

城市再生水景观利用水华识别和预警方法探讨*

赵珊¹ 谢文征¹ 周军¹ 甘一萍¹ 周律² 刘晶晶² 李涛²

(1. 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100022; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要:城市再生水景观回用的主要问题是水体富营养化导致水华的暴发。为了抑制藻类的大规模生长,需要提前采取预防措施,以便将有可能爆发水华的藻类及时杀死或除去。目前,人们已经对景观水体中常见藻类的生长规律做了深入的研究,发现水体中藻数量(藻密度)的多少与水体的pH值和DO值的变化有密切而相对稳定的关系。通过在线实时监控pH值和DO值,找到 Δ pH、 Δ DO与藻类生长之间的关系,并结合pH、DO、温度、正磷酸盐和总氮等指标,实现实时识别和预测水华爆发的目的。

关键词:城市再生水;景观利用;水华预警

RESEARCH ON WARNING TECHNOLOGY FOR MUNICIPAL RECLAIMED WATER REUSED AS SCENIC WATER

Zhao Shan¹ Xie Wenzhen¹ Zhou Jun¹ Gan Yiping¹ Zhou Lü² Liu Jingjing² Li Tao²

(1. Beijing Urban Drainage Group Co., Ltd, Beijing 100022, China;

2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Water bloom is easy to breakout in scenic water, which utilizes reclaimed water as source water. Developing warning technology is one of the effective methods to control water bloom. It had been found that pH and DO were closely related to alga quantity by other researcher. The relation of alga growth and monitoring data (Δ DO Δ pH) was researched in this paper to forecast water bloom. Except for Δ DO and Δ pH, pH, DO, temperature, PO_4^{3-} and TN should be included in warning technology system of water-bloom.

Keywords: municipal reclaimed water; scenic water; warning technology of water-bloom

0 引言

我国水资源严重短缺,根据2002年的统计数据,中国共有市级以上城市668个,其中缺水城市400多个。且人均水资源量逐年递减,2007年的人均水资源量仅为2000年的87%^[1]。为了解决我国日益缺水的严峻局面,再生水成为了城市的“第二水源”。再生水回用于景观环境是满足缺水城市对于娱乐性水环境需要而发展起来的一种再生水回用方式,也是完成水生态循环的自然修复与恢复的最佳途径^[2]。但是,城市再生水景观利用面临的主要问题是虽然再生水中污染物相对于污水有了本质上的降低,已满足GB 18921—2002《城市污水再生利用 景观环境用水水质》的要求($\rho(TN)=15$ mg/L, $\rho(TP)=0.5$ mg/L,观赏性景观环境用水,湖泊类),但相对于天然水体(GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅳ类水 $\rho(TN)=1.5$

mg/L, $\rho(TP)=0.1$ mg/L),再生水中污染物本底值仍然较高;城市景观水体流动缓慢甚至完全静止;城市景观水体水深较浅,阳光易于投射。这些不利条件极易导致藻类过度生长,甚至水华。

水华又称“水花”或“藻花”,通常是指淡水池塘、河流、湖泊、水库等水体受到污染,氮磷等营养物质大量增加,在一定的温度、光照、水流流速等条件下,引起明显的水色变化,并在水面形成或厚或薄的绿色或其他颜色的藻类漂浮现象^[3]。虽然人们通常认为水华是在很短时间内暴发、难以预测。但研究表明^[4],这种突然出现的“水华”只不过是已存在、分散在水体中的藻类群体在适宜条件下的上浮、聚集、迁移至水面并为人们肉眼所见的过程,而非藻类在短时间内连续的快速生长所致。因此,从本质上看“水华”显然是一个缓慢、可以预测的过程。本文重点研究藻类生长与pH、DO之间的关系,以期用常规检测数据预测藻类的生长状态。

*北京城市再生水水质提高关键技术研究集成示范(2008ZX07314—008)

1 pH值、DO值与藻类生长的关系

1.1 pH值与藻类生长的关系

袁元^[5]等人的研究表明:水中植物作用导致pH值周期变化。水体中的碳酸盐与重碳酸盐的相互转换导致pH值的昼夜变化。白天,气温高。日照强,植物的光合作用强,CO₂气体的消耗也大;夜晚,随着日照的减弱,气温逐渐降低,植物的光反应也渐渐减弱,CO₂的消耗也在减少,水体逐渐恢复原有的碳酸盐平衡。

在富营养型水体中氧和CO₂主要受生物过程的控制^[6],因此,当藻类数量上升到一定数量级时,其数量的多少、生命活动的旺盛程度必然对水体的pH变化起主导作用。主要表现在: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。

1.2 DO值与藻类生长的关系

溶解氧是水体与大气交换平衡,以及经化学和生物化学反应后,溶解在水中的氧。洁净水体的溶解氧一般接近饱和。如果水体受有机物和还原性物质污染时,溶解氧会低于饱和值。此外水体中藻类进行光合作用产生O₂和呼吸作用产生CO₂,所以溶解氧是反映水体水质的重要指标^[7-8]。白天,含有藻类的水体中藻类光和作用强度随着所接收的日光强度的增加而增加,产氧能力也随之增强,导致水体中的溶解氧浓度也随之升高;夜间,藻类的呼吸作用占据上风,水体中的溶解氧逐渐被消耗而减少。

2 水华判定指标

参照“奥运景观水体水质保障综合技术与示范”课题组编制的《奥林匹克森林公园景观水体水质维护手册》的定义,以透明度、叶绿素a和pH值作为评价水华爆发的指标,具体判别标准如下:

- 1)透明度低于0.5 m;
- 2)叶绿素a超过55.0 mg/m³;
- 3)pH值达到8.5~9.0。

当上述3个指标中有2个指标符合标准时,即认为监测点已发生水华。

3 试验基地与分析项目

3.1 试验基地

试验基地为北京城市排水集团有限责任公司科技研发中心景观湖,湖水面积100 m²,池底和四周壁面均为水泥,水池的结构为长方形,池长约20 m,宽约5 m,池深度约1.5 m,有效水深1.0 m。水流形态:低进高出。进水为研发中心再生水生产中试试验基地产生

的再生水,或北京城市排水集团有限责任公司高碑店污水厂产生的二沉水,或人工配水。在线检测仪器安装在水流相对缓慢、容易形成滞留的区域,探头至于水下0.5 m。景观水体藻类生长中试试验工艺如图1所示。

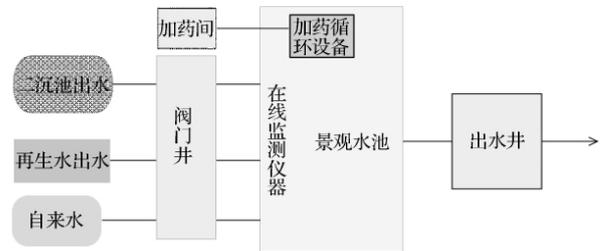


图1 景观水体藻类生长中试试验工艺

3.2 分析项目及方法

根据GB/T18921-2002的规定调节景观湖水质和水力停留时间。试验时期:2011年5-10月。试验初期从实际湖水中引入部分原水(通过镜检,优势藻种为绿藻中的水网藻、小球藻),作为藻种来源。检测项目及方法如表1所示。在试验期间藻类经历适应、增长、衰亡等阶段。一个试验周期结束后,抽干景观水池中的水,更换其他水质的水。在本年度实验中,共进行了4个周期的重复实验。

表1 景观湖检测项目及方法列表

项目	所用检测仪器或方法
水温	哈希公司 P53 型 pH/ORP 分析仪,记录时间间隔:1 min
pH	哈希公司 P53 型 pH/ORP 分析仪,记录时间间隔:1 min
DO	哈希公司 sc100™ LDO™ 溶解氧在线分析仪,记录时间间隔:1 min
藻计数	显微镜和血球计数板
优势藻	显微镜和血球计数板
叶绿素	叶绿素分析仪 KRK CHL-30,日本产

4 数据分析

4.1 DO与藻类生长的关系

25℃时氧在蒸馏水中的溶解度为8.38 mg/L^[9]。受到有机物污染的景观水体溶解氧本底值应低于此值。但从图2(试验水体溶解氧的变化曲线图)可知,在试验过程中,DO值始终大于8.38 mg/L,说明水体中存在藻类。并且,结合试验期间的水温变化曲线(图3)可知:景观湖中的DO未因突然降温而有明显改变,这说明降温导致藻类沉伏于水底,但并未杀死藻类,一旦条件适宜,藻类仍能快速繁殖,并有发生水华的可能。

含藻水体DO的昼夜变化也呈现明显规律,如图4所示,在线DO计配有数据贮存单元,贮存频率为1次/min。预测指标的最大值基本出现在16:00-

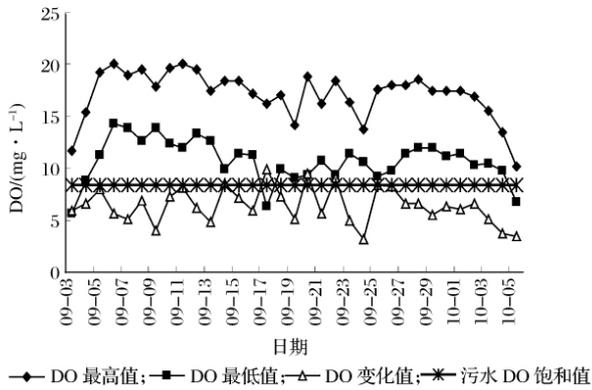


图2 溶解氧变化曲线

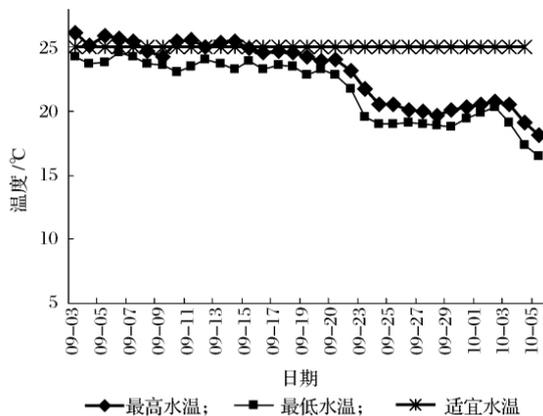


图3 温度变化曲线

18:00, 最小值基本出现在 08:00—09:00。根据试验结果, 当 $\Delta DO \leq 4.0$ mg/L 时, 水体中藻类含量较少, 短期内水华爆发的潜力较小, 在此后的 15 d 内没有发生藻类过度繁殖的现象, 可作为发出水华初级警报的判定指标之一; 当 $4.0 < \Delta DO \leq 8.0$ mg/L 时, 水体中藻类含量中等, 短期内水华爆发的潜力中等, 在此后的 7 d 内没有发生藻类过度繁殖的现象, 可作为发出水华中级警报的判定指标之一; 当 $\Delta DO > 8.0$ mg/L 时, 水体中藻类含量较多, 短期内水华爆发的潜力较大, 在此后的 5 d 内即发生藻类过度繁殖的现象, 可作为发出水华高级警报的判定指标之一。

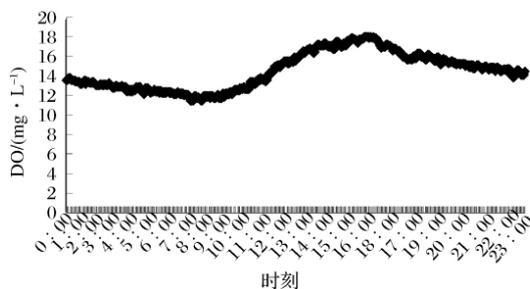


图4 溶解氧日变化曲线

4.2 pH 与藻类生长的关系

含藻水体在白天进行光合作用时, 产生大量的氧, 使水体呈过饱和状态, 并使水体 pH 值升高, 过饱和程度越高, pH 值升幅也越大, 两者协同变化, 形成联动效应^[10]。在本试验中也发现 DO 的变化规律同样适用于 pH 值。为了避免特殊污染物对水质的影响, 并且更加真实的反映水体中藻类生长变化的规律, 将 ΔpH (pH 日变化值) 值也作为预警判定指标之一。

pH 昼夜变化如图 5 所示, 在线 pH 计配有数据贮存单元, 贮存频率为 1 次/min。预测指标的最大值基本出现在 16:00—18:00, 最小值基本出现在 08:00—09:00。根据试验结果, 当 $\Delta pH \leq 0.2$ 时, 水体中藻类含量较少, 短期内水华爆发的潜力较小, 在此后的 15 d 内没有发生藻类过度繁殖的现象, 可作为发出水华初级警报的判定指标之一; 当 $0.20 < \Delta pH \leq 0.28$ 时, 水体中藻类含量中等, 短期内水华爆发的潜力中等, 在此后的 7 d 内没有发生藻类过度繁殖的现象, 可作为发出水华中级警报的判定指标之一; 当 $\Delta pH > 0.28$ 时, 水体中藻类含量较多, 短期内水华爆发的潜力较大, 在此后的 5 d 内即发生藻类过度繁殖的现象, 可作为发出水华高级警报的判定指标之一。

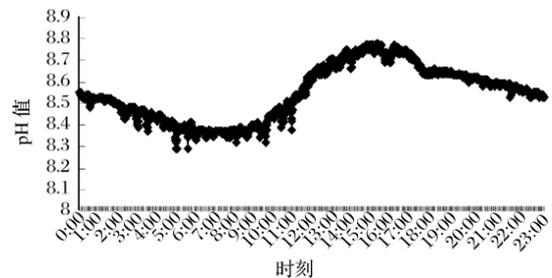


图5 pH 日变化曲线

5 结论与展望

1) “水华”显然是一个缓慢、可以预测的过程, 肉眼看到的水华仅是已存在、分散在水体中的藻类群体在适宜条件下的上浮、聚集、迁移至水面的表象。在水华发生前可以通过常规水质指标检测值的变化来预测藻类生长, 提早做出预防措施, 避免水华造成危害。

2) 含藻水体在白天进行光合作用时, 产生大量的氧, 使水体呈过饱和状态, DO 升高。碳酸盐与重碳酸盐相互转换导致白天水体 pH 值升高, 两者协同变化。水华初级警报的部分判定指标为 $\Delta DO \leq 4.0$ mg/L、 $\Delta pH \leq 0.2$; 水华中级警报部分判定指标为 $4.0 < \Delta DO \leq 8.0$ mg/L、 $0.20 < \Delta pH \leq 0.28$; 水华高级警报的部分判定指标为 $\Delta DO > 8.0$ mg/L、 $\Delta pH > 0.28$ 。

(下转第 63 页)

上升至 0.46,其可生化性大大提高。

3 结论

1) 混凝阶段最佳工艺条件为:最佳混凝剂 PAC,投加量 260 mg/L,最佳 pH 为 8~9,添加少量的 CPAM (2 mg/L),经混凝处理,废水浊度去除率达 88.0%。

2) 铁炭微电解工艺最佳条件为:在曝气条件下,pH 值保持为 3,铁炭质量比为 3:1,铁水比为 1:10,反应时间为 1.5 h,经过 2 次铁炭微电解,COD 去除率可达 87.1%。

3) 微电解之后的废水进行强化电解,可以进一步去除部分微电解难以降解的有机物,与二次微电解出水相比,COD 去除率为 47.9%。

4) 经过混凝—微电解—强化电解组合工艺处理后,大蒜废水的气味完全去除,水质澄清透明,废水浊度去除率达 100%,COD 去除率达 93.3%,B/C 值由 0.10 提高到 0.46,可生化性显著提高。

参考文献

[1] 吕玉花,张留伟. 中国大蒜出口贸易现状研究[J]. 农业经济,2011(2):92-93.
[2] 赵大传,王伟. ABR-BAF 组合工艺处理大蒜切片废水[J]. 山东大学学报,2009,44(3):28-31.
[3] 张献彬,罗清,王新伟,等. 大蒜脱水废水处理工程设计与运行[J]. 工业用水与废水,2008,39(4):88-90.
[4] 高廷东,王道虎. 水解酸化—多级接触氧化工艺处理大蒜废水[J]. 环境工程,2009,27(3):23-25.

[5] 傅源. 大蒜加工废水的 SBR 工艺研究[D]. 南京:南京理工大学,2009.
[6] 王娟,范迪. 微电解法预处理大蒜废水试验研究[J]. 环境工程学报,2008,2(7):951-954.
[7] 李建,王三反,李雯. 大蒜切片废水预处理工艺研究[J]. 广州化工,2008,36(6):63-65.
[8] 周培国,傅大放. 微电解工艺研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备,2001,2(4):18-24.
[9] 冯玉杰,李晓岩,尤宏,等. 电化学技术在环境工程中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002:11-13.
[10] 汤心虎,甘复兴,乔淑玉. 铁屑腐蚀电池在工业废水处理中的应用[J]. 工业水处理,1998,18(6):4-6.
[11] Xu Hao, Yan Wei, Tang Chengli. A novel method to prepare metal oxide electrode: Spin-coating with thermal decomposition [J]. Chinese Chemical Letters,2011,22(3),354-357.
[12] 薛文平,张秀芳,郝军. 环境工程专业实验教程[M]. 大连:大连工业大学自编,2005.
[13] 房晓萍. 微电解复合工艺处理工业废水的研究进展[J]. 安徽化工,2007,33(3):11-14.
[14] 相加培,刘金荣. PAC 和 PAM 复合絮凝剂在洗涤剂废水处理中的应用研究[J]. 四川环境,2005,24(3):8-11.
[15] 胡斌. 铁炭微电解—生物组合工艺处理制药废水试验研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
[16] 张秀丽,周凤山,孙文秀. 聚合氯化铝和聚丙烯酰胺复合絮凝剂处理造纸废水[J]. 工业水处理,2005,25(8):36-38.

作者通信处 延卫 710049 西安交通大学环境科学与工程系
E-mail yanwei@mail.xjtu.edu.cn

2011-08-11 收稿

(上接第 12 页)

3) 预测指标的最大值基本出现在 16:00—18:00,最小值基本出现在 08:00—09:00,若无现场在线检测仪器,日变化值可设定为两者之差。由于藻类生长受到多种因素的影响,为了准确、全面的预测藻类生长的趋势,水华预警系统还应包括 pH、DO、温度、正磷酸盐和温度指标。当上述 7 项指标中有 5 项达到预警标准时,即可发出相关等级的预警。

参考文献

[1] 水资源情况(2000—2007年). 中华人民共和国国家统计局
[2] Reed, Sherwood C, Ronald W. Crites and E Joe Middle brooks. Natural systems for waste management and treatment[M]. New York: Lewis Publishers, 1995.
[3] GAMINI H. Freshwater algal blooms and their control; comparison of the European and Australian Experience [J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51: 217-227
[4] 徐恒省,洪维民,王亚超,等. 太湖蓝藻水华预警监测技术体系的

探讨[J]. 中国环境监测,2008,24(2):62-65.
[5] 袁元,钟鸿雁. 水生植物对水体 pH 值影响的原因探究[J]. 江西化工,2008(2):62-64.
[6] 刘健康. 高等水生生物学[M]. 北京:科学出版社,1999.
[7] 王正方,张庆. 长江口溶解氧赤潮预报简易模式[J]. 海洋学报,2000,22(4):125-129.
[8] 王蕾,杨敏,郭召海,等. 密云水库水质变化规律初探[J]. 中国给水排水,2006,22(13):45-48.
[9] 张自杰. 排水工程[M]. 下册. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
[10] 王庆安,孙铁珩. 多藻浅水体中 pH 值和溶解氧协同周期性变化初探[J]. 四川环境,2001,20(2):4-7,29.

作者通信处 赵珊 100124 北京市朝阳区高碑店村甲 1 号(排水集团研发中心,高污厂院内).
电话 (010)51352882
E-mail zhaoshan@bdc.cn.com

2012-01-04 收稿