

pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响

刘春光¹, 金相灿², 孙凌¹, 钟远^{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 300071; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 天津城市建设学院市政与环境工程系, 天津 300384)

摘要: 利用水族箱微宇宙研究了淡水藻类在不同 pH 下的生长和种类变化。结果表明, 在 pH8.0 ~ pH9.5 的范围内, pH8.5 下藻类生长状况最好, pH9.5 下生长最差; 试验范围内蓝藻占绝对优势, 但不同处理间种类差别不明显; 蓝藻中湖泊鞘丝藻对 pH 适应范围最广, 皮状席藻偏好 pH8.5 以上的环境; pH8.5 的水体固碳能力最强, 酸碱度稳定性最高, 人为改变 pH 会使藻类生长受到抑制。

关键词: pH; 藻; 水族箱微宇宙; 固碳; 优势种

中图分类号: Q175 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 2043(2005)02 - 0294 - 05

Effects of pH on Growth and Species Changes of Algae in Freshwater

LIU Chun-guang¹, JIN Xiang-can², SUN Ling¹, ZHONG Yuan^{1,3}, DAI Shu-gui¹, ZHUANG Yuan-yi¹

(1. College of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Department of Civil & Environmental Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: Growth and species changes of algae at different pH values were studied with aquarium microcosms. For the four treatments, pH value in the experimental water was adjusted with either 0.5 mol · L⁻¹ NaOH or 0.5 mol · L⁻¹ HCl every day. The experiment was divided into two phases, the first phase was kept for 30 days, and the second was lasted for 53 days. We have discovered that in the experiment, pH 8.5 was the best optimum value for algae growth, while pH 9.5 was the worst. In the pH range of 8.5 to 9.5, dominant species almost all belonged to cyanophyceae. There was little difference of dominant species among the four treatments. As the main dominant species, *Lyngbya limnetica* can adapt a wide range of pH value, while *Phormidium corium* prefers to a pH > 8.5. The capacity of carbon fixation was related closely to pH value of the water. At pH 8.5, the largest amount of inorganic carbon was fixed, while the fixation amount was least at pH9.5. Carbonate balance in water was often disturbed by absorption of CO₂ by algae, thus pH value fluctuates with the growth status of algae. In our experiment, water pH value is stable at 8.5. If the pH value were changed to a level far from the stable value artificially, growth of algae should be inhibited and the algal bloom might be controlled.

Keywords: pH value; algae; aquarium microcosm; carbon fixation; dominant species

水体 pH 值与藻类生长关系密切。在碳源丰富的水体中, 藻类光合作用影响 CO₂ 缓冲体系, 从而影响水体 pH 值。最常见的是藻类大量吸收 CO₂ 引起水体 pH 上升, 同时部分藻类对水体中有机酸的吸收和重碳酸盐的利用, 也会引起 pH 的升高^[1]; 而藻类的呼吸

作用产生的 CO₂ 溶于水中促进 H⁺ 的生成, 会引起 pH 下降。水体酸碱度也会影响藻类的生长, 例如碱性环境有利于藻类光合作用, 因为碱性系统易于捕获大气中的 CO₂^[2], 因而较高的生产力往往出现在碱性水体中^[3]。各种藻类生长都有它适合的 pH 值范围, 因而 pH 还会影响藻类的生长繁殖速度, 进而影响到种类的演替。

由于工商业废水中常常含有大量中重碳酸盐和 CO₂, 容易使水体 pH 降低^[4], 另外, 许多地区酸沉降现象严重, 导致许多水体酸化, 因而在以往的研究中, 关于 pH 与藻类的关系多集中在酸性条件下^[5-7], 相对

收稿日期: 2004 - 08 - 13

基金项目: 国家 973 计划项目(2002CB412301); 教育部支持南开大学 - 天津大学联合研究项目(AJ0013)

作者简介: 刘春光(1974—), 男, 天津蓟县人, 讲师, 博士, 研究方向为土壤和水污染生态修复技术。

E-mail: liuchunguang@nankai.edu.cn

而言,碱性水体中 pH 与藻类生长的关系研究较少。我国北方地区主要为石灰性土质,水体多为微碱性。通过对天津地区的地表水调查后发现,大多数水体 pH 在 8.0~9.5 范围内。在这一范围内,pH 与藻类生长的关系对于北方水体藻类控制的研究有着实际意义。本研究以自然水体为研究对象,人为控制其 pH 水平为 8.0~8.5,并通过添加营养物质在室内模拟富营养化发生过程,目的是探究不同 pH 下藻类的生长和种类变化,为藻类增殖机理的研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验用水及设备

试验用水取自南开大学校内新开湖表层 20 cm,滤去悬浮物质后注入 50 cm × 25 cm × 40 cm 水族箱中,每箱容纳 40 L。水族箱上置 40 W 日光灯 6 枝作为光源,水面照度为 $260 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (14 000 lx),光周期为 12 h: 12 h。温度控制在 20 °C ~ 25 °C。试验开始之前,先使试验水在水族箱中静置平衡 5 d。

1.2 试验方法

试验共设 4 个处理,1~4 号水族箱 pH 依次设定为 8.0、8.5、9.0 和 9.5 (分别记为 P1、P2、P3 和 P4)。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 寸长小鲤鱼(不食藻)。试验水体总氮含量为 $1.95 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,添加一定量的 K_2HPO_4 后使其总磷浓度达到 $0.078 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (测定值)。试验分为 2 个阶段:第 1 阶段为 30 d,每天测定 pH 并调节至设定水平,每隔 5 d 测定相关指标;第 2 阶段,从第 31 d 起,停止调节 pH,53 d 后测定相关指标。试验开始后每天上午 11 时测定水体 pH 值,记录后用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 和 HCl 溶液调节至所需水平。每隔 5 d 测定一次相关指标。每天用去离子水补充蒸发了的水分,整个试验持续 83 d。

1.3 测定项目

pH 使用 CHS-3 pH 计(上海雷磁仪器厂)直接测定,叶绿素 a、 COD_{Mn} 以及藻类计数方法参见《湖泊富营养化调查规范》^[8]。

2 结果与讨论

2.1 pH 对藻类生长的影响

由图 1 可知,试验水体叶绿素 a (以下简称叶绿素)浓度波动很大。P1 叶绿素随时间变化趋势为上升—下降—上升—平稳;P2 变化趋势是上升—下降—上升;P3 和 P4 变化趋势均为上升—下降,只是 P4 最

早达到极大值。P1、P2 和 P3 在试验前期叶绿素变化趋势很相似,都是在第 16 d 附近达到上升到最高点,而 P4 早在第 6 d 就达到最大浓度。无论是最高值还是平均值,4 个处理叶绿素浓度比较都是 P2 > P1 > P3 > P4。这表明,在整个试验过程中,pH 8.5 的处理藻类生长最好,pH 9.5 的处理中生长最差。由图 2 可知,停止调节 pH 后第 53 d,4 个处理叶绿素浓度都有大幅度增长,其中 P2 增加幅度最大,增长了 $346.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;P4 增长比例最多,增长了 6.2 倍。53 d 后 4 个处理间的叶绿素浓度顺序为 P2 > P3 > P1 > P4。

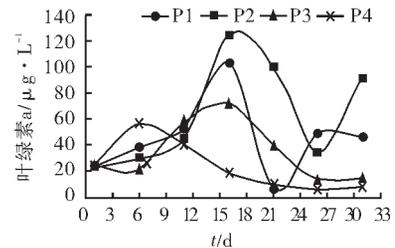


图 1 不同 pH 水平下叶绿素 a 的变化

Figure 1 Variation of chlorophyll a at different pH values

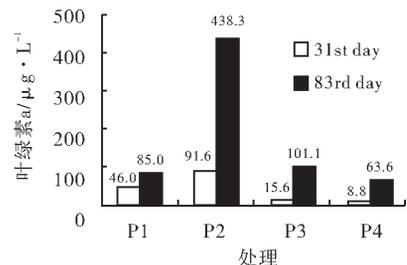


图 2 停止调节 pH 值 53 d 前后叶绿素对比

Figure 2 Chlorophyll a on the 31st day and the 83rd day after unadjusted pH value

2.2 pH 对藻类种类变化的影响

试验期间出现藻类 59 属,94 个分类单位,分别属于 8 个门。其中蓝藻门 12 属 16 种,绿藻门 27 属 50 种,硅藻门 9 属 13 种,甲藻门 2 属 2 种,金藻门 5 属 7 种,裸藻门 2 属 4 种,黄藻门 2 属 2 种。

在数量上占绝对优势的种类被确定为本试验水体中的优势种,不同 pH 水平水族箱中藻类优势种的变化见表 1。可以看出,整个试验过程中,蓝藻在试验水体内占绝对的优势,湖泊鞘丝藻 (*Lyngbya limnetica*) 和皮状席藻 (*Phormidium corium*) 几乎自始至终都是优势种。大部分时间里,各处理间湖泊鞘丝藻和皮状席藻数量交替占优,其他藻数量相对较小。只有在试验后期 P1 和 P2 中绿藻门中的肥胖蹄形藻 (*Kirchneriella obesa*) 和金藻门中的卵形单鞭金藻 (*Chromulina ovalis*) 占较大的比例。停止调节 pH 后的

表 1 不同 pH 水体中藻类优势种的变化

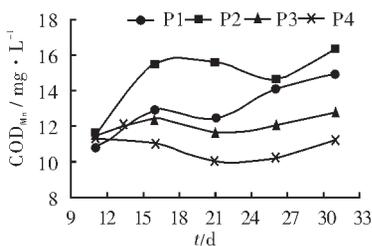
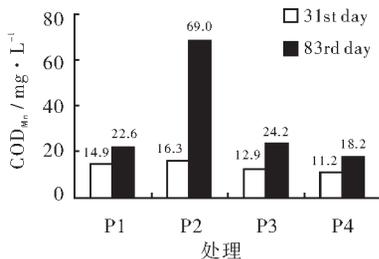
Table 1 Changes of dominant species of algae at different pH values

时间	P1	P2	P3	P4
2003 - 12 - 18	湖泊鞘丝藻 针状蓝纤维藻	湖泊鞘丝藻 针状蓝纤维藻	湖泊鞘丝藻 针状蓝纤维藻	湖泊鞘丝藻 针状蓝纤维藻
2003 - 12 - 28	皮状席藻	皮状席藻	皮状席藻	皮状席藻
2004 - 01 - 07	湖泊鞘丝藻 变形棕鞭藻	水华束丝藻 湖泊鞘丝藻 皮状席藻	细胶鞘藻 皮状席藻 湖泊鞘丝藻	湖泊鞘丝藻 皮状席藻
2004 - 01 - 17	湖泊鞘丝藻 肥胖蹄形藻	湖泊鞘丝藻 肥胖蹄形藻	湖泊鞘丝藻 皮状席藻	湖泊鞘丝藻 粉末微囊藻
2004 - 03 - 09	最小胶球藻 湖泊鞘丝藻	最小胶球藻 波吉卵囊藻	湖泊鞘丝藻 最小胶球藻	湖泊鞘丝藻 最小胶球藻

第 53 d(2004 年 3 月 9 日), 各处理中最小胶球藻 (*Gloeocapsa minima*) 都成为了优势种。从藻的种类数来看, 各处理之间也没有明显的差别, P1 ~ P4 处理 8 次观测的平均值依次为 14.1、14.0、13.1 和 12.3。

2.3 pH 对藻类固定无机碳的影响

本研究以化学需氧量 (COD_{Mn}) 表征总有机碳, 以考察 pH 对藻类固定无机碳的影响。由图 3 可以看出, 除 P4 以外, 其余 3 个处理 COD_{Mn} 均有一定升高, 而且共同的趋势是前期提高较快, 此后持续一段稳定期, 然后再升高。而 P4 从一开始就有下降趋势, 直至试验后期才缓慢上升。5 次测定的 P1 ~ P4 平均值依次为 13.0、14.7、12.1 和 $10.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由图 4 可知, 停止调节 pH 值 53 d 后, COD_{Mn} 也有不同程度的增加, 不论是增长幅度还是增加比例, 都是 P2 最多, 其次为 P3, 其余 2 个处理 COD_{Mn} 也有不同程度的增加。

图 3 不同 pH 水平下 COD_{Mn} 的变化Figure 3 Variation of COD_{Mn} at different pH values图 4 停止调节 pH 值 53 d 前后 COD_{Mn} 对比Figure 4 COD_{Mn} on the 31st day and the 83rd day, respectively, after unadjusted pH value

2.4 试验水体 pH 的变化趋势

由图 5 可知, 尽管每天都对 pH 进行调控, 24 h 之后试验水体的 pH 都会发生较大幅度的波动。在大部分时间里, P1 中的 pH 都高于 8.0, 其余处理大部分时间 pH 都低于所调节的水平。只有 P2 在第 11 d 至第 21 d 的 pH 变化幅度较小 (± 0.10 之间)。4 个处理共同的特点是, 试验末期(最后 3 d)各处理 pH 与以往相比均有一定程度的上升。由表 2 可知, 各处理调节后 24 h 的 pH 均与设定值出现一定的偏离, 就平均值而言, P2 偏离程度最小, P4 偏离程度最大。对每一次的偏离量的绝对值进行平均后发现, 4 个处理之间 pH 偏离值没有显著差异。由图 6 可知, 停止调节 pH 值 53 d 后, P1 ~ P3 的 pH 均有不同程度的上升, 其中 P2 增长最多 (0.75), P4 不仅没有上升, 还下降了 0.43 个单位。

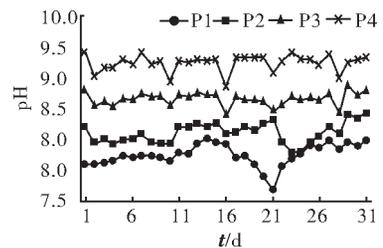


图 5 不同处理调节后 24 h 的 pH 变化

Figure 5 Variation of pH values adjusted after 24 hours

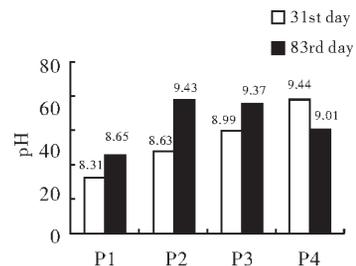


图 6 停止调节 pH 值 53 d 前后 pH 对比

Figure 6 Comparison of pH values on the 31st day and the 83rd day after unadjusted pH value

表 2 不同处理 pH 的变化

Table 2 Changes of pH values for different treatments

处理	P1	P2	P3	P4
设定值	8.00	8.50	9.00	9.50
平均值	8.13	8.42	8.88	9.36
平均偏离量	+0.13	-0.08	-0.12	-0.14
偏离量平均值	0.159 ± 0.110a	0.125 ± 0.096a	0.125 ± 0.082a	0.138 ± 0.111a

注: 偏离量平均值中数据为平均值 ± 标准差, 后缀相同字母者之间表示没有显著差异, 没有相同字母者表示差异显著 ($P = 0.05$)。

3 讨论

前面已经提到, 不同藻类有一定的 pH 适应范围, 即使同 1 属的两种藻, 在不同 pH 下其生长也可能有很大差别。在本试验中, 优势藻种主要为蓝藻中的湖泊鞘丝藻和皮状席藻, 从试验结果上看, 它们较为适宜的 pH 在 8.5 左右。有研究者报道, 通常情况下 pH 愈高, 藻类数量特别是蓝藻数量愈多^[6]。但是在本试验的 pH 范围内并未发现这一现象, 因而认为这一规律是有一定的适用范围的, 其适用范围与水质特点、优势种构成等因素有关。试验中发现, 尽管 pH 最高的 P4 在整个试验过程中叶绿素平均水平最低, 但是它却最早上升到最大值。笔者认为, 这一现象可能是由于前期高浓度 OH^- 促进了水体吸收空气中的 CO_2 , 加速了藻类的光合作用; 但是高 OH^- 抑制 NH_4^+ 的含量, 因此导致 NH_4^+ 很快转化为氨气逸出, 氮的缺乏导致叶绿素浓度也随之降低。

已有研究发现, pH 对于浮游植物的种类组成以及分布有着重要的影响^[9, 10]。一般认为, 蓝藻偏好较高的 pH。本试验发现, 整个试验过程中基本上都是蓝藻占绝对优势。只是在第一阶段末期, pH 相对较低的 P1 和 P2 优势种中出现了绿藻门的肥胖蹄形藻。在 pH8.0 ~ pH9.5 范围内, 各处理间的优势种没有表现出明显的差别, 大部分时间里湖泊鞘丝藻和皮状席藻是主要优势种。不同 pH 之间优势种没有明显差别, 这可能有 2 个原因: 1 个可能是 pH 梯度较小, 各处理间藻类生存环境的差别不足以使不同藻种在生长上拉开差距; 另 1 个可能是由于试验水体条件过于单一, 无法满足其他藻类快速增殖的条件 (如特定的营养盐和温度等)。在 2 个试验阶段的后期, P1 和 P2 中皮状席藻都不再是优势种, 这表明皮状席藻的最适 pH 可能在 8.5 以上或者更高。相比之下, 湖泊鞘丝藻对 pH 的适应能力更强。停止调节 pH 后的第 53 d, 4 个处理中最小胶球藻均成为优势种之一, 而在此前一直未能成为优势种。其中的原因可能是最小胶球藻耐外界酸碱冲击能力较弱, 停止调节 pH 后它的竞争优

势才得以体现。

水中有机物质含量间接地反映了水体固定无机碳的量。有研究表明, 水体中化学耗氧量与总有机碳 (TOC) 有着较好的相关关系^[11]。水体对碳的固定主要是通过水生植物的光合作用同化, 因而与藻类生长状况密切相关。本试验发现, 不同 pH 水体之间固定碳的能力有很大差别, pH8.5 的水体固定能力最强, 而 pH9.5 固定能力最弱。尽管 COD_{Mn} 变化曲线与叶绿素有一定的差别, 但是在反映水体初级生产力方面得到的结论基本一致。

天然水的 pH 主要决定于碳酸平衡体系中 CO_2 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 之间的对比关系。本试验发现, 除了 P1 以外, P2 ~ P4 的 pH 值经过 24 h 都有不同程度的降低。这是由于当 HCO_3^- 含量很低而 pH 又很高时, 碳酸系统非常不稳定, 因为在该条件下, 平衡 H_2CO_3 含量显著小于在该条件下与空气中 CO_2 平衡时所应拥有的含量, 此时就会从空气中吸收 CO_2 , 使水的 pH 降低。当 HCO_3^- 为 $1.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 pH 为 8.40 时碳酸系统最稳定^[12], 因而 pH 高于 8.40 的水体 pH 会自动降低。P1 设定值为 8.0, 碳酸系统处于相对稳定状态, 但是藻类的光合作用消耗 CO_2 破坏了碳酸平衡, 因而使 pH 有所升高。

综合以上分析不难看出, pH8.5 是水体碳酸系统稳定性较高的一个数值, 而在这一 pH 下藻类生长状况也最好。可以推断, 人为改变水体 pH, 使其偏离 8.5 就能够在一定程度上抑制藻类的生长。

参考文献:

- [1] 陈明耀. 生物饵料培养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 56 - 57.
- [2] Imhoff J F, Sahl H G, Soliman G S H, et al. The Wadi Natrum: chemical composition and microbial mass developments in alkaline brines of eutrophic desert lakes[J]. *Geomicrob J*, 1979, 1: 219 - 234.
- [3] Melack J M. Photosynthetic activity of phytoplankton in tropical African soda lakes[J]. *Hydrobiology*, 1981, 81: 71 - 85.
- [4] Smolders A, Roelofs J G M. Sulphate - mediated iron limitation and eutrophication in aquatic ecosystems[J]. *Aquat Bot*, 1993, 46: 247 - 253.

- [5] Locke A, Sprules W G. Effects of acidic pH and phytoplankton on survival and condition of *Bosmina longirostris* and *Daphnia pulex*[J]. *Hydrobiologia*, 2000, 437: 187 – 196.
- [6] Hörnström E. Phytoplankton in 63 limed lakes in comparison with the distribution in 500 untreated lakes with varying pH[J]. *Hydrobiologia*, 2002, 470: 115 – 126.
- [7] Lessmann D, Fyson A, Nixdorf B. Experimental eutrophication of a shallow acidic mining lake and effects on the phytoplankton[J]. *Hydrobiologia*, 2003, 506 – 509: 753 – 758.
- [8] 全国主要湖泊、水库富营养化研究课题组. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987. 106 – 171, 199 – 205, 227 – 229.
- [9] Findlay D L, Kasian S E M. Response of a phytoplankton community to controlled partial recovery from experimental acidification[J]. *Can J Fish aquat Sci*, 1991, 48: 1022 – 1029.
- [10] Brettum P. Changes in the volume and composition of phytoplankton after experimental acidification of a humic lake[J]. *Environment International*, 1996, 22: 619 – 628.
- [11] 朱杏冬, 涂金珠, 崔绍荣, 等. 养殖水体总有机碳与化学需氧量和生化需氧量相关性的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 196 – 198.
- [12] 陈静生. 水环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987. 62 – 66.

致谢:感谢南开大学环境科学与工程学院朱琳教授和陈叙龙教授在微宇宙建立及藻类鉴别方面的指导。

关于举办第二届“农药与环境安全”国际学术研讨会的通知 (第一轮)

主办单位:北京农药学会

协办单位:中国农业大学、农业部农药检定所、中科院动物所、中国农科院植保所、北京市疾病预防控制中心

支持单位:北京市科协

一、会议主题:农药与环境安全

二、会议时间与地点:2005 年 9 月 14 – 17 日,中央民族干部学院

三、会议论文征集:

1、内容:围绕‘农药与环境安全’这一主题的各个方面的原始研究论文或综述性文章,字数在 3000 字以内,以中文撰写者,请附英文摘要。

2、格式要求:以《农药学学报》的征稿简则中的要求为标准。

3、征稿截止日期:2005 年 6 月 30 日

4、投稿方式:要求以电子邮件发送至(nyxuebao@263.net)或软盘寄送(中国农业大学理学院 农药学学报编辑部收 邮编 100094),请在邮件或信件中标注‘国际研讨会’字样。

5、特别说明:会议筹委会将组织专家对所有稿件进行审稿,入选稿件将收入会议论文集。论文集将由中国农业大学出版社正式出版。会议同时组织评选优秀论文,给予一定奖励并颁发北京农药学会优秀论文证书。

四、会议注册费:500 元/人(学生注册费减半)。会议期间食宿,参观考察费及往返交通费用自理。

五、会议注册与回执:因会议期间是北京黄金旅游季节,请参会人员务必填写会议注册表格,并于 2005 年 7 月 30 日前将会议回执返回,以便安排预定食宿。

六、联系方式:

1、中国农业大学理学院(北京海淀区圆明园西路 2 号,邮编:100094);联系人:洪莉 电话:010 – 62732954 传真:010 – 62731881 Email: hongli@cau.edu.cn

2、农业部农药检定所信息处(北京市朝阳区麦子店街 22 号楼 邮编:100026);联系人:林艳,电话:010 – 65937010;传真:010 – 64194075 Email: icamainf@agri.gov.cn