

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.06.017

# 太湖蓝藻暴发的治理

朱喜<sup>1</sup>,李贵宝<sup>2</sup>,王圣瑞<sup>3</sup>

(1. 无锡市水利局,江苏无锡 214031; 2. 中国水利学会事业发展部,北京 100053;  
3. 北京师范大学水科学研究院,北京 100036)

**摘要:**针对太湖2007—2017年蓝藻暴发治理效果欠佳,每年蓝藻暴发面积仍然很大,2017年的最大暴发面积超过2007年最大暴发面积43%,藻密度全湖普遍增加的现状,分析了太湖蓝藻暴发治理效果和存在问题及原因,提出了消除富营养化和在2049年之前分水域消除蓝藻暴发的目标及实现此目标的技术集成综合对策,包括消除富营养化、消除蓝藻暴发和恢复湿地三大措施,建议再次修编太湖流域水环境综合治理规划方案等,使太湖治理由目前的治理富营养化转入治理富营养化与消除蓝藻暴发并重的阶段。

**关键词:**太湖;蓝藻暴发;富营养化;水环境综合治理

**中图分类号:**X32 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2020)06-0106-06

**Treatment of blue algae outbreak in Taihu Lake**//ZHU Xi<sup>1</sup>, LI Guibao<sup>2</sup>, WANG Shengrui<sup>3</sup> (1. Wuxi Water Resources Bureau, Wuxi 214031, China; 2. Business Development Department, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing 100053, China; 3. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100036, China)

**Abstract:** The treatment effects of the blue algae outbreak in Taihu Lake and the existing problems and its reasons were analyzed. The objective of eliminating eutrophication and eliminating blue algae outbreaks in sub-waters before 2049 and the integrated technical countermeasures to achieve the objective were proposed, including three major measures of eliminating eutrophication, eliminating blue algae outbreaks and restoring wetlands. It is suggested that the plan for comprehensive water environment management in the Taihu Lake River Basin should be revised once more so that the current eutrophication control in the Taihu Lake can be transferred to a stage where the treatment of eutrophication and the elimination of blue algae outbreaks are both important.

**Key words:** Taihu Lake; blue algae outbreak; eutrophication; comprehensive treatment of water environment

2007年“5·29”太湖发生供水危机后,国家及地方政府出巨资,采取综合措施全力治理太湖:控源截污,提升污水处理能力,完善污水收集管网,达到一级A处理标准,控制生活、工业、规模集中养殖等点源污染和农业农村面源污染,关停并转3000余家重污染企业等;共打捞藻水1200万m<sup>3</sup>,对蓝藻进行无害化处置、资源化利用;望虞河“引江济太”调水入湖93亿m<sup>3</sup>,梅梁湖调水出湖89亿m<sup>3</sup>,带走大量TN、TP和蓝藻;太湖完成清淤3000万m<sup>3</sup>,清除了底泥中大量TN、TP、蓝藻种源和有机质等污染物;东太湖修复以芦苇为主的湿地37km<sup>2</sup>,其他水域进行了零星修复<sup>[1]</sup>。

通过2007—2017年10年的治理,太湖水质得到改善,每年蓝藻暴发面积大小有所差异,但总体上

蓝藻水华暴发(以下简称“蓝藻暴发”)仍然较严重<sup>[2]</sup>。据太湖流域管理局资料<sup>[3]</sup>,太湖水功能区达标率从2007年的22.5%提升为2017年的58.3%;同期太湖年平均水质从劣V类改善为V类。其中TN质量浓度从2.35mg/L降为1.60mg/L,削减了31.9%;TP从0.074mg/L上升为0.083mg/L,增加了12.2%;贡湖再未发生“湖泛”和产生黑臭水体,保证了无锡供水安全;蓝藻仍年年持续暴发,2017年最大暴发面积1403km<sup>2</sup>,超过发生太湖供水危机的2007年最大暴发面积(979km<sup>2</sup>);2017年太湖的藻密度普遍较以往有较大幅度增加,如太湖全湖、梅梁湖(太湖北部的另一个湖湾)年均藻密度分别为1.17亿/L和2.4亿/L,分别为2009年的5.05倍和3.43倍。太湖仍存在发生蓝藻暴发而导致“湖泛”

作者简介:朱喜(1945—),男,高级工程师,主要从事水环境、水生态和湖泊蓝藻暴发、富营养化治理研究。E-mail: 2570685487@qq.com

型供水危机<sup>[4]</sup>的潜在危险。2018年太湖建立了湖长制,国家提出了长江大保护战略,这是推进太湖水生态环境治理的良好机遇。消除蓝藻暴发应是治理太湖不可或缺的重要内容。

## 1 太湖治理存在的问题

a. 尚未设立消除蓝藻暴发目标。国务院《2008年太湖流域水环境综合治理总体方案》及《2013年太湖流域水环境综合治理总体方案(修编)》及各级政府文件中均未提出消除蓝藻暴发的目标,不能充分调动各级领导和科研人员治理太湖、消除蓝藻暴发的积极性。

b. 蓝藻暴发程度有所加剧。蓝藻的细胞密度存在增加的趋势,年最大暴发面积存在加大的趋势。目前太湖的治理停留在治理富营养化阶段,尚未进入控制蓝藻暴发、深度清除蓝藻阶段。

c. 河湖水质氮磷浓度居高不下。太湖和入湖河道水质均未达到目标要求,按水环境质量河道标准评价,2017年入太湖河道均消除劣V类,但氮磷均超过湖泊Ⅲ类水标准,其中TN均劣于V类(现行河道水质评价中不含TN);太湖水质为V类<sup>[1]</sup>,距离Ⅱ或Ⅲ类的目标<sup>[5]</sup>还有相当距离,使蓝藻生长繁殖、暴发有足够的营养基础。

d. 太湖芦苇湿地大量减少。现流域河道和陆域的生态修复成效较显著,但太湖水域以芦苇为主湿地恢复很有限,目前太湖湿地较蓝藻暴发前减少150 km<sup>2</sup>以上<sup>[1]</sup>,使太湖水体净化能力、丰富生物多样性和抑制蓝藻生长繁殖作用显著减弱。

e. 缺乏治理藻暴发的集成技术措施。目前采取的控源、打捞蓝藻、调水、清淤和生态修复等5项技术措施,虽然每项措施均有抑制蓝藻生长繁殖和一定的除藻作用,但由于未能对其进行有效技术集成,难以发挥其削减直至消除蓝藻暴发的较好效果。

## 2 原因分析

### 2.1 缺乏消除蓝藻暴发的信心

主要表现在对消除蓝藻暴发的必要性认识不足,有关部门安于治理富营养化现状,对消除蓝藻暴发的可能性认识不足,认为需等到有了消除蓝藻暴发的成熟技术才能提出消除蓝藻暴发的目标。此外,我国对湖泊蓝藻暴发及其治理情况缺少足够的研究,如我国大多数的大中型浅水淡水湖泊已富营养化,但只有太湖、巢湖和滇池年年出现蓝藻较严重暴发现象;富营养化的鄱阳湖、洪泽湖以往仅发生数次非连续性的轻微蓝藻暴发,洞庭湖的富营养化程度(曾达到劣V类)比鄱阳湖还严重,但未发生蓝藻

暴发现象;无锡蠡湖、南京玄武湖、武汉东湖、杭州西湖以往均数次发生蓝藻暴发,经治理一般蓝藻不再暴发或轻微暴发<sup>[1]</sup>。认真总结上述大型湖泊富营养化或水质劣V类而没有蓝藻暴发、小湖泊能有效消除蓝藻暴发的经验教训,创新出一套消除蓝藻暴发的治理思路,如把太湖分成大小适宜的若干水域,把小湖泊消除蓝藻暴发的技术进行集成创新,用于太湖相宜水域,逐步消除太湖各水域蓝藻暴发现象。

### 2.2 存在“治理富营养化就能消除蓝藻暴发”的观点

“治理富营养化就能消除蓝藻暴发”的观点不妥,国内外专家一般认为蓝藻已暴发的大中型浅水湖泊,如仅依靠消除富营养化来消除蓝藻暴发,则氮磷质量浓度须分别达到0.1~0.2 mg/L和0.01~0.02 mg/L<sup>[6]</sup>(分别相当于太湖Ⅰ、Ⅰ或Ⅱ类水),太湖难以达到上述数值,故仅依靠治理富营养化不能消除蓝藻暴发。应将治理富营养化与削减蓝藻数量结合才能逐步减轻直至消除蓝藻暴发<sup>[7]</sup>。

### 2.3 内外污染源控制力度不够

#### 2.3.1 外源污染控制力度不够

2017年环湖河道入湖总负荷量TN为3.94万t,TP为0.20万t,分别为2007年4.26万t、0.19万t的92.5%和105%<sup>[3]</sup>,即10年来入太湖的TN仅削减7.5%,TP则增加5%。太湖2017年大部分水域水质已提升为Ⅳ或Ⅴ类,少部分水域如西部沿岸和竺山湖的水质仍为劣V类(主要是TN超标),说明由于流域人口增加、社会经济持续发展产生的污染负荷持续增加,而控制点源面源污染的力度不够或仅能赶上污染负荷增加的速度,致使太湖上游特别是西部河道入湖的水质仍然较差,直接影响西部沿岸水域和竺山湖水质,直至影响整个太湖水质。污水处理厂是流域最大点源污染群,现行处理标准太低而不能满足太湖环境容量的要求。目前城镇污水处理厂污染物排放标准一级A的TN、TP质量浓度分别为太湖水质Ⅲ类的15倍和10倍,故应提高污水处理标准。至于提高处理标准成本很高的问题,应从流域污染负荷总量控制的高度出发,必须提高污水处理标准,同时不断改进污水处理工艺和加强管理以逐步降低成本。太湖上游区域应在提升污水处理能力和建设全覆盖的污水收集管网基础上,大幅度提高污水处理标准,同时对其他点源面源污染进行全面有效控制,才能满足太湖环境容量的要求。

#### 2.3.2 削减内源污染力度不够

目前控制内源仅满足于常规清除底泥,没有重

视蓝藻持续暴发对底泥和水体产生的严重污染,这是太湖治理水质 TN 改善而 TP 未得到改善的主因之一。据测算,目前打捞水面蓝藻的数量仅为太湖年生成蓝藻数量的 2%~4%,所以须创新思路,加大内源污染削减力度,深度打捞清除水面、水体和水底的蓝藻,才能消除蓝藻的暴发。

#### 2.4 缺少统一修复太湖水域湿地方案

湿地具有固定底泥、减少底泥释放污染物、净化水体等减少营养物质和丰富生物多样性的作用,同时相当多植物具有抑藻除藻的化感物质。但太湖现状湿地较蓝藻暴发以前的 20 世纪六七十年代减少了 150 km<sup>2</sup> 以上<sup>[6]</sup>,湿地功能受损较大。关于太湖湿地修复问题,应该首先致力于人工改善水域生境,满足种植湿地植物的要求,而不应该等待自然修复太湖的生境。应统一制定修复太湖水域湿地方案,充分发挥湿地治理富营养化和消除蓝藻暴发的作用。

#### 2.5 研究资金不足,研究深度不够

由于研究资金不足,研究深度不够,导致相关研究不到位。若利用现有技术进行科学集成创新,则分水域逐步达到消除蓝藻暴发的目标。目前国内研究蓝藻和湖泊的机构主要侧重于蓝藻生长繁殖机理等基础理论研究,很少进行消除蓝藻暴发的应用性技术集成的研究创新,也少有关于综合治理太湖、巢湖和滇池蓝藻暴发的研究成果,治理太湖的研究还基本停留在治理富营养化和打捞水面蓝藻层面,研究深度不足以支撑控制、消除太湖蓝藻的暴发。

#### 2.6 太湖 TP 质量浓度升高的原因

太湖治理以来,全湖 TP 质量浓度反而升高,如东太湖的 TP 从Ⅲ类下降为Ⅳ类,其原因主要为:①环湖河道入湖 TP 负荷量增加;②底泥释放的 TP 增加。由于连续多年蓝藻暴发,蓝藻死亡后大量沉积于湖底,底泥中原来的不可溶性磷(包括底泥中原有的磷及死亡蓝藻中的磷)在厌氧条件下转化为可溶性磷<sup>[6]</sup>,增加水体中 TP 含量;③水体藻密度增加导致藻源性磷含量升高。

目前,蓝藻已逐渐成为太湖的主要内源污染,削减 TP 负荷的措施有:①削减外源 TP 的负荷量和速度要大于流域社会经济发展增加的 TP 负荷量和速度,有效削减入湖河道 TP 及其他入湖外源 TP 负荷量;②深度消除蓝藻生物量,降低水体蓝藻密度;③削减底泥 TP 释放量和降低底泥中蓝藻种源春季萌发数量。

### 3 太湖流域治理目标

流域全面实行湖长制、实施长江大保护战略是

开展新一轮太湖治理的良好开端,特别要以蓝藻年年规模暴发的问题为导向,应从目前的治理富营养化阶段转入治理富营养化与消除蓝藻暴发并重阶段,为此要设立消除蓝藻暴发的目标,调动相关部门、科研人员和关心治理太湖人士的积极性,以加快太湖治理速度。

治理目标可为控制蓝藻暴发,争取在 2030—2049 年前分水域消除蓝藻暴发;消除富营养化,2030—2035 年水质达到Ⅱ或Ⅲ类<sup>[5]</sup>。其中 2020—2030 年消除梅梁湖蓝藻暴发,接着或同时消除贡湖、竺山湖、太湖西部等沿岸水域的蓝藻暴发,其后或待太湖水质提升至Ⅱ或Ⅲ类时,采用相应技术集成消除湖心水域蓝藻暴发。

建议第三次编制(修编)《太湖流域水环境综合治理规划方案》,创新思路,把消除蓝藻暴发目标及其相应治理技术集成措施列入其中。各级政府及部门通力合作,全力推进消除太湖蓝藻暴发。

### 4 对策措施

消除太湖蓝藻暴发的技术可归纳为治理富营养化、清除蓝藻、恢复湿地三大类。

#### 4.1 治理富营养化

消除富营养化是太湖治理的基本措施,主要是大幅度削减湖水中氮磷和其他污染物的含量,一定程度削减蓝藻生长繁殖的基础营养物质,减慢蓝藻生长繁殖速度。

##### 4.1.1 提高污水处理标准,减少尾水入湖污染负荷

生活污水和相当部分工业污水经污水处理厂一级 A 标准处理后可以削减 55%~70% 的氮和 70%~85% 的磷<sup>[1]</sup>,但污水处理厂尾水排入水体的氮磷负荷量仍超过太湖环境容量<sup>[7]</sup>,如再加上其他未进行处理的点源污染及众多的面源污染排入水体的氮磷,则超过环境容量的幅度更大。目前应在建设足量污水处理厂和全覆盖污水管网的基础上,大幅度提高污水处理标准,如太湖上游地区污水处理厂(设施)TN 排放标准提高至 2 mg/L,近期(2030 年)可先提至 3~5 mg/L;TP 提高至 0.025 mg/L,近期可先提至 0.1 mg/L;NH<sub>3</sub>-N 提高至 0.1~0.5 mg/L。据测算,污水处理厂提高至上述标准,同时大幅度削减其他各类点源面源污染负荷,就可满足太湖水体环境容量的要求。太湖非上游地区污水处理厂提标幅度可小于此值。

流域各市在总结各地污水处理提标经验的基础上,根据人口密度、社会经济持续发展的特点及河湖环境容量的要求,进行地方立法,制定高于一级 A 的更严格的污水处理厂(企业)污水处理标准。

#### 4.1.2 削减其他点面源

采取各类有效措施全力削减未进入污水处理厂(设施)处理的各类点源的污水量,严格处置废弃物,关停并转重污染企业,工业企业进入工业园区、污水分类处理,规模畜禽养殖污染集中处理;积极有效治理农业污染物、农村生活污水、垃圾、废弃物、水产养殖、航行等各类面源污染,如农田测土配方,大量削减化肥、农药用量,推广使用有机肥,节水灌溉,以减少农田径流污染。同时严格控制洞庭东山、西山由于乡村旅游业迅速发展而产生的生活污水、垃圾污染,减少太湖东部水域的污染。

#### 4.1.3 调水

通过调水可以增加环境容量和水体自净能力<sup>[8]</sup>,带走部分污染物质和蓝藻。主要措施是继续实行望虞河“引江济太”与梅梁湖泵站联合调水,增加太湖“引江济太”第二条新沟河线路和第三条新孟河线路,有效改善竺山湖、太湖西部沿岸水域水质。

#### 4.1.4 进一步削减内源污染

a. 清淤。继续清除蓝藻大量聚集水域的底泥,清淤土方作为抬高修复芦苇湿地基底的回填土,这样可一举三得:较常规清淤和淤泥干化可节省64%的投资<sup>[7]</sup>,减少淤泥的堆场,利于修复芦苇湿地。清淤的淤土资源可全部资源化利用。

b. 清除蓝藻。采用抑藻除藻综合技术集成措施深度清除水面、水体和水底的蓝藻,此类集成技术措施可削减氮磷,特别是大幅度削减TP,这是仅依靠削减陆源和常规清除底泥的技术难以达到的效果。清除蓝藻将成为太湖清除内源的主要内容,可利用混凝气浮、碳纳米电子技术、湿地等相关技术在除藻的同时消除有机底泥污染,同时清除过多的水草、水产养殖污染负荷。

#### 4.2 清除蓝藻

清除蓝藻包括抑制蓝藻生长繁殖和直接消除蓝藻。其措施除了目前常规打捞水面蓝藻外,也包括使用安全的物理、理化、生物、生化等方法抑藻、杀藻。

##### 4.2.1 分水域除藻

太湖除藻的基本要求是必须分水域实施。太湖面积大、风浪大,不可能一次性统一清除太湖蓝藻。太湖分水域除藻,首先消除梅梁湖、贡湖、竺山湖等湖湾蓝藻,这些水域还可分割成适宜大小的水域,采用小型湖泊消除蓝藻暴发的治理技术,并对相关技术进行集成创新后用于适宜的水域消除蓝藻暴发,其后消除湖心水域蓝藻暴发。分水域消除蓝藻暴发时,要求各个水域既要相对封闭又与相邻水域具有

一定的水力联系、水量交换,故要在水域的边界处建设适宜的阻隔、围隔系统,如在风浪较大水域可采用钢丝石笼透水坝(或其水下一定位置采用土坝)、排桩加滤布或其他隔断,有利于同时改善两侧水域环境;在风浪相对较小水域可采用固定围隔或软围隔。

##### 4.2.2 深度除藻

改进目前仅打捞水面蓝藻的技术,实行深度分水域打捞清除水面、水中和水底的蓝藻,使各个水域保持数年无蓝藻暴发,再把其连成为整片无蓝藻暴发水域。

a. 改性黏土除藻<sup>[7]</sup>。使用机械设备快速喷洒改性黏土水溶液,使水面、水体和水底的蓝藻均快速沉于水底,继而实施生态修复如种植沉水植物,以固定底泥和吸收蓝藻所含的营养物质,达到除藻目的。另外天然矿物质净水剂或类似物质<sup>[9]</sup>均有除藻作用。

b. 高压除藻<sup>[10]</sup>。对进入高压设备的蓝藻进行高压处理,改变蓝藻原来的压力、温度等生境,使蓝藻在相当程度上失去生长繁殖能力,甚至死亡,达到大幅度减慢蓝藻生长繁殖速度的效果。高压除藻包括竖井式和移动式两类,其他如推流曝气、超声波<sup>[11]</sup>等类似技术均有除藻作用。

c. 混凝气浮除藻<sup>[7]</sup>。把目前在巢湖和滇池广泛使用的德林海的固定式混凝气浮的藻水分离除藻技术(或其他类似技术)直接应用于太湖水域,但需设计制造移动式除藻船(设备)。用混凝气浮法使水面、水中和水底的蓝藻及水底的有机悬浮物质全部浮于水面,然后将其打捞、分离处置,或设计气浮、打捞和藻水分离一体化的工作船,此类设备一年四季可运行。此技术设备在除藻同时可直接清除湖底表层的有机底泥,若干年内不必再采用常规方法清淤。

d. 碳纳米电子技术除藻<sup>[12]</sup>。采用金刚石碳纳米薄膜电极装置,加电压后释放电子,在阳光下产生光电效应、光催化作用,破坏蓝藻的细胞壁和细胞内部物质、消除蓝藻。此技术除藻效率高,不添加化学物质,可一年四季运行,同时可削减水体和底泥的氮磷等污染物。

e. 生物种间竞争除藻。采用芦苇、紫根水葫芦<sup>[7]</sup>、沉水植物或植物化感物质制剂<sup>[13]</sup>除藻,采用鲢鳙鱼<sup>[14]</sup>等动物滤食蓝藻。

f. 锁磷剂。水体喷洒锁磷剂,使水体磷颗粒沉入水底,致磷浓度大幅度降低,减慢蓝藻生长繁殖速度,而沉入水底的磷以后可被沉水植物吸收。

g. 安全高效微生物及制剂抑藻杀藻<sup>[15-16]</sup>。目前能够抑制蓝藻生长繁殖或直接杀死蓝藻的高效微

生物很多,关键是选择安全的微生物。可组建治理蓝藻技术安全鉴定机构,对各类技术进行安全性科学鉴定,允许安全技术使用,或为技术使用进行安全性指导。

h. 使用常规措施抑藻除藻。如控源截污、调水、清淤等措施在治理富营养化至一定程度后可有效减慢蓝藻生长繁殖速度。其中调水可带走污染物和蓝藻,清淤可清除底泥蓝藻种源和减慢污染负荷释放,这些均能在一定程度上降低藻密度或减慢藻密度的增加速度。

#### 4.2.3 综合除藻

综合除藻即在分水域治理的基础上采用上述数种除藻技术合理搭配和集成创新,取得降低藻密度的最佳效果,直至消除蓝藻暴发。总之,不是等待太湖由藻型湖泊自然转变为草型湖泊后再去消除蓝藻暴发,而是在总结现有诸多治理技术的基础上,进行技术集成创新,科学治理太湖,使太湖由藻型湖泊转变为草型湖泊,同时消除蓝藻暴发。

### 4.3 恢复环湖湿地

#### 4.3.1 恢复湿地规模

太湖湿地应恢复至 20 世纪六七十年代蓝藻暴发前的规模,即需增加超过 150 km<sup>2</sup> 的芦苇、沉水植物等多种生物系统的湿地<sup>[7,17-18]</sup>。太湖水域内湿地受到严重损毁的主要原因是建设环湖大堤、围湖造田(鱼池)以及严重水污染、蓝藻大规模暴发和提高冬春季水位,如太湖西部和竺山湖沿岸水域建设太湖大堤时就减少湖滨水域湿地 70 km<sup>2</sup>,贡湖和竺山湖由于水污染及蓝藻暴发分别使 30 km<sup>2</sup>、20 km<sup>2</sup> 的沉水植物湿地消失<sup>[6]</sup>。新增芦苇湿地应主要安排在太湖西部和北部水域。

#### 4.3.2 恢复湿地措施

a. 恢复沿岸水域湿地。恢复太湖沿岸 500 ~ 1000 m 或更宽水域湿地。太湖岸线总长 436 km<sup>[6]</sup>,大部分沿岸水域可修复湿地。修复湿地首先要改善生境,使其符合种植相应植物的条件,具体措施包括:①在较宽的水域修复湿地,要先在其外围设置挡风浪设施,如设置钢丝石笼坝或围隔等;②修复芦苇湿地,主要是减小风浪、控制水深或抬高基底高程至冬春季基本无水;③修复沉水植物湿地可用改性黏土、碳纳米电子技术和锁磷剂等来消除污染和蓝藻暴发,采用控制底栖鱼类扰动底泥等措施,提高水体透明度至一定程度,再修复以沉水植物为主的湿地;④在适宜的中心水域修复湿地。

b. 恢复被围垦湿地。主要是拆除西部环太湖大堤、退田还湖,恢复沿岸水域原来被围垦的 30 ~ 50 km<sup>2</sup> 的部分湿地,也应该适当恢复太湖其他水域

被围垦的湿地。云南滇池外海已拆除 50 km 的环湖大堤,恢复了 9 km<sup>2</sup> 湿地<sup>[1]</sup>,其经验值得借鉴,太湖同样可拆除部分环湖大堤,恢复原来的湿地。恢复太湖西部湿地,可用适当方式改造大堤,使大堤两侧水体相互流通,如在环湖大堤及相应的入湖河道的河堤上打开若干个缺口(缺口上设置桥涵)与太湖连通而成为湿地,这样也使污染河水可经由河堤上的口子进入湿地,湿地净化河水,再通过环湖大堤的缺口入湖,使湿地同时起到减少河道污染物入湖的作用。

c. 降低水位增加湿地。适当降低太湖冬春季水位,如降低 50 cm 水深,可增加 14 km<sup>2</sup> 的湿地面积,同时有利于春季芦苇等植物发芽生长,有利于人工修复湿地。

#### 4.3.3 科学制定太湖修复湿地专项规划方案

借鉴东太湖修复大片芦苇湿地的经验以及太湖东部三山岛和西部宜兴沿岸等水域小规模修复湿地的经验,统一制定人工修复各湖湾、水域湿地的专项规划方案,分期实施。恢复太湖湿地至蓝藻暴发以前规模,在实行人工修复湿地的同时促进自然修复。建立专业湿地管理保护队伍,冬季收获芦苇,控制沉水植物疯长。

### 4.4 建立示范试验区

a. 把消除蓝藻暴发列入太湖治理重点研究课题。组建多学科联合研究团队,研究推广适用、低价、长效、安全的集成技术,推进消除蓝藻暴发科研成果转化和推广应用。太湖消除蓝藻暴发的科研重点应放在应用性技术研究并兼顾蓝藻基础理论研究,即重点应放在开展蓝藻死亡的规律、生境和消除蓝藻暴发的综合集成技术措施的实用性研究上,加强创造不利于蓝藻生境的应用技术研究。

b. 进行分水域综合除藻试验。把梅梁湖作为分水域综合除藻的试验水域。梅梁湖自然地理条件有利于建成相对封闭水域,具有良好的治理基础条件,且大众对消除全国著名的梅梁湖风景区蓝藻暴发极为关切,故可把梅梁湖作为综合除藻试验水域<sup>[3]</sup>。综合除藻试验包括:设置经得起风浪的透水坎或隔断,阻挡外太湖蓝藻进入梅梁湖;沿岸水域修复湿地;湖湾中心进行分水域深度除藻试验。消除蓝藻暴发后可拆除全部围隔,连成为一整片无蓝藻暴发的水域,约用 10 年时间可完成此项试验。

c. 加大科研投入,保证资料公开共享。采用国家、地方政府和民营资本等多种形式资金<sup>[19-20]</sup>,加大科研投入;加强对水质、蓝藻及其暴发等项目的监测,监测指标应增加蓝藻干物质一项,此指标较藻细胞密度和叶绿素 a 更能说明蓝藻暴发的严重程度;

鼓励建立资料公开的一个或多个太湖大数据(研究)中心或公益网站,凡政府出资取得的研究成果和监测资料均应公开。

## 5 结 语

在实行湖长制过程中开展新一轮的太湖治理工作,以蓝藻持续规模暴发问题为导向,调动各级领导、科研人员和广大民众的积极性,设立消除蓝藻暴发目标,进行分水域消除太湖蓝藻暴发的重大基础科学问题研究和技术集成创新,早日解决太湖蓝藻暴发问题,使太湖成为长江流域最先消除蓝藻暴发的美丽湖泊。

### 参考文献:

[1] 朱喜,胡明明,孙阳,等. 河湖生态环境治理调研与案例[M]. 郑州:黄河水利出版社,2018.

[2] 谢艾玲,徐枫,向龙,等. 环太湖主要入湖河流污染负荷量对太湖水质的影响及趋势分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2017,45(5):391-397. (XIE Ailing, XU Feng, XIANG Long, et al. Trend analysis for pollutant load of major rivers around Taihu Lake and its impact on water quality in Taihu Lake [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(5): 391-397. (in Chinese))

[3] 太湖流域管理局,江苏省水利厅,浙江省水利厅,等. 2008—2017年太湖健康报告[R]. 上海:太湖流域管理局,2018.

[4] 朱喜. 太湖蓝藻大爆发的警示和启发[J]. 上海企业,2007(7):6-8. (ZHU Xi. Warning and inspiration for the outbreak of blue algae in Taihu Lake [J]. Shanghai Enterprise,2007(7):6-8. (in Chinese))

[5] 太湖流域管理局. 太湖流域水(环境)功能区划[R]. 上海:太湖流域管理局,2010.

[6] 王鸿涌,张海泉,朱喜,等. 太湖蓝藻治理创新与实际[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.

[7] 朱喜,胡明明,孙阳,等. 中国淡水湖泊蓝藻暴发治理和预防[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014.

[8] 吴凤平,王新华,李芳,等. 水源地突发水污染政府应急预留水量需求预测[J]. 水利经济,2018,36(2):28-35. (WU Fengping, WANG Xinhua, LI Fang, et al. Demand estimation of governmental emergency reserved water for sudden water pollution in water source areas [J]. Journal of Economics of Water Resources,2018,36(2):28-35. ((in Chinese))

[9] 天津市安宝利亨环保工程建设有限公司. 天然矿物质制剂净化水体技术总结[R]. 天津:天津市安宝利亨环保工程建设有限公司,2018.

[10] 无锡德林海环保科技股份有限公司. 加压灭除蓝藻整

装成套设备技术研究报告[R]. 无锡:无锡德林海环保科技股份有限公司,2017.

[11] 范功端,林茜,陈丽茹,等. 超声波技术预防性抑制蓝藻水华的研究[J]. 水资源保护,2015,31(6):158-164 (FAN Gongduan, LIN Qian, CHEN Liru, et al. Research on preventive inhibition for cyanobacteria blooms using ultrasound technology [J]. Water Resources Protection, 2015,31(6):158-164. (in Chinese))

[12] 上海金铎禹辰水环境工程有限公司. 协同超净化水土共治技术研究报告[R]. 上海:上海金铎禹辰水环境工程有限公司,2018.

[13] 无锡智者水生态环境工程有限公司. 利用植物化感物质制剂消除蓝藻的技术总结[R]. 无锡:无锡智者水生态环境工程有限公司,2018.

[14] 谢平 鲢、鳙与藻类水华控制[M]. 北京:科学出版社,2003.

[15] 武汉鄂正农科技发展有限公司. 一种快速絮凝并去除水体中蓝藻的方法:410382658.3[P]. 2018-04-18.

[16] 北京信诺华科技有限公司. 使用固化载体微生物除藻试验的技术总结[R]. 北京:北京信诺华科技有限公司,2018.

[17] 王寿兵,屈云芳,徐紫然. 基于生物操纵的富营养化湖泊蓝藻控制实践[J]. 水资源保护,2016,32(5):1-4 (WANG Shoubing, QU Yunfang, XU Ziran. Algal bloom control in eutrophic lakes and reservoirs based on biomanipulation [J]. Water Resources Protection,2016,32(5):1-4. (in Chinese))

[18] 王寿兵,徐紫然,张洁. 大型湖泊富营养化蓝藻水华防控技术发展述评[J]. 水资源保护,2016,32(4):88-99 (WANG Shoubing, XU Ziran, ZHANG Jie. A review of technologies for prevention and control of cyanobacteria blooms in large-scale eutrophicated lakes and reservoirs [J]. Water Resources Protection,2016,32(4):88-99. (in Chinese))

[19] 吴强,李淼,高龙,等. 社会资本参与流域综合治理的现状、问题和建议[J]. 水利经济,2019,37(4):23-26. (WU Qiang, LI Miao, GAO Long, et al. Status, issues and recommendations of participation of social capital integrated river basin management [J]. Journal of Economics of Water Resources,2019,37(4):23-26. (in Chinese))

[20] 褚俊英,王浩,周祖昊,等. 流域综合治理方案制定的基本理论及技术框架[J]. 水资源保护,2020,36(1):18-24. (CHU Junying, WANG Hao, ZHOU Zuhao, et al. Basic theory and technical framework for formulation of integrated watershed management plan [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 18-24. (in Chinese))

(收稿日期:2019-07-27 编辑:彭桃英)