



•研究报告•

基于“三类分区框架”的黄河流域生物多样性保护策略

曹 越 侯姝彧 曾子轩 王小珊 王方邑 赵智聪 杨 锐*

(清华大学国家公园研究院/清华大学建筑学院, 北京 100084)

摘要: 黄河流域生态保护与高质量发展已上升为重大国家战略, 研究黄河流域的生物多样性保护策略具有重要意义。本文将“为实现生物多样性保护和可持续利用的全球三类分区”实施框架(简称“三类分区框架”)应用于黄河流域。该框架将国土空间分为城市与农田(C1景观)、共享景观(C2景观)和大面积荒野(C3景观)三类分区。基于该框架, 首先描述了黄河流域三类分区的空间格局; 进而基于文献研究, 识别了黄河流域三类分区中5类生物多样性的直接威胁因素, 包括栖息地丧失和退化、气候变化、污染、过度开发与不可持续的利用和外来物种入侵; 最后以系统性的思路从国土空间规划、自然保护地、生态城市、生态农业、生态工程和河流生态系统6个方面, 提出黄河流域的生物多样性保护策略。本文的分析框架也有潜力应用于其他区域的生物多样性保护策略研究。

关键词: 生物多样性; 自然保护地; 空间规划; 城市; 乡村; 荒野

Biodiversity conservation strategies for the Yellow River basin based on the Three Conditions Framework

Yue Cao, Shuyu Hou, Zixuan Zeng, Xiaoshan Wang, Fangyi Wang, Zhicong Zhao, Rui Yang*

Institute for National Parks, Tsinghua University/ School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084

Abstract: Ecological conservation and high-quality development in the Yellow River basin have become national focuses for China. Therefore, it is important to study the biodiversity conservation strategies for the Yellow River basin. This paper utilizes the implementation framework of “Three Global Conditions for Biodiversity Conservation and Sustainable Use”, which divides all landscapes into three categories: cities and farms (C1 landscapes), shared lands (C2 landscapes), and large wild areas (C3 landscapes). This framework considers biodiversity conservation for all landscapes and is conducive for the implementation of conservation strategies. Here, we apply the three conditions framework to China on a regional scale. We first analyze the spatial pattern of the three conditions in the Yellow River basin. We then identify the direct threats to biodiversity in this region based on a literature review. Finally, we put forward some possible systematic biodiversity conservation strategies for this region.

The spatial pattern of the three conditions in the Yellow River basin. The Yellow River basin mainly consists of C1 and C2 landscapes, comprising 45.5% and 52.9% of the basin area, respectively. C1 landscapes are highly modified by human activity and are widely distributed in the Loess Plateau and the North China Plain. C2 landscapes are mainly distributed in the Ordos Plateau and the upper reach of the Yellow River. C3 landscapes are mainly distributed at the source region of the Yellow River on the Qinghai-Tibet Plateau and in the northwest region of the Ordos Plateau, taking up merely 1.6% of the basin area.

Direct threats to biodiversity in the Yellow River basin. Direct threats to biodiversity include: (1) Habitat loss and degradation. Urban expansion and industrial/mining development in C1 and C2 landscapes have directly resulted in habitat loss and degradation. The expansion of agricultural areas has led to reduction of natural habitats and wetlands. Additionally, road construction has resulted in habitat fragmentation and dam

收稿日期: 2020-04-15; 接受日期: 2020-08-31

基金项目: 国家自然科学基金(51978365)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yru@mail.tsinghua.edu.cn

construction is threatening the river ecosystem. (2) Climate change. Climate warming and drying has negatively impacted C3 landscapes. In some C2 landscapes, vegetation has degraded. In C1 landscapes, climate change may further increase the demand for agricultural production, putting more pressures on nature. (3) Pollution. Cities and farms in C1 and C2 landscapes produce a large amount of waste, resulting in water, soil, air and noise pollution. (4) Over exploitation. The large demand for water due to over exploitation of agriculture and animal husbandry, excessive tourism development, and unnecessary construction projects all have negatively affected biodiversity. (5) Invasive species. The Yellow River is at risk of invasive species invasions due to aquaculture, aquatic trade and release activities.

Biodiversity conservation strategies in the Yellow River basin. Various ecological protection projects in the Yellow River basin have already seen success. In an effort to focus on biodiversity conservation, we propose the following six additional strategies: (1) Realizing “conservation covering all landscapes” through spatial planning. (2) Improvement of the protected areas system. (3) Systematically improving production and ecological efficiency in agriculture. (4) Building ecological cities. (5) Improving biodiversity conservation in ecological engineering projects. (6) Strengthening the overall protection of the river ecosystem in this region.

Key words: biodiversity; protected area; spatial planning; urban area; rural area; wild area

2019年9月, 习近平总书记在河南郑州主持召开了黄河流域生态保护和高质量发展座谈会, 明确指出黄河流域在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位, “保护黄河是事关中华民族伟大复兴和永续发展的千秋大计。黄河流域生态保护和高质量发展, 同京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展一样, 是重大国家战略”。新时代的黄河流域高质量发展需要协调人类活动与生态环境的关系, 最终实现生态保护与高质量发展的协同(陆大道和孙东琪, 2019; 樊杰等, 2020)。

黄河流域位于96°53′–119°05′ E, 32°10′–41°50′ N 之间, 横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和江淮平原, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 个省(自治区), 流域面积 75 万 km²。黄河流域在我国国土生态安全格局中具有重要地位, 特别是在生物多样性保护和生态功能维持方面, 黄河流域中的多个地区具有国家重要性: (1)《中国生物多样性保护优先区域范围》(2015 年)划定的 35 个生物多样性保护优先区域中, 涉及黄河流域的有 6 处, 包括羌塘–三江源、祁连山、西鄂尔多斯–贺兰山–阴山、六盘山–子午岭、秦岭以及太行山生物多样性保护优先区域; (2)《全国生态功能区划(修编版)》(2015 年)在全国划定了 63 个重要生态功能区, 其中涉及黄河流域的有 10 处, 包括三江源水源涵养与生物多样性保护重要区、甘南山地水源涵养重要区、川西北水源涵养与生物多样性保

护重要区、祁连山水源涵养重要区、西鄂尔多斯–贺兰山–阴山生物多样性保护与防风固沙重要区、鄂尔多斯高原防风固沙重要区、黄土高原土壤保持重要区、秦岭–大巴山生物多样性保护与水源涵养重要区、太行山区水源涵养与土壤保持重要区以及鲁中山区土壤保持重要区; (3)山水林田湖草生态保护修复工程共 25 个试点中, 涉及黄河流域的有 7 处, 包括甘肃祁连山、青海祁连山、宁夏石嘴山、内蒙古乌梁素海、陕西黄土高原、河南南太行以及山东泰山。

综上, 黄河流域中有多处区域在生态保护方面具有国家重要性。由于生物多样性保护是维持生态功能和促进高质量发展的根基, 因此开展黄河流域生物多样性保护策略研究具有重要意义。本文基于 2019 年 Harvey Locke 等提出的“为实现生物多样性保护和可持续利用的全球三类分区”实施框架(Three global conditions for biodiversity conservation and sustainable use: An implementation framework, 简称“三类分区框架”)(Locke et al, 2019), 分析了黄河流域三类分区的空间格局, 以及其中生物多样性面临的威胁, 并据此提出黄河流域生物多样性保护策略。

本研究首次探索三类分区框架在我国区域尺度中的应用, 有助于为我国生物多样性保护、国土空间规划、自然保护地体系建设等生态实践提供新的视角和分析框架。本研究选择三类分区框架对黄河流域进行分析的原因包括: (1)三类分区框架突破

了仅在自然保护地内保护生物多样性的局限性,这一框架覆盖全部国土空间,强调在所有国土空间中的生物多样性保护同等重要,但存在各自的特征和差异。(2)三类分区框架与我国国土空间规划的框架有相似性,该框架将国土景观分为城市与农田(cities and farms, 分区1/C1景观)、共享景观(shared lands, 分区2/C2景观)和大面积荒野(large wild areas, 分区3/C3景观),而我国国土空间规划强调生产空间、生活空间、生态空间的科学布局,因此基于三类分区框架的研究有助于从生物多样性保护的角度为国土空间规划提供支持。(3)三类分区框架是一种面向2020年后全球生物多样性保护的研究和规划框架。探索这一框架在我国的应用,有利于重新审视区域尺度上的生物多样性保护策略,也有助于发展这一框架。

1 基于人类影响程度的三类分区框架

2019年,世界自然保护联盟全球自然保护地委员会“后爱知目标”工作组组长Harvey Locke等提出了三类分区框架(Locke et al, 2019)。该分区基于土地集约利用区面积占比(包括建设用地、农用地、牧草地)以及人类影响程度(人类足迹数据)进行三类分区的划定。在全球尺度上,城市与农田、共享景观、大面积荒野分别占陆地面积的17.7%、55.7%和26.5%。这一划定总体上是基于人类足迹或荒野度的概念,三类分区分别为人类影响程度最高、中等和最低的区域(Locke et al, 2019)。该框架指出三类分区对于生物多样性保护均很重要,但保护策略存在差异:对于城市和农田,关键保护策略包括保护濒危物种、保护所有仅存的原始生态系统斑块、保护高质量农田、发展可再生农业、避免向淡水中排放氮、保护传粉者、加强生态修复、建设绿色城市等;对于共享景观,关键保护策略包括建立具有生态代表性和景观连通性的自然保护地、加强对关键生物多样性区域的保护、修复和保护生态过程与本地种群、确保自然资源的可持续利用等;对于大面积荒野,关键保护策略包括维持生态完整性及生态过程、限制工业发展、建立大面积的自然保护地及社区保护地等。

三类分区框架可视作一种生物多样性就地保护策略。现有的生物多样性就地保护策略主要包括:(1)针对已有的保护地,从保护地空间布局、保护地

连通性、保护地管理有效性等方面提出提升策略。(2)呼吁在对生物多样性保护重要的区域扩展或新建保护地。例如“半球方案”(Half-Earth) (Wilson, 2016)、生物多样性关键区域(key biodiversity areas) (Eken et al, 2004)、完整森林景观(intact forest landscapes) (Potapov et al, 2008)等。(3)基于国土空间区划特点提出针对不同分区的不同保护策略,如自然保护综合地理区划(郭子良, 2016)等。第三类策略与前两类相比,强调对国土空间的“全域保护”。三类分区框架可视作第三类策略的进一步发展,其核心特征是将生物多样性保护置于全部国土空间中进行考虑,而不仅仅是在自然保护地和荒野地之中考虑。同时该框架在分类上更加简洁,易于形成对国土空间的直观认识,并面向保护策略的实施。在国土空间全域整体的视角下,准确识别生物多样性的威胁因素并制定有针对性的保护策略,有助于实现生态保护与高质量发展的双重目标。

2 黄河流域三类分区空间格局

2.1 黄河流域三类分区空间识别

对Locke等(2019)发布的全球三类分区空间数据按照黄河流域边界进行提取,形成黄河流域三类分区地图。为弥补全球尺度数据分辨率和准确性的不足,同时使用我国2015年土地利用数据、荒野度数据与荒野地斑块数据(Cao et al, 2019)、生物多样性保护优先区域分布作为参照,如图1所示。

(1)三类分区空间格局(图1, 图2a)。黄河流域主要由C1和C2景观组成,分别占流域面积的45.5%与52.9%。受人类影响最大的C1景观广泛分布于黄土高原与华北平原。C2景观主要分布于鄂尔多斯高原与黄河上游,在黄土高原仅有零散分布。C3景观仅占流域面积的1.6%,主要分布于黄河源与鄂尔多斯高原的西北区域,是流域内人类干扰程度最低和荒野度最高的区域。

(2)土地集约利用区空间格局(图2b)。土地集约利用区包括建设用地与农用地,主要分布于华北平原和黄土高原。其中农用地占流域面积的26.4%,在黄河中下游与渭河两岸集中分布,在黄土高原零散分布;建设用地占流域面积的3.0%,集中分布于省会城市(西宁、兰州、银川、西安、呼和浩特、太原、郑州、济南)以及包头、三门峡、洛阳等黄河沿线主要城市。集中分布的建设用地与农用地主要位于C1

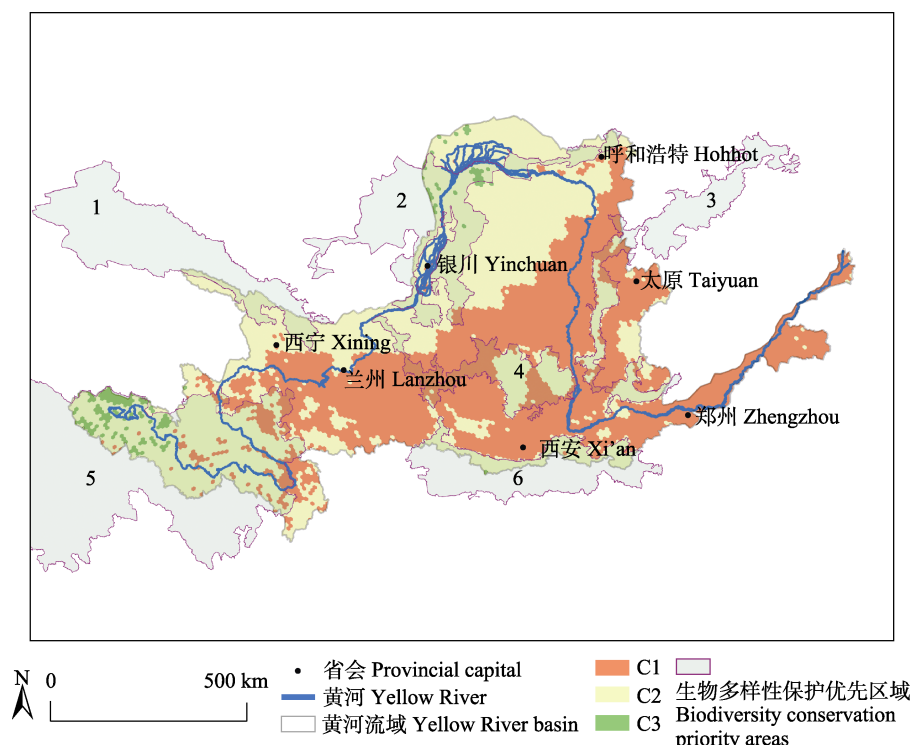


图1 黄河流域三类分区空间格局与生物多样性保护优先区域。涉及的6处生物多样性保护优先区域包括：1. 祁连山；2. 西鄂尔多斯-贺兰山-阴山；3. 太行山；4. 六盘山-子午岭；5. 羌塘-三江源；6. 秦岭。

Fig. 1 Spatial distribution of three conditions and biodiversity conservation priority areas in the Yellow River basin. Biodiversity Conservation Priority Areas include: 1. Qilian Mountains; 2. West Ordos-Helan Mountains-Yin Mountains; 3. Taihang Mountains; 4. Liupan Mountains-Ziwu Mountains; 5. Qiangtang-Sanjiangyuan; 6. Qinling.

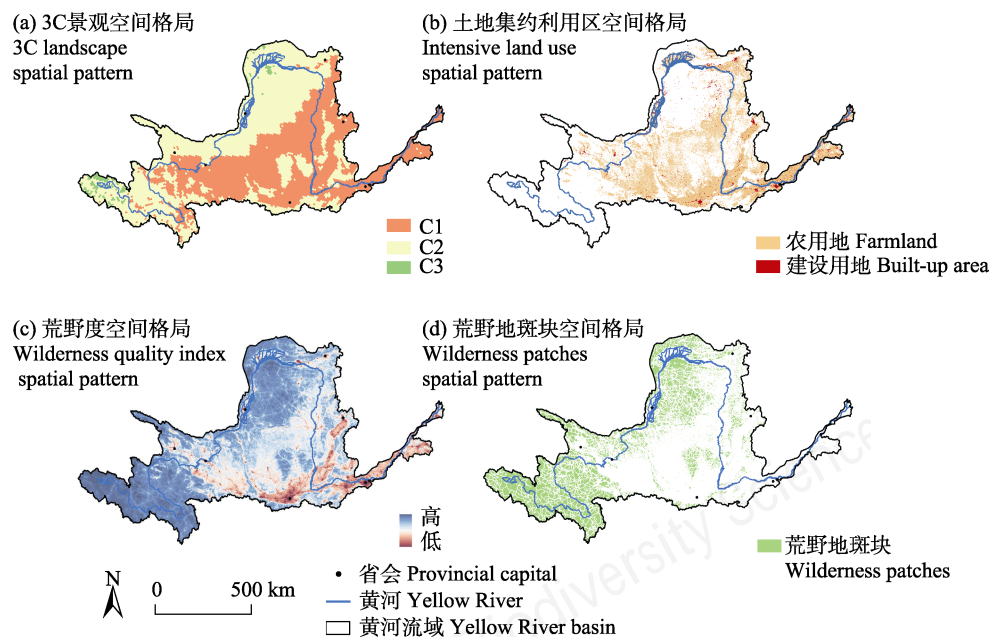


图2 黄河流域三类分区空间格局^①

Fig. 2 Spatial pattern of three conditions in the Yellow River basin^①

^① 数据来源：黄河流域边界和土地利用数据来自中国科学院资源环境科学数据(<http://www.resdc.cn/>)；3C景观数据来自Locke et al, 2019；荒野度和荒野地斑块数据来自Cao et al, 2019。地理坐标系为GCS WGS 84，投影坐标系为Asia North Albers Equal Area Conic。

编者按

景观中;非集中分布的农用地也存在于C2景观中;C3景观中基本不包含建设用地和农用地。

(3) 荒野度空间格局(图2c)。荒野度能够反映景观未被人类干扰的程度(Cao et al, 2019)。在黄河流域内,荒野度呈现由西向东逐渐递减的空间格局。高荒野度的区域主要分布于黄河源、鄂尔多斯高原、子午岭、吕梁山等;低荒野度的区域主要分布于华北平原、渭河两岸、晋中盆地以及城市区域。黄河流域内包含了多个高荒野度区域,但仅有黄河源与西鄂尔多斯高原部分区域被界定为C3景观。

(4) 荒野地斑块空间格局(图2d)。荒野地斑块具有明确的空间边界,识别标准为具有自然的土地覆盖、无机动车道路且无人类居民点(Cao et al, 2019)。流域内荒野地斑块面积共21.8万km²,占流域总面积的27%,主要分布于黄河源、鄂尔多斯高原、子午岭、黄龙山、吕梁山、六盘山等区域。

2.2 黄河流域三类分区的现状

(1) C1景观。C1景观主要由城市和农田组成,人类影响程度较高,集中分布在黄土高原地区和平原地区。黄河流域城乡、工矿、居民用地总面积为24,536 km²,占流域总面积的3.03%^①。2017年,黄河流域城镇化率为55.7%,略低于全国平均水平(赵建吉等, 2020)。一方面,人口向城市的集中减轻了C3和C2景观的生态压力;另一方面,城市的快速扩张和粗放发展也导致了栖息地破碎化、环境污染等问题。黄河流域超过78%的地级市为生态滞后型城市(赵建吉等, 2020),并且黄河沿岸分布有大量造纸、纺织、印染等高污染产业(张敏, 2015)。另外,黄河流域耕地共213,293 km²^①,占流域总面积的26.34%。农业景观对生物多样性存在双向影响:一方面,农业改变了自然生态系统的结构和功能,对区域生物多样性产生负面影响(Norris, 2008);另一方面,农业生态系统对生物多样性维持和人类生存具有重要价值。黄河流域的生态保护与高质量发展直接关系到我国的粮食安全(方兰和李军, 2019)。同时,保护农田生物多样性对实现生物多样性保护具有重要作用,例如朱鹮(*Nipponia nippon*)的保护是该区域中的一个典型案例(Li et al, 2020)。

(2) C2景观。C2景观主要分布于内蒙古鄂尔多斯高原与甘肃、青海等黄河中上游地区。其中秦岭

和中条山一带等水热条件较好的区域具有较高的生物多样性(董雪蕊等, 2019)。然而,人类生产高度依赖脆弱的生态环境,例如秦岭、六盘山、吕梁山等区域中存在经济发展与生态保护的潜在冲突(Quan et al, 2008; 潘景璐, 2013; 孙从建等, 2019)。在C2景观中,已开展退耕还林还草等生态工程,持续改善了区域生态环境(李相儒等, 2015)。

(3) C3景观。C3景观主要分布于青藏高原的黄河源头区域与鄂尔多斯高原的西北区域,在特殊的气候和地理条件下形成了独特的生态系统,具有很高的生物多样性保护价值。其中,黄河源属于高寒大陆性气候,具有高寒草地、高寒湿地等独特的生态系统,是雪豹(*Uncia uncia*)、藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)、藏野驴(*Equus kiang*)、黑颈鹤(*Grus nigricollis*)等珍稀野生动物的重要栖息地(董锁成等, 2002)。鄂尔多斯高原属于温带大陆性气候,具有丰富的荒漠特有种,拥有四合木(*Tetraena mongolica*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、半日花(*Helianthemum soongolicum*)、绵刺(*Potania mongolica*)等国家重点保护残遗种(韩秀珍等, 2002)。然而在全球气候变化与人类影响的双重威胁下,黄河流域的C3景观正面临草地退化、荒漠化、土壤盐碱化等问题,持续威胁当地的生物多样性。

总体上,黄河流域的C1、C2、C3景观具有不同的生物多样性特征,面临不同的威胁。本研究进一步针对3C景观中的典型区域(C1景观选取关中平原城市群、黄河三角洲等;C2景观选取秦岭、六盘山、子午岭、吕梁山等;C3景观选取黄河源、鄂尔多斯高原等),进行文献检索和归纳分析,识别生物多样性面临的直接威胁因素,进而提出相应的保护策略。

3 黄河流域三类分区中生物多样性的直接威胁因素

生物多样性的5类直接威胁因素包括栖息地丧失和退化、气候变化、污染、过度开发与不可持续的利用、外来物种入侵。每一种直接威胁因素都与具体的空间位置有关。我们基于文献研究,归纳出黄河流域中生物多样性面临的主要威胁。

3.1 栖息地丧失和退化

黄河流域栖息地丧失和退化的问题包括: (1) C1景观中的城市扩张和C2景观中的工矿建设导致

① 数据来源: 中国科学院资源环境科学数据中心, 2015年中国土地利用现状遥感监测数据库1 km土地利用数据集。

生境减少或破碎化。1980–2015年,黄河流域内城乡工矿建设用地增加6,794 km² (张冉等, 2019); 渭河岸的大量湿地生境被城市建设占用, 导致湿地生境丧失和生物多样性下降(Li Q et al, 2013); 乌海市由于城市扩张和煤炭开采, 当地特有濒危植物四合木的生境面积在1990–2020年间下降了35.8% (王光明, 2012; 秦山和潮洛濛, 2014)。(2) C1和C2景观中农用地扩张导致自然栖息地减少和湿地缩减。2005–2015年, 黄河流域中有约1,200 km² 的新增耕地, 其中吴忠–乌海区域和榆林有较多未利用地转变为耕地; 包头、渭南、洛阳、郑州有较多湿地转变为耕地; 滨州、泰安有少量湿地转变为耕地。(3) 道路等基础设施扩张导致栖息地破碎化。例如道路建设对黄河三角洲的湿生植物产生了较大干扰, 出现较为明显的湿生植物衰退和中生、旱生物种的入侵(王天巍, 2008)。(4) 河流大坝建设对流域栖息地产生负面影响。虽然黄河中众多的水利设施在防洪等多方面具有重要价值, 但也破坏了典型湿地生态系统的结构和功能(肖春艳, 2016), 例如三门峡水库的修建导致当地水生态环境恶化, 造成当地13种鱼类绝迹(郭乔羽和杨志峰, 2005)。

3.2 气候变化

气候变化对黄河流域3C景观产生了负面影响:(1) C3景观中, 黄河源区的气温和降水发生了明显变化(孙扬波等, 2009; 张照玺等, 2015), 从20世纪60年代末开始大约40年间, 该地区气温年增量0.03°C, 区域气候暖干化, 与过度放牧等因素共同导致冻土退化和栖息地破碎化等问题, 威胁当地动植物生存(Li N et al, 2013)。(2) C2景观中, 近年来黄土高原中森林和灌木生态系统的降水量增加, 而干旱和半干旱地区则由于温度上升和降水减少导致局部地区的植被退化(肖强等, 2016)。此外, 气候暖干化也是湿地退化的重要因素(肖春艳, 2016), 例如沿海地区的黄河三角洲极易因气候变化的影响而发生退化(Liu et al, 2020), 随着海平面上升、对海岸的侵蚀加剧、风暴潮等自然灾害的加剧, 湿地的淹没面积扩大, 导致群落生存空间被破坏^①。(3) C1景观中, 气候变化可能进一步加大农业发展对资源的需求, 对生态环境造成威胁。例如宁蒙引黄灌溉区近年的典型作物需水量和总灌溉需水量显著增加

(蒋飞卿等, 2019); 此外, 在气候变化背景下黄河流域未来的降水量呈减小趋势, 而主要作物小麦(*Triticum aestivum*)、春玉米(*Zea mays*)的灌溉需水量将增加^②。

3.3 污染

C1和C2景观中城市、工业与农业的发展产生大量固体、液体、气体废弃物, 造成水污染、土壤污染、空气污染、噪声污染等问题, 严重影响流域生物多样性:(1) 污染直接威胁流域生物多样性。如C1景观中, 由于农药和化肥的大量施用, 导致生态失衡、生物多样性降低(宇振荣等, 2019); C2景观中, 秦岭由于矿场建设破坏了水质, 威胁到大鳞黑线鲃(*Atrilinea macrolepis*)与国家二级重点保护鱼类秦岭细鳞鲑(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)、虎嘉鲑(*Hucho taimen*)的栖息地(周小愿等, 2010), 黄河三角洲的污染导致22种鱼类在当地绝迹(潘怀剑和田家怡, 2001)。(2) 重金属污染埋下生态安全隐患。污水排放、大气污染物沉降、雨水对固体废弃物的冲刷等导致大量重金属进入生态环境, 相当一部分停留在河流沉积物中^③。重金属在黄河流域湿地中的两栖类(韩瑞杰等, 2019)、鱼类(李吉锋和刘楠楠, 2019)体内富集, 对黄河三角洲黑嘴鸥(*Larus saundersi*)的孵化也有负面影响^④; 甚至C3景观中三江源的土壤(何林华和高小红, 2016)、湿地, 以及鄂尔多斯高原荒漠植被中也存在一定程度的重金属污染^⑤。

3.4 过度开发与不可持续的利用

大量生产生活用水需求、农牧业过度开发、不适宜的旅游开发、工程建设等对黄河流域生物多样性造成负面影响:(1) 黄河生态水量不足。黄河以全国2%的河川径流量, 负担着我国12%人口、15%耕地的供水任务, 长期“与河争水”导致鱼类栖息地缩小甚至丧失。尽管黄河水资源统一管理和南水北调等调水工程对黄河断流的现象有所缓解, 但仍存在较严重的生态流量赤字。(2) C1与C2景观中, 农业灌溉用水量增加, 导致湿地退化, 例如若尔盖湿地

① 刘丽云 (2007) 黄河三角洲湿地演化及其驱动力研究. 硕士学位论文, 山东师范大学, 济南.

② 张瑞涵 (2019) 气候变化条件下黄河流域的作物灌溉需水量. 硕士学位论文, 西安理工大学, 西安.

③ 王霞 (2014) 黄河上游典型地区底泥重金属调查与污染评价. 硕士学位论文, 兰州交通大学, 兰州.

④ 张凤姣 (2018) 重金属对黄河三角洲湿地鸟类的影响. 硕士学位论文, 曲阜师范大学, 曲阜.

⑤ 马慧 (2017) 东阿拉善–西鄂尔多斯九种荒漠植物重金属分布特征. 硕士学位论文, 内蒙古大学, 呼和浩特.

内的莎草科湿生物种逐渐被禾本科杂草和菊科等旱生物种取代,进而威胁珍稀濒危鸟类(崔丽娟, 2019)。(3)不适宜的人类活动在C2景观中造成负面影响,例如秦岭大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)栖息地(邓怀庆, 2013)与子午岭自然保护区的非可持续性旅游活动导致森林栖息地破碎化(张景群等, 2005)。(4) C3景观中,三江源地区的过度放牧对野生动物栖息地造成威胁(Yang et al, 2019)。

3.5 外来物种入侵

黄河流域中,干支流以及黄河三角洲面临外来物种入侵的威胁:(1)黄河干支流中,由于水产养殖、水产贸易、放生等原因出现了较多外来鱼种,外来鱼种持续增多且有向高海拔扩散的趋势,已经改变了当地鱼类区系组成,严重影响鱼类多样性(李芳等, 2008; 唐文家和何德奎, 2015; 侯淑敏等, 2016; Xie et al, 2018)。(2)黄河三角洲地区(C1景观),外来物种米草(*Spartina anglica*)对当地底栖动物、滩涂昆虫、滩涂浮游动物、滩涂浮游植物、底泥微生物和滩涂鸟类造成了显著的负面影响(朱士文等, 2012);另外,泥螺(*Bullacta exarata*)作为人工养殖苗种被引入黄河三角洲地区,对四角蛤蜊(*Macra veneriformis*)、毛蚶(*Scapharca subcrenata*)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)等当地传统底栖贝类造成巨大威胁,导致当地海域滩涂生物多样性下降(赵文溪等, 2017)。

4 黄河流域生物多样性保护策略

上文总结了黄河流域中5类生物多样性直接威胁因素。事实上,部分区域的生物多样性同时受到多种威胁因素的影响,不同区域中多种威胁因素的相对重要性也存在差异。例如,黄河河流与湿地生态系统面临的多种威胁包括:城市建设用地占用河道湿地、水利工程破坏河流的连通性和“自由流淌”特征、气候变化导致流域降水量减少与湿地退化、水污染严重影响河流湿地、生产生活用水需求导致河流生态流量不足与湿地退化、外来物种入侵导致河流生物多样性下降等。因此,在研究黄河流域生物多样性保护策略时,既需要考虑某一类威胁因素在各类空间中的影响,也需要考虑在某一类空间中多种威胁因素的综合影响。

针对黄河流域三类分区中生物多样性的直接威胁因素,依托我国的生物多样性保护体制,提出

以下6项生物多样性保护策略。部分策略会同时涉及三类分区中的二类或三类,但不同分区中的侧重点存在差异,部分策略则重点针对某一类分区。

4.1 在国土空间规划中实现“全域保护”

三类分区框架与“生产-生活-生态空间”(简称“三生空间”)存在一定的对应关系。生活空间与生产空间主要对应C1景观中的城市和农田区域;生态空间则以C3景观为主,也包括C1和C2景观中的重要生态区域。为实现生物多样性保护,应在各类国土空间中设置不同的生物多样性保护目标,采取控制威胁因素的措施,即实现“全域保护”。在国土空间生态保护修复中,应充分评估各类景观空间中的威胁因素,并对三类景观有不同的保护侧重点:(1)在C1景观中,准确评估城市和农业活动存在的影响,识别对生物多样性保护重要的区域并进行管理,关注对道路建设、居民点扩张和土地利用变化的管控。(2)在C2景观中,应保护和恢复自然保护地与荒野地的连通性。(3)在C3景观中,应制定措施以保护大面积荒野地的生态完整性,避免破碎化。

4.2 优化完善自然保护地体系

黄河流域尤其是中游和下游地区仍然存在明显的保护空缺,建议在三类分区中统筹布局自然保护地和“其他基于区域的有效保护措施”(Other effective area-based conservation measures, OECMs),并在三类分区中突出不同的保护地管理重点:(1) C3景观中,由于已经建立了大面积的保护地(如三江源国家公园体制试点区),因此提升保护地管理有效性是重点。如在黄河源地区,应进一步统筹协调自然保护与原住民的生产生活活动,加强对于神山圣湖等自然圣境的保护。(2) C2景观中,探索基于“再野化”的自然保护地建设和管理路径。识别对于生物多样性完整性和连通性重要且具有“再野化”可行性的区域,如黄土高原、南太行地区等乡村人口减少、土地废弃或实施退耕还林的地区,宜在科学研究论证的基础上消除或减弱人类干扰、恢复自然过程、保护和恢复关键种、设置生态廊道等(杨锐和曹越, 2019)。(3) C1景观中,应加强城市保护地的建设,加强城市生物多样性保护实践,并减少城市和农田产生的污染。

4.3 系统提升农业的生产效率与生态效率

为减少农业生产对生物多样性造成的威胁,黄河流域C1和C2景观中的农业区域可重点从以下方

面进行改善: (1)由于黄河流域水资源与耕地资源高度不匹配(张晓涛和于法稳, 2012), 应针对流域特征在耕作方式及技术应用等方面研发新方法、应用适宜技术, 提升能源资源的节约集约利用效率。(2)在山水林田湖草综合治理中, 应系统性地开展高标准农田与绿色农田建设选点, 加强重要地区农业生产方式的引导、管理与监测, 推动耕地质量与生态涵养功能的保护提升。(3)在后备耕地开发利用过程中, 须充分评估气候环境和水文资源条件以及生态影响, 建设兼具生产效率与生态效率的农田, 真正实现资源节约型和环境友好型的“两型农业”。

4.4 推进生态城市建设

位于C1景观中的城市, 其产生的污染与资源消耗会对C2、C3景观产生间接影响。黄河流域的呼和浩特市、洛阳市、石嘴山市、晋城市等作为“国家森林城市”, 在森林生态网络和生态文化建设等方面可作为黄河流域生态城市发展的先导力量; 在此基础上, 应进一步加强生态城市建设, 具体措施包括: 改善城市绿色空间, 增加城市绿地连通性, 注重城市绿地生物多样性营造; 促进城市节能减排; 引导高污染、高耗能产业转型, 发展绿色产业并推广可再生能源等(沈清基等, 2010)。此外, 应提高公众的可持续发展意识, 提倡低碳环保的生活方式。

4.5 在生态工程中加强生物多样性保护

随着20世纪末退耕还林与退牧还草等工程的开展, 黄河源区与黄土高原等地区的植被覆盖率显著增加(郭永强等, 2019; 修丽娜等, 2019), 区域景观格局得到改善(张海燕等, 2015)。然而, 区域生物多样性与生态系统功能仍然有待提升, 部分人工林内物种组成单一、乔灌木比例不均衡(孙浩等, 2016; 何志华等, 2017)。为此, 建议在黄河流域的生态工程中, 进一步加强对生物多样性的保护和恢复。应提倡基于自然的解决方案, 并从工程性修复转向以保护优先与自然恢复为主(杨锐和曹越, 2019)。例如, 在植被修复工程中, 应避免大面积纯林斑块聚集, 而应以混交林形成镶嵌斑块(何志华等, 2017); 在草原生态保护和修复工程中, 不宜简单地将人类活动完全排除, 而应找到放牧活动与生物多样性保护的平衡点(Li et al, 2016)。

4.6 加强黄河河流生态系统整体保护

随着治污、治沙、水量调控等工程的开展, 黄河水质得到了较大改善。然而当前针对黄河的保护

主要聚焦于水环境, 未来则需要进一步加强对流域生物多样性的保护。具体措施包括: 加强全流域污染治理; 建设节水型社会, 提高用水效率, 保证河道生态流量; 加强水利工程建设的环境评估, 提高河流连通性(李云成等, 2017); 加强对珍稀濒危鱼类和重要湿地的保护; 加强河岸保护, 恢复自然河道; 加强河流健康的监测与调控, 防止黄河生态系统进一步退化。

5 结论和讨论

本文基于“为实现生物多样性保护和可持续利用的全球三类分区”实施框架, 识别了黄河流域三类分区的空间格局以及生物多样性的直接威胁因素, 并以系统性的思路从国土空间规划、自然保护地体系、生态农业、生态城市、生态工程、河流生态系统6个方面提出黄河流域的生物多样性保护策略。

黄河流域的三类分区虽然状态各异且面临不同的压力, 但对于生物多样性保护都具有十分重要的意义。同时, 每一类空间所面临的威胁都可能源自于其他空间。这也说明了国土空间规划中“三生空间”以及“三条控制线”(生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界)不是割裂的关系, 生态红线可以位于对整体生态系统重要的生产和生活空间中, 生产和生活空间也应不同程度地承担生物多样性保护的功能。

研究的局限性与未来研究方向包括: (1)三类分区的精确划定。本文使用了全球尺度三类分区的数据对黄河流域进行研究, 未来可使用更高精度的数据进行三类分区的划定。另外, 三类分区与我国国土空间规划的对应关系不完全, 未来可进一步探讨三类分区框架与我国国土空间规划的关系, 并为国土空间规划提供生物多样性保护规划的视角和方法。(2)威胁因素的定量化表征。本文使用了文献研究法来识别威胁因素, 未能涵盖现有文献中研究基础较少的区域, 未来需要引入专家访谈和更多基础数据集, 完善威胁因素的定量化表征。应基于土地利用和土地覆被变化、气候变化、污染排放、水资源承载力、栖息地适宜性、物种入侵等空间数据集, 对威胁因素进行量化, 进一步提升保护策略的针对性; 并结合生态系统服务价值、地方特有物种分布、濒危物种分布等数据集, 评估生物多样性保护价值, 分析重点保护区域和威胁因素之间的关系。(3)三类

分区与自然保护地的交叉分析。未来可结合各类自然保护地的边界和分区数据, 分析自然保护地体系与三类空间的关系, 进一步识别三类空间中的保护空缺。(4)三类分区框架的拓展应用。本文以黄河流域为例尝试应用了三类分区框架, 未来可探索推广至其他区域。该框架的系统性思路, 可在流域、生物多样性保护优先区、生态功能区等范围内应用, 以支持生物多样性保护规划。

参考文献

- Cao Y, Carver S, Yang R (2019) Mapping wilderness in China: Comparing and integrating Boolean and WLC approaches. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103636.
- Cui LJ (2019) Wetland protection and management in the Yellow River basin. *Democracy and Science*, (1), 53–56. (in Chinese) [崔丽娟 (2019) 黄河流域湿地的保护与管理. 民主与科学, (1), 53–56.]
- Deng HQ (2013) Habitat Quality Evaluation and Protection Management of Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca qinlingensis*) in Foping County, Shaanxi Province. PhD dissertation, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [邓怀庆 (2013) 陕西佛坪大熊猫栖息地质量评价及保护管理研究. 博士学位论文, 北京林业大学, 北京.]
- Dong SC, Zhou CJ, Wang HY (2002) Ecological crisis and countermeasures of the Three Rivers' Headstream Regions. *Journal of Natural Resources*, 17, 713–720. (in Chinese with English abstract) [董锁成, 周长进, 王海英 (2002) “三江源”地区主要生态环境问题与对策. 自然资源学报, 17, 713–720.]
- Dong XR, Zhang H, Zhang MG (2019) Explaining the diversity and endemic patterns based on phylogenetic approach for woody plants of the Loess Plateau. *Biodiversity Science*, 27, 1269–1278. (in Chinese with English abstract) [董雪蕊, 张红, 张明昱 (2019) 基于系统发育的黄土高原地区木本植物多样性及特有性格局. 生物多样性, 27, 1269–1278.]
- Eken G, Bennun L, Brooks TM, Darwall W, Fishpool LDC, Foster M, Knox D, Langhammer P, Matiku P, Radford E, Salaman P, Sechrest W, Smith ML, Spector S, Tordoff A (2004) Key biodiversity areas as site conservation targets. *BioScience*, 54, 1110–1118.
- Fan J, Wang YF, Wang YX (2020) High quality regional development research based on geographical units: Discuss on the difference in development conditions and priorities of the Yellow River basin compared to the Yangtze River basin. *Economic Geography*, 40(1), 1–11. (in Chinese with English abstract) [樊杰, 王亚飞, 王怡轩 (2020) 基于地理单元的区域高质量发展研究——兼论黄河流域同长江流域发展的条件差异及重点. 经济地理, 40(1), 1–11.]
- Fang L, Li J (2019) Ecological protection and high quality development of the Yellow River basin from the perspective of food security. *Chinese Journal of Environmental Management*, 11(5), 5–10. (in Chinese with English abstract) [方兰, 李军 (2019) 粮食安全视角下黄河流域生态保护与高质量发展. 中国环境管理, 11(5), 5–10.]
- Guo QY, Yang ZF (2005) Post-project ecological analysis for the Sanmenxia dam. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 25, 580–585. (in Chinese with English abstract) [郭乔羽, 杨志峰 (2005) 三门峡水利枢纽工程生态影响后评价. 环境科学学报, 25, 580–585.]
- Guo YQ, Wang NJ, Chu XS, Li C, Luo XQ, Feng H (2019) Analyzing vegetation coverage changes and its reasons on the Loess Plateau based on Google Earth Engine. *China Environmental Science*, 39, 4804–4811. (in Chinese with English abstract) [郭永强, 王乃江, 褚晓升, 李成, 罗晓琦, 冯浩 (2019) 基于Google Earth Engine分析黄土高原植被覆盖变化及原因. 中国环境科学, 39, 4804–4811.]
- Guo ZL (2016) Analysis on the Effectiveness of Nature Reserve Network and Natural Conservation Geographical Regionalization of China. PhD dissertation, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [郭子良 (2016) 中国自然保护综合地理区划与自然保护区体系有效性分析. 博士学位论文, 北京林业大学, 北京.]
- Han RJ, Ren YC, Huang T, Yang C, Wang ZY, Jia DH, Zhang XF, Si WT (2019) Study on pollution degree and bio-concentration of heavy metals in three types of wetlands in Baotou, China. *Environmental Engineering*, 37(1), 29–34. (in Chinese with English abstract) [韩瑞杰, 任逸晨, 黄涛, 杨畅, 王志勇, 贾戴辉, 张雪峰, 司万童 (2019) 包头市三类湿地中重金属污染程度及生物富集研究. 环境工程, 37(1), 29–34.]
- Han XZ, Ma JW, Buheasier, Ma CF, Qin SH (2002) The application of ETM and sample sites statistic data to study the distribution pattern of endangered rare plants in west Ordos Plateau. *Journal of Remote Sensing*, 6(2), 136–141, 165. (in Chinese with English abstract) [韩秀珍, 马建文, 布和敖斯尔, 马超飞, 秦树辉 (2002) 利用卫星ETM与样方统计数据研究西鄂尔多斯珍稀濒危植物种群分布规律. 遥感学报, 6(2), 136–141, 165.]
- He LH, Gao XH (2016) Assessment of potential ecological risk for soil heavy metals in Sanjiang Source Region: A case study of Yushu County, Qinghai Province. *Journal of Agro-Environment Science*, 35, 1071–1080. (in Chinese with English abstract) [何林华, 高小红 (2016) 三江源区土壤重金属的累积特征及潜在生态风险评价——以青海省玉树县为例. 农业环境科学学报, 35, 1071–1080.]
- He ZH, Zhu YF, Qiu YL, Xu LH (2017) Effects of human intervention on the composition and diversity of plant community in Ziwojing area. *Journal of Northwest Forestry University*, 32(6), 87–95. (in Chinese with English abstract) [何志华, 朱岩峰, 邱雅林, 徐丽恒 (2017) 不同人为干预方式对子午岭植物群落组成及多样性的影响. 西北林学院学报, 32(6), 87–95.]

- Hou SM, Li WP, Wang YC, Wen SE, Li HB, Gao Z (2016) The current situation of aquatic animals invasion of Shaanxi stretch of the Yellow River. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 46(1), 82–86. (in Chinese with English abstract) [侯淑敏, 李维平, 王益昌, 问思恩, 李海滨, 高志 (2016) 黄河陕西段水生动物入侵现状分析. *西北大学学报(自然科学版)*, 46(1), 82–86.]
- Jiang FQ, Dong ZC, Wu H, Bian JQ, Zhong DY, Wang WZ, Jia YF, Zhu HS, Liu MY, Wang Y (2019) Response of irrigation water demand to changing environment in Yellow River irrigation area in Ningxia and Inner Mongolia. *Journal of China Hydrology*, 39(5), 35–39, 7. (in Chinese with English abstract) [蒋飞卿, 董增川, 吴晗, 卞佳琪, 钟敦宇, 王文卓, 贾一飞, 朱寒松, 刘墨阳, 王尧 (2019) 宁夏引黄灌区灌溉需水对变化环境的响应. *水文*, 39(5), 35–39, 7.]
- Li F, Zhang JJ, Yuan YF, Feng H, Zhang JY, Yang XZ (2008) Present situation and problems on fish introduction in Yellow River system. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36, 15024–15026. (in Chinese with English abstract) [李芳, 张建军, 袁永锋, 冯慧, 张军燕, 杨兴中 (2008) 黄河流域鱼类引种现状及存在问题. *安徽农业科学*, 36, 15024–15026.]
- Li JF, Liu NN (2019) Risk evaluation of the heavy metal pollution in fish from the junction of Yellow River, Weihe River and Luohe River. *Chinese Journal of Fisheries*, 32(4), 50–54. (in Chinese with English abstract) [李吉峰, 刘楠楠 (2019) 黄渭洛三河交汇处鱼类重金属污染风险评价. *水产学杂志*, 32(4), 50–54.]
- Li L, Hu R, Huang J, Bürgi M, Zhu Z, Zhong J, Lü Z (2020) A farmland biodiversity strategy is needed for China. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 772–774.
- Li N, Wang GX, Liu GS, Lin Y, Sun XY (2013) The ecological implications of land use change in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers, China. *Regional Environmental Change*, 13, 1099–1108.
- Li Q, Song JX, Wei AL, Zhang B (2013) Changes in major factors affecting the ecosystem health of the Weihe River in Shaanxi Province, China. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 7, 875–885.
- Li XL, Perry G, Brierley GJ (2016) Grassland ecosystems of the Yellow River Source Zone: Degradation and restoration. In: *Landscape and Ecosystem Diversity, Dynamics and Management in the Yellow River Source Zone* (eds Brierley G, Li X, Cullum C, Gao J), pp. 137–165. Springer, Cham.
- Li XR, Jin Z, Zhang XB, Zhou WJ (2015) Analysis of ecosystem management of the Loess Plateau during the past 60 years and suggestions for the future development. *Journal of Earth Environment*, 6, 248–254. (in Chinese with English abstract) [李相儒, 金钊, 张信宝, 周卫健 (2015) 黄土高原近60年生态治理分析及未来发展建议. *地球环境学报*, 6, 248–254.]
- Li YC, Wang RL, Lou GY (2017) Overall framework of water ecological protection and restoration in Huangshui River basin. *Journal of Hydroecology*, 38(6), 11–18. (in Chinese with English abstract) [李云成, 王瑞玲, 娄广艳 (2017) 湟水流域水生态保护与修复研究. *水生态学杂志*, 38(6), 11–18.]
- Liu JK, Engel BA, Wang Y, Zhang GF, Zhang ZM, Zhang MX (2020) Multi-scale analysis of hydrological connectivity and plant response in the Yellow River Delta. *Science of the Total Environment*, 702, 134889.
- Locke H, Ellis EC, Venter O, Schuster R, Ma KP, Shen XL, Woodley S, Kingston N, Bhola N, Strassburg BBN, Paulsch A, Williams B, Watson JEM (2019) Three global conditions for biodiversity conservation and sustainable use: An implementation framework. *National Science Review*, 6, 1080–1082.
- Lu DD, Sun DQ (2019) Development and management tasks of the Yellow River basin: A preliminary understanding and suggestion. *Acta Geographica Sinica*, 74, 2431–2436. (in Chinese with English abstract) [陆大道, 孙东琪 (2019) 黄河流域的综合治理与可持续发展. *地理学报*, 74, 2431–2436.]
- Norris K (2008) Agriculture and biodiversity conservation: Opportunity knocks. *Conservation Letters*, 1, 2–11.
- Pan HJ, Tian JY (2001) Water pollution in the Yellow River Delta and its effects on fresh water fish species diversity. *Fisheries Science*, 20(4), 17–20. (in Chinese with English abstract) [潘怀剑, 田家怡 (2001) 黄河三角洲水质污染对淡水鱼类多样性的影响. *水产科学*, 20(4), 17–20.]
- Pan JL (2013) The Study on Impact of Development to Qinling Biodiversity Conservation Based on the Pressure of Habitat. PhD dissertation, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [潘景璐 (2013) 基于生境压力的发展对秦岭生物多样性保护影响研究. 博士学位论文, 北京林业大学, 北京.]
- Potapov P, Yaroshenko A, Turubanova S, Dubinin M, Laestadius L, Thies C, Aksekov D, Egorov A, Yesipova Y, Glushkov I, Karpachevskiy M, Kostikova A, Manisha A, Tsybikova E, Zhuravleva I (2008) Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society*, 13, art51.
- Qin S, Chao LM (2014) The impact of anthropogenic disturbance on landscape of *Tetraena mongolica* shrub in the Wuhai City. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 6346–6354. (in Chinese with English abstract) [秦山, 潮洛蒙 (2014) 人为干扰对乌海市四合木小灌木景观的影响. *生态学报*, 34, 6346–6354.]
- Quan B, Römkens MJM, Tao JJ, Li BC, Li CK, Yu GH, Chen QC (2008) Spatial-temporal pattern and population driving force of land use change in Liupan Mountains region, southern Ningxia, China. *Chinese Geographical Science*, 18, 323–330.
- Shen QJ, An C, Liu CS (2010) A discussion on the connotation, characteristics, and basic principles of

- planning/construction of the low carbon eco-city. Urban Planning Forum, 190(5), 48–57. (in Chinese with English abstract) [沈清基, 安超, 刘昌寿 (2010) 低碳生态城市的内涵、特征及规划建设的基本原理探讨. 城市规划学刊, 190(5), 48–57.]
- Sun CJ, Li XM, Zhang WQ, Chen W, Wang JR (2019) Evaluation of ecological security in poverty-stricken region of Lüliang Mountain based on the remote sensing image. China Environmental Science, 39, 5352–5360. (in Chinese with English abstract) [孙从建, 李晓明, 张文强, 陈伟, 王佳瑞 (2019) 基于遥感信息的吕梁山贫困区生态安全评价. 中国环境科学, 39, 5352–5360.]
- Sun H, Liu XY, Xiong W, Wang YH, Liu B, Yu PT (2016) Comprehensive assessment on hydrological functions of the four typical forests in Liupan Mountains. Journal of Arid Land Resources and Environment, 30(7), 85–89. (in Chinese with English abstract) [孙浩, 刘晓勇, 熊伟, 王彦辉, 刘彬, 于澎涛 (2016) 六盘山四种典型森林生态水文功能的综合评价. 干旱区资源与环境, 30(7), 85–89.]
- Sun YB, Sun F, Liu JF, Xia J, Wang L (2009) Analysis on demand of climate change responded by the Yellow River basin. Yellow River, 31(4), 16–18, 124. (in Chinese) [孙扬波, 孙凤, 刘吉峰, 夏军, 王玲 (2009) 黄河流域应对气候变化的需求分析. 人民黄河, 31(4), 16–18, 124.]
- Tang WJ, He DK (2015) Investigation on alien fishes in Qinghai Province, China (2001–2014). Journal of Lake Sciences, 27, 502–510. (in Chinese with English abstract) [唐文家, 何德奎 (2015) 青海省外来鱼类调查(2001–2014年). 湖泊科学, 27, 502–510.]
- Wang GM (2012) The Study on Landscape Pattern of *Tetraena mongolia* Influenced by Human Disturbance in Wuhai. PhD dissertation, Inner Mongolia University, Hohhot. (in Chinese with English abstract) [王光明 (2012) 近二十年人为干扰对乌海市四合木景观格局影响研究. 博士学位论文, 内蒙古大学, 呼和浩特.]
- Wang TW (2008) The Study of Road Network Characters and Its Ecological Impact in Yellow River Delta. PhD dissertation, Huazhong Agricultural University, Wuhan. (in Chinese with English abstract) [王天巍 (2008) 黄河三角洲道路网络特征及其对生态影响的研究. 博士学位论文, 华中农业大学, 武汉.]
- Wilson EO (2016) Half-earth: Our Planet's Fight for Life. Liveright Publishing Corporation, New York.
- Xiao CY (2016) Study on Degradation Features and Restoration Approaches of Downstream Riparian Wetland from the Xiaolangdi Dam of the Yellow River. PhD dissertation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo. (in Chinese with English abstract) [肖春艳 (2016) 小浪底大坝下游滨河湿地退化特征及修复途径研究. 博士学位论文, 河南理工大学, 焦作.]
- Xiao Q, Tao JP, Xiao Y (2016) Dynamic vegetation cover change over the past 10 years on the Loess Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 36, 7594–7602. (in Chinese with English abstract) [肖强, 陶建平, 肖洋 (2016) 黄土高原近10年植被覆盖的动态变化及驱动力. 生态学报, 36, 7594–7602.]
- Xie JY, Tang WJ, Yang YH (2018) Fish assemblage changes over half a century in the Yellow River, China. Ecology and Evolution, 8, 4173–4182.
- Xiu LN, Yan CZ, Qian DW, Xing ZP (2019) Analysis of spatial-temporal change and driving forces of vegetation in Loess Plateau under background of ecological engineering. Bulletin of Soil and Water Conservation, 39(4), 214–221, 228. (in Chinese with English abstract) [修丽娜, 颜长珍, 钱大文, 幸赞品 (2019) 生态工程背景下黄土高原植被变化时空特征及其驱动力. 水土保持通报, 39(4), 214–221, 228.]
- Yang F, Shao QQ, Jiang ZG (2019) A population census of large herbivores based on UAV and its effects on grazing pressure in the Yellow-River-Source National Park, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, E4402.
- Yang R, Cao Y (2019) Rewilding: New ideas for ecological protection and restoration projects of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands. Acta Ecologica Sinica, 39, 8763–8770. (in Chinese with English abstract) [杨锐, 曹越 (2019) “再野化”: 山水林田湖草生态保护修复的新思路. 生态学报, 39, 8763–8770.]
- Yu ZR, Yang XM, Chen YJ (2019) Ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands in Nantaihang area, Henan Province: Integrated landscape management. Acta Ecologica Sinica, 39, 8886–8895. (in Chinese with English abstract) [宇振荣, 杨新民, 陈雅杰 (2019) 河南省南太行地区山水林田湖草生态保护与修复. 生态学报, 39, 8886–8895.]
- Zhang HY, Fan JW, Shao QQ (2015) Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000–2010. Progress in Geography, 34, 840–853. (in Chinese with English abstract) [张海燕, 樊江文, 邵全琴 (2015) 2000–2010年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化. 地理科学进展, 34, 840–853.]
- Zhang JQ, Chen C, Zhang ZY (2005) Evaluation of tourist resources and analysis of development condition in Ziwuling Natural Reserve. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 33(5), 44–48, 52. (in Chinese with English abstract) [张景群, 陈诚, 张兆胤 (2005) 子午岭自然保护区旅游资源与开发利用评价. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 33(5), 44–48, 52.]
- Zhang M (2015) Shocking pollution of the Yellow River, Ecological Economy, 31(2), 6–9. (in Chinese) [张敏 (2015) 触目惊心的黄河污染. 生态经济, 31(2), 6–9.]
- Zhang R, Wang YM, Chang JX, Li YY (2019) Response of land use change to human activities in the Yellow River basin based on water resources division. Journal of Natural Resources, 34, 274–287. (in Chinese with English abstract) [张冉, 王义民, 畅建霞, 黎云云 (2019) 基于水资源分区

的黄河流域土地利用变化对人类活动的响应. 自然资源学报, 34, 274–287.]

- Zhang XT, Yu FW (2012) Analysis of the matching status between economic development and water resources in the Yellow River basin. China Population, Resources and Environment, 22(10), 1–6. (in Chinese with English abstract) [张晓涛, 于法稳 (2012) 黄河流域经济发展与水资源匹配状况分析. 中国人口·资源与环境, 22(10), 1–6.]
- Zhang ZX, Hu CH, Li SH, Wang JJ, Li XM (2015) Temporal and spatial variation characteristics of extreme temperature index from 1961 to 2010 in the Yellow River basin. Meteorological and Environmental Sciences, 38(2), 48–53. (in Chinese with English abstract) [张照玺, 胡彩虹, 李世豪, 王纪军, 李雪梅 (2015) 黄河流域1961–2010年极端气温指数的时空变化特征. 气象与环境科学, 38(2), 48–53.]
- Zhao JJ, Liu Y, Zhu YK, Qin SL, Wang YH, Miao CH (2020) Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River basin. Resources Science, 42, 159–171. (in Chinese with English abstract) [赵建吉, 刘岩, 朱亚坤, 秦胜利, 王艳华, 苗长虹 (2020) 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素. 资源科学, 42, 159–171.]
- Zhao WX, Song JJ, Yu CY, Liu Y, Liu YW, Guan SG, Yu DD (2017) Research progress on invasion and dispersion of *Bullacta exarata* in the Yellow River Delta. Ocean Development and Management, 34(S2), 142–147. (in Chinese with English abstract) [赵文溪, 宋静静, 于超勇, 刘莹, 刘元文, 官曙光, 于道德 (2017) 黄河三角洲区域泥螺入侵与扩散研究进展. 海洋开发与管理, 34(S2), 142–147.]
- Zhou XY, Jin WR, Han YH, Gao HW, Chen YY (2010) Species diversity of wild fishes and its protection measures in ecological protection zone of Qinling Mountains. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 29, 403–408. (in Chinese with English abstract) [周小愿, 金卫荣, 韩亚慧, 高宏伟, 陈媛媛 (2010) 秦岭生态保护区野生鱼类的物种多样性及其保护对策. 山地农业生物学报, 29, 403–408.]
- Zhu SW, Pan XL, Li XQ, Liu C (2012) Effects of exotic species *Spartina anglica* on ecological environment of the Yellow River Delta. Shandong Agricultural Sciences, 44(3), 73–75, 83. (in Chinese with English abstract) [朱士文, 潘秀莲, 李秀启, 刘超 (2012) 外来物种米草对黄河三角洲生态环境的影响. 山东农业科学, 44(3), 73–75, 83.]

(责任编辑: 徐卫华 责任编辑: 黄祥忠)