

pH与水库水富营养化进程的相关性研究

王志红^{1,2} 崔福义¹ 安 全¹ 陈牧民³ 吴斌法³ 关心丽³

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090;

2 广东工业大学建设学院, 广州 510643; 3 开平供水集团股份有限公司, 开平 529300)

摘要 主要探讨了水库水藻类生长态势中 pH 的变化, 指出 pH 随藻类数量的增长呈现出有规律的变化, 而昼夜 pH 差值(ΔpH)与藻类的生长态势和生命活性之间存在一定的相关性。并在试验数据基础上, 尝试性地建立了藻类数量与 pH 之间初步的数学模型。通过对 pH 的监测, 可以对藻类“水华”现象进行预测。

关键词 藻类 水华 富营养化 pH 模型

Study on influence of pH on the advance of eutrophication in reservoir

Wang Zhi-hong^{1,2}, Cui Fu-yi¹, An Quan¹, Chen Mu-min², Wu Bin-fa³, Guan Xin-li³

(1. School of Municipal & Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China; 3 Kaiping Water Supply Group Co., Ltd., Kaiping 529300, China)

Abstract: The change of pH in algae blooming in reservoir is discussed in this paper. It is discovered that pH has a regular change tendency with algae increasing. With experiment data, a relativity of ΔpH with algae growth activity is proved, and mathematic models are established between pH and algae population. It proposes as an important conclusion that pH would be an available indicator to monitoring and predicating algae blooming.

Keywords: Algae ;Algae blooming; Eutrophication; pH; Model

0 前言

水库水是我国重要的给水水源之一。受社会和经济发展的影响, 水库水的氮磷、有机物等含量呈增加趋势, 给水库“水华”的产生提供了营养基础。在南方, 因为夏季持续时间长, 水温较高, 光照充沛, 水库的藻类“水华”危害更加明显。对于水库水源的给水厂, 往往面临的难题是在短期内原水藻类急速增殖, 水厂却因无法进行有效的预测而及时做出适当的工艺调整, 从而在一定时期内严重影响给水处理的效果。本课题的提出正是希望找到一种能及时预测、实时反馈水库水藻类生长态势的方法, 对水厂的

运行调节起指导作用。

对于一个确定的水体环境, 藻类数量的某一个值, 同时对应了水体环境的某一个状态, 这些状态值与藻类的生长需求密切相关, 包括营养因子、环境因子或是生态因子, 例如 TN、TP、光照强度、pH、溶解氧、高锰酸盐指数等。因此, 藻类数量的变化可以在这些状态值的变化中表现出来。同时, 藻类数量的变化也是这些状态值综合作用的结果^[1]。但每种状态值产生的作用程度有所不同, 相关性程度也不一样。研究发现, 湖泊水库水中的 pH 主要受 CO_2 含量的控制, 水体中 CO_2 含量受多因素影响, 例如水温、溶解离子、微生物等。而在富营养型水体中, 氧和 CO_2 主要受生物过程的控制^[2], 因此, 当藻类数量上升到一定数量级时, 其数量的多少、生命活动的

国家“十五”科技攻关资助项目“城镇水环境关键技术”(2002BA806B04)。

旺盛程度必然对水体的 pH 变化起主导作用。因此,试验着重开展了这方面的内容。本文将对 pH 在藻类生长态势中的作用及变化规律做一些探讨。

1 试验设计

试验主要在广东省开平振华水厂进行。振华水厂原水为大沙头水库水,水质良好,总氮平均值 0.4 mg/L,总磷平均值 0.018 mg/L。水厂处理水量 6 万 m³/d,采用常规处理工艺,处理构筑物流程为:混合池—网格反应池—斜管沉淀池—普通快滤池。平时处理效果比较好,出水浊度一般低于 1 NTU,且比较稳定。偶尔发生富藻现象,如在 2000 年 9 月~10 月间,由于持续高温晴天,水库水位下降,大沙头水库爆发了一次藻类“水华”,水厂原水藻类含量高达数百万个/L,给处理带来一定困难。因此,选择该水厂进行试验,有一定的代表性和针对性。

试验以水厂原水(大沙头水库中层水)作为培养原水,培养环境为微宇宙系统,培养水体容量介于 0.1~1 m³,日交换容量约为 2%。加入培养液,间歇培养,控制培养过程的光暗比 12:12。试验分为两阶段进行,第一阶段在夏季高温季节,水温 30℃ 左右,日照强烈,持续时间长,培养液选用朱氏(改良)10 号^[3]。第二阶段在 11 月~次年 1 月,水温 18℃ 左右,日照相对较弱,需要人工增加光源,选用 HGZ(改良)培养液^[3]。

监测指标主要有藻种群密度、藻种群分布、氨氮、总氮、总磷、pH、逐日实际光照、逐日水温、DO、高锰酸盐指数、浊度、色度等。

2 试验数据分析和讨论

2.1 pH 在藻类生长周期内的变化

为了考察藻类的生长数量、生长态势与 pH 的相关性,在两个阶段共计进行了 32 组试验,变化趋势都是类似的。本文选取了第一阶段中的 4 组试验数据进行具体的分析说明,水温 30℃ 左右。

4 组试验中,a,c,d 藻类数量高峰值均在 1.0×10^6 个/L 左右,b 高峰值为 $8.15 \sim 9.94 \times 10^6$ 个/L(见图 1)。在高峰值期间,水体呈绿色,明显腥臭,透明度降低。藻种群分布情况见表 1。优势藻种为硅藻和绿藻。

图 1 中绘出了一个生长周期内,藻种群密度、pH 随时间的变化,其中 pH 是一天取样两次,取样

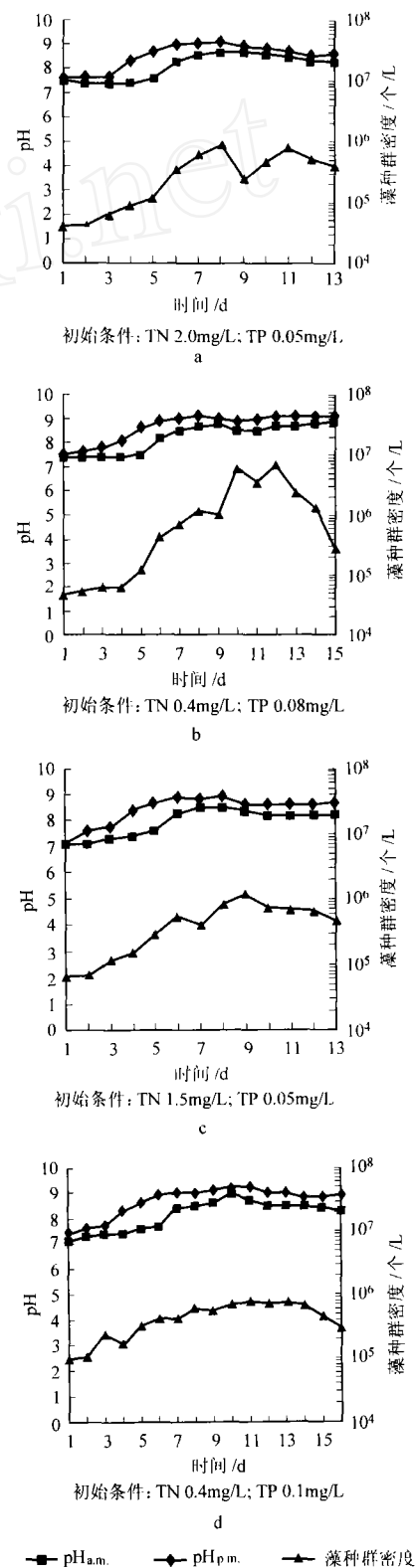


图 1 pH 与藻类相关性

表 1 藻种群分布情况统计

分类	所占比例/%	藻属
绿藻	31.4	小球藻属、栅连藻、盘星藻属等
硅藻	58.3	直链藻、舟形藻、圆筛藻属等
其他	10.3	蓝藻、甲藻、裸藻等

时间为 8:00 和 20:00, 相应记为 $pH_{a.m.}$ 和 $pH_{p.m.}$ 。

考察 pH 在藻类生长周期内的变化, 可以发现如下规律:

(1) 藻类生长周期内, 水体 pH 变化明显。图 1a 中, $pH_{a.m.}$ 初始为 7.5, 逐渐上升至 8.6, 再逐渐降低至 8.0 左右稳定。 $pH_{p.m.}$ 由第 1 d 的 7.6 逐渐上升至 9.0, 再逐渐降低到 8.2 左右稳定。图 1b, c, d 都可以观察到同样的变化趋势。这说明在藻类生长周期内 pH 随着藻种群密度的增加呈现一定的变化规律。详细探讨见 2.2。

(2) $pH_{p.m.}$ 都不低于 $pH_{a.m.}$, 差值为 0.1 ~ 1.2 个 pH 单位。这是由于: 在白天足够的光照条件下, 藻类的光合作用占优势, 利用水中的氢还原 CO_2 合成有机物质, 使藻类生物量增加, CO_2 逐渐减少, 所以 $pH_{p.m.}$ 升高; 反之, 夜间藻类新陈代谢以呼吸作用为主, 消耗氧气产生 CO_2 , 导致 $pH_{a.m.}$ 降低。因此, pH 的变化与藻类的数量及生命活动的旺盛程度(即处于生长周期的不同阶段)是密切相关的。表现在: ① 水体 pH 与藻类生物量之间有相关性, 水体 pH 随着藻种群密度的增加而升高; ② 藻类的生命旺盛程度(藻类活性)与水体 pH 的早晚变化差值 ΔpH 之间具有相关性。

2.2 pH 与藻种群密度的相关性

研究发现, pH 与藻种群密度之间具有相对较好的相关性。

图 1 中显示藻种群密度曲线有比较明显的四个阶段: 迟缓期、对数期、稳定期、衰亡期, 在稳定期藻类数量达到最大值。观察 pH 的变化: $pH_{a.m.}$ 和 $pH_{p.m.}$ 都呈现缓慢增加、快速增加、稳定、减少、稳定的趋势, 都存在一个最大值, 试验中 $pH_{p.m.}$ 最大值为 9.1 ~ 9.2。有记录为藻类大量繁殖时, pH 可急剧升至 $9 \sim 10^{[4]}$ 。

在迟缓期, 藻类需要经过一段时间的调整 and 适应, 生物量增长缓慢, 相应的光合作用和呼吸作用总量增加缓慢, pH 因此表现为缓慢增加; 进入对数期,

即图 1 中藻种群密度增长曲线的直线段部分, 藻类生长速度达到高潮, 生命活性和活力都高, 表现为 pH 快速增加; 由于生长过程中, 营养物质不断被消耗, 同时, 代谢产物不断积累, 致使藻类生长速率降低, 生命活性减退, 增殖速度与死亡速度近乎相等, 藻类生物量保持稳定, 即稳定期, 此时 pH 也保持相应稳定; 进入衰亡期, 由于营养物质已大大减少, 代谢产物积累的浓度逐渐升高, 环境变得不利于藻类生长, 死亡率大于增殖率, 藻类数目迅速减少, 生命活性衰退, pH 降低。最后, 一方面由于水体中藻类依然会保存一定的数量, 另一方面由于水化学作用, 在水中各种离子的平衡状态下, 水体中存在一定量的 CO_2 , pH 趋于稳定。

通过数据整理, 如图 2 所示, pH 与藻种群密度(记为 D)之间可以建立如下数学模型:

$$pH_{a.m.} = -0.229(\lg D)^2 + 3.3808 \lg D - 3.543$$

$$pH_{p.m.} = -0.2843(\lg D)^2 + 3.951 \lg D - 4.536$$

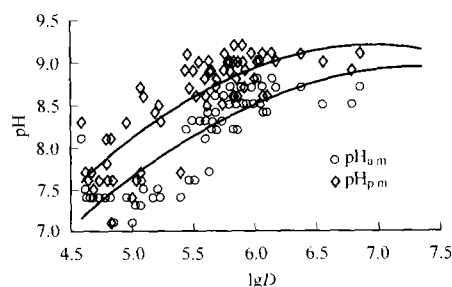


图 2 pH 随藻类数量变化趋势

数学模型在一定程度上较好地反映了 pH 与藻类数量之间的数学关系, 但同时应该考虑到, 湖泊水库水体的 pH 实际受诸多因素影响, 随时间和水体空间不同, pH 有较大的差异。只有藻类数量达到一定数量级时, 才成为 pH 变化的主要影响因素。这时, pH 和藻类数量之间的良好相关性才会凸显出来。试验观察到, 在某库区藻类数量达到 10^4 个/L 之后, 数学模型表现出较好的实用性。

2.3 ΔpH 与藻类活性的相关性

在 2.1 中指出, 藻类的生命旺盛程度(藻类活性)与 ΔpH 之间具有相关性。从图 1 曲线来看, $pH_{a.m.}$ 和 $pH_{p.m.}$ 所表现的增长、稳定、衰减、稳定变化趋势基本一致, 但在对数期间, $pH_{a.m.}$ 为凹形曲线上升, $pH_{p.m.}$ 为凸形曲线上升, 即 ΔpH 变化呈现一定的规律。数据分析见图 3。

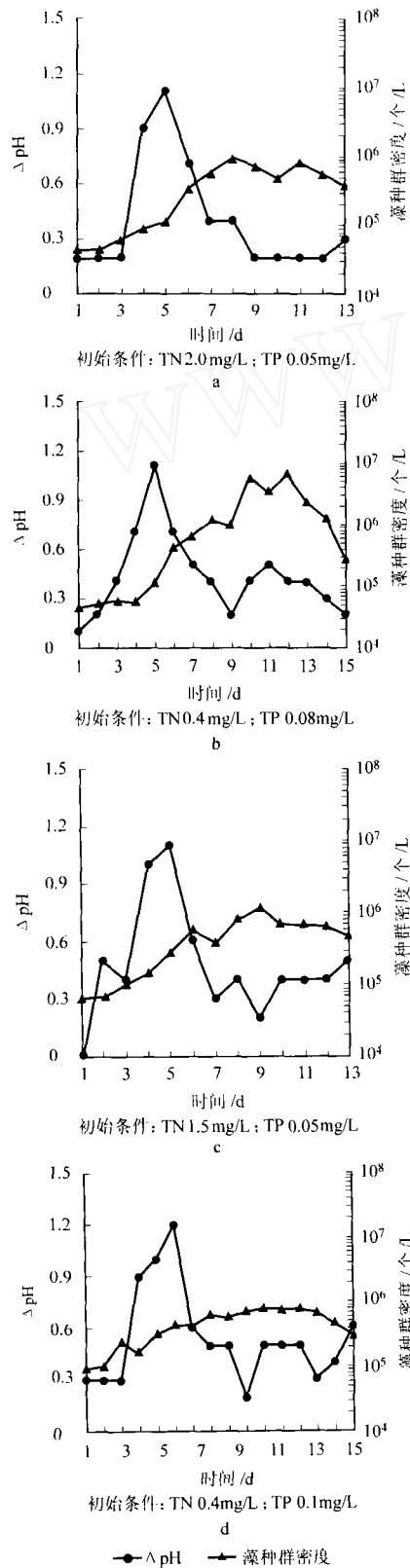


图3 pH与藻类活性相关性

观察图3中的 ΔpH 曲线,表现为:第1~4 d增长;第4~5 d或4~6 d出现极大值,为1.1~1.2,出现时间对应于藻类的对数期;第5~9 d或6~9 d下降;第9 d以后有3~4 d的稳定值,该值基本为0.4~0.5。这说明在藻类生长周期内,生命活动旺盛程度的差异与 ΔpH 之间具有良好的相关性,可以通过监测 ΔpH 来掌握藻类的生长情况。

分析其原因,在藻类生长迟缓期,藻类处于调整和适应阶段,新陈代谢率逐渐增加,所以 ΔpH 增加;进入对数期,藻类处于营养充足(如氮、磷)、光照水温等条件非常适合生长的环境中,藻类的生命活动得到促进,新陈代谢率高,表现为藻类数量迅速增长, ΔpH 出现极大值;由于生长过程中,营养物质不断被消耗,代谢产物不断积累,致使藻类生长速率降低,生命活性减退, ΔpH 逐渐降低;进入衰亡期,藻类数目迅速减少,生命活性衰退,但依然存在一定数量的藻类,使得 ΔpH 趋于稳定。

ΔpH 与藻种群密度 D 的数据分布,见图4。尝试性建立有关数学模型,得到:

$$\Delta pH = 0.6806(\lg D)^3 - 11.835(\lg D)^2 + 67.928 \lg D - 128.22$$

进一步分析,令 $A = \Delta pH$, $B = \lg D$,则

$$\frac{dA}{dB} = 2.0418B^2 - 23.67B + 67.928$$

$$\text{令 } \frac{dA}{dB} = 0, \text{ 则 } B_1 = 5.223, B_2 = 6.370$$

当 $B = 5.223$, $\frac{d^2A}{dB^2} < 0$, 存在一个 ΔpH 的最大值;当 $B = 6.370$, $\frac{d^2A}{dB^2} > 0$ 存在一个 ΔpH 的最小值。

从数学分析可以得到,在藻种群密度为 $10^5 \sim 10^6$ 数量级时, ΔpH 达到一个最大值。

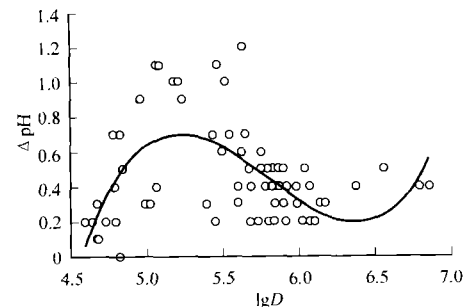


图4 ΔpH 与藻类数量变化趋势

模型提出的最小值,作者认为是藻类开始进入第二个生长周期的标志。 ΔpH 持续稳定在此最小值,当藻类进入下一个周期,生命活性增强, ΔpH 开始升高。

综上, ΔpH 的变化,可以通过相关性指示藻类处于生长周期的某个阶段,从而可以对藻类的生长潜力和持续期进行预测。

2.4 关于氮磷比与藻类增长的问题

从氮磷的含量来看,试验的初始条件都已经达到了富营养化标准^[4]。从氮磷比来看,a为40,b为5,c为30,d为4,即a和c为高氮磷比,藻类生长主要是磷限制;b和d为低氮磷比,主要是氮限制。在图1中,可以观察到以下现象:

(1)a和c同为高氮磷比,磷限制,初始TP相等,为0.05 mg/L。从图中可以看出,藻种群密度增长规律基本一致,最大值都是 10^6 数量级,生长周期也相等,为13 d。

(2)但b和d同为低氮磷比,氮限制,初始TN相等,为0.4 mg/L。图中藻种群密度曲线的规律却有一定的差别:b中,藻类数量增长速率快,最大值接近 10^7 数量级,周期为14~15 d。d中,藻类数量增长速率一直比较平缓,最大值接近 10^6 数量级,但持续时间较长,达5 d(第10~14 d),周期16 d。

因此从试验结果来看,在氮限制和磷限制条件下,藻类生物量增长机理存在较大的差别,从控制“水华”的角度出发,相应的控制和处理方法也应该会存在差异。由于时间和试验条件所限,笔者仅此提出作为观点,暂时未能作深入研究。

3 结论

综上所述,可以得到如下结论:

(1)藻类“水华”现象中,水体pH与藻类数量之间存在较好的相关性,一个生长周期内,pH的变化表现为增长、稳定(极大值)、衰减、稳定(介于初始值与极大值之间)。

(2)pH与藻种群密度 D 的相关性可尝试性建立数学模型。试验中提出当藻类数量达到 10^4 个/L之后,模型为: $pH_{a.m.} = -0.229(\lg D)^2 + 3.3808 \lg D - 3.543$; $pH_{p.m.} = -0.2843(\lg D)^2 + 3.951 \lg D - 4.536$ 。

(3) ΔpH 与藻类的生命活性之间存在较好的相

关性,在藻类对数生长期 ΔpH 达到最大值。可以通过对 ΔpH 的观测了解藻类的生长态势,并作出相应预测。试验数据显示在藻种群密度为 $10^5 \sim 10^6$ 数量级时, ΔpH 达到最大值。

(4)提出氮限制和磷限制条件下的藻类增长机理是不一样的,对应的“水华”控制和处理方法也应存在差异。

参考文献

- 1 周群英,高廷耀.环境工程微生物学.北京:高等教育出版社,2000
- 2 刘建康.高级水生生物学.北京:科学出版社,1999
- 3 沈蕴芬,章宗涉,龚循矩,等.微型生物监测新技术.北京:中国建筑工业出版社,1990
- 4 任南琪,马放,杨基先,等.污染控制微生物学.黑龙江:哈尔滨工业大学出版社,2002
- 5 沈德中.污染环境的生物修复.北京:化学工业出版社,2002
- 6 张锡辉.水环境修复工程学原理与应用.北京:化学工业出版社,2002
- 7 Alexandre Ern,刘维屏.环境科学与工程中的数学问题.北京:高等教育出版社,2002
- 8 Stefan E B Wiesner, John A Strant, Hakan Sandsten. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetable in shallow eutrophic lakes. *Oecologia*, 1997, 109: 592~599

○通讯处:510643 广州市五山广东工业大学教师村

34栋5梯601室

电话:(020)38457309

E-mail:gdwzhihong@21cn.com

收稿日期:2004-3-9

欢迎订阅

·广告·

《中国塑料管道产业及市场发展报告》

为使各级行业主管部门以及相关领域的企业及时、全面、客观地掌握塑料管行业的发展动向,满足企业项目投资、产品结构调整以及行业宏观指导等决策需要,建设部科技信息研究所在主管部门领导及行业内专家的支持下,通过大量的调研分析,撰写了《中国塑料管道产业及市场发展报告》。概要论述了国内塑料管道的发展水平及现行塑料管道国家标准、行业标准。对塑料管三大原料供给、生产设备整体水平、主要品种塑料管企业生产能力以及工程应用现状进行了详细论述。在此基础上专门指出市场竞争的关注点,重点提出塑料管市场未来发展的目标、市场需求的影响因素和市场供给的发展趋势。有意购买者请电话联系(010)68393546,68393513。