

不同氮源和曝气方式对淡水藻类生长的影响

刘春光¹, 金相灿², 孙凌¹, 孙红文¹, 朱琳¹, 于洋^{1,3}, 戴树桂¹, 庄源益¹

(1. 南开大学环境科学与工程学院天津市生态环境修复与污染防治重点实验室, 天津 300071; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要:利用水族箱微宇宙研究了 2 种氮源水体中不同曝气条件对藻类生长的影响. 试验使用铵态氮(NH_4^+-N)和硝态氮(NO_3^--N)作为氮源, 每种氮源水体分别设置不曝气、连续曝气、昼间曝气和夜间曝气 4 个处理. 结果显示: 试验初期以 NH_4^+-N 为主要氮源的水体中藻类生长明显好于以 NO_3^--N 为主要氮源的水体. 试验后期则以 NO_3^--N 为主要氮源的藻类生长情况更好. 连续曝气对于 2 种氮源水体中藻类生长有着不同的影响; 昼间曝气对 2 种氮源的藻类生长影响不大; 而夜间曝气对藻类生长有明显的抑制作用. NH_4^+-N 含量较高的水体中蓝藻容易成为优势种, 而 NO_3^--N 含量高的水体中则以绿藻为主. 不同曝气条件下藻类优势种没有明显差别.

关键词: 氮源; 曝气方式; 藻类; 叶绿素; 优势种

中图分类号: X17 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)01-0101-04

Effects of Nitrogen Source and Aeration Mode on Algae Growth in Freshwater

LIU Chun-guang¹, JIN Xiang-can², SUN Ling¹, SUN Hong-wen¹, ZHU Lin¹, YU Yang^{1,3}, Dai Shu-gui¹, ZHUANG Yuan-yi¹

(1. Tianjin Key Laboratory of Environmental Remediation & Pollution Control, College of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. College of Environmental Science & Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Aquarium microcosms were used to study the effects of nitrogen source and aeration mode on the growth and species changes of algae in freshwater. Nitrate nitrogen(NO_3^--N) and ammonia nitrogen(NH_4^+-N) were used as nitrogen sources. For each nitrogen source, four modes of aeration were selected, including control, continuous aeration, aeration during the day, and aeration at night. In the early stage of the experiment, algae in the NH_4^+-N treatment experiment grew well. In the later stage, algae in the NO_3^--N treatment experiment grew better. For different aeration modes, continuous aeration showed varied effects on algae growth in the two nitrogen source treatments. Day-only aeration had little effect on algae growth. Night-only aeration inhibited algae growth considerably. In NH_4^+-N treatments, cyanophyta became dominant species easily. In contrast, chlorophyta dominated in NO_3^--N treatments.

Key words: nitrogen sources; aeration patterns; algae; chlorophyll; dominant species

景观水体已经成为现代城市的一个重要组成部分, 然而由于水源中常常含有较高水平的营养物质, 不少城市景观水体富营养化现象已经十分严重. 为了观赏需要, 不少景观湖泊建造了大型喷泉, 它们在不同程度上对水体进行了曝气. 以往研究者曾经对曝气与自然水体中污染物质的去除进行过不少研究^[1,2]. 但是不同的曝气方式对藻类生长有何影响, 目前还鲜见报道.

N 是藻类生长的必需元素. 一般来说, 藻类只吸收利用无机态氮, 主要有 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 和 NO_2^--N . 由于 NO_2^--N 在自然水体中含量很少, 因此 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 是藻类利用的主要形态. 不少研究证实, 藻类优先利用 NH_4^+-N , 而且 NH_4^+-N 的存在还会抑制 NO_3^--N 的吸收^[3,4]. 但是对于同一水体, 这 2 种形态的氮对浮游植物组成的影响报道

不多.

本研究以城市小型人工湖湖水为研究对象, 利用水族箱微宇宙研究了 2 种氮源水体中不同曝气条件对藻类生长的影响, 以期能够为富营养化水体藻类的控制提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 培养设备

采用 50 cm × 25 cm × 40 cm 水族箱, 上置 40 W 日光灯 6 只, 水面照度 14 000 lx. 试验用水取自南开大学校内新开湖中心表层 10 cm, 滤去悬浮物

收稿日期: 2004-12-30; 修订日期: 2005-03-14

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2002CB412301); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2003AA601030); 南开大学-天津大学科技合作项目(AJ0013)

作者简介: 刘春光(1974~), 男, 博士, 讲师, 研究方向为土壤和水污染生态修复技术, E-mail: liuchunguang@nankai.edu.cn

质后注入水族箱中, 每箱 40L. 设定光暗比为 14 h: 10 h, 温度控制在 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. 为避免藻类下沉和消除器壁效应, 促进营养物质循环, 每个水族箱中放养 4 条 2 寸长的锦鲤 (*Brocarded carp.*). 试验开始之前, 先使试验水在水族箱中平衡稳定 3 d.

1.2 试验设置

设置曝气和氮源 2 个因素, 曝气分为不曝气、连续曝气、昼间曝气和夜间曝气; 氮源分为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (记为 A 系列) 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (记为 B 系列). $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 初始浓度参考 HGZ 培养基的标准, 设为 $8.17\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (使用 NaNO_3 配制); $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 相同, 也为 $8.17\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (使用 NH_4HCO_3 配制). 定期加入磷酸盐 (KH_2PO_4), 使水体中可溶态无机磷的含量达到 $3.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的水平.

表 1 试验方案表

氮源	不曝气	连续曝气	昼间曝气	夜间曝气
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	B1	B2	B3	B4
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	A1	A2	A3	A4

1.3 采样及测定

试验持续 14 d, 试验初期观察 1 次浮游植物组成, 14 d 后采样观察浮游植物组成. 每天测定水体叶绿素 a (Chla) 1 次, 每隔 1 d 测定水体 N、P 含量以及溶解氧 (DO). 每次采表层 10 cm 的水, 采样时刻

为上午 10:00. 主要测试项目为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、可溶态正磷酸盐 (DRP)、Chla、DO、pH. 测试方法详见文献[5].

2 结果与讨论

2.1 不同氮源对藻类生长的影响

由图 1 可以看出, 在 4 种曝气方式中, 试验初期 A 系列藻类生长明显好于 B 系列. A 系列 Chla 浓度峰值均早于 B 系列出现, 表明 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 对于藻类生长的促进作用优于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$, 这可能与藻类利用 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 能量消耗低有关, 因而藻类通常更倾向于吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ [3]. 随着试验时间的延长, A 系列 Chla 水平均出现下降趋势. 同时, B 系列均有明显的上升, 而且在后期其 Chla 浓度峰值均超过了 A 系列.

由图 2 可以看出, 整个试验过程中 B 系列 Chla 水平普遍高于 A 系列, 相同曝气方式不同氮源的各组相比较, B 系列是 A 系列的 1.2~1.93 倍. 通过对各个水族箱中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的监测, 发现 B 系列中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度下降比较平缓 (图 3); 而 A 系列中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度下降速度快, 到了后期更是降到了较低的水平 (图 4), 证实了藻类对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸收要好于对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的吸收. 试验中发现, 无论是 B 系列还是 A 系列, 其中 N 的水平一直较高, 可以说不存在 N 限制的问题, 而试验中 DRP 的测定结果

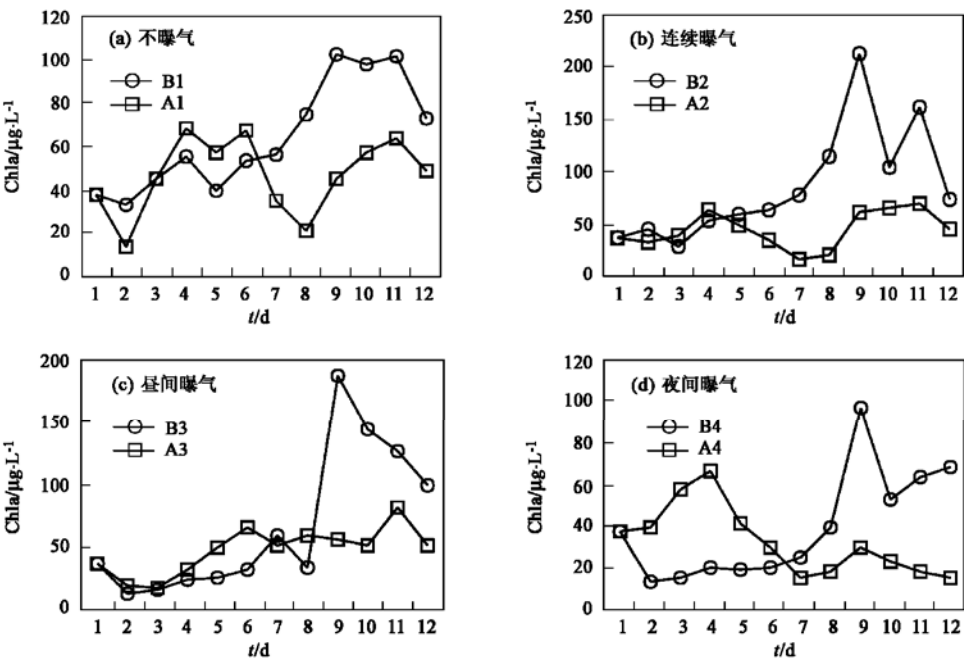


图 1 4 种曝气条件下不同氮源水体 Chla 浓度变化

Fig. 1 Change of chlorophyll a under different nitrogen and aeration treatments

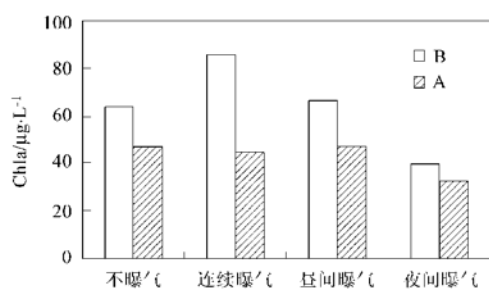


图 2 各处理的 Chla 平均浓度

Fig. 2 Mean value of chlorophyll a under different treatments

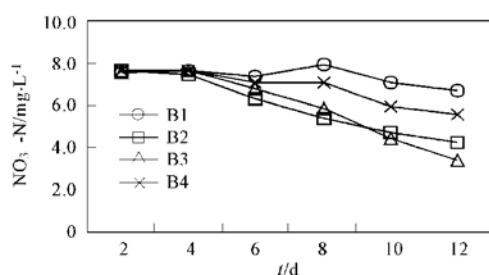


图 3 B 系列中 NO₃⁻-N 浓度变化

Fig. 3 Change of NO₃⁻-N in B-treatment

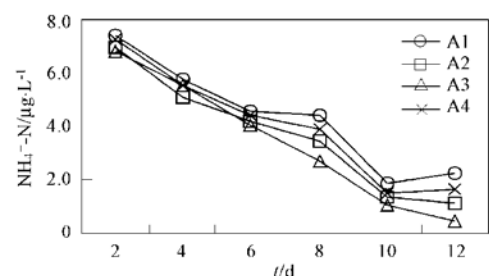


图 4 A 系列中 NH₄⁺-N 浓度变化

Fig. 4 Change of NH₄⁺-N in A-treatment

也显示 P 不成为限制因子. 笔者认为, 这很可能是由于 B 系列中藻类优势种发生了变化, 偏好 NO₃⁻-N 的藻类占据主导地位, 其生物量超过 A 系列.

2.2 不同曝气方式对藻类生长的影响

曝气能够改变水体 O₂ 和 CO₂ 的含量组成, 影响到水体的 pH 和氧化还原状况, 同时也对水体进行了扰动, 从而改进了 O₂ 的传递和扩散^[1]. 由于 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 在水体中能够相互转化, 因而在不同曝气条件下二者的含量组成也会不同, 从而对藻类的生长产生影响.

由图 5、图 6 可以看出, B 系列中 B2 的 Chla 浓度明显高于 B1 和 B3, 而 B4 低于其它 3 个处理. 这

表明, 对于 NO₃⁻-N 含量较高的水体, 连续曝气对藻类生长有一定的促进作用, 而夜间曝气则有一定的抑制效果, 昼间曝气作用不明显. 由图 7、图 8 可以看出, A 系列中 A1、A2 和 A3 之间 Chla 浓度差别很小, 而 A4 明显低于其它 3 个处理. 可见不同的曝气方式对以 NH₄⁺-N 为氮源的 A1、A2、A3 作用不明显, 只有夜间曝气对 NH₄⁺-N 含量高的水体中藻类的生长有一定的抑制作用. 2 种不同氮源的试验有 2 个共同点: 昼间曝气对藻类生长影响不大, 而夜间曝气对藻类生长有明显的抑制作用. 这主要与浮游植物的呼吸作用有关. 在夜间, 藻类的呼吸作用会导致水体 DO 含量急剧下降. 通入的空气中所含 O₂ 会增加 DO, 利于呼吸作用进行, 加快了藻类代谢消耗, 从而使其生物量下降.

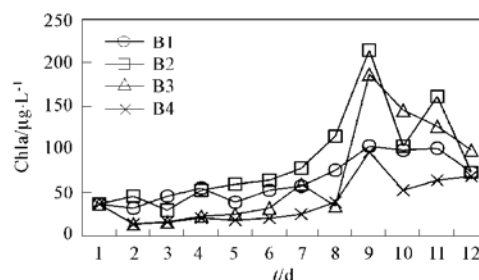


图 5 B 系列 Chla 浓度变化

Fig. 5 Change of chlorophyll a under B-treatment

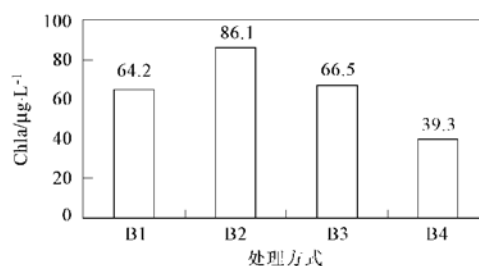


图 6 B 系列 Chla 平均浓度

Fig. 6 Mean value of chlorophyll a under B-treatment

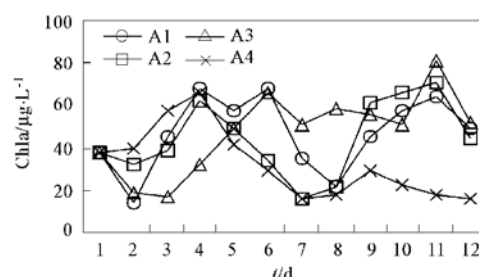


图 7 A 系列 Chla 浓度变化

Fig. 7 Change of chlorophyll a under A-treatment

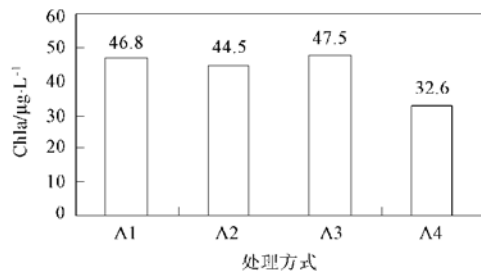


图 8 A 系列 Chla 平均浓度

Fig. 8 Mean value of chlorophyll a under A-treatment

2.3 不同氮源和曝气方式与藻类优势种的关系

试验初期水中的优势种为蓝藻(湖泊鞘丝藻和粉末微囊藻).而在试验中添加了不同形态的 N 和曝气处理之后,藻类群落结构也随之发生变化(表 2). $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 水平较高的 A 系列中蓝藻占绝对优势, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量高的 B 系列中以绿藻为主.已有研究表明,蓝藻偏好 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,这一结论在本试验中得到证实. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量高的水体中绿藻超过蓝藻成为主要优势种,这与 Pr  sing 等^[6]发现的固氮蓝藻对于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的竞争不如其他种类的结论一致. Blomqvist 等认为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是诱发非固氮蓝藻水华最重要的因子,因为蓝藻能很好地吸收利用 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,但利用 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的能力差^[7]. McQueen 等也取得类似的实验结果,添加 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 导致水体从非固氮性蓝藻占优势的状态向绿藻和隐藻占优势的状态转变^[8].本试验中绿藻在 B 系列中成为优势种,很可能是其 Chla 水平高于 A 系列的主要原因.对于不同的曝气处理,藻类优势种之间未发现明显差别,这可能与处

表 2 不同氮源和曝气处理水体中藻类优势种

Table 2 Dominant species of algae under different nitrogen and aeration treatments

处理	优势种	学名	所属门类
A1	湖泊鞘丝藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	蓝藻
A2	最小胶球藻	<i>Gloeo capsa minima</i>	蓝藻
A3	皮状席藻	<i>Phormidium papyraceum</i>	蓝藻
A4	粉末微囊藻	<i>Microcystis pulverea</i>	蓝藻
B1	繁茂栅列藻	<i>Scenedesmus abundans</i>	绿藻
B2	孤生卵囊藻	<i>Oocystis solitaria</i>	绿藻
B3	繁茂栅列藻	<i>Scenedesmus abundans</i>	绿藻
B4	繁茂栅列藻	<i>Scenedesmus abundans</i>	绿藻

理时间较短有关.

3 结论

(1) 试验初期以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为氮源的藻类生长较好,而试验后期以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为氮源的藻类生长更为迅速.

(2) 昼间曝气对藻类生长影响不大,而夜间曝气对 2 种氮源的藻类生长均有明显的抑制作用.连续曝气会促进以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主要氮源的藻类生长,对以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为氮源的藻类生长影响不大.

(3) $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量较高的水体中蓝藻容易成为优势种,而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量高的水体中则以绿藻为主;不同曝气条件下藻类优势种没有明显差别.

致谢: 试验过程中得到南开大学环境科学与工程学院退休教师陈叙龙教授的耐心指导,本实验室的钟远也给予了不少帮助,在此一并致谢.

参考文献:

- [1] 孙从军, 张明旭. 河道曝气技术在河流污染治理中的应用[J]. 环境保护, 2001, 4: 12~ 20.
- [2] Sukias J P, Craggs R J, Tanner C C, et al. Combined photosynthesis and mechanical aeration for nitrification in dairy waste stabilisation ponds[J]. Water Sci. Technol., 2003, 48 (2): 137~ 144.
- [3] McCarthy J J, Wynne D, Berman T. The uptake of dissolved nitrogenous nutrients by Lake Kinneret (Israel) microplankton[J]. Limnol. Oceanogr., 1982, 27: 673~ 680.
- [4] Dortch Q. The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton[J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 61: 183~ 201.
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 200~ 235, 670~ 671.
- [6] Pr  sing M, V-Balogh K, V  r  s L, et al. Relative nitrogen deficiency without occurrence of nitrogen fixing blue-green algae in a hypertrophic reservoir[J]. Hydrobiol., 1997, 342/ 343: 55 ~ 61.
- [7] Blomqvist P, Pettersson A, Hyenstr  nd P. Ammonium-nitrogen: A key regulator factor causing dominance of non-nitrogen fixing cyanobacteria in aquatic systems[J]. Arch. Hydrobiol., 1994, 132 (2): 141~ 164.
- [8] McQueen D J, Lean D R S. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of bluegreen algae in Lake St. George, Ontario[J]. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1987, 44: 598~ 604.