

黄河流域生态系统变化评估与保护修复策略研究

牟雪洁, 张箫, 王夏晖, 王金南*, 饶胜, 黄金, 柴慧霞

(生态环境部环境规划院黄河生态文明研究中心, 北京 100012)

摘要: 黄河流域生态环境较为敏感且脆弱, 长期以来受气候变化以及大规模、高强度的人类开发建设活动影响, 流域整体性、系统性生态退化问题突出, 生态安全形势不容乐观。为有效促进黄河流域生态保护与高质量发展, 筑牢国家生态安全屏障, 本文系统评估了近 20 年黄河流域生态系统在结构、质量方面的现状及变化情况; 总结了当前黄河上、中、下游存在的主要问题与不足, 包括流域生态脆弱且整体性、系统性退化问题突出以及现有生态保护修复工作在体制与机制、投入力度、实施成效等方面的瓶颈制约; 在此基础上提出了未来黄河流域生态保护修复策略。研究表明: 近 20 年来, 黄河流域生态系统结构总体稳定, 但部分类型变化明显, 城镇显著扩张, 森林、草地、湿地等有所增加, 荒漠明显减少; 生态系统质量整体改善, 并以中游地区较为显著, 但局部仍存在退化情况, 尤其以下游地区较为显著。为此, 本文建议, 应通过系统评估生态工程实施成效、因地制宜推进生态保护修复、创新建立生态产品价值实现机制 3 个方面加强黄河流域生态保护修复, 保障区域生态安全。

关键词: 黄河流域; 生态系统; 评估; 保护修复

中图分类号: X37 **文献标识码:** A

Ecological Change Assessment and Protection Strategy in the Yellow River Basin

Mou Xuejie, Zhang Xiao, Wang Xiahui, Wang Jinnan*, Rao Sheng, Huang Jin, Chai Huixia

(Center of Eco-Civilization of the Yellow River, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: The ecological environment of the Yellow River Basin is sensitive and fragile. Affected by climate change and large-scale, high-intensity human development for a long time, the overall and systemic ecological degradation of the basin is prominent, and the ecological security situation is unoptimistic. To effectively promote ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin and build a strong ecological security barrier, we systematically evaluate the current status and changes of the Yellow River Basin ecosystem in terms of structure and quality in the past two decades, and summarize the main problems and deficiencies existing in the upper, middle, and lower reaches of the Yellow River, including the ecological fragility of the basin, prominent systemic degradation, and the constraints of the current work in terms of institutional mechanism, investment, and implementing effect. Then we propose future ecological protection and restoration strategies. Our research shows that the ecosystem of the Yellow River Basin has maintained a stable structure in the past two decades, but its types have changed significantly; cities and towns have expanded significantly, forest, grasslands, and wetlands have increased, and the desertified area has been significantly reduced. The overall quality of the ecosystem, particularly in the middle reaches, has improved, and degradation still exists in some regions, particularly in

收稿日期: 2021-11-25; **修回日期:** 2021-12-20

通讯作者: *王金南, 生态环境部环境规划院院长, 中国工程院院士, 研究方向为环境规划与管理研究; E-mail: wangjin@caep.org.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“黄河流域生态保护和高质量发展战略研究”(2020-ZD-18)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

the lower reaches. Therefore, we propose that ecological protection and restoration of the Yellow River Basin should be strengthened through three aspects: (1) systematically evaluating the implementing effect of ecological projects, (2) promoting ecological protection and restoration according to local conditions, and (3) innovating the value realization mechanism of ecological products, so as to ensure the ecological security of the region.

Keywords: Yellow River Basin; ecosystem; assessment; conservation and restoration

一、前言

黄河流域是我国北方重要的生态屏障，是连接青藏高原、黄土高原、华北平原的主要生态廊道，生态地位极其重要。但是，由于流域中、上游大部分区域地处我国干旱、半干旱地区，生态系统敏感脆弱，在长期大规模、高强度人类活动的干扰下，流域生态系统呈现整体性、系统性退化，如上游地区天然草地与湿地功能下降、中游地区水土流失严重、下游滩区历史遗留问题多、河口三角洲湿地萎缩严重等 [1]，黄河流域生态保护修复与治理的任务较为艰巨。

我国已在黄河流域开展了大量关于生态保护与修复的相关研究，主要聚焦于具有重要生态功能的区域，如黄河源区 [2]、三江源 [3,4]、祁连山 [5]、甘南黄河 [6]、若尔盖草原湿地 [7,8]、黄土高原 [9~11]、黄河河口三角洲湿地 [12] 等，对流域和局部地区生态保护修复工作发挥了重要的指导作用。然而，针对全流域开展整体性保护修复策略的研究相对较少，已有的全流域水生态保护修复总体框架研究 [13]、流域生态分区及生态保护目标识别 [14] 等，由于研究较早且主要关注于水生态保护领域，已不能满足新时期黄河流域生态系统整体性、系统性保护修复的工作需求。

当前，在黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略的政策背景下，需要从全流域生态系统整体性和系统性角度出发，研究提出未来加强生态保护修复的总体战略，对保障黄河长治久安、促进流域高质量发展具有重要的战略意义。为此，本文在深入开展全流域生态系统现状及变化评估，识别突出生态问题与不足的基础上，按照“山水林田湖草”生命共同体的理念，从系统评估生态工程实施成效、因地制宜推进生态保护修复、创新建立生态产品价值实现机制等 3 个方面，提出未来加强黄河流域生态保护修复的总体策略，以期为国家推进黄河流域生态保护和高质量发展提供决策参考。

二、黄河流域生态系统现状及变化

(一) 黄河流域生态系统结构及变化

2000—2020 年，黄河流域生态系统类型结构总体稳定（见表 1），主要以草地、农田、森林等类型为主 [15]。其中，2020 年的草地、农田面积分别为 $3.85 \times 10^5 \text{ km}^2$ 、 $1.99 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占比分别为 48.4%、25.1%；森林生态系统面积为 $1.07 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占比为 13.5%；其他生态系统类型的面积占比相对较小。从空间分布上看，草地广泛分布于黄河流域的上、中游地区；农田主要分布于黄河流域北部“几”字

表 1 2000 年和 2020 年黄河流域生态系统各类型的面积及其变化情况

类型	面积/ km^2		比例/%		整体变化		上游变化率 /%	中游变化率 /%	下游变化率 /%
	2000 年	2020 年	2000 年	2020 年	变化量/ km^2	变化率/%			
森林	103 495	107 255	13.0	13.5	3760	3.6	3.9	3.8	-3.2
草地	379 867	384 600	47.8	48.4	4733	1.2	1.9	0.7	-24.5
湿地	20 983	22 961	2.6	2.9	1978	9.4	11.3	0.2	24.0
农田	211 714	199 108	26.7	25.1	-12 606	-6.0	-3.8	-6.9	-4.4
城镇	17 123	28 164	2.2	3.5	11 041	64.5	59.9	76.2	34.2
荒漠	47 732	39 384	6.0	5.0	-8348	-17.5	-35.9	-3.2	-80.3
裸地	13 496	12 938	1.7	1.6	-558	-4.1	-7.6	22.6	81.7

注：下游地区荒漠、裸地面积的基数较小，因此变化较为剧烈。

周边的宁蒙灌区以及中下游南部的陕西、山西、河南、山东等地；森林主要分布于黄河流域的中南部和西部；城镇则主要以各省中心城市为核心，呈簇状和点状零星分布；荒漠主要分布于黄河流域中北部的内蒙古自治区、宁夏回族自治区等，青海也有少量分布。

2000—2020年，黄河流域的部分生态系统类型变化明显（见表1）。具体来看，黄河流域的城镇显著扩张，面积增加了11 041 km²，变化率达64.5%，主要来自对农田（57.5%）、草地（28.7%）的净占用；森林、草地、湿地类型的面积分别增加3760 km²、4733 km²、1978 km²，变化率分别为3.6%、1.2%、9.4%，其中湿地主要来自草地的净转入；农田、荒漠、裸地类型的面积分别减少了12 606 km²、8348 km²、558 km²，变化率分别为-6.0%、-17.5%、-4.1%，其中荒漠类型面积的减少主要来自向草地、裸地的净转出。上述结果表明，近20年来黄河流域的城镇扩张占用了一定的农业空间、生态空间，同时天然林保护、三北防护林建设、退耕还林还草等工程建设也促进了局部地区森林、草地、湿地等生态系统恢复以及荒漠化趋势减缓。

从黄河上、中、下游地区分区来看，2000—2020年流域生态系统类型变化情况为：中游地区城镇扩张最为显著，变化率为76.2%；上游和中游地区森林面积增加相对明显，上游、下游地区湿地面积增加明显，尤以下游地区湿地面积的增加最为显著，变化率为24.0%；上游和下游地区荒漠面积减少较为显著，变化率分别为-35.9%、-80.3%。

（二）黄河流域生态质量现状及变化情况

根据黄河流域植被覆盖度数据 [16]，对流域生态质量情况分析后发现（见表2）：2000—2019年，流域生态质量总体呈明显改善趋势，植被覆盖度明

显增加。其中，植被覆盖度低、较低、中等区域的面积比例分别下降了5.7%、13.5%、2.8%，植被覆盖度较高、高区域的面积比例分别提升了0.7%、21.3%。近20年来，黄河全流域植被改善区域占流域总面积的89.5%，其中显著改善（>20%）的区域占比约为24.6%（见表3）；从空间上看，显著改善区域主要位于中游黄土高原丘陵沟壑区。但局部地区仍存在植被退化情况，占流域总面积的10.5%，从空间上看，退化区域主要位于流域西部、北部、东南部地区，尤其是中下游城市化较集中的区域植被退化问题显著。

进一步分析黄河上、中、下游不同区域的生态系统质量变化，结果表明：中游地区植被显著改善的区域相对较大，约占中游地区的32.1%；其次是上游地区，占比约为17.6%。下游地区植被退化面积相对较大，其中明显退化和显著退化的区域合计占比约为9.8%。

表2 2000年和2019年黄河流域植被覆盖度的分级特征

植被覆盖度分级	2000年		2019年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
低（0~20%）	73 730	9.3	28 603	3.6
较低（20%~40%）	227 367	28.7	120 179	15.2
中等（40%~60%）	201 050	25.4	178 860	22.6
较高（60%~80%）	274 930	34.8	280 575	35.5
高（80%~100%）	14 002	1.8	182 862	23.1

三、黄河流域生态系统存在的主要问题

我国历来高度重视黄河流域生态保护工作，近年来通过实施水土保持、三江源生态保护与建设、三北防护林建设、天然林资源保护、退耕还林还草、退牧还草、京津风沙源治理等一系列重大工程，流域水土保持、防风固沙等生态功能明显提升。但由

表3 2000年和2019年黄河流域植被覆盖变化特征

植被覆盖度变化情况	全流域		上游地区		中游地区		下游地区	
	变化面积/km ²	比例/%						
<-20%	4198	0.5	1137	0.3	2286	0.6	743	3.3
-20%~-10%	11 835	1.5	4344	1.2	5941	1.5	1436	6.5
-10%~0	67 104	8.5	36 708	10.2	25 725	6.3	4219	19.0
0~20%	513 206	64.9	255 096	70.7	24 1864	59.5	15 278	68.7
20%~40%	188 512	23.8	60 566	16.8	127 411	31.4	552	2.5
>40%	6218	0.8	3048	0.8	3151	0.8	15	0.1

于流域生态本底敏感脆弱，加上人类活动的持续干扰，目前黄河流域生态问题仍较为突出。

(一) 流域生态脆弱且整体性、系统性退化问题突出

黄河流域约有 65.6% 的区域为干旱、半干旱地区，约有 3/4 以上的区域属于中度以上脆弱区，高于全国的平均水平。相比长江和珠江，黄河水沙通量对气候变化和人类活动的响应更为敏感，脆弱性也更高 [17]。同时，黄河流域上、中、下游地区的生态问题差异明显。

1. 上游地区草原湿地生态系统退化，水源涵养功能下降

上游地区尤其是黄河河源区是维系流域生态健康的根本 [18]，水源涵养功能极其重要。但受人类活动影响，黄河上游尤其是河源区的天然草地、湿地退化问题突出。2017 年，黄河上游地区的青海省、甘肃省、四川省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区的天然草原平均超载率均在 10% 以上，天然草地退化率为 60%~90% [1]。此外，黄河河源区降水量偏少、冰川退缩、部分湖泊湿地萎缩、河川径流减少，甚至出现断流现象 [18]；过度放牧等引起草场退化、荒漠化面积不断增加，致使黄河河源区的高覆盖高寒草原、高覆盖高寒草甸以及中覆盖高寒草原的面积大幅减少 [19]。再加上三江源地区仍有约 64.5% 的退化草地尚未恢复，草地退化局面未根本扭转 [3,4]。甘南黄河重要水源补给生态功能区有 80% 的天然草原出现不同程度退化，草地鼠害严重，黑土滩、沙化面积不断增加，水土流失加剧、湖泊沼泽萎缩严重 [6]。受人为疏干改造、过度放牧影响，若尔盖草原湿地面积大幅度减少，草原退化、沙化加剧 [7,8]。

鄂尔多斯高原及其周边地区是我国重要的风沙活动区，近年来国家对库布齐沙漠、毛乌素沙地的治理取得了一定成效 [20,21]，但局部区域沙化和荒

漠化趋势尚未根本遏制，未治理的区域仍占较大比例 [22]，人口密度较大的区域荒漠化趋势极易出现反复现象；乌兰布和地区沙地呈扩张趋势 [23]，黄河流经的腾格里沙漠东部、贺兰山西麓地区也呈明显扩张态势 [24]；河套平原区土地盐碱化、湖泊沼泽化、水质恶化问题突出 [25]。

2. 中游地区生态系统脆弱，水土流失依然严重

中游地区尤其是黄土高原地区的水土保持功能极其重要，直接关系到中下游地区的防洪安全与生态安全。我国在黄土高原先后实施了梯田和淤地坝建设、小流域综合治理、三北防护林建设、退耕还林（草）、坡耕地整治和治沟造地等一系列水土保持工程措施，水土流失范围逐渐缩小、程度减轻，入黄泥沙量显著下降 [26]，取得了显著的生态效益 [9,10]。但由于区域敏感脆弱的生态本底加上人类活动的影响，目前区域水土流失问题依然严重，黄土高原大部分地区土壤侵蚀模数高于 1000 t/(km²·a)，其中丘陵沟壑区土壤侵蚀十分剧烈，土壤侵蚀模数高于 5000 t/(km²·a) [9]。2020 年，尽管黄土高原范围内的水土流失面积较 2011 年减少了 11.4%，但仍有 2.08×10⁵ km² 亟待治理，其中约 40.2% 为中度以上水土流失区，且多为粗沙区；黄河多沙粗沙水土保持重点防治区内的水土流失面积为 1.08×10⁵ km²，其中约 46.4% 为中度以上水土流失区，治理任务极其繁重 [27]（见表 4）。

当前，部分水土流失治理工程措施的后期经营维护不足，部分梯田、淤地坝缺乏维修和管护，经济林普遍低效粗放经营，部分人工林林分结构单一、生态稳定性与服务功能低 [9]，且黄土高原当前人工植被恢复已接近区域水分承载力上限 [28]。总体来看，中游地区的水土流失治理问题仍然较为突出，以减缓水土流失和增加耕地面积为主的单一目标导向，与新时期国家生态文明建设、乡村振兴战略等目标要求存在较大差距 [9,26]。

表 4 2011 年和 2020 年黄土高原及黄河多沙粗沙重点防治区水土流失面积变化

区域	时间/年	水土流失面积/km ²			合计
		轻度	中度	强烈及以上	
黄土高原	2020	12 4700	52 059	31 666	20 8425
	2011	115 755.76	46 953.73	72 499.22	235 208.71
	变化率/%	7.7	10.9	-56.3	-11.4
黄河多沙粗沙重点防治区	2020	57 924	30 933	19 123	10 7980
	2011	54 715	20 553	46 363	121 631
	变化率/%	5.9	50.5	-58.8	-11.2

3. 下游滩区问题复杂, 河口三角洲湿地萎缩

黄河下游滩区既是行洪、滞洪和沉沙的重要区域, 也是滩区人民生产生活的重要场所, 受制于特殊的自然地理条件和安全建设进度, 长期以来滩区经济发展相对落后, 防洪、生态保护治理与滩区居民生产生活之间的矛盾日益突出 [29]。

黄河三角洲生态地位极为重要, 是东北亚内陆和环西太平洋鸟类中转、繁殖和越冬的核心栖息水生境。但受上游来水来沙量减少和人为干扰影响, 长期以来三角洲尤其是河口湿地不断萎缩退化 [12,30], 生物多样性下降, 珍稀濒危鸟类栖息生境受到严重威胁, 土地盐碱化问题也十分严重 [12]。尽管 2002 年以来进行了调水调沙、生态补水等措施, 黄河三角洲自然保护区芦苇沼泽湿地恢复较好 [30,31], 但区域生态逆向演替趋势尚未根本扭转, 自然湿地面积总体上与 20 世纪 90 年代水平仍有较大差距。

(二) 现有生态保护修复工作仍存在瓶颈制约

1. 生态保护修复缺乏整体性、系统性

受体制和机制制约, 黄河流域上下游、左右岸分属于不同行政区域管辖, 过去较长时期, 流域内重点生态功能区、自然保护区、森林公园、湿地公园等重要生态功能区域, 森林、草地、湿地、河湖等重要生态系统的保护修复分属于不同管理部门, 呈现“条块分割”“九龙治水”的碎片化特征 [32]。例如, 我国在黄河流域实施了一系列重大生态工程, 但大多是针对森林、草地、湿地、荒漠等单一生态要素, 分别由林业草原、水利、农业等主管部门各自规划实施, 且多侧重于提高流域水土保持、防风固沙等功能, 对流域生态系统质量与功能整体提升考虑不足, 生态保护修复总体也呈现分散化、破碎化与低效化, 生态系统“局部好转、整体退化”的趋势尚未根本扭转。

2. 生态保护修复的投入力度不足, 生态价值难以实现

根据《中国林业和草原统计年鉴 2020》[33], 2020 年沿黄 9 省(区)森林、草原、湿地生态保护修复治理支出约为 656.3 亿元, 而 2020 年沿黄 9 省(区)森林、草原、湿地生态破坏损失约为 3210 亿元 [34], 生态破坏的历史欠账多, 生态保护修复支出仍远低于生态破坏损失。流域范围内仍有

50% 以上的生态功能极重要、重要区和 50% 以上的生态极敏感、敏感区尚未纳入国家重点生态功能区财政转移支付范围。此外, 现有生态工程资金来源较为单一, 仍以国家投入为主, 缺乏长期稳定的投入机制和投资渠道 [11]。同时, 黄河上、中、下游不同区域间的经济社会发展与生态保护不平衡、不协调的问题十分突出。2020 年, 上中游 7 省(区)作为全流域的生态功能重要区与生态敏感脆弱区, 自然生态系统产品与服务价值占流域 9 省(区)的近 80%; 但地区生产总值仅占 9 省(区)的 50% 以下 [34]。不仅绿水青山的生态价值未能得到有效转化, 因保护绿水青山所产生的大量生态效益也未得到有效补偿, “生态致贫”问题突出。在此困境下, 局部地区粗放的发展方式仍在延续, “贫困-生态退化”的恶性循环不断加剧, 未来将面临保护修复、乡村振兴等多重发展压力。

3. 生态工程实施成效不稳, 缺乏系统性评估

当前, 已有研究通过对黄河流域的生态工程实施成效进行评价, 如三江源生态保护与建设 [3,4]、水土保持 [10,11]、三北防护林 [35]、天然林资源保护 [36]、退耕还林 [37,38]、退牧还草 [39]、京津风沙源治理 [40] 等, 林业部门制定发布部分工程评估的国家标准 [41~43] 并发布工程效益评价国家报告 [44,45] 等, 均得出的流域生态系统退化趋势为初步遏制、但局部生态退化态势尚未根本扭转的结论, 生态工程实施成效仍不稳固。但已有研究多关注单项生态工程的实施成效, 评价指标局限于原有工程的预期目标, 如封育造林面积、水土流失治理面积或坝系工程数量等; 仅有少量研究关注生态系统服务功能类指标 [3,39,40], 总体来看, 缺少对全流域各类生态工程实施成效的系统性、综合性评估 [3], 在国家层面也缺少统一的生态工程实施成效评估标准规范。

四、黄河流域生态保护修复总体策略

针对以上问题, 未来黄河流域生态保护修复工作应在系统评估重大生态工程实施成效基础上, 聚焦重点区域和突出问题, 因地制宜、统筹推进新一轮的流域生态保护修复工程, 并通过创新流域生态产品价值实现机制, 建立全流域生态保护修复长效机制, 有效推进黄河流域的生态保护与高

质量发展。

（一）系统评估生态工程实施成效

国家有关部门应研究建立生态保护修复综合决策机制，制定生态工程实施成效评估办法与标准体系，系统评估已有生态工程的实施成效，作为国家层面调整优化未来流域生态保护修复工程的科学依据。

一是建立生态保护修复综合决策机制。建议由财政部牵头，会同自然资源部、生态环境部、农业农村部、水利部、国家林业和草原局等有关部门，建立生态保护修复综合决策机制，以省（自治区）为单位，对天然林资源保护、退耕还林、三北防护林建设、退牧还草、草原保护建设利用、全国湿地保护工程、三江源自然保护区生态保护和建设、重要生态功能保护区建设等重大工程以及“山水林田湖草”生态保护修复工程试点的实施成效进行系统评估，重点评估各类工程实施的生态效益，总结突出问题 and 制约因素。

二是建立生态工程实施成效评估办法与标准体系。建议依托生态保护修复综合决策机制，研究提出生态工程实施成效评估办法与标准体系，重点建立以生态系统面积、质量、功能为主要框架的成效评估指标体系和技术标准。

（二）因地制宜推进生态保护修复

1. 优先加强上游地区生态保护修复，恢复提升水源涵养功能

上游地区具有重要的水源涵养功能，对整个流域的水资源供给意义重大，是维持全流域生态系统健康的根本保障。因此，必须优先推进上游地区的保护修复，恢复提升水源涵养功能。

一是坚持自然恢复为主、人工修复为辅，以黄河源区、三江源、祁连山、若尔盖草原湿地、甘南黄河生态补给区等重要生态功能区域为重点，加强退化草原生态保护修复。加强封禁保育力度，全面落实禁牧、休牧、轮牧和草畜平衡制度，降低草原载畜量，恢复草地生态功能。加强退化草原鼠害、虫害及毒害草的生物防治，采取人工草地改建、半人工草地补播、封禁保育等多种措施相结合，推进黑土滩治理。完善和提高草原生态保护补偿标准，引导牧民参与草原生态管护，在生态功能极重要、

极脆弱区实施生态移民与搬迁。

二是加强鄂尔多斯高原区风沙荒漠治理。总结库布齐沙漠、毛乌素沙地荒漠化治理成功经验和典型模式，有序推进荒漠化治理、三北防护林建设、退耕还林等重点工程，采取生物固沙与工程固沙相结合的方式，有效遏制乌兰布和沙漠、腾格里沙漠扩张，不断巩固和提升荒漠化治理成效，减少泥沙流入黄河。积极探索和推广沙地治理与资源化利用、绿色产业发展等新模式，促进沙区生态治理与经济协同发展。

三是实施河套灌区修复治理。加强城镇生活及农业面源污染治理，严格控制化肥农药施用，降低排干污染物。开展排干沟治理、人工湿地、生态补水等工程措施，优化河套灌区给排水网络和调水供水模式，减少水资源浪费。继续推进乌梁素海、沙湖等湖泊水生态修复，在加大外源调水力度的同时，结合生物措施、工程措施，重点做好灌区退水控污和湖体内源减污，恢复湖体生物多样性和湖泊健康。

2. 因地制宜推进中下游地区生态保护修复，维持生态系统稳定性

中下游地区是黄河流域人类活动强度相对较高的区域，同时肩负着提供优质生态产品与保障人居环境安全的重任。因此，应聚焦突出问题、分区分类实施生态保护修复，切实改善生态环境状况、保障人居环境安全。

一是重点加强中游黄土高原地区水土流失治理。进一步加大封山禁牧和封育保护力度，做好水土流失预防保护。因地制宜开展梁、塬、坡、沟、川的综合治理，继续推进坡耕地综合整治、黄土高原原面保护、病险淤地坝除险加固、贫困地区小流域综合治理等国家水土保持重点工程，重点加强多沙粗沙区水土流失综合防治。加强森林资源管护，实施低质低效林改造，提升森林生态系统水土保持功能；遵循地带性规律和区域水资源承载力条件，科学设定未来退耕还林等植被恢复工程的规模和布局，平衡区域水源涵养与水资源供给功能。积极探索创新水土流失治理与乡村振兴融合发展模式，促进区域生态与经济协调发展。

二是有序推进下游滩区生态治理。科学研究、合理划定滩区功能分区，实施滩区分区治理，积极探索和实施滩内移民、集中居住、集约种植、政策

补偿的滩区治理方案,实现人水分离。将滩区保护利用纳入各省国土空间规划,规范国土空间开发与保护布局。

三是实施黄河三角洲湿地生态系统保护修复。根据河口生态需水情况,科学制定生态水量调度方案,落实河口生态流量(水量)指标与过程管理,稳定河口流路。开展河口湿地演变趋势评估,科学分析上游来沙量降低造成的生态影响,提出有效应对措施。推进退耕还湿、退养还滩,加强河岸带和滩涂岸线生态保护与修复,防控外来有害入侵物种,有效恢复河口三角洲湿地生态系统功能。

(三) 创新建立生态产品价值实现机制

一是进一步加大国家对重点生态功能区的财政转移支付范围和力度。建议扩大原有的黄土高原丘陵沟壑水土保持重点生态功能区范围,优先将鄂尔多斯高原、贺兰山-阴山山脉、阴山北部草原、鲁中山区等具有重要生态功能且经济欠发达地区纳入财政转移支付范围。在充分考虑不同区域自然本底条件的基础上,研究提高黄河源区等区域具有重要生态功能的草地、湿地面积的评价系数,进一步优化国家重点生态功能区财政转移支付分配测算方式。

二是建立流域上下游横向生态保护补偿机制。在深入总结宁夏等地流域上下游横向生态保护补偿机制试点经验基础上,探索研究基于水量水质的跨省(区)流域上下游横向生态补偿方案,探索建立资金补偿、对口协作、产业转移、人才培养等多元化补偿方式;开展黄河流域水权交易制度试点,建立全流域水权交易平台;研究通过中央财政购买水权的方式,保障流域生态用水的政策可行性。以纵横交错的多元化生态产品价值实现机制,促进黄河源区生态产品价值的实现。

三是完善自然资源有偿使用交易制度。针对流域自然资源本底特征和突出生态问题,建议优先建立完善黄河流域水资源有偿使用制度,合理调整水资源费征收标准,适度调整水资源紧缺和超额用水地区的水资源费征收标准。建立国有森林资源、国有草原资源有偿使用制度,规范国有森林、草地资源流转,通过租赁、特许经营等方式积极发展林下经济、生态旅游等生态产业。

五、结语

本文通过系统评估黄河流域生态系统总体变化情况发现,近 20 年来流域生态系统结构总体稳定、生态质量整体改善,但流域上、中、下游仍面临不同生态问题和工作瓶颈制约。因此,建议未来仍需通过系统评估生态工程实施成效、因地制宜推进生态保护修复、创新建立生态产品价值实现机制等方面持续加强黄河流域生态保护修复工作,有效保障区域生态安全。

本研究是基于黄河流域生态系统宏观状况评估以及区域问题诊断识别,提出全流域生态保护修复综合策略,可为黄河流域生态保护和高质量发展提供支撑。考虑到流域生态系统的敏感脆弱性及上、中、下游的显著差异性,在未来的研究中,如何确定人为活动干扰下的生态系统关键阈值,以便做好早期生态安全预警;以及如何针对流域典型受损退化区域选取适宜的生态修复技术等,都是下一步需要研究的重点方向。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: November 25, 2021; **Revised date:** December 20, 2021

Corresponding author: Wang Jinnan is a President from the Chinese Academy of Environmental Planning and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research field is environmental planning and management research. E-mail: wangjn@caep.org.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project "Research on ecological protection and high-quality development strategy in the Yellow River Basin" (2020-ZD-18)

参考文献

- [1] 王金南. 黄河流域生态保护和高质量发展战略思考 [J]. 环境保护, 2020, 48(Z1): 18-21.
Wang J N. A Primary framework on protection of ecological environment and realization of high-quality development for the Yellow River Basin [J]. Environmental Protection, 2020, 48(Z1): 18-21.
- [2] 王莺, 李耀辉, 孙旭映. 黄河源区域生态环境演变与对策建议 [J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 550-557.
Wang Y, Li Y H, Sun X Y. Eco-environment changes and countermeasures in the Yellow River Source Region [J]. Journal of Arid Meteorology, 2013, 31(3): 550-557.
- [3] 邵全琴, 樊江文, 刘纪远, 等. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估 [J]. 地理学报, 2016, 71(1): 3-20.
Shao Q Q, Fan J W, Liu J Y, et al. Assessment on the effects of the first-stage ecological conservation and restoration project in

- Sanjiangyuan Region [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1): 3–20.
- [4] 徐新良, 王靓, 李静, 等. 三江源生态工程实施以来草地恢复态势及现状分析 [J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(1): 50–58.
Xu X L, Wang L, Li J, et al. Analysis of the grassland restoration trend and degradation situation in the “Three-River Headwaters” Region since the implementation of the ecological project [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19(1): 50–58.
- [5] 王涛, 高峰, 王宝, 等. 祁连山生态保护与修复的现状问题与建议 [J]. *冰川冻土*, 2017, 39(2): 229–234.
Wang T, Gao F, Wang B, et al. Status and suggestions on ecological protection and restoration of Qilian Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(2): 229–234.
- [6] 王文浩. 甘南黄河重要水源补给生态功能区湿地保护与修复思路 [J]. *生态经济(学术版)*, 2011 (1): 387–389.
Wang W H. Yellow River water supply Gannan important ecological functions of wetlands areas and restoration of thinking [J]. *Ecological Economy*, 2011 (1): 387–389.
- [7] 李国明, 刘江, 李胜, 等. 若尔盖湿地近25年湿地变化及分形特征分析 [J]. *测绘与空间地理信息*, 2017, 40(7): 34–36.
Li G M, Liu J, Li S, et al. Fractal characteristics analysis of wetland changes of Ruoergai Wetland nearly 25 years [J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2017, 40(7): 34–36.
- [8] 李斌. 若尔盖湿地沙漠化成因分析及对策探讨 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2008 (2): 145–149.
Li B. Driving factors of Zoige Wetland desertification and countermeasures [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2008 (2): 145–149.
- [9] 李宗善, 杨磊, 王国梁, 等. 黄土高原水土流失治理现状、问题及对策 [J]. *生态学报*, 2019, 39(20): 7398–7409.
Li Z S, Yang L, Wang G L, et al. The management of soil and water conservation in the Loess Plateau of China: Present situations, problems, and counter-solutions [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(20): 7398–7409.
- [10] 刘国彬, 上官周平, 姚文艺, 等. 黄土高原生态工程的生态成效 [J]. *中国科学院院刊*, 2017, 32(1): 11–19.
Liu G B, Shanguan Z P, Yao W Y, et al. Ecological effects of soil conservation in Loess Plateau [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(1): 11–19.
- [11] 高健翎, 高燕, 马红斌, 等. 黄土高原近70a水土流失治理特征研究 [J]. *人民黄河*, 2019, 41(11): 65–69, 84.
Gao J L, Gao Y, Ma H B, et al. Study on characteristics of soil and water loss control in Loess Plateau in recent 70 years [J]. *Yellow River*, 2019, 41(11): 65–69, 84.
- [12] 王万战, 雷坤, 江恩惠, 等. 黄河三角洲及附近海域综合治理战略研究 [J]. *中国工程科学*, 2016, 18(2): 91–97.
Wang W Z, Lei K, Jiang E H, et al. Study on creating an integrated management strategy for the Yellow River Delta and its ambient sea area [J]. *Strategic Study of CAE*, 2016, 18(2): 91–97.
- [13] 王瑞玲, 连煜, 王新功, 等. 黄河流域水生态保护与修复总体框架研究 [J]. *人民黄河*, 2013, 35(10): 107–110, 114.
Wang R L, Lian Y, Wang X G, et al. Study on the overall framework of water ecological protection and restoration of the Yellow River Basin [J]. *Yellow River*, 2013, 35(10): 107–110, 114.
- [14] 黄锦辉, 史晓新, 张蕾, 等. 黄河生态系统特征及生态保护目标识别 [J]. *中国水土保持*, 2006 (12): 14–17, 56.
Huang J H, Shi X X, Zhang Q, et al. Characteristics of ecological system and target identification of ecological protection of the Yellow River [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2006 (12): 14–17, 56.
- [15] 徐新良, 刘纪远, 张树文, 等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC) [EB/OL]. (2018-07-02)[2021-09-07]. <https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=54>.
Xu X L, Liu J Y, Zhang S W, et al. China multi-period land use and land cover remote sensing monitoring data set (CNLUCC) [EB/OL]. (2018-07-02)[2021-09-07]. <https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=54>.
- [16] 徐新良. 中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集 [EB/OL]. (2018-06-06)[2021-09-08]. <https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=49>.
Xu X L. China annual vegetation index (NDVI) spatial distribution dataset. [EB/OL]. (2018-06-06)[2021-09-08]. <https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=49>.
- [17] 田清. 近60年来气候变化和人类活动对黄河、长江、珠江水沙通量影响的研究 [D]. 上海: 华东师范大学(博士学位论文), 2016.
Tian Q. Impacts of climate change and human activities on water and sediment fluxes of the Yellow, Yangtze, and Pearl Rivers in the past 60 years [D]. Shanghai: East China Normal University(Doctoral dissertation), 2016.
- [18] 文军. 应科学利用和保护黄河源区水资源 [N]. *中国科学报*, 2016-09-15(04).
Wen J. Scientific use and protection of water resources in the source region of the Yellow River [N]. *China Science News*, 2016-09-15(04).
- [19] 杜际增, 王根绪, 李元寿. 近45年长江黄河源区高寒草地退化特征及成因分析 [J]. *草业学报*, 2015, 24(6): 5–15.
Du J Z, Wang G X, Li Y S. Rate and causes of degradation of alpine grassland in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers during the last 45 years [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(6): 5–15.
- [20] 王翠萍. 库布齐沙漠中段沙化土地动态变化及驱动力分析 [J]. *林业资源管理*, 2018 (1): 63–71, 154.
Wang C P. Analysis on dynamic change of desertification land and driving forces in the Middle Area of Kubuqi Desert [J]. *Forest Resources Management*, 2018 (1): 63–71, 154.
- [21] 李晓岚. 毛乌素沙地沙漠化逆转过程及成因分析 [D]. 西安: 陕西师范大学(硕士学位论文), 2017.
Li X L. Reversal process and cause analysis of desertification in Mu Us Sandy Land [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University(Master's thesis), 2017.
- [22] 张海欧. 毛乌素沙地综合整治现状分析及新思路 [J]. *农学学报*, 2018, 8(5): 55–59.
Zhang H O. Comprehensive renovation of Mu Us Sandy Land: Present situation analysis and new ideas [J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(5): 55–59.
- [23] 刘月. 乌兰布和沙漠近40年来土地利用动态变化研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学(硕士学位论文), 2013.
Liu Y. Research on dynamic changes of land use in Ulan Buh Desert in the past 40 years [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University(Master's thesis), 2013.
- [24] 赵世磊. 1973—2009年腾格里沙漠南部沙漠收缩/扩张变化及其原因 [D]. 兰州: 兰州大学(硕士学位论文), 2015.
Zhao S L. The contraction and expansion of the southern region of the Tengger Desert and the causes from 1973 to 2009 [D]. Lanzhou: Lanzhou University(Master's thesis), 2015.
- [25] 王俊枝, 薛志忠, 张弛, 等. 内蒙古河套平原耕地盐碱化时空演

- 变及其对产能的影响 [J]. 地理科学, 2019, 39(5): 827–835.
- Wang J Z, Xue Z Z, Zhang C, et al. Spatio-temporal evolution of saline-alkali cultivated land and its impact on productivity in Hetao Plain of Inner Mongolia [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(5): 827–835.
- [26] 胡春宏, 张晓明. 关于黄土高原水土流失治理格局调整的建议 [J]. 中国水利, 2019 (23): 5–7, 11.
- Hu C H, Zhang X M. Suggestions on adjusting the pattern of soil and water loss control in the Loess Plateau [J]. *China Water Resources*, 2019 (23): 5–7, 11.
- [27] 中华人民共和国水利部. 2020年中国水土保持公报 [EB/OL]. (2021-09-30)[2021-12-09]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202109/t20210930_1545971.html.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. 2020 China soil and water conservation bulletin [EB/OL]. (2021-09-30)[2021-12-09]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202109/t20210930_1545971.html.
- [28] Feng X M, Fu B J, Lu N, et al. How ecological restoration alters ecosystem services: An analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau [J]. *Scientific Reports*, 2013, 3: 2846.
- [29] 张金良. 黄河下游滩区再造与生态治理 [J]. 人民黄河, 2017, 39(6): 24–27, 33.
- Zhang J L. Reconstruction and ecological management of the Lower Yellow River Floodplain [J]. *Yellow River*, 2017, 39(6): 24–27, 33.
- [30] 连煜, 张建军, 王新功. 黄河三角洲生态修复与栖息地保护 [J]. 环境影响评价, 2015, 37(3): 6–8, 17.
- Lian Y, Zhang J J, Wang X G. The Yellow River Delta ecological restoration and habitat protection based on water and sediment regulation [J]. *Environmental Impact Assessment*, 2015, 37(3): 6–8, 17.
- [31] 张爱静, 董哲仁, 赵进勇, 等. 黄河调水调沙期河口湿地景观格局演变 [J]. 人民黄河, 2013, 35(7): 69–72.
- Zhang A J, Dong Z R, Zhao J Y, et al. The evolution of wetland landscape pattern of the Yellow River estuary during water and sediment regulation [J]. *Yellow River*, 2013, 35(7): 69–72.
- [32] 邓小云. 推进黄河流域协同大治理 [N]. 中国环境报, 2019-10-15(03).
- Deng X Y. Promote coordinated grand governance in the Yellow River Basin [N]. *China Environment News*, 2019-10-15(03).
- [33] 国家林业和草原局. 中国林业和草原统计年鉴2020 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2021.
- National Forestry and Grassland Administration. *China forestry and grassland statistical yearbook 2020* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2021.
- [34] 王金南, 於方, 马国霞, 等. 中国经济生态生产总值核算研究报告2020 [R]. 北京: 重要环境决策参考, 2020.
- Wang J N, Yu F, Ma G X, et al. *China economic and ecological GDP accounting research report 2020* [R]. Beijing: Chinese Reference for Environmental Decision-making, 2020.
- [35] 赵子夜. 中国“三北”防护林工程建设现状及思考 [J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), 2018, 18(3): 67–76, 89.
- Zhao Z Y. Current situation and reflection on China's "Three-North" shelter forest program [J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Humanities and Social Sciences Edition)*, 2018, 18(3): 67–76, 89.
- [36] 孙传璋, 甄霖, 王超, 等. 天然林资源保护一期工程生态成效评估——以甘肃小陇山地区为例 [J]. 地理科学进展, 2017, 36(6): 732–740.
- Sun C Z, Zhen L, Wang C, et al. Assessment of the ecological effects of the first-phase natural forest protection project in the Xiaolongshan Region, Gansu Province [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(6): 732–740.
- [37] 温小洁. 黄河中上游植被覆盖时空演变对退耕还林(草)工程的动态响应研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学(硕士学位论文), 2019.
- Wen X J. Study on the dynamic response of the spatial and temporal evolution of vegetation coverage in the Middle and Upper Reaches of the Yellow River to the project of returning farmland to forests (grass) [D]. Xi'an: Northwest A&F University(Master's thesis), 2019.
- [38] 汪芳甜. 北方农牧交错带退耕还林生态效应评价——以乌兰察布市为例 [D]. 北京: 中国农业大学(博士学位论文), 2018.
- Wang F T. Evaluation of ecological effects for the green project in the farming-pastoral ecotone of northern China—A case study in the Ulanqab City [D]. Beijing: China Agricultural University((Doctoral dissertation)), 2018.
- [39] 张海燕, 樊江文, 邵全琴, 等. 2000—2010年中国退牧还草工程区生态系统宏观结构和质量及其动态变化 [J]. 草业学报, 2016, 25(4): 1–15.
- Zhang H Y, Fan J W, Shao Q Q, et al. Ecosystem dynamics in the 'Returning Rangeland to Grassland' programs of China [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(4): 1–15.
- [40] 吴丹, 巩国丽, 邵全琴, 等. 京津风沙源治理工程生态效应评估 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(11): 117–123.
- Wu D, Gong G L, Shao Q Q, et al. Ecological effects assessment of Beijing and Tianjin sandstorm source control project [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(11): 117–123.
- [41] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 退耕还林工程建设效益监测评价: GB/T 23233—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Evaluation in project for the construction of conversion of cropland to forest: GB/T 23233—2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [42] 国家林业局. 三北防护林工程评估技术规程: LY/T 2411—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- State Forestry Administration. Technical regulation on Three-north shelter-belt assessment: LY/T 2411—2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [43] 国家林业局. 天然林资源保护工程建设评价技术规程: LY/T 1818—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- State Forestry Administration. Technical procedures for evaluation of natural forest protection & construction program: LY/T 1818—2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [44] 国家林业局. 退耕还林工程生态效益监测国家报告(2014) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- State Forestry Administration. National report on the ecological benefits of grain for green program in 2014 [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015.
- [45] 国新网. 《三北防护林体系建设40年综合评价报告》发布会 [EB/OL]. (2018-12-24)[2021-12-10]. <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/37601/39515/index.htm>.
- Guoxin.com. *Comprehensive evaluation report of on the construction of the Three-North shelter forest system for 40 years* press conference [EB/OL]. (2018-12-24)[2021-12-10]. <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/37601/39515/index.htm>.