

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.07.012

夏季城市内河藻类暴发的原因解析及控制对策

张雪^{1,2}, 孙莹¹, 岳佳妮¹, 曹云霄¹, 马千里³, 刘畅³

(1. 沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110167; 2. 惠州市水务集团有限公司, 广东 惠州 516000; 3. 生态环境部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655)

摘要: 青年河是惠州市主要饮用水源东江的支流,下游沿岸受城市化影响,水质出现恶化,经截污工程的实施,河道基本恢复了健康。然而,自2019年9月下旬起,下游部分河段持续多日出现中午大量藻类聚集的现象。针对这一问题,在藻类暴发期间,对污染河段开展了污染源及采样调查工作,以便为后续提出防治对策提供科学依据。结果表明,底泥污染是藻类暴发的主要原因,适宜的气象条件和水动力条件加剧了中午时段藻类向表层的迁移和聚集;同时藻细胞持续增殖,影响范围仍在扩大。为抑制藻类继续生长,建议对污染河段及时清淤,并结合补水和生态措施,增强水体流动性和活力,重点加强整个流域管理。

关键词: 青年河; 藻类暴发; 底泥污染; 清淤补水; 叶绿素a

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)07-0076-05

Causes of Algal Bloom in the Urban River In Summer and Its Control Strategy

ZHANG Xue^{1,2}, SUN Ying¹, YUE Jia-ni¹, CAO Yun-xiao¹, MA Qian-li³, LIU Chang³

(1. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China; 2. Huizhou Water Group Co. Ltd., Huizhou 516000, China; 3. South China Institute of Environmental Sciences <MEE>, Guangzhou 510655, China)

Abstract: Qingnian River is a tributary of Dongjiang River, and the main drinking water source of Huizhou. The water quality of downstream river deteriorated due to the influence of urbanization, and the river basically recovered its function after the implementation of the sewage interception project. However, the algae bloomed at noon in some parts of the downstream river for several days since late September 2019. To solve this problem, pollution tracing and sampling were carried out in the polluted section during the algae bloom, so as to provide scientific basis for the subsequent control measures. Sediment pollution was the main cause of algae bloom. Suitable meteorological and hydrodynamic conditions aggravated algae migration and accumulation to the surface during noon. The algal cells continued to proliferate, and the range of influence was still expanding. To control algal bloom, it is recommended to dredge the polluted river reaches in time and combine water replenishment and ecological measures to enhance water mobility and vitality, especially to strengthen the management of the whole basin.

Key words: Qingnian River; algal bloom; sediment pollution; dredging and water replenishment; Chl-a

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2019B110205004); 辽宁省科学技术计划项目(2021JH4/10200006)

通信作者: 刘畅 E-mail: liuchang@scies.org

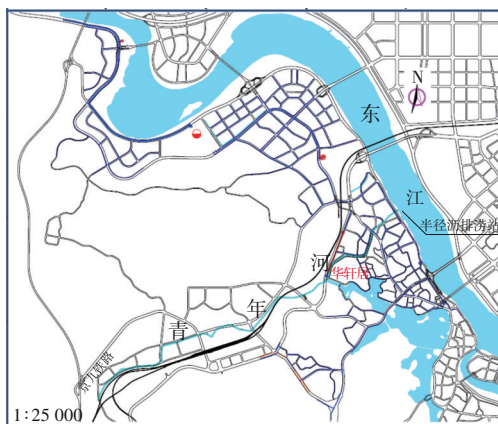
青年河属东江水系的主要支流,发源于惠环镇红花嶂,流经惠州市惠城区后汇入东江。青年河上游以丘陵低山地貌为主,水质相对良好;下游为青年河回水区,水位相对较深,已基本城市化,受两岸居民生产生活影响,部分河段水体氨氮浓度较高,呈富营养化状态。河水中藻类过度繁殖,会降低水体透明度和溶解氧,最终导致鱼类等水生生物因缺氧而大量死亡,水质不断恶化^[1-2];同时,藻类会产生微囊藻毒素等有毒代谢产物,其毒性强且结构稳定,对人体肝脏、肾脏、生殖系统和神经系统等具有毒性,威胁人类生命安全^[3]。

经过前期的截污工程,青年河下游段水质得到明显改善,水体健康基本恢复。然而,从2019年9月下旬开始,华轩居二期至三期河段持续多日出现中午大量藻类漂浮的现象。为揭示藻类暴发的原因及其影响范围,笔者对青年河下游华轩居河段开展了污染源和水质调查工作,并有针对性地提出了控制对策。

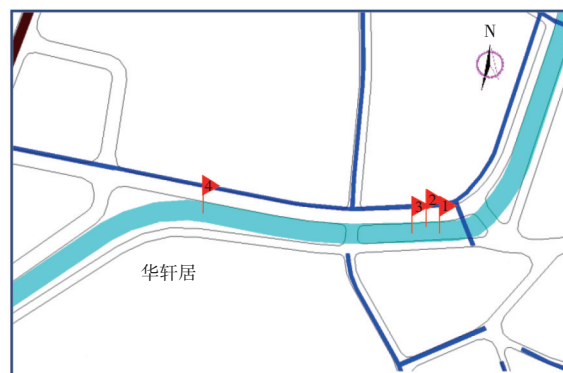
1 材料与方法

1.1 采样点布设

青年河完整水系图及下游华轩居段采样点分布如图1所示。为考察藻类对青年河的影响范围,在华轩居河段,以藻类大量聚集区域为起点,沿着藻类减少的方向,初始段每隔5 m设置一个采样点,取3个点(采样点1、2和3),之后间隔50 m设置一个采样点,共4个采样点。采样时间分别为早上06:00和中午12:00。其中,采样点1、2和3沿垂直方向,分别在表层、中层(距离表层约0.75 m)和底层(距离沉积物以上约0.5 m)取样;采样点4取表层水样。



a. 青年河完整水系图



b. 下游华轩居段采样点分布

图1 青年河水系图及下游华轩居段采样点分布

Fig.1 Map of Qingnian River system and the distribution of sampling points in the downstream Huaxuan residential section

1.2 检测指标及方法

本次采样和检测工作由惠州市水质检测综合服务有限公司承担,检测指标为透明度、溶解氧、氨氮、总磷和叶绿素a,均参考国标方法测定。

1.3 分析方法

数据的平均值和标准差采用Excel计算;各处理数据之间的差异通过单因素方差对比分析,差异显著性根据Duncan多重比较法确定($p < 0.05$);数据的统计分析采用软件SPSS 19.0;图的绘制采用软件Origin 8.0。

2 结果与讨论

2.1 污染成因分析

图2为青年河下游段水质调查现场。



a. 排口

b. 翻泥

图2 青年河下游段水质调查现场

Fig.2 Survey sites of water quality in the lower course of Qingnian River

经过调查,华轩居河段(采样点1~3)两侧排口有废水排出,来源为附近居民生活用水和工地施工废水;同时,该河段出现翻泥现象,表明因长期受污

水溢流影响,已形成底泥污染。

为进一步揭示青年河水体污染成因,考察了排口附近表层水的水质情况,如表1所示。

表1 2019年青年河排口附近表层水质情况

Tab.1 Surface water quality near the outlet of Qingnian River in 2019 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

采样时间	氨氮		总磷	
	采样点1~3	采样点4	采样点1~3	采样点4
2月	7.40	6.10	—	—
9月	3.67	1.11	0.30	0.14
10月	3.57	2.12	0.28	0.11

注: 采样点1~3的氨氮、总磷浓度为3个采样点测量结果的平均值,采样点4为同一点位3次测量结果的平均值。

青年河截污工程于2016年完工,始于京九铁路交界线,终于半径沥排涝站,工程沿河道两侧污染区域铺设截污管道,截污后水质已得到改善。然而自2019年开始,部分河段水质又出现恶化,氨氮严重超标(见表1),水体呈轻度黑臭状态,主要存在排口雨污混流、生活污水乱接乱排及后期管养不到位导致截污系统未能充分发挥工程效用等问题(2月)。整改后水质得到提升(9月—10月),然而采样点1~3所处断面位置的氨氮浓度持续超过GB 3838—2002中地表水V类标准,并且伴有翻泥现象,说明该河段面临来自底泥的内源污染。

青年河藻类暴发时的气象条件见图3。

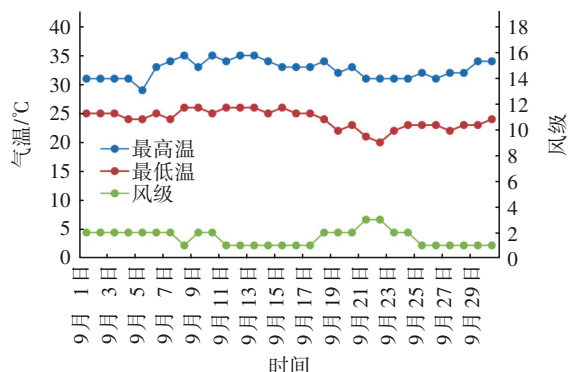


图3 青年河藻类暴发时气象条件

Fig.3 Meteorological conditions during algal bloom in Qingnian River

藻类水华的发生是一个藻类生物量逐渐积累的过程,由分散在水中的藻类群体上浮、聚集并迁移至水体表面所致^[4],通常在适宜的温度、光照和水动力条件下出现^[5-7]。在实施截污工程前,青年河长

期处于富营养状态,截污后水质虽得到改善,却出现翻泥现象,极易导致底泥中营养盐向水体中释放。加之9月持续高温、风速适宜(见图3),水体流动性不强,更容易引起藻类群体上浮、聚集于水体表面。

杭鑫等^[6]研究影响太湖蓝藻水华形成的气象指标发现,促使蓝藻大面积聚集的最适宜气温区间为15.1~35.0℃,平均风速区间为0.5~3.4 m/s,许多研究人员也得出相似的结论^[7],同时认为9月是太湖蓝藻水华容易暴发的时期。本研所得青年河藻类暴发季的温度和风速亦在此区间范围,进一步证实了气象因子是驱动秋季藻类聚集的原因。

2.2 叶绿素a的时空分布特征

为进一步揭示藻类活动与污染源的相关性及其演变过程,考察了各采样点位表层水中藻类叶绿素a浓度随时间的变化情况,结果见图4。

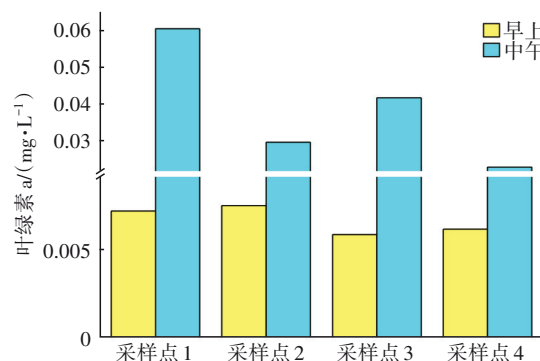


图4 叶绿素a的横向分布

Fig.4 Horizontal distribution of Chl-a

由图4可知,中午青年河表层水的藻类叶绿素a浓度高于早上,一方面温度升高、光照增强有利于藻细胞增殖^[6-8];另一方面,以蓝藻为代表的许多藻类可根据光照、溶解氧等调节自身浮力向表层迁移,以获得有利的生长资源^[9-10]。在空间位置上,受营养盐浓度影响,采样点1~3的叶绿素a浓度高于采样点4。由表1可知,采样点1~3所在河段氮磷浓度偏高,底泥污染较严重,导致藻类暴发现象加剧。由于在整个藻类暴发季节,风力较弱,水体几乎不流动,因此判断断面的营养盐浓度是造成叶绿素a横向分布差异的主要因素。

为考察藻类在水体中的迁移过程,检测垂直方向上的叶绿素a浓度,将采样点1~3作为样本,取叶绿素a均值进行分析,结果见图5。其中柱状图和误差线代表均值±标准差,不同小写字母表示垂直方

向叶绿素 a 差异显著性达 5% 水平,不同大写字母表示时间上叶绿素 a 的差异显著性达 5% 水平。

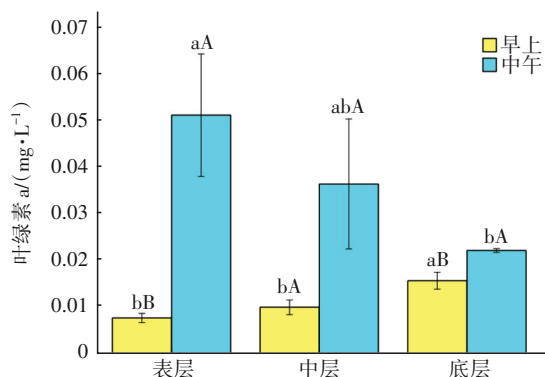


图 5 叶绿素 a 的纵向分布

Fig.5 Vertical distribution of Chl-a

由图 5 可知,藻类叶绿素 a 浓度沿垂直方向存在差异,早上随着水深增加而升高,底层浓度显著高于表层和中层;中午则相反,底层浓度显著低于表层和中层。河道底泥含有丰富的营养盐成分,因此藻细胞多附着于底泥^[8,11],然而中午藻细胞向表层迁移和聚集,一方面因为表层光照和溶解氧是藻细胞生命活动所需争夺的资源^[9-10],采样河段水体透明度为 37 cm,37 cm 以上的深层光照条件较差,溶解氧浓度低于地表水 V 类标准(见表 2),不利的环境条件使藻细胞发生垂直迁移;另一方面,中午底层接近厌氧的环境容易产生甲烷等难溶于水的气体,在气泡上升过程中携带底泥和藻细胞上浮^[12]。

表 2 不同时段青年河溶解氧随水深的变化

Tab.2 Variation of dissolved oxygen with water depth in Qingnian River in different periods

mg·L⁻¹

项 目	溶解氧	
	早上	中午
表层	4.12 ± 0.12 aB	6.34 ± 0.74 aA
中层	5.00 ± 0.59 aA	5.06 ± 0.48 aA
底层	4.26 ± 1.16 aA	1.45 ± 0.77 bB

注: 表中数据为均值±标准差,同列不同小写字母表示垂直方向溶解氧浓度差异显著性达 5% 水平,同行不同大写字母表示时间上溶解氧浓度的差异显著性达 5% 水平。

3 结论和建议

青年河此次藻类暴发主要由内源底泥污染引起,夏季持续的高温、光照和微风条件加速了藻类的聚集和上浮,导致中午时段出现肉眼可见的藻类

大面积漂浮现象,同时藻类仍在持续增殖,需要及时采取措施防止水质进一步恶化。

青年河水质恢复建议采取如下措施:①针对底泥污染河段进行清淤;②通过水生动物或微生物进行生物除藻,结合不同种类水生植物在时间和空间上的优化配置,构建水生植物优势群落,控制藻类暴发;③通过潮汐调度、生态补水等措施,增强水体流动性,提高水体自然恢复能力;④加强河道管养维护,定期打捞,发现偷排及时上报,并协调相关部门清理整顿;⑤加强青年河流域管理,以及对修复后水体的管控,通过智慧水务现代化管理方式实时监控,发现问题及时解决。

参考文献:

- [1] 周丝,赵敏,马增岭. 富营养化浅水湖泊生态治理措施及效果——以温州大学明心湖生态治理工程为例[J]. 环境保护科学,2022,48(5):50-58.
ZHOU Si, ZHAO Min, MA Zengling. Effects of ecological restoration measures on eutrophic shallow lakes—a case study of ecological restoration project performed in Mingxin Lake of Wenzhou University [J]. Environmental Protection Science, 2022, 48(5): 50-58 (in Chinese).
- [2] 陆晓晗,曹宸,李叙勇. 基于浮游植物的北方景观河流水生态系统评价[J]. 环境保护科学,2020,46(3):104-113.
LU Xiaohan, CAO Chen, LI Xuyong. Evaluation of water ecosystem in northern landscape rivers based on phytoplankton [J]. Environmental Protection Science, 2020, 46(3): 104-113 (in Chinese).
- [3] 贺燕,黄先智,丁晓雯. 微囊藻毒素毒性及其作用机理研究进展[J]. 食品科学,2020,41(5):290-298.
HE Yan, HUANG Xianzhi, DING Xiaowen. Advances in research on toxicity and mechanism of action of microcystins [J]. Food Science, 2020, 41(5): 290-298 (in Chinese).
- [4] 孔繁翔,高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报,2005,25(3):589-595.
KONG Fanxiang, GAO Guang. Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 589-595 (in Chinese).
- [5] TONG Y D, XU X W, QI M, et al. Lake warming

- intensifies the seasonal pattern of internal nutrient cycling in the eutrophic lake and potential impacts on algal blooms[J]. *Water Research*, 2021, 188: 116570.
- [6] 杭鑫, 罗晓春, 谢小平, 等. 太湖蓝藻水华形成的适宜气象指标[J]. *气象科技*, 2019, 47(1): 171-178.
- HANG Xin, LUO Xiaochun, XIE Xiaoping, *et al.* Suitable meteorological indicators for formation of cyanobacteria blooms in Taihu Lake[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2019, 47(1): 171-178 (in Chinese).
- [7] 罗晓春, 杭鑫, 曹云, 等. 太湖富营养化条件下影响蓝藻水华的主导气象因子[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(5): 1248-1258.
- LUO Xiaochun, HANG Xin, CAO Yun, *et al.* Dominant meteorological factors affecting cyanobacterial blooms under eutrophication in Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(5): 1248-1258 (in Chinese).
- [8] HAN Y, AZIZ T N, GIUDICE D D, *et al.* Exploring nutrient and light limitation of algal production in a shallow turbid reservoir[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 269: 116210.
- [9] 陈何舟, 左胜鹏, 秦伯强, 等. 微囊藻聚集与迁移机制的研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2019, 42(1): 142-149.
- CHEN Hezhou, ZUO Shengpeng, QIN Boqiang, *et al.* Research progress in mechanism of microcystis aggregation and migration[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 42(1): 142-149 (in Chinese).
- [10] 蓝鑫, 吕靖马, 靖宇, 等. 北京十渡水库浮游植物群落昼夜垂直分布特征[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(7): 1877-1884.
- LAN Xin, LÜ Jingma, JING Yu, *et al.* Diel vertical distribution patterns of phytoplankton community in Shidu Reservoir, Beijing [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(7): 1877-1884 (in Chinese).
- [11] MINAUDO C, ABONYI A, LEITÃO M, *et al.* Long-term impacts of nutrient control, climate change, and invasive clams on phytoplankton and cyanobacteria biomass in a large temperate river[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 756: 144074.
- [12] 康丽. 悬移质泥沙影响下浮游植物群落的重塑过程及其生态风险[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- KANG Li. Response of Phytoplankton Community to SPM and the Assessment of Potential Ecological Risk [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019 (in Chinese).

作者简介: 张雪(1986-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 高级工程师, 主要从事生态环境质量改善和修复技术研究工作。

E-mail: zhangxue86119@163.com

收稿日期: 2020-10-28

修回日期: 2021-03-11

(编辑: 沈靖怡)

加强湖泊管理保护
改善湖泊生态环境
维护湖泊健康生命