]. Master's thesis, Hohai University, Nanjing, 2006 [王珂. 不同环境条件下铜绿微囊藻和栅藻竞争能力的比较研究. 硕士论文, 河海大学, 南京, 2006]
- [9] Xu H, Yang Z L, Liu Z P. Dynamics study on the effect of nitrogen on the growth of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* [J]. *Research of Environment Sciences*, 2008, **21**(1): 69—73 [许海, 杨林章, 刘兆普. 铜绿微囊藻和斜生栅藻生长的氮营养动力学特征. 环境科学研究, 2008, **21**(1): 69—73]
- [10] Xu H, Yang Z L, Mao H. Dynamic studies on the effect of phosphorus on the growth of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* [J]. *Ecology and Environment*, 2006, **15**(5): 921—924 [许海, 杨林章, 茅华. 铜绿微囊藻、斜生栅藻生长的磷营养动力学特征. 生态环境, 2006, **15**(5): 921—924]
- [11] Xu H, Zhu G W, Qin B Q, et al. Influence of nitrogen-phosphorus ratio on dominance of bloom-forming cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa*) [J]. *China Environment Science*, 2011, **31**(10): 1676—1683 [许海, 朱广伟, 秦伯强, 等. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响. 中国环境科学, 2011, **31**(10): 1676—1683]
- [12] Chen D H, Zhang Z S, Liu Y D, et al. The dynamics of *Microcystis aeruginosa* Kütz and *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz competition for resources—I. growth dynamics and half saturated constant of phosphorus limited and irradiance of light limited [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, **20**(3): 349—354 [陈德辉, 章宗涉, 刘永定, 等. 微囊藻栅藻资源竞争的动力学过程 I. 光能和磷营养的半饱和参数及其生长率动态. 环境科学学报, 2000, **20**(3): 349—354]
- [13] Hu X Z, Ma Z Y, Yi W L, et al. Growth of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda* in four different mediums [J]. *Research of Environment Science*, 2004, **17**: 55—57 [胡小贞, 马祖友, 易文利, 等. 4 种不同培养基下铜绿微囊藻和四尾栅藻的生长比较. 环境科学研究, 2004, **17**: 55—57]
- [14] Zhu W, Wan L, Zhao L F. Effect of nutrient level on phytoplankton community structure in different water bodies [J]. *Journal of Environment Sciences*, 2010, **22**: 32—39
- [15] ter Braak C J, Caspar W N. Looman. Weighted averaging, logistic regression and the Gaussian response model [J]. *Plant Ecology*, 1986, **65**(1): 3—11
- [16] Wen S Y, Song L L, Long H, et al. On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentration in laboratory cultures [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(4): 1133—1141 [文世勇, 宋琍琍, 龙华, 等. 不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅. 生态学报, 2012, **32**(4): 1133—1141]
- [17] Wang F, Liang R J, Yang X L, et al. A study of ecological water requirements in northwest China I: theoretical analysis [J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, **17**(1): 1—8 [王芳, 梁瑞驹, 杨小柳, 等. 中国西北地区生态需水研究(1)——干旱半干旱地区生态需水理论分析. 自然资源学报, 2000, **17**(1): 1—8]
- [18] Jin X C. Eutrophication of Chinese Lakes [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990, 290—301 [金相灿. 中国湖泊富营养化. 北京: 环境科学出版社, 1990, 290—301]
- [19] Howarth R W. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally [J]. *Harmful Algae*, 2008, **8**: 14—20
- [20] Zheng M. Study on ecological amplitude of the nutrient limiting factors of major algae in reach of Jialing River in city zone of Chongqing [D]. Master's thesis, Chongqing University, Chongqing, 2007 [郑敏. 嘉陵江重庆主城段藻类营养盐限制因子生态幅研究. 硕士论文, 重庆大学, 重庆, 2007]
- [21] Long T Y, Zheng M, Guo W H, et al. Applying the ecological amplitude to nutrition restrictive factors of Jialing River in the city zone of Chongqing [J]. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)*, 2007, **30**(2): 81—85 [龙天渝, 郑敏, 郭蔚华, 等. 生态幅在重庆嘉陵江主城段营养盐限制因子中的应用. 重庆大学学报(自然科学版), 2007, **30**(2): 81—85]
- [22] Wang G X, Cheng X Y, Pu P M, et al. Lake eutrophication control in technology, theory and application [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2002, **14**(3): 273—282 [王国祥, 成小英, 濮培民, 等. 湖泊藻型富营养化控制——技术、理论及应用. 湖泊科学, 2002, **14**(3): 273—282]
- [23] Liu D Q, You W H, Li M, et al. Source Water purification through inhibition effect of *H.reticulatum* on *Micro-algae* [J]. *China Water & Wastewater*, 2004, **20**(10): 14—17 [刘德启, 由文辉, 李敏, 等. 利用水网藻对微藻的抑制作用净化源水. 中国给水排水, 2004, **20**(10): 14—17]
- [24] Dong Y X, Tan Z W, Zhu X, et al. Annual variation of the community structure and quantity of algae in Chenghai Lake [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, **21**(7): 1289—1295 [董云仙, 谭志卫, 朱翔, 等. 程海藻类植物种群结构和数量的周年变化特征. 生态环境学报, 2012, **21**(7): 1289—1295]
- [25] Qian C Y, Deng X Y, Wang R N, et al. A study on the dianchi lake algal flora [J]. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 1985, **7**: 9—28 [钱澄宇, 邓新晏, 王若南, 等. 滇池藻类植物调查研究. 云南大学学报: 自然科学版, 1985, **7**: 9—28]
- [26] Chen J C, Meng S L, You Y, et al. Characteristic of phytoplankton community in Lake Wuli, Lake Taihu [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, **18**(4): 1358—1367 [陈家长, 孟顺龙, 尤洋, 等. 太湖五里湖浮游植物群落结构特征分析. 生态环境学报, 2009, **18**(4): 1358—1367]
- [27] Yang Y, Han J L, Wu Z B, et al. Effect of phosphorus in domestic detergent on the *Scenedesmus obliquus* [J]. *Acta*

- Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27**(4): 339—344 [杨扬, 韩静磊, 吴振斌, 等. 家用洗涤剂磷对斜生栅藻生长的影响. 水生生物学报, 2003, **27**(4): 339—344]
- [28] Redfield A C. On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and their Relation to the Composition of Plankton [M]. Daniel R J. James John stone Memorial Volume. Liverpool: Liverpool University Press. 1934, 176—192
- [29] Wan L, Zhu W, Zhao L F. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and competition of *M. aeruginosa* and *S. quadricauda* [J]. *Environment Sciences*, 2007, **28**(6): 1230—1235 [万蕾, 朱伟, 赵联芳. 氮磷对微囊藻和栅藻生长及竞争的影响. 环境科学, 2007, **28**(6): 1230—1235]
- [30] Li W J. Fundamentals of Ecology [M]. Beijing University of Posts and Telecommunications Press. 2005, 21—22 [李维炯. 生态学基础. 北京邮电出版社. 2005, 21—22]
- [31] Chen Y L, Zhao D Z, Yang J H, *et al.* The quantitative study on ecological amplitude of sea temperature of algae [J]. *Acta Oceanologica Sinica* 2009, **31**(5): 156—161 [陈艳拢, 赵冬至, 杨建洪, 等. 赤潮藻类温度生态幅的定量表达模型研究. 海洋学报, 2009, **31**(5): 156—161]

STUDY ON ECOLOGICAL AMPLITUDE OF NITROGEN OF *SCENDESMUS OBLIQUUS* AT DIFFERENT INITIAL PHOSPHATE CONCENTRATIONS

YANG Song-Qi and WU Zhong-Xing

(Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The present study was conducted to calculate the ecological amplitude of nitrate and to obtain the optimum nitrate concentrations, optimum growth, and tolerance range of nitrate concentrations during the growth of *Scendesmus obliquus*. Three fixed initial phosphate concentrations [0.02 mg/L (low-P), 0.2 mg/L (medium-P) and 0.4 mg/L (high-P)] were carried out based on the surface water environmental quality standard of the People's Republic of China. A nitrate tolerance model of the algal growth was established based on the Shelford's law of tolerance. The results showed that the optimum nitrate concentrations in low-P, medium-P, and high-P cultures were 1.02, 8.91 and 18.05 mg/L, respectively; the optimum growth range of nitrate concentrations were (0.142±0.006), (0.314±0.002) and 0.346±0.007/d, respectively; the tolerance range of nitrate concentrations were (0.02—2.02), (0.05—17.77) and 5.39—30.71 mg/L, respectively. These results suggest that water pollution may promote the growth and production of *Scendesmus obliquus*, and *Scendesmus obliquus* may be a good indicator for the high nitrogen water environment.

Key words: Ecological amplitude; *Scendesmus obliquus*; Optimum nitrate concentrations; Optimum growth range of nitrate concentrations; Tolerance range of nitrate concentrations