

湖泊河口蓝藻水华发生机制及应对措施

——以长江沿线某浅水内湖河口为例

刘思路

身份证号码: 140108199504161923

摘要: 以长江沿线某浅水内湖河口为研究对象, 分析其在夏季蓝藻水华发生的成因, 探究湖泊河口蓝藻水华发生的常见机制, 并提出相应的应对措施, 为湖泊河口蓝藻水华治理提供参考。

关键词: 湖泊河口; 内湖; 措施

Mechanism and countermeasures of cyanobacteria blooms in lake estuaries

— A case study of a shallow lake estuary along the Yangtze River

Silu Liu

Id card number: 140108199504161923

Abstract: Taking a shallow water inland lake estuary along the Yangtze River as the research object, this paper analyzed the causes of cyanobacteria blooms in summer, explored the common mechanism of cyanobacteria blooms in lake estuaries, and put forward corresponding countermeasures, providing reference for the management of cyanobacteria blooms in lake estuaries.

Keywords: Lake estuary; Lake; Measures

一、区域概况

研究对象湖泊位于江西省北部, 向北注入长江。随着湖泊周边区域开发建设进程的加快, 该湖泊与周边湖泊及长江的连通性受到一定影响, 成为典型的城市浅水内湖。由于受到游农业面源污染和周边建设用地城市面源污染等污染负荷的影响, 其水体汛期总氮和总磷浓度均较高, 水体富营养化, 蓝藻水华时有发生。研究对象河道是该湖泊支流, 自东向西汇入湖泊的东北角湖湾。

二、入湖河口水华成因

1. 地形因素

研究对象河道入湖河口的口袋状地形及喇叭状河口形成了一个天然的蓝藻收集区, 区域内集中了夏季研究对象湖泊近20km²水面产生的蓝藻量。再加上河道下游段湖势平坦, 水流平缓, 导致蓝藻在河道下游段繁殖生长, 爆发蓝藻水华。同时由于汛期湖泊水位上涨, 而河道上游来水水量有限, 高水位顶托下河道下游河段水动力不足, 入湖河口区域水面聚集的蓝藻随湖水倒灌进入河道, 使得河道下游段经常发生蓝藻聚集。同时下游河段受研究对象湖泊和上游来水双重影响, 水体水质较差,

使得倒灌入河的蓝藻进一步得以繁殖和爆发, 这是湖泊河口蓝藻爆发的根本原因。

2. 营养盐

氮磷含量是判断水体富营养化的主要标准之一, 水体氮磷含量偏高时易形成蓝藻水华, 且通常认为磷的影响大于氮。为了解研究对象河道在夏季蓝藻水华风险较高时的水环境质量状况, 从上游至下游依次选取10个点采样点, 采样点分布如图1所示。河道采样点于2020年8月定时取样, 监测项目包括COD_{Mn}、NH₃-N、TP。由图2可知, 河道上游COD_{Mn}浓度低于III类限值, 但在其它河流汇入后(河道采样点4)浓度上升, 表明其它河流的汇入带入了大量有机污染物。之后浓度在下游进一步增高, 特别是入湖口处已超过V类限值。由图3, 河道上游NH₃-N浓度低于III类限值, 同样在其他河流汇入后浓度飙升, 超过V类限值, 之后在入湖口处浓度有所下降, 达到III类标准, 这可能是由于河水的稀释作用, 水质有所改善。就TP浓度而言(图4), 入湖口处达到了全河道最高值, 远高于V类限值, 且研究对象湖泊TP浓度同样较高, 加大了蓝藻水华暴发风险。研究区域用地类型复

杂, 居住用地、商业用地、丘陵均有存在, 降雨初期, 雨水冲刷城市路面、建筑物等, 携带污染物进入河道、



图1 采样点分布图

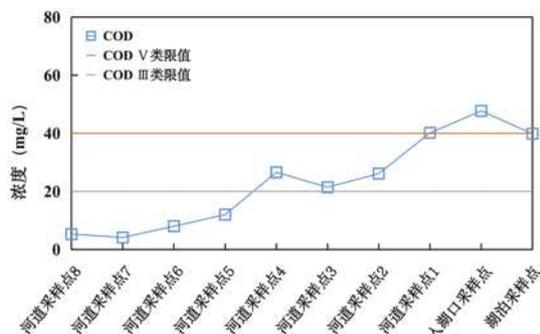


图2 研究对象河道沿程监测点COD_{Mn}浓度变化图

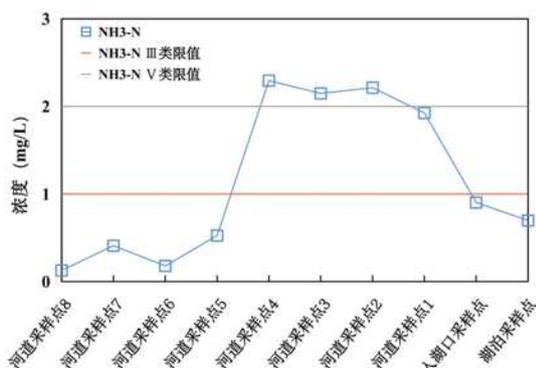


图3 研究对象河道沿程监测点NH₃-N浓度变化图

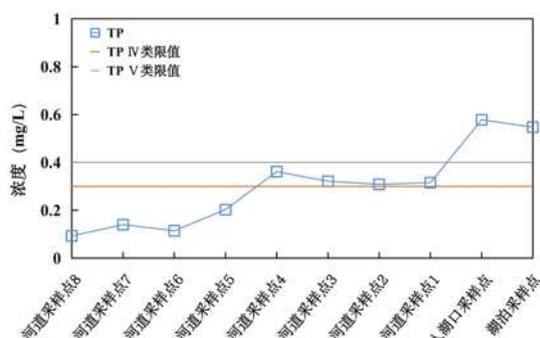


图4 研究对象河道沿程监测点TP浓度变化图

湖泊中, 所有水体在入河之后没有任何净化措施, 导致其下游水质较差。另外河湖底泥内源污染释放进入水体的氮、磷营养盐也是造成湖泊水体富营养化的污染源之一。研究对象河道下游的底泥分布总体呈现沿水流方向递增的趋势, 靠近研究对象湖泊的断面底泥厚度最大。各种污染物通过底泥—水界面的物质交换重新释放到上覆水中, 随着夏季温度升高, 释放量也不断增加, 对入湖口水体的营养水平产生了不可忽视的影响。

此外崔宜淳等^[3, 4]研究表明, 微量营养元素(铁、钼等)和稀土元素(镧、铈等)对水华藻类的生长也会产生一定影响。在对铁的研究中显示, 铁参与藻类光合作用, 也是硝酸盐、亚硝酸盐还原酶系中必不可少的组分, 故铁可能是蓝藻水华爆发因子之一^[5]。研究对象河道地处我国南方红壤地区, 土壤中的铁含量较高, 因而水体中的铁元素可能较其他地区要高, 从而促进蓝藻水华的暴发, 防治富铁红壤的水土流失也是抑制该地区湖泊藻类过快生长的目标措施之一。

3. 气象

适宜的温度、光照、降水等条件也是造成蓝藻大规模暴发的重要因素。研究区域属中亚热带向北亚热带过渡的湿润季风气候带, 气候温和, 光照充足。当水温达到20℃时, 蓝藻胞内酯酶活性受到刺激, 蓝藻开始生长^[6], 在温度达到25-35℃时, 比增殖速率快速升高^[7]。该地区多年平均气温为17.5℃, 其中平均气温20℃以上的时间长达6个月, 较高的水温有利于蓝藻成为优势种群, 促进蓝藻水华的发生。光照对水华发生也起着重要作用。在蓝藻盛行的夏季, 该地区气候受副热带高压控制, 天气晴热少雨, 充足的光照有利于蓝藻在河湖表面浮聚, 形成水华。降水对蓝藻水华生消的影响也不可忽视。受季风影响, 每年4-6月该区域会有大范围降雨。降雨往往伴随着水华的暂时性消退, 但同时会将上游或沿岸的营养盐等物质带入河道, 进而在中长期影响水华的生消过程。除此之外, 风向是藻类生物量空间分布差异的主要原因。该区域夏季盛行西南风, 致使湖泊水体表面分布的蓝藻向东北角湖湾移动, 加之入湖河口口袋状地形及喇叭状河口形成的天然蓝藻收集区, 因此蓝藻易在入湖河口处聚集。

4. 生态系统

生态系统完整性对于抵抗外来干扰、维持水环境动态平衡具有重要作用。然而研究对象河道水生生物群落结构遭到严重破坏, 生境条件退化, 水体自净能力基本丧失, 加大了入湖河口处蓝藻水华发生的风险。丰富的水生植物可为鱼类、爬行类和其他野生动物提供食物、繁殖场所和栖息地, 各类水生生物之间通过捕食关系形成一个复杂稳定的水生态系统, 在控制蓝藻暴发、水质恶化和改善水生态系统方面起着重要的正面作用。研究

对象河道内水生植物种类较为单一，基本均为杂生的湿生植物，且调查过程中未发现鱼类。鱼类位于水生生态系统的较高或最高营养级，对水生生态系统的演化具有重要上行和下行效应^[1]，其中滤食性鱼类不仅可通过输出渔获物降低水体中营养盐含量，还可通过摄食蓝藻直接降低其生物量^[2]。鱼类的缺失或种群结构不合理都会对水环境平衡产生不良影响。

5. 沉降

与夏季相比，秋季水体中蓝藻沉降的比例更高^[8]，在水华末期会大量沉降到底泥-水界面^[9]。而蓝藻细胞的沉降主要受伪空胞和细胞镇重物的影响。

伪空胞可通过浮力调控使蓝藻在水体中垂直升降，浮于水体表面，获得更强的光照、吸收更多的营养盐等，进一步形成水华^[10]。而氮可获得性会影响蓝藻细胞内伪空胞的合成。杨波^[11]等人的研究表明，氮充足时，伪空胞可提供足够的浮力，使所有的细胞都保持上浮状态，而氮限制时，蓝藻体内的伪空胞合成受阻，当氮的细胞份额降到最低时，90%以上的细胞丧失浮力。蓝藻的沉降同时还受到细胞内镇重物（碳水化合物和蛋白质）的影响，而氮的可获得性会影响蓝藻细胞内碳水化合物含量。氮限制条件下，微囊藻细胞内碳水化合物含量会显著升高，促使其在水华末期的沉降^[12-14]。

三、治理建议

1. 监测预警

对蓝藻水华暴发风险进行监测预警是防控蓝藻水华的重要前提。监测可采用常规定点人工监测和无人机巡查相结合的方式，后续利用数学模型对蓝藻水华进行预测预警。监测项目主要包括能够反应水体富营养化程度的理化指标，以及浮游植物等，在蓝藻爆发期，应增加监测频次。

2. 物理拦截

利用入湖河口水域地形特点，通过布设多道围隔、浮坝拦截，将蓝藻控制在一定的水域内，方便及时打捞处理，同时阻止蓝藻从研究对象湖泊向河口倒灌。最大化减轻其在蓝藻暴发后对研究对象河道的影响。

3. 防控清除

利用加压或打捞的方式原位清除蓝藻，避免堆积蓝藻死亡腐败出现水体缺氧的情况发生；同时在蓝藻沉降休眠季节进行底泥疏浚，降低沉积物的内源供应。针对研究对象河道下游水流滞缓、水动力不足的情况，可通过科学布设曝气设备，提升水体溶解氧含量，改善河道水质。

4. 生态修复

针对河水内不同的目标污染物，合理选择人工湿地的位置、类型、填料以及植物，利用植物化感作用抑制蓝藻生长，以实现低成本、高处理效果；同时利用不同植物的造型搭配，提升河湖景观效果。

参考文献:

- [1]王扬才, 陆开宏. 利用鱼类控制蓝藻水华[J]. 中国水产, 2006, (08): 71-72+80.
- [2]梁勇, 王荣臣, 李墨, et al. 密云水库滤藻鱼类增殖放流对水生态环境影响分析[J]. 北京水务, 2020, (S1): 60-63.
- [3]崔宜淳. 稀土元素—镧、钕对两种淡水浮游藻类增殖的影响[D]; 首都师范大学, 2007.
- [4]尹大强, 杨兴焯, 周风帆, et al. 稀土元素对富营养化水体中藻类增长的影响[J]. 环境科学, 1998, (05): 3-5.
- [5]Dai G F, Peng N Y, Zhong J Y, et al. Effect of metals on microcystin abundance and environmental fate [J]. Environmental Pollution, 2017, 226: 154-162.
- [6]Latour D, Sabido O, Salencon M J, et al. Dynamics and metabolic activity of the benthic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in the Grangent reservoir (France) [J]. Journal of Plankton Research, 2004, 26(7): 719-726.
- [7]杨飞, 刘钰, 张毅敏, et al. 涡湖蓝藻水华发生成因及控制研究进展; proceedings of the 2020 中国环境科学学会科学技术年会, 中国江苏南京, F, 2020[C].
- [8]Visser P M, Ibelings B W, Mur L R. Autumnal sedimentation of *Microcystis* spp. as result of an increase in carbohydrate ballast at reduced temperature [J]. Journal of Plankton Research, 1995, 17(5): 919-933.
- [9]吴晓东, 孔繁翔, 张晓峰, et al. 太湖与巢湖水华蓝藻越冬和春季复苏的比较研究[J]. 环境科学, 2008, (05): 1313-1318.
- [10]Medrano E A, Uittenbogaard R E, de Wiel B J H v, et al. An alternative explanation for cyanobacterial scum formation and persistence by oxygenic photosynthesis [J]. Harmful Algae, 2016, 60: 27-35.
- [11]杨波. 蓝藻伪空胞的特征及其浮力对氮磷和温度的响应机制研究[D]; 湖南农业大学, 2007.
- [12]Huang Y, Hong J, Liang C, et al. Nitrogen limitation affects the sinking property of *Microcystis* by promoting carbohydrate accumulation [J]. Chemosphere, 2019, 221: 665-671.
- [13]Chu Z, Jin X, Yang B, et al. Buoyancy regulation of *Microcystis flos-aquae* during phosphorus-limited and nitrogen-limited growth [J]. Journal of Plankton Research, 2007, 29(9): 739-745.
- [14]Bouma-Gregson K, Power M E, Bormans M. Rise and fall of toxic benthic freshwater cyanobacteria (*Anabaena* spp.) in the Eel river: Buoyancy and dispersal [J]. Harmful Algae, 2017, 66: 79-87.