

DOI: 10.5846/stxb201906011156

叶艳妹,陈莎,边微,高世昌,丁庆龙,郝朋.基于恢复生态学的泰山地区“山水林田湖草”生态修复研究.生态学报,2019,39(23):8878-8885.

Ye Y M, Chen S, Bian W, Gao S C, Ding Q L, Hao P. Ecological restoration strategies of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands Life Community in Mountain Tai region based on the principle of restoration ecology. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8878-8885.

基于恢复生态学的泰山地区“山水林田湖草”生态修复研究

叶艳妹^{1,2}, 陈莎¹, 边微³, 高世昌^{4,*}, 丁庆龙¹, 郝朋⁵

1 浙江大学土地与国家发展研究院, 杭州 310058

2 国土资源部城乡建设用地节约集约利用实验室, 北京 100812

3 山东省泰安市自然资源和规划局 土地综合整治与规划中心, 泰山 271000

4 自然资源部国土整治中心, 北京 100035

5 新泰市土地收购储备中心, 新泰 271200

摘要:目前大多地方生态修复工作往往是对各类生态系统分割式治理,不利于生态系统的整体修复。“山水林田湖草是生命共同体”理念要求各生态要素和生态系统之间的协同特征和有机联系,恢复生态学理论则关注受损生态系统的驱动因素、生态恢复的路径和干预措施,两者的结合能够为生态保护和修复提供坚实的理论和技術基础。基于恢复生态学理论,以泰山地区为研究对象,运用物能循环和转化的生态学原则对受损生态系统生态关键问题进行诊断,明确了“山水林田湖草”生命共同体中的各要素(子系统)在生态过程中的相互影响及相互制约关系,厘清了泰山地区矿山开采(地质受损)-植被破坏-水土流失-景观失调的生态受损与退化机制,在此基础上提出了“地貌重塑、植被重建、水体重构、景观重现”的生态恢复思路。并尝试构建包含生态风险、生态状况和生态恢复能力三重准则共 13 项指标的评价体系,以期通过生态恢复效果的评价与监测引导生态恢复目标的有效实现。

关键词:生态修复;生命共同体;实践探索;泰山地区

Ecological restoration strategies of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands Life Community in Mountain Tai region based on the principle of restoration ecology

YE Yanmei^{1,2}, CHEN Sha¹, BIAN Wei³, GAO Shichang^{4,*}, DING Qinglong¹, HAO Peng⁵

1 Land Academy for National Development, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 Laboratory of Rural-urban Construction land Economical and Intensive Use, Beijing 100812, China

3 Natural Resources and Planning Bureau, Land Consolidation and Planning Center of Tai'an City in Shandong province, Taishan 271000, China

4 Land Consolidation Center in Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

5 Land Acquisition and Reserve Center of Xintai City, Xintai 271200, China

Abstract: Most existing ecological restoration practices carry out the segmented governance of various ecosystems, which go against the comprehensive ecological protection and restoration. The principle of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands being a life community demands the synergistic characteristics and organic links between ecological factors and ecosystems, while the ecological restoration theory focuses on the driving factors of damaged ecosystems, the path of ecological restoration, and intervention measures. The combination of above two can provide a solid theoretical and technical

收稿日期:2019-06-01; 修订日期:2019-09-10

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

basis for ecological protection and restoration. Based on the theoretical connotation of restoration ecology, taking the Mountain Tai Region as the research object, this paper diagnosed the regional ecological problems and clarified the formation mechanism by applying the ecological principles of physical energy cycle and transformation. The mutual influences and restraints among various elements (subsystems) of the life community were specified and the ecological degradation mechanism of mining activities (geological damage)-vegetation degradation-soil loss-landscape disorder was determined. Therefore, this paper proposed the path of “landform remodeling, vegetation recovery, water body reconstruction and landscape reproduction”. Meanwhile, this paper attempts to build an evaluation indicator system consisting of 13 indicators from three perspectives including ecological risk, ecological status, and ecological resilience. Through assessing the effectiveness of ecological restoration, the goal of effective ecological restoration can be well guided and fulfilled.

Key Words: ecological restoration; life community; practice; Mountain Tai region

生态文明建设是实现中华民族伟大复兴的重要内容。当前,各地正在大力推进生态恢复治理,实施“山、水、林、田、湖、草”整体保护、系统修复、综合治理。但是一些地方缺乏系统性的生态修复理念和方法,存在着多头独自推进、生态要素分割治理、局部修复效果较好但整体效应弱等突出问题^[1-2],亟待将国土空间作为完整的生态系统来考虑,实施综合施策。泰山地区是我国华北平原重要的生态屏障,是南水北调东线工程的关键调蓄补源区,在保障津冀鲁供水安全 and 国家生态安全格局中占有特殊的地位。近几十年来,随着工业化和城市化的进程加快,矿山地质环境受损、水土流失、土壤污染等生态退化问题日益突出,实施生态修复迫在眉睫。但已有的修复工程往往对各生态系统要素之间的协同特征和有机联系缺乏关注,加之规划跟进不及时,项目实施进度不一,部门单体规划代替整体规划等原因导致各生态系统分割治理,生态修复的系统性和整体性较弱等弊端。泰山地区生态恢复如何将“山水林田湖草生命共同体”理念有效落地是亟待破解的重要课题。

恢复生态学(Restoration Ecology)是一门关于退化生态系统恢复的学科,兼具理论性和实践性^[3]。经过40余年的发展,生态恢复实践和研究涉及了矿山、河流、森林、农田、湖泊、草原和荒漠等多类对象,并在退化生态系统类型、退化原因诊断、退化生态系统恢复重建的机理、模式和技术上积累了大量的研究成果,能够为“山水林田湖草”的系统保护和修复提供坚实的科学技术基础^[4]。基于此,本文尝试运用恢复生态学的理论逻辑,以泰山地区为研究对象,分析地区生态退化的过程和机制,探讨退化生态恢复和重建的思路,以期科学开展“山水林田湖草”治理和修复工作做出努力,为同类型地区的生态修复治理工作提供借鉴。

1 生态退化诊断

1.1 研究区概况

山东省泰山地区(下称“地区”)涵盖泰安市6个县(市、区),地区面积约为7762 km²,涉及我国东部数条铁路、公路等重要交通干线和南水北调东线工程。该地区以泰山山脉为核心,分属黄河、淮河两大流域,以大汶河水系为重点。区内地表水体分布数量较大,拥有东平湖及其他总库容1000万m³以上的大中型水库共16座。

当前泰山地区生态环境突出问题主要是:①矿山地质环境问题。地区内踩空塌陷分布广泛,据统计地区内(泰安市)塌陷地总面积161.5 km²,塌陷深度0.1—6 m。塌陷区内大部分耕地无法正常耕种甚至绝产。原有的地形地貌景观受到破坏,加剧水土流失,也诱发了崩塌、滑坡及泥石流等地质灾害。②水环境问题突出。水资源开发利用率超过70%,生态流量挤占严重;大汶河生态水量不足,东平湖氮磷浓度较高,部分支流污染较重。近40%的水功能区水质不达标,河道底泥淤积严重,水体自净能力降低,水质为劣V类;受围垦种植、水产养殖等影响,湿地面积大幅减少,湿地生态系统退化,威胁鸟类生存。③植被退化和生物多样性降低。泰

山地区虽然植物种类丰富,但栽培植物占现有植物总数超过 30%,且有逐年增加趋势。大量的人工栽培植物存在诸多先天不足,主要表现在林分密度大,结构单一,自然演替过程中森林生态系统主导功能下降、水土保持能力弱、森林病虫害自控能力差等;露天采石破坏大量的土地和植被,容易形成矿山荒漠化,对动植物生境造成严重危害。④土地利用问题。大规模的生产建设活动挖废、塌陷、占压了大量土地资源,产生了大量的工矿废弃地,复垦利用难度较大。土地资源破坏严重,耕作层不断变薄,土壤污染日趋严重,土壤理化性状变坏。

1.2 生态系统退化过程与机制

1.2.1 生命共同体:物能循环和转化的视角

“山水林田湖草”生命共同体中的各要素(子系统)在生态过程中表现出相互影响、相互制约的关系,生态各要素虽然在“生命共同体”中所处的层级、位置和作用不尽相同,但其生态服务功能与价值是各要素通过物能循环和转化共同作用所产生的结果。当生态系统中物能的流动与转换在一个或者多个环节出现了功能的异常或缺失,在平衡点一定范围内波动的生态系统出现了异常的“位移”,生态系统固有的功能遭到损失和破坏,稳定性和生产力降低,抗逆能力减弱,就出现生态系统退化。

泰山地区是南水调东线工程的关键调蓄补源区,“水”治理是泰山地区生态修复关注的首要因素。水文循环和转化与泰山地区的生态系统演变密切联系。泰山地区的水循环主要包括内陆水循环和海陆间水循环,涉及蒸发、大气水分输送、地表水和地下水循环以及多种形式的水量贮蓄。降水、蒸发和径流三者构成的水循环途径决定着地区内的水量平衡,也决定着一个地区的水资源总量。内陆水循环——陆地水经蒸发和植物蒸腾作用被带到高空再经降水过程返还陆地;海陆间水循环——海洋水经蒸发到达海洋上空经水汽输送到达陆地上空经降水到达陆地表面然后经地表径流(江、河、湖、海)和地下径流(地下水)再返回海洋,它可以使陆地水不断地循环再生。当地区内的地表植被大量破坏时,植物的蒸腾作用将会减弱,减少空气中的水汽;对降水的阻截作用将会减弱,难以涵养地下水源,地下径流减少,导致地下水位下降或枯竭;最终导致该地区的降水减少。当地区内的植被破坏后,会造成水土易流失,土壤中的营养物质易流失,造成土地沙化;土壤中的物质流入水体会使水源被污染,还容易引发产生泥石流等地质灾害,加剧生态系统的不稳定性,使其进一步“堕入”不良演替。生态系统稳定的物能循环和转化不仅是维持其健康运转的关键,也揭示了系统中各生态要素是一个有机联系的生态整体——生命共同体理念。

1.2.2 生态系统的不良循环:受损与退化

生态系统的物能循环和转化原则与“山水林田湖草-生命共同体”理念有着理论层面的契合性和实践层面的一致性。落实“山水林田湖草-生命共同体”理念需要在生态系统修复中遵循生态系统的整体性、系统性及其内在规律,综合统筹山上山下、地上地下、陆地海洋、流域上下游及自然生态各要素。基于“山水林田湖草”各要素在生态过程中的相互影响和制约关系,下文梳理了泰山地区生态系统退化过程和机制(见图 1)。

矿山(区)开采这一剧烈的人类活动干扰导致地区内的地质基底破坏,表现为矿区内地质地貌受损,地面塌陷广布。矿坑疏干排水造成地下水水位大幅下降,形成大范围岩溶水水位降落漏斗,改变了地下水的天然流场,导致岩溶塌陷地质灾害频发,使得地区生态系统稳定性减弱。采矿活动导致裸岩荒山广布,植被覆盖率下降,导致水源涵养功能下降。同时采矿过程中产生的含有多种重金属、酸和有机质等有害物质的废水废物,会部分渗入地下水中,使地下水水质恶化,水体变异和变迁,甚至排入沟、谷、河流中,使含有大量悬浮物及有害组分的废水流入河湖,严重污染附近及下游河湖等水体。地质地貌的改变引起森林和植被大面积破坏,加速水土流失;河水裹挟大量泥沙导致河流堵塞,使得大汶河生态水量减少;水土流失不仅带走大量氮磷钾等营养元素,使得耕地土壤养分贫瘠,同时大量的矿物元素流入河流、湖泊等湿地生态系统,造成水体污染。例如矿区内煤矸石中含有大量的有机质成分,同时富含金属、碱土金属和硫化物等矿物成份,是无机盐类污染源。煤矸石多露天堆放或充填沟坑,受长期风化、雨淋或流域汇水的淋溶、冲蚀、浸泡等作用,其中的大量可溶性无机盐及微量元素溶解于水中,形成的淋溶液已对周围水、土壤环境产生一定的污染,这也解释了为何水体污染和土地污染往往相伴而生,土壤和水体污染的相互促进,使矿区周围环境的污染,向更广、更深的范围扩大。

水土流失导致耕作层不断变薄,久而久之导致土壤理化性质改变,进一步丧失土地生产能力,农田生态系统也深受影响。最终,生态系统的结构和功能受到破坏,表现为生物种群多样性下降,种类贫乏组成简单,生态系统的稳定性降低,生产力下降,抗逆性减弱,生态系统陷入不良循环。

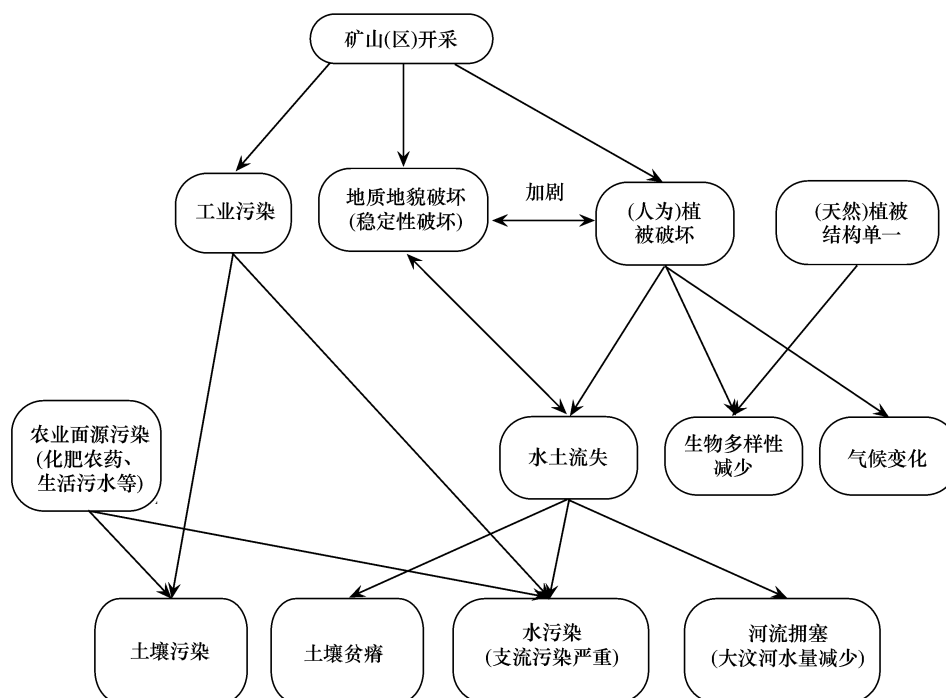


图 1 泰山地区生态系统退化过程

Fig.1 Ecosystem degradation process in Mountain Tai Region

2 生态系统恢复思路:重回良性循环

泰山地区在人类活动压力条件下受到了明显破坏,需要通过人为的设计和干预促使自然生态重回正向演替,实现自然景观的恢复重建。这一正向演替可能是沿着被破坏时的轨迹复归,也可能是沿着一种新路径去恢复。由于泰山地区的生态要素众多,生态功能多样,系统恢复重建不是一步到位的,而需要通过一串目标来实现。修复过程应遵循“山、水、林、田、湖、草”生命共同体的理念,从矿山资源、水资源、土地资源、生物资源、景观资源多方角度剔除导致泰山地区生态退化的威胁因素,提出生态统筹修复的内容和对策。基于上文泰山地区生态退化的过程和机制分析,本文提出了“地貌重塑、植被重建、水体重构、景观重现”的泰山地区生态恢复对策。

2.1 地貌重塑:恢复的基础

基于矿山原有的地形地貌特征,结合采矿设计、开采工艺和土地损毁方式,通过合理排弃和地表整形等措施,重新塑造一个与周边景观相协调的新地貌^[5],最大限度地抑制水土流失、防治地质灾害,消除和缓解阻碍植被恢复和土地生产力提高的灾害性胁迫因子,以提高土地利用率。地貌重塑是泰山地区生态恢复的基础。

针对地区内的采煤塌陷地、露天采矿场、矿山采空区、废弃矿井等不同类型的地质灾害区采用差异性的治理措施。针对采煤塌陷地,在丘陵山区和平原地区采取不同的对应措施。丘陵山区采煤塌陷后地表形态变化不大,无积水现象,局部出现的塌陷坑和裂缝导致耕地、道路及水利设施受损变形。复垦时主要是填堵陷坑及裂缝,平整土地,修筑水平梯田。同时结合山区小流域治理,加强保土保水保肥的农田水利基本建设,修建塘坝、地堰、水平沟、鱼鳞坑、谷坊等工程,提高拦蓄地表径流能力;在平原地区采煤塌陷地,根据塌陷后的地表形态采取填充式复垦或非填充式复垦,填充式复垦利用合适的材料恢复地表的高度和形态,非填充式复垦则是

根据不同的土地塌陷情况而采用如划方整平、挖沟排水、削高填洼、挖深筑高等方法,达到宜粮则粮、宜林则林、宜水则水的治理效果。针对露天采矿场,由于上覆土地与植被资源的破坏而形成了裸露的岩石边坡及大量的荒芜土地,对采场进行削坡减载、危岩爆破、锚固技术等综合治理。针对矿山采空区综合采用充填法、围岩崩落法和封堵隔离等技术手段确保采空区安全稳定。

2.2 植被重建:恢复的保障

考虑到矿区植被自然恢复及其缓慢,科学合理的人工植被重建可加速这一过程,为泰山地区生态恢复带来显著的生态效益和经济效益。在地貌重塑的基础上,结合不同土地损毁类型和程度,综合考虑自然气候、地形地势、土壤条件、生物群落等环境因子,进行不同损毁土地类型物种筛选、布局配置、栽植及管护,使重建的植物群落持续地平衡和稳定。植被重建是泰山地区生态恢复的保障。

根据不同边坡坡度采取差异性的复绿措施,一般包括客土栽植、边坡钻孔绿化、植生袋复绿、鱼鳞坑复绿、插板填土绿化等。在树种和绿植的选择方面,按照因地制宜,适地适树的原则,选择经济适生的树种,保证种植的成活率和保存率,选择的植物种类应具备速生、发育良好、保持水土、保健卫生及经济功能等特性。针对矿区的气候、土壤、植被资源条件,选用松树、刺槐、常春藤、野蔷薇、爬山虎、迎春等植物进行搭配种植。

除了矿区植被修复外,泰山地区的天然植被结构单一问题也需引起重视。区内虽然植物种类丰富,但栽培植物占现有植物总数超过 30%,且有逐年增加趋势。大量的人工栽培植物,存在许多先天不足,主要表现在林分密度大,结构单一,自然演替过程中森林生态系统主导功能下降、水土保持能力弱、森林病虫害自控能力差等。在矿山植被恢复的同时也需要采取措施调整林分树种组成,依据当地天然林树种组成,配置造林树种,科学确定造林密度,避免全面整地或大范围整地,减少对原有植被的破坏,尽可能地保留原有植被和生物多样性。根据立地条件,选择不同树种,进行团块状、带状或根据地形进行不规则混交,营造多样化的森林类型,形成多树种搭配、多层次的景观结构。

2.3 水体重构:恢复的核心

围绕泰山地区水环境“增容”和“治污”两大目标,应用物理、化学、生物等改良措施,重新构造一个适宜的在较短时间内恢复和提高河流水体自净功能的水体生态环境,消除和缓解不利于水量扩充和水体质量提高的障碍性因子,水体重构是泰山地区生态恢复的核心。通过植被重建等生态涵养手段可以达到泰山地区水体“增容”的目标,因此下面对“治污”的水体治理措施进行说明:

(1)加强工业污染防治。根据水质目标和主体功能区要求,制定实施差别化地区环境准入政策。在南水北调重点保护区、集中式饮用水水源涵养区等敏感地区实行产能规模和主要污染物排放减量置换。在确保所有排污单位达到常见鱼类稳定生长治污水平的基础上,以总氮、总磷、氟化物、全盐量等影响水环境质量全面达标的污染物为重点,实施工业污染源全面达标排放。

(2)加强城镇生活污染防治。采取控源截污、内源治理、生态修复等技术解决城区污水直排环境和垃圾沿河堆放问题。建设完善城镇污水处理设施,加强配套管网建设和改造。制定管网建设和改造计划,加强城中村、老旧城区和城乡结合部污水截流、收集,加快实施排水系统雨污分流改造。推进污泥安全处置。加快污泥处理处置设施建设,选择适宜的污泥处理技术,实行污泥稳定化、无害化和资源化处理处置,禁止处理处置不达标的污泥进入耕地。

(3)加强农村污水整治。一是防治畜禽养殖污染。坚持源头减量、过程控制、末端利用的治理路径,推广畜禽养殖废弃物资源化利用,加快构建种养结合、农牧循环的可持续发展模式。二是防治渔业养殖污染。实施标准化养殖鱼塘建设改造,推广生态养殖模式。鼓励探索建立“鱼塘+湿地”模式,通过人工湿地净化鱼塘退水,削减入河湖污染负荷;建立渔业污染防控长效机制,引导渔民转产、转业。三是控制农业面源污染。全面推广低毒、低残留农药,开展农作物病虫害绿色防控和统防统治。调整种植业结构与布局,在河滩、湖滩和饮用水水源保护区等优先种植需肥需药量低、环境效益突出的农作物,减少面源污染。缺水地区试行退地减水,适当减少用水量大的农作物种植面积,改种耐旱作物和经济林。四是推进农村环境综合整治。因地制宜

建设环境基础设施,探索建立农村环境基础设施建设和运营社会化机制,确保农村污水、垃圾得到有效处理处置。

2.4 景观重现:恢复的巩固与优化

景观重现是在地区地貌重塑和水体重构的基础上,遵循“山、水、林、田、湖、草”生命共同体的理念,充分考虑景观破碎与景观重组过程中土地、水、生物等资源及“三生”环境的优化配置,使恢复后的生态系统与周边景观相协调。景观重现可使泰山地区生态系统恢复实现结构优化,并促进功能巩固和提升。泰山地区的景观重现主要可从以下方面考虑:

(1)湿地景观重现。开展退化湿地恢复,在河流湖泊以内因地制宜开展退耕还湿、退渔还湖,引导农民主动调整种养结构。大汶河流域,在满足防洪、除涝要求的基础上,开展生态河道建设,实施生态护坡,增强河流自然净化能力。积极恢复东平湖生态,修复流域原有自然面貌。建设人工湿地水质净化工程,规范人工湿地的建设和运营。在支流入干流处、河流入湖口及其他适宜地点,因地制宜地建设人工湿地水质净化工程,努力提升流域环境承载力。在城镇污水处理厂、重点企事业单位、大型社区排污口,建设与城市景观相结合的人工湿地水质净化工程。在农村地区,以微型湿地群和小型氧化塘为重点,有效处理农村生产生活污水。开展水系生态环境调查与评估,加大水生野生动植物类自然保护区和水产种植资源保护区保护力度,提高水生生物多样性。

(2)生态农业景观重现。大力推进农田环境整治,补充耕地数量和质量,形成合理、高效、集约和生态良好的土地利用格局。处理好人口、资源与环境及生产与生态之间的关系,创新生态农业景观,建立结构生态合理、良性循环的农业生态系统,使资源得到合理利用、永续利用。在生态和农业条件优越的地区可打造有机种植区、畜禽养殖区、农产品加工区、观光体验区、康养休闲区等,构建从田园到餐桌的可溯源有机食品产业链。实行生态养殖与生态种植相结合,农业资源与生态旅游相结合,形成“资源-产品-废弃物-再生资源”的循环流动。

3 生态系统恢复的判断与监测

3.1 生态恢复的评价标准

评价恢复的标准一直是令学者、政策制定者和公众热切关注的问题,但由于生态系统的动态性和复合性使这一问题始终笼罩在迷雾中。目前对生态恢复的评判一般将恢复后的生态系统与未受干扰的生态系统进行比对,已有研究对生态恢复的标准展开了一定的探讨^[6-7]。Cairns 认为恢复的评判标准应包括能被公众社会感知到的,并被确认恢复到可用程度以及恢复到初始的结构和功能水平(虽然组成整体结构的要素与初始状态相比可能已经发生明显变化)^[8];Hobbs 和 Norton 提出生态恢复的评价属性包括物种组成、群落结构、垂直模式(食物链等)、多样性、生态系统功能以及恢复能力^[9];Schaeffer 等从个体和系统层面提出了健康生态系统的评价指标,系统层面包括生物种间行为、分解能力、生产能力、恢复能力、稳定性、连通性、生物多样性等 10 个重要特征^[10],总体来看,大部分生态恢复的判断关注恢复系统与参照系统的生物多样性、群落结构、生态系统功能、干扰体系、以及非生物的生态服务功能,常见的生态恢复的标准判断包括:①可持续性,②不可入侵性,③生产力,④营养保持力,⑤生物间相互作用(植物、动物、微生物)。近年来我国生态恢复评价的研究主要集中在生物及群落评价、水土保持功能评价、水土理化性质评价、小气候评价、景观格局评价和生态价值评价等^[11]。

基于已有的研究成果^[12-15],并结合泰山地区生态退化实际和生态恢复的目标,建立目标层、准则层、指标层三级指标体系对泰山地区生态修复工程的环境影响及实施效果进行评价(见表 1)。准则层分设 3 个方面:(1)生态风险降低。泰山地区生态系统的恢复和重建需消除可能的灾害性胁迫因子,由于泰山地区受采矿业影响,水土流失严重、地灾问题突出,地质稳定性低,因此评价指标涉及地形起伏度、地基稳定性、土壤紧实度、降水侵蚀力等方面。(2)生态状况改善。主要从生境质量和污染治理两方面考虑,将植被覆盖度、生态需水

满足率、水域湿地度、土壤有效深度、土壤有机质含量、水体 DO、COD、氨氮、总磷以及水体底泥平均污染指数纳入指标。(3)生态恢复能力增强。表征泰山生态系统的动态可持续性,将生物多样性、横向连通性指数作为指标。

表 1 泰山地区生态恢复成效评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of ecological restoration effectiveness in Mountain Tai Region

目标层 Object hierarchy	准则层 Rule hierarchy	指标层 Index hierarchy	指标说明 Index description
生态恢复效果 Ecological restoration effectiveness	生态风险	地形起伏度	反映生态修复对受损地形地貌治理状况
		地基稳定性	表征边坡(滑坡)稳定性和崩塌灾害危险性
		土壤紧实度	过小或过大的土壤紧实度都不利于水土保持
		降水侵蚀力 ^[16]	反映降水引起土壤侵蚀的潜在能力,是水土流失敏感性的重要指标
	生态状况	植被覆盖度	植被在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比
		生态需水满足率	区内河流生态需水量与多年平均水量的比值
		水域湿地度	一般>5%(分地区可调整)
		土壤有效深度	植物生长的实际土层厚度
		土壤有机质含量	反映土壤的肥力程度
		水体 DO、COD、氨氮、总磷	执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)相应标准
		底泥平均污染指数 ^[17]	反映河流中各种营养物质、重金属、有机污染物的沉积作用及底质中各物种分解释放对河流水质及生态系统的影响
	生态恢复能力	生物多样性指数	表征地区生态环境功能的优劣,采用 Shannon-Winner 多样性指数计算
		横向连通性指数	定性指标,反映水流横向连通状况及物质流、能量流等交换情况

3.2 恢复的监测与管理

生态恢复的实施并非是生态恢复的终点,恢复的动态监测是生态恢复过程中的重要一环。为全方位提升泰山地区的生态环境监管能力,应完善基础数据获取与调查、建立生态保护天地一体化监管平台,完善生态系统全覆盖、全要素、全指标生态监测网络体系,监控人为活动,及时预警生态风险。可参考“3S+N”生态目标管理经验(3S+N,指 safe, stable, sustainable 和 non-pollution)^[18],从生态系统完整性、脆弱性、敏感性、承载力等多角度表达发现问题,综合运用类比法、系统回顾法、情景模拟法、趋势外推法、生态制图法等^[19]进行生态系统结构与功能的监测与评价。

运用综合效益评价、模糊评价、灰色系统理论、生态服务价值评估等方法^[20]科学客观地评估生态修复工程在生态、社会、经济等多方面的效益,并与预期的目标进行比对,验证所施行的工程环境保护措施是否有效、采取的工程技术手段是否合宜,保护与修复的措施执行是否到位^[21-22],从而为尚在开展的保护修复工程提出调整建议或补救措施,为其他类似地区将要开展的保护与修复工程的环境影响预测、控制和治理提供有利的借鉴。

4 结论与建议

本文基于恢复生态学理论,以泰山地区为研究对象,分析地区生态退化的过程和机制,探讨退化生态恢复和重建的思路。运用物能循环和转化的生态学原则诊断地区生态问题的关键所在,厘清生态退化问题的形成机理。针对泰山地区生态恢复与环境治理问题,提出了“地貌重塑、植被重建、水体重构、景观重现”的生态恢复思路,促使自然生态重回正向演替,实现自然景观的恢复重建。同时本文尝试构建了包括生态风险、生态状

况和生态响应三个维度的指标体系来判断生态恢复的成效。

恢复生态学强调围绕生态系统的本底特征和恢复机理开展生态修复的“人为设计”,“山水林田湖草生命共同体”理念强调生态系统和景观要素的综合性与整体性。两者的结合有助于深入探索生命共同体要素之间的相互作用和影响,从而将各类生态资源的保护和修复纳入统一的治理框架中,有助于统筹山水林田湖草生态修复和综合治理。后续的研究需要进一步深入各类生态退化问题的成因与过程,明确不同生态系统的分异性、地带性、等级性、共轭性、主导因子等;加强生态恢复与重建的机理研究,遵循和谐共存、整体优化、地域分异等生态学原理,把握好人与自然、局部与整体、发展与保护的关系,因地制宜实施生态保护和修复工程;加强生态修复后的动态监测与适应性管理,构建完备的生态保护和修复效果评估与反馈机制。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 王夏晖, 何军, 饶胜, 蒋洪强. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践. 环境保护, 2018, 46(3): 17-20.
- [3] 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): 1760-1768.
- [4] 谢运球. 恢复生态学. 中国岩溶, 2003, 22(1): 28-34.
- [5] 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.
- [6] Lugo A E. The future of the forest: ecosystem rehabilitation in the tropics. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 1988, 30(7): 16-45.
- [7] 任海, 邬建国, 彭少麟. 生态系统健康的评估. 热带地理, 2000, 20(4): 310-316.
- [8] Cairns J Jr, Dickson K L, Herricks E E. Recovery and Restoration of Damaged Ecosystems. Charlottesville: University Press of Virginia, 1977: 17-27.
- [9] Hobbs R J, Norton D A. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology, 1996, 4(2): 93-110.
- [10] Schaeffer D J, Herricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: I. Measuring ecosystem health. Environmental Management, 1988, 12(4): 445-455.
- [11] 吴丹丹, 蔡运龙. 中国生态恢复效果评价研究综述. 地理科学进展, 2009, 28(4): 622-628.
- [12] 王姝, 毛媛媛, 梁志蓉, 李平. 重庆市城区段河流生态修复后评价指标体系框架构建. 环境影响评价, 2018, 40(4): 39-42, 52-52.
- [13] 邢春晖, 王云才. 基于生态风险评价的城市生态格局修复——以太原市城六区为例. 西部人居环境学刊, 2018, 33(6): 48-53.
- [14] 洪文俊, 董文杰, 赵桃桃, 张丽娟, 涂津鹏, 曹更永. 农林交错带高速公路边坡生态修复质量评价标准体系研究. 中国质量与标准导报, 2017, (9): 68-73.
- [15] 陈涛. 河湖水体生态健康评价方法研究. 节能与环保, 2018, (11): 72-73.
- [16] 王小丹, 钟祥浩, 范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律. 地理学报, 2004, 59(2): 183-188.
- [17] 秦建桥, 黄晓萍, 阮文刚. 广东省西伶通道内河航道底泥重金属污染状况与生态风险评价. 水土保持研究, 2019, 26(3): 331-338.
- [18] 李红举, 李少帅, 赵玉领. 澳大利亚矿山土地复垦与生态修复经验. 中国土地, 2019, (4): 46-48.
- [19] 刘国彬, 王兵, 卫伟, 蔡进军, 陈云明, 毕华兴, 刘广全, 魏安智. 黄土高原水土流失综合治理技术及示范. 生态学报, 2016, 36(22): 7074-7077.
- [20] 孙晓萌, 彭本荣. 中国生态修复成效评估方法研究. 环境科学与管理, 2014, 39(7): 153-157.
- [21] 白中科, 周伟, 王金满, 赵中秋, 曹银贵, 周妍. 试论国土空间整体保护、系统修复与综合治理. 中国土地科学, 2019, 33(2): 1-11.
- [22] 高世昌. 国土空间生态修复的理论与方法. 中国土地, 2018, (12): 40-43.