

太湖蓝藻爆发现状及继续治理措施

马建华¹, 朱 喜², 胡明明¹, 孙 雯³

(1. 无锡市德林海藻水分离技术发展有限公司, 江苏 无锡 214031; 2. 无锡市水利局, 江苏 无锡 214031; 3. 无锡市太湖闸站工程管理处, 江苏 无锡 214071)

摘要: 随着流域城市化进程和社会经济持续发展, 入湖污染物增加, 加之围湖造田、最低水位升高和水生植被覆盖率减少等因素, 富营养化加重, 至1990年开始出现蓝藻爆发且日益严重, 直至2007年发生严重“湖泛”引发太湖严重供水危机; 随后, 采用五项技术集成综合措施治理, 取得较好阶段性成果, 富营养化程度大幅度减轻, 蓝藻爆发有一定程度减轻, 但效果不明显。本研究在对太湖蓝藻爆发过程演变及治理调查研究和分析的基础上, 总结太湖治理措施及经验教训, 提出必须有明确的消除蓝藻爆发目标和责任制, 才能加快消除蓝藻爆发步伐、真正保护好太湖, 与流域社会经济发展相适应; 同时提出太湖继续治理的技术集成综合措施: 控源截污, 分片治理, 深度彻底打捞削减蓝藻、生态修复、生态调水、规模清淤和分区域治理; 提出仅依靠治理富营养难以消除蓝藻爆发, 且N/P比学说是理论, 难以应用于实践。

关键词: 太湖; 蓝藻爆发; 目标责任制; 污水处理高标准; 分片治理; 深度治理

中图分类号: X524 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2017) 03-0021-07

Current situation and countermeasures of blue-green algae outbreak in Taihu

MA Jianhua¹, ZHU Xi², HU Mingming¹, SUN Wen³

(1. Wuxi Delin Algae Water Separation Technology Development Co., Ltd, Wuxi 214031, Jiangsu;
2. Wuxi Water Conservancy Bureau, Wuxi 214031, Jiangsu;
3. Wuxi City Taihu Station Project Management Office, Wuxi 214071, Jiangsu)

Abstract: With the continuous development of social economy and urbanization process, the pollutants into the lake are increased. The lake reclamation, the lowest water level increased and the coverage rate of aquatic vegetation reduction and other factors, the degree of eutrophication is increased. Blue-green algae outbreak began in 1990 and becoming more and more serious. The occurrence of serious "flooding" caused serious water crisis in Taihu; after using five technologies of integrated governance measures, good results has been achieved, greatly reduce eutrophication, algae outbreak to a certain extent reduction, but the effect is not obvious. The Taihu governance measures and experience are summarized. Target responsibility system of elimination of blue-green algae outbreak is proposed to speed up the pace of eliminating algae outbreak and adapt to the development of society and economy. Comprehensive measures to control technology integration are put forward: pollutant source control, patch management, depth of completely salvaging cyanobacteria,

收稿日期: 2017-01-18

第八届江苏水论坛优秀青年论文

作者简介: 马建华 (1963-), 男, 工程师, 主要从事富营养化和蓝藻爆发治理工作。

ecological restoration, ecological water diversion, scale dredging and regional governance. Conclusions like difficult to eliminate blue-green algae outbreak only by eutrophication, N/P ratio theory is difficult to apply in practice are put forward.

Key words: Taihu; blue-green algae outbreak; target responsibility system; high standard of wastewater treatment; treatment of fragmentation; deep treatment

太湖自1990年起几乎年年蓝藻大规模爆发, 2007年爆发程度最严重, 多年蓝藻爆发以致引起“湖泛”而造成供水危机, 后由于采取技术集成措施综合治理, 取得阶段性成果, 蓝藻爆发有一定程度减轻。

1 蓝藻爆发与“水华”差异

太湖蓝藻爆发, 即蓝藻种源在富营养和较高水温等合适生境和缺乏种间竞争情况下快速增殖, 达到一定密度而爆发; “水华”是太湖在非富营养的20世纪50、60年代或更早就存在的一种自然生态现象。蓝藻爆发也可称“水华”爆发, 但“水华”不等于“蓝藻爆发”。蓝藻爆发必须消除也可消除, 但少量“水华”一般难以消除或不必要彻底消除。

2 太湖蓝藻爆发变化过程

太湖, 中国第三大淡水湖, 2004年水面积2340 km², 蓄水量47.5亿 m³, 湖岸线436 km, 其中环湖大堤长290 km; 2010年至2012年的入湖水量为109~119亿 m³。

蓝藻爆发程度的变化过程与水污染等人为干预程度、生境变化密切相关。评价蓝藻爆发程度的指标有爆发面积(年均、年最大、年累积), 爆发的次数、时长, 藻密度、叶绿素等。

2.1 1986年前无蓝藻爆发

此阶段太湖为贫营养、主要为有益干预。流域的城市化率比较低, 全部生活污水作为农肥; 及时人工清理太湖底淤泥, 每年围太湖淤泥量有160~200万 m³, 基本清除每年的淤积量, 全部养猪和家禽的污水或粪便均作为作物的肥料, 农田不施化肥和农药, 太湖水域的植物覆盖率高, 达到25~28%; 以往工业污染负荷也较少。太湖水体中的蓝藻种源在不适合的生境下生长繁殖速度慢, 达不到蓝藻爆发的密度而不会爆发, 但在太

湖西部宜兴沿岸的部分水域年年有“水华”存在。

2.2 1987~1989年蓝藻小规模爆发

此阶段人为负面干预增多。流域城市化率提高, 入湖污染负荷逐渐增加, 其中太湖的梅梁湖湾的北部水域在20世纪80年代末已达到富营养状态, 水质为劣V类(GB3838-2002); 农民在太湖的围泥活动减少, 淤积增加; 生活污水已经不作为肥料, 而是作为污水排入河道和太湖; 养猪和家禽的污水或粪便也有相当部分排入河湖; 太湖水体的植物覆盖率减小, 生物多样性的丰富程度也减少; 开始大力发展乡镇企业后污染负荷增加。水体的NP浓度开始升高, 由贫营养—中营养逐步升为轻富营养。此时梅梁湖蓝藻种源在比较合适的生境下较快的生长繁殖后达到一定密度而在梅梁湖北部发生小规模蓝藻爆发。

2.3 1990~2007年6月蓝藻爆发

此阶段的城市化率已经提高, 至2006年的64%; 社会经济发展致入湖污染负荷大量增加, TN、TP入湖量分别达到5.3万 t、0.31万 t, 分别为太湖Ⅲ类水环境容量的2.52倍、2.95倍^[1]; 农民围泥活动已经完全停止, 底泥淤积; 生活污水不作为农田肥料而排入河湖; 20世纪90年代起流域上游的无锡等地开始建设城镇污水处理厂, 一般达到一级B(GB18918-2002)排放标准; 养猪和家禽的污水或粪便相当部分进入河道湖泊; 开始大量使用化肥和农药; 太湖水面如东太湖大量发展水产养殖, 其养殖面积达到130 km²; 20世纪90年代环太湖大堤已经全部建成, 下游的太浦闸也已经建成, 使太湖完全成为可由人工控制的湖泊, 为此太湖的最低水位提高了近1 m, 换水次数有所减少; 环湖大堤的全面建成使太湖西部、北部和东部沿岸水域的120 km²芦苇湿地消失, 成为陆地; 太湖的贡湖、梅梁湖和其它一些水域也因水污染及蓝藻爆发等诸多原因而使沉水植物的面积减少近135 km²。

治理太湖水环境工作也在此阶段开始。太湖

治理“零”点行动(1998年12月31日)取得当时减轻太湖污染的效果,但没有多久,太湖富营养化又快速发展;望虞河于2002年起开始实施“引江济太”调水,有效改善太湖东半部水质;中游的直湖港、武进港、梁溪河和无锡锡南片及苏州的部分入湖河道建设了控制水闸,使河道的入湖污染负荷大幅度减少;此时的太湖蓝藻种源在合适的生境下快速生长繁殖达到一定密度而年年发生蓝藻大爆发,太湖蓝藻爆发最大面积为2007年的 970 km^2 ,达到太湖面积的40%,同时此年以致形成贡湖北部的严重“湖泛”^[2]而造成世界闻名的供水危机。

2.4 2007年7月~2015年12月初步控制蓝藻爆发

2014年流域城市化率达到76%,流域主要的污染负荷为生活污水,其负荷较以往有大幅度增加,在采取技术集成综合措施进行治疗后取得了较好效果,2015年较2006年,太湖TN由 3.2 mg/L 降至 1.85 mg/L (V类)而削减42.2%,TP由 0.103 mg/L 降至 0.085 mg/L (IV类)而削减17.5%;从中富营养—重富营养营养改善为轻富营养。

此阶段蓝藻爆发程度得到一定遏制或减轻:

①目前已经消除油漆状的特高密度的蓝藻爆发现象;②最大的高强度蓝藻爆发面积有所减小,2007年为 979 km^2 ,2015年为11月的 754 km^2 ;③叶绿素a浓度有所降低,2010年湖体较2008年下降24%^[3];2015年 $25.17\text{ }\mu\text{g/L}$ 较2014年 $28.75\text{ }\mu\text{g/L}$ 下降12.5%^[4]。

根据资料判断,目前太湖蓝藻多细胞体的体积可能有所减小,但蓝藻细胞密度减小程度不明显甚至有些年份呈升高状态。

太湖水源地再没有发生蓝藻爆发型的严重“湖泛”,保证了流域的安全供水;水生态系统得到一定程度改善,水生植被的覆盖率和生物多样性得到一定程度的增加。

太湖北部湖湾,蠡湖(原称五里湖)经综合治理后,在2009年起水质已改善至IV类,并且一直保持至目前,同时基本消除蓝藻爆发,成为全国治理小型湖泊(湖湾)水环境的典范。

3 削减蓝藻数量和治理富营养化两者密切结合

传统观点认为治理蓝藻爆发即是治理富营养化,忽略了削减蓝藻数量的必要性。太湖流域人口稠密、社会经济发达,入湖NP负荷多,难以恢复至20世纪50~60年代水平,即难以恢复至国内外专家一致认为消除蓝藻爆发须达到 $\text{TN}0.1\text{ mg/L}$ 、 $\text{TP}0.01\text{ mg/L}$ 的水平。

如具有良好水质II类水的富春江在2016年杭州G20峰会期间也发生规模蓝藻爆发,就证明了仅依靠治理富营养化必须达到I类水才能消除蓝藻爆发。同时许多经验证明,NP不必要达到I类水,而达到III~V水就有可能消除蓝藻爆发。所以仅依靠治理富营养化难以消除蓝藻爆发,必须削减蓝藻数量和治理富营养化两者密切结合才能消除蓝藻爆发。

4 控P与太湖消除蓝藻爆发的关系分析

控P是消除蓝藻爆发关键因子的提出依据是加拿大安大略实验湖区开展历时37年的施肥实验的结论。因试验中的蓝藻是鱼腥藻和束丝藻等固N蓝藻,可从空气中获取N,故认为难以控制TN,依此认为只能控制TP。此结论无法在太湖实践中应用和得到验证的原因如下:

①太湖主要是非固N的微囊藻,不是试验区的鱼腥藻和束丝藻;

②到目前为止我国尚未发现仅通过控制TP能消除大中型湖泊蓝藻爆发的记录。

③太湖难以达到国内外专家一致认为消除蓝藻爆发的 $\text{TN}0.1\text{ mg/L}$ 、 $\text{TP}0.01\text{ mg/L}$ 的营养水平。其一是自有记录以来,太湖无 $\text{P}\leq 0.01\text{ mg/L}$ 的记录。其二是根据目前太湖入湖污染负荷量大,今后也难以达到此标准;

④现太湖P本底值较高。底泥中不溶性P,由于蓝藻大量死亡沉入水底发生厌氧反应使P转化为可溶性P,释放进入上覆水体,所以太湖难以降低至 $\text{P}\leq 0.01\text{ mg/L}$ 的水平。

⑤低P也可能蓝藻爆发。如广东茂名高州水库,TP已到较低水平,2009、2010年已达 $\text{TP}0.014\text{ mg/L}$ (略大于 0.01 mg/L)、 $\text{TN}0.67\text{ mg/L}$,但此时仍发生相当程度的鱼腥藻爆发^[1]。

以此说明不必过多研究控N还是控P,只要能消除蓝藻爆发的技术集成就是好的,应首先采用现有通用技术集成的综合治理措施,并尽可能

采用新技术或新的技术集成,在降低营养程度同时削减蓝藻数量至其不爆发密度才能消除蓝藻爆发。同理,N/P比学说是研究水体营养物质中氮磷含量比例对蓝藻爆发影响的理论学说,也难以在实际中应用,所以对此也不必过多研究。

5 以往技术措施及效果分析

5.1 控源截污

2007年7月~2015年12月期间,虽然流域城镇化和经济社会同步持续发展,各类点面源负荷的产生量、排放量大增加,但入湖量恰呈减少趋势。采取的主要综合性措施:①流域上中游基本建设了足够的污水处理能力,但西部污水处理能力尚不足,同时建设了基本配套的污水收集管网,处理标准基本达到一级A,生活及工业污染负荷得到大幅度削减。据调查一般污水处理厂TN、TP可分别削减60%~75%、75%~90%;②治理规模畜禽养殖。以规模集中养殖为主的流域畜禽成为流域重要点源,流域通过调整规模和养殖布局,科学合理处置养殖污水和废弃物,大量减少了畜禽污染负荷。③严格控制各类生活和工业点源。流域城镇生活污水95%以上进污水厂或者污水处理设施,并且关停并转千余家重污染企业,提高工业污水排放标准等。④控制其它各类面源。包括种植业、水产养殖业、废弃物和地面径流等,其中测土配方减施化肥和节水灌溉是控制农业污染的重要措施,清除围网投饵水产养殖百余平方公里也是减轻太湖水域污染的一种重要措施。

5.2 打捞蓝藻

据统计,至2015年流域共建造或配置藻水分离站18座,2007~2015年太湖周边城市共打捞藻水850万 m^3 (含藻率0.5%)^[5],相当于清除蓝藻干物质(dw)42500 t,经测定太湖蓝藻含N、P、有机质分别为6.7%、0.68%、76.7%,相应分别清除2850 t、290 t、3.26万 t。现藻水分离所得的藻泥基本实现资源化利用,主要用于生产沼气和有机肥,或经干化销往美国生产生物塑料。打捞蓝藻从手工开始至目前的机械化操作和资源化利用,一定程度控制了蓝藻爆发程度,消除了太湖西部及北部油漆似的高浓度蓝藻爆发现象。应该说大规模打捞蓝藻不是得不偿失和白费劳动力的措施,而

是国内标本兼治的一项重要且有效治理、控制蓝藻爆发的措施。

5.3 生态调水

据统计望虞河“引江济太”调水自2007~2015年共入湖86.6亿 m^3 ,梅梁湖调水出湖73.1亿 m^3 ,计算两者合计带走:TN2.83万t、TP0.103万t,蓝藻干物质(dw)3.05万t及其所含NP,及使太湖水体自净能力增加。同时“引江济太”调水入湖和梅梁湖泵站调水出湖两者的联合运行很有效地化解了2007年6月的太湖供水危机。

5.4 生态清淤

据统计,2007年~2014年太湖连续实施清淤,合计清除太湖底部淤泥3000万 m^3 ,相当于清除TN2.31万t、TP1.47万t、有机质43.8万t,减少底泥NP释放及去除“湖泛”基础条件。其中清除受蓝藻爆发严重污染的淤泥1210万 m^3 ,相当于减少淤泥表层的蓝藻(dw)0.726万t,其中许多为活的蓝藻种源。

5.5 生态修复

以往在太湖湖体实施了数十个水生态保护或修复的试验或示范工程,工程验收时一般均取得良好成果。以后有相当多的生态修复水域被成功保留下来,如东太湖修复的37 km^2 芦苇湿地^[6];另外还有苏州的三山、宜兴的太湖沿岸、五里湖的沿岸和梅梁湖的康山湾等水域成功进行了小规模生态修复并且保存下来,有些水域湿地得到一定程度的自然修复。生态修复一定程度改善了太湖水环境,抑制蓝藻生长繁殖。但也有相当多的生态修复水域在验收后由于存在资金、机制、人员等问题而没有很好的保留下来,如五里湖863项目1 km^2 沉水植物、梅梁湖小湾里7 km^2 的生态修复区在验收后的1~2年就消失了。

6 治理措施展望

太湖水环境虽经近10年治理取得阶段性成果,其中富营养化得到大幅度改善,但蓝藻爆发程度的减轻不太明显,蓝藻爆发对流域社会经济仍存在很大的不利影响,应尽快消除。

6.1 总结治理蓝藻爆发经验教训

总结“三湖”(太湖、巢湖、滇池)及其它湖泊治理的经验教训,并在此基础上更新观念。如许多人认为蓝藻爆发无法消除,故目前在治理太

湖过程中仅满足于改善水质,致使消除蓝藻爆发的效果不明显。所以必须更新观念,确立一定要和一定能消除蓝藻爆发的观念,这样才能确定科学治理思路,有了正确思路才能制定正确的治理规划、实施方案。应在总结经验教训的基础上对蓝藻爆发治理的通用技术进行集成及集成创新,分片深度治理,削减蓝藻数量持续大于蓝藻增殖量,使藻密度越来越低直至消除蓝藻爆发。技术集成中应考虑各单项技术的局限性、各治理阶段中的贡献份额及影响因素、即时或长期效果、是否适宜大规模低成本推广可配合性等有关因素。

同样应总结杭州西湖、南京玄武湖、武汉东湖、无锡蠡湖和大理洱海等湖泊,发生过数次或多次蓝藻爆发,在水质达到 III-V 类或接近 V 类时就基本消除蓝藻爆发^[1]的经验教训和原因。

6.2 科学制定消除蓝藻爆发目标及治理规划方案

太湖流域是人口稠密和社会经济发达区域,有财力、物力、人力消除蓝藻爆发。所以,在总结治理蓝藻爆发经验教训和更新观念的基础上,应明确提出消除蓝藻爆发的目标和明确责任制,加快消除蓝藻爆发步伐,才能真正保护好太湖,使其与流域的社会经济发展相适应。建议 2030 ~ 2035 年消除太湖蓝藻爆发,有了目标才能提高各地各级责任人的积极性和主动性,才能鼓舞流域人民的斗志和提高监督力度。若无此目标,在现有体制和机制情况下则难以消除蓝藻爆发;水质目标为 2030 年达到太湖水功能区目标^[7] III 类,其中东太湖 II 类,届时修复以植物为主的水生物系统达到 70 年代末程度。

6.3 加大控源截污力度

控源截污是目前及今后治理富营养和减慢蓝藻生长繁殖速度及保持太湖治理成果的基本措施,应继续保持强有力的控源截污力度,太湖的主要污染负荷来源于上中游入湖河道,要加强河长制及其责任制的建设,加强群众的监督力度,严格控制河道两侧的各类点源和面源,确保入水污染负荷总体持续下降,以满足 2030 年太湖 III 类水环境容量要求。

6.3.1 提高污水处理能力和处理标准

(1) 污水厂在目前和将来均是流域的主要点源群。目前流域污水处理能力基本满足要求,但太湖西部和南部的上游部分区域的污水处理能力尚不足,需要加强;污水处理一般达到一级 A 处

理标准。流域城市化率至 2030 年将达到世界发达国家的水平 85%,将继续增加需要处理的生活污染负荷量,估算届时流域污水处理能力将达到 2500 万 m^3/d ,其中流域的上中游城镇(包括无锡、常州、湖州、镇江和苏州的全部或部分)的污水处理能力将达到 750 ~ 800 万 m^3/d (包括全部城镇生活污水及部分的工业污水、地面径流等),若排放标准仍为一级 A,其排入水体的 TN、TP 将分别达到 3.3 万 t、0.11 万 t,分别为太湖 III 类水环境容量的 1.57 倍、1.05 倍,若再加上其它没有进入污水处理系统的大部面源和部分点源,则将更大幅度超过太湖环境容量。所以仅建设具有足量的污水处理能力和全覆盖污水收集管网是不够的,必须同时提高流域污水处理标准。

(2) 今后污水厂高标准处理污水是控源截污的关键措施。流域必须地方立法提高污水处理标准。如 2030 年 TN 应达到或接近地表水 V 类(2 ~ 3 mg/L)、TP 0.01 ~ 0.05 mg/L 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.1 ~ 0.2 mg/L 。2013 年国家提出制定比现行国家标准更严格的污水处理标准^[8-9]。高标准的污水处理是能够达到的,如对滇池水务的昆明第 1、2 污水厂进行考察后发现,其在已经达到一级 A 处理标准的基础上进行提标改造后,取得了良好效果:TN 达到 7 ~ 8 mg/L ; TP 达到 0.1 ~ 0.2 mg/L (相当于地表水 IV-V 类); $\text{NH}_3\text{-N}$ 达到 0.1 ~ 0.2 mg/L (相当于地表水 I-II 类),且基本没有增加运行费用;其中 TP 提高标准,由于增加化学制剂用量,需要增加一些费用。值得太湖流域政府和各污水厂学习。

(3) 流域每个相关城市应在“十三五”初期先各选取 1 ~ 2 个较大规模的典型污水厂进行提高排放标准试验,继而全面推广。

6.3.2 控制点源面源

城镇居民和公共生活污水全部进污水厂处理;调整经济 and 行业结构,关停并转重污染企业,工业污水自行高标准处理达标排放或经初步处理后进入污水厂处理;规模集中畜禽养殖作为点源处理,畜禽排泄物和污水在全面进行资源化利用基础上,进行简易污水处理达标排放,为此地方需制定处理标准;各行业节水减排、减少污染负荷排放量。

全面控制和加强种植业、水产养殖、分散生活、分散畜禽养殖、航行和地面径流等各类面源治理,各类垃圾、废弃物进行资源化利用,不入水体。

6.3.3 化肥是流域重要污染源

目前化肥是保证粮食安全不可缺因素,又造成面源污染,要认识和解决这个问题。化肥在流域社会经济发达地区是重要污染源,但不是主要污染源。因流域人均耕地少、主要作物水稻面积减少、实施测土配方和节水灌溉,使用化肥总量减少及污染负荷也减少。特别是枯水年或特枯水年的农田径流很少,化肥入水量很少甚至接近“零”。所以一方面不宜过度宣传化肥污染水体是最主要污染源,另一方面必须认真对待和控制过量施用化肥给水体带来的危害,减少化肥入水污染。

6.4 大面积修复以芦苇为主的湿地

6.4.1 认真总结生态修复经验教训

总结以往太湖植被覆盖率大幅度降低的原因,总结部分水域因机制和管理等原因在生态修复验收后不久就失效的经验教训,总结太湖水体为何生态修复进展缓慢的原因,找出目前与20世纪70年代太湖超过600 km²植被覆盖率的差距及原因。

6.4.2 芦苇湿地具有良好净化水体和削减蓝藻的作用

今后大规模修复以芦苇为主的湿地(下称芦苇湿地)是目前消除蓝藻爆发、改善生态系统和今后确保蓝藻不再爆发和保持太湖良好的生态系统的关键措施,其作用将日益突出。也是治理太湖五大措施中最艰巨的任务,但只要有决心和采用科学方法是可做到的。

6.4.3 修复芦苇湿地应科学制定规划和实施方案

只有如东太湖修复37 km²芦苇湿地那样,制定一个好方案和正确实施后才能取得良好成果。今后太湖水域应新增超过150 km²的植被覆盖面积。其中主要新增芦苇湿地,修复水域可主要安排在太湖西部沿岸水域。但应适当解决或控制芦苇湿地与蓝藻共存的问题。建设新增芦苇湿地的方法:(1)太湖沿岸水域修复300~800 m宽芦苇带。2013年国家提出了重点恢复环太湖湖滨湿地植物带^[8],先试验,再大规模推广。(2)在不影响用水和航行情况下适当降低太湖冬末春初水位。如降低0.5 m,则可增湖滨湿地14 km²,将利于春天种植芦苇、发芽生长和扩大沿岸湖滩地。(3)适当恢复原有芦苇湖滩地:①在确保防洪安全前提下,拆除太湖西部上游沿岸的部分环湖大堤,恢复原有芦苇湖滩地。据调查,云南滇池外海为恢复9 km²的湿地,已拆除50 km环湖大堤。②

在环湖大堤或与其相连的河堤上建设若干个(座)相当的涵洞或桥梁,使大堤两侧水体保持流动,恢复原陆地侧的芦苇湖滩地。

6.4.4 增加太湖其它水域植被覆盖率

东太湖及太湖东半部主要以保护为主,辅以人工修复;太湖北部湖湾如梅梁湖、贡湖、竺山湖的中间水域及太湖东半部的部分水域,待改善水质至一定程度后,以小规模的人工修复促进其大面积的自然修复,最终恢复近百平方公里的沉水植物群落。

6.5 加大打捞和消除蓝藻力度

打捞清除蓝藻是目前和今后大幅度削减蓝藻数量、消除蓝藻爆发的主要措施之一。

6.5.1 增强打捞削减蓝藻能力

在太湖北部湖湾梅梁湖和西部宜兴沿岸增加藻水分离能力5~10万 m³/d(含藻率0.5%),分区建设集藻挡藻围隔系统,提高打捞和藻水分离设备的运行效率,大规模修复芦苇湿地增强生物除藻能力和大幅度降低蓝藻在次年的萌发率。

6.5.2 分片深度彻底打捞清除蓝藻

实施分片(水域)打捞消除蓝藻,分片打捞消除蓝藻的面积以0.5~2 km²为宜,具体根据实际情况确定。在此基础上实施以下措施:①先采用气浮方法使水中、水底的蓝藻浮于水面,再用打捞船或拖网全部打捞上岸;②在局部水域采用改性粘土除藻等技术使蓝藻沉于水底并予以固定;③采用推流曝气、加压除藻等方法除藻;④除藻提高透明度后再以撒布种子的方法种植沉水植物,抑制蓝藻生长繁殖;或放养紫根水葫芦除藻;或利用鲢鳙鱼和贝类或其它动物滤食蓝藻(鲢鳙鱼密度要达到40 g/m³水体)^[10]。⑤采用锁磷剂技术控制磷浓度值至很低水平,控制蓝藻的生长繁殖速度。⑥利用安全高效微生物或其制剂除藻抑藻,具有巨大潜力,是发展方向,但目前太湖禁止使用微生物或其制剂除藻抑藻,需要解决此矛盾。或采取上述各项措施的组合。

6.5.3 其它除藻方法

①调水带走蓝藻。据统计2007~2015年望虞河调水入湖和梅梁湖调水出湖合计160亿 m³,相应合计带走蓝藻干物质(dw)3.05万 t;②适度清淤清除蓝藻种源;③治理富营养化可有效抑制蓝藻生长繁殖;④加大生物种间竞争力度抑制蓝藻生长繁殖。

6.6 继续生态调水

继续实施“引江济太”望虞河调水入太湖,加快完成新沟河和新孟河“引江济太”调水通道,使入太湖水量增加 20 亿 m^3 ,增加太湖环境容量;继续实施梅梁湖调差水出湖。在增加 2 个调水通道后的调水作用有所加大,特别可进一步改善竺山湖、宜兴沿岸水域达到 III-IV 类,及带走更多的蓝藻数量。如 58 km^2 的竺山湖,若新沟河和新孟河“引江济太”调水入湖 20 亿 m^3 ,经计算可增加换水次数将超过 16 次/a,根据对全国多个湖泊换水次数的分析,换水次数超过 10 次的主水流经过的水域,蓝藻就不会爆发。

6.7 实施生态清淤

清淤规模可较以往小,实施清淤主要在蓝藻大量死亡水域,实施浅层清淤。清出的淤泥不必运往堆泥场,可全部用作抬高修复芦苇湿地基底的回填土。抬高修复芦苇湿地基底与清淤结合可一举三得:利于修复芦苇湿地,节省投资和减少淤泥堆场。目前太湖清淤结合淤泥固化需要投资 110 元/ m^3 ,而清淤结合抬高基底仅需 40 元/ m^2 ,减少 64%;若两者不结合,则清淤后需大量堆场,并且太湖周围再难找到大规模堆泥场。国家提出利用清出的底泥实施滨水区生态湿地建设工程^[8]。可在试验后大规模推广。

6.8 分片(水域)治理

太湖是大型湖泊,各片(水域)情况不同,必须分片治理,因为全太湖蓝藻爆发的程度不同,也不可能同时达到消除蓝藻爆发的目的。分片治理主要是生态修复、打捞清除蓝藻。分片需要设置围隔或简易的固定分隔设施。如分区彻底深度打捞清除蓝藻,并保持水域无蓝藻爆发状态数年,最后把各区连成大片无蓝藻爆发水域;如分区修复芦苇湿地,包括抬高基底后种植芦苇,其中堆泥抬高基底的外围需设置合理形式和材质的护堤,其堤顶高程不超过冬季水位,再在护堤上设置挡风浪设施,同时芦苇需要 2~3 年的生长保护期,芦苇根系发达后,再把各块芦苇湿地连成一大片。

如梅梁湖可用 10 年时间分数十片建设打捞清除蓝藻、生态修复水域,配合调水及其它措施,最后把治理好的各片水域连成一大片,建成全国较大型湖泊(湖湾)消除蓝藻爆发和富营养化的治理典范;竺山湖,主要采用控源截污、调水和修复芦苇湿地及配合其它措施即能消除蓝藻爆发;五里湖采用全面修复以沉水植物为主的湿地、彻底深度打捞蓝藻及配合其它措施,建设成为全面消

除蓝藻爆发和湖底长满水草的湖泊;太湖宜兴沿岸水域主要采用控源截污和修复芦苇湿地及配合其它措施,可消除蓝藻爆发;太湖东半部及东太湖水域等主要是控源截污及保护现有较好生态系统,进一步削减富营养化和蓝藻数量。

7 保障措施

流域统一规划,区域积极治理;创新太湖水环境治理特别是消除蓝藻爆发的机制体制;加强责任制和河长制的建设及其相关责任人的责任性,加大奖罚力度;加大五类技术集成及集成创新的应用研究;水质资料公开和共享,提高责任人的积极性和广大群众的监督力度;认真执行“水十条”^[9],严格执法,使违法成本(包括政治和经济两方面)大于守法成本。目标明确、科学规划、技术集成,流域全努力,各部门密切配合,万众一心,必定能消除蓝藻爆发,真正保护好太湖,实现百姓愿望。

参考文献:

- [1] 朱喜,胡明明,孙阳,等.中国淡水湖泊蓝藻爆发治理和预防[M].北京:中国水利水电出版社,2014(3):6-7、23-30、209-219、231-238.
- [2] 朱喜.太湖蓝藻大爆发的警示和启发[J].上海企业,2007,7:5.
- [3] 王鸿涌、张海泉、朱喜、匡民.太湖蓝藻治理创新与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2012(1):46-50、64、98-101.
- [4] 太湖流域管理局,江苏省水利厅,浙江省水利厅,上海市水务局.2010-2015太湖健康报告[R].2011-2015.
- [5] 无锡市蓝藻办公室.无锡市蓝藻打捞和藻水分离年报[R].2010-2015.
- [6] 上海勘测设计院.东太湖综合整治规划[R].2007(11):2、29、35.
- [7] 太湖流域管理局.太湖流域水(环境)功能区划[R].2010.
- [8] 国家发展改革委,等.太湖流域水环境综合治理总体方案(2013年修编)[R].2013(12).
- [9] 国务院.关于印发水污染防治行动计划的通知.国发(2015)17号.2015年4月.附件《水污染防治行动计划》[OL].百度,2015(9).
- [10] 谢平.鲢、鳙鱼与藻类水华控制[M].北京:科学出版社,2003,10:63-69.

(责任编辑:华智睿)