DOI: 10.5846/stxb202101190203
任月恒, 朱彦鹏, 付梦娣, 闻丞, 张明海, 于胜祥, 江建平, 李俊生.黄河流域濒危物种保护热点区与保护空缺识别.生态学报,2022,42(3):982-989.
Ren Y H, Zhu Y P, Fu M D, Wen C, Zhang M H, Yu S X, Jiang J P, Li J S.Recognition endangered species hotspots and conservation gaps of the Yellow River Basin.Acta Ecologica Sinica,2022,42(3):982-989.

黄河流域濒危物种保护热点区与保护空缺识别

任月恒[1], 朱彦鹏[1,*], 付梦娣[1], 闻　丞[2,3], 张明海[4], 于胜祥[5], 江建平[6], 李俊生[1]

1 中国环境科学研究院, 北京　100012
2 昆明市朱雀鸟类研究所, 昆明　650233
3 北京镜朗生态科技有限公司, 北京　100094
4 东北林业大学, 哈尔滨　150040
5 中国科学院植物研究所, 北京　100093
6 中国科学院成都生物研究所, 成都　610041

摘要:黄河流域具有重要的生物多样性保护意义,通过研究珍稀濒危物种分布热点区可为生物多样性保护提供依据。选取 70 种濒危维管植物和陆生脊椎动物,综合多来源的分布数据,运用物种分布模型 Maxent 模拟物种分布区,结合自然地理区划,计算保护价值,进行热点区分析,并结合国家级自然保护区和国家公园体制试点区的分布情况进行空缺分析。研究结果显示,黄河流域濒危物种分布主要呈现出南高北低、集中于山地的特征,热点区包括秦岭区域、太行山区域、子午岭-六盘山区域、陇中高原至松潘高原、祁连山、贺兰山和沿黄湿地等。在区分自然地理区后,现有的国家级自然保护区和国家公园体制试点区覆盖了热点区面积的 13.89%,保护空缺主要出现于子午岭南部、六盘山南部、松潘高原南部和拉脊山等。建议在推进黄河流域生态保护和高质量发展中将濒危物种热点区考虑在内,对黄河流域自然保护地体系进行优化,并针对黄河流域的三个自然地理分区提出了相应的保护建议。此外,研究发现,在进行热点区分析时,考虑自然地理区域划分,并综合多类群叠加和单一生物类群的分析结果进行统筹考虑,可能会更好满足生物多样性就地保护需求。

关键词:生物多样性; 热点区; 保护空缺; 黄河流域

Recognition endangered species hotspots and conservation gaps of the Yellow River Basin

REN Yueheng[1], ZHU Yanpeng[1,*], FU Mengdi[1], WEN Cheng[2,3], ZHANG Minghai[4], YU Shengxiang[5], JIANG Jianping[6], LI Junsheng[1]

1 *Chinese Research Academy of Environmental Sciences*, *Beijing* 100012, *China*
2 *Kunming Rosefinch Bird Research Institute*, *Kunming* 650233, *China*
3 *Beijing Jinglang Ecological Technology Company Limited. Beijing* 100094, *China*
4 *Northeast Forestry University*, *Harbin* 150040, *China*
5 *Institute of Botany*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100093, *China*
6 *Chengdu Institute of Biology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Chengdu* 610041, *China*

Abstract: The Yellow River Basin has important biodiversity protection significance. Research on the distribution hotspots of rare and endangered species can provide a basis for biodiversity protection and establishing protected area system. In this study, 70 endangered species were selected, including 26 vascular plants and 44 terrestrial vertebrates. Distribution data

基金项目:生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)
收稿日期:2021-01-19; **网络出版日期**:2021-10-11

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhuyp@craes.org.cn

from multiple sources of these species were integrated to provide distribution point samples for modeling. The species distribution model Maxent was used to simulate distribution areas. All the Maxent simulation results were superimposed according to different taxa and physical geographical regions, and we calculated the biodiversity conservation value for analyzing hot spots. the conservation gaps were analyzed by integrating the distribution layer of national nature reserves and national parks (pilot area). Results show that the distribution of endangered species in the Yellow River Basin is mainly high in the south, and is concentrated in the mountain areas. The hot spots include Qinling Mountains, Taihang Mountains, Ziwuling-Liupan Mountains, Longzhong Plateau to Songpan Plateau, Qilian Mountains, Helan Mountains, and wetlands along the Yellow River. After distinguishing the geographical regions, the existing national nature reserves and national parks (pilot area) cover 13.89% of the hot spots′ area, and the protection gaps are mainly found in the southern Ziwuling Mountains, the southern Liupanshan Mountains, the southern Songpan Plateau and the Laki Mountains. It is suggested that the threatened species hotspots should be taken into account in ecological conservation and high-quality development planning of the Yellow River Basin, and the natural protected area system of the Yellow River Basin should be optimized. For three different physical geographical regions in Yellow River Basin, specific suggestions are put forward: in Qinghai-Tibet Alpine Region, the protected areas should be optimized and biodiversity survey should be strengthened; in Northwest Arid and Semi-arid Region, lakes in Ordos Plateau are worthy of the enhanced protection; in Eastern Monsoon Region, the leopard, great bustard and Baer′s pochard should be considered as key species and put more efforts on their habitat protection. In addition, this study also shows that, when analyzing biodiversity hotspots, considering the division of physically geographic regions and combining the hot spot analysis results of multiple taxa and single taxa for overall consideration may be better for meeting the needs of biodiversity in-situ conservation.

Key Words: biodiversity; hotspot; conservation gap; Yellow River Basin

黄河是中国第二大河,全长 5464 km,发源于青藏高原,流经内蒙古高原、黄土高原和黄淮海平原,注入渤海,水面落差 4480 m。黄河流域总面积 795000 km^2,处于中纬度地带,主要跨越暖温带、中温带和高原气候区三个气候区划[1],涉及三江源草原草甸湿地生态功能区、甘南黄河重要水源补给生态功能区、祁连山冰川与水源涵养生态功能区、黄土高原丘陵沟壑水土保持生态功能区等 6 个重点生态功能区[2],以及羌塘三江源区、西鄂尔多斯贺兰山阴山区、六盘山子午岭区、太行山区等 7 个陆域生物多样性保护优先区域[3],生态系统和生物多样性保护的意义重大。黄河流域生态保护和高质量发展已上升为国家重大战略[4],保护黄河流域的生物多样性被列为了全国生态保护的重要内容[5—6]。

识别生物多样性热点区是生物多样性就地保护中的常用方法,为在成本有限的情况下制定保护决策发挥重要作用[7—9]。在热点区的基础上,结合现有保护地分布,识别保护空缺,能够指导自然保护地体系的建立和完善[10—11]。在识别热点区时,可通过选取濒危种、受威胁物种等具有特殊意义的物种,替代区域的物种丰富度确定热点区[8,12]。同时纳入多个生物类群进行热点区识别,较单一类群能增加热点区的代表性[12—13]。此外,由于在不同的自然地理区域中,气候条件差异较大,生态系统、植被和生物物种组成具有较明显的差异,按照自然地理区分别进行热点区识别,可将这些特征综合考虑在内[8],并降低空间尺度对热点区分析的影响[14],从而增加热点区识别的实用性。

目前,能够从整个黄河流域的角度提供生物多样性保护支撑的研究较少,且限于根据鸟类分布识别出热点区,如郭云等以湿地和水鸟为主要保护对象,运用系统保护规划的方法,识别出黄河流域湿地的优先保护格局及保护空缺[15],尚缺乏对其他生物类群分布热点区的研究。本研究以濒危维管植物和陆生脊椎动物为研究对象,综合多来源的分布数据,运用物种分布模型模拟出分布区,进一步叠加分析,结合自然地理区划,识别出热点区,并结合国家级自然保护区和国家公园体制试点区的分布情况,识别保护空缺,为保护黄河流域生物多样性、推进黄河流域生态保护和高质量发展提供参考。

1 研究方法

1.1 物种分布信息获取

以维管植物和陆生脊椎动物作为研究类群,选取极危、濒危物种或旗舰物种作为研究物种,包括 26 种在世界自然保护联盟(IUCN)红色名录(https://www.iucnredlist.org/)或中国高等植物受威胁物种名录[16]中评级为极危(CR)或濒危(EN)的植物物种,44 种在 IUCN 红色名录或中国脊椎动物红色名录[17]中评级为 CR 或 EN 的脊椎动物物种(包括 19 种哺乳类,19 种鸟类和 5 种两栖类),以及旗舰物种大熊猫(*Aliuropoda melanoleuca*),共 70 种。

以《中国生物物种名录》2000 版(http://www.sp2000.org.cn/)以及权威的著作和文献[18—20],作为物种分类的主要依据,综合物种信息数据库、专业志书、权威文献、标本记录、公众记录、新闻报道等多种数据来源,收集各物种的分类信息、分布点所在行政区域、分布点经纬度坐标、记录时间、数量、威胁因素、濒危程度等信息,获取黄河流域上述物种的分布数据集。对于未提供经纬度坐标但有小地名的分布信息,通过在卫星地图上根据小地名和该物种的栖息地特征识别出坐标。对物种分布数据的可靠性进行验证,排除错认、错记、错填地点等情况。

1.2 空间分布模拟

对于非狭域分布的物种,运用最大熵模型 Maxent[21—22],基于物种分布点数据和环境因子数据,批量进行物种分布模拟,获取物种的潜在栖息地。模型模拟所需的环境因子包括 worldclim 2.0 气候数据(http://worldclim.org/version2,包含 19 个生物气候因子,以及各月的气温均值、最高温、最低温、降水、水蒸气压、太阳辐射以及风速)、地形数据、地表覆盖数据、植被覆盖度数据等(表 1),在 ArcGIS 10.6 中将坐标系统一为 WGS84,将栅格分辨率统一为 5 km,并转化为 asc 格式。模型输出格式选择为 logistic,其余采用模型默认参数。模拟时先运用所有因子运行 1 次,根据各因子的贡献率、各物种栖息地选择影响因素的已有相关研究结果、环境因子的相关性等,对各物种选取 6—25 个因子进行第二次运行,每个物种运行 5—10 次。对模型运行结果进行逐个审校,对于 AUC 值不及 0.85、与已知分布出入较明显的结果进行重新核实、运算。将结果中的 ASC 格式文件导入 ArcGIS 10.6 中,转换成栅格(tif)格式,分辨率为 5 km,并按照训练集数据的敏感性和特异性之和最大时的逻辑阈值进行重分类,栅格的值高于阈值的地区为适宜该物种分布的潜在栖息地[23]。狭域分布的物种,如华山新麦草(*Psathyrostachys huashanica*)、斑子麻黄(*Ephedra rhytidosperma*)等,直接通过其分布点信息及其生境,勾划出分布地。

1.3 保护热点区及空缺识别

在 ArcGIS 10.6 中,将 70 个指示种的潜在栖息地进行叠加,获取黄河流域濒危物种丰度空间分布情况。以物种数量从高到低的顺序,按照占总面积 10%(国家级自然保护区占国土面积的比例[24])、20%(接近全国各类陆域自然保护地占国土总面积比例[25])和 50%(“自然需要一半”倡议[26—27])的原则,将物种保护价值划分为极重要、重要、较重要、一般 4 个等级。参考中国自然区划[28—29],将黄河流域分为青藏高寒区、西北干旱半干旱区和东部季风区 3 个主要的自然地理区域,获取物种保护价值在各个地理区域的空间分布情况,并在各个自然地理区域内,按照相同的方法,划分 4 个层级。将现有国家级自然保护区和国家公园(试点)的分布情况与物种保护价值空间分布情况叠加,分析保护空缺情况。

2 结果与分析

根据濒危物种潜在栖息地叠加结果(图 1),黄河流域濒危物种分布主要呈现出南高北低、集中于山地的特征,分布热点集中在偏南的秦岭一带。不同物种类群的丰度空间分布有所不同,濒危维管植物和哺乳动物主要分布在秦岭、陇中高原、六盘山、子午岭、吕梁山以及太行山一带,濒危哺乳动物的集中分布区域还出现在祁连山、松潘高原一带。濒危鸟类则集中分布于松潘高原、河套平原和黄河中下游沿线各重要湿地,以及青藏

高原-秦岭-黄土高原交汇处的山地。濒危两栖动物集中分布在秦岭和黄河中下游交界处一带。

表 1　用于 Maxent 模型的环境因子

Table 1　Environmental variables used in Maxent modeling

环境因子类别 Category of environmental variables	环境因子名称 Name of environmental variables	来源 Source
地形因子	海拔	https://lpdaac.usgs.gov/products/astgtmv002/
Terrain variables	坡度	
	坡向	
气候因子	年平均气温	https://worldclim.org/
Climate variables	平均日较差(月最高温与最低温之差的平均)	
	等温性	
	温度季节性变化(标准差×100)	
	最暖月的最高温	
	最冷月的最低温	
	气温年较差	
	最湿季节的平均温	
	最干季节的平均温	
	最暖季节的平均温	
	最冷季节的平均温	
	多年平均降水量	
	最湿月的降水量	
	最干月的降水量	
	降水季节变异系数(标准差/平均值×100)	
	最湿季节的降水量	
	最干季节的降水量	
	最暖季节的降水量	
	最冷季节的降水量	
	1—12 月最低温	
	1—12 月最高温	
	1—12 月平均温	
	1—12 月降水量	
	1—12 月太阳辐射	
	1—12 月风速	
	1—12 月水蒸气压	
地表覆盖及植被因子	土地利用	http://www.resdc.cn/
Land cover and vegetation variables	距水源距离	
	NDVI	
人类活动因子	公路	https://www.webmap.cn/
Human activity variables	铁路	
	居民点	

NDVI: 归一化植被指数 Normolized difference vegetation index

由图 2 可以看出,将物种保护价值极重要区作为黄河流域生物多样性的热点区,根据保护价值计算结果,热点区分布在秦岭区域、太行山区域、子午岭-六盘山区域、陇中高原以及松潘高原。

黄河流域现有国家公园(试点)3 个,国家级自然保护区 53 个,面积共 81350 km^2,占黄河流域总面积的 10.24%。将物种保护价值空间分布图和现有国家级自然保护区、国家公园(试点)叠加发现(图 2),国家级自然保护区和国家公园(试点)共覆盖了热点区面积的 12.45%,仍存在较为明显的空缺。

将分自然地理区域计算的物种保护价值结果(图 3),与未考虑分区的结果进行对比发现,秦岭、太行山

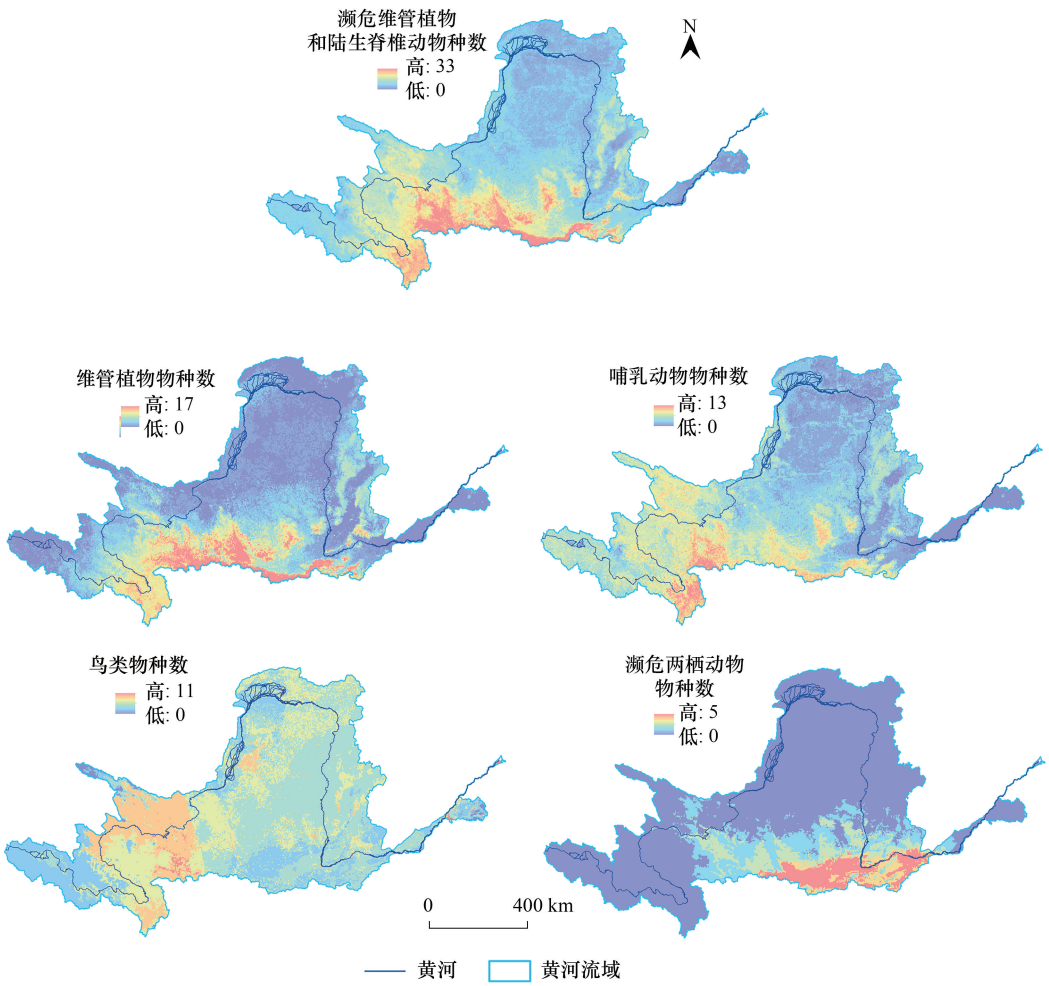

图 1 黄河流域濒危物种丰度空间分布

Fig.1 Distribution of endangered species richness in Yellow River basin

区、子午岭-六盘山、陇中高原和松潘高原仍为热点区，分区之后，增加了西北干旱半干旱区的祁连山东麓、贺兰山以及河套平原的湿地为热点区。将该结果和现有国家级自然保护区、国家公园(试点)叠加发现，国家级保护地共覆盖了热点区的 13.89%，依然存在空缺区域。

3 讨论

3.1 黄河流域生物多样性热点区分布与保护空缺

根据图 3 中的结果，黄河流域濒危物种主要集中分布于秦岭、太行山区、子午岭-六盘山、陇中高原、松潘高原、祁连山和贺兰山，这些区域普遍具有地处自然地理区域分界线、地形较为复杂、生态系统较为多样的特征。整体上，黄河流域濒危物种分布呈现出集中于山地的特征，原因可能与黄河流域历史上人类活动强度大[30]、较低海拔的黄淮海平原地区以及黄土高原地区多被开发

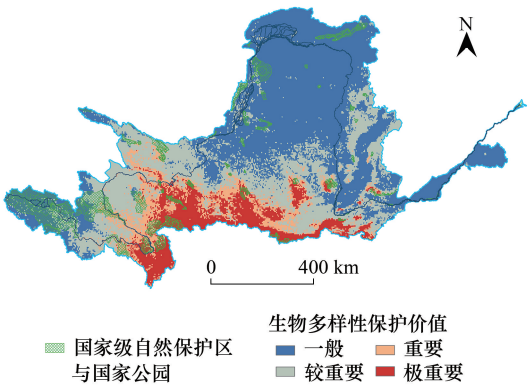

图 2 黄河流域物种保护价值和国家级自然保护区与国家公园(试点)空间分布

Fig.2 Distribution of biodiversity conservation value and nature reserves and national parks (pilot area) in Yellow River Basin

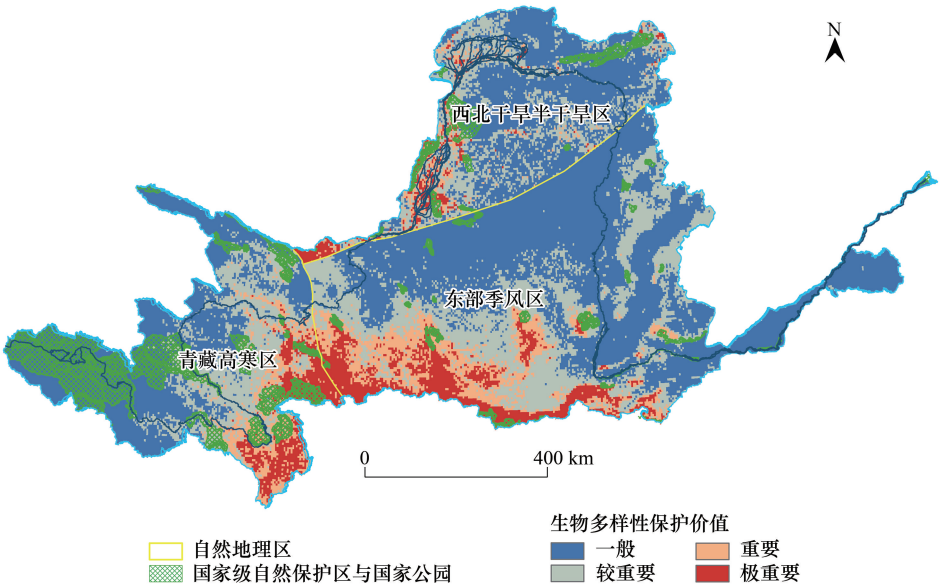

图 3　黄河流域各自然地理区域物种保护价值空间分布

Fig.3　Distribution of biodiversity conservation value in different geographical regions in Yellow River Basin

有关[31]。热点区中的湿地集中在河套平原一带,在黄河中下游较少,但在各类群分别进行叠加分析时,黄河中下游的湿地是濒危鸟类分布的热点区,因为这些湿地位于东亚-澳大利西亚迁飞路线上,为水鸟提供了重要的栖息地[32]。

将黄河流域分为 3 个自然地理区域分别进行热点区分析,相较于未进行自然地理分区,西北干旱半干旱区的热点区明显增加,并呈现出集中于水源分布的特征。原因与该区域相较其他区域气候干旱、较为寒冷,物种多样性不及其他水热条件相对较好的区域有关,以黄河流域为整体进行研究时,难以体现出该区域的物种保护价值。

现有的国家级自然保护区和国家公园(试点),覆盖了超过 10%的热点区,并在主要的热点区所处的山脉或高原上基本均有分布,但仍存在保护空缺区域,包括青藏高寒区的拉脊山、松潘高原南部,东部季风区的六盘山南部、子午岭南部等。尽管这些区域或其附近都建立有保护区,但覆盖范围有限,热点区的大部分面积仍然在保护区之外。

此外,黄河流域 7 个生物多样性保护优先区域覆盖了热点区面积的 46.44%,6 个重点生态功能区覆盖了热点区面积的 33.22%,两者共覆盖了热点区面积的 61.01%,极大地补充了现有自然保护地覆盖率的空缺,但在秦岭西北部至陇中高原、拉脊山一带,以及鄂尔多斯高原湖泊一带仍然存在空缺区域。

3.2　保护建议

建议在进行黄河流域生态保护和高质量发展规划时,将秦岭、太行山区、子午岭-六盘山、陇中高原至松潘高原、祁连山、贺兰山和沿黄湿地等热点区,作为重点开展生物多样性保护工作的区域;并结合黄河流域生物多样性热点区和保护空缺区域的分布情况,以及自然保护地整合优化工作,对黄河流域现有自然保护地体系进行适当优化调整,以各生物多样性热点区所在的山脉和高原以及沿黄各重要湿地为重点区域,梳理现有各级别、各类型保护地分布及其保护工作开展情况,对于位于热点区的自然保护地,需要进一步加强管理;对于保护价值高的非国家级保护地,可以考虑晋升其级别;保护价值高的自然公园可以考虑调整为自然保护区;在难以建立设立保护区的热点区,可通过划入生态保护红线的方式加以保护。

针对黄河流域三个自然地理区域的特征和热点区分析结果,提出如下就地保护建议:①在青藏高寒区的陇中高原和松潘高原一带加强保护地的建设,可以考虑整合优化现有自然保护地,形成保护地网络;对于现有

本底资料不清的热点区,如拉脊山一带,建议组织开展生物多样性调查工作。②在西北干旱半干旱区一带,加强对鄂尔多斯高原湖泊的保护,这些湖泊是遗鸥(*Ichthyaetus relictus*)等濒危物种重要繁殖地或潜在繁殖地[33],目前尚有部分繁殖地未受保护地覆盖[34]。③在东部季风区,将豹(*Panthera pardus*)作为旗舰物种,目前豹的部分栖息地位于保护区外,面临退化和破碎化的风险,易受到人为干扰影响[35],急需加强调查,对现有的太行山区至子午岭、六盘山、秦岭这些主要分布地,进行系统的保护规划,强化就地保护措施,如对现有保护地进行扩建升级、规划生态廊道等;对于黄河中下游平原区域,可以将大鸨(*Otis tarda*)、青头潜鸭(*Aythya baeri*)作为重点关注物种,沿黄湿地和农田是这些濒危物种的重要栖息地[36—37],应强化就地保护。

另外,通过本次对于不同生物类群、不同自然地理区域的物种保护价值的研究结果发现,当在一个较大尺度的区域中,仅考虑单一生物类群的多样性,不能很好的反映出生物多样性丰富的区域;但与此同时,将所有保护对象叠加识别热点区,会忽略掉一些对于某一类群生物重要的区域,如本研究中对鸟类重要的黄河中下游湿地。此外,若未按自然地理区域划分识别热点区,会使得各不同气候地理条件下的重要区域的保护价值不能很好的体现,从而忽略掉在中小尺度上较为重要的区域。因此,在进行生物多样性保护规划实践中,考虑自然地理区域划分,并综合多类群叠加和单一生物类群的热点区分析结果进行统筹考虑,可能会更好满足生物多样性就地保护的需求。

参考文献(References):

[1] 黄河水利委员会黄河志编辑室. 黄河志-卷二-黄河流域综述. 郑州: 河南人民出版社, 1998.

[2] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划(修编版). (2015-11-13)[2021-01-17]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201511/t20151126_317777.htm.

[3] 李俊生, 靳勇超, 王伟, 赵志平, 吴晓莆. 中国陆域生物多样性保护优先区域. 北京: 科学出版社, 2016.

[4] 任保平, 张倩. 黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建. 改革, 2019, (10): 26-34.

[5] 国家发展改革委 自然资源部. 全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021-2035 年). (2020-06-11)[2021-01-17]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202006/t20200611_1231112.html.

[6] 中华人民共和国生态环境部. 关于加强生态保护监管工作的意见. (2020-12-24)[2021-01-17]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202101/t20210104_815864.html.

[7] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, Da Fonseca G A B, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 2000, 403(6772): 853-858.

[8] 李智琦, 欧阳志云, 曾慧卿. 基于物种的大尺度生物多样性热点研究方法. 生态学报, 2010, 30(6): 1586-1593.

[9] Marchese C. Biodiversity hotspots: a shortcut for a more complicated concept. Global Ecology and Conservation, 2015, 3: 297-309.

[10] Tantipisanuh N, Savini T, Cutter P, Gale G A. Biodiversity gap analysis of the protected area system of the Indo-Burma Hotspot and priorities for increasing biodiversity representation. Biological Conservation, 2016, 195: 203-213.

[11] 闻丞, 顾垒, 王昊, 吕植, 胡若成, 钟嘉. 基于最受关注濒危物种分布的国家级自然保护区空缺分析. 生物多样性, 2015, 23(5): 591-600.

[12] 栾晓峰, 黄维妮, 王秀磊, 刘敏超, 刘世荣, 吴波, 李迪强. 基于系统保护规划方法东北生物多样性热点地区和保护空缺分析. 生态学报, 2009, 29(1): 144-150.

[13] Lawton J H, Bignell D E, Bolton B, Bloemers G F, Eggleton P, Hammond P M, Hodda M, Holt R D, Larsen T B, Mawdsley N A, Stork N E, Srivastava D S, Watt A D. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. Nature, 1998, 391(6662): 72-76.

[14] 金宇, 周可新, 高吉喜, 穆少杰, 张小华. 基于随机森林模型的国家重点保护陆生脊椎动物物种优先保护区的识别. 生态学报, 2016, 36(23): 7702-7712.

[15] 郭云, 梁晨, 李晓文. 基于系统保护规划的黄河流域湿地优先保护格局. 应用生态学报, 2018, 29(9): 3024-3032.

[16] 覃海宁, 杨永, 董仕勇, 何强, 贾渝, 赵莉娜, 于胜祥, 刘慧圆, 刘博严, 岳鸿, 向建英, 夏念和, 彭华, 李振宇, 张志翔, 何兴金, 尹林克, 林余霖, 刘全儒, 侯元同, 刘演, 刘启, 新曹伟, 李建强, 陈世龙, 金效华, 高天刚, 陈文俐, 马海英, 耿玉英, 金孝锋, 常朝阳, 蒋宏, 蔡蕾, 臧春鑫, 武建勇, 叶建飞, 赖阳均, 刘冰, 林秦文, 薛纳新. 中国高等植物受威胁物种名录. 生物多样性, 2017, 25(7): 696-744.

[17] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华,

曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 2016, 24(5): 501-551, 615-615.

[18] 蒋志刚, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英. 中国哺乳动物多样性及地理分布. 北京: 科学出版社, 2015.

[19] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第三版). 北京: 科学出版社, 2017.

[20] 王跃, 任金龙, 陈宏满, 吕植桐, 郭宪光, 蒋珂, 陈进民, 李家堂, 郭鹏, 王英永, 车静. 中国两栖、爬行动物更新名录. 生物多样性, 2020, 28(2): 189-218.

[21] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.

[22] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法. 生态学报, 2015, 35(2): 557-567.

[23] Liu C, Berry P M, Dawson T P, Pearson R G. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. Ecography, 2005, 28(3): 385-393.

[24] 高吉喜, 徐梦佳, 邹长新. 中国自然保护地 70 年发展历程与成效. 中国环境管理, 2019, 11(4): 25-29.

[25] 唐小平, 栾晓峰. 构建以国家公园为主体的自然保护地体系. 林业资源管理, 2017, (6): 1-8.

[26] 曹越, 杨锐, (美)万斯·马丁. 自然需要一半: 全球自然保护地新愿景. 风景园林, 2019, 26(4): 39-44.

[27] Locke H. The international movement to protect half the world: origins, scientific foundations, and policy implications. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2018.

[28] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理. 北京: 科学出版社, 1981.

[29] 赵济. 中国自然地理 (第三版). 北京: 高等教育出版社, 1995.

[30] 马雪芹. 明清时期黄河流域农业开发和环境变迁述略. 徐州师范大学学报, 1997, (3): 122-124.

[31] 王光谦, 王思远, 陈志祥. 黄河流域的土地利用和土地覆盖变化. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(9): 1218-1222.

[32] 宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 张黎娜, 李东来. 黄淮海地区湿地系统生物多样性保护格局构建. 生态学报, 2010, 30(15): 3953-3965.

[33] 张巍, 陈占仙, 李奋荣, 于向芝. 遗鸥分布区类型及生态环境特点分析. 内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版) 2017, 46(5): 708-712.

[34] 翟昊, 于洪贤, 马国东, 韦宏, 李亚丽, 冯启东, 史红宁, 段志刚, 田瑞. 宁夏鸟类新纪录遗鸥繁殖群及其生境初探. 野生动物学报, 2019, 40(1): 196-199.

[35] Laguardia A, Kamler J F, Li S, Zhang C C, Zhou Z F, Shi K. The current distribution and status of leopards *Panthera pardus* in China. Oryx, 2017, 51(1): 153-159.

[36] 赵文珍, 王恒瑞, 赵宗英, 刘冰许, 郭凌, 张建华, 李进萍, 马小峰, 郝志香. 河南省越冬大鸨资源调查. 野生动物学报, 2018, 39(3): 685-688.

[37] 张艺凡, 董睿龙, 李杰, 刘东洋, 张珂, 邓培渊, 李长看. 河南省域青头潜鸭的分布及种群变动. 河南科学, 2020, 38(11): 1768-1775.