

DOI: 10.5846/stxb202008012006

杨胜苏, 刘卫柏. 基于恢复生态学的洞庭湖区“山水林田湖草”生态修复研究. 生态学报, 2021, 41(16): 6430-6439.

Yang S S, Liu W B. Research on Ecological Restoration of “Landscapes, Forests, Fields, Lakes and Grasses” in Dongting Lake Area: Based on the Perspective of Restoration Ecology. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(16): 6430-6439.

基于恢复生态学的洞庭湖区“山水林田湖草”生态修复研究

杨胜苏^{1,2}, 刘卫柏^{3,*}

1 江西财经大学经济学院, 南昌 330032

2 湖南理工学院体育学院, 岳阳 410011

3 湖南科技学院经济与管理学院, 永州 425199

摘要: 实施洞庭湖区“山水林田湖草”生态修复工程, 是践行生态文明理念、遵循自然规律、破解生态环境保护难题的关键措施。由于自然灾害及人类不合理利用等因素影响, 洞庭湖区生态问题日益严重, 对洞庭湖区生态系统均衡和可持续发展带来威胁。基于恢复生态学理论, 以洞庭湖区为研究对象, 采用物能循环和物能转化的生态学原则分析洞庭湖区存在土壤重金属污染、水环境、生物多样性与植被退化和农村土地利用的生态问题, 明确了“山水林田湖草”命运共同体中各要素及相应形成的子系统存在的相互联系和相互制约的关系, 厘清洞庭湖区生态系统的生态退化过程和生态退化机制, 就此提出重构生态水体、重建生态地质地貌和重现生态景观的生态恢复策略, 提出妥善解决和处理洞庭湖区的生态恢复及亟需进行环境整治问题, 实现自然景观的恢复重构。通过构建洞庭湖区生态系统恢复的测度指标体系和洞庭湖区生态系统恢复的监测与管控, 实现洞庭湖区“山水林田湖草”生态恢复的目标。

关键词: 生态修复; 恢复生态学; 命运共同体; 洞庭湖区

Research on Ecological Restoration of “Landscapes, Forests, Fields, Lakes and Grasses” in Dongting Lake Area: Based on the Perspective of Restoration Ecology

YANG Shengsu^{1,2}, LIU Weibai^{3,*}

1 School of Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330032, China

2 School of Physical Education, Hunan Institute of Technology, Yueyang 410011, China

3 School of Economics and management, Hunan University of Science and Technology, Yongzhou 425199, China

Abstract: Carrying out the ecological restoration project of “landscapes, forests, fields, lakes and grasses” in Dongting Lake area is a key measure to put the concept of ecological civilization into practice, follow the natural law and solve the problems of ecological and environmental protection. As a result of natural disasters and irrational human use, the ecological problems in the Dongting Lake region are becoming more and more serious, posing a threat to the balance and sustainable development of the ecosystem. Based on the Theory of Restoration Ecology, taking the Dongting Lake area as the research object, such ecological problems as soil heavy metal pollution, water environment, biodiversity and vegetation degradation, and rural land use in the Dongting Lake region are analyzed by adopting the ecological principles of material-energy cycle

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2020JJ213); 湖南省自然科学基金杰出青年项目(2019JJ2009); 湖南省教育厅重点、优秀青年项目(18A392, 18B431)

收稿日期: 2020-08-01; 修订日期: 2021-02-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: five005@126.com

and material-energy conversion. The interrelationship and mutual restriction of the various elements and corresponding subsystems in the life community of “landscape, forest, field, lake and grass” are made clear, and the ecological degradation process and ecological degradation mechanism of the Dongting Lake ecosystem are clarified. In this regard, the ecological restoration strategies of reconstructing ecological water bodies, reconstructing ecological geological landforms and recreating ecological landscapes are proposed, to properly solve and deal with the ecological restoration of the Dongting Lake area and the urgent need for environmental improvement are put forward so as to realize the restoration and reconstruction of natural landscape. By constructing the indicator system of ecosystem restoration in Dongting Lake area and the monitoring and management of ecosystem restoration in this area, the goal of ecological restoration of the “landscape, forest, field, lake and grass” in the Dongting Lake area will be achieved.

Key Words: ecological restoration; restoration ecology; life community; Dongting Lake area

党的十九大报告中提出“加快生态文明体制改革,建设美丽中国”的战略目标。习近平总书记从生态文明建设的整体视野提出“山水林田湖草是生命共同体”的论断,强调“统筹山水林田湖草系统治理”、“全方位、全地域、全过程开展生态文明建设”^[1]。生态文明建设成为可持续发展道路的必然选择,全国各地也在采取可行措施大力推动区域生态恢复,开展“山、水、林、田、湖、草”全面保护、整体修复和全面、系统治理。但是,由于区域生态修复缺乏体统、整体理念和总体统筹方法,存在各自为政、分头推进、分割与分散生态要素治理、局部生态修复效果明显但整体生态修复效果不典型等突出问题^[2-3],亟需从生态系统视角整体考虑国土空间,实现系统考虑、整体施策。

洞庭湖是中国第二大淡水湖,也是长江流域发挥重要调蓄功能的湖泊。洞庭湖区是长江流域中游的重要生态子系统之一,在生态系统中发挥关键作用、具有重要地位,是湖南乃至全国的“鱼米之乡”,自然资源极为丰富,也是产出农产品满足全国需求的重点地区。近数十年来,由于自然灾害及人类过度开发等不合理利用的各种因素影响,水土流失、土壤重金属污染、土壤退化等生态问题日益严重,人地矛盾、人与自然界存在十分尖锐的冲突,对洞庭湖区生态系统均衡和经济社会可持续发展带来威胁。因此,采取可行措施推进生态修复尤为迫切。但是,当前的生态修复工程一般对生态系统各要素的相互联系和协同配合重视不够,加之生态修复规划滞后,生态修复项目进展不同,各个部门存在部门分割、各自为政现象,采取部门单一规划替代全面系统规划,导致生态系统修复存在分散治理缺陷,生态系统修复的全面性、整体性、系统性略显不足等弊端。洞庭湖区生态修复究竟如何贯彻和落实“山水林田湖草生命共同体”发展理念,是今后发展亟需破解的重大课题。

人口过快增长、过渡开垦、过渡放牧及毁林开荒等各种不科学、不合理的活动导致的生态系统退化,成为经济社会可持续发展的严重障碍^[4],亟需采取生态恢复措施。生态恢复主要是指可行技术、方法和手段恢复那些受损、毁坏和退化的生态系统的过程^[5]。恢复生态学自1987年诞生以来发展十分迅速^[6],是研究生态恢复原理和生态恢复过程的科学,能够实现理论与实践的有机融合^[7],90年代以来呈快速增长趋势^[8],国外生态修复理论研究主要包括群落构建^[9]和生态位^[10]等,生态修复技术主要包括土壤^[11]与植物修复^[12]等。国内学者在生态修复领域也进行了系列研究,提出地貌重塑与景观重现等生态修复模式^[13]。梳理国内外研究文献发现,国内外关于生态修复的研究还不够全面和完善,一些技术没有考虑地域差异,实用性不强。因此,本文在深刻领会习近平生态文明重要思想基础上,秉持山水林田湖草是生命共同体的理念,利用恢复生态学的理论分析框架,以洞庭湖区为研究对象,分析洞庭湖区生态退化的过程和生态退化的机理,探求生态系统退化过程中实现生态恢复和生态重建的思路和路径。

1 生态系统退化评测

1.1 研究区概况

洞庭湖区横跨湖北与湖南两省,是长江流域重要的国际湿地,在国内享有“天下粮仓”的美誉,担负维护

国家粮食安全、长江流域生态安全与水资源安全的重任。洞庭湖位于湖北荆江河段南部、湖南省北部,经度介于 $28^{\circ}30'$ — $30^{\circ}20'N$ 之间,纬度介于 $110^{\circ}40'$ — $113^{\circ}10'E$ 之间,南纳湘水、资水、沅水、澧水,北接太平、调弦、松滋、藕池四口来水,东部由城陵矶注入长江,具备维持江湖水域生态平衡的核心作用和功能^[14],于1994年被国务院确定为国家级自然保护区。洞庭湖区包括湖北省的荆州市、湖南省的岳阳市、常德市与益阳市及长沙市望城区,整个区域规划面积6.05万 km^2 ,常住人口0.22亿^[15]。该区是全国重要的商品粮、鱼、油、棉生产基地,生态修复研究对统筹城乡发展,实现乡村振兴,以生态文明建设统领经济社会发展全局具有重要的作用和意义。

目前,洞庭湖区生态环境面临的主要问题突出表现在如下几个方面:

①土壤重金属污染问题。由于有色金属利用带来的矿山开采、金属矿冶炼及矿产品加工等生产活动带来重金属进入水、土壤和大气中引发重金属污染,产生严重的农产品质量问题^[16]。土壤被重金属污染的耕地不仅对生态环境产生严重破坏,而且通过食物链严重损害人体健康^[17]。洞庭湖区2016—2018年土壤重金属Pb、Cd、Hg、As和Cu的平均浓度依次为53.33mg/kg、1.62mg/kg、0.27mg/kg、26.8mg/kg和37.72mg/kg^[18],土地重金属浓度均高于区域土壤环境背景值,且Cd和As的浓度超出《土壤环境质量标准》(GB15618—2018)。

②水环境问题。三峡工程蓄水以后,改变了蓄水以前形成的江湖关系,湖北荆江三口流入洞庭湖的水沙量急剧锐减,湖泊自净能力大大降低,水质为V类和劣V类的比例为54.55%:45.45%^[19]。影响洞庭湖水质的主要污染物为TN和TP^[20],《长江三峡工程生态与环境监测公报》^[21]显示,2015—2018年西、南、东洞庭湖TN平均值分别为1.34、1.54、1.74mg/L。洞庭湖区水体遭受氮磷污染十分严重,部分支流氮磷浓度居高不下,水体富营养化态势没有得到有效遏制,湖泊水环境生态系统出现退化势头。浮游植物优势种群由1988年至1991年期间的隐藻、硅藻转变成1992年至2018年期间的硅藻、绿藻,且富营养化代表蓝藻的比例快速上升。另外,洞庭湖区工业化、城镇化及农业产业化产生的工业、农业和生活污水进入洞庭湖,也进一步恶化了洞庭湖水环境污染的态势。加之水产养殖和围垦种植、围湖造田,导致湿地面积大幅度缩减,洞庭湖湿地面积从1980年的2649.07 km^2 缩减到2015年的2416.47 km^2 ^[22],净减少232.6 km^2 ,引发湿地生态系统退化,鸟类的栖息地减少,严重威胁鸟类的生存。

③生物多样性和植被退化问题。洞庭湖区植物品类丰富多样,但是,栽种植物比重不低,约占现有植物总量的三成以上,并且有逐年递增的态势^[23]。人工林及人工栽种杨树存在许多先天缺陷,主要体现在种植结构单一、种植密度大,森林生态系统发挥的作用和功能弱化、水土保持能力下降、防治森林病虫害的能力低下等等。毁林采矿或者露天采石极易破坏植被和土地,引发荒漠化,恶化动植物的生存环境,严重危害动植物的生存,洞庭湖生物多样性热点区平均斑块面积从1990年的7823.5 hm^2 降低到2013年的3977.2 hm^2 ^[24],表明热点区破碎程度恶化,生态功能趋于弱化。

④农村土地利用问题。工业化进程和城镇化进程的加快,为了满足工业生产和城市建设用地需求,大量农村土地转化为城镇建设用地,洞庭湖区建设用地总面积在1995年至2015年间增加了808.6 km^2 ^[25]。有色金属开采也占用了大量珍贵的土地资源,采矿形成的工矿废弃用地的复垦难度和再利用难度很大,土地资源利用的可持续面临威胁、受到严重破坏,土地的耕作层逐渐变少变薄,土壤理化性状逐渐恶化,土地污染程度日益加重,等等。

1.2 生态系统退化过程与退化机制

1.2.1 “山水林田湖草”生命共同体的物能循环与物能转化

生命共同体中发挥作用的各要素及由此形成的各个子系统在生态循环过程中体现了相互作用、相互影响、相互联系和相互制约的关系,“山水林田湖草”生命共同体中各要素在生命共同体中发挥的作用、居于的位置、所处的层级各不相同,但是,生命共同体各要素及由此形成的子系统发挥的生态服务功能与生态服务价值是各个要素依托物能循环和物能转化共同作用和相互联系所形成的。倘若生态系统中物能的流动与物能的转换在某个环节、某一过程或者多个环节、多个过程产生功能异常或出现功能缺失,超出生态系统平衡点一

定范围内正常波动而产生的平衡点不正常位置移动,就会影响或损害均衡生态系统的原有功能和作用,生态系统的稳定性就难以实现,也会因此降低生态系统的生产能力,相应减弱生态的抗逆能力,由此形成生态系统退化。

水是生命之源,水治理是洞庭湖区生态系统修复需要关注的关键影响因素。水文循环与水文转化与洞庭湖区的生态系统发展演变存在非常密切的联系。洞庭湖区的水循环主要包括两大水循环,分别为内陆与海陆水循环,主要涉及到水蒸发、大气水分输送、地表水循环、地下水循环及形式多样的水资源存贮蓄积。天然降水、自然蒸发和洞庭湖及其径流所形成的水循环路径决定着洞庭湖区的水资源平衡,由此决定洞庭湖区的水资源总量。洞庭湖区内陆水循环是指湖区陆地水通过植物蒸腾和水分蒸发作用被高高带入空中再以天然降水返回陆地的过程,海陆水循环是指海洋中的水通过水分蒸发作用被带入海洋高空由于风力作用依靠水汽输送到达陆地高空再以天然降水到达陆地表面,然后经江河湖海等地表径流和地下水等地下径流再返回海洋的过程,通过内陆和海陆水循环可以保障陆地水不断循环再生的生态系统平衡。如果这个区域里面的地面植被由于人为因素遭受大量破坏,地表植物减少,就会相应减弱植物的蒸腾作用,相应降低输入到高空的水汽。另一方面,地表植被破坏也会显著影响涵养地下水源的能力,导致地下径流明显减少,也减弱了对大气降水的阻截能力,造成地下水位降低甚至引发地下水枯竭,最终的结果是导致这一区域的降水明显减少。当区域内的地表植被遭受破坏后,极易出现水土流失,流失会带走土壤中大量的营养物质,导致土地沙化;而流失的土壤营养物质流入水体后会污染水源,甚至引发泥石流等破坏力巨大的地质灾害,进一步恶化生态系统的稳定性,进入恶性的生态循环。因此,和谐稳定的生态系统是维持“山水林田湖草”生命共同体的物能循环与物能转化健康运行的关键,生态系统中各要素及由此形成的子系统构成彼此密切联系、相互影响的生态整体,需要构建、树立生命共同体理念。

1.2.2 生态系统恶性循环:生态受损与生态退化

生态系统的物能循环与物能转让基本原则与“山水林田湖草”生命共同体的基本理念具备实践执行与理论研究的一致性。贯彻践行“山水林田湖草”生命共同体基本理念要求在生态系统维持与修复中按照生态系统全面性、系统性的特点及其内在规律要求,综合统筹流域上游与流域下游、地表地下、海洋陆地、山上山下及自然生态环境各要素。根据“山水林田湖草”生命共同体中各影响要素在生态运行过程中的相互联系、相互制约的相互影响关系,本文梳理了洞庭湖区生态系统退化过程及退化机制,如图1所示。

三峡工程蓄水,导致上游来水减少,洞庭湖枯水期提前和存续时间延长,恶化湿地的水环境,加之围湖造田等人类农业生产活动的外力因素破坏湿地,导致湿地面积缩减的速度和进程大大加快,赖以湿地生存的植物和动物种群栖息地减少,受此影响减少了生物的多样性。有色金属开采这种强烈影响地表的人类活动外力干扰严重破坏了地区内的地质结构,典型表现为有色金属开采矿区内的地质地貌遭受严重损害,存在许多地貌塌陷。有色金属开采因矿道疏干大幅度排水导致地下水不合理外排,大幅度降低了地下水水位,甚至有可能形成地下岩溶水漏斗区,导致地下水的天然流场发生改变,引发岩溶塌陷,导致地质灾害经常发生,极大减弱了这一区域的生态系统稳定性和良性循环。有色金属采掘行为引发岩石裸露、破坏植被,降低植被覆盖率、形成荒山荒坡,影响山区水源的涵养功能作用发挥。与此同时,有色金属开采过程中不可避免使用强酸、强碱等化学物质,开采、加工形成的含有酸、碱和有机质等有害物质的费水、废矿、废渣等废弃物及伴随产生的各种有害重金属,即使进行废水处理和矿渣整治,不可避免的会导致部分有害物质渗入地下影响地下水,导致地下水水质恶化,出现地下水水体变异,形成地下水水体变迁。甚至有些废水、废矿被不合理或意外排入山沟、山谷或河流、湖泊中,导致含有大量有害悬浮物及有害成分的废水注入河湖,流入海洋,严重威胁及污染流入河湖附近及河湖下游水体,农业生产过程中使用农药、化肥及生活污水等农业面源污染更加剧了水体污染的恶化程度。

外力作用造成的地质地貌改变会大面积破坏植被和森林,加快水体流失的速度和规模。水土流失不可避免会裹挟大量泥沙进入河湖,导致河湖水流流速变缓,带来泥沙淤积,引发河湖堵塞,大大减少了洞庭湖的生

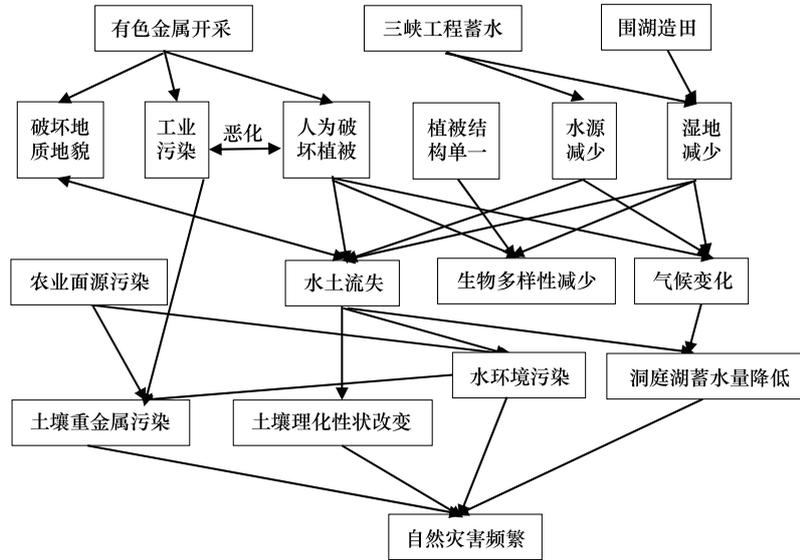


图1 洞庭湖区生态系统退化过程

Fig.1 Ecosystem degradation process in Dongting Lake region

态水量。水土流失不仅带走氮、磷、钾等大量有益营养元素,导致土壤中的养分降低引发土地贫瘠,而且土壤中大量的矿物元素经河、湖等湿地生态系统,造成水体中的重金属含量超标,引发水体重金属污染。有色金属开采中的伴生矿有些含有许多有机质成分,也同时富含金属等矿物成份,形成无机盐污染。露天堆放或者不合理填充山谷、山沟,长期遭受风吹雨淋或流域流水的冲蚀作用或浸泡影响,那些可溶性无机盐或有害的微量元素会大量溶于水,这也就从理论上回答了为什么水体污染和土壤污染往往是结伴而生,水体污染和土壤污染是相互影响、相互促进的关系,导致有色金属开采区域周边环境的污染程度进一步恶化、影响范围进一步扩大。水土流失导致土壤耕作层不断变浅变薄,持续时间过长会改变土壤的理化性质,进一步恶化土地的生产能力,影响农田生态系统的正常循环。最终极大破坏生态系统的结构和生态系统的功能,典型表现就是生物种类的多样性减少,生物种群贫乏,种类单一,降低生态系统循环的稳定性,影响生产能力,减弱抗逆性影响,生态系统的正常循环难以正常进行,陷入不良循环难以正常恢复,自然灾害频繁发生。

2 洞庭湖区生态系统恢复的基本思路

洞庭湖区由于人类活动的干扰和不合理利用导致生态系统遭受人为破坏,需要按照恢复生态学的基本原理,采取人为设计和积极干预,采取可行措施推动自然生态系统重新回归到正向演替状态,重建恢复正常的自然景观。这种重建恢复可能是基于被破坏情形下的轨迹回归,也可能是基于新的路径探索生态恢复。由于洞庭湖区的生态要素多种多样,所具备的生态功能各不相同,因此,系统修复、生态重建难以一蹴而就,需要分步骤、分阶段,通过目标细分、任务分解来实现。生态系统恢复过程应当按照“山水林田湖草”生命共同体的理念和基本要求,从土地资源、水资源、有色金属等矿山资源、自然景观资源等多方面、多角度去除威胁洞庭湖区生态系统退化的不利影响因素,提出恢复和重构洞庭湖区生态系统的措施和策略。基于洞庭湖区生态退化过程和生态退化机制分析,笔者提出重构生态水体、重建生态地质地貌和重现生态景观的策略。

2.1 重构生态水体

重构生态水体是洞庭湖区生态恢复的核心,围绕洞庭湖区水资源环境治污与增容的基本目标,尊重自然规律,着力改善江湖关系,全面提升防洪减灾能力,采取维持湖泊生态水域、健全防洪减灾体系、加强生态修复保护,采取化学治理、物流恢复和生物修复等生态改良方法,重新建构一个能够在短时期内恢复和提升洞庭湖河湖水体自我净化能力的生态水体环境,剔除和减轻不利于河湖水量增加和水体质量提升的影响因素。采用

污染防治措施可以实现洞庭湖区水资源环境治污的目标;采取重建地质地貌等生态措施涵养水源可以实现洞庭湖区水体增容的目标。

2.1.1 维持湖泊生态水域

建立可持续的和谐人水关系,重现浩渺秀美的洞庭湖。稳定长江干流河势,稳定入湖水系河势、控制河道下切;增加长江入湖径流,修建改造河闸、引水泵站、深孔引水闸、深水灌溉涵闸、河道蓄水工程,科学设计水利工程及河闸项目;实施河湖疏浚活化,畅通江、湖、河自然联系,活化水体,提高中低水位湖容量;增强调洪补枯能力,科学利用雨洪资源,稳步实施洞庭湖区平垸行洪、退垸还湖工程,推进部分堤垸单退,蓄水养湖;加强河湖管理保护,完善河湖管理体制,落实管护主体、责任、人员和经费。

2.1.2 健全防洪减灾体系

到 2020 年达到防御 1954 年洪水的标准。加强堤防建设,加高加固堤防,建设支流防洪水库,开展中小河流治理和山洪地质灾害防治,完善湖区综合防洪工程体系,加强洞庭湖区蓄洪垸、重要一般垸和重点垸堤防建设;优化蓄滞洪区,加强蓄滞洪区安全建设、安置房综合改造;推进洪道整治,加强松滋、太平、藕池、调弦四口进口段、四水尾间、纯湖区洪道重点淤塞段的疏浚、退堤、串河控制等工程建设;完善排涝抗旱体系,加快城市和农村排涝工程建设,形成自排、调蓄、电排相结合的治涝体系,推进四口河系地区水资源配置工程和抗旱应急工程建设,建立完备的救灾减灾指挥中心。^[26]

2.1.3 强化工业污染阻断与防治

制定发布、实施差异化的区域环境保护政策,逐步调整洞庭湖区的产业结构分布。强化洞庭湖区排放污染企业的治理水平和能力,鼓励应用高新技术,减少污染排放,建立符合生态环境要求的化学工业体系;强化工业点源污染治理能力,加快实施工业点源污染治理的项目和工程,推动工业企业向工业园区集中,积极实施工业园区污水的集中处理能力,通过安装建设工业园区的污水集中处置装置和设备,安装使用在线自动监控排污器具,做到污水排放减量和污水应治尽治。在饮用水源保护区等重点、敏感区域采取产能置换和主要排放污染物减量置换,确保工业企业污染源在对外排放前全面达标。

2.1.4 推进城镇生活污染治理与修复

加大城镇生活污染治理与修复力度,通过控制污染源头、截断污染路径,采取内源治理和外部修复等技术、措施破解城镇生活污染直接往河湖外排和生活垃圾往河湖丢弃或沿河湖堆放难题。洞庭湖区平江县、汉寿县、鼎城区、桃江县、澧县、桃源县、安化县等县(区)农村人口数量多,农村生活污水处理设施比较落后,绝大部分地区缺乏排水渠道和生活污水处理设施,农村生活污水不加处理随意对外排放比较典型多见。需要增大财政投入治污支出水平,提升城镇污水处理能力,健全完善城镇污水处理设施,加大污水配套处理管网的改造和建设力度。充分考虑不同区域的管网建设状况,制定适宜的污水管网建设和污水管网改造提升计划,充分考虑城中村、城乡结合部和老旧城区污水管网建设滞后的现状,实施可行的污水收集和污水截流设施,加快推进雨水、污水分流的排水系统升级改造进程。

2.1.5 加强农村生产生活污水整治与控制

强化畜禽养殖污染排放控制和处理水平,防止新增畜禽养殖污染,在河湖分布及所处区段划分禁养、限养和适度养殖区域;有序发展渔业养殖,防止渔业养殖新增污染,大面积推广渔业生态养殖模式,探索建立鱼塘湿地共生模式;采取可行措施有序控制农业生产带来的面源污染,禁止使用长效高毒农药,鼓励、推广农户使用毒性低、残留低的农药,全面推广测土配方施肥,避免农业生产中过度使用化肥,增加复合肥使用量,降低单一元素化肥消耗量,推进种植业结构调整,优先发展化肥使用量低、农药需求不多的农作物,切实减少农业生产造成的面源污染;有序推进农村人居环境的综合整治工作,在农村统一进行生活垃圾收集、转运、处理,完善环境保护的基础设施,确保农村生活污水、垃圾不再直接对外排放。

2.2 重建生态地质地貌

2.2.1 重塑生态地貌

考虑到洞庭湖区有色金属开采破坏了自然形成的地形地貌,地貌重塑时,需要结合有色金属开采强度、矿

区设计、开采技术与方法和对土地产生损毁的类型,采取适宜的措施进行地表整形。尽量减缓水体流失的速度、减少地质灾害,有效缓解和消除影响恢复植被和提升土地生产能力的威胁性影响因素,显著提升土地利用效率。重塑生态地貌是洞庭湖区恢复生态系统的前提和基础,针对研究区内有色金属开采形成的露天采矿场、采矿塌陷区、采空区和废弃矿坑矿井等各种不同类别的地质区域采取不同类别的差异治理办法。对于露天采矿场而言,由于覆盖土地被外力破坏、植被资源不复存在,由此产生裸露的边坡、岩石及荒芜地,需要对此采取消减坡度、运用锚固技术、实施危岩爆破等综合治理方式,采取人工干预覆土的方式栽树种草。对于有色金属开采形成的塌陷区,需要在平原和丘陵地区采取治理方法有别的处理措施。平原地区的塌陷地,可以按照塌陷形成的地表形态运用填充式或非填充式复垦模式。前者主要采用合适的填充材料以便使塌陷区地表恢复到原有地表的正常高度和形态,后者主要是根据不同塌陷区域情况采取土地平整、削高填洼、排水挖沟等措施,因地制宜,发展粮食种植、林木产业或形成山塘蓄水养鱼等等治理效果。丘陵地区的塌陷地的地表形态不会发生明显变化,积水不严重或不明显,局地形成裂缝和地坑会导致道路、水利设施、耕地遭受损失。复垦采取的可行措施主要是封堵裂缝、填平地坑进行土地整治,有劳动能力的可以修建水平梯田,更多的可以考虑采取退耕还林方式,修建水平沟、鱼鳞坑等整治工程,提升拦截地表径流水平和能力。对于有色金属采空区主要考虑运用充填法、封堵隔离等技术措施保证这类区域的稳定与安全。

2.2.2 重建生态地质

虑及到有色金属开采区被破坏的植被天然恢复进展比较缓慢,采取科学的方法采取人工方式恢复植被可以加速恢复的进程,为洞庭湖区生态恢复创造显著的经济效益和生态等社会效益。在重塑生态地貌的基础上,综合考虑不同类型土地及毁损程度,根据地势地形、气候、土壤环境、生物种群分布等影响因素,实行不同毁损土地栽种物种的甄选、栽种、养护及配置,保持重建植物种群的生态平衡和生态稳定。重建被有色金属破坏的植被是恢复洞庭湖区生态的基本保障。按照坡度差异采取不同类型还绿手段,通常可以采取边坡钻孔绿化、客土栽种等办法。因地制宜选择树种品类和绿植类型,选择易存活、经济性高的树种,选择的植物类型应该满足保持水土能力强、发育好、生长速度快,兼具健康卫生与经济性等特征。不同品种树木、植物要进行科学搭配、避免单一性。人工栽种植物逐年增多,在林木分布中所占比重逐年提高,植被结构单一、分布不合理、不科学问题需要引起高度关注。人工栽种植物单一性问题存在诸多弊端,典型体现在结构单一、林木密度大,生态循环过程中森林生态系统的地位和主导能力降低、水土保持能力减弱、防治森林病虫害的天然防护能力降低等等。因此,在恢复有色金属开采区植被的过程中也要采取可行措施调整树种分布,根据所处区域天然林的树种构成,科学配置人工植树造林树种,合理确定树林密度,尽可能降低对原来植被影响,尽量避免大范围或全面整地,确保在保留原有植被和生物种群不变的前提下,根据地形地貌,选择适宜栽种树种,按照带状、团状采取混种方式,营造适宜生物多样性的森林类型,有序形成多树种、多绿植、多层次的植被景观。

2.3 重现生态景观

生态景观重现是在水体恢复与地质地貌恢复的基础上,按照“山水林田湖草”生命共同体的基本理念和要求,全面、系统考虑生态景观破碎与生态景观重构过程中水资源、土地资源和生物资源及“三生”生态化解的合理优化,确保重构的生态系统能够与周边生态景观协调融洽。重现生态景观可以加快洞庭湖区生态系统恢复速度,优化生态功能结构,提升和巩固洞庭湖区的生态功能。洞庭湖区的生态景观重现可以从如下几方面着力:

2.3.1 重现湿地生态景观

采取可行措施推进不合理占用及过渡利用退化的湿地生态恢复,在洞庭湖、湘、资、沅、澧等一湖四水及其支流因地制宜采取措施,恢复围湖造田、围湖养鱼破坏的湿地,推进退鱼还湖、退耕还湿,推进河道、湖泊疏浚整治,加强生态河湖建设力度,提升河湖的自我净化能力,有序扩大、恢复洞庭湖区的湿地面积,积极恢复洞庭湖的生态,尽可能恢复洞庭湖流域的原有自然样貌。在条件许可的区域建设人工湿地,推进水质净化提升工程建设,通过制订切实可行的制度规范人工湿地建设和人工湿地运营。在河湖入口、支流汇集入干流处及其

他满足人工湿地建设的合适地点推动人工湿地建设。通过人工湿地的水质净化工程建设,着力提升河湖水环境的生态承载能力。需要在城镇污水处理设施、集中居住社区排污地点、大型企事业单位排污地点,开展融合城市景观的人工湿地建设工程,提升净化水质的能力和水平。在广大农村地区,以建设中小型人工湿地群或小微氧化塘为着力点,大力推进农村农业生产污水和农民生活污水的处理能力。积极推动水资源生态环境调查与生态环境评估工作,设置禁捕区域,划定禁捕保护区和休渔期,有序规范河湖挖沙行为,因地制宜加大水生、野生动植物资源和水产种植资源保护区的保护力度和水平,逐步恢复水生生物品种的多样性,有序恢复生态种群。

2.3.2 重现农业生态景观

通过农村土地整治,有序推动农田环境生态整治工作,将退耕还林与提升耕地质量工程有机结合,形成科学合理、集约高效和生态有序的土地利用格局。妥善处理人口、资源与环境的关系,处理好农业生产、生活与生态之间的关系,科学实现农业生态景观的创新,达成合理利用资源的目标,实现资源的可持续利用。在区位条件优越、生态条件较好地区建设有机农作物种植区、畜禽生态养殖区、绿色农产品加工区,建设农耕文化观光、休闲、康养体验区,建设农业新型田园综合体,发展乡村旅游,实现第一、第二、第三产业的有机融合,增加农民收入,充分利用大数据、云计算、互联网技术构建从田园到餐桌的信息技术应用,实现农产品生产、加工可溯源的农业有机食品产业链、供应链。鼓励开展生态养殖与种植的有机结合、生态农业与乡村旅游的有机结合,实现生态的良性有序循环。

3 洞庭湖区生态系统恢复的评测

3.1 洞庭湖区生态系统恢复的测度指标体系构建

究竟生态恢复到何种程度、水平算达成生态恢复的目标,采取什么评价标准进行生态恢复评价。确定生态系统恢复的测度标准由此成为学术界、政府部门关注的焦点,但是,生态系统是一个动态的系统,常常处于不断变化过程中,各个子系统之间相互影响,不同学者从不同视角提出自己的观点,生态系统评价尚未达成一致的意见。大家比较能够接受的是,考虑到生态系统恢复会发生系统变化,评价生态系统恢复标准可以比较之前未被破坏的生态系统和进行生态恢复的生态系统,在此基础上确定生态系统恢复的评价指标和确定指标的标准。Allen 认为生态恢复需要在生物种类损失较少的基础上进行,恢复的评价标准至少要能为社会公众感知,恢复到生态破坏前的生态结构和水平^[27]。生态恢复应包括生境恢复^[28]、种群恢复^[29]、群落恢复^[30],SER 提出生态系统恢复必须具备功能、结构和动态层面的九大特征,其中最关键的是实现生态功能的恢复^[31]。也有学者从系统层面和个体层面提出构建健康生态系统的评价指标,系统层面包括分解、生产、恢复能力等十大关键特征^[32]。总体而言,多数研究评价生态恢复的学者主要关注系统恢复过程中群落构成、生态功能及生物多样性及因此具备的生态服务功能和作用。主要的评价指标包括生态环境的可持续能力、生产能力、营养保持能力、动植物与微生物间的生物相互作用力及难以入侵性特征。当前我国研究生态恢复评价主要关注水土保持能力、景观评价、气候评价、生态价值评价、生物群落评价和土壤理化性质分析等等。

考虑洞庭湖区生态退化现状和恢复生态的基本目标,借鉴学术界已有研究成果,构建评价洞庭湖区生态恢复效果的评价指标体系,如表 1 所示。评测洞庭湖区生态恢复工程对环境的影响程度及生态恢复效果。评价指标构建要体现洞庭湖区的生态基本状况、生态恢复水平及面临的生态风险等内容。

3.2 洞庭湖区生态系统恢复的监测与管控

洞庭湖区实施生态恢复措施并不意味着完成了所有的生态修复工作,其中,生态系统恢复的监测是生态恢复工作的一个重要组成部分。为了全面、系统提升洞庭湖区的生态环境恢复的监测水平,需要健全完善基础数据的收集与整理,建立洞庭湖区生态恢复的统一监督管理平台,健全完善洞庭湖区生态系统全方位、全要素、全过程的生态恢复监测网络系统,尤其加强对人为活动的监控,及时、有效对可能发生的生态风险进行风险警示。可以参照安全、稳定、可持续及零污染的生态目标监督管理经验,从生态系统的全面性、整体性、承载

能力、脆弱性等多视角、多方面发现生态系统恢复安全问题。综合运用情景模拟分析法、系统分析法、综合类比分析法、生态制图推导分析法等进行生态系统恢复的生态结构和生态工程进行评价与监测。综合运用生态服务价值评估方法、模糊评价方法、灰色系统理论分析方法、社会、经济与生态效益等综合效益评价方法等科学合理、客观真实地评价生态系统恢复项目的经济效益、社会效益与生态效益,并对产生的各种类型效益同预期计划目标展开对比,分析生态恢复工程推行的生态恢复措施是否可行、采取技术手段是否有效、生态修复与保护措施是否如期按技术得到切实履行,以便为正在推进的生态恢复项目提供实施建议或采取相应补救措施,为我国其他类似地区进行生态系统的生态修复与保护项目的实施、控制和整治提供有益的参考借鉴。

表 1 洞庭湖区生态恢复成效测度指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of ecological restoration effectiveness in Dongting Lake Area

目标层 Object hierarchy	准则层 Rule hierarchy	指标层 Index hierarchy	指标解释 Index description	
洞庭湖区生态恢复效果 Ecological restoration effectiveness	生态系统基本状况	地表植被覆盖水平	现有植被在地表垂直投射占地面积与统计分析面积的比率 基本项目标准根据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)规定。如 PH(无量纲)值为 6—9, I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类地表水的总磷(以 P 计)分别小于等于 0.02mg/L(湖、库 0.01mg/L)、0.1mg/L(湖、库 0.025 mg/L)、0.2mg/L(湖、库 0.05mg/L)、0.3mg/L(湖、库 0.1 mg/L)、0.4mg/L(湖、库 0.2mg/L), 化学需氧量(COD)分别小于等于 15mg/L、15mg/L、20mg/L、30mg/L、40mg/L, 氨氮(NH ₃ -N)分别小于等于 0.15mg/L、0.5mg/L、1.0 mg/L、1.5mg/L、2.0mg/L	
		地表水环境质量标准		
		河湖湿地水平	要求在 5% 水平以上, 不同区域有所差别	
		区域土壤有机质水平	体现研究区域的土壤肥力状况好坏	
		区域生态需水满足程度	区域内河湖生态水需要量与 5 年平均水量比率	
		区域土壤厚度	体现区域植物生长的实际土层深度	
		河湖污泥平均污染水平	体现河湖污泥中重金属、有机质污染状况对河湖水质及河湖生态系统的影响程度	
		生态系统风险水平	地质稳定程度	体现山坡滑坡的可能性或者发生塌陷崩塌自然灾害的危险程度
			土壤紧密状况	土地紧密程度需要在一个合理水平, 过低或者过高都对水土保持产生不利影响
			地貌修复状况	体现生态修复对破坏后地貌地形的治理修复水平
	生态系统生态恢复水平	降水侵蚀能力	体现降水量大小对土壤侵蚀的潜在影响, 是评测水土流失敏感程度的关键指标	
		生物多样性水平	体现研究区域生态环境功能发挥的好坏程度	
		横向连通状况	体现生态系统恢复的定性评价, 表现为水资源横向连通水平及与能量和物质流的交换情形等	

4 结论与建议

本文以恢复生态学为理论指导,以洞庭湖区为研究对象,分析洞庭湖区生态系统的生态退化过程和生态退化机制,探求生态系统退化的生态恢复和生态重建思路。采用物能循环和物能转化的生态学分析原则分析洞庭湖区存在的生态问题及亟待解决的关键问题,剖析洞庭湖区生态退化问题的形成机理与原因。提出重构生态水体、重建生态地质地貌和重现生态景观的生态恢复策略,妥善解决和处理洞庭湖区的生态恢复及亟需进行环境整治问题,推动洞庭湖区自然生态重新步入正轨,实现正向生态循环,实现自然景观的恢复重构。尝试从生态基本状况、生态恢复水平及面临的生态风险等维度构建洞庭湖区生态系统恢复的测度指标体系,以评估洞庭湖区生态恢复的效果。

恢复生态学注重从生态系统的本质特征和恢复基本机理展开外部干预式的生态修复,“山水林田湖草”生命共同体价值理念追求生态系统与自然景观的全面性与系统性。二者的有机结合有助于探寻生命共同体各要素及因此形成的子系统之家相关联系和相互影响,从而实现从整体、全面考虑把各类生态资源要素的保护、修复纳入统一的修复框架中,实现“山水林田湖草”生命共同体的生态修复和全面整治。在生态恢复过程中要强化恢复与重构的机理探索,遵循系统优化、和谐共生的生态学基本原理,科学处理好全体与部分、人与自然、生态保护与和谐发展的关系,从当地实际出发,因地制宜地开展生态恢复与生态保护项目,并加强生态系统恢复的监测与管控,构建科学完备的生态系统恢复的效果评测与反馈机制。

参考文献 (References):

- [1] 中共中央党校. 山水林田湖草是生命共同体——共同建设我们的美丽中国④. (2020-08-13)[2020-10-10]. https://www.ccps.gov.cn/llwx/202008/t20200813_142763.shtml.
- [2] 高世昌, 苗利梅, 肖文. 国土空间生态修复工程的技术创新问题. 中国土地, 2018, (8): 32-34.
- [3] 王军, 钟莉娜. 生态系统服务理论与山水林田湖草生态保护修复的应用. 生态学报, 2019, 39(23): 8702-8708.
- [4] Ren H, Shen W J, Lu H F, Wen X Y, Jian S G. Degraded ecosystems in China: status, causes, and restoration efforts. *Landscape and Ecological Engineering*, 2007, 3(1): 1-13.
- [5] Society for Ecological Restoration (SER). The SER Primer on Ecological Restoration. 2004. <https://www.docin.com/p-1759219145.html>.
- [6] Young T P, Petersen D A, Clary J J. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters*, 2005, 8(6): 662-673.
- [7] 任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学. 生态学报, 2004, 24(8): 1756-1764.
- [8] 吴璇, 王文美, 李洪远, 田野, 张宁. 生态系统服务功能供需研究与应用. 生态经济: 学术版, 2013, (2): 390-393, 397-397.
- [9] 石忆邵, 史东辉. 洞庭湖生态经济区生态服务供需平衡研究. 地理研究, 2018, 37(9): 1714-1723.
- [10] Liu H, Zhang K J, Chai L Y, Yang Z H, Yuan W C, Liao Q, Li H, Liu Y. A comparative evaluation of different sediment quality guidelines for metal and metalloid pollution in the Xiangjiang River, Hunan, China. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2017, 73(4): 593-606.
- [11] Liu J Y, Liang J, Yuan X Z, Zeng G M, Yuan Y J, Wu H P, Huang X L, Liu J F, Hua S S, Li F, Li X D. An integrated model for assessing heavy metal exposure risk to migratory birds in wetland ecosystem: a case study in Dongting Lake Wetland, China. *Chemosphere*, 2015, 135: 14-19.
- [12] Zhang Y, Liu C M, Liu X J, Xu W, Zhang W. Atmospheric nitrogen deposition around the Dongting Lake, China. *Atmospheric Environment*, 2019, 207: 197-204.
- [13] Torrent L, Margui E, Queralt I, Hidalgo M, Iglesias M. Interaction of silver nanoparticles with mediterranean agricultural soils: lab-controlled adsorption and desorption studies. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, 83: 205-216.
- [14] 施宸皓, 王云燕, 柴立元, 刘佳玉. 洞庭湖湿地周围表层土壤重金属污染及其人体健康风险评价. 中国有色金属学报, 2020, 30(1): 150-161.
- [15] 胡光伟, 毛德华, 李正最, 田朝晖. 三峡工程运行对洞庭湖与荆江三口关系的影响分析. 海洋与湖沼, 2014, 45(3): 453-461.
- [16] 王丽婧, 梁中耀, 李莹杰, 李虹. 地表水环境质量综合分析中降雨径流变化的影响识别. 环境保护, 2018, 46(14): 45-48.
- [17] 王丽婧, 田泽斌, 李莹杰, 陈建湘, 李利强, 汪星, 赵艳民, 郑丙辉. 洞庭湖近 30 年水环境演变态势及影响因素研究. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1140-1149.
- [18] 白中科, 周伟, 王金满, 赵中秋, 曹银贵, 周妍. 再论矿区生态系统恢复重建. 中国土地科学, 2018, 32(11): 1-9.
- [19] Allen E B. The restoration of disturbed arid landscapes with special reference to mycorrhizal fungi. *Journal of Arid Environments*, 1989, 17(2): 279-286.
- [20] Cairns J Jr, Dickson K L, Herricks E E. *Recovery and Restoration of Damaged Ecosystems*. Charlottesville: University Press of Virginia, 1977: 17-27.
- [21] Miller J R, Hobbs R J. Habitat restoration-do we know what we're doing? *Restoration Ecology*, 2007, 15(3): 382-390.
- [22] Ren H, Zhang Q M, Lu H F, Liu H X, Guo Q F, Wang J, Jian S G, Bao H O. Wild plant species with extremely small populations require conservation and reintroduction in China. *AMBIO*, 2012, 41(8): 913-917.
- [23] Asanok L, Marod D, Duengkae P, Prannongkol U, Kurokawa H, Aiba M, Katabuchi M, Nakashizuka T. Relationships between functional traits and the ability of forest tree species to reestablish in secondary forest and enrichment plantations in the uplands of northern Thailand. *Forest Ecology and Management*, 2013, 296: 9-23.
- [24] Society for Ecological Restoration (SER). The SER Primer on Ecological Restoration. 2004. <https://www.docin.com/p-1759219145.html>.
- [25] Schaeffer D J, Herricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: I. measuring ecosystem health. *Environmental Management*, 1988, 12(4): 445-455.