文章编号: 1004-8227(2010)03-0292-07

淀山湖浮游植物营养限制因子的研究

吴雪峰[1,2], 程 曦[2], 李小平[2*]
(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘 要: 通过藻类增长的生物学评价(Nutrient Enrichment Bioassay)研究淀山湖浮游植物生长限制性因子, 并采用析因方差分析和事后比较方法分析营养盐(PO_4^{3-}-P、NH_3-N、NO_3^--N)对浮游植物生长速度、平均最大现存量和平均最大特定增长率的影响。研究表明: 磷对浮游植物生长有明显的促进作用, 能提高浮游植物的生长速度和现存量, 且促进作用随磷浓度(0.13~0.53 mg/L)的增加而加强, 磷是淀山湖浮游植物增长的第一限制性因子; 低浓度硝氮(2.91~5.91 mg/L)对浮游植物生长有微小的促进作用, 但高浓度(5.91~8.91 mg/L)的硝氮表现出抑制作用; 氨氮对浮游植物生长有抑制作用, 并随浓度(1.25~7.25 mg/L)的增加而增大; 添加磷+硝氮能明显促进浮游植物生长, 磷与硝氮之间存在一定的交互作用。

关键词: 藻类增长的生物学评价; 营养物限制; 浮游植物; 淀山湖
文献标识码: A

淀山湖是上海市唯一的淡水湖泊, 也是黄浦江上游的主要水源保护区和主要供水水源地之一。随着氮磷等在湖体中大量聚集, 淀山湖水质严重恶化, 部分区域水质劣于地表水Ⅴ类水质标准, 达不到水源保护地的水质要求①, 已经由中度富营养化转化为重度富营养化; 淀山湖湖体内藻类种类数也呈下降趋势, 生物多样性减少, 正逐步向以绿藻-蓝藻为主的群落结构演替[1]。自1985年第一次大规模藻类水华爆发以来, 以后每年都有不同程度的水华爆发。这严重威胁淀山湖生态系统的健康发展和水体的使用功能。

藻类增长的生物学评价(Nutrient Enrichment Bioassay)是一种有效检测浮游植物营养物限制的主要研究方法[2,3], 能找出水体中浮游植物增长限制性营养元素, 其结果为制定湖泊富营养化治理措施提供有效科学依据。其原理根据李比西"最低因子"定律, 增加植物生长所需要的、而存在量最低物质时会促进植物的生长或生长潜力, 则该种物质成为生长的刺激因子或生长刺激物[4,5]。与藻类增长潜力测试[6~10]的区别是不需培养水样进行灭菌、过滤和添加藻种等处理, 而是直接利用水体中原始的生态群落进行培养。因此, 藻类增长的生物学评价比藻类增长潜力测试更切实际的反映含不同时期生物群落的水体在加富营养盐后对浮游植物增长的影响。本文通过藻类增长的生物学评价确定淀山湖浮游植物增长潜力限制性营养元素。

1 试验方法

1.1 水样采集

淀山湖又名薛淀湖, 属太湖流域, 是上海最大的淡水湖泊, 位于江苏、浙江和上海两省一市交界处, 31°04′~31°12′ N, 120°54′~121°01′ E, 流域面积445.9 km^2, 湖泊面积为62 km^2, 南北长18 km, 东西宽9 km, 平均水深2.1 m, 属于受潮汐影响的吞吐性浅水湖泊, 水位和水量不仅受上游来水影响, 而且与黄浦江潮位的变化有关, 水流速度仅为0.03 m/s, 换水周期仅29 d左右。淀山湖还具有航运、养殖、灌溉、旅游、调蓄洪涝等多种功能。

淀山湖属亚热带季风气候, 四季分明, 日光充足, 年日照时数2 071.1 h; 雨量充沛, 年均降水量1 037.7 mm, 全年无霜期达235 d; 气候温和, 年均气温15.5 ℃, 最热月(7月份)平均气温27.9 ℃, 最冷月(1月份)平均气温2.9 ℃。气象条件对藻类生长有利。

收稿日期: 2009-03-13; 修回日期: 2009-05-17
基金项目: 上海市环保局科研项目((沪环科)08-23)
作者简介: 吴雪峰(1985~), 上海市人, 硕士研究生, 主要从事湖泊富营养化研究. E-mail: xuefengwuhp@hotmail.com
* 通讯作者 E-mail: lixp_2008@hotmail.com
①上海市环境质量报告书(1991~2007). 上海: 上海市环境保护局.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本次试验分别于 2008 年 10 月 28 日、2008 年 11 月 18 日和 2008 年 11 月 26 日在淀山湖四号航标(淀山湖上海管辖湖区的湖心位置) 处, 采集表层水 70 L 作为试验一、二、三的试验水样, 淀山湖地理区位和采样点位如图 1 所示。每次采集水样后测定 TN(GB/T 11894- 89)、NH_3-N(GB/T 7479- 87)、NO_3^--N(HJ/T 346- 2007)、TP(GB/T 11893- 89)、PO_4^{3-}-P(GB/T 11893- 89)、叶绿素 a[11] 等指标, 其数值如表 1 所示。

表 1　试验水样中营养物和叶绿素 a 的含量

Tab. 1　Concentration of Nutrient and Chla in the Experimental Zone

指标	TN(mg/L)	TP(mg/L)	NH_3-N(mg/L)	NO_3^--N(mg/L)	PO_4^{3-}-P(mg/L)	叶绿素 a(mg/m^3)
试验一	3.89	0.13	1.25	2.41	0.064	12.17
试验二	2.91	0.23	1.49	1.45	0.024	12.51
试验三	3.72	0.14	1.13	2.34	0.058	11.34

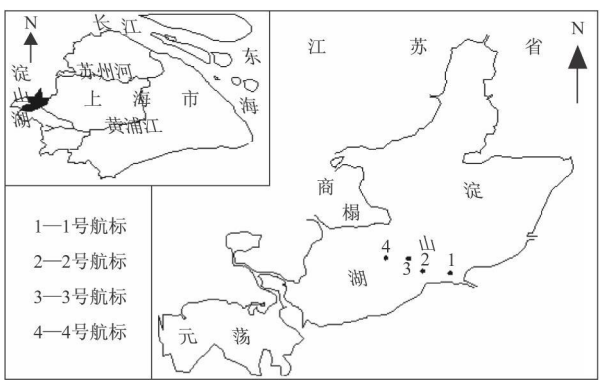

图 1　淀山湖地理区位和采样点位示意图

Fig. 1　Sampling Sites Distribution of Dianshan Lake

1.2　营养盐添加方案

本次试验主要研究营养元素氮、磷对淀山湖浮游植物增长潜力的影响, 找出浮游植物增长限制性营养元素。试验水样通过添加不同浓度的氮、磷, 并以不添加营养盐的原水样为对照, 进行培养、观察、测量、记录及统计分析。

试验分 3 次进行, 试验一是初步判断不同营养盐(PO_4^{3-}-P、NH_3-N、NO_3^--N) 不同水平对浮游植物增长潜力的影响, 按营养物水平(氮 3.0 mg/L、磷 0.1 mg/L) 的 1、2、4 倍添加 PO_4^{3-}-P、NH_3-N、NO_3^--N 以及 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 作为营养物添加水平。试验二是精确地判断不同营养盐不同水平对浮游植物增长潜力的影响, 按营养物水平(氮 3.0 mg/L、磷 0.15 mg/L) 的 0.5、1.0、1.5、2.0 倍添加 PO_4^{3-}-P、NH_3-N、NO_3^--N 以及 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 作为培养的营养物水平。试验三是在试验一和试验二的基础上重复了试验二 PO_4^{3-}-P、NO_3^--N 部分的试验, 具体添加方案如表 2 所示。试验选用磷酸二氢钾(KH_2PO_4)、硝酸钾(KNO_3)、氯化铵(NH_4Cl) 作为添加营养盐。

表 2　NEB 试验营养盐添加方案*

Tab. 2　Nutrient Adding Method of NEB Test

营养盐	PO_4^{3-}-P	NH_3-N	NO_3^--N	PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N
试验一	1.0、2.0、4.0	1.0、2.0、4.0	1.0、2.0、4.0	1.0、2.0、4.0
试验二	0.5、1.0、1.5、2.0	0.5、1.0、1.5、2.0	0.5、1.0、1.5、2.0	0.5、1.0、1.5、2.0
试验三	0.5、1.0、1.5、2.0	0.5、1.0、1.5、2.0	——	——

注: *　表中的数字为营养物水平的倍数.

1.3　试验条件

日光灯光源, 光照强度 4 000 Lx; 光暗时间比 14∶10; 温度 25 ℃; 供试样品在人工气候室中培养一个生长周期。

1.4　试验步骤

考虑到悬浮体中的营养盐可以通过各种作用释放出来, 水样不经过滤, 不添加藻种, 直接量取 1 L 水样分装到 1 L 锥形瓶中在实验条件下培养, 每个营养水平平行 3 个样, 从第二天开始每天取 100 mL 水样并在小于 5 kPa 压力下用玻璃纤维滤膜过滤浓缩水样, 用 90% 的丙酮萃取叶绿素 a, 确保萃取完全的前提下不超过 24 h, 萃取液在 4 000 r/min 下离心 10 mins 后用实验室多功能荧光计(Instrument: Trilogy Laboratory Fluorometer; Part Number: 7200- 000; Corporation: Turner Designs) 测量叶绿素 a、脱镁叶绿素及其对应的荧光值[9]。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

数据处理中为了能够消除不同时期原湖水带来的差异,采用相对比较系数方法来表达添加营养物对浮游植物增长的影响[1, 12~ 14],即:

$$比较系数_{某营养条件} = \left(\frac{叶绿素\ a_{某营养条件}}{叶绿素\ a_{control}} - 1\right) \times 100\%$$

进一步应用多因素多水平方差分析法及 Dunnetts' s test 事后两两比较法[15, 16] 分析 NEB 试验的叶绿素 a(置信水平 $p < 0.05$),得出营养盐添加效果及交互作用的显著性和营养添加组与空白组之间的显著性。最后求出各营养水平平均最大增长速率($\bar{u}_{max}$)和平均最大现存量($\bar{x}_{max}$)[5]。

2 结果与讨论

2.1 原水中限制性因子分析

各试验不同营养条件与原湖水(Control)条件下叶绿素 a 的比较结果分别如图 2 所示,其中原湖水(Control)的试验结果均表达为 0%[17, 18]。各试验通过三因素析因设计方差分析和各营养盐添加水平与 Control 进行 Dunnetts' s test 事后两两比较结果如表 3 和表 4 所示。

从图 2 可以看出添加 PO_4^{3-}-P 后生物量都比 Control 要高 50%以上,最大生物量超过 Control 的 1 倍多,生物量(试验一和试验二)随添加 PO_4^{3-}-P 浓度增大而升高,表 3 表明添加 PO_4^{3-}-P 对浮游植物生长的主效应显著(Sig. 值分别为 0.000、0.000 和 0.008),表 4 进一步用每个 PO_4^{3-}-P 添加水平与 Control 进行 Dunnett 事后两两比较分析(表 4)得出大部分添加 PO_4^{3-}-P 水平与 Control 之间在 0.05 的水平上差异显著,且试验一和试验二随添加 PO_4^{3-}-P 浓度增加显著性增强;添加 NH_3-N 后生物量低于 Control,表现出抑制作用,但试验二有部分生物量略微高于 Control,可能原因是试验二采样时涨潮所采集水样差异造成的,添加 NH_3-N 对浮游植物生长的主效应不显著(Sig. 值分别为 0.876 和 0.178),事后两两比较分析结果也显示添加 NH_3-N

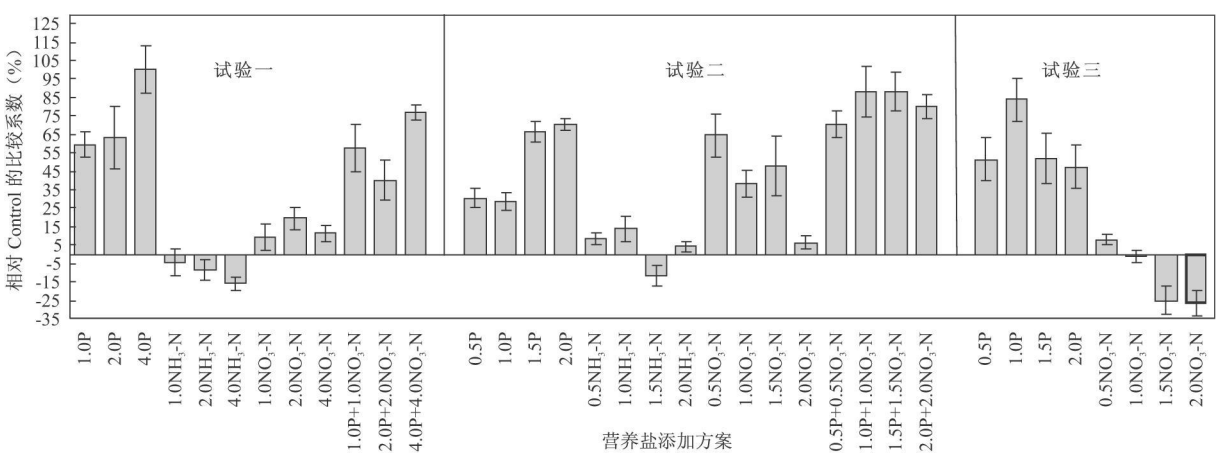

图 2 NEB 试验分析

Fig. 2 Analysis of NEB Test

表 3 NEB 试验结果方差分析(平均叶绿素 a)

Tab. 3 Analysis of Variance for the NEB Test: Chla

试验	分析项目	方差 *SS*	自由度 *df*	均方 *MS*	统计量 *F*	*P* 值 Sig
试验一	PO_4^{3-}-P	1 344.564	3	448.188	14.589	0.000
	NH_3-N	20.968	3	6.989	0.228	0.876
	NO_3^--N	76.542	3	25.514	0.830	0.489
	PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N	169.669	3	56.556	1.841	0.165
试验二	PO_4^{3-}-P	4 529.306	4	1 132.327	25.031	0.000
	NH_3-N	303.145	4	75.786	1.675	0.178
	NO_3^--N	3 384.648	4	846.162	18.705	0.000
	PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N	301.094	4	75.274	1.664	0.181
实验三	PO_4^{3-}-P	1 515.947	4	378.987	4.773	0.008
	NO_3^--N	427.279	4	106.820	1.345	0.292

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4　NEB 试验结果 Dunnetts' s test 分析(平均叶绿素 a)*

Tab. 4　Analysis of Dunnetts' s Test for the NEB Test: Chla

试验	分析项目	与 Control 的平均差	Sig.
试验一	1 PO_4^{3-}-P	15.732	0.016
	2 PO_4^{3-}-P	15.227	0.021
	4 PO_4^{3-}-P	25.369	0.000
	4PO_4^{3-}-P+ 4NO_3^--N	17.704	0.006
试验二	1.5PO_4^{3-}-P	30.368	0.00
	2.0PO_4^{3-}-P	31.836	0.00
	0.5NO_3^--N	29.227	0.00
	1.0NO_3^--N	16.813	0.045
	1.5NO_3^--N	20.664	0.008
	0.5PO_4^{3-}-P+ 0.5NO_3^--N	36.233	0.000
	1.0PO_4^{3-}-P+ 1.0NO_3^--N	37.553	0.000
	1.5PO_4^{3-}-P+ 1.5NO_3^--N	37.849	0.000
	2.0PO_4^{3-}-P+ 2.0NO_3^--N	32.990	0.000
实验三	1.0PO_4^{3-}-P	31.435	0.003

* 表中仅列出试验中与 Ccontrol 有显著差别的项目.

与 Control 之间在 0.05 的水平上没有显著性差异; 添加低浓度的 NO_3^--N 后生物量略大于 Control, 而高浓度的 NO_3^--N 表现出抑制作用, 从表 3 中得出试验一和试验三添加 NO_3^--N 对浮游植物生长的主效应不显著(Sig. 值分别为 0.489 和 0.292), Dunnetts' s test 事后两两比较分析结果显示试验一和试验三在 0.05 的水平上没有显著性差异, 但试验二由于水样的差异都出现了显著的促进作用; 添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 后生物量比 Control 都要高 50% 以上, 最大生物量超出 Control 90%, 从表 3 中析因设计方差分析结果可以看出 PO_4^{3-}-P 与 NO_3^--N 的交互作用在 0.05 水平上不显著(Sig. 值分别为 0.165 和 0.181), 进一步用 Dunnetts' s test 事后两两比较分析得出试验一 4PO_4^{3-}-P+ 4NO_3^--N 和试验二全部水平与 Control 之间在 0.05 的水平上差异显著。

因此, 磷对淀山湖浮游植物增长生长有促进作用, 且随 P 浓度的增加而加强, 成为浮游植物增长第一限制性营养元素; 低浓度硝氮对浮游植物生长有微小的促进作用, 但高浓度的硝氮表现出抑制作用; 氨氮对浮游植物生长有抑制作用, 并随浓度的增加而增大; 添加磷+ 硝氮能够显著增加生物量, 磷与硝氮之间存在一定的交互作用。这与程曦等在 1997~ 2004 年研究[1]结果有所不同, 说明淀山湖浮游植物增长限制性营养元素有所改变。

2.2　添加营养盐对浮游植物生长的影响

从图 3 中可以看出在整个生长周期中添加 P 的生物量都要大于不添加任何营养盐的 Control 生物量, 培养 1~ 2 d, 浮游植物的增长速度与 Control 相差不大, 从第三天开始添加各浓度 P 的生长速度变大, 且生物量维持在较高水平并持续较长时间; 添加 NO_3^--N 后初期浮游植物的增长速度明显大于 Control, 且第二天生物量都要高于 Control, 随着培养时间的推移添加 NO_3^--N 的生物量迅速下降, 有部分甚至从第二天就开始下降并从此以后低于 Control。从图中可以明显看出低浓度的 NO_3^--N 叶绿素 a 含量比 Control 要高, 而大部分高浓度的 NO_3^--N 生物量比 Control 要低; 在添加 NH_3-N 前 3 d 中浮游植物生长速度和含量与 Control 没有区别, 从第三天开始添加 NH_3-N 浮游植物增长速度小于 Control, 生物量除试验二 1.5NH_3-N 外都要低于 Control, 而且浮游植物比 Control 更早的进入衰退期; 添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 对藻生长有明显促进作用, 除试验一第四天外在整个生长周期中添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 的生物量都高于 Control, 且能长时间维持在较高水平。

因此, 添加 P 及 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 能显著增加浮游植物生长速度, 但添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 与单独添加 P 相比浮游植物的生长速度和含量都相差不大; NO_3^--N 在培养初期对浮游植物生长速度有明显促进作用, 但随着培养时间的增加表现出抑制作用; NH_3-N 在生长初期对浮游植物的影响不大, 在生长后期表现出强烈的抑制作用。

2.3　营养盐对浮游植物生长平均最大现存量和平均最大特定增长率的影响

添加不同种类和不同水平营养盐试验组叶绿素 a 平均最大现存量和平均最大特定增长率如表 5 所示。从表中可以看出添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 和单独添加 PO_4^{3-}-P 的平均最大现存量远大于添加其他营养盐组和 Control, 0.5PO_4^{3-}-P+ 0.5NO_3^--N 的平均最大现存量最大(为 146.87μg/L); 除试验三高浓度水平外单独添加 NO_3^--N 组平均最大现存量都稍大于 Control, 且有随浓度增大而降低的趋势; 单独添加 NH_3-N 的平均最大现存量大部分都要小于 Control。因此, PO_4^{3-}-P 能显著的提高浮游植物的现存量; NO_3^--N 也有一定的作用, 但随浓度的增大作用减弱, 高浓度还有抑制作用; NH_3-N 对浮游植物生长有抑制作用。

添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N、PO_4^{3-}-P 和 NO_3^--N 的平均最大特定增长速率都大于 Control, 添加 PO_4^{3-}-P+ NO_3^--N 和 PO_4^{3-}-P 的平均特定最大增长率都要大于添加其他营养盐组, 有部分组别平均最大增长

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

率甚至大于 1; 只有单独添加 NH_3-N 的部分组别小于 Control。因此, PO_4^{3-}-P 和 NO_3^--N 对浮游植物的生长速度都有促进作用, 但 PO_4^{3-}-P 的作用要远大于 NO_3^--N, 成为浮游植物生长速度主要限制因子; NH_3-N 对浮游植物生长速度有抑制作用。

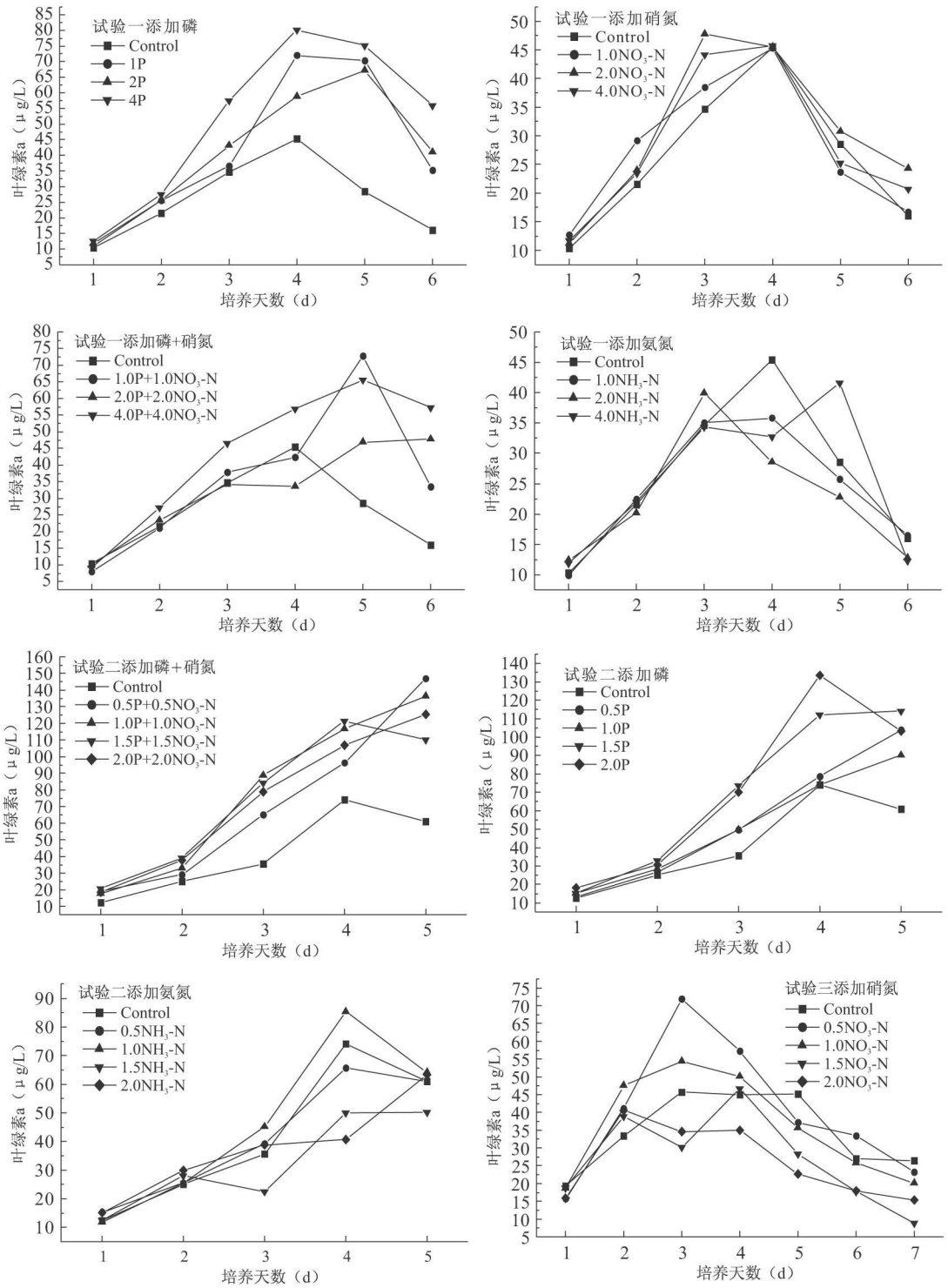

图 3 NEB 试验浮游植物增长曲线

Fig. 3 Phytoplankton Growth Curves of the NEB Test

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 5　试验平均最大现存量和平均最大特定增长率(单位: $\bar{x}_{max}$(mg/L)、$\bar{u}_{max}$(d^{-}))

Tab. 5　Average Maximum Standing Crop and Specific Growth Rate of NEB Test

试验一			试验二			实验三		
营养盐	$\bar{x}_{max}$	$\bar{u}_{max}$	营养盐	$\bar{x}_{max}$	$\bar{u}_{max}$	营养盐	$\bar{x}_{max}$	$\bar{u}_{max}$
Control	41.91	0.73	Control	75.67	0.78	Control	47.62	0.54
$1PO_4^{3-}$-P	72.39	1.46	$0.5PO_4^{3-}$-P	108.79	0.88	$0.5PO_4^{3-}$-P	85.43	1.02
$2PO_4^{3-}$-P	79.54	0.85	$1.0PO_4^{3-}$-P	93.24	0.87	$1.0PO_4^{3-}$-P	115.75	1.00
$4PO_4^{3-}$-P	99.25	1.01	$1.5PO_4^{3-}$-P	120.57	0.93	$1.5PO_4^{3-}$-P	76.72	0.88
$1NH_3$-N	37.99	0.82	$2.0PO_4^{3-}$-P	133.43	1.19	$2.0PO_4^{3-}$-P	81.52	0.96
$2NH_3$-N	39.91	0.96	$0.5NH_3$-N	68.45	0.56	$0.5NO_3^{-}$-N	71.83	0.95
$4NH_3$-N	59.25	0.78	$1.0NH_3$-N	85.30	0.91	$1.0NO_3^{-}$-N	56.46	0.92
$1NO_3^{-}$-N	45.31	0.83	$1.5NH_3$-N	51.80	0.80	$1.5NO_3^{-}$-N	46.64	0.73
$2NO_3^{-}$-N	51.22	0.94	$2.0NH_3$-N	63.31	0.68	$2.0NO_3^{-}$-N	42.77	0.97
$4NO_3^{-}$-N	46.47	0.87	$0.5NO_3^{-}$-N	115.49	0.91	$0.5PO_4^{3-}$-P+ $0.5NO_3^{-}$-N	146.87	1.09
$1PO_4^{3-}$-P+ $1NO_3^{-}$-N	72.72	1.03	$1.0NO_3^{-}$-N	94.38	0.88	$1.0PO_4^{3-}$-P+ $1.0NO_3^{-}$-N	136.17	0.94
$2PO_4^{3-}$-P+ $2NO_3^{-}$-N	54.43	0.89	$1.5NO_3^{-}$-N	111.37	0.92	$1.5PO_4^{3-}$-P+ $1.5NO_3^{-}$-N	125.74	0.79
$4PO_4^{3-}$-P+ $4NO_3^{-}$-N	65.71	1.11	$2.0NO_3^{-}$-N	72.94	0.71	$2.0PO_4^{3-}$-P+ $2.0NO_3^{-}$-N	139.64	0.91

3　结论

通过 NEB 试验表明: 磷对浮游植物生长有明显的促进作用, 能提高浮游植物的生长速度和提高其现存量, 且促进作用随磷浓度的增加而加强, 磷是淀山湖浮游植物增长的第一限制性因子; 硝氮表现出双重作用: 低浓度硝氮对浮游植物生长有微小的促进作用, 在培养初期能提高浮游植物生长速度和现存量, 高浓度的硝氮表现出抑制作用; 氨氮对浮游植物生长有抑制作用, 并随浓度的增加而增大; 添加磷 + 硝氮能明显促进浮游植物生长, 磷与硝氮之间存在一定的交互作用。

参考文献:

[1] 程　曦, 李小平. 淀山湖氮磷营养物 20 年变化及其藻类增长响应[J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 409~ 419.

[2] GOLDMAN C R, JASSBY A D, HACKLEY S H. Decadal, interannual, and seasonal variability in enrichment bioassay at Lake Tahoe, California-Nevada, USA[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1993, 50: 1 489~ 1 496.

[3] JONES J R, LAPERRIERE J D, PERKINS B D. Limnology of Walker Lake and comparisons with other lakes in the Brooks Range, Alaska (USA)[J]. Verh Internal Verein Limnol, 1990, 24: 302~ 308.

[4] DODDS W K, JOHNSON K R, PRISCU J C. Simultaneous nitrogen and phosphorus deficiency in natural phytoplankton assemblages: Theory, empirical evidence, and implications for lake management[J]. Lake and Reserv Manage, 1989, 5: 21~ 26.

[5] 金相灿. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 275~ 285.

[6] MAESTRINI S Y, BRERET M, BERLAND B R, et al. Nutrients limiting the algal growth potential (AGP) in the Po River Plume and an adjacent area, Northweat Adriatic Sea: Enrichment bioassays with the test algae Nitzschia closterium and Thalassiosira pseudonana[J]. Estuaries, 1997, 20(2): 416~ 429.

[7] MOSER G A O, SIGAUD-KUTNER T C S, CATTENA C O, et al. Algal growth potential as an indicator of eutrophication degree in coastal areas under sewage disposal influence[J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 2004, 7: 115~ 126.

[8] 赵　斌. 外源添加营养对安徽太平湖水库藻类增殖影响的研究[J]. 湖泊科学, 1996, 8(2): 125~ 132.

[9] 王　霞, 吕宪国, 张学林, 等. 松花湖富营养化现状及其影响因素分析[J]. 湿地科学, 2004, 2(4): 273~ 278.

[10] 吴　洁, 钱天鸣. 西湖叶绿素 a 周年动态变化及藻类增长潜力试验[J]. 湖泊科学, 2001, 13(2): 143~ 148.

[11] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测方法(第 4 版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[12] ARAR E J, COLLINS G B. In Vitro determination of chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence (Method 445. 0)[R]. National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, 1997.

[13] GOLDMAN C R, WETZEL R G. A study of the primary productivity of Clear Lake, Lake County[J]. California. Ecology, 1963, 44(2): 283~ 294.

[14] HORNE A J, GOLDMAN C R. Nitrogen fixation in Clear Lake, California. 1. Seasonal variation and the role of the heterocysts[J]. Limnol Oceanogr, 1972, 17(5): 678~ 692.

[15] 丁国盛, 李　涛. SPSS 统计教程——从研究设计到数据分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 197~ 233.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[16] 宇传华. SPSS 与统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 515~ 525.

[17] TAYLOR M F, CLARK W J, HO L. Nutrient availability and the algal growth potential (AGP) in a small microcosm[J]. Wat Res, 1990, 24(4): 529~ 532.

[18] TAYLOR M F, CLARK W J. Variability in algal growth potential and related parameters in four central Texas ponds [J]. The Texas Journal of Science, 1991, 43(2): 133~ 148.

NUTRIENT LIMITATION OF PHYTOPLANKTON IN DIANSHAN LAKE

WU Xue-feng[1,2], CHENG Xi[2], LI Xiao-ping[2]

(1. School of Environment Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. Shanghai Academy of Environment Science, Shanghai 200233, China)

Abstract: This paper studied the restrictive factors which affect the growth of phytoplankton in Dianshan Lake through the Nutrient Enrichment Bioassay, combining by two analysis methods including factorial analysis of variance and post-comparison analysis. The growth rate and the maximum average stock as well as the maximum average growth rate were affected by the nutrients including PO_4^{3-}-P、NH_3-N、NO_3^--N. The results show that the concentration of PO_4^{3-}-P could promote the growth of algae and increase the growth rate and standing stock. With the increase of PO_4^{3-}-P concentration(0.13 ~ 0.53 mg/L), the promotion could be enhanced, PO_4^{3-}-P was regarded as the first restrictive factors in Dianshan Lake; The promotion to algae of NO_3^--N in low concentration(2.91~ 5.91 mg/L) was small, while inhibition effects could be displayed in higher concentration(5.91~ 8.91 mg/L); NH_3-N could inhibit the growth of algae and the inhibition effect is enhanced with the increase of concentration(1.25~ 7.25 mg/L). In addition, the combination of PO_4^{3-}-P and NO_3^--N could promote the growth of algae significantly, suggesting that the interaction effect exists between PO_4^{3-}-P and NO_3^--N.

Key words: nutrient enrichment bioassay; nutrient limitation; Phytoplankton; Dianshan Lake

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net