

# 长江流域生态系统可持续管理策略

杨荣金<sup>1</sup>, 孙美莹<sup>2</sup>, 傅伯杰<sup>2,3\*</sup>, 张乐<sup>1</sup>, 赵文武<sup>2</sup>, 张钰莹<sup>1</sup>

1. 中国环境科学研究院, 北京 100012

2. 北京师范大学, 北京 100875

3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

**摘要:** 长江流域涉及长江经济带发展和长三角一体化发展两大国家区域协调发展战略, 但生态环境问题仍然是长江流域可持续发展面临的严峻挑战, 加强长江流域生态系统可持续管理策略研究具有重大意义。长江流域的环境管理策略大致经历了以水量管理、污染物排放总量管理和水质目标管理三个阶段。在统一生态环境监管职能、实现五个“打通”的新形势下, 长江流域生态环境管理策略必将由水质目标管理快速向生态系统可持续管理转变。在分析长江流域生态系统保护修复取得的积极进展和面临的严峻形势的基础上, 提出了长江流域生态系统可持续管理策略: ①规划和建设服务于应急预警和管理决策的长江生态系统观测网络, 推动不同层级、不同职能部门、空天地一体化的多源数据融合, 提高生态环境监测网络的数据时空精度和反应速度, 开展水陆统筹、“山水林田湖草”生命共同体综合观测; ②加强长江生态系统结构、过程、功能和服务的综合性、整体性研究, 主要开展长江流域生态系统综合研究、重点区域生态系统研究和突出生态问题专题研究, 不断创新科研与管理深度融合的科研模式, 把论文写在祖国大地上; ③制定长江社会-经济-自然复合生态系统保护修复可持续发展目标及分阶段分区域目标, 促进水资源、水环境、水生态、陆域生态和水陆交错带的持续改善以及生态环境系统与社会经济系统的持续协同; ④提出长江生态系统保护修复的整体性、综合性和针对性、差异化的解决方案, 推动长江流域生态系统健康可持续发展目标的早日实现和重点区域、突出问题的尽快解决。

**关键词:** 长江流域; 生态系统; 可持续发展; 管理策略; 生态安全

中图分类号: X321

文章编号: 1001-6929(2020)05-1091-09

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2020.04.20

## Sustainable Management Strategy of Ecosystems in the Yangtze River Basin

YANG Rongjin<sup>1</sup>, SUN Meiyang<sup>2</sup>, FU Bojie<sup>2,3\*</sup>, ZHANG Le<sup>1</sup>, ZHAO Wenwu<sup>2</sup>, ZHANG Yuying<sup>1</sup>

1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3. Research Center of Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** The Yangtze River Basin involves the development of the Yangtze River Economic Belt and the integrated development of the Yangtze River Delta. However, ecological and environmental problems are still serious challenges for the sustainable development of the Yangtze River Basin. It is of great significance to strengthen the study of sustainable management strategy of the ecosystem in the Yangtze River Basin. The environmental management strategy of the Yangtze River Basin has gone through three stages: water quantity management, total pollutant discharge management and water quality target management. Under the new situation of unifying the ecological and environmental supervision function and realizing five ‘connections’, the ecological and environmental management strategy in the Yangtze River Basin will change rapidly from water quality target management to sustainable ecosystem management. Based on the analysis of the positive progress and severe situation of ecosystem conservation and restoration in the Yangtze River Basin, the sustainable management strategy of ecosystem in the Yangtze River Basin is put forward: (1) Planning and construction of the Yangtze River ecosystem observation network serving emergency early warning and management decision making. Promoting multi-source data fusion at different levels, different functional departments and air-sky-earth integration. Improving the data space-time accuracy and response speed of the ecological environment monitoring network. Carrying out integrated observation of land and water, landscape, forest, lake and grass life community. (2) Strengthen the comprehensive and holistic study of the structure, processes, functions and services of the Yangtze

收稿日期: 2020-03-19 修订日期: 2020-04-06

作者简介: 杨荣金(1971-), 男, 四川资中人, 正高级工程师, 博士, 主要从事流域生态保护修复战略与政策研究, yangrj@craes.org.cn.

\* 责任作者, 傅伯杰(1958-), 男, 陕西咸阳人, 中国科学院院士, 研究员, 博士, 博导, 主要从事自然地理和景观生态学研究, bfu@cees.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(No.2016YFC0502100)

Supported by National Key Research and Development Program of China (No.2016YFC0502100)

River ecosystem. To focus on the integrated study of the ecosystem in the Yangtze River Basin. To focus on regional ecosystem studies and highlight ecological issues. To innovate constantly the research model of deep integration of scientific research and management. (3) Formulate the sustainable development goal of the protection and restoration of the Yangtze River socio-economic-natural complex ecosystem to promote the continuous improvement of water resources, water environment, water ecosystems, terrestrial ecosystems and land and water interlaced zones. (4) Propose holistic, comprehensive, targeted and differentiated solutions for the protection and restoration of the Yangtze River ecosystem to promote the early realization of the goal of healthy and sustainable development of the ecosystem in the Yangtze River Basin and the solution of key areas and outstanding problems as soon as possible.

**Keywords:** Yangtze River Basin; ecosystem; sustainable development; management strategy; ecological security

党的十八大以来,我国深入实施区域协调发展战略,相继提出了京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、黄河流域生态保护和高质量发展和长三角一体化发展等重大国家战略<sup>[1]</sup>。长江流域涉及长江经济带发展和长三角一体化发展两大国家战略,涵盖长江经济带约70.1%的面积和长江三角洲一体化规划范围32.7%的面积,是我国极为重要的战略发展区域。其中长江经济带覆盖上海市、江苏省、浙江省、安徽省、江西省、湖北省、湖南省、重庆市、四川省、云南省、贵州省等11省市,面积约 $205 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,占全国的21%,人口和经济总量均超过全国的40%,构建了沿江绿色发展轴,以沪瑞、沪蓉运输通道为依托的南北两翼,以长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群为三极的“一轴两翼三极”发展格局<sup>[2]</sup>;长江三角洲一体化规划覆盖上海市、江苏省、浙江省和安徽省全域,面积为 $35.8 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,人口约占全国的16%,经济总量约占全国的24%,以上海市、南京市、杭州市等27城市为中心区,以上海青浦、江苏吴江、浙江嘉善为生态绿色一体化发展示范,以上海临港等地区为中国(上海)自由贸易试验区新片区,辐射带动和示范引领长三角高质量一体化发展<sup>[3]</sup>。

2016年6月中共中央印发了《长江经济带发展规划纲要》,明确提出把保护和修复长江生态环境摆在首要位置,共抓大保护,不搞大开发,全面落实主体功能区规划,明确生态功能分区,划定生态保护红线、水资源开发利用红线和水功能区限制纳污红线,强化水质跨界断面考核,推动协同治理,严格保护一江清水,努力建成上中下游相协调、人与自然相和谐的绿色生态廊道。2017年7月,原环境保护部、国家发展和改革委员会以及水利部联合印发了《长江经济带生态环境保护规划》,以生态环境明显改善和生态系统稳定性全面提升为目标,系统构建生态安全格局,全面创新大保护体制机制,提出了水资源优化调配、生态保护与修复、水环境保护与治理、城乡环境综合整治、环境风险防控和环境监测能力建设等六大类工

程。2016年1月和2018年4月习近平总书记分别在重庆和武汉推进长江经济带座谈会上发表重要讲话,强调推动长江经济带发展,必须坚持生态优先、绿色发展,把生态环境保护摆上优先地位,共抓大保护,不搞大开发,正确把握生态环境保护和经济发展的关系。2019年12月,中共中央、国务院印发了《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,提出了“着力强化生态环境共保联治”的指导思想、“坚持绿色共保”的基本原则和“生态环境共保联治能力显著提升”的发展目标,明确提出坚持生态保护优先,合力保护重要生态空间和共同保护重要生态系统,确保生态空间面积不减少、生态系统功能有提升。可见长江流域生态系统保护和修复,既是国家两大区域发展战略的优先领域和核心内容,也是协调生态环境保护和经济发展的关系的重要抓手。坚持生态优先原则、加强生态空间和生态系统保护、协调生态系统与环境系统和经济系统的关系是实现长江流域管理的基础和前提。

长江流域的管理已经经历了以水量管理、污染物排放管理和水质目标管理三个阶段<sup>[4-6]</sup>。2018年环境保护部正式更名为生态环境部,2019年长江流域生态环境监督管理局挂牌成立。随着生态监管职能和流域监管职能的增强,流域管理必将由水质目标管理转向流域生态系统管理。长江流域生态系统是一个“山水林田湖草”生命共同体,是一个自然-经济-社会复合生态系统<sup>[7]</sup>,因此长江流域生态系统管理是一个多目标综合集成管理,注重水陆统筹、上下游一体和生态环境与社会经济协同,是一种可持续的目标管理,应突出不同目标之间的权衡。2015年联合国发展峰会通过了《变革我们的世界:2030年可持续发展议程》,提出了17项目标,2016年中国出台了《中国落实2030年可持续发展议程国别方案》,明确了中国可持续发展目标的落实方案,于2017年和2019年编制了《中国落实2030年可持续发展议程进展报告》。将流域生态系统管理与可持续目标紧密结合,推动长江流域生态系统可持续管理是未来优先方向和可选策略。

## 1 长江流域生态系统保护修复取得积极进展

### 1.1 水环境质量明显改善

长江流域经过近20年的污染治理,水环境质量显著改善.如果不考虑监测断面数量的变化情况,依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》评价,2000—2019年长江流域Ⅰ~Ⅲ类断面比例从73.3%增至91.7%,劣Ⅴ类断面比例从5.0%降至0.6%,长江干流Ⅰ~Ⅲ类断面比例从70.4%增至100.0%,劣Ⅴ类断面比例从3.7%降至0.经过多年污染治理,以化学需氧量和氨氮为代表的工业和城市污染总体得到遏制,2016年总磷成为长江流域的首要污染物.2016—2019年,长江流域总磷浓度断面超标率由10.6%降至2.8%,总磷浓度下降25.4%;化学需氧量和氨氮的断面超标率和年均浓度均下降.长江流域主要湖泊水质和富营养化状态明显改善,2001—2018年,太湖和滇池水质由劣Ⅴ类为主变为Ⅳ类为主,湖泊水体营养状态由中度富营养化状态变为轻度富营养状态;巢湖水质由劣Ⅴ类变为Ⅳ和Ⅴ类(各占一半),湖泊水体综合营养状态指数有所下降,南四湖、西湖、洱海等水质均明显改善.长江口近岸海域水质显著改善,依据GB 3097—1997《海水水质标准》,2001—2017年,劣四类海水比例由100%降至56.3%,其中二类海水比例约为1/10,三类海水比例约为1/3.《长江保护修复攻坚战行动计划》明确要求消除的12个劣Ⅴ类断面中,9个断面暂时消除劣Ⅴ类,剩余3个断面也获得明显改善;长江经济带110个地级及以上城市1372个黑臭水体消除了87%,其中12个重点城市消除率达到95.6%;饮用水源地水质达标率和规范化建设水平不断提高.

### 1.2 生态系统保护卓有成效

生态系统恶化趋势总体得到有效遏制.采用原环境保护部发布的HJ 192—2015《生态环境状况评价技术规范》,以生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数、污染负荷指数和环境限制指数作为指标进行评价,2013—2018年,长江流域生态环境质量为“优”的面积占流域面积的比例由27.5%升至30.2%，“优”和“良”的面积占流域面积的比例由81.6%增至82.1%，“一般”的面积占流域面积的比例由18.2%降至14.1%.长江流域高度重视生态系统保护和建设,生态保护和建设力度持续加大,生态环境质量总体改善<sup>[8-9]</sup>.

森林生态系统面积增加且质量改善.根据遥感解译结果,2000—2015年,长江流域森林面积增加10899.2 km<sup>2</sup>,增幅为2.1%,主要来自于农田、灌丛

和草地,受益于退耕还林、天然林保护、长江防护林建设、水土保持和水源涵养林建设、重点生态功能区补偿以及森林公园建设等工程、项目或政策;灌丛面积增加713.0 km<sup>2</sup>,增幅为0.3%,主要来自地农田、草地和森林,受益于退耕还林、天然林保护、长江防护林建设、水土保持和水源涵养林建设等<sup>[10]</sup>.从第六次森林资源清查(1999—2003年)至第九次森林资源清查(2014—2018年),长江经济带各省市森林覆盖率、森林面积和森林蓄积量均明显增加<sup>[11-13]</sup>;以湖北省为例,森林覆盖率由26.8%增至39.6%,林地面积增加14.4%,活立木蓄积量增加122.9%<sup>[14]</sup>.

湿地生态系统受保护比例增加.据2014年发布的第二次全国湿地资源调查结果显示,长江流域湿地面积为945.7×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占全国湿地面积的17.6%,较第一次调查增加2.8%,主要来自于农田、裸地和森林,受益于退田还湖、退耕还湿、湿地自然保护区和湿地公园建设等,湿地增加主要发生在长江上游和下游.长江流域国际重要湿地、湿地自然保护区和湿地公园面积明显增加,湿地保护率为47.9%,高于全国43.5%的水平;国家重要湿地34处,其湿地保护率为68.3%;自然湿地保护率为53.2%,高于全国自然湿地保护率45.3%的水平<sup>[15]</sup>.根据湿地30余年的遥感调查,2000年以后长江流域湿地总体表现趋好,为良性缓变期<sup>[16]</sup>.

生态系统服务总体得到提升.据水利部长江水利委员会《长江流域水土保持公告(2018年)》显示,与第一次全国水利普查相比,7年间长江流域水土流失面积减少了3.8×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,降幅近10%<sup>[17]</sup>.据国家林业与草原局《中国·岩溶地区石漠化状况公报》显示,2016年长江经济带岩溶地区石漠化土地面积较2011年减少153.5×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占岩溶地区石漠化土地面积净减少量的79.5%<sup>[18]</sup>.提升生态系统服务是生态系统管理的必由之路<sup>[19]</sup>,长江流域生态系统服务价值总体逐步提升,水源涵养、废物处理、娱乐文化服务等功能明显改善<sup>[20]</sup>,2001—2009年长江流域防护林生态系统服务价值提高40.3%,主要在涵养水源和保育土壤方面改善明显<sup>[21]</sup>;长江经济带生态系统服务价值明显提升<sup>[22]</sup>,2008—2017年生态系统服务价值增加103.9%<sup>[23]</sup>;从生态系统服务供需状况看,2000—2015年长江经济带生态系统服务供需总体趋好,其中供需状况为“好”的增加了43个县,供需状况为“差”的减少了58个县<sup>[24]</sup>.

## 2 生态系统保护修复形势仍然严峻

### 2.1 生态系统保护修复压力增大

长江流域生态系统演变的主要驱动力是城镇化、生态保护与恢复、水资源开发、农业开发、地质灾害和气候变化等因素,对生态系统形成压力的主要是城镇化、农业开发和水资源开发,贡献率分别为48.0%、9.9%和8.5%<sup>[10]</sup>。2008—2018年,长江经济带11省市的平均城镇化率由47.1%增至60.4%,年均增长超过1个百分点。快速城镇化导致城镇面积和城镇中建设用地面积明显增加,2000—2015年,长江流域城镇面积增加67.5%,其中建设用地面积增加61.9%,城镇用地扩张主要挤占农田和林草地。长江流域农田面积明显减少,2000—2015年,旱地和水田分别减少11.4%和5.1%<sup>[10]</sup>;化肥和农药施用量仍然没有得到很好的控制,以长江经济带为例,2003—2014年,农作物播种面积增加5.1%,化肥施用量增加24.4%,农药施用量增加28.2%,化肥和农药施用强度分别增加29.2%和33.0%,农业废水排放量增加47.5%<sup>[25]</sup>,农业生态系统对生态环境系统的压力持续增加。1997—2016年长江流域总用水量增加17.3%,人均综合用水量增加7.7%<sup>[26]</sup>;污水排放总量也有明显增加,2004—2016年,长江经济带废水排放量增加42.5%。长江流域可开发水能资源约占全国的39.6%,长江上游水能资源约占全流域的90%以上;随着长江上游水电梯级开发的持续快速推进,水电开发的长期、累积、间接、不可逆影响将日益显现,对生物多样性保护和流域生态环境系统改善的压力增加<sup>[27]</sup>。

## 2.2 水环境质量改善成果尚不稳固

长江流域水环境质量整体虽然已经改善,但12个劣V类国控断面仍有3个未消除,省控、市控断面仍然存在不少劣V类断面,甚至出现新增劣V类断面的情况。从水功能区水质达标情况看,2014年1月—2018年7月,长江流域湖库水功能区一级区水质逐月达标率(按面积计算)在40%附近波动,不能实现稳定达标;湖库水功能区二级区水质逐月达标率为40%;湖库水功能区二级区中饮用水源区湖库水质达标率呈下降趋势,年均下降5.48个百分点,2017年8月—2018年7月的水质达标率为23.3%;长江干流和大部分支流枯水季水质较差,部分山区型河流汛期水质变差,部分月份或部分河流难以稳定达标<sup>[28]</sup>。部分大型湖库水质恶化,2001—2018年,洪湖水水质由Ⅲ类变为Ⅴ类,洪泽湖水水质由Ⅳ类变为Ⅴ类,董铺水库水质由Ⅱ类变为Ⅲ类。2018年长江口水水质超四类海水占比达56.3%,无机氮、活性磷酸盐等超标严重。2018年黑臭水体仍有约13%尚未消除,饮用水源地

水质尚有约7.5%不能达标。由于农业面源和城镇生活污染的影响以及水电开发和气候变化等对水文过程的影响,水环境质量持续改善已经进入攻坚期。

## 2.3 生态系统保护修复仍有待加强

陆域生态质量仍有较大提升空间。长江流域生态环境质量评价为“差”的比例由2013年的0.2%增至2018年的3.8%,主要在大中城市及周边区域<sup>[8-9]</sup>。森林质量有待提高,中幼龄林比例高,江西省和云南省的中幼龄林比例分别为86.6%和80.7%<sup>[12,29]</sup>。2000—2015年,长江流域冰川、草地和灌丛分别减少了15.8%、1.8%和1.2%<sup>[10]</sup>。湿地面积减少,其中中游湿地萎缩严重,以湖北省为例,第二次全国湿地资源调查(2013年)与第一次(2003年)比较,河流和湖泊湿地萎缩率分别为42.7%和45.8%<sup>[30]</sup>。长江入海口湿地滩涂和沼泽面积从791.3 km<sup>2</sup>降至313.7 km<sup>2</sup>,主要转化为养殖用地和盐田<sup>[31]</sup>。长江流域水土流失较为严重,根据《长江流域水土保持公告(2018年)》,长江流域水土流失面积仍占土地面积的19.4%,强度及以上水土流失面积占水土流失总面积的15.4%<sup>[17]</sup>。长江流域是我国岩溶地区石漠化和潜在石漠化的主要分布区域。根据全国第三次石漠化监测结果,截至2016年,长江经济带岩溶地区石漠化土地面积为847.8×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占岩溶地区石漠化土地总面积的84.2%;潜在石漠化土地面积为1 157.6×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占岩溶地区潜在石漠化土地面积的78.9%;与2011年相比,长江经济带潜在石漠化土地面积增加了96.8×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,石漠化土地整治工作仍然艰巨而紧迫<sup>[18]</sup>。在城镇化发展、农业开发和水资源开发过程中,大量的生态用地被占用,生态空间被挤占,长江生态系统部分生态功能出现退化<sup>[32]</sup>。

水生生态系统保护修复任务依然艰巨。长江流域生物完整性指数已到最差的“无鱼”等级,从20世纪50年代至今,四大家鱼捕获量从50 t左右降至不足10 t,鱼苗出生量从超过300×10<sup>8</sup>尾降至不足1×10<sup>8</sup>尾<sup>[33]</sup>。长江流域湖库富营养化仍然严重。2009—2018年,长江流域中度富营养化湖泊从31.3%增至42.7%,水库营养水平从中营养状态向轻度富营养化发展<sup>[34]</sup>。长江中下游地区,1988—2018年,湖泊有机质污染加重,浮游植物叶绿素a浓度大幅增加,总磷浓度在一些湖泊明显增加<sup>[35]</sup>。长江口仍是我国近岸海域污染最严重、污染面积最大的区域,主要污染物为无机氮和活性磷酸盐,近年来仍呈重度富营养化,生态系统总体处于亚健康状态。在水体污染、过度捕捞、江湖阻隔、栖息地侵占及水环境改变等问题的干

扰下,长江野生生物资源衰退严重,珍稀特有物种生存困难,珍贵鱼类的自然资源量大幅减少,部分鱼种遭遇灭绝<sup>[36]</sup>,长江自身的水质净化、产品输出及生物多样性保护等能力已经严重衰退。截至2017年底,长江经济带有10个省市已建成小水电 $2.41 \times 10^4$ 座<sup>[37]</sup>,小水电过度开发侵占自然保护区用地、挤占河流生态流量,导致下游减水断流加剧,造成了严重生态破坏,推进小水电有序退出和绿色发展,减轻水生态系统压力仍然任重道远。

长江岸线保护修复形势依然严峻。岸线和滨岸带是水陆交错带和过渡带,具有固土护岸、拦截泥沙、消解污染等重要的生态功能,对于河流、湖泊而言具有生态屏障的作用。由于岸线资源不合理及过度开发利用,长江岸线及滨岸带保护修复面临较大压力。根据中国科学院“长江经济带岸线资源调查与评估”项目,2017年长江干流岸线生态敏感岸线占55.9%,其中重度及以上敏感岸段占14.2%,岸线资源开发条件较好的岸段超过40%与生态敏感空间重叠;长江滨岸带水体污染严重,重污染点位超过7.1%;2000—2015年长江干流滨江湿地和江心洲湿地分别减少19.25%和19.00%;长江干流的港口-工业岸线占用了各类自然保护区的岸线长度为482.74 km,其中核心区岸线长度达169.92 km<sup>[38-39]</sup>。水库、水电站的建设与运行在一定程度上淹没了库区原有的自然岸线,形成消落带,同时导致下游减水河段滨岸带退化及相关河湖生态退化等问题。气候变化和人类活动导致的河流水位涨落也是滨岸带发生剧烈土壤侵蚀的驱动因素<sup>[40]</sup>,严重破坏了滨岸带的生态屏障作用,可能会引发水体对于陆地的严重冲击。

### 3 长江流域生态系统可持续管理的策略

长江流域生态系统管理已经由洪涝灾害防控为主的水量管理,向以污染物减排为主的总量管理、以水环境质量改善为核心的水质管理转变。随着国家相关职能调整、生态环境部成立和人民群众对于长江生态环境良好期望的提高,长江流域生态系统目前的管理已经不能完全满足新时期和新形势的需要。因此,需要充分考虑生态因素,构建水陆统筹、行政管理与流域管理有效衔接<sup>[41]</sup>、江-湖-海联动、“山水林田湖草”不同生态系统耦合的可持续管理框架。流域可持续管理就是以可持续发展为目标,将流域视为一个社会-经济-自然复合生态系统,统筹“山水林田湖草海”,实现社会经济与生态环境协调发展的一种综合管理方法。长江流域生态系统可持续管理策略建议从高时空精度生态环境监测系统构建、生态系统综合性整体性研

究、社会-经济-自然复合生态系统保护修复可持续目标制订和流域生态环境保护修复综合解决方案几个方面进行重点突破。

#### 3.1 规划和建设服务于应急预警和管理决策的长江生态系统观测网络

##### 3.1.1 推动多源数据有效融合

主要针对已有数据分散的特点,打通数据壁垒,实现数据融通。优先实现不同职能部门、不同行政层级的数据融通,对于流域生态系统综合管理,特别要打通生态、环境、水文、气象和产业等相部职能部门的数据壁垒,实现不同行政层级、不同职能部门观测台站一体化。实现定点定时监测与移动随机监测相结合,地面监测与空天无人机、卫星遥感监测相结合,以及政府监测、科研监测、企业监测与民间监测相结合。逐步实现多源数据有效融合服务管理、决策、科研、生产、科普等多元目标。

##### 3.1.2 提高监测网络时空精度

主要针对服务于考核的高设备精度、高建设运维成本、低时空精度特点,采用自动化程度高、建设运维成本低的基于无线传感器的地面传感网。在相同投入的情况下,大幅提高建设点位和数据获取频次,实现近实时、高密度监测体系,织密监控之网,提升溯源能力和数据获取的及时性和科学性,真正满足应急预警、管理决策对于高时空精度数据的要求。逐步建成高设备精度与高时空精度相互支撑、相互融合的成本效益可行、精度满足多元要求的高时空监测网络。

##### 3.1.3 开展生态系统科学观测

主要针对长江监测、科研分散的特点,围绕国家重大战略需求和大江大河重大生态环境问题,借鉴国际生态系统观测研究计划经验<sup>[41]</sup>,构建长江生态系统科学观测网络。要充分利用现有基础,进行系统谋划和顶层设计,构建大江大河科学观测网络,支撑研究大江大河前瞻性、全局性、系统性、流域性、综合性的科学规律,助力系统全面地回答长江保护修复和管理决策的重大前沿问题。

#### 3.2 加强长江生态系统结构、过程、功能和服务的综合性、整体性研究

##### 3.2.1 开展长江流域生态系统综合研究

围绕物质循环、能源利用等生态学核心问题,充分利用生态学、地理学等领域的最新研究成果,谋划长江流域生态系统综合性研究的大科学研究计划(甚至牵头谋划国际大江大河生态系统研究的大科学计划),研究磷、氮、碳、水、沙、重金属等传统物质在水陆生态系统中的迁移转化过程,以及 POPs、环境

激素、微塑料等新型污染物在水陆生态系统中的迁移转化过程,研究水能、化石能源、风能、光能等能源利用涉及的重大生态环境问题,尤其是水能、化石能源与生态系统物质循环的关系(特别是水电站建设、河湖关系等),研究长江流域生态系统的完整性、健康状况、功能维持和服务供给等。目前长江生态环境保护修复联合研究已经取得初步成效<sup>[42]</sup>,只有不断加强科技创新,才能有效支撑管理决策<sup>[43]</sup>。

### 3.2.2 开展重点区域生态系统综合研究

围绕长江流域的生态关键带、重点生态功能区、生态退化区、水陆交错区、长江干流、主要支流、重点湖库等重点关注区域开展生态系统综合研究。分析构建长江流域生态安全格局,加强生态关键带形成演化规律研究,探索重点生态功能区的水源涵养、水土保持、生物多样性保护等功能保护提升的策略和路径,研究生态退化区、水陆交错带的保护修复策略和技术,加强长江防护林体系建设、天然林保护、退耕还林还草、水土保持等生态工程建设区的跟踪监测和评估。

### 3.2.3 开展突出生态系统问题专题研究

围绕流域生态系统结构、过程、功能和服务等方面的突出问题开展专题研究。研究水陆统筹与水陆过渡带、陆海统筹与河海交错带、河湖连通与富营养化和生态保护红线及生态优先区管控等。研究流域生态系统的格局与污染物阻滞,生态系统的污染物净化与环境增容,磷、氮、水等物质循环与全生命周期管理,优良生态产品的生产与维持,以及突出生态系统问题的形成机制与演变规律等。加强全球气候变化与流域气候变化应对以及人类活动管控等相关研究。

### 3.3 制定长江社会-经济-自然复合生态系统保护修复可持续发展目标及分阶段分区域目标

#### 3.3.1 研究制定长江流域可持续发展目标

基于社会-经济-自然复合生态系统理论,结合联合国2030年可持续发展目标和《中国落实2030年可持续发展议程国别方案》,按照分类—统筹—协作的路径<sup>[44]</sup>,探索、研究和制定长江流域可持续发展目标,加强流域可持续发展目标与国家和省(自治区、直辖市)规划目标的有机结合。在长江流域可持续发展目标框架下,结合长江沿线各省(自治区、直辖市)社会经济和生态环境发展态势以及长江保护修复攻坚战等成效,进一步明确长江生态环境保护修复的总体目标、重点任务和重大工程,提升长江流域的可持续发展能力<sup>[45]</sup>和可持续发展水平<sup>[46]</sup>。

#### 3.3.2 研究制定长江流域分阶段分区域目标

根据《长江流域水污染防治“十三五”规划》、长江保护修复攻坚战和长江沿线各省(自治区、直辖市)生态环境保护“十三五”规划实施成效,结合长江流域未来不同时期可持续发展目标,尽快研究制定长江流域“十四五”规划目标、任务和工程,展望长江流域2030年的目标、任务和工程。尽快研究制定长江流域重点支流(雅砻江、沱江、岷山、嘉陵江、乌江、湘江、赣江、汉江等)、相关主要行政区、不同类型区(太湖、巢湖、滇池、鄱阳湖、洞庭湖等主要湖泊和三峡库区、丹江口水库等主要湖库以及生态保护红线区、重点生态功能区、生态退化区等)的目标、任务和工程。综合研究制定形成长江流域分阶段分区域目标。

### 3.4 提出长江生态系统保护修复的整体性、综合性和针对性、差异化的综合解决方案

#### 3.4.1 研究制定长江流域整体性综合性解决方案

针对长江流域突出的生态环境问题,围绕长江流域生态环境保护目标,研究编制长江生态系统保护修复综合解决方案,提出长江流域生态系统保护修复核心策略和主要路径,明确长江流域生态系统优先保护对象、重点修复区域和流域、优控污染物、主要保护修复技术和重大工程布局等。通过加强顶层设计和统筹规划,可以规避区域、职能部门各自为政的分散方案可能带来的系统风险,提前做好不同职能部门、不同地方政府的综合协调,有效衔接流域区域发展、新型城镇化、产业发展、乡村振兴、资源配置和生态环境安全,实现长江流域生态系统保护修复与高质量发展的有效衔接与协调,为世界大江大河流域生态环境保护修复和可持续发展提供科学研究与中国实践。

#### 3.4.2 研究制定重点区域的针对性、差异化管控方案

对于长江干流、主要支流和重点湖库等重点区域,需要加快研究制定针对性、差异化、精细化、综合效益明显的管控方案。长江干流(四川省宜宾市至入海口江段)管控方案侧重于基本生态用水需求保障、水生生物保护区监管、生态缓冲区划定与岸线保护利用、水电开发和航运管控、企业综合整治与园区合理布局、污染物跨界通量和沿程变化、生态系统健康等方面。主要支流管控方案在干流关注点的基础上,加强对排污口、尾矿库、非法码头、引水式电站、非法采砂和危化品的风险管控等,围绕主要支流重大生态环境问题和主要生态环境目标,突出各流域管控特色。重点湖库在干流关注点的基础上,加强富营养化管控、水华监控预警、饮用水源地保护、生物多样性保护等,突出平原湖泊、通江湖泊等不同类型的特色。

## 4 结论

a) 长江流域水环境质量明显改善, I ~ III类国控断面比例上升, 饮用水源地水质达标率不断提高, 劣V类断面显著减少, 总磷、化学需氧量、氨氮等主要污染物浓度下降, 主要湖库水质改善, 水体富营养化状态改善, 长江口近岸海域水质显著改善, 黑臭水体大幅减少; 森林生态系统面积增加且质量改善, 湿地生态系统面积增加且保护率提高, 水土流失面积和石漠化土地面积减少, 生态系统服务价值增加, 生态环境质量总体改善。

b) 长江流域水环境质量改善成果尚不稳固, 湖库、支流、入海口水质较差, 部分饮用水源地水质下降或不能达标, 劣V类国控断面和黑臭水体仍然存在; 城镇化、水资源开发、农业开发和气候变化等对生态系统的压力增大, 保护修复进入攻坚期; 陆域生态系统质量仍有较大提升空间, 生态环境质量为“差”的比例显著上升, 中幼龄森林所占比例较高, 冰川、草地和灌丛减少, 水土流失和石漠化面积仍占较大比例, 部分地区生态用地被挤占, 生态功能出现退化; 长江流域生物完整性指数已到最差的“无鱼”等级, 水生生态系统保护修复任务依然艰巨; 长江岸线资源破坏严重, 滨岸带保护力度不足, 消落带保护修复难度大。

c) 长江流域管理策略经历了以防洪涝灾害为主的水量管理、以主要污染物排放为主的总量管理和以水环境改善为核心的质量管理几个阶段, “十四五”时期将由以水质目标改善为核心的水环境管理向以水生态环境系统健康为核心的水生态环境管理转变, 未来将快速向水陆统筹的流域生态系统安全为核心的流域生态系统可持续管理转变。

d) 流域生态系统可持续管理的策略包括: 规划和建设服务于应急预警和管理决策的长江生态系统观测网络, 开展“山水林田湖草”生命共同体综合观测; 加强流域生态系统综合性、整体性研究, 开展重点区域、突出问题专题研究, 创新科研与管理深度融合的科研模式; 制定长江流域社会-经济-自然复合生态系统保护修复可持续发展目标, 促进社会经济系统与生态环境系统的持续协同; 提出长江流域生态系统保护修复的整体性、综合性和针对性、差异化的解决方案, 推动长江流域生态系统可持续发展。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 尹虹潘. 国家级战略平台布局视野的中国区域发展战略演变 [ J ]. 改革, 2018(8): 80-92.  
YIN Hongpan. Evolution of China's regional development strategy from the perspective of national strategic platform layout [ J ].
- [ 2 ] 周泓, 刘洋, 张雪瑶, 等. 生态优先推动长江经济带绿色发展: 《长江经济带发展规划纲要》初步解读 [ J ]. 环境与可持续发展, 2016(6): 191-192.  
ZHOU Hong, LIU Yang, ZHANG Xueyao, et al. Ecological priority to promote the green development of the Yangtze River Economic Belt [ J ]. Environment and Sustainable Development, 2016(6): 191-192.
- [ 3 ] 中共中央, 国务院. 长江三角洲区域一体化发展规划纲要 [ R ]. 北京: 国务院, 2019.
- [ 4 ] 吴建明. 长江流域水资源管理研究 [ D ]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [ 5 ] 孟冲. 基于水环境纳污能力的流域污染物总量控制研究 [ D ]. 北京: 华北电力大学, 2018.
- [ 6 ] 王金南, 董战峰, 蒋洪强, 等. 中国环境保护战略政策 70 年历史变迁与改革方向 [ J ]. 环境科学研究, 2019, 32(10): 1636-1644.  
WANG Jinnan, DONG Zhanfeng, JIANG Hongqiang, et al. Historical evolution and reform of China's environmental strategy and policy during the past seventy years (1949-2019) [ J ]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(10): 1636-1644.
- [ 7 ] 蔡庆华. 长江大保护与流域生态学 [ J ]. 人民长江, 2020, 51(1): 70-74.  
CAI Qinghua. Yangtze River conservation and watershed ecology [ J ]. Yangtze River, 2020, 51(1): 70-74.
- [ 8 ] 生态环境部. 2018 年全国生态评估报告 [ R ]. 北京: 生态环境部, 2019.
- [ 9 ] 环境保护部. 全国生态环境质量报告 (2014 年) [ R ]. 北京: 环境保护部, 2015.
- [ 10 ] 孔令桥, 张路, 郑华, 等. 长江流域生态系统格局演变及驱动力 [ J ]. 生态学报, 2018, 38(3): 741-749.  
KONG Lingqiao, ZHANG Lu, ZHENG Hua et al. Driving forces behind ecosystem spatial changes in the Yangtze River Basin [ J ]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 741-749.
- [ 11 ] 陈婷, 金小麒. 贵州省森林资源质量问题与对策 [ J ]. 林业资源管理, 2015(2): 38-41.  
CHEN Ting, JIN Xiaoqi. Problems of forest quality and countermeasures of forest resources in Guizhou Province [ J ]. Forest Resources Management, 2015(2): 38-41.
- [ 12 ] 陈济友, 徐昕, 刘晓勇. 江西省第九次森林资源清查主要结果与动态变化分析 [ J ]. 林业资源管理, 2018(2): 18-23.  
CHEN Jiyu, XU Xin, LIU Xiaoyong. Analysis on the main results and dynamic changes of the Ninth Forest Resources Inventory in Jiangxi [ J ]. Forest Resources Management, 2018(2): 18-23.
- [ 13 ] 郑刚, 戎慧, 程小义, 等. 基于森林资源连续清查的江苏省森林资源动态变化分析 [ J ]. 江苏林业科技, 2017, 44(2): 43-47.
- [ 14 ] 黄光体, 陈强, 王晓光, 等. 湖北省森林资源清查体系建设历程及展望 [ J ]. 湖北林业科技, 2019, 48(1): 41-45.
- [ 15 ] 张阳武. 长江流域湿地资源现状及其保护对策探讨 [ J ]. 林业资源管理, 2015(3): 39-43.

- ZHANG Yangwu. The wetland resources status and conservation strategy of the Yangtze River Basin [J]. *Forest Resources Management*, 2015(3): 39-43.
- [16] 陈有明, 刘同庆, 黄燕, 等. 长江流域湿地现状与变化遥感研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(6): 801-808.
- CHEN Youming, LIU Tongqing, HUANG Yan, *et al.* Remote sensing research of wetland current status and change in the Yangtze River Basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(6): 801-808.
- [17] 水利部长江水利委员会. 长江流域水土保持公告(2018) [R]. 北京: 水利部长江水利委员会, 2019.
- [18] 国家林业和草原局. 中国·岩溶地区石漠化状况公报[R]. 北京: 国家林业和草原局, 2018.
- [19] 傅伯杰. 生态系统服务与生态系统管理[J]. *中国科技奖励*, 2013(7): 6-8.
- FU Bojie. Ecosystem services and ecosystem management [J]. *China Awards for Science and Technology*, 2013(7): 6-8.
- [20] 程建, 程久苗, 吴九兴, 等. 2000—2010年长江流域土地利用变化与生态系统服务功能变化[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(6): 894-901.
- CHENG Jian, CHENG Jiumiao, WU Jiuxing, *et al.* Changes of land use and ecosystem service functions in Yangtze River Basin from 2000 to 2010 [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 894-901.
- [21] 王建忠. 长江流域防护林生态系统服务功能评估与宏观调控技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [22] LUO Qiaoling, LUO Yanlong, ZHOU Qingfeng, *et al.* Does China's Yangtze River Economic Belt policy impact on local ecosystem services [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 676: 231-241.
- [23] 李湘德. 长江经济带生态系统服务价值测算及影响因素研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2019.
- [24] 翟天林, 王静, 金志丰, 等. 长江经济带生态系统服务供需格局变化与关联性分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(15): 5414-5424.
- ZHAI Tianlin, WANG Jing, JIN Zhifeng, *et al.* Change and correlation analysis of the supply-demand of ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(15): 5414-5424.
- [25] 罗志高, 杨继瑞. 长江经济带农业绿色发展的现实困境与对策思考[J]. *重庆工商大学学报(社会科学版)*, 2019, 36(5): 20-27.
- LUO Zhigao, YANG Jirui. Current predicament and countermeasures for agricultural green development along the Yangtze River Economic Belt [J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Social Sciences Edition)*, 2019, 36(5): 20-27.
- [26] 管光明, 王海伟, 马拥军, 等. 长江流域水资源利用与节水管理控制[J]. *长江技术经济*, 2018(4): 58-62.
- GUO Guangming, WANG Haiwei, MA Yongjun, *et al.* Discussions on water resources utilization and water saving management in the Yangtze River Basin [J]. *Technology and Economy of Changjiang*, 2018(4): 58-62.
- [27] 姚磊, 陈盼盼, 胡利利, 等. 长江上游流域水电开发现状与存在的问题[J]. *绵阳师范学院学报*, 2016, 35(2): 91-97.
- YAO Lei, CHEN Panpan, HU Lili, *et al.* Research on the status and problems of the upper Yangtze River hydropower development [J]. *Journal of Mianyang Teachers' College*, 2016, 35(2): 91-97.
- [28] 陈进, 刘志明. 近年来长江水功能区水质达标情况分析[J]. *长江科学院院刊*, 2019, 36(1): 1-6.
- CHEN Jin, LIU Zhiming. Standard-reaching rate of water quality in water function regions in Changjiang River Basin in recent years [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2019, 36(1): 1-6.
- [29] 燕腾, 彭一航, 王效科, 等. 云南省 2008—2013 年森林植被碳储量变化研究[J]. *浙江林业科技*, 2016, 36(2): 15-19.
- YAN Teng, PENG Yihang, WANG Xiaoke, *et al.* Forest carbon storage in Yunnan during 2008-2013 [J]. *Journal of Zhejiang Forest Science & Technology*, 2016, 36(2): 15-19.
- [30] 张季, 陈蕾. 湖北湿地保护存在的问题及对策[J]. *人民长江*, 2018, 49(23): 43-46.
- ZHAN Ji, CHEN Lei. Existing problems in wetland protection of Hubei province and protection measures [J]. *Yangtze River*, 2018, 49(23): 43-46.
- [31] 韩颖, 杜嘉, 宋开山, 等. 五个时期长江入海口湿地土地利用格局及变化[J]. *湿地科学*, 2017, 15(4): 608-612.
- HAN Ying, DU Jia, SONG Kaishan, *et al.* Land use pattern and its change in the mouth of Yangtze River for 5 periods [J]. *Wetland Science*, 2017, 15(4): 608-612.
- [32] 朱治州. 长江经济带土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2019.
- [33] 李储信, 朱尧虎. 长江流域即将全面禁渔 10 年[J]. *生态经济*, 2019, 35(12): 9-12.
- [34] 汤显强. 长江流域水体富营养化演变驱动机制及防控对策[J]. *人民长江*, 2020, 51(1): 80-87.
- TANG Xianqiang. Evolution driving mechanism and control strategy for eutrophication in Changjiang River Basin [J]. *Yangtze River*, 2020, 51(1): 80-87.
- [35] 朱广伟, 许海, 朱梦圆, 等. 三十年来长江中下游湖泊富营养化状况变迁及其影响因素[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(6): 1510-1524.
- ZHU Guangwei, XU Hai, ZHU Mengyuan, *et al.* Changing characteristics and driving factors of trophic state of lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River in the past 30 years [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(6): 1510-1524.
- [36] 徐德毅. 长江流域水生态保护与修复状况及建议[J]. *长江技术经济*, 2018, 2(2): 19-24.
- XU Devi. Protection and restoration of water eco-environment in the Yangtze River basin and suggestions for improvement [J]. *Technology and Economy of Changjiang*, 2018, 2(2): 19-24.
- [37] 温焜, 彭贤鸿. 建立小水电有序退出机制[N]. 北京: 中国环境



- 报,2018-11-14(3).
- [38] 段学军,王晓龙,邹辉,等.长江经济带岸线资源调查与评价研究[J].地理科学,2020,40(1):22-31.  
DUAN Xuejun, WANG Xiaolong, ZOU Hui, *et al.* Investigation and assessment of waterfront resources in the Yangtze River Economic Zone[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(1):22-31.
- [39] 梁双波,刘玮辰,曹有挥,等.长江港口岸线资源利用及其空间效应[J].长江流域资源与环境,2019,28(11):2672-2680.  
LIANG Shuanbo, LIU Weichen, CAO Youhui, *et al.* Exploitation of port coastline resources and its spatial effects along the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(11):2672-2680.
- [40] 段学军,王晓龙,徐昔保,等.长江岸线生态保护重大问题及对策建议[J].长江流域资源与环境,2019,28(11):2641-2648.  
DUAN Xuejun, WANG Xiaolong, XU Xibao, *et al.* Major problems and countermeasures of ecological protection on the waterfront resources along the Yangtze River[J]. *Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(11):2641-2648.
- [41] 傅伯杰,刘宇.国际生态系统观测研究计划及启示[J].地理科学进展,2014,33(7):893-902.  
FU Bojie, ZHANG Liwei. Land-use change and ecosystem services: concepts, methods and progress[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(7):893-902.
- [42] 杨荣金,王丽婧,刘伟玲,等.长江生态环境保护修复联合研究设计与进展[J].环境与可持续发展,2019(5):37-42.  
YANG Rongjin, WANG Lijing, LIU Weiling, *et al.* Design and progress of joint research on ecological environment protection and restoration of the Yangtze Rive [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2019(5):37-42.
- [43] 李海生.增强环保科技创新能力 支撑环境管理决策:需求·挑战·对策[J].环境科学研究,2018,31(2):201-205.  
LI Haisheng. Improving the innovation capability of environmental science and technology to support environmental management and decision-making: demands, challenges and countermeasures [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(2):201-205.
- [44] 傅伯杰.“分类-统筹-协作”:全球加快实现SDGs的路径[J].可持续发展经济导刊,2019(9):21-22.  
FU Bojie. ‘Classification-Integration-Collaboration’: path to accelerate global SDGs implementation [J]. *Economic Guide for Sustainable Development*, 2019(9):21-22.
- [45] 陈利顶,傅伯杰.长江流域可持续发展能力评价[J].地理科学,2000,20(4):301-306.  
CHEN Liding, FU Bojie. Assessment of sustainability in Yangtze River Basin and improvement [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, 20(4):301-306.
- [46] 杨荣金,傅伯杰,刘国华,等.生态系统可持续管理的原理和方法[J].生态学杂志,2004,23(3):103-108.  
YANG Rongjin, FU Bojie, LIU Guohua, *et al.* Principles and methods of sustainable management of ecosystem [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(3):103-108.

(责任编辑:周巧富)