

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2022.01.018

黄河流域河湖生态环境复苏研究

张金良^{1,2}

(1. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003;
2. 水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室(筹), 河南 郑州 450003)

摘要: 通过评价黄河流域河湖生态环境演变特征, 探究其存在的问题, 分析黄河流域河湖生态环境复苏目标与总体格局, 探讨并提出黄河流域河湖生态环境复苏的实现路径。结果表明, 黄河流域河湖生态环境系统正在由无序发展向有序发展转变。针对黄河流域河湖生态环境复苏面临的河湖生态环境脆弱、区域地下水超采、流域水土流失等主要问题, 应从强化河湖监管、提升河流生态廊道功能、实施地下水超采治理与监管、加强黄土高原水土流失综合治理等4个方面入手, 促进黄河流域河湖生态环境的全面复苏。

关键词: 黄河流域; 生态环境复苏; 河湖; 水土流失; 地下水超采

中图分类号: TV212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2022)01-0141-06

Eco-environment recovery of rivers and lakes in the Yellow River Basin // ZHANG Jinliang^{1,2} (1. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China; 2. Key Laboratory of Water Management and Water Security for Yellow River Basin, Ministry of Water Resources (under construction), Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In this paper, the evolution characteristics of eco-environment of rivers and lakes in the Yellow River Basin are evaluated, and the existing problems are analyzed. Then, the goal and pattern for the eco-environment recovery of rivers and lakes in the Yellow River Basin are discussed. It is found that the eco-environmental system of the Yellow River Basin is changing from disordered development to orderly development. The main problems of eco-environment recovery are as follows: fragile river and lake eco-environment, regional groundwater overexploitation, water and soil erosion in the river basin. In view of those problems, it is concluded that strengthening river and lake supervision, improving the function of river ecological corridors, implementing groundwater over-exploitation control and supervision, and enhancing the comprehensive control of soil and water erosion on the Loess Plateau are the main ways for the overall eco-environment recovery of rivers and lakes in the Yellow River Basin.

Key words: Yellow River Basin; eco-environment recovery; rivers and lakes; water and soil erosion; groundwater overexploitation

黄河流域是一个复杂的巨系统, 包含河流、湖泊、森林、草原、湿地、荒漠、戈壁等丰富的生态环境要素^[1], 气候变化与人类活动会对这些要素产生显著的影响^[2]。在可能出现的持续缺水情况下^[3], 如何实现黄河流域河湖生态环境复苏的目标, 是当前亟须解决的重要问题^[4]。近5年来, 针对黄河流域生态环境出现了一些代表性的研究, 如司源等^[5]分析发现, 黄河下游生态环境变化存在较大不确定性; 李锐^[6]论述了黄土高原水土保持取得的成效与经验; 左其亭^[7]从黄河流域生态环境保护 and 高质量发

展需求出发, 探究了未来需要开展的工作; 彭苏萍等^[8]针对黄河流域煤矿区生态环境修复问题开展了技术与模式探讨; 郑从奇等^[9]分析了大汶河鱼类多样性特征, 并研究其变化的影响因子; 孟望生等^[10]研究了黄河流域绿色经济增长效率在环境规制与产业结构影响下的特征; 赵良仕等^[11]分析了黄河流域水、能源、粮食安全系统间的协调程度, 但目前对黄河流域河湖生态环境复苏问题仍缺乏系统性研究。本文通过评价黄河流域河湖生态环境演变特征, 探究其存在的问题, 分析黄河流域河湖生态环境

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1508706); 中国工程院咨询研究项目(2019-XZ-65)

作者简介: 张金良(1963—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水利水电工程设计研究。E-mail: jlzhangyrec@126.com

复苏目标与总体格局,探讨黄河流域河湖生态环境复苏的实现路径,以期为黄河流域生态保护与高质量发展战略的实施提供参考。

1 黄河流域河湖生态环境演变特征评价

明晰黄河流域河湖生态环境演变特征是研究流域河湖生态环境复苏问题的重要基础。根据系统性、全面性和可获取性原则,选取 10 项指标(图 1),通过熵权计算获得河湖生态环境发展指数(eco-environment development index, EDI),以此来评价黄河流域河湖生态环境演变特征^[12-14]。EDI 数值越大,表示流域河湖生态环境越好,越趋于良性循环;数值越小,表示流域河湖生态环境越差,存在一定的问题。

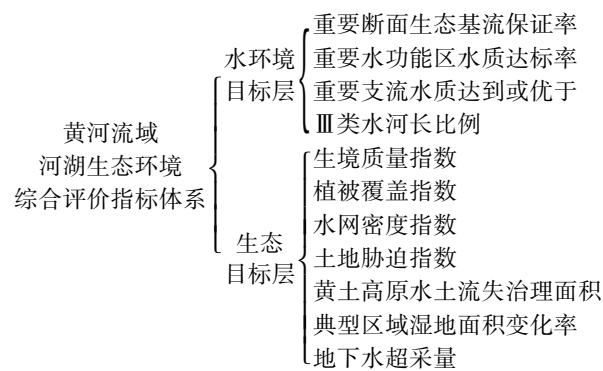


图 1 黄河流域河湖生态环境综合评价指标体系

Fig.1 Comprehensive evaluation index system for eco-environment of rivers and lakes in the Yellow River Basin

本文计算所需黄河流域土地利用、归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)等数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>);黄河流域湿地面积数据来源于美国陆地卫星 Landsat 遥感影像;黄河流域水文、生态等数据由水利部黄河水利委员会提供,上述数据时间范围均为 1980—2019 年。数据采用直线插值、样条插值、拉格朗日插值、灰色预测法等方法进行预处理^[13,15]。

黄河流域河湖 EDI 逐年变化情况如图 2 所示,EDI 总体呈上升趋势,2019 年达到最大值 0.77,1981 年为最小值 0.57,平均值为 0.64,说明黄河流域河湖生态环境整体向好,流域河湖生态环境系统逐步由混乱无序向稳定有序发展。具体来说,1980—1997 年黄河流域建设和经济进入加速发展阶段,经济发展方式粗放,重点追求 GDP 增长率,引发黄河流域一系列河湖生态环境问题,特别是 1979 年三北防护林工程、1984 年黄河防护林工程的实施,使河湖 EDI 整体呈现下降趋势;2002—2019 年,黄河流域经济发展由粗放模式向集约模式转变,经

济增长的同时,生态保护和治理得到重视,黄土高原水土保持治理、污染防治以及小浪底水库建成后黄河干流水资源统一调度体系的日渐成熟,促进黄河河湖生态环境的有效复苏^[16]。但黄河河湖生态环境的全面复苏仍面临着区域河湖断流、人为水土流失和河湖水污染严重、地下水超载等问题的挑战^[17]。



图 2 黄河流域河湖 EDI 变化趋势

Fig.2 EDI trend for rivers and lakes in the Yellow River Basin

以黄河流域重要断面生态基流保证率和生境质量指数为例来展示流域生态环境系统中单一指标变化特征。从图 3 可以看出,兰州断面生态基流保证率均达到 100%,说明黄河干流上游生态水量较充足,为兰州鲇等重要土著保护鱼类提供了基本的栖息环境;花园口、利津断面生态流量在 1980—2003 年间存在缺口,特别是利津断面,个别年份生态基流保证率不足 30%。从 2004 年开始,3 个主要断面的生态基流保证率几乎全部达到 100%,该指标的演化趋势表征了黄河干流生态水量得到系统性改善。

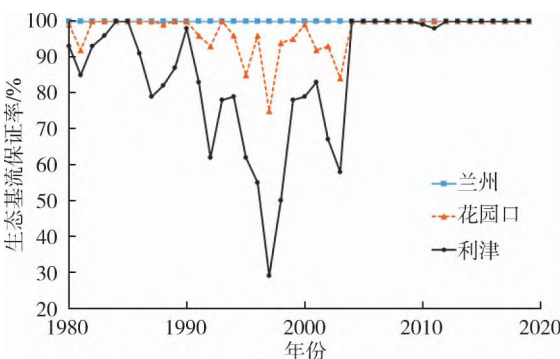


图 3 黄河流域重要断面生态基流保证率

Fig.3 Guarantee rates of ecological baseflow for important sections of the Yellow River Basin

黄河流域内各省(区)生境质量指数如图 4 所示。1980—2009 年黄河流域河湖生态环境系统总体稳定,生境质量指数有轻微的波动,年均变化率不足 0.1%,说明随着区域经济社会的不断发展,重要野生动植物栖息地和生境得到了一定程度的保护。流域内各省(区)生境质量指数变化幅度最显著的

是内蒙古自治区,初期波动较大,2014 年之后逐渐放缓,说明生境质量下降的趋势得到逐步遏制,这可能与黄河流域内宁蒙地区退耕还林还草还湿系统工程的成效开始显现有关;黄河流域河南省境内多为大堤内滩区,生境质量 2006 年之后呈微弱上升趋势,即随着黄河下游滩区综合提升和生态廊道建设,黄河流域河南省境内河湖生态环境有望进一步复苏。

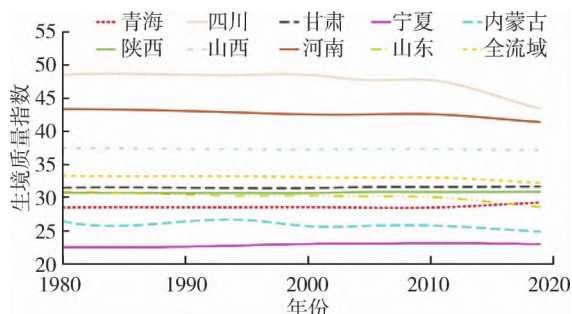


图4 黄河流域生境质量指数

Fig. 4 Habitat quality index of the Yellow River Basin

2 黄河流域河湖生态环境复苏目标与格局

2.1 黄河流域河湖生态环境复苏面临的问题

a. 河湖生态环境脆弱。青藏高原冰川、草原草甸、三江源和祁连山是高寒生态系统,生态地位重要,易发生退化,遭到破坏后恢复难度大、且过程缓慢。与 20 世纪 80 年代比,目前河源区冰川雪地面积极减少 52%,湿地面积萎缩 20%,草地面积减少 5.5%,水源涵养能力偏低。此外,黄河干支流生产用水挤占生态用水,据测算,年均生态水量亏缺约 20 亿 m^3 ,特别是汾河、沁河、大黑河、大汶河等支流断流问题突出,河湖生态保护压力持续增大。汾河、延河、泾河等支流污染严重,劣 V 类水质断面占比达 11.3%^[18];农村水系存在淤塞萎缩、水域空间被挤占、缺水断流、水污染严重、水生态恶化等问题^[19]。

b. 区域地下水超采。黄河流域水资源开发利用率高,高达 80%,远超一般流域 40% 的生态警戒线。流域地下水超采的县级行政区有 62 个,占县级行政区数量的 14%;汾渭平原等地区存在地下水超采,浅层地下水年均超采量达 9.4 亿 m^3 ^[20]。

c. 流域水土流失严重。2019 年流域近 50% 的水土流失面积未得到有效治理,其中 7.86 万 km^2 为多沙、粗沙区,自然条件十分恶劣,尤其是 1.88 万 km^2 的粗泥沙集中来源区治理难度更大;梯田、淤地坝等建设标准普遍偏低、病险率高,亟待提质增效;城镇化、工业化与资源开发导致流域生产建设项目数量多、规模大、涉及范围广,人为水土流失问题突出,水土保持监测、监管能力亟待拓展和

加强^[21]。

2.2 河湖生态环境复苏目标

a. 河湖生态保护。按照重塑和保持河流健康生命形式的要求,分区、分类确定黄河流域河湖生态流量目标,复苏河湖生态环境;推动流域河湖空间管控范围划定与河湖水域岸线空间分区、分类管控,深入实施河湖空间带修复,不断打造沿流域河湖分布的绿色生态廊道。

b. 流域地下水超采治理。在确定地下水取用水量水位控制指标的基础上,严格控制区域地下水开发强度,进一步压减区域地下水超采量;通过多渠道互补措施实现水源替换和超采区地下水回补,逐步达到黄河流域采补平衡状态。

c. 流域水土流失综合治理。以黄河中上游地区为重点,通过坡耕地、淤堤坝、侵蚀沟等治理工程建设,提升流域水土流失治理效益;以山青、水净、村美为目标,以沟道治理、水源涵养、生态修复等措施实现流域生态复苏,消除黄河中上游地区的人为水土流失问题。

2.3 河湖生态环境复苏总体格局

统筹协调干支流、上下游、左右岸等关系,构建黄河流域“三区一廊”的河湖生态环境复苏格局。“三区”即以三江源、若尔盖、甘南、祁连山、秦岭、六盘山等为主的水源涵养区,以青海东部、陇中陇东、陕北、晋西北、宁夏南部黄土高原为主的水土保持区,以黄河口等重要湿地为主的湿地保护区等三大区域。“一廊”即以黄河干流及湟水、大夏河、洮河、无定河、渭河、汾河、伊洛河、沁河、金堤河、大汶河等支流为主,形成上下贯通的生态廊道^[2,22]。

3 黄河流域河湖生态环境复苏实现路径

3.1 强化河湖监管

a. 强化河湖水域保护和监管。以黄河流域主要河湖防洪、供水、生态安全为目标,开展河湖管理范围、行蓄洪区、饮用水水源地、水源涵养与水土流失防治区等河湖涉水空间范围的划定工作,对建设水利基础设施等需求,留足必要的空间和廊道;确定不同类型涉水空间的功能定位和用途,明确管理界限、管理单位与管理要求;加强与国土空间规划对接协调,确保涉水空间划分成果纳入同级国土空间基础信息平台,叠加到国土空间规划“一张图”上。加强河湖水域岸线保护与管控,强化规划约束机制,编制河湖岸线保护和利用规划,划定岸线保护区、保留区、控制利用区和开发利用区,严格分区管理和用途管制,依法严格规范涉河建设许可,加强事中、事后监管。

b. 加强河流生态流量管控。制定生态流量保障方案,落实各项保障措施,明确相关责任主体,加强水量调度,强化用水总量控制;协同制定重要支流生态流量调度方案,因河施策,保障河流基本生态流量。建立健全干流和主要支流生态流量监测、预警机制,完善生态流量监测设施,根据河湖生态流量保障目标,由水利部确定河湖生态流量预警等级和阈值,及时发布预警信息;全面加强河流重要控制断面监测站点建设,建设水电站生态流量泄水设施及在线监控装置,推动已建涉水工程生态化改造,增设必要的生态流量监测计量设施,完善监管体系^[23]。

3.2 提升河流生态廊道功能

a. 加强黄河干流生态廊道保护。上游加强宁蒙灌区深度节水控水行动,优化梯级水库群运行方式,提高河流重要断面基本生态流量保障程度,合理控制宁蒙灌区地下水位,维持西北干旱区灌溉绿洲生态平衡。中游加强黄河干流水量统一调度,发挥古贤水利枢纽工程径流调节作用,保障中游潼关断面基本生态流量;推动鱼类产卵场修复与重建,实施黄河禁渔期制度,并在适宜的河段,开展水生生物增殖放流。统筹河道水域、岸线和滩区生态建设,建设下游生态航道,保护河道自然岸线,营造自然深潭浅滩,为生物提供多样性生境。加强黄河骨干水库统一调度,保障河流基本生态流量和入海水量。推进柔性河防工程等生态友好型工程试点建设,加强下游黄河两岸生态防护林建设,发挥其水土保持、防风固沙、加固堤防等功能。

b. 构建重要支流生态廊道。优化支流水资源配置,逐步退还挤占的生态用水,遏制汾河、沁河、大汶河等支流断流态势,保障湟水、大通河、洮河、无定河、渭河、伊洛河等支流入黄控制断面基本生态流量。加强黄河源头区支流以及湟水干流多巴以上河段、大通河中上游、洮河上游、伊洛河中下游等土著鱼类重要栖息地分布河段的保护,以国家公园、重要水源涵养区、珍稀物种栖息地等为重点区域,清理整治过度的小水电开发,加强鱼类生境保护与修复,因地制宜建设过鱼设施。严格规范河道采砂行为,依法严厉打击河道内非法采石挖沙,禁止倾倒垃圾、开垦、开矿等不合理的人为活动,综合采取河岸带植被恢复、河流生境修复、水环境保护等多种措施,恢复河流连通性,提升生态廊道功能。

c. 加强重要湖泊保护与修复。加强乌梁素海、沙湖等湖泊周边农田面源源头治理,控污截污,提升湖泊水质;实施湖岸生态保护与修复,改善湖泊及周边生态环境,控制人类活动对湖泊的影响,修复湖泊生态功能。优化红碱淖流域水资源配置,保障入湖

河流的入湖水量,适时开展应急生态补水;保护遗鸥等的重要生境,实施封育保护、植被修复等生态综合治理工程。推进东平湖综合整治,在保障黄河下游防洪安全的前提下,实施水生态保护与修复工程,通过污染控制、恢复重建、栖息地保护等措施,改善湖区水环境,提高生物多样性。

3.3 实施地下水超采治理与监管

a. 开展地下水超采治理。按照逐步压减地下水超采量、实现采补平衡的原则,开展地下水超采综合治理。以鄂尔多斯台地、汾渭谷地、沁河下游地区、黄河下游引黄灌区等地下水超采区域为重点,制定地下水超采治理与保护方案,综合采取节水、退减灌溉面积、水源置换、关停地下水水井等措施,加快推进地下水压采,严格地下水水量、水位双控,逐步实现地下水采补平衡。

b. 加强地下水监管。以县域为单元,明确地下水取用水量计量率、监测井密度、灌溉用机井密度等管理指标,实施地下水水量、水位双控,加强超采区地下水开发利用监督管理,暂停超采行政区新增取水许可。加强黄河干流宁夏段、北干流、三门峡至小浪底区间及湟水、汾河、沁河等支流地下水水位观测,控制地下水开采量,维持合理的地下水水位,严格实施限采区管理。强化山西、陕西、河南等重点超采区域监管联防联控,系统开展流域地下水超采区评价、治理效果监督检查与动态评估,充分发挥国家地下水监测工程作用,完善地下水监测及计量系统建设,建立地下水超采预警机制和监管平台,健全全国一流域一省(区)监测信息共享机制。

3.4 加大黄土高原水土流失综合治理

a. 大力开展淤地坝建设。以晋陕蒙甘等为重点,在沟壑发育活跃、重力侵蚀严重、水土流失剧烈的黄土丘陵沟壑区,大力开展淤地坝建设,加强对淤地坝建设的规范指导,推广应用新标准、新技术、新工艺,建设一批高标准、高质量的淤地坝。在皇甫川、清水川、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、清涧河、延河等9条主要支流,优先安排建设黄河粗泥沙集中来源区拦沙工程,抬高沟道侵蚀基准面,发挥固土拦沙作用。继续加大对现有淤地坝风险隐患排查力度,加强病险淤地坝除险加固,提升改造老旧淤地坝,推动坝系农业保障体系建设,充分发挥淤地坝拦沙减蚀作用。

b. 促进高质量旱作梯田发展。以陕甘晋宁青山地丘陵沟壑区等为重点,围绕脱贫攻坚、乡村振兴和美丽乡村建设,对年降水量300 mm以上地区,选择坡耕地面积占比大、坡度5°~15°、近村近路、集中连片且正在耕种的坡耕地,大力开展高标准旱作

梯田建设,积极推广应用旱作农业新技术、新模式,发展高附加值种植业。大力推广农业蓄水保水技术,配套田间生产道路、排灌沟渠、水窖、蓄水池等措施,加强雨水集蓄利用。因地制宜对窄幅、配套设施不完善、跑土跑水跑肥、产量低、效益低的老旧梯田进行改造。结合农村人口转移、生态移民和相关政策,有计划地对坡耕地实施退耕还林还草。

c. 因地制宜开展植被保护和修复。遵循黄土高原植被带分布规律,按照宜林则林、宜草则草的原则,采取人工造林、飞播造林等多种措施,开展植被保护和修复。对年降水量 200 mm 以下的阴山南麓、贺兰山东麓干旱地区,以种草、草原改良、封育保护为主;对年降水量 200 ~ 400 mm 的鄂尔多斯台地等半干旱地区,以种植灌草、封育保护为主,在沟底或水分条件较好的区域因地制宜种植乔木;对年降水量 400 mm 以上的半湿润地区,实施乔灌草相结合,在生态脆弱区域减少人为破坏,对现有植被进行保护。结合地貌、土壤、气候和技术条件,科学选育人工造林树(草)种,改善林相结构,提高造林成活率和保存率。适度发展经济林和林下经济,提高生态效益和农民收益。在晋陕蒙砒砂岩地区,开展沙棘生态建设,结合淤地坝、谷坊等拦沙工程建设,治理砒砂岩区水土流失,减少入黄泥沙,改善生态环境,促进区域经济发展和群众脱贫致富。

d. 推进固沟保塬工程建设。以陇东董志塬、晋西太德塬、陕北洛川塬、关中渭北台塬等塬区为重点,突出“固沟保塬,以沟养塬”,实施黄土高原沟壑区固沟保塬项目,建设塬面、沟头、沟坡、沟道水土流失综合治理“四道防线”,遏制塬面萎缩趋势,保护优质耕地资源。塬面修筑梯田埝地,充分利用地埂栽植经济作物,建立中小型雨水集蓄利用与径流排导相结合的径流调控体系;沟头修筑防护工程和涝池;沟坡上部实行条田台田化,大力营造经济林,沟坡下部营造水土保持林;沟道修建淤地坝、谷坊和防冲林,减少重力侵蚀。

4 结 论

a. 黄河流域河湖生态环境整体向好,且流域河湖生态环境系统逐步由混乱无序向稳定有序发展。2002 年以来黄河干流水资源统一调度体系日益成熟,促进了流域河湖生态环境的有效复苏。

b. 黄河流域河湖生态环境复苏仍面临河湖生态环境脆弱、区域地下水超采、流域水土流失等问题。

c. 黄河流域应以干支流、上下游、左右岸的统筹协调为基础,从强化河湖监管、提升河流生态廊道功能、实施地下水超采治理与监管、加大黄土高原水

土流失综合治理等 4 个方面入手实现河湖生态环境的全面复苏。

d. 优质的生态环境是最普惠的民生福祉,提升黄河水生态环境质量和稳定性是实现河湖功能永续利用的重要举措之一。

参考文献:

- [1] 牛玉国,张金鹏. 对黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的几点思考[J]. 人民黄河,2020,42(11):1-4. (NIU Yuguo, ZHANG Jinpeng. Thoughts on the national strategy of ecological protection and high quality development in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2020,42(11):1-4. (in Chinese))
- [2] 赵娜娜,王贺年,张贝贝,等. 若尔盖湿地流域径流变化及其对气候变化的响应[J]. 水资源保护,2019,35(5):40-47. (ZHAO Nana, WANG Henian, ZHANG Beibei, et al. Runoff variation in Zoige Wetland Basin and its response to climate change[J]. Water Resources Protection,2019,35(5):40-47. (in Chinese))
- [3] 刘昌明,刘小莽,田巍,等. 黄河流域生态保护和高质量发展亟待解决缺水问题[J]. 人民黄河,2020,42(9):6-9. (LIU Changming, LIU Xiaomang, TIAN Wei, et al. Ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin urgently need to solve the water shortage problem[J]. Yellow River,2020,42(9):6-9. (in Chinese))
- [4] 唐克旺,石秋池. 黄河治理要有新思维[J]. 水资源保护,2021,37(1):86. (TANG Kewang, SHI Qiuchi. New thinking on harnessing the Yellow River[J]. Water Resources Protection,2021,37(1):86. (in Chinese))
- [5] 司源,王远见,任智慧. 黄河下游生态需水与生态调度研究综述[J]. 人民黄河,2017,39(3):61-64. (SI Yuan, WANG Yuanjian, REN Zhihui. A review of ecological water requirement and ecological reservoir operation in the lower Yellow River[J]. Yellow River, 2017,39(3):61-64. (in Chinese))
- [6] 李锐. 黄土高原水土保持工作 70 年回顾与启示[J]. 水土保持通报,2019,39(6):298-301. (LI Rui. Review and enlightenments of soil and water conservation on loess plateau in past 70 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2019,39(6):298-301. (in Chinese))
- [7] 左其亭. 黄河流域生态保护和高质量发展研究框架[J]. 人民黄河,2019,41(11):1-6. (ZUO Qiting. Research framework for ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Yellow River,2019,41(11):1-6. (in Chinese))
- [8] 彭苏萍,毕银丽. 黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术 与战略思考[J]. 煤炭学报,2020,45(4):1211-1221. (PENG Suping, BI Yinli. Strategic consideration and core technology about environmental ecological restoration in

- coal mine areas in the Yellow River Basin of China [J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45 (4) : 1211-1221. (in Chinese)
- [9] 郑从奇, 武玮, 魏杰, 等. 黄河下游支流大汶河鱼类多样性及影响因子分析 [J]. 水资源保护, 2020, 36 (6) : 31-38. (ZHENG Congqi, WU Wei, WEI Jie, et al. Fish diversity and its influencing factors in the Dawen River, a tributary of the lower Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2020, 36 (6) : 31-38. (in Chinese))
- [10] 孟望生, 邵芳琴. 黄河流域环境规制和产业结构对绿色经济增长效率的影响 [J]. 水资源保护, 2020, 36 (6) : 24-30. (MENG Wangsheng, SHAO Fangqin. Influence of environmental regulation and industrial structure on the growth efficiency of green economy in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2020, 36 (6) : 24-30. (in Chinese))
- [11] 赵良仕, 刘思佳, 孙才志. 黄河流域水-能源-粮食安全系统的耦合协调发展研究 [J]. 水资源保护, 2021, 37 (1) : 69-78. (ZHAO Liangshi, LIU Sijia, SUN Caizhi. Study on coupling and coordinated development of water-energy-food security system in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2021, 37 (1) : 69-78. (in Chinese))
- [12] 左其亭, 费小霞, 李东林. 黄河流域生态保护和高质量发展水利专项规划思路与内容框架 [J]. 人民黄河, 2020, 42 (9) : 21-25. (ZUO Qiting, FEI Xiaoxia, LI Donglin. Special planning ideas and content framework of water conservancy for ecological conservation and high-quality development of the Yellow River Basin [J]. Yellow River, 2020, 42 (9) : 21-25. (in Chinese))
- [13] 张金良, 陈凯, 张超, 等. 基于熵权的黄河流域生态环境演变特征 [J]. 中国环境科学, 2021, 41 (8) : 3767-3774. (ZHANG Jinliang, CHEN Kai, ZHANG Chao, et al. The change characteristics of ecological environment in the Yellow River Basin based on entropy weights [J]. China Environmental Science, 2021, 41 (8) : 3767-3774. (in Chinese))
- [14] 张金良, 金鑫, 严登明, 等. 幸福河框架下黄河流域社会系统发展特征研究 [J]. 人民黄河, 2021, 43 (4) : 1-5. (ZHANG Jinliang, JIN Xin, YAN Dengming, et al. Study on the evolution characteristics of social development system in the Yellow River Basin under the framework of Happiness River [J]. Yellow River, 2021, 43 (4) : 1-5. (in Chinese))
- [15] 高玉琴, 刘钺, 赵晨程, 等. 南方季节性缺水河流逐月保证率设定法的改进 [J]. 水资源保护, 2021, 37 (2) : 95-101. (GAO Yuqin, LIU Yue, ZHAO Chencheng, et al. Improvement on monthly guarantee rate setting method for seasonal water shortage rivers in South China [J]. Water Resources Protection, 2021, 37 (2) : 95-101. (in Chinese))
- [16] 朱永明, 杨姣姣, 张水潮. 黄河流域高质量发展的关键影响因素分析 [J]. 人民黄河, 2021, 43 (3) : 1-5. (ZHU Yongming, YANG Jiaojiao, ZHANG Shuichao. Analysis of key factors influencing the high-quality development of Yellow River Basin [J]. Yellow River, 2021, 43 (3) : 1-5. (in Chinese))
- [17] 张红武. 黄河流域保护和发展存在的问题与对策 [J]. 人民黄河, 2020, 42 (3) : 1-10. (ZHANG Hongwu. Problems and countermeasures in the protection and development of the Yellow River Basin [J]. Yellow River, 2020, 42 (3) : 1-10. (in Chinese))
- [18] 李家科, 彭凯, 郝改瑞, 等. 黄河流域非点源污染负荷定量化与控制研究进展 [J]. 水资源保护, 2021, 37 (1) : 90-102. (LI Jiake, PENG Kai, HAO Gairui, et al. Research progress on quantification and control of non-point source pollution load in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2021, 37 (1) : 90-102. (in Chinese))
- [19] 李军华, 许琳娟, 张向萍, 等. 河道调整研究现状及其对黄河下游游荡型河道调整的启示 [J]. 水利水电科技进展, 2021, 41 (4) : 1-6. (LI Junhua, XU Linjuan, ZHANG Xiangping, et al. Current research status of river regulation and its enlightenment to wandering river regulation in the lower reaches of the Yellow River [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2021, 41 (4) : 1-6. (in Chinese))
- [20] 王慧亮, 申言霞, 李卓成, 等. 基于能值理论的黄河流域水资源生态经济系统可持续性评价 [J]. 水资源保护, 2020, 36 (6) : 12-17. (WANG Huiliang, SHEN Yanxia, LI Zhuocheng, et al. Sustainability assessment of water resources ecological-economic system in the Yellow River Basin based on energy theory [J]. Water Resources Protection, 2020, 36 (6) : 12-17. (in Chinese))
- [21] 杨玉霞, 闫莉, 韩艳利, 等. 基于流域尺度的黄河水生态补偿机制 [J]. 水资源保护, 2020, 36 (6) : 18-23. (YANG Yuxia, YAN Li, HAN Yanli, et al. Compensation mechanism of the Yellow River water ecology based on watershed scale [J]. Water Resources Protection, 2020, 36 (6) : 18-23. (in Chinese))
- [22] 牛玉国, 王煜, 李永强, 等. 黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障布局 and 措施研究 [J]. 人民黄河, 2021, 43 (8) : 1-6. (NIU Yuguo, WANG Yu, LI Yongqiang, et al. Water security layout for the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin [J]. Yellow River, 2021, 43 (8) : 1-6. (in Chinese))
- [23] 段红东. 生态水利工程概念研究与典型工程案例 [J]. 水利经济, 2019, 37 (4) : 1-4. (DUAN Hongdong. Conceptual research on eco-hydraulic engineering and case study of typical projects [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37 (4) : 1-4. (in Chinese))

(收稿日期: 2021-07-28 编辑: 施业)