

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.06-01

湖库水体常见蓝藻水华成因分析 ——以江西省 2 个典型水体为例

彭宁彦, 杨平, 孔琼菊

(江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

摘要: 蓝藻水华的暴发受水温、营养盐及其自身生理特性等多种因素影响。江西省湖泊水库众多,且各自的水生态环境特点差异较大,为了解江西湖库蓝藻暴发成因,本研究选取柘林水库(柘林湖)和共青城西南湖作为典型研究对象进行了水生态环境调查分析,结果表明:两水体的藻类组成繁杂多样,且以蓝绿藻为主要优势种,当地气候条件较适合藻类生长;具有滤食性和捕食藻类的大型底栖动物和大型浮游动物的数量比例过少;水生维管束植物覆盖度过低,水体营养盐适宜,来源稳定、充足,加上江西地区富含微量元素的土壤地质条件,上述因素均将导致该地区水体蓝藻水华较易发生,应针对性加以防范治理。

关键词: 湖库水体; 蓝藻水华; 营养盐; 成因分析

中图分类号: X524

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2019)06-0391-05

0 引言

蓝藻水华通常是水体富营养化的结果与表征,目前一般认为蓝藻水华的暴发与水温、水体营养盐及蓝藻自身的生理特点等因素有关。此外,蓝藻水华也会通过水文、气候等因素间接地影响湖泊水体的分层、混合等形式而形成。本研究以江西省的柘林湖和西南湖为典型研究对象,在 2015~2016 年对其进行系统的生态调查,并分析其局部水域易发生藻华背后的初步成因,其结果和结论对我省湖库水生态安全具有较好的指导作用。

柘林湖位于江西省九江市的永修县与武宁县之间,修河流域中上游,地理坐标在东经 115°04'~115°40',北纬 29°03'~29°18'之间,其 80%的水面在武宁县境内,有大小支流 603 条汇入柘林湖,湖区南北宽 15.53km,东西长 44.00km,平均水深约 18.59m,最大水深为 45.00m。坝址以上集水区域面积 9 340km²,湖区水

域面积 308km²,湖泊总库容 79.2 亿 m³[1]。西南湖位于江西省共青城市的东南部,地处鄱阳湖湖盆西部,在鄱阳湖国家级自然保护区的蚌湖和沙湖之间,由柳津河分隔,是鄱阳湖湖盆内的重要蝶形湖,其水域面积约 7.3km²,通过人工圩堤与鄱阳湖分隔开,每年丰水期有约 20 天的时间和鄱阳湖主湖区进行水体交换,其主要用途为水产养殖、观光旅游和城区污水吸纳净化,当地称这片人工围垦水域为西南湖,平均水深约 3.50m。

1 材料与方法

根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中常规指标,如 TN、TP 等均采用国标法进行采样、测定和评价。浮游植物计数鉴定方法采用《中国淡水藻类:系统、分类及生态》[2]和《淡水微型生物图谱》[3]的血球计数板法。根据 Mcnaughton 指数 $Y=(n_i/N) f_i$ 来确定藻类优势种,其中 n_i 为第 i 种藻类的细胞数, N 为样品中所有藻类的总细胞数, f_i 为第 i 种藻类在各样点出现的频率。

收稿日期:2019-10-11

项目来源:国家重点研发计划项目(2018YFC0407605,2017YFE0125700);国家自然科学基金(31660138),江西省水利厅科技项目(KT201708,201821ZDK11)。

作者简介:彭宁彦(1987-),女,硕士,助理工程师。

将优势度指数 $Y > 0.02$ 的藻类判定为藻类优势种^[4]。

浮游生物样本的采集用浮游生物网进行。采集方法为取水样 1L, 将采集到的浮游植物和浮游动物样品加入鲁哥试剂或甲醛保存。用 $1/16\text{m}^2$ 的 Peterson 采泥器采集底栖动物样品, 每个采样点重复采集 2~3 次, 样本采集后经 40 目网筛洗干净, 在解剖盘中分拣, 用 10% 福尔马林溶液固定和保存, 标本在实验室分类、鉴定和计数。

采用水生植物镰式采草器对湖泊内分布的水生植物进行采样, 每个样点的采集面积为 0.4m^2 , 鉴定所采集的水生植物种类, 记录其群落组成特征, 并称量每种植物的鲜重, 计量群落平均生物量。

2 结果与讨论

2.1 水温和气候条件较适宜藻类生长

江西地区湖库藻种源十分丰富, 夏秋高温季节 (6~11 月) 常以蓝藻、绿藻和硅藻为主要优势种^[5]。本次调查共监测到西南湖的浮游植物 110 种, 见图 1(a)。隶

属 8 门 76 属, 以绿藻门种类数为最多, 为 55 种, 占 50.0%; 蓝藻门次之, 为 22 种, 占 20.0%; 硅藻门 18 种, 占 16.5%; 裸藻门 5 种, 占 4.5%; 隐藻门和甲藻门各 3 种, 共占 5.4%; 金藻门、黄藻门各为 2 种, 共占 3.6%。浮游植物丰度的平均值为 2.45×10^7 cell/L, 其中蓝藻门细胞数量最高, 为 2.16×10^7 cell/L; 浮游植物生物量的平均值为 7.17mg/L , 其中蓝藻门为主要贡献者, 生物量为 4.33mg/L 。即使在不属于蓝藻多发的 3~5 月时间, 其水体中的蓝藻生物种群细胞密度也占据优势, 随着温度升高和日照加强, 该片水体发生或暴发蓝藻水华的风险将迅速增加。同期柘林湖共检测到浮游植物 7 门 59 种, 见图 1(b)。绿藻门属类最多, 为 28 种, 占总种数的 47%; 硅藻门次之, 15 种, 占总种数的 25%; 蓝藻门 9 种, 占总种数的 15%; 甲藻门、隐藻门、裸藻门、金藻门属类较少, 共 7 种, 共占总种数的 13%。在较常检出的蓝藻种群中, 微囊藻属主要有: 水华微囊藻 (*Microcystis flos-aquae*)、边缘微囊藻 (*Microcystis marginata*) 和不定型微囊藻 (*Microcystis incerta*) 等。此外, 还有席藻属和鱼腥藻属浮游植物, 其中某些种类还具有一定的产毒特性和固氮功能^[6]。这些藻种都极易暴发蓝藻水华, 因而必须加以防范。

上述两个水体均地属中亚热带(北缘)季风湿润气候, 其特征是温暖湿润, 雨水丰而不调, 上半年多阴雨, 下半年光照充足, 春阴夏热, 秋旱冬冷, 四季分明。年平均气温 16.8°C , 日平均温度稳定超过 10°C 的天数为 237~249d, 年积温为 $5\ 302\sim 5\ 611^\circ\text{C}$, 年平均无霜期 248 天。年太阳总辐射量为 108.06kcal/cm^2 , 多年平均年降水量为 $1\ 538.34\text{mm}$, 年平均降水日为 131~146d, 年际、年内间变幅较大, 夏、秋季节水体平均温度均在 27°C 以上。这些条件十分适合藻类微生物特别是蓝藻的生长繁殖, 因此较易发生蓝藻水华。

2.2 大型底栖动物和浮游动物种群结构不适宜抑制蓝藻增殖

西南湖初步调查到浮游动物 34 种(不包括无节幼体), 其中轮虫 18 种、枝角类 7 种、桡足类 6 种、其它类型 3 种。浮游动物丰度为 1 986 个/L, 生物量为 0.46mg/L 。柘林湖共检出游动物 4 类 70 种, 其中原生动物 29 种, 轮虫 15 种, 浮游甲壳类 26 种。原生动物常见种类有瓶砂壳虫、褐砂壳虫、球形砂壳虫、杂葫芦虫等。据调查柘林湖浮游动物密度介于 0~3 600 个/L, 平均 342 个/L, 夏秋季平均生物量约 5mg/L 。

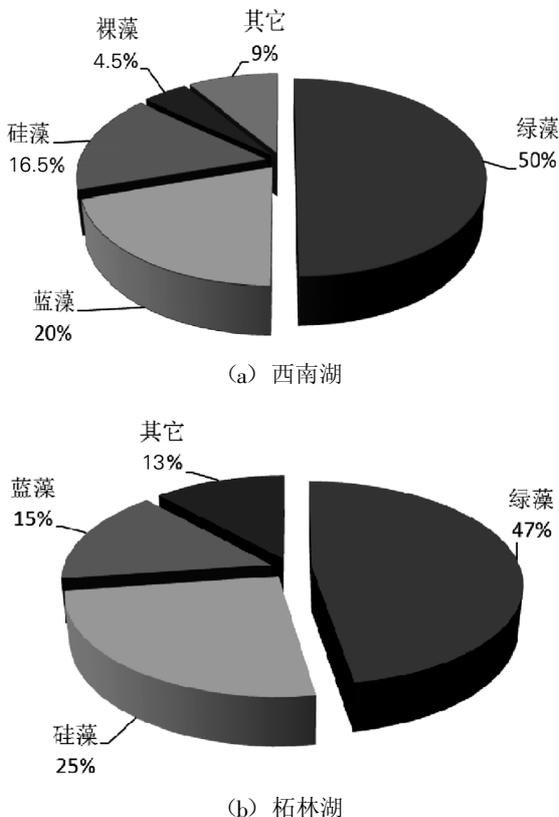


图 1 西南湖和柘林湖藻类组成图

西南湖底栖动物共采集到 30 种, 分别隶属于 3 门、7 纲、10 科, 软体动物 24 种, 占总种数的 80%; 节肢动物 4 种, 占总种数的 13.3%; 环节动物 2 种, 占总种数的 6.7%。底栖动物密度范围为 38.9~751.8ind/m², 平均密度为 262.6ind/m²。底栖动物生物量范围为 0.268~24.271g/m², 平均生物量为 48.297g/m²。柘林湖共发现底栖动物 3 大类 34 种, 其中软体动物门 14 种, 占总种数的 41%; 节肢动物门 12 种, 占总种数的 35%; 环节动物门 8 种, 占总种数的 24%。优势种为梨形环棱螺 (*Bellamyapurificata*)、羽摇蚊 (*Tendipes plumosus*) 等, 夏、秋季平均生物量达到 2 400g/m², 见图 2。

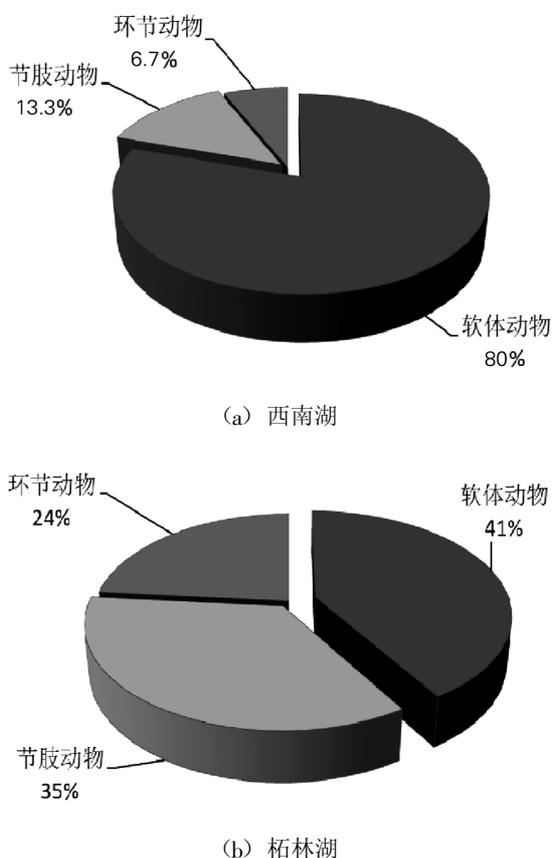


图2 西南湖和柘林湖底栖动物组成图

西南湖、柘林湖的浮游动物和底栖动物均相对比较丰富, 但湖底有效抑制藻类的水生态系统尚未形成, 具有滤食性和捕食藻类的大型底栖动物和大型浮游动物的数量比例过少, 缺少能够捕食和滤食蓝藻的大型蚤类。如: 能够牧食蓝藻多细胞体的长刺蚤和哲水蚤等, 同时缺少螺、蚌和蚬等大型底栖型的滤食类动物。螺蚌类对藻类有明显的抑制作用, 可过滤并吞食一定

的浮游植物和水体悬浮物, 通过自身的吸收代谢作用再分解为无害物质, 并使水澄清。卢晓明等^[7]研究表明牡蛎能够抑制藻类生长, 同时促进海草等水生植物的生长, 并通过反硝化过程使水中氮含量下降, 从而使水体变清。

2.3 鱼类种群结构总体合理, 但水生维管束植物覆盖度过低

西南湖共调查采集鱼类 41 种, 分别隶属于 5 目 8 科 31 属, 鲤形目鱼类 2 科 30 种, 鲱形目 1 科 1 种, 鲈形目 2 科 4 种, 合鳃鱼目 1 科 1 种, 鲇形目 2 科 5 种, 渔获物中以鲢、鳙、鲤、鲫为主, 青鱼、草鱼、鮰属鱼类及黄颡类等经济鱼类在共青城南湖水域的渔获物中所占比例相对较小。柘林湖全区(含人工养殖)共含鱼类 73 种, 分属 9 目 23 科, 以鲤形目鱼类最多, 计 48 种, 占 65.8%; 其次为鲈形目 10 种, 占 13.7%; 鲇形目 5 种占 6.8%; 鳊鲃目 2 种、鲑形目 2 种, 各占 2.7%; 其它鱼类 6 种, 占 8.3%。平均生物量约 35g/m², 总体小型化和人控化趋势较明显。

鱼类处于水生态系统生物链的较高或最高营养级, 在水生态系统的演化、演变和变化过程中具有重要的上行和下行效应。水生态系统修复中的生物操纵技术, 就是指通过对鱼类种群结构的操控, 来控制水体的富营养化和水质^[8]。从上述鱼类种群结构分析可以看到, 该两处水体鱼群总体结构尚可, 能够滤食蓝藻的鲢鳙等种群和数量均较为充足。

西南湖历史上长时间为典型人控围垦养殖区, 因此水生维管束植物覆盖度非常低, 本次调查只检测到 10 种水生植物, 主要为挺水型和湿生型两大类, 很少发现成群性漂浮植物和沉水植物。水生维管植物不仅为栖息的鸟类、鱼类、爬行类和其他野生动物提供赖以生存的食物、水和庇护场所, 而且发挥着诸如净化水质、调节洪水、改善物质循环等生态功能。水生维管植物是湿地生态系统的初级生产者, 也是其系统中最重要的一员, 对维持整个湿地生态系统的运作发挥着不可替代的作用, 并且在控制蓝藻暴发、水质恶化和改善水生态系统方面也起着最为重要的正面作用^[9]。柘林湖共有水生(湿生)植物 18 科, 30 种, 都以挺水和湿生类植物为主。由于柘林湖水较深, 岸壁较为陡峭, 水生植物受光照和地质条件局限性影响, 造成大型水生植物类群稀缺, 仅依稀存有少量的挺水植物区, 减少了对水体氮、磷的吸收和沉积物的拦截效应, 同时也阻碍

了对幼鱼、鱼卵及其他小型生物的孵化和庇护功能。上述因素均会加大该两处水体局部区域发生蓝藻水华的风险。

2.4 水体氮磷营养盐及含量比较适宜蓝藻生长

氮磷含量是判断水体富营养化的标准之一。当前,一般认为形成水华的主要原因是水体氮磷含量偏高。氮、磷都是影响藻类发育不可或缺的元素,且磷的影响要大于氮。一般,磷是合成藻细胞内核酸和质膜的基本元素,其主要是以 $H_2PO_4^-$ 、 HPO_4^{2-} 无机离子态吸收,而氮主要是被藻类用于合成细胞内的叶绿素、核酸、蛋白质等物质。发生水华的水体 N、P 含量的关系复杂,不仅与其浓度有关,同时还和氮磷比值及其存在形态有重要关系。Redfield 定律认为,组成藻类细胞碳氮磷的原子比是 106:16:1,当氮磷比大于 16 时,认为磷是限制性元素,如果氮磷比小于 10,则认为氮是限制性元素^[10,11]。

水体总氮、总磷营养盐检测结果显示,西南湖总氮浓度平均值约为 2.48mg/L,总磷平均值约为 0.145mg/L,处于适宜暴发蓝藻水华的富营养水平,水体总氮、总磷浓度比在 17~50 之间,属于以磷为控制元素的富营养水平水体。柘林湖总氮浓度平均值约为 0.68mg/L,总磷平均值约为 0.03mg/L,总体处于中营养水平,其总氮、总磷浓度比值约为 23,也属于以磷限制为主的中营养状态水体,也具有一定的蓝藻水华风险。

2.5 微量元素适宜可能导致蓝藻水华增多

除了氮、磷浓度适宜之外,还有其他营养盐的存在或浓度适宜也可能引起某些藻类暴发。崔宜淳等^[12,13]的研究表明微量营养元素(铁、钼等)和稀土元素(镧、钕等)对水华藻类的生长也会产生一定影响。在农业上常用稀土元素作为高效微量肥料,可以明显增加大豆和蔬菜、瓜果的产量。目前已有大量关于这些微量元素对水华发生机制的影响研究。在对铁的研究中显示,铁是一种多类酶系的辅助因子,参与生物体细胞色素、铁氧化还原蛋白和铁硫化蛋白的合成,因此铁是藻类光合作用中必不可少的元素。同时,铁也是硝酸盐、亚硝酸盐还原酶系中必不可少的组分,可以明显加快藻类体内硝酸盐、亚硝酸盐的还原效率和转移速率,故铁可能是蓝藻水华爆发因子之一^[14,15]。西南湖和柘林湖均地处我国南方红壤土地地区,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,从而有利于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 结 语

蓝藻水华是水生态系统平衡遭到了破坏,由多种原因综合作用导致。江西省两个典型的生态环境调查结果表明,蓝藻水华多在高温季节,特别是在抑藻浮游动物种类数量稀少,大型水生植物覆盖度过低以及氮磷营养盐过剩的水体中较易发生。水域生态系统中,浮游动物、浮游植物种群类型有成千上万种,底栖和浮游动物的种群也有成百种,它们之间形成了复杂的食物链网结构和物质、能量流动场,通过把握各个生物量与种群环节,发挥、优化水生态系统的功能和结构,可有效地控制藻类暴发和污染发生。同时以恢复湖库水生态系统平衡为最终目标,通过加大对流域水环境与水生生态状况的监测,构建流域水环境与生态科学评估体系,来完善山水林田湖草的流域生态系统综合治理调控,是治理好湖库富营养化蓝藻水华的关键。

参考文献:

- [1] 刘慧丽,戴国飞,张伟,等. 鄱阳湖流域大型湖库水生生态环境变化及驱动力分析——以柘林湖为例 [J]. 湖泊科学, 2015, 27(2): 266~274.
- [2] 周凤霞,陈剑虹. 淡水微型生物图谱[M]. 化学工业出版社, 2010.
- [3] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类:系统分类及生态[M]. 科学出版社, 2006.
- [4] Menaughton SJ. Relationship among functional prosperities of California grassland. Nature, 1967, 216: 168~169.
- [5] 戴国飞,刘慧丽,张伟,等. 江西柘林湖富营养化现状与藻类时空分布特征[J]. 湖泊科学, 2015, 27(2): 275~281.
- [6] 孔德柱,张树峰,周玉生,等. 固氮鱼腥藻在小麦和西红栊上的肥效[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 499~502.
- [7] 卢晓明,金承翔,黄民生,等. 底栖软体动物净化富营养化河水实验研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(7): 7~9.
- [8] 王扬才,陆开宏. 利用鱼类控制蓝藻水华 [J]. 中国水产, 2006, 369(8): 71~72.
- [9] 谢树莲,王捷,刘琪,等. 植物化感作用控藻研究进展[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2017, 40(3): 652~660.
- [10] 张萌,祝国荣,周愨,等. 仙女湖富营养化特征与水环境容量核算[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1395~1404.
- [11] 许海,朱广伟,秦伯强,等. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响[J]. 中国环境科学, 2011, 31(10): 1676~1683.
- [12] 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.
- [13] 尹大强, 杨兴焯. 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, 19(5): 56~59.
- [14] Dai G, Peng N, Zhong J, et al. Effect of metals on microcystin abundance and environmental fate [J]. Environmental Pollution, 2017, 226: 154~162.
- [15] Wang Q, Xu Z, Jiang X, et al. Effect of Fe^{2+} and Fe^{3+} on the Growth of *Microcystis aeruginosa*, *Scenedesmus quadricauda* and *Cyclotella* sp. [J]. Advanced Materials Research, 2011, 183~185: 6.

编辑: 张绍付

The cause of the occurrence of cyanobacterial bloom in lake and reservoir ——Taking two waters of Jiangxi province as the case

PENG Ningyan, YANG Ping, KONG Qiongju
(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: The cyanobacteria bloom in lakes and reservoirs was affected by many factors such as water temperature, nutrients and physiological-ecological feature of cyanobacteria. There are many lakes and reservoirs in Jiangxi province with varied water environments and aquatic ecosystems. In this study, we investigated Reservoir Zhelin and Lake Xinnanhu systematically and analyzed the data. Results showed that the algae were abundant in the two waters and cyanobacteria together with chlorophyta were the dominant species. The water temperature and climate in this area was fit for the growth of algae. Population of macrobenthos and zooplankton in the waters was relatively low and there are few filter feeders or predator species which can digest cyanobacteria. Community structure of fishes in the two waters was fit for control of cyanobacteria bloom, as there are many fishes living on phytoplankton. The vegetation type was simple and coverage of aquatic vascular plants was low around the water. Finally, nutrients such as N and P together with trace elements from the soil in Jixiangxi region are abundant for cyanobacteria growth. These factors will be fit for the occurrence of cyanobacteria bloom and pertinence measures should be taken to prevent and control it.

Key words: Reservoirs and lakes; Cyanobacteria blooms; Nutrients; Genesis analysis

翻译: 彭宁彦