

# 湖泊生态修复与水质改善协同路径

杜佳佳<sup>1</sup> 余超<sup>2</sup> 杨汝春<sup>1</sup> 黄迪剑<sup>1</sup>

1 云南博信环境建设有限公司 2 云南利鲁环境建设有限公司

DOI:10.32629/eep.v8i12.3000

**[摘要]** 高原湖泊生态系统退化和水质变坏,这是目前该区域可持续发展的又一重大问题。本文以云南省典型的高原湖泊为研究对象,对生态修复和水质改善之间协同作用机理进行分析,并提出以“源头管控、生境重构、功能调控”三者为内容的综合防治体系。经过系统的分析可知,依靠耦合流域污染负荷削减、水生植被和湖滨带修复、底泥内源控制及利用生物操纵来改善生态系统结构的技术途径,可以达到水质指标持续改善和生态系统功能逐步恢复的目标。经过实践证明,该路径在高原湖泊的治理上具有明显适用性以及有效性,可以给我国类似的自然地理条件下湖泊保护和生态修复提供系统的技术和科学的决策依据。

**[关键词]** 湖泊生态修复; 水质改善; 协同路径; 高原湖泊

**中图分类号:** F323.22 **文献标识码:** A

## Collaborative Path of Lake Ecological Restoration and Water Quality Improvement

Jiajia Du<sup>1</sup> Chao Yu<sup>2</sup> Ruchun Yang<sup>1</sup> Dijian Huang<sup>1</sup>

1 Yunnan Boxin Environmental Construction Co., Ltd

2 Yunnan Lilu Environmental Construction Co., Ltd

**[Abstract]** The degradation of plateau lake ecosystems and deterioration of water quality are another major issue for sustainable development in the region. This article takes typical plateau lakes in Yunnan Province as the research object, analyzes the synergistic mechanism between ecological restoration and water quality improvement, and proposes a comprehensive prevention and control system consisting of "source control, habitat reconstruction, and functional regulation". Through systematic analysis, it can be concluded that the technological approach of improving ecosystem structure through coupling watershed pollution load reduction, aquatic vegetation and lakeside zone restoration, sediment endogenous control, and the use of biological manipulation can achieve the goal of continuous improvement of water quality indicators and gradual restoration of ecosystem functions. Through practice, it has been proven that this path has obvious applicability and effectiveness in the governance of plateau lakes, and can provide systematic technical and scientific decision-making basis for lake protection and ecological restoration under similar natural geographical conditions in China.

**[Key words]** ecological restoration of lakes; Improvement of water quality; Collaborative path; Plateau lakes

云南省有多个重要的高原湖泊,它们不但是区域水资源调配的重要节点,而且还在维持生物多样性、调节局部气候方面起着不可替代的生态作用。但是伴随着流域开发强度的不断增大,外源污染输入增多、湖泊水文条件改变以及生态系统结构失衡等问题越来越严重,部分湖泊处于富营养化和生态功能衰退的双重困境之中。传统的治理方式大多以末端控制或者单一的工程手段为主,不能达到长效治理和系统恢复的目的。所以必须走整体性、协同性的治理之路,在明确湖泊退化机理的基础上,构建以水质改善和生态完整性保护并重的技术体系。本文从高原

湖泊的地理和生态特点出发,探究生态修复与水质改善之间的内在联动关系,提出可实施、可持续的协同治理途径,为高原湖泊保护及流域生态文明建设提供理论依据和实践参考。

### 1 湖泊生态系统退化机理与水质改善的协同治理理论基础

#### 1.1 高原湖泊生态退化的驱动因素分析

湖泊生态退化是由自然演变和人为干扰共同作用而形成的。外源污染主要是由流域内农业面源污染、城镇生活污水和工业废水造成。由于高原湖泊海拔高、水交换能力小,对污染物

的自净作用比较弱。降雨径流冲刷后,大量的面源污染物进入湖泊,加重了营养盐的负荷。内源方面,长期积累下来的底泥成为营养盐的蓄积库,在适宜的条件下才会释放出来,造成持续性的内源污染<sup>[1]</sup>。生态系统结构发生很大的改变,过度捕捞使鱼类群落衰退、沉水植物大面积减少、水生生物栖息地破坏。藻类异常生长、透明度下降、底层水体缺氧等现象不断发生,形成水质及生态退化恶性循环。

### 1.2 生态修复与水质改善的协同机制

生态修复和水质改善存在着互相促进的协同关系。水质的改善给生物恢复打下了基础,透明度的提高有利于水生植物的生长,溶解氧的增多有利于动物的生存。健康水生植被可以很好地吸收氮磷、抑制藻类生长、提高水体溶氧量、促进微生物活动,从而起到抑制底泥释放的作用。底栖动物通过摄食、扰动来改善底质,鱼类以不同的营养级调节浮游生物和藻类的数量,从而优化系统的结构和功能。协同治理重视整体观念,统筹流域与湖体的关系,采用多种技术手段并行的方式,同步推进污染控制、生境修复和功能恢复工作,以实现生态效益最大化。

### 1.3 高原湖泊协同治理的技术框架构建

根据高原湖泊的特点,协同治理要遵循系统治理的理念,在空间上把治理范围扩大到整个流域,推进山水林田湖草沙一体化保护。在时间上,确定短期应急和长期恢复相配合的阶段方案。在技术上构建一个由外源削减、内源控制、生态重建、功能提升构成的递进体系,即外源削减着重通过截污及生态拦截工程来控制入湖负荷,内源控制依靠清淤或者原位修复来抑制底泥的释放,生态重建主要是恢复水生植被和生物群落,创造多样化的生境,功能提升则依靠生物操纵和生态调控来增强系统的自净能力和稳定性,最终使湖泊生态系统自我维持并保持长期健康<sup>[2]</sup>。

## 2 湖泊生态修复与水质改善协同防治路径

### 2.1 流域污染源控制与削减技术体系

#### 2.1.1 农业面源污染综合防治策略

农业面源污染具有分散性、随机性的特点,必须构建综合治理体系。生态拦截是一项有效的措施,通过修建植被缓冲带、生态沟渠等,利用土壤-植物系统对氮磷等营养盐的吸附、过滤和降解作用来削减随径流流动的营养盐负荷。推广测土配方施肥,根据作物需要精准施肥,可以减少化肥的使用量。发展绿色种植模式,采用生物农药并推广秸秆还田和有机肥替代,可以从源头上控制化学物质、养分的流失。畜禽养殖废弃物的资源化利用是一个重要的环节,通过建设粪污处理设施、采用厌氧发酵、堆肥等工艺,将废弃物转化为有机肥料,既解决了污染问题,又促进了养分循环。

#### 2.1.2 城镇污水处理系统优化升级

城镇生活污水处理水平的提高也是削减入湖污染负荷的一个重要环节。推进污水处理厂提标改造,采用深度处理工艺来增强脱氮除磷效果,从而提高出水水质。完善污水收集管网系统,解决雨污混流、管网破损和覆盖不足等问题,提高污水收集效率,

为高效处理提供基础。在村镇等地推广适应性强、运维方便的人工湿地、稳定塘等生态处理技术,能有效处理分散的生活污水。雨水径流污染控制不容忽视,通过修建雨水调蓄和净化设施,借鉴海绵城市理念,采用透水铺装、生物滞留等方法来增强雨水的接纳与净化能力,减小初期雨水带来的污染冲击<sup>[3]</sup>。

### 2.1.3 工业污染源精准管控

工业污染源浓度大、成分复杂,需要进行全过程严格控制。对于重点行业,要配套相应的专业化污水处理设施,保证稳定达标排放。推行清洁生产,鼓励企业从源头上减少污染物的产生,并提高水资源的循环利用率。加强监管能力,使用在线监测系统实时掌握并预警排放数据,加强环境执法可以起到有效的震慑作用。推广园区集中式污水处理模式,可以提高治理效率、降低企业成本、便于统一监管。另外鼓励企业采用先进的处理技术对高浓度废水进行有效的预处理,减小市政管网的运行负担。

## 2.2 湖泊生境修复与生态系统重建技术

### 2.2.1 水生植被恢复与群落构建

水生植被是湖泊生态系统的重要组成部分,在净化水质、稳定底泥、为生物提供栖息地等各方面起着重要的作用。它的恢复要按照自然的梯度,根据水深、底质等条件,科学地配置挺水植物、浮叶植物、沉水植物三者构成的立体群落结构。挺水植物可以种植在浅水中,有效地拦截和吸收氮、磷等污染物,发达的根系有利于稳定底质。沉水植物是水生生态系统健康的主要指示性类群,可以明显提高水体的透明度、抑制藻类的生长,并且通过光合作用改善溶氧的情况。选择物种的时候,应以本地土著种为主,防止外来物种入侵的风险,控制好种植密度和布局,保证水体有良好的流通性<sup>[4]</sup>。实行定期监测、适量收割管理,能将植物吸收的营养盐转移到外界环境当中去,避免它腐败而产生二次污染。

### 2.2.2 底质改良与内源污染控制技术

底泥是湖泊内源污染的主要来源,它的营养盐释放有长期性和复杂性。底质改良技术主要有疏浚、覆盖、原位钝化和生物修复等。疏浚工程适合于污染严重的地方,用移除表层污染底泥的方式来切断内源释放,但是需要使用环保工艺来减少扰动。原位覆盖技术就是在污染底泥表面铺上惰性或者活性材料形成物理阻隔层来抑制营养盐向上方水体的释放。化学钝化技术就是向底泥中加入钝化剂,使活性磷转化为稳定的形态。生物-生态修复的方法,用特定的底栖动物或者微生物来通过生物扰动、摄食或者降解等作用来改善底质环境。另外曝气增氧可以改善底层的缺氧状况,抑制厌氧释放、促进污染物的好氧分解,是辅助性的内源控制措施。

### 2.2.3 湖滨带生态修复与缓冲功能构建

湖滨带属于水陆交界地带,有拦截陆域污染物、净化水质、稳定岸线和提供生物栖息地等功能。它的修复核心就是重建乔木、灌木、草本植物相结合的近自然植被群落结构,根据地形和水文条件设置足够的缓冲带。植被的选择要选用适应性强、根系发达的乡土植物,形成多层次、多功能的地表覆盖层。从工程

技术角度来说,应该使用生态护岸(植被护坡、生态袋、多孔生态混凝土等)代替传统的硬质砌护,在保证岸坡稳定的前提下给动植物提供栖息地,促进水陆物质的交换。另外可以在合适的地点建设或者修复湖滨湿地,利用湿地的沉淀、过滤、吸附和生物吸收等功能,对地表径流进行深度净化,从而提高对入湖污染物削减能力。

### 2.3 生物操纵与生态系统功能优化策略

#### 2.3.1 鱼类群落结构调控与优化

鱼类群落结构的调节可以改善湖泊生态系统的功能。按照生物操纵理论,可以利用调整鱼类组成的方式来间接影响水质,即增加滤食性鱼类(鲢鱼、鳙鱼)的数量,直接捕食浮游植物、浮游动物,从而减少藻类的生物量<sup>[5]</sup>。同时要控制凶猛肉食性鱼类的数量,保护大型浮游动物种群,发挥它们对小而多样的藻类捕食的作用。本土鱼类资源的保护和恢复是保证系统稳定和生物多样性的一种方式,要依靠建立保护区、恢复关键生境、进行人工增殖放流等方式来促进特有或者珍稀珍贵鱼类种群的恢复。另外需要科学制定捕捞管理政策,控制捕捞强度,持续开展资源调查和监测,给基于生态系统的适应性管理提供依据。

#### 2.3.2 微生物强化与水体自净能力提升

加强微生物群落的功能可以提高水体的自净能力。生物膜技术利用设置人工填料等载体的方式,给功能微生物(硝化菌、反硝化菌等)提供附着生长的表面,形成高度活性的生物膜,可以高效地去除氮、磷等营养盐。生态浮岛等技术把植物净化和微生物作用结合起来,可以提高水质净化的效果。必要时可以筛选出高效、安全的特殊功能菌剂(反硝化菌等),加快目标污染物的降解转化。原位生物修复主要是改善水体的环境条件(溶解氧、pH、碳氮比等),激发并提高土著微生物的代谢活性,达到净化的目的。不论是采用哪种强化方式,都必须重视本地微生物生态安全性评价,并努力依靠生境营造来提高整个微生物群落的多样性及系统稳定性。

#### 2.3.3 生态系统监测与适应性管理

建立长期、系统的生态监测网,是进行科学管理和评价修复效果的前提。监测体系要覆盖水质、水生生物、生境等主要指标,对湖区各个功能区(河口、敞水区、湖滨带)以及修复的不同时期做定期和加密监测。采用综合使用遥感、自动监测、环境DNA等先进的技术手段,可以达到对生态系统状况进行大范围、快速、动态的评价。根据监测数据创建数据分析和预警平台,用数学模型来模拟生态演变的趋势。适应性管理就是根据监测结果来对修复措施作出动态的调整和优化,当发现某一措施不能达到预期的效果或者出现了新的问题的时候,就需要及时地

分析原因并修改方案,从而形成一个监测、评价、调整的管理循环<sup>[6]</sup>。创建起对藻华暴发等突然发生的大规模生态问题的应急响应机制,减小生态危害的程度。

### 3 结论与展望

本文通过对高原湖泊生态退化的机理进行分析,提出以源头控制、生境重建、功能调节为主要内容的协同治理方式,对流域污染削减、生境修复和生物调控三者结合的技术体系进行了系统的论述。实践证明此途径可以促使水质不断得到改善和生态系统功能的提升,达到生态效益的最大化。高原湖泊治理要贯彻整体性、适应性的原则,加强监测和管理,给类似的区域湖泊保护和生态修复给予科学的依据以及实践的经验。

### 【参考文献】

- [1]罗屹琳.湖水生态修复与水质改善方法设计[J].价值工程,2023,42(33):4-6.
- [2]华映肖,潘继征,杜劲松,等.富营养化高原浅水湖泊持续多年生态修复工程效果分析——以滇池大泊口为例[J].湖泊科学,2023,35(05):1549-1561.
- [3]曾俊,钟志诚,林奇昌.南宁市南湖湖水生态修复成果探析[J].环境生态学,2021,3(06):65-67.
- [4]谢季遥,陈星,许钦,等.城市湖泊生态修复的水质响应研究[J].水资源与水工程学报,2019,30(01):53-59.
- [5]龚兵,康玉辉,周念来,等.亚热带典型城市湖泊生态修复实践[J].科学技术创新,2019,(02):118-120.
- [6]刘延芳.滇中引水工程对滇池外海水水质改善效果模拟与评价[D].昆明理工大学,2017.

### 作者简介:

杜佳佳(1993--),女,汉族,云南石屏县人,本科,工程师(生态环境工程),研究方向:流域水环境治理,生态修复,工业废水、生活污水治理,工业固体废物及生活垃圾收集处置,点源、面源污染治理。

余超(1990--),男,汉族,云南昆明人,本科,中级工程师,研究方向:生态修复、土壤修复、污水治理、固体废物处置、生活垃圾收运与处置。

杨汝春(1992--),女,汉族,云南保山人,工程师(生态环境工程),本科,研究方向:工业废水与生活污水处理,水环境及水生态保护,土壤修复治理,固体废物处理,环境工程咨询、工程项目管理等。

黄迪剑(1993--),男,汉族,广西横州人,本科,研究方向:生活污水治理与水环境综合治理,一般固废处置,生活垃圾填埋处置。