

大宁河回水腹心区氮磷浓度对藻类生长影响的模拟试验研究

周贤杰^{1,2}, 罗固源¹, 杨清玲², 陈刚才², 李勇健²

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院,三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020)

摘要:从三峡库区典型次级河流大宁河 139 m 回水腹心区采集水样,在适宜藻类生长的温度 (20 ℃)和光照 (8 000 lx)环境条件下,按氮磷物质的量浓度比为 30:1 配置 9 组水样进行试验。结果表明,随着水体氮、磷营养盐的增加,藻类由清洁种类向耐污种类转化;随氮、磷营养盐浓度变化,细胞密度、Chla 最大含量及比生长率有同向的增减趋势;藻类最大生长率 $\mu_{max}=1.16\text{ d}^{-1}$,氮、磷营养盐半饱和浓度 $K_{DIN}=8.65\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $K_{PO_4-P}=0.29\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,说明藻类对磷的亲合性比氮好。根据大宁河 139 m 回水腹心区近年监测到的氮、磷营养盐浓度,计算出该水域氮、磷营养盐限制性作用系数 φ_{DIN} 、 φ_{PO_4-P} 常见变化范围分别为 0.78~0.96、0.26~0.77;氮、磷营养盐浓度取均值时, $\varphi_{DIN}=0.90$ 、 $\varphi_{PO_4-P}=0.52$ 。由此可知,磷为该水域藻类生长的限制性因素。因此,控制氮磷特别是磷浓度应作为大宁河富营养化防治工作的重点。

关键词:大宁河;藻类;生长系数;半饱和浓度;限制性作用系数

中图分类号:X171.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)03-1123-05

Simulation Study of Effects of Different Nitrogen and Phosphorus Concentrations on Algae Growth in the Central Backwater Reach of Daning River

ZHOU Xian-jie^{1,2}, LUO Gu-yuan¹, YANG Qing-ling², CHEN Gang-cai², LI Yong-jian²

(1. Faculty of Urban Constructional & Environmental Engineering, Ministry of Education Key Laboratory for Three Gorges Reservoir Eco-Environmental, Chongqing university, Chongqing 400045, China; 2. Research Academy of Environment Science in Chongqing, Chongqing 400020, China)

Abstract: Nine group of algae growth experiments were studied in the laboratory under the appropriate conditions as follows: the water temperature and illumination were 20 ℃ and 8 000 lx respectively, the ratio of phosphorus and nitrogen concentrations was 30:1, the water was collected from the central backwater reach at 139 m level of the tributary Daning River in the Three-Gorges Reservoir. With the increase of nitrogen and phosphorus concentrations, the algae changed from cleanly species to pollutant-resistant species, and the cell density, maximal Chla and algae growth rate showed the similar trend. The maximum growth rate were 1.16 d⁻¹, and the half-saturated constants of nitrogen-limit and phosphorus-limit were 8.65 μmol·L⁻¹ and 0.29 μmol·L⁻¹ respectively, which indicated that the affinity of algae for phosphorus was better than nitrogen. Base on the data monitored in the central backwater reach at 139 m level of the tributary in the Three-Gorges Reservoir recently, the effects of different concentrations of nitrogen and phosphorus nutrients on algae growth were studied at the same time. The coefficients of φ_{DIN} and φ_{PO_4-P} were 0.78~0.96 and 0.26~0.77, with the averages 0.90 and 0.52 respectively, indicating that phosphorus was the limiting element for algae growth in this water reach. Therefore, the emphasis of eutrophication controlling measure in Daning River should be on reducing the concentration of phosphorus and nitrogen especially phosphorus.

Keywords: Daning river; algae; growth rate; half-saturated concentration; limiting coefficient

收稿日期:2007-08-24

基金项目:科技部科技攻关项目 (2004BA604A01-03)

作者简介:周贤杰 (1972—),男,博士研究生,主要从事三峡库区水环境研究。

责任作者:罗固源 E-mail:gyluo@cqu.edu.cn

大宁河位于长江北岸,是三峡库区典型一级支流,也是著名的旅游景点。三峡水库蓄水后,由于水文条件发生改变,大宁河回水腹心区(受回水顶托,流速低于 $0.03\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 即水体处于准静止状态的回水区域)发生大面积富营养化现象,并且随着蓄水位的提升有加重的趋势^[2],其显著特征是藻类大量生长导致叶绿素 a (Chla,下同)浓度增加^[3]。研究表明,充足的氮、磷营养盐,缓慢的水流流态,适宜的水温、光照等气候条件是富营养化发生的必要条件。在富营养化防治中,限制其中任何一个因素都可遏制其发生,但控制氮、磷营养盐是最常用和有效的方法之一^[4]。由于水库成库时间短,环境因子对该水域藻类生长影响的研究主要集中在野外的监测中,而对其进行多指标量化试验研究成果的报道甚少。

由于野外水体环境变化周期短,难于在原位试验中同时获得藻类生长的多指标定量化研究结果,且试验需要耗费大量的人力、物力和时间,因此,人们试图在实验室模拟藻类的生长过程,以较少的成本获得较多接近藻类野外生长活动情况的资料。事实上,实验室常以氮、磷营养盐和温度、光照气候条件等作为模拟藻类生长的影响因素,对于流速这一重要指标,由于其对富营养化影响的机理复杂,室内试验只能模拟水的动量对藻类生长的影响^[5],并不能反映野外水体因流动引发物质交换等复杂过程对藻类生长产生的重要影响,对其进行原位试验研究更为合理。本文从大宁河回水腹心区采集水样,研究一定水温、光照条件下,不同活性磷酸盐 ($\text{PO}_4\text{-P}$) 和溶解无机氮浓度 (DIN) 水平对藻类生长速率的影响,为从营养盐角度控制该水域富营养化的发生提供参考。

1 材料和方法

1.1 主要仪器及试剂

仪器:ZDS—10 型照度计(中国,上海市嘉定学联仪表厂),奥林巴斯 CX41 系统显微镜(日本,奥林巴斯公司),MGC—300 型光照培养箱(中国,上海一恒),800 型低速离心机(中国,江苏正基),6010 紫外-可见分光光度计(中国,安捷伦上海分析)。

试剂: Na_2HPO_4 试剂、 NaNO_3 试剂、丙酮试剂及轻质碳酸镁悬浊液,所用试剂均为分析纯,水为二次蒸馏水。

1.2 不同氮、磷营养盐浓度下藻类生长试验

根据近年对大宁河 139 m 回水腹心区水体富营养化的研究^[6,7],发现该水域水体 DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 常见浓

度变化范围分别在 $30.41\sim 221.43\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.10\sim 0.95\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,均值分别在 $78.57\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.32\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右。2006 年 8 月 21 日,作者从大宁河 139 m 回水腹心区采集水样,测得其 DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度分别为 $78.51\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.26\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,落在该水域水体相应物质常见浓度变化范围之内且接近其浓度均值,故此水样具有一定的代表性。

环境因子对藻类生长影响的模拟实验研究表明,当控制水样温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、光照为 $8\ 000\text{ lx}$ 、DIN 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 物质的量浓度之比为 30:1 时适宜于 139 m 回水腹心区水体藻类的生长^[8]。本文取上述采集水样,用 $5\ 000\text{ mL}$ 大烧杯配置 9 组不同氮、磷营养盐浓度的培养液,在光照培养箱内进行藻类生长培养试验,控制水温为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、光照强度为 $8\ 000\text{ lx}$ 、光暗比 12:12,用 NaNO_3 、 Na_2HPO_4 及蒸馏水调节氮磷浓度大小,并保持氮、磷营养盐物质的量浓度比为 30:1(见表 1)。每天定时摇动 2 次,每个实验组设 3 个平行。

Table1 Concentrations of nitrogen and phosphorus nutrients of nine group experiments									
实验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_{\text{DIN}}/\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	6	12	24	48	96	180	360	720	1 440
$C_{\text{PO}_4\text{-P}}/\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.0	12.0	24.0	48.0

1.3 优势种观测及比生长率的计算

每 24 h,用吸移管吸取一定培养水样,用丙酮萃取分光光度法测定各组 Chla 浓度 (X),记录培养时间 (t),并记 Chla 最大浓度为 X_{max} ;当 Chla 浓度达最大时,按照浮游藻类现存量的测定方法测定藻类密度^[9],并将水样实验室内浓缩后经电子显微镜观察藻类优势种。

藻类生长状况以藻细胞在对数生长期的比生长率衡量,以消除加入蒸馏水等因素造成的藻类初始浓度变化对研究的影响。其计算公式如下^[10]:

$$\mu = (\ln X - \ln X_0) / (t - t_0) \tag{1}$$

式中: μ 为比生长率, X 、 X_0 分别为第 t 、 t_0 天 Chla 的浓度, t 、 t_0 为不同的培养天数。

1.4 最大比生长率和半饱和常数的计算^[11,12]

参考 Hanes—Woolf 方法将 Monod 方程式 $\mu_i = \mu_{\text{max}} C_i / (C_i + K_i)$ 整理为:

$$1/\mu_i = K_i / \mu_{\text{max}} \times 1/C_i + 1/\mu_{\text{max}} \tag{2}$$

式中: μ_i 为比生长率, μ_{max} 为在饱和氮、磷营养盐溶液中藻类最大比生长率, C_i 为溶液中氮、磷营养盐物质的量浓度; K_i 为半饱和常数,其值为 $\mu_i = \mu_{\text{max}}/2$ 时氮、磷

营养盐物质的量浓度, i 表示 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 DIN 。

以 $1/\mu_i$ 对 $1/C_i$ 作图, 通过最小二乘法求出方程 (2) 的斜率 $1/\mu_{\max}$ 和截距 $K_i/\mu_{\max}$, 斜率的倒数为 $\mu_{\max}$, 其与截距的乘积为半饱和常数 K_i [13, 14]。

1.5 139 m 回水腹心区藻类生长氮磷限制性作用系数 φ_i 的计算 [15]

根据近年大宁河 139 m 回水腹心区氮、磷营养盐浓度监测结果, 按式 (3) 计算该水域藻类生长氮、磷营养盐限制性作用系数 φ_{DIN} 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 的大致区间:

$$\varphi_i = \mu / \mu_{\max} = C_i / (C_i + K_i)$$

(3)

式中: φ_i 为氮、磷营养盐限制性作用系数, μ_i 为比生长率, $\mu_{\max}$ 为最大比生长率, C_i 为氮、磷营养盐物质的量浓度, K_i 为氮、磷营养盐的半饱和常数, i 为 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 。

2 结果与分析

2.1 优势藻种、细胞密度、Chla 最大含量 $X_{\max}$ 及比生长率 μ 值

表 2 列出了试验中 Chla 的最大含量 $X_{\max}$, 以及该条件下的优势种、细胞密度和比生长率 μ 。由表 2 可见, 9 组试验水样观测到的优势藻共 7 门 15 属 16 种; 随着水体氮、磷营养盐的增加, 藻类由清洁种类向耐污种类转化, 这反映了藻类群落受到水质影响而改变的一般规律。参考已有研究成果, 本文试验观测到的优势种与近年该水域水体富营养化时观测到的优势种基本一致 [16, 17]。

从表中也可以看出, 第 1 组试验由于氮、磷营养盐浓度不足, 藻类生长缓慢, 其细胞密度、 $X_{\max}$ 及 μ 值为 9 组中最小, 水体处于贫营养状态; 第 8 组试验氮、磷营养盐浓度充足, 藻类生长旺盛, 其细胞密度、 $X_{\max}$ 及 μ 值都为 9 组中最大, 水体处于严重富营养状态。从表中还可以看出, 随氮、磷营养盐浓度变化, 细胞密度、 $X_{\max}$ 及 μ 值有同向的增减趋势: 在较小浓度时, 细胞密度、 $X_{\max}$ 及 μ 值随氮、磷营养盐浓度增加以较快速度增大, 以后增幅逐渐减小; 当细胞密度、 $X_{\max}$ 及 μ 值达到最大后, 随氮、磷营养盐浓度增加, 细胞密

表 2 优势藻种、细胞密度、Chla 最大浓度 $X_{\max}$ 及比生长率 μ 值
Table 2 The dominant species, cell density, maximum concentrations of Chla ($X_{\max}$) and growth rate (μ)

序号	门	纲	种	细胞密度/个·L ⁻¹	$X_{\max}$ /mg·m ⁻³	μ
1	金藻 <i>Chrysophyta</i>	鱼鳞藻属 <i>Mallomonas</i>	具尾鱼鳞藻 <i>M.candata</i>	5×10 ⁶	6	0.43
	硅藻 <i>Bacillariophyta</i>	卵形藻属 <i>Cocconeis</i>	扁圆卵形藻 <i>C.placentula</i>			
2	硅藻 <i>Bacillariophyta</i>	卵形藻属 <i>Cocconeis</i>	扁圆卵形藻 <i>C.placentula</i>	11×10 ⁶	12	0.67
		羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>	弯羽纹藻 <i>P.gibba</i>			
3	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	栅藻属 <i>Scenedesmus</i>	四尾栅藻 <i>S.quadricauda</i>			
	甲藻 <i>Pyrrophyta</i>	角甲藻属 <i>Ceratium</i>	飞燕角甲藻 <i>C.hirundinella</i>	24×10 ⁶	30	0.84
	硅藻 <i>Bacillariophyta</i>	小环藻属 <i>Cyclotella</i>	梅尼小环藻 <i>C.meneghiniana</i>			
4	硅藻 <i>Bacillariophyta</i>	直链藻属 <i>Melosira</i>	具星小环藻 <i>C.stelligera</i>			
		星杆藻属 <i>Asterionella</i>	变异直链藻 <i>M.varians</i>	55×10 ⁶	68	0.96
	甲藻 <i>Pyrrophyta</i>	角甲藻属 <i>Ceratium</i>	美丽星杆藻 <i>A.formosa</i>			
	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	角甲藻属 <i>Ceratium</i>	飞燕角甲藻 <i>C.hirundinella</i>			
5	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	小球藻属 <i>Chlorella</i>	小球藻 <i>C.vulgaris</i>			
	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	栅藻属 <i>Scenedesmus</i>	四尾栅藻 <i>S.quadricauda</i>	97×10 ⁶	112	1.04
		小球藻属 <i>Chlorella</i>	小球藻 <i>C.vulgaris</i>			
6	蓝藻 <i>Cyanophyta</i>	微囊藻属 <i>Microcystis</i>	铜绿微囊藻 <i>M.aeruginosa</i>			
	蓝藻 <i>Cyanophyta</i>	微囊藻属 <i>Microcystis</i>	铜绿微囊藻 <i>M.aeruginosa</i>	110×10 ⁶	134	1.08
	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	栅藻属 <i>Scenedesmus</i>	四尾栅藻 <i>S.quadricauda</i>			
7	蓝藻 <i>Cyanophyta</i>	小球藻属 <i>Chlorella</i>	小球藻 <i>C.vulgaris</i>			
		微囊藻属 <i>Microcystis</i>	微囊藻属 <i>Microcystis</i>	114×10 ⁶	139	1.11
	颤藻属 <i>Oscillatoria</i>	巨颤藻 <i>O.prtnceps</i>				
8	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	栅藻属 <i>Scenedesmus</i>	四尾栅藻 <i>S.quadricauda</i>			
	蓝藻 <i>Cyanophyta</i>	颤藻属 <i>Oscillatoria</i>	巨颤藻 <i>O.prtnceps</i>	119×10 ⁶	143	1.13
		席藻属 <i>Phormidium</i>	纤细席藻 <i>P.tenue</i>			
9	绿藻 <i>Chlorophyta</i>	栅藻属 <i>Scenedesmus</i>	四尾栅藻 <i>S.quadricauda</i>			
	裸藻 <i>Phaeophyta</i>	裸藻属 <i>Euglena</i>	绿色裸藻 <i>E.viridis</i>	116×10 ⁶	140	1.12
		扁裸藻属 <i>Phacus</i>	敏捷扁裸藻 <i>P.agilis</i>			
	隐藻 <i>Cryptophyta</i>	隐藻属 <i>Cryptomonas</i>	卵形隐藻 <i>C.ovata</i>			

度、 $X_{\max}$ 及 μ 值缓慢减少。这说明,营养物质的增加是发生富营养化现象的重要物质基础,但并不是说浓度越高越好,引起富营养化的各种藻类都有其特定的合适营养浓度范围^[18]。研究发现,微囊藻水华出现常伴随有充盈的营养物,但其绝对需求量并不比其他藻高,有时甚至是较低营养盐时的优势种^[19]。

由于光照培养箱无法模拟影响藻类生长的水文条件如流速等,本试验研究的是稳态条件下氮、磷营养盐浓度对藻类生长率的影响。而黄程等^[20]对库区典型次级河流大宁河 139 m 回水区的研究发现,就整个监测断面(龙门大桥到大昌南门断面),流速变化对藻类生长有显著性影响,在高流速区,Chla 浓度明显高于低流速区;在其回水腹心区(银滩窝到紫阳桥断面),受回水顶托影响,水体处于准静止状态,各断面 Chla 相差不大且接近最大。因此,在相同营养盐及气候条件下,本试验观察到的藻类生长过程应该与大宁河 139 m 回水腹心区接近,也就是说,本试验的研究成果能近似反映该水域回水腹心区水体藻类的生长特征。

2.2 最大比生长率和氮、磷营养盐半饱和和常数

以 $1/\mu_{\text{DIN}}$ 对 $1/C_{\text{DIN}}$ 、 $1/\mu_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 对 $1/C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 作图,绘制标准曲线,见图 1、图 2。从图中可以看出: $1/C_{\text{DIN}}$ 在 $6 \sim 1440 \text{ L} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ 范围内与 $1/\mu_{\text{DIN}}$ 成正比,其一元线性回归方程为: $1/\mu_{\text{DIN}} = 7.44/C_{\text{DIN}} + 0.86$; $1/C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 在 $0.2 \sim 48.0 \text{ L} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ 范围内与 $1/\mu_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 成正比,其一元线性回归方程为: $1/\mu_{\text{PO}_4\text{-P}} = 0.25/C_{\text{PO}_4\text{-P}} + 0.86$ 。两回归方程的 R^2 (可决系数)都等于 0.995 8,由于试验的自由度也相同,故两回归方程线性的显著性一样。用 t 检验法检验得 $t_R = 20.3014$, $t_{0.01}(n-2) = 2.9980$,故 $t_R > t_{0.01}(n-2)$,即 $1/\mu_{\text{DIN}}$ 与 $1/C_{\text{DIN}}$ 、 $1/\mu_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 与 $1/C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 有显著的线性。

最大生长速率 ($\mu_{\max}$) 为当限制性底物浓度趋向无穷大时藻类的生长速率。半饱和常数 K 是最大生长率一半时培养液中营养盐的物质的量浓度,通常用来衡量生物物种对营养物质的亲和性。试验结果表明,两回归方程的斜率 ($1/\mu_{\max}$) 都为 0.86,斜率的倒数即最大比生长率 ($\mu_{\max}$) 都为 1.16 d^{-1} ,其与截距的乘积为氮磷的半饱和浓度,故 $K_{\text{DIN}} = 8.65 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $K_{\text{PO}_4\text{-P}} = 0.29 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。因此,藻类对磷的亲和性比氮好,使种群增值率达到 0.58 d^{-1} 即 ($\mu_{\max}/2$),所需的磷量比氮量明显要少。

不同藻种对同一物质也有不同的最大生长率 $\mu_{\max}$ 和半饱和常数 K ,它们是藻类在浮游植物群落间竞争能力和演替顺序的指标^[21]。通过比较 $\mu_{\max}$ 和 K 可以推

测营养限制条件下藻类竞争结果。如果 $\mu_{\max 1} = \mu_{\max 2}$, $K_1 < K_2$,两种藻在营养丰富的时候可以共同生长,互不占优势,但在营养短缺时,藻 1 可以迅速占优势;当 $\mu_{\max 1} > \mu_{\max 2}$, $K_1 > K_2$,则营养丰富时藻 1 占优势,而营养短缺时藻 2 将占优势。李铁等^[22]研究发现,新月菱形藻吸收磷酸盐的速率和 K 比中肋骨条藻高,因此在低磷酸盐浓度时受到的限制比新月菱形藻略高;在硝酸盐溶液中则相反。由表 2 可以看出,不同营养盐条件下,浮游植物的优势种不同。这是由于具有不同 $\mu_{\max}$ 和 K 的藻类在浮游植物群落间竞争,使得某些藻类在其适宜营养范围内逐渐演替成为优势的结果。

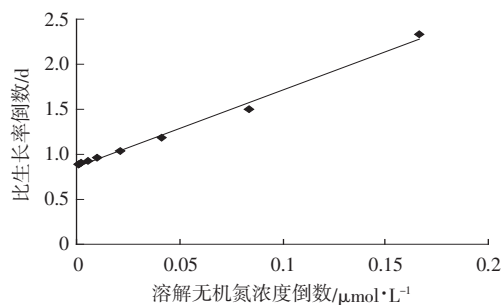


图 1 $1/\mu_{\text{DIN}}$ 和 $1/C_{\text{DIN}}$ 的关系

Figure 1 The relationship between $1/\mu_{\text{DIN}}$ and $1/C_{\text{DIN}}$

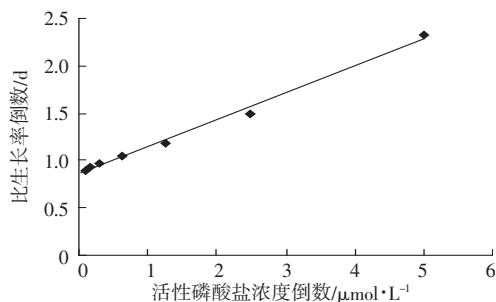


图 2 $1/\mu_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 和 $1/C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 的关系

Figure 2 The relationship between $1/\mu_{\text{PO}_4\text{-P}}$ and $1/C_{\text{PO}_4\text{-P}}$

2.3 139 m 回水腹心区藻类生长氮、磷营养盐限制性作用系数 φ_i

由 φ_i 的表达式可知, C_i 越大, φ_i 越大, μ_i 就越大,藻类生长越旺盛。因此,营养盐浓度是限制藻类生长的主要因素之一。将大宁河 139 m 回水腹心区近年监测到的氮磷常见浓度变化范围(参见 1.2 节)代入(3)式,计算出该水域的 φ_{DIN} 和 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 值。并分别以 φ_{DIN} 对 C_{DIN} 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 对 $C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 作图,见图 3、图 4。

从图中可以看出,在较小浓度时,随氮、磷营养盐浓度的增加, φ_{DIN} 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 增幅较大,以后逐渐变缓,这说明低浓度是藻类生长的敏感区,其微小变化对藻类生长都有明显促进或抑制作用; φ_{DIN} 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 常见变化范围

分别为0.78~0.96、0.26~0.77;氮、磷营养盐浓度取均值时, $\varphi_{\text{DIN}}=0.90$ 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}=0.52$ 。不论是氮、磷营养盐常见浓度变化范围,还是取其均值, $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 都小于 φ_{DIN} ,根据Liebig最小因子定律,磷为藻类生长的限制性因素,它的浓度变化将在一定程度上影响该水体富营养化发生的频率和程度。因此,控制氮磷特别是磷浓度应作为大宁河富营养化防治工作的重点。

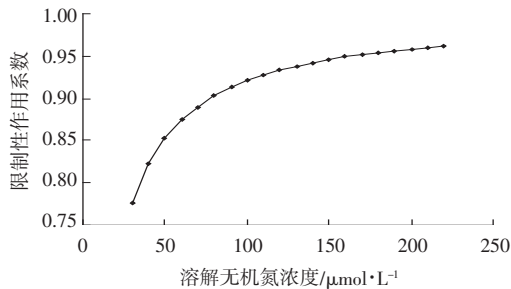


图3 C_{DIN} 对 φ_{DIN} 的影响

Figure 3 Effect of C_{DIN} on φ_{DIN}

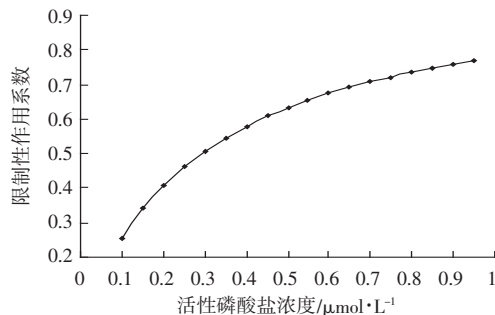


图4 $C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 对 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 的影响

Figure 4 Effect of $C_{\text{PO}_4\text{-P}}$ on $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$

3 结论

(1)随着水体氮、磷营养盐的增加,藻类由清洁种类向耐污种类转化;随氮、磷营养盐浓度变化,细胞密度、Chla最大含量 X_{max} 及比生长率 μ 有同向的增减趋势。

(2)藻类最大比生长率 $\mu_{\text{max}}=1.16 \text{ d}^{-1}$,氮、磷营养盐半饱和浓度 $K_{\text{DIN}}=8.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $K_{\text{PO}_4\text{-P}}=0.29 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,说明藻类对磷的亲合性比氮好。

(3)大宁河139 m回水腹心区 φ_{DIN} 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 常见变化范围分别为0.78~0.96、0.26~0.77;氮、磷营养盐浓度取均值时, $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}=0.90$ 、 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}=0.52$ 。 $\varphi_{\text{PO}_4\text{-P}}$ 小于 φ_{DIN} ,说明磷为该水域腹心区藻类生长的限制性因素,控制磷浓度应作为库区富营养化防治工作的重点。

(4)在相同营养盐及气候条件下,本试验的研究成果能近似的反映大宁河139 m回水腹心区体藻类的生长特征。要掌握该水域藻类的生长规律,尚需开展进一步的研究。

参考文献:

- [1] 郑炳辉. 三峡水库库区水体营养状态评价技术研究[M]. 北京: 国家环保总局, 2005. 65-89.
- [2] 中国科学院, 世界自然基金会, 长江水利委员会. 长江保护与发展报告2007[R]. 湖北: 长江出版社, 2007. 1-80.
- [3] 国家环保总局科技标准司. 中国湖泊富营养化及其防治研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 1-139.
- [4] 况琪军, 周广杰, 胡征宇. 三峡库区藻类种群结构与密度变化及其与氮磷浓度的相关性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16 (2): 235.
- [5] 曾辉. 长江和三峡库区浮游植物季节变动及其与营养盐和水文条件关系研究[D]. 湖北: 中国科学院水生生物研究所, 2006. 88-104.
- [6] 钟成华. 三峡库区水体富营养化研究[D]. 四川: 四川大学, 2004. 50-82.
- [7] 兰锋. 三峡库区富营养化趋势分析[D]. 重庆: 西南师范大学, 2004. 19-27.
- [8] 辛治国. 三峡水库富营养化限制条件及发展趋势综述[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007. 198-208.
- [9] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 5-80.
- [10] 王艳, 唐海溶, 蒋磊, 等. 硝酸盐对球形棕囊藻生长和硝酸还原酶活性的影响[J]. 植物学通报, 2006, 23 (2): 138-144.
- [11] Monod J. La technique de culture continue: theorie et applications[J]. Ann Inst Pasteur (Paris), 1950, 79: 390-401.
- [12] Fogg G E, Thake B. Algal cultures and phytoplankton ecology[M]. Madison: The University of Wisconsin Press, 1987. 57-80.
- [13] 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[J]. 环境科学学报, 2000, 20 (3): 49-354.
- [14] Holm H P, Armstrong D E. Role of nutrient limitation and competition in the population of Asteriella formosa and Microcystis aeruginosa in semicontinuous culture[J]. Limnol Oceanogr, 1981, 26: 622-534.
- [15] 孙颖颖, 王长海. 球等鞭藻的生长速率与培养液中营养盐的关系研究[J]. 海洋科学, 2006, 30 (1): 78-83.
- [16] 中国环境监测总站. 长江三峡生态与环境监测公报[Z]. 北京: 国家环保总局, 2006. 24.
- [17] 王德蕊. 三峡水库139 m蓄水后大宁河回水段水体富营养化研究[D]. 重庆: 西南师范大学, 2005. 13-38.
- [18] Steinberg C W, Hartmann H. Planktonic bloom-forming Cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers[J]. Freshwater Biology, 1988, 20: 279-287.
- [19] Reynolds C, Walsby S. Water-blooms[J]. Boil Rev, 1975, 50: 437-481.
- [20] 黄程, 钟成华, 邓春光. 三峡水库蓄水初期大宁河回水区流速与藻类生长关系的初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25 (2): 453-457.
- [21] Garside C, Glover H E. Chemiluminescent measurement of nitrate kinetics [J]. Rea, 1991, 13 (suppl): 5-19.
- [22] 李铁, 史致丽, 仇赤斌. 中肋骨条藻和新月菱形藻对营养盐的吸收速率及环境因素影响的研究[J]. 海洋与湖泊, 1999, 30 (6): 639-644.