

巢湖蓝藻爆发治理

王晓英¹, 朱云², 朱喜^{3*}

¹无锡市滨湖区水利局, 江苏 无锡

²无锡市城市防洪工程管理处, 江苏 无锡

³无锡市水利学会, 江苏 无锡

Email: *2570685487@qq.com

收稿日期: 2021年1月4日; 录用日期: 2021年2月15日; 发布日期: 2021年2月22日

摘要

综合分析治理巢湖、消除蓝藻爆发的成效、问题和原因, 提出治理巢湖的目标和相应的技术集成措施。治理成效: 控制外源和清除内源, 使入湖河道水质改善, 巢湖水质提升, 由劣V类提升为V类; 水面蓝藻的堆积程度有所减轻。存在问题: 控制外源内源力度不够; 巢湖现状水质距目标III类要求仍有相当距离; 蓝藻爆发仍严重。建议目标: 2025~2035年期间分水域消除蓝藻爆发。保障措施: 深入推进河长制湖长制, 把治理巢湖融入长江大保护战略中, 加大科研力度, 重新修编巢湖治理方案。创新治理巢湖技术集成思路: ① 治理富营养化: 控源截污, 积极治理污水厂、工业、生活、规模畜禽养殖点源和农业农村等面源, 其中重点是建设足量的污水处理能力和提高污水厂处理标准; 减少内源, 主要是清除蓝藻和湖底淤泥。② 除藻: 全面打捞、清除水面、水体和水底的蓝藻。③ 恢复湿地: 大规模恢复沿岸等水域湿地, 人工修复促进自然修复, 使巢湖植被覆盖率由5%恢复至原来的25%~30%。结论: 发挥中国特色的集中力量办大事的体制优势、建立目标、技术创新集成, 一定消除巢湖蓝藻爆发。

关键词

巢湖, 蓝藻爆发, 治理现状, 目标, 对策

Control of Cyanobacteria Outbreak in Chaohu Lake

Xiaoying Wang¹, Yun Zhu², Xi Zhu^{3*}

¹Water Conservancy Bureau of Binhu District, Wuxi Jiangsu

²Wuxi Urban Flood Control Project Management Office, Wuxi Jiangsu

³Wuxi Water Conservancy Society, Wuxi Jiangsu

Email: *2570685487@qq.com

*通讯作者。

Abstract

The effects, problems and causes of controlling Chaohu Lake and eliminating blue-green algae outbreak were comprehensively analyzed, and the objectives of controlling Chaohu Lake and corresponding technical integration measures were put forward. Control effect: Control the external source and remove the internal source, improve the water quality of the river into the lake, improve the water quality of Chaohu Lake from inferior class V to class V, and reduce the accumulation of cyanobacteria on the water surface. The existing problems are as follows: The control of external and internal sources is not enough; the current water quality of Chaohu Lake is still far from the target of class III; the outbreak of cyanobacteria is still serious. Recommended target: To eliminate cyan bacteria outbreak in different water areas from 2025 to 2035. Safeguard measures: Further promote the system of river head and Lake Head, integrate the governance of Chaohu into the Yangtze River protection strategy, increase scientific research efforts, and revise the governance plan of Chaohu. Innovative ideas of Chaohu Lake treatment technology integration are: 1) eutrophication treatment: control source and intercept pollution, actively treat non-point sources such as sewage plant, industrial, domestic, large-scale livestock and poultry breeding point sources and agricultural and rural areas, with the focus on building sufficient sewage treatment capacity and improving the treatment standard of sewage plant; reduce endogenous, mainly remove cyanobacteria and lake bottom sludge. 2) Algae removal: Comprehensive salvage and removal of cyanobacteria on water surface, water body and bottom. 3) Wetland restoration: Large scale restoration of coastal wetland, artificial restoration to promote natural restoration, so that the vegetation coverage of Chaohu Lake from 5% to the original 25%~30%. Conclusion: It is necessary to eliminate the outbreak of cyanobacteria in Chaohu Lake by giving full play to the institutional advantages of concentrating on major events with Chinese characteristics, establishing goals and integrating technological innovation.

Keywords

Chaohu Lake, Cyanobacteria Outbreak, Current Situation of Control, Goal, Countermeasures

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

政府出巨资、全力治理巢湖二十多年，富营养化程度减轻，巢湖 2018 年水质为 V 类，TN、TP 分别较历史最大值 1995 年削减 68.8%、75.1%，保证东巢湖水源地的供水安全。但蓝藻仍年年爆发，叶绿素 a 和藻密度升高，如蓝藻爆发最大面积 2017、2018 年分别占巢湖面积的 44.5%、57.9% [1]。应认真研判巢湖富营养化程度减轻而蓝藻爆发程度没有减轻的现象。目前国家尚未建立消除蓝藻爆发的目标及国内缺乏消除蓝藻爆发应用性技术集成的相应研究。巢湖现建立了湖长制河长制，国家提出了长江大保护战略，这是推进巢湖水生态环境治理的良好机制和机遇，消除蓝藻爆发应是其中的重要内容，也是巢湖流域乃至全国百姓的迫切愿望。巢湖应建立消除蓝藻爆发目标，以提高领导和部门的责任心和积极性，推进巢湖分水域治理消除蓝藻爆发技术集成的研究创新。

2. 概况

2.1. 巢湖及流域

巢湖为中国第五大淡水湖[2]，长江安徽段北岸的一个人工控制型浅水湖泊，水域面积 765 km²、平均容积 18 亿 m³、平均水深 2.35 m，岸线总长 182 km。其中西巢湖面积约占 33%；巢湖流域总面积 1.35 万 km²，其中有 52% 的流域面积及巢湖在安徽合肥境内。

2.2. 蓝藻爆发原因

蓝藻爆发是蓝藻水华爆发的简称。蓝藻爆发总体原因：巢湖存在的大量蓝藻种源，在有适合的富营养化、水文水动力等生境下快速生长繁殖且达到一定密度而发生爆发现象。巢湖蓝藻爆发始于 20 世纪 80 年代中期，至今仍年年爆发，爆发程度西部重于东部。其危害性：具有藻毒素；损害生物多样性；存在发生类似太湖 2007 年供水危机的潜在危险。

蓝藻爆发具体原因：① 巢湖流域特别是合肥人口稠密社会经济发达，2018 年 GDP 7823 亿元，人均 GDP 9.67 万元，常住人口 809 万，入湖污染负荷大，这是造成巢湖富营养化和蓝藻爆发的基本原因；

② 巢湖为人工控制型浅水湖泊，环境容量小、水体交换次数少，易发生蓝藻爆发。

③ 水生植物覆盖率大幅减少。巢湖以往由于水污染、围垦，特大洪水淹死芦苇，建设巢湖水闸使最低水位升高 1.5 m 等原因，使得芦苇湿地大幅减少，巢湖的植被覆盖率从 1931 年的 30% 减少至目前的 5% [3]。

④ 鲢鳙鱼等食藻鱼类及浮游动物从 1952 年的 38.3% 减少至 2002 年 2.6% [4]，减少了滤食蓝藻量。

⑤ 长江入湖水量减少。1962 年建设巢湖水闸，长江入湖水量由原来每年 13.6 亿 m³ 减少为 1.7 亿 m³，减少 88%，换水次数减少，流速减慢[5]，水流带走的蓝藻减少，更适合蓝藻生长。

⑥ 若干年来温度和 CO₂ 浓度升高。如据地理与湖泊研究所监测，其在太湖站测定的年平均水温，2005 年为 16.9℃，2017 年为 19.5℃，升高 2.6℃，升高比 15.4% [5]，可作为巢湖参考。

3. 巢湖治理成效和存在问题

治理巢湖 1999 年 12 月 31 日的“零点行动”取得一定效果，减慢了污染发展速度，后进一步加强治理，采取了控源、打捞水面蓝藻、生态修复、清除底泥等措施。同时调整了行政区域，撤销巢湖市，由合肥市统一管理巢湖，并成立巢湖管理局和环巢湖生态示范区领导小组及其办公室管理巢湖；制定、完善治理巢湖的有关法规；流域全面建立河长制和湖长制。巢湖治理取得明显效果，但蓝藻爆发的问题依然严重存在。

3.1. 治理成效

① 巢湖水质改善。由于加大控制外源和清除内源的力度；湖体湿地面积恢复至 30 km²；使巢湖水质得到相当程度提升。巢湖有关部门资料：2018 年巢湖水质平均 V 类，其中西巢湖水质为 V-劣 V 类；巢湖年均 TN 1.44 mg/L、TP 0.102 mg/L (表 1)，分别较历史最大值 1995 年 4.62 mg/L、0.41 mg/L [2] 削减 68.8%、75.1%。

Table 1. Water quality of Chaohu Lake in Main Years

表 1. 巢湖主要年份水质

年份	TN	TP
1995	4.62	0.41
2005	1.98	0.22
2010	1.80	0.21
2018	1.44	0.102

② 减少水面蓝藻的堆积。近几年,巢湖实施打捞水面蓝藻措施,在南淝河、塘西河、派河等入湖河口及忠庙附近建设了4个蓝藻的打捞和藻水分离系统,现年打捞蓝藻水24万t,减少了水面蓝藻的堆积,有效改善了蓝藻爆发期间不良的视觉效果。

3.2. 存在问题及原因

① 蓝藻爆发程度严重。十年来巢湖富营养化、气候水文水动力条件不尽相同,每年爆发面积大小有差异,虽目前富营养条件有所改善,但仍在发生蓝藻爆发的范围内,蓝藻爆发总体仍处于较严重阶段。如每年爆发最大面积达到2016年237.60 km²、2017年3380 km²、2018年440 km²,分别占巢湖面积的31%、44.5%、57.9%;又如2018年东巢湖的叶绿素a、藻蓝素分别较2012年增加159%和404% [5]。其原因:巢湖治理规划方案缺失消除蓝藻爆发目标,没有此目标,就难以提高各级领导和科研工作者的治理积极性;由于仅注重治理富营养化和打捞水面聚集的蓝藻,没注重彻底清除水面水体和水底的蓝藻;生态退化严重现象没有得到根本扭转,所以总体上巢湖的蓝藻爆发程度没有得到减轻。

② 巢湖水质现状为V类距III类目标还有相当差距。其原因:控制外源(点源、面源)和内源(底泥、蓝藻等)的力度不足,特别是蓝藻持续爆发加速底泥中磷的释放;巢湖P本底值高等。总之,削减入湖污染负荷的速度仍然达不到总量控制要求的削减速度,致使入湖污染负荷仍大幅度超过环境容量。

③ 应用性技术研究比较薄弱。目前全国的各类研究机构一般仅注重进行蓝藻和湖泊治理的基础理论研究;很少研究巢湖等大中型浅水湖泊有关消除蓝藻爆发的目标及应用性技术的系统集成研究。

4. 几个概念

4.1. 消除蓝藻爆发不能仅依靠治理富营养化

“湖泊水污染,根子在岸上,治湖先治岸”的说法对治理水污染而言完全正确;但“治理富营养化就是、能消除蓝藻爆发”这个观点不妥。因蓝藻年年规模爆发后根子已延伸到湖中,须同时大量削减蓝藻数量才能消除爆发。已经发生蓝藻爆发的浅水型湖泊,若是仅依靠治理富营养化以达到消除蓝藻爆发的目的,专家一般认为主要营养指标应达到TN 0.1~0.2 mg/L、TP 0.01~0.02 mg/L [3]。今后巢湖难以达到此NP标准。所以全面消除蓝藻爆发必须治理富营养化与削减蓝藻数量结合才能做到。

4.2. 仅依靠打捞水面蓝藻不能消除蓝藻爆发

打捞蓝藻是目前控制蓝藻爆发取得良好视觉效果的重要措施,并能同时清除一定数量的N、P有机质。据计算,太湖每年打捞蓝藻的数量仅占全太湖蓝藻数量的2%~4%,巢湖情况基本与此类似。所以应创新完善除藻技术,实行全面打捞消除水面水体和水底蓝藻的策略,及配合其他措施,才能消除巢湖蓝藻爆发。

5. 建立消除蓝藻爆发目标

治理巢湖的最终目标应是消除蓝藻爆发,建议2025~2035年期间分水域消除巢湖蓝藻爆发,先用10年时间分水域消除西部巢湖蓝藻爆发,其后或同时消除东部巢湖蓝藻爆发或保持蓝藻不爆发;巢湖水质达到III类[6]。有了此目标,才能提高各级领导和科研人员的责任性和主动性,才能加大治理蓝藻爆发的力度。

6. 保障措施

6.1. 深入推进湖长制和河长制

把蓝藻爆发作为问题导向,消除巢湖蓝藻爆发融入湖长制、河长制的工作中和长江大保护的战略中,

作为其重要内容之一，并建立相应的政策法规。

6.2. 加大科研投入和资料公开共享

建立消除蓝藻爆发目标后需加大科研投入；加强除藻的应用性技术及其集成研究并兼顾基础理论研究，特别可以在创造不利于蓝藻的生境、有效抑制蓝藻生长繁殖的研究上能有所突破；加强水质、蓝藻及其爆发的监测，在监测藻细胞密度和叶绿素 *a* 的同时应增加监测蓝藻干物质一项，此更能分析蓝藻爆发程度状况；实行资料公开共享、让公众知情利于加快消除蓝藻爆发的速度。

6.3. 修编巢湖治理方案

以往制定的巢湖流域水环境综合治理总体方案[7]主要考虑治理富营养化，基本未考虑治理、消除蓝藻爆发。所以应重新修编总体方案，要把治理巢湖富营养化、消除蓝藻爆发及其相应的治理措施同时列入其中。

7. 创新治理技术集成思路

在总结以往大中小型湖泊治理经验教训和针对巢湖治理目标，把现有湖泊治理措施归纳为治理富营养化、除藻、修复湿地三类技术集成综合措施，并实施分水域治理，把以往治理蠡湖、玄武湖、东湖、西湖等小型湖泊消除蓝藻爆发的技术，经集成创新后用于巢湖的治理、消除蓝藻爆发。

7.1. 治理富营养化

控制外源内源是治理富营养化的基本措施。使巢湖水质达到 III 类，削减富营养化至一定程度以减慢蓝藻生长繁殖速度。

7.1.1. 控制外源

控制外源包括生活源、工业源、畜禽规模集中养殖和污水处理等 4 类点源；也包括种植、地面径流等多类面源，以减少污染负荷入湖，使污染负荷入湖量小于其环境容量。

1) 削减污水厂的污染负荷是削减外源的主要措施之一

根据调查，合肥市 2018 年的污水处理能力已达 197 万 m^3/d ，较 2011 年的 100 万 m^3/d 增加接近 1 倍，同时安徽省制定了《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB34/2710-2016)，要求适当提高污水处理标准，巢湖流域相当多的污水厂的处理标准也已经从一级 B 提高至一级 A，其中合肥王小郢污水厂已达到地表水环境质量的准 IV 类(指 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 等指标达到标准)，减少污染负荷入湖量。经计算，仅合肥市污水厂排入水体的 NP 负荷就已相当于超过巢湖 III 类水时环境容量[1]，若再加上其它没有进入污水处理系统的大部分面源、部分点源和合肥市区域以外的污染负荷，则更将超过巢湖环境容量。所以，根据巢湖流域大部分区域人口稠密和社会经济发达的状况，可认为目前污水厂是巢湖流域主要点源群，一级 A 的处理标准完全不能满足巢湖环境容量的要求，所以削减污水厂尾水污染负荷是流域控源截污的一个关键措施。巢湖全流域要在建设足够污水处理能力和污水收集管网全覆盖及加强运行管理的基础上，提高污水处理标准至与巢湖环境容量相适应的程度。

2) 立法提高污水处理标准

地方立法提高入巢湖区域的污水处理标准。如 TN 提高至地表水 III-V 类、TP 达到 0.01~0.05 mg/L ，才能基本满足巢湖环境容量的要求。提高污水处理标准是能够达到的，根据调查，如滇池水务的昆明第 1 污水厂和第 2 污水厂已在一级 A 基础上提标改造，取得良好效果[1]： $\text{NH}_3\text{-N}$ 达到 0.1~0.2 mg/L ，TP 达到 0.1~0.2 mg/L ，且基本没有增加运行费用；合肥王小郢污水厂的 TN 已提高到 5 mg/L ；固载微生物技

术污水厂尾水提标处理的 TN (生活污水) 可达到 0.5~1 mg/L [1]; 麦斯特环境科技公司采用离子气浮技术 TP 可达到 0.01 mg/L [8]; 用高效固载微生物厌氧设备改造的生活污水厂的 TN 可以达到地表水 I 类[9]。所以应提高信心, 一厂一策, 逐个提高污水厂的处理标准。

3) 削减各类点源面源

大量削减工业污染及生活污染, 继续调整工业产业结构, 关停并转各类重污染企业, 并严格执法; 进一步加大畜禽集中养殖的整治力度, 对其排泄物全面资源化利用、推进农业循环经济; 削减农村农业各类污染, 建设社会主义新农村, 测土配方, 适当削减化肥农药的用量, 使用有机肥, 节水灌溉, 减少水产养殖污染; 加快治理流域北部 500 km² 富 P 地层的水土流失和提高植被覆盖率, 削减地面径流中磷负荷; 控制航行污染; 分区域治理、生态修复。

4) 综合治理、净化河道水质

外源污染不可能百分之百的得到控制, 必然有一定的污染负荷如污水厂尾水、地面径流等污染入水, 所以相当多入湖河道水质较差。其中南淝河、派河、十五里河等均为劣 V 类(湖泊标准), 全部入湖河道的水质 TN 均超过湖泊的 III 类标准, 特别是南淝河水质很差且入湖污染负荷多, 南淝河流域的污水处理能力有 122.5 万 m³/d, 其尾水达到 3.6 亿 m³, 为河道年入湖水量 80% 多; 由于污水收集管网不配套和渗漏, 及其他相当部分点源和面源的污染负荷入河, 使南淝河水质改善速度难以达到理想状态。所以, 应该在控源截污、封闭排污口基础上直接净化南淝河、派河、十五里河等河道水体, 使入湖河道水质进一步提升至 III-V 类, 且加强长效管理和保持不反弹。每一条污染严重的河道或其一段可设置为一级、多级净化池, 或建设河道的旁侧净化池, 在进入巢湖时设置入湖前置库, 采用各类有效技术处理净化河水。其中高效的固载微生物技术[1]、金刚石碳纳米电子技术[10]、复合型区域活水提质技术和光量子载体技术等, 能够在有一定流速的河道中发挥长期净化水体及直接消除有机底泥、消除黑臭的作用。杭埠河等西部水质相对较好, 但因其入湖水量大、TN 仍为 V 类, 入湖污染负荷总量大, 所以同时应提高该区域的污水处理能力和排放标准, 削减各类污染负荷入水量, 继续改善河道水质。

7.1.2. 清除内源

清淤。采用常规清淤技术清除蓝藻大量聚集水域的底泥, 减少 N P 释放及清除底泥表层的蓝藻种源。

清除蓝藻。目前蓝藻已经成为主要内源, 应该采用除藻综合集成技术(具体见 7.2 节)深度彻底清除水面水体和水底的蓝藻, 削减蓝藻种源和降低藻密度, 同时有效削减蓝藻所含 NP, 这是仅依靠控制陆源和采用常规清淤措施难以达到的削减 NP 的效果。根据巢湖的叶绿素和藻蓝素近年已大幅度升高的状况[10]和湖泊治理的经验教训, 巢湖清除蓝藻也将逐步成为清除内源的主要内容之一。如巢湖在实施分流域治理后, 可利用混凝气浮技术[1]和金刚石碳纳米电子技术[10]和复合型区域活水提质技术等措施除藻的同时消除有机底泥污染, 则不再需要使用常规方法清淤。

7.1.3. 增加环境容量和水体自净能力

1) 实施规模调水加快水体流动。通过对凤凰颈和枞阳两个引江泵站“引江济巢”的合理调度, 增加 30~50 亿 m³ 水量入巢湖, 恢复建巢湖闸以前的长江入巢湖水量, 可增加换水 2 次、增加相应的环境容量和带走相当多蓝藻。

2) 在适当时候建立“引江济巢”“引江济淮”联合调水体系, 增加水体净化能力, 削减西巢湖蓝藻的密度。

3) 调水与防洪协调。两个引江泵站均应设为双向泵站, 引江与排洪结合, 有效消除巢湖 1954、1991 年型 12~13 m 的高水位[2], 控制巢湖的生态水位, 使湖中芦苇在特大洪水的高水位期间不受灭顶之灾。

7.2. 除藻

除藻包括目前的常规打捞水面蓝藻和今后应全力推进的全面消除水面水体和水底的蓝藻。

7.2.1. 分水域除藻

分水域除藻是浅水型巢湖的基本要求[3]。巢湖可分为东、西二部分，每部分还可分割成若干大小适宜的水域，使现有小型湖泊的除藻技术经集成创新后能用于治理巢湖。

分水域时，各个水域既要相对封闭又与相邻水域具有一定水力联系、水量交换，须在水域的边界处设置高度和形式适宜的阻隔、围隔系统。如风浪较大水域可采用钢丝石笼透水坝(常水位下一定深度可采用土坝)，需允许水流在其二侧间流动，也可采用橡胶坝或土坝加透水系统或较牢固的围隔等形式；风浪相对较小水域可采用固定围隔或软围隔等。

7.2.2. 全年深度彻底的除藻技术

巢湖除藻应改变以往仅在蓝藻爆发期间打捞水面蓝藻的习惯，采取综合除藻技术全年打捞消除水面水体和水底蓝藻的策略和技术。

① 改性粘土除藻[1]。该技术较为成熟，即使用机械设备快速喷洒改性粘土水溶液，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，固定底泥和吸收蓝藻所含的营养物质，达到消除蓝藻的目的。其它如天然矿物质净水剂[11]及其它类似物质也有此作用。

② 高压除藻[12]。是改变原来蓝藻生长的压力、温度等生境，使蓝藻在相当程度上失去生长繁殖能力、甚至逐步死亡，大幅度减慢蓝藻生长繁殖速度。此技术不添加任何添加剂，操作简便，自动化控制，运行高效、费用低，能耗低、四季昼夜运行，除藻效果较好。此技术有竖井式和移动式除藻二类设备。其它如推流曝气等技术均能有效抑藻杀藻。

③ 混凝气浮除藻[1]。把目前广泛使用的德林海固定式混凝气浮的藻水分离除藻技术(或其他类似技术)直接用于巢湖水域。即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、处置，或可设计混凝气浮、打捞和藻水分离一体化的工作船，设备可一年四季运行。此技术在除藻同时可直接清除湖底表层的有机底泥。同类的还有雷克环境富藻水磁捕处理技术[13]。

④ 金刚石碳纳米电子技术除藻[10]。此技术的电极装置，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。此技术效果好、效率高、能源省、不添加化学物质、易管理、成本低，1台设备可治理1~2 km²水域，可一年四季运行，同时可削减水体和底泥的NP等污染物。也可采用复合型区域活水提质除藻技术[14]及配合光量子载体[15]等微粒子、电子除藻技术。

⑤ 超声波除藻[16] [17]。超声波除藻是利用适当频率的声波在水中产生一系列强烈的冲击波和射流，破坏、杀死蓝藻或抑制蓝藻的生长。已在国内外试验成功并广泛使用。

⑥ 生物种间竞争除藻。如采用芦苇湿地、紫根水葫芦[5]、沉水植物除藻，利用鲢鳙鱼、贝类、浮游动物滤食蓝藻(鱼密度要达到40 g/m³水体)[18]。相当多植物如沉水植物、芦苇湿地等在吸取NP的同时可产生化感物质抑藻除藻，另外也可直接用植物的化感物质制剂除藻[19]。

⑦ 锁磷剂。水体喷洒锁磷剂，使水体P颗粒沉入水底，降低P浓度，大幅度减慢蓝藻生长繁殖速度，而沉入水底的P以后可被沉水植物吸收。

⑧ 安全高效微生物抑藻杀藻[20] [21]。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及制剂很多，具有巨大潜力，关键是选择安全的微生物，进行试验示范，确定其安全可靠。组建微生物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，或为技术进行安全

性指导。

⑨ 使用常规措施抑藻除藻。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，调水也可带走氮磷等污染物和蓝藻，清淤也可削减底泥中蓝藻的种源。

7.2.3. 综合除藻

即在分水域治理的基础上选用上述若干除藻技术进行试验，并合理搭配和集成创新，取得降低藻密度的最佳效果，直至消除蓝藻爆发。上述各类除藻技术在目前或今后均具有一定的可推广性，但在消除蓝藻爆发的效果、速度、彻底性等方面有差异，应根据实际情况试验后选择使用。应在全面总结全国大中小型湖泊治理蓝藻爆发的诸多经验教训的基础上，对各类治理技术进行综合集成并加以创新，使巢湖由藻型湖泊逐步转变为草型湖泊的同时消除其蓝藻爆发现象。

7.3. 修复湿地

7.3.1. 湿地作用

在巢湖湖体大规模修复湿地是目前消除蓝藻爆发、净化水体、改善湖泊生境、丰富生物多样性和保持良好生态系统的关键措施之一，更重要的是可使巢湖在消除蓝藻爆发以后持续保持蓝藻不爆发。

7.3.2. 湿地应恢复至蓝藻爆发前规模

以往巢湖湖体的水生态修复试验示范工程部分保存下来，但恢复规模有限，应使巢湖水体的植被覆盖率恢复至 25%~30%。以往未能大规模恢复湖泊内湿地的原因：一是湖中风浪大、水深等修复难度大的客观因素；二是对巢湖大面积修复湿地的必要性和可能性认识不足、缺乏修复信心的主观原因；三是未科学制定大规模修复湿地的规划方案。

7.3.4. 科学制定修复湿地规划方案

1) 巢湖沿岸水域分片修复 500~1000 m 或更宽的湿地。首先改善风浪和水深等生境使符合种植植物的条件：① 湿地外围设置能够挡风浪、蓝藻的形式适合的透水坝、隔断等。② 种植芦苇的湿地需要抬高基底至冬春季基本无水状况，以确保芦苇正常生长和冬季芦苇湿地具有冻死、消除蓝藻的作用。湿地也可种植其他适合在巢湖生长的挺水植物。③ 沉水植物湿地可用改性粘土、碳纳米电子技术、混凝气浮、锁磷剂等技术控制污染、消除蓝藻爆发，同时应该控制底栖鱼类对底泥的扰动，以提高透明度，利于种植植物。

2) 恢复原有芦苇湖滩地。适当拆除巢湖西部的派河与杭埠河之间的相当部分环湖大堤或采用适当的方法恢复原有的 15~20 km² 芦苇湿地，但须确保防洪安全。此类湿地恢复后同时可作为净化派河水的前置库，削减派河的入湖污染负荷。同时应适度恢复巢湖南部等其他区域原有湿地。据调查，云南滇池外海已拆除 50 km 环湖大堤，恢复 9 km² 湿地，值得巢湖借鉴[1]。

3) 适当降低巢湖水位。如冬末春初降低水位 0.5~0.8 m，则可增加湖滨湿地 6~9 km² 及有利于春天种植芦苇，有利于湿地植物春天发芽生长。全年适当降低水位，有利于湖泊中心的部分水域生长沉水植物。若降低水位后影响航行，可适当疏浚加深航道。

4) 建立专业管理队伍。长期管理保护湿地，如冬季收获芦苇，控制沉水植物疯长。政府应如公园草地一样拨款养护湿地。

7.3.5. 人工修复促进自然修复

巢湖沿岸水域和湖中心水域均应在改善生境后，以人工修复促进自然修复。生态修复可根据水深等条件合理搭配种植挺水、沉水、浮叶等植物，并适当设置生态浮岛(浮床)。

7.4. 分水域综合治理

在分水域治理巢湖消除蓝藻爆发时,应考虑各水域的生境及蓝藻爆发情况不同,生态修复、除藻均须分片分水域实施,需设置牢靠、便于管理的透水坝、隔断、围隔系统。修复湿地后需 2~4 年的生长保护期,确保芦苇、沉水植物顺利生长;各小水域消除蓝藻爆发后,可拆除其间隔断,连成一大片无蓝藻爆发的水域。东、西巢湖之间可设透水拦湖坝或高强度围隔、隔断(并设通航口门),拦住东巢湖蓝藻不入西巢湖,坝两侧水体可适量交换,有利于加快西巢湖除藻速度。

7.4.1. 西巢湖

西巢湖治理主要是控制点源面源污染,特别是建设足够的污水处理能力、全覆盖的污水收集管网和大幅度提高污水厂处理标准,大量削减污水厂污染负荷,采用直接净化河水方法提升河道水质达到 III 类(湖泊标准),使与巢湖环境容量相适应;恢复湖体 60~80 km² 湿地,包括恢复巢湖西部环湖大堤背水侧的原湿地,修复 60 km 长的湖岸线的沿岸水域 500~1000 m 宽的湿地;“引江济巢”“引江济淮”协调调水;采用综合技术措施分水域全面清除湖中心水面水体和水底的蓝藻。则能基本消除西巢湖蓝藻爆发,其后加强管理养护保持蓝藻不爆发,把西巢湖连成为一整片无蓝藻爆发的水域,并使水质达到 III 类。

7.4.2. 东巢湖

东巢湖治理可在西巢湖治理取得基本消除蓝藻爆发的成果时开始实施,也可同时实施。治理措施:主要是控制外源污染负荷入湖,总结西巢湖治理的经验教训,在 120 km 长的湖岸线的沿岸适当水域修复适当宽度的湿地,“引江济巢”调水使换水次数增加 2 次多,选择合适的综合技术集成措施清除蓝藻,消除湖中心水域蓝藻爆发或保持蓝藻不爆发,使水质达到 II-III 类。

8. 结论

① 发挥中国特色的集中力量办大事的体制优势、建立消除蓝藻爆发的目标、分水域治理,创新集成消除蓝藻爆发技术,定能消除巢湖蓝藻爆发。

② 在分水域治理基础上将现有的控源、除藻、修复生态等各类技术进行集成创新,经 10~15 年治理则能消除巢湖蓝藻爆发、建成健康的水生态系统。

③ 有关水环境研究机构应全力以赴研究为何富营养化程度减轻而蓝藻爆发程度得不到减轻的原因,要研究、制定分水域消除蓝藻爆发的总体方案,研究消除蓝藻爆发的应用型技术及其集成。

参考文献

- [1] 朱喜,胡云海,周吉,等. 河湖污染与蓝藻爆发治理技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2021:174-177.
- [2] 《中国河湖大典》编撰委员会. 《中国河湖大典》(长江卷下)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010:854-862.
- [3] 朱喜,胡明明,孙阳,等. 中国淡水湖泊蓝藻暴发治理与预防[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014:60-62,116-154,259-272.
- [4] 谢平. 翻阅巢湖的历史[M]. 北京:科学出版社,2009:43-52.
- [5] 朱广伟,秦伯强,张运林,等. 2005~2017 年北部太湖水体叶绿素 a 和营养盐变化及影响因素[J]. 湖泊科学,2018,30(2):279-295.
- [6] 张民,史小丽,阳振,陈开宁. 2012~2018 年巢湖水质变化趋势分析和蓝藻防控建议[J]. 湖泊科学,2020,32(1):11-20.
- [7] 安徽省人民政府. 巢湖流域水环境综合治理总体方案[R]. 安徽省人民政府,2009.
- [8] 麦斯特环境科技公司. 污水处理厂除磷效果总结报告[R]. 2018.
- [9] 北京信诺华科技公司. 高效固载微生物厌氧设备改造污水厂总结报告[R]. 2019.

-
- [10] 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]. 2018.
- [11] 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]. 2018.
- [12] 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]. 2017.
- [13] 安徽雷克科技有限公司. 雷克环境富藻水磁捕处理技术总结报告[R]. 2019.
- [14] 南京瑞迪建设科技有限公司. 复合型区域活水提质除藻技术总结报告[R]. 2019.
- [15] 苏州顶裕环境科技有限公司. 光量子载体除藻技术总结报告[R]. 2019-04.
- [16] 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.
- [17] 马林环境科技有限公司. 富营养化水体中总氮总磷降低及水质改善原理[R]. 2007.
- [18] 谢平. 鲢、鳙鱼与藻类水华控制[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 63-69.
- [19] 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]. 2018.
- [20] 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: 131-133.
- [21] 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[P]. 中国, 410382658.3. 2017-04-18.