

DOI: 10.20103/j.stxb.202205111317

杨萍, 杨永峰, 杨宜男, 程亚文, 王立, 王原. 基于鸟类栖息地季节性变化的自然保护区动态分区管理——以安徽升金湖国家级自然保护区为例. 生态学报, 2023, 43(22): 9206-9217.

Yang P, Yang Y F, Yang Y N, Cheng Y W, Wang L, Wang Y. Dynamic zoning of nature reserves based on seasonal changes in bird habitats: Shengjin Lake National Nature Reserve, Anhui Province as an example. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(22): 9206-9217.

基于鸟类栖息地季节性变化的自然保护区动态分区管理

——以安徽升金湖国家级自然保护区为例

杨萍^{1,2}, 杨永峰³, 杨宜男², 程亚文⁴, 王立⁵, 王原^{2,5,*}

1 苏州大学金螳螂建筑学院, 苏州 215000

2 安徽师范大学地理与旅游学院, 芜湖 241002

3 国家林业和草原局调查规划设计院, 北京 100101

4 中铁城市规划设计研究院有限公司, 芜湖 241002

5 上海栖星生态环境咨询有限公司, 上海 200433

摘要: 鸟类栖息地会随着季节迁徙而改变, 基于此对以珍稀濒危鸟类保护为主要目标的自然保护区进行动态分区管理, 能够有效提高土地利用效率, 协调生物多样性保护与其他生态系统服务功能利用。通过 MaxEnt 模型分析预测安徽升金湖国家级自然保护区鸟类繁殖季和越冬季的栖息地范围, 并采用空间叠加分析方法得到动态分区方案。结果发现: 繁殖季鸟类栖息地适宜性受到人口密度、丰水期土地利用类型、距居民点距离、距道路距离等环境因素的影响; 越冬季鸟类受到距道路距离、人口密度、距枯水期水体距离、枯水期土地利用类型等环境因素的影响。运用 ArcGIS 水文工具分析出升金湖国家级自然保护区汇水单元作为其动态区划单元, 根据鸟类栖息地季节性变化的特点结合分析结果叠加分析, 将安徽升金湖国家级自然保护区划分为核心栖息地保护区、繁殖季栖息地保护区、越冬季栖息地保护区和一般控制区。核心栖息地保护区要进行全年严格保护, 繁殖季栖息地保护区和越冬季栖息地保护区在相应鸟类栖息时段严格管控、非栖息时段可合理利用, 一般控制区则全年可允许合理的行为活动。季节性动态分区方案注重解决安徽省升金湖国家级自然保护区生态环境保护和社区发展之间的矛盾问题, 便于未来保护区生态保护规划决策的制定和实施, 进一步丰富了以季节性栖息物种为主要保护对象的自然保护区的动态功能分区研究理论与方法体系, 为制定提高自然保护区空间利用效率的生态管理策略提供了参考依据。综上, 建议在升金湖国家级自然保护区生态环境保护和社区发展中, 依据保护区季节性动态分区特征, 实行分区管制, 制定对应的生态环境保护和发展措施。

关键词: 动态分区; 栖息地季节变化; 栖息地适宜性; MaxEnt

Dynamic zoning of nature reserves based on seasonal changes in bird habitats: Shengjin Lake National Nature Reserve, Anhui Province as an example

YANG Ping^{1,2}, YANG Yongfeng³, YANG Yinan², CHENG Yawen⁴, WANG Li⁵, WANG Yuan^{2,5,*}

1 Gold Mantis School of Architecture, Soochow University, Suzhou 215000, China

2 School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China

3 Survey Planning and Design Institute, State Forestry Bureau, Beijing 100101, China

4 China Railway Urban Planning and Design Institute Co.Ltd, Wuhu 241002, China

5 Neweco Design Co. Ltd, Shanghai 200433, China

基金项目: 国家自然科学基金(41201544); 美国国家地理空气与水资源保护基金(GEFC29-16)

收稿日期: 2022-05-11; **采用日期:** 2023-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: oneyuan1216@gmail.com

Abstract: The bird habitats change with seasonal migration. Based on this, the dynamic zoning management of nature reserves with the protection of rare and endangered birds as the main goal can effectively improve land use efficiency and help to coordinate biodiversity conservation with other ecosystem service functions. The MaxEnt model was used to predict the habitat range of birds in the breeding season and wintertime in Shengjin Lake National Nature Reserve, Anhui Province, and the dynamic zoning scheme was obtained by using spatial superposition analysis method. The results showed that the habitat suitability of birds in breeding season was affected by environmental factors such as population density, land use type, distance from settlements and distance from roads in wet season. Birds in winter were affected by environmental factors such as distance from road, population density, distance from water body in dry season and land use type in dry season. The catchment unit was analyzed as the dynamic regionalization unit of Shengjin Lake National Nature Reserve by using the ArcGIS hydrologic analysis tool. According to the characteristics of bird habitat seasonal changes combined with the superposition analysis of the analysis results, Shengjin Lake National Nature Reserve in Anhui Province was eventually divided into core habitat reserve, breeding season habitat reserve, winter habitat reserve and general control area. The core habitat reserves should be strictly to protect throughout the year, the breeding season habitat reserves and the winter habitat reserves should be strictly to control during the corresponding bird habitat period, and the non-habitat period can be rationally used, while the general control areas can allow the reasonable behavior activities throughout the year. The seasonal dynamic zoning scheme focuses on solving the contradiction between ecological environmental protection and community development in Shengjin Lake National Nature Reserve of Anhui Province, facilitates the formulation and implementation of ecological conservation planning decisions in the future, and further enriched the theory and method system of dynamic functional zoning research in nature reserves with seasonal resident species as the main protection objects. It provides a reference for formulating ecological management strategies to improve the efficiency of space utilization in nature reserves. In conclusion, it is suggested that in the ecological environment protection and community development of Shengjin Lake National Nature Reserve, regional control should be implemented according to the seasonal dynamic zoning characteristics of the reserve, and corresponding measures for the ecological environment protection and development should be formulated.

Key Words: dynamic zoning; seasonal variation of habitat; habitat suitability; MaxEnt

建立自然保护区是实现自然生态系统与生物多样性保护的有效途径^[1]。自 1956 年广东肇庆鼎湖山自然保护区建立以来,我国自然保护区建设历经 65 年发展,截至 2020 年已建立 2750 处自然保护区,其中国家级自然保护区 474 处。较为庞大的自然保护区规模为生物多样性保护做出了巨大的贡献,但是目前自然保护区的保护有效性仍存在一定的问題,部分自然保护区的生态系统质量存在恶化趋势^[2-3]。绝大部分自然保护区内部或周边存在社区与原住居民,居民生活生计活动会影响保护区的生物多样性保护,导致保护区内生物多样性保护与人类生计活动间矛盾突出^[4]。

功能分区作为一种空间规划的工具能够合理安排自然保护区空间的多种用途,缓和生物多样性保护与人类生计活动间的矛盾关系,实现自然保护区可持续发展^[5-6]。如联合国教科文组织的“人与生物圈”计划将自然保护区划分为严格保护的核心区、允许人类规范活动的实验区以及介于两个区域间的缓冲区^[7]。该种分区方法虽为自然保护区的多种用途的空间安排提供了一套较为有效的准则,但由于政府机构的多头管理导致功能分区不合理,部分生物多样性重要区域未得到保护,降低了自然保护区生物多样性保护的有效性。2019 年,在中共中央办公厅和国务院办公厅印发的《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系指导意见》中指出要合理划定自然保护区功能分区,推进自然保护区功能分区从“三区模式”转换为“两区模式”,即核心保护区和一般控制区,在加强生物多样性重要区域保护的同时降低管理难度。

为应对自然保护区功能区划调整的挑战,诸多学者开始探究适宜中国自然保护区功能分区的方案。部分学者基于景观适宜性探究功能分区方案,如陈利顶等^[7]基于景观适宜性提出自然保护区核心区的优化方案。

李道进等^[8]采用景观生态源-汇系统理论优化自然保护区的功能区划。部分学者基于最小费用距离模型探究功能分区方案,如曲艺等^[9]综合植被、地形与人类活动划定自然保护区核心区范围。徐卫华等^[10]基于最小费用距离模型与生境质量评价划定大熊猫自然保护区的功能分区。部分学者基于物种分布模型探究功能分区方案,如李行等^[11]构建空间模糊物种分布模型模拟了关键鸟类的空间分布,指导大河口区淤涨型自然保护区功能分区。物种分布模型对于以保护珍稀濒危物种为主要对象的保护区最为直接有效,其中 MaxEnt 模型预测效果较好,能准确模拟多时段环境变量和物种间的关系,该方法也得到了广泛的应用。如运用 MaxEnt 模型对唐家河国家级自然保护区金丝猴栖息适宜性^[12]、四川王朗国家级自然保护区蓝马鸡栖息适宜性^[13]以及越冬白头鹤栖息适宜性进行评价^[14],为自然保护区保护范围的划定提供参考依据。目前,现有的静态分区模式对森林生态系统等保护类型相对稳定的保护区较为合适,但对保护对象空间分布具有季节性差异的自然保护区难以适用。灵活的动态分区方案对于缓和具有季节差异性的自然保护区与社区矛盾冲突具有重要指导意义,弥补静态区划的弊端。

相关学者针对自然保护区功能分区方案进行了许多有益的探索,但是目前关于自然保护区功能分区的研究仍集中在静态功能分区方面^[15],此种分区方案对保护以森林生态系统等相对稳定的保护对象较为合适,但对保护对象具有季节性变化的自然保护区存在一定的问题^[16]。如以鸟类为主要保护对象的自然保护区,由于鸟类栖息具有季节性的动态变化,该类自然保护区内部分空间在某些时间段存在鸟类栖息功能空缺,可用于其他用途。因此在该类自然保护区内可实行动态功能分区方案,在保护对象栖息时间段内发挥生物多样性保护功能,而在非保护对象栖息时间段内开发新的空间用途,从而有效协调自然保护区内保护与利用的矛盾关系,实现自然保护区的高效利用,弥补静态分区利用效率较低的弊端。

安徽升金湖国家级自然保护区作为长江中下游地区重要的自然保护区,是安徽省唯一一处国际重要湿地,该自然保护区以鸟类为主要保护对象。同时该自然保护区内分布有大量的社区和人口,鸟类栖息地保护与人类捕鱼、粮食种植等生计活动矛盾问题突出。既有的功能区划方案主要从鸟类栖息适宜性角度出发考虑,缺乏对鸟类栖息适宜性和人类生计活动的综合考虑。因此,本文从鸟类栖息地季节性动态变化视角出发,运用 MaxEnt 模型探究安徽升金湖国家级自然保护区鸟类繁殖季和越冬季栖息地适宜性情况,提出季节性动态分区方案,合理制定不同时间段自然保护区空间用途,以期在有效保护鸟类生物多样性和湿地生态系统完整性的基础上协调解决自然保护区内居民生计活动需求以及各潜在利益主体诉求,完善自然保护区动态功能分区研究理论体系并为升金湖国家级自然保护区动态功能分区方案制定提供参考依据。

1 研究区域概况

安徽升金湖国家级自然保护区位于安徽省池州市贵池区与东至县的交界处(图 1)。该自然保护区以升金湖为主体,总面积 333.40km²,其中湖泊面积 133km²。作为东亚-澳大利西亚鸟类迁徙路线上的重要栖息地^[17],升金湖国家级自然保护区内生态基础条件优越,湿地资源丰富,为越冬鸟类和繁殖鸟类提供觅食和筑巢所需的优良生存环境,是长江中下游地区最主要的鸕类、鹤类、雁鸭类、鹤鹑类越冬地之一^[18],栖息的珍稀鸟类数量约占长江中下游流域越冬珍稀水鸟总数的 5%—10%^[19]。

升金湖国家级自然保护区内部及周边还分布有数量较多的社区和居民,保护区在栖息地保护和社区居民生活动间存在较大的矛盾冲突,居民生产生活会对区

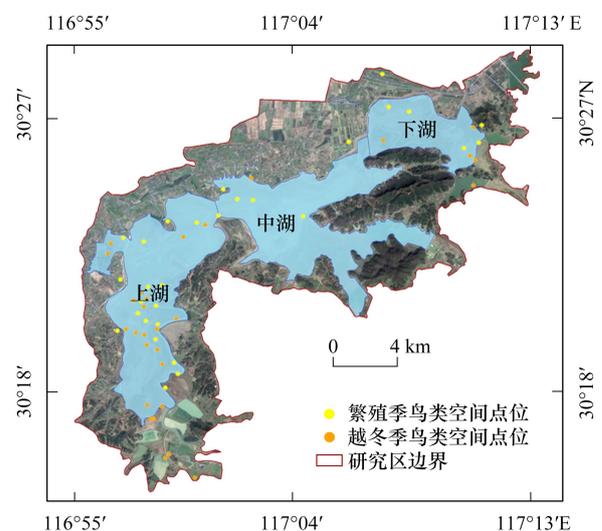


图 1 研究区范围图

Fig.1 The area of the research

内物种产生干扰,而保护生物多样性会限制居民大多数生产行为,难以维持生计。因此,本文基于鸟类栖息地季节性变化特征制定动态分区方案,以期在鸟类栖息地保护前提下合理安排社区居民生计活动,促进栖息地保护与社会生计活动协调发展。

2 研究方法和数据

2.1 研究方法

2.1.1 栖息地适宜性评价-MaxEnt 模型

MaxEnt 是根据最大熵原理开发的物种地理分布预测模型^[20]。该模型结合物种的实际分布点位数据以及各类环境变量数据,探究物种的可能地理分布以及适宜性程度^[21-22]。该模型还自带检验功能,可以通过 ROC 曲线下面积(AUC)来判断模型的模拟精度^[23]。因此该模型被广泛应用于物种潜在空间分布预测、物种栖息地适宜性评价等方面的研究。本文基于 MaxEnt 模型评估升金湖国家级自然保护区内繁殖季和越冬季鸟类的栖息地适宜性。

2.1.2 动态分区方法

通过 ArcGIS 的重分类功能采用自然断点法将繁殖季鸟类和越冬季鸟类栖息地适宜性划分为 5 个等级,分别为最适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜以及不适宜^[24]。我们将最适宜、较适宜和一般适宜栖息的区域划分为核心栖息地保护区,较不适宜和不适宜栖息的区域划分为一般控制区,将核心栖息地保护区进行严格的保护,而一般控制区可允许适当的人类活动。最后将繁殖季分区结果和越冬季分区结果进行空间叠加分析得到最终的动态分区方案,即繁殖季和越冬季均为核心栖息地的区域划分为核心栖息地保护区,繁殖季为核心栖息地保护区而越冬季为一般控制区的区域划分为繁殖季栖息地保护区,越冬季为核心栖息地保护区而繁殖季为一般控制区的区域划分为越冬季栖息地保护区,繁殖季和越冬季均为一般控制区的区域划分为一般控制区。

2.2 研究数据

2.2.1 鸟类监测数据

鸟类分布点位数据来源于升金湖国家级自然保护区组织的综合考察和生态监测,鸟类调查于每年的越冬季和繁殖季开展,相关鸟类监测数据记录于《安徽升金湖国际重要湿地生态监测研究年度报告》和《升金湖国家级自然保护区综合考察报告》,数据采用路线调查和定点观察相结合的方法监测鸟类种类、迁徙时间、种群数量、栖息地类型等。其中,繁殖季主要以雀形目、鹭科、鸭类等鸟类为主,包括小白鹭、白翅浮鸥、凤头鸊鷉、灰翅浮鸥、珠颈斑鸠等;越冬季鸟类主要以鹤形目、雁形目、鸽形目鸟类等为主,包括越冬白头鹤、东方白鹤、小天鹅、白琵鹭、鸿雁和豆雁等。

2.2.2 环境变量数据

在国内外既有研究中,相关学者结合案例地实际情况选择植被丰富程度、地形、坡度、水深度、距人类干扰距离、植被覆盖度等环境变量研究繁殖季鸟类的栖息地适宜性^[24-26]。选择距水体距离、距道路距离、气候、土地利用类型、坡度、坡向、海拔、植被覆盖度、斑块面积、斑块复杂性等等环境变量研究越冬季鸟类栖息地适宜性^[27-29]。因此,本文结合升金湖自然保护区实际情况以及繁殖季鸟类和越冬季鸟类的的生活习性、栖息地特点等确定繁殖季选择坡度、高程(DEM)、丰水期土地利用类型、距丰水期水体距离、距道路距离、植被覆盖度、人口密度等作为环境变量因子。越冬季选择海拔、坡度、地形、枯水期土地利用类型、距枯水期水体距离、距道路距离、人口密度等作为环境变量因子。

各环境变量因子数据来源:(1)地形数据:通过地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)下载 30m 分辨率的数字高程地图(DEM),并运用 ArcGIS 获取研究区的海拔、坡度等数据;(2)土地利用类型数据:运用 ENVI 软件的监督分类工具得到研究区丰水期和枯水期的土地利用类型图,导入 ArcGIS 重分类,得到建设用地、园地、林地、滩涂、水域等多种土地利用类型数据;(3)植被覆盖度数据:通过地理空间数据云平台下载

2020年1月份和7月份分辨率为30m的Landsat8遥感影像图,通过ENVI软件对研究区域进行辐射定标、大气校正、NDVI计算等流程,得到研究区域的植被覆盖度图;(4)其他数据:距水体距离、距居民点距离和距道路距离均运用ArcGIS的“多环缓冲区”工具进行距离分析得到,人口密度对村人口统计数据进行核密度分析获得。

3 结果分析

3.1 栖息地环境因子影响分析

3.1.1 MaxEnt 模型预测结果精度检验

参见图2,MaxEnt模型预测的升金湖国家级自然保护区的繁殖季鸟类和越冬季鸟类栖息地适宜性精度(AUC)分别为0.855和0.896,达到优秀水平^[30]。表明MaxEnt模型适合用于升金湖国家级自然保护区的繁殖季鸟类和越冬季鸟类栖息地适宜性评估,评估结果具有较高可信度。

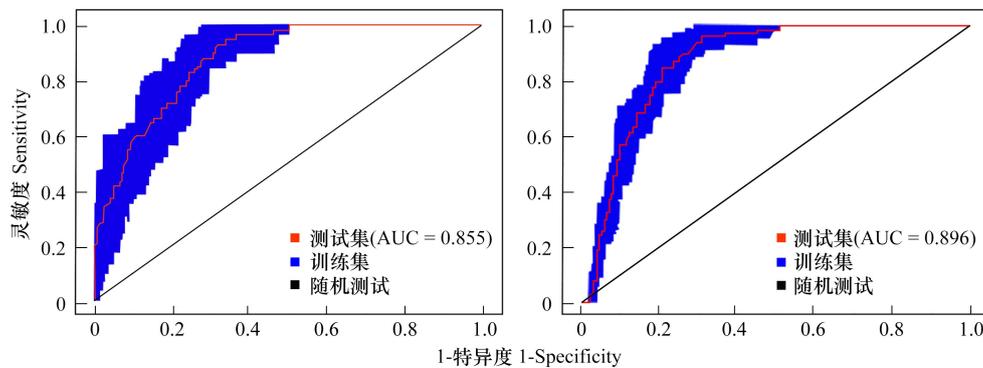


图2 栖息地预测结果 ROC 曲线

Fig.2 The ROC of habitat forecast results

ROC: 受域者工作特征; AUC: 曲线下面积

3.1.2 繁殖季鸟类栖息地适宜性环境因子影响分析

根据MaxEnt模型模拟的繁殖季鸟类栖息地适宜性的环境变量贡献率和重要性分析可知(表1):四个环境变量对模型的贡献率超过10%,依次是人口密度(44.0%)、丰水期土地利用类型(16.8%)、距居民点距离(11.0%)、距道路距离(10.5%),累积贡献率达到82.3%,而坡度、高程、植被覆盖度、距丰水期水体距离等对繁殖季鸟类栖息地分布影响较小。

表1 繁殖季栖息地适宜性影响因子重要性分析

Table 1 Importance analysis of environmental variables to habitat suitability of snowy egret

环境变量 Environmental variable	贡献率/% Percent contribution	重要性/% Importance
人口密度 Population density	44.0	50.5
丰水期土地利用类型 The land-use type during wet period	16.8	15.4
距居民点距离 The distance to the residential area	11.0	11.9
距道路距离 The distance to the road	10.5	9.3
坡度 Slope	6.8	3.7
高程 Altitude	4.2	3.8
植被覆盖度 Vegetation coverage	4.0	3.4
距丰水期水体距离 The distance to the wave during wet period	2.7	2

MaxEnt模型中各环境变量的相对贡献性,以10次模型重复后平均值展示

模拟四个主要环境变量因子和繁殖季鸟类栖息地空间分布的响应曲线分析结果显示(图3):繁殖季鸟类

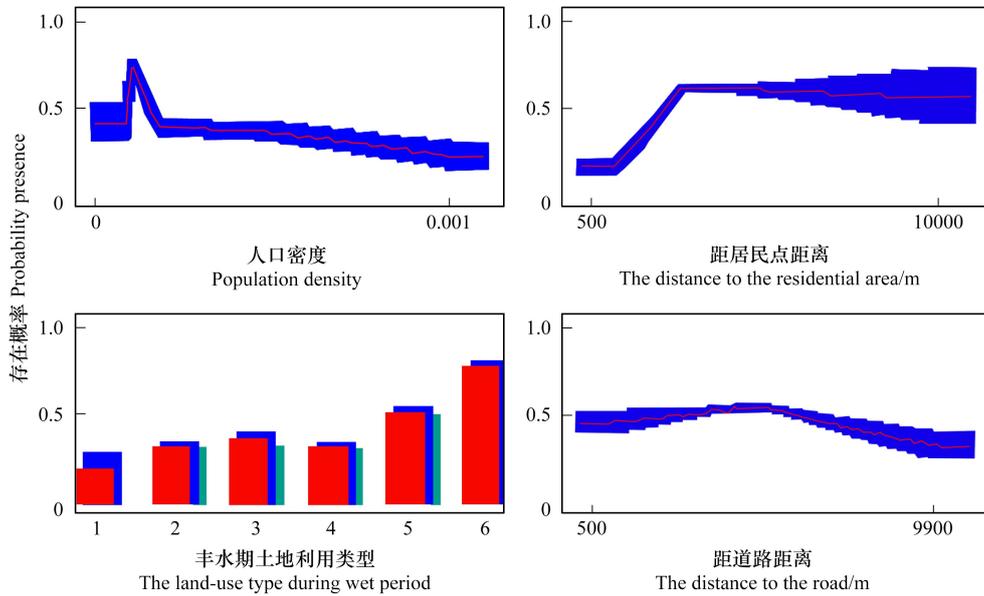


图3 繁殖季鸟类栖息地空间分布对主要环境变量因子的响应曲线

Fig.3 Response curves of bird habitat spatial distribution to major environmental variables during the breeding season

丰水期土地利用类型中1,2,3,4,5,6 分别代表建设用地、裸地、园地、林地、水体、滩涂

栖息地选择受到人口密度的影响最为显著,人口密度与繁殖季鸟类栖息地适宜性成负相关关系。繁殖季鸟类栖息地选择水体、滩涂类型用地相关性最强,与园地、林地、裸地等类型的用地也有较为紧密的关系,而建设用地则不适宜作为繁殖季鸟类栖息地,主要由于园地、滩涂、水域等用地类型的小幼虫、水生小昆虫、谷物等是鸟类的重要食物来源。繁殖季鸟类栖息地的选择与居民点距离关系较为紧密,随着距居民点距离的增加栖息地适宜性逐渐增加,当到达 2km 左右,繁殖季鸟类栖息地适宜性不再受居民点带来的影响,可知距离居民点距离过近不适宜繁殖季鸟类生存。此外,繁殖季鸟类栖息地适宜性随着距道路距离的增加呈现较为缓慢的增加,到达 5km 左右鸟类栖息地适宜性有所下降,离道路较远受人类噪音干扰较少。

3.1.3 越冬季鸟类栖息地适宜性环境因子影响分析

根据 MaxEnt 模型模拟所获得的对越冬季鸟类栖息地分布适宜性的环境变量贡献率和重要性分析可知(表 2):有四个环境变量因子对模型贡献率超过 10%,分别是距道路距离(26.9%)、人口密度(26.1%)、距枯水期水体距离(21.1%)、枯水期土地利用类型(11.5%),贡献率累积达 85.6%。而高程、坡度、植被覆盖度、距居民点距离、等四个环境变量对越冬季鸟类空间分布影响甚微。

表 2 越冬季鸟类栖息地适宜性影响因子重要性分析

Table 2 Importance analysis of influencing factors on habitat suitability of birds in wintering season

环境变量 Environmental variable	贡献率/% Percent contribution	重要性排列/% The ranking of Importance
距道路距离 The distance to road	26.9	37
人口密度 Population density	26.1	23.6
距枯水期水体距离 The distance to the wave during dry period	21.1	20.1
枯水期土地利用类型 The land-use type during dry period	11.5	9.2
高程 Altitude	6.3	5.5
坡度 Slope	4.9	4
植被覆盖度 Vegetation coverage	4.1	2
距居民点距离 The distance to the residential area	0.1	0.6

MaxEnt 模型中各环境变量的相对贡献性,以 10 次模型重复后平均值展示

对影响栖息地适宜性的四个重要环境变量因子响应曲线分析可知(图4):越冬季鸟类栖息地适宜性与距道路距离呈现倒U函数的关系,4km以内鸟类栖息地适宜性较好。越冬季鸟类栖息地选择与人口密度呈现负相关关系,人口密度的增加栖息地适宜性逐渐降低,表明越冬季鸟类易受到人类活动的干扰。越冬季鸟类栖息地适宜性与距水体距离呈负相关关系,通常会选择距离水体100m以内的距离栖息,距水体距离越大栖息地适宜性越低。此外,越冬季鸟类栖息地选择受土地利用类型的滩涂湿地、水域影响较大,其他土地利用类型影响较小,主要原因是滩涂湿地和浅水区域内的小鱼和小虾米等是鸟类的主要食物来源。

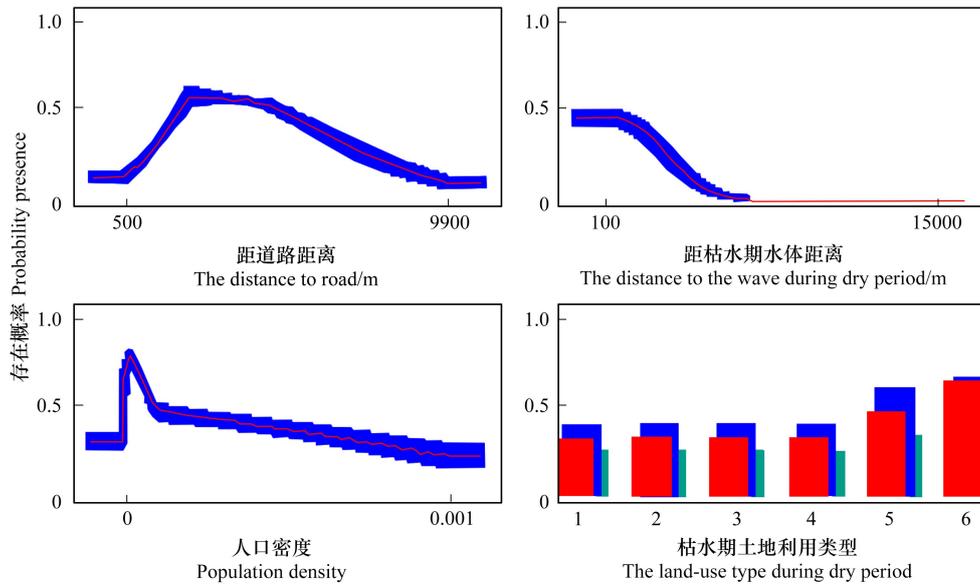


图4 越冬季鸟类栖息地空间分布对主要环境变量因子的响应曲线

Fig.4 The response curve of spatial distribution of the habitat of hooded crane to main environmental variables

枯水期土地利用类型中1,2,3,4,5,6分别代表建设用地、裸地、园地、林地、水体、滩涂

3.2 鸟类栖息地适宜性评价

3.2.1 繁殖季鸟类栖息地适宜性评价

由图5可知,繁殖季鸟类栖息地适宜性最高的区域分布于上湖区和下湖区,主要大片集中在上湖区中心以东以及下湖区东北角,面积约为27.47km²。繁殖季鸟类具有筑巢、产卵、孵化、育雏等繁殖需求,需在滩涂、河流、园地等地栖息觅食,而草滩地、泥滩地主要分布于上湖区沿岸和河流周围,且该区域内没有人为活动干扰因此,可提供繁殖季鸟类良好的生境。繁殖季鸟类栖息地适宜性较高的零散分布在中湖和上湖区,面积约为35.44km²,主要分布在上湖区中心以东、下湖区东北角以及中湖水域部分,此区域有较多的滩涂、园地能提供食物来源,且近年来由于升金湖国家级自然保护区捕鱼业的管控力度较大,河流水系保护较好,较适宜鸟类繁殖栖息。繁殖季栖息地适宜性一般的区域主要沿着上湖、下湖区湖岸线以及中湖区水域部分分布,面积约为82.49km²。沿着湖岸线分布有农田和小型鱼塘等可供

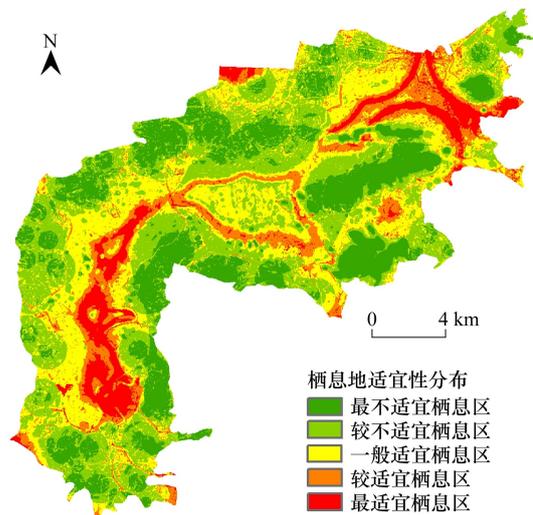


图5 升金湖国家级自然保护区繁殖季鸟类栖息地适宜性分布

Fig.5 The Distribution of Habitat Suitability in Shengjin Lake National Nature Reserve during Breeding Period

鸟类觅食的区域,水域部分水雉科、鹭科等鸟类喜活动于此,但沿岸线居民生产生活等人为活动干扰较大且 324 省道横跨中湖噪音等干扰较大,繁殖季鸟类繁殖栖息等活动可能会受到外部威胁。繁殖季较不适宜栖息的区域主要位于环湖大道以外以及靠近高速公路、国道等,面积约为 103.90km^2 ,此处噪音大、环境破坏严重,人为干扰活动过强,繁殖季鸟类无法生存。繁殖季鸟类最不宜栖息的区域主要位于上湖和中湖周边以及下湖东北角区域,面积约为 84.11km^2 ,上湖南部区域内含有汪家、罗家、冷水冲等 14 个村庄,中湖区域内含江村、朱家咀、花家咀、桂村等 17 个大小规模不同得村庄,下湖北部区域距离大渡口镇仅 2km ,该区域人为干扰活动过强,繁殖季鸟类无法在此完成繁殖栖息的活动。

3.2.2 越冬季鸟类栖息地适宜性评价

由图 6 可知,越冬季鸟类栖息地适宜性最高的区域在上湖区域水域、沼泽、滩涂、农田等湿地区域以及下湖东北角的少数区域,面积约为 31.15km^2 。该地区多为沼泽、滩涂、农田等湿地区域,食物资源充足,能够满足越冬季鸟类觅食需求,因而作为主要栖息地。上湖区西南部、下湖东北角的人为活动干扰小,远离居民点,鸟类栖息环境良好,可以提高良好的觅食环境。越冬季鸟类栖息地适宜性较好的主要位于上湖区域西部和东南角部分、中湖区南部以及下湖区东南角和东北角区域,面积约为 48.34km^2 。区域内有较多滩涂湿地、农田等可以为越冬季鸟类提供食物来源,且该区域内人为活动干扰程度较低。越冬季鸟类栖息地适宜性一般的区域主要沿上湖区湖岸线以及零散分布在中湖区南部以及下湖区东北角区域,面积约为 65.19km^2 。片区内虽然具有一定程度上的干扰,但由于冬季水位下降形成滩涂湿地,可以供给鸟类生存觅食。越冬季鸟类较不适宜的栖息区域主要位于上湖和中湖周边的农田区域,面积约为 72.34km^2 。该区域内存在一些小村庄,人类密度活动较高,且中湖区域水深大部分虽小于 50cm ,但湖区隐蔽条件较差,不适宜越冬季鸟类前往栖息停留。越冬季鸟类最不宜的区域主要位于中湖区域以及上湖南部村庄分布区域,面积约为 116.39km^2 。该区域未有越冬季鸟类栖息于此,该区域人口密度非常高,下湖区北边部分距离大渡口镇仅 2km ,人类活动强,且未能给白头鹤、白鹤、东方白鹳等越冬鸟类提供觅食的滩涂、沼泽湿地等。

3.3 安徽升金湖国家级自然保护区动态分区方案

根据上述分析,首先以升金湖保护区 DEM 数据为基础,运用 ArcGIS 水文分析工具分析出汇水单元作为升金湖保护区动态区划单元^[31],基于此,采用 ArcGIS 对繁殖季和越冬季鸟类栖息地适宜性分区结果进行空间叠加分析,从而确定升金湖国家级自然保护区动态分区方案(图 7)。分区包括:(1)核心栖息地保护区主要位于上湖区中部、中湖区南部及下湖区中部,面积约为 109.78km^2 ,该区域全年必须严格管控。(2)繁殖季

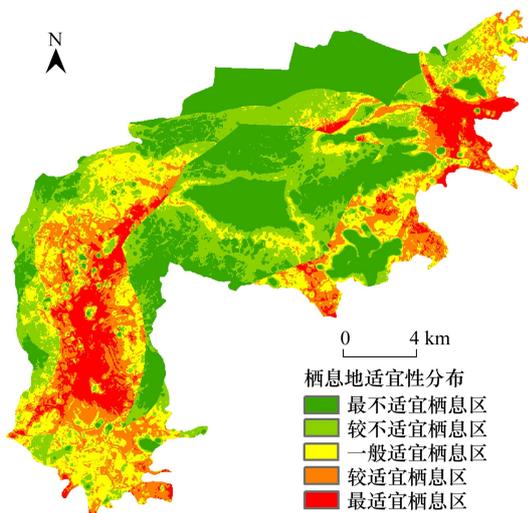


图 6 升金湖国家级自然保护区越冬季鸟类栖息地适宜性分布

Fig.6 The Distribution of Habitat Suitability in Shengjin Lake National Nature Reserve during Winter

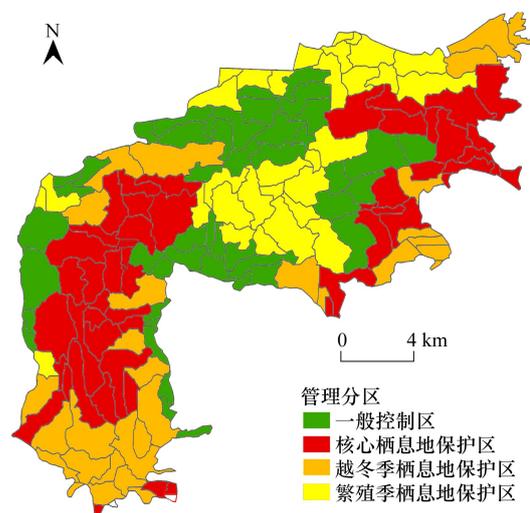


图 7 升金湖国家级自然保护区动态管理分区

Fig.7 Dynamic management zoning of Shengjin Lake National Nature Reserve

栖息地保护区主要集中分布在中湖区中部和下湖区北部区域,以及零散分布在下湖区西部边角区域,面积约为 67.80km²,该区域繁殖季节必须严格管控,越冬季节可以合理使用。(3)越冬季栖息地保护区主要位于上湖区沿岸线及南部区域,以及零散分布在中湖区南部和下湖区东北角区域的滩涂区及农田,面积约为 72.43km²,该区域越冬季节必须严格管控,繁殖季节可以合理使用。(4)一般控制区主要位于上湖区西部和东部和中湖区周边区域,面积约为 83.39km²,任何季节均可合理使用。

现有升金湖国家级自然保护区分区依据《安徽升金湖国家级自然保护区总体规划(2021—2030年)》(<https://lyj.chizhou.gov.cn/News/show/569908.html>)划分为核心区、实验区、缓冲区。叠加比较分析得知,核心区内涵盖核心栖息地保护区、繁殖季和越冬季栖息地保护区,其在繁殖季或越冬季均有空间可以进行合理利用,原因在于传统的三区划方式综合考虑全年的要素,划定结果较为固定、灵活性较差,空间利用率低。实验区内涵盖核心栖息地保护区、繁殖季和越冬季栖息地保护区及一般控制区,既有规划中的实验区划分较为笼统,政府或居民难以判断何处可以合理使用、何处需要严格保护,易引发社区发展和生态环境保护间的矛盾冲突,阻碍了生态环境保护和社区发展。既有规划功能区划可以进一步优化,促进保护区可持续发展。此外,既有规划中缓冲区内仍存在核心栖息地保护区和各季节栖息地保护区,如东北角和东南角区域,这主要由于这部分山地水体也会有鸟类栖息,但在既有规划中被忽略,易导致鸟类栖息地生境破坏,种群数量减少,这也违背保护区保护鸟类长足发展的初衷。因此,建议既有保护区功能区划可以结合鸟类季节性变化特点制定动态功能区划方案,合理使用空间。

4 讨论

4.1 基于季节性变化的动态分区管理策略

本研究明确不同功能分区的主要用途。永久核心栖息地保护区不考虑保护物种季节性变化特征,常年作为核心保护区进行严格的生态保护。永久一般控制区可以常年合理安排适当的社区生计活动等。繁殖季栖息地保护区和越冬季栖息地保护区在繁殖季或越冬季时实行严格的生态保护措施,而在非繁殖季或非越冬季则转为动态一般控制区,可以开展符合季节性特征的适当社区生计活动。

本研究提出各分区管理策略:(1)核心栖息地保护区,该区域在越冬季和繁殖季均需严格保护,严令禁止一切对繁殖季鸟类和越冬季鸟类产生负面影响的活动,且该区域需要迁移村庄等一切非保护功能的社区基础设施,保护鸟类的繁殖、越冬栖息等行为。(2)繁殖季栖息地保护区,核心保护区之外繁殖季仍需严格保护的区域,具有最高的繁殖价值和最低影响。该区域涵盖鸟类整个繁殖期活动领域内的所有栖息地,包含鸟类的觅食、营巢栖息、繁衍等一系列活动,因此,其应严令禁止一切影响鸟类繁殖栖息的活动出现,坚决保护繁殖季鸟类的繁殖栖息需求。保护区内严禁内散养家禽家畜和渔业活动,湖区的水产养殖和家禽、家畜放养对水生植物和草滩植物群落造成严重影响,影响繁殖鸟类分布、觅食等。在非鸟类繁殖栖息地保护区域,允许周边社区居民开展适当的社区生计活动,如生态农业、捕鱼、渔业养殖等活动,并引导渔民由高密度人工渔业养殖模式改为可持续的生态渔业养殖模式。(3)越冬季栖息地保护区,核心保护区之外越冬季仍需严格保护的区域,具有最高越冬价值和最低影响。区域内部人口密度低,人为活动强度小,能为越冬鸟类提供良好的觅食和生存环境,区域内禁止一切对越冬候鸟有影响的活动,禁止狩猎、耕种、观鸟等人为活动的干扰,并且可以制定相关严格管控措施保护越冬鸟类栖息地。此外,越冬季鸟类与水位的相关度较高,越冬前期的持续高水位已经对水鸟造成不利影响,这与渔业的发展相关,冬季升金湖多出区域进行蓄水养殖,造成保护区内草滩地和泥滩地等面积减少,影响水鸟的空间分布^[32]。建议越冬季通过控制渔业活动和黄湓闸开放水等措施保证冬季保护区内浅水区水位在 20cm 以下,保护鹤类、鸕类、鸬类等鸟类栖息空间,同时,应通过调控水位保证保护区内水退去形成大面积的草滩地等吸引大群的豆雁、白额雁等前来觅食。在非鸟类越冬栖息地保护区域,可以引导居民开展相关合理的生计活动,发展生态渔农业,且可利用越冬季丰富的鸟类资源和环境资源等开展环境友好型的自然教育和研学旅行等第三产业。(4)一般控制区,该区域内允许既有的社区村庄存在,全年允许开

展适当的人为活动且人为活动强度可高于繁殖季重要栖息地和越冬季重要栖息地,包括耕种、农业排水、可允许合法的狩猎行为以及诸如精品鱼塘养殖等一些营生行为的活动,同时允许建设适当服务社区居民的基础设施,如道路、社区医院等。

4.2 动态分区注重协调生态环境保护与社区发展的问题

自然保护区内的生物多样性保护与社区生计活动间并非具有不可调和的矛盾,两者间也可实现协同发展^[33]。升金湖国家级自然保护区内生态环境保护与发展之间矛盾日益突出,有较多保护区位于城市产业发展的重要节点,保护区管理单位需要综合考虑区域经济发展问题,诸如池州市支柱产业海螺集团中重要的运输干道横跨升金湖,保护与区域经济发展冲突现象较为显著;保护区居民依靠保护区生活及保护区资源营生,如社区农民在升金湖的上湖区域在冬季蓄水养殖,导致越冬候鸟的重要栖息地面积大量减少,候鸟被迫迁往附近农田觅食,造成附近农户农田严重经济损失,保护和资源使用冲突较为严重。因此研究建议在繁殖季或越冬季无需保护的区域,社区居民可以进行种植水稻、大棚蔬菜、玉米等合理的人为活动,在保证民生的同时为繁殖季鸟类提供稻谷等食物来源。但为防止农作物耕作过程中使用农药、化肥等,可以通过政府购买服务的形式让周边居民绿色耕种,为鸟类提供优质栖息地,同时保证社区居民生计收入。与此同时,建议保护区与相关部门沟通,对升金湖冬季水位进行科学管理,应满足鸟类鸟繁殖季越冬需求的基础上兼顾渔业养殖需要,并引导渔业由传统的养殖方式向生态养殖转型发展。此外,升金湖国家级保护区越冬季有多种珍稀鸟类,具有极高的教育科普价值,政府应鼓励发展环境友好型的自然教育产业,在不影响鸟类栖息的区域开展自然教育科普、观鸟等活动,吸引游客前往,在保证较小影响生态环境的前提下且能够传播生物多样性保护知识、培养公众生物多样性保护意识,并带动当地服务业的发展,推动社区产业转型升级。

4.3 不足与展望

目前我国大多数自然保护区存在较为严重的生态保护和社区发展间的冲突矛盾^[33],尤其在以珍稀濒危物种为主要保护对象的自然保护区,严格的生态保护要求很大程度上限制了周边居民生产生活活动^[34]。针对升金湖国际级自然保护区静态功能分区方案在使用中存在核心保护区季节性闲置、土地利用效率较低、生态保护与社区生计活动间的冲突严重等问题,且保护区由于物种育种、饲养或鸟类迁徙等生物过程呈现明显季节性变化特点。本研究提出具有季节性变化特点的动态分区的方案,确保保护区在保护鸟类繁殖栖息生存的前提下,在越冬季不需保护的区域繁殖季可以使用,在繁殖季不需保护的区域越冬季可以使用,较好的协调了生态保护和社区居民生计活动之间的矛盾,最大化发挥土地价值,保护民生。本研究在保护生物多样性前提下,根据保护物种栖息季节性变化特征灵活调整空间的生态保护用途和社区生计生产用途,协调生态保护与社区生计活动间的矛盾关系,促进自然保护区发挥最大的服务功能^[35]。

本研究也存在一定的不足之处,首先,研究对象选择的是升金湖自然保护区内具有代表性的鸟类,相关的动态分区方案也是基于鸟类特征制定,而升金湖自然保护区内也存在较多其他类型生物,可能对其他生物的栖息地保护存在一定差异。但升金湖作为国际重要湿地主要任务是保护鸟类,因此以鸟类为研究对象可以较好的反映升金湖总体情况。其次,由于本文重点在于协调保护区内鸟类栖息地保护与社会居民生计活动间的矛盾关系,因此在动态分区方案中未考虑水位调控等其他因素。此外,依据相关研究对鸟类觅食环境、食物来源等偏好研究发现多集中在滩涂、沼泽、农田等湿地区域,本文仅以土地利用类型描述其食物偏好性,未对某类用地食物丰富度进行进一步量化分析,食物这一因子未着重考虑。因此,在未来的研究中,会继续丰富物种数据,综合考虑多物种的栖息适宜性,量化考虑食物、水位等环境影响因子。

5 结论

本研究以安徽升金湖国家级自然保护区动态分区方案为研究目标,采用 MaxEnt 模型方法预测保护区繁殖季和越冬季鸟类栖息地适宜性,并运用自然断点法得到繁殖季和越冬季后年栖息地适宜性空间分布图,最后通过空间叠加分析得到保护区动态分区方案。研究发现繁殖季鸟类栖息地适宜性受到人口密度、丰水期土

地利用类型、距居民点距离、距道路距离等环境因素的影响;越冬季鸟类受到距道路距离、人口密度、距枯水期水体距离、枯水期土地利用类型等环境因素的影响。此外,本研究基于升金湖国家级自然保护区鸟类季节性变化特征得到保护区动态区划方案,分为核心栖息地保护区、繁殖季栖息地保护区、越冬季栖息地保护区、一般控制区等四个功能区,体现了季节性变化特点,注重解决生态环境保护与社区之间的矛盾问题,有助于服务未来保护区生态保护规划决策的实施。建议在升金湖国家级自然保护区生态环境保护和社区发展中,依据保护区季节性动态分区特征,实行分区管制,制定对应的生态环境保护和发展的措施。

参考文献(References):

- [1] 呼延佼奇,肖静,于博威,徐卫华. 我国自然保护区功能分区研究进展. 生态学报, 2014, 34(22): 6391-6396.
- [2] 祝萍,黄麟,肖桐,王军邦. 中国典型自然保护区生境状况时空变化特征. 地理学报, 2018, 73(1): 92-103.
- [3] 梁健超,丁志锋,张春兰,胡慧建,朵海瑞,唐虹. 青海三江源国家级自然保护区麦秀分区鸟类多样性空间格局及热点区域研究. 生物多样性, 2017, 25(3): 294-303.
- [4] Naoe S, Katayama N, Amano T, Akasaka M, Yamakita T, Ueta M, Matsuba M, Miyashita T. Identifying priority areas for national-level conservation to achieve Aichi Target 11: a case study of using terrestrial birds breeding in Japan. *Journal for Nature Conservation*, 2015, 24: 101-108.
- [5] Mehri A, Salmanmahiny A, Momeni Dehaghi I. Incorporating zoning and socioeconomic costs in planning for bird conservation. *Journal for Nature Conservation*, 2017, 40: 77-84.
- [6] Boulad N, Hamidan N. The use of a GIS-based multi-criteria evaluation technique for the development of a zoning plan for a seasonally variable Ramsar wetland site in Syria: Sabkhat Al-Jabboul. *Wetlands Ecology and Management*, 2018, 26(3): 253-264.
- [7] 陈利顶,傅伯杰,刘雪华. 自然保护区景观结构与物种保护——以卧龙自然保护区为例. 自然资源学报, 2000, 15(2): 164-169.
- [8] 李道进,逢勇,钱者东,陈惠平. 基于景观生态学源-汇理论的自然保护区功能分区研究. 长江流域资源与环境, 2014, 23(S1): 53-59.
- [9] 曲艺,栾晓峰. 基于最小费用距离模型的东北虎核心栖息地确定与空缺分析. 生态学杂志, 2010, 29(9): 1866-1874.
- [10] 徐卫华,罗翀,欧阳志云,张路. 区域自然保护区群规划——以秦岭山系为例. 生态学报, 2010, 30(6): 1648-1654.
- [11] 李行,周云轩,况润元,田波. 大河口区淤涨型自然保护区功能区划研究——以崇明东滩鸟类国家级自然保护区为例. 中山大学学报: 自然科学版, 2009, 48(2): 106-112.
- [12] 白净露,李艳红,郑维超,陈万里,谌利民,黎大勇,胡杰. 唐家河国家级自然保护区川金丝猴生境适宜性评价. 生态学报, 2021, 41(11): 4460-4468.
- [13] 杨楠,马东源,钟雪,杨孔,周志强,周华龙,周材权,王彬. 基于 MaxEnt 模型的四川王朗国家级自然保护区蓝马鸡栖息地适宜性评价. 生态学报, 2020, 40(19): 7064-7072.
- [14] 郝雪娜,吴艳兰. 基于 Maxent 模型的越冬白头鹤适宜生境预测. 安徽农业大学学报, 2017, 44(4): 591-597.
- [15] Day J C. Zoning—lessons from the great barrier reef marine park. *Ocean & Coastal Management*, 2002, 45(2/3): 139-156.
- [16] 路飞,朱丽艳,李百航,李小双,赫尚丽,李华. 基于动态管理的自然保护区功能分区模式初探——以寻甸黑颈鹤自然保护区为例. 林业建设, 2012(5): 85-88.
- [17] 张双双,董斌,杨斐,徐文瑞,崔杨林,冯丽丽,陈凌娜. 升金湖湿地景观格局变化对越冬鹤类地理分布的影响. 长江流域资源与环境, 2019, 28(10): 2461-2470.
- [18] 王成,董斌,朱鸣,黄慧,赵抗抗,吕典,崔玉环,高祥. 升金湖湿地越冬鹤类栖息地选择. 生态学杂志, 2018, 37(3): 810-816.
- [19] 杨李,董斌,汪庆,盛书薇,韩文妍,赵俊,程明伟,杨少文. 安徽升金湖国家级自然保护区水鸟生境适宜性变化. 湖泊科学, 2015, 27(6): 1027-1034.
- [20] 孙雪莹,李祎斌,吴庆明,徐卓,高晓冬,李玉春,柳旭,邹红菲,李晓民. 松嫩平原苍鹭秋季栖息地选择及适宜性分布. 生态学报, 2021, 41(7): 2877-2885.
- [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] Brown J L. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 2014, 5(7): 694-700.
- [23] 阮欧,刘绥华,陈芳,罗杰,胡海涛. 基于多源遥感的贵州草海国家级自然保护区黑颈鹤生境适宜性评价. 生态学报, 2022, 42(5):

1947-1957.

- [24] 王成,董斌,彭文娟,陈凌娜,黄慧,叶小康,朱鸣,吕典,倪燕华,赵抗抗,张双双.升金湖湿地土地利用对鹤类栖息地及种群数量的影响.浙江农林大学学报,2018,35(3):511-518.
- [25] 孙继旭,周洪庆,项凤影,郭华兵,白玉妍,李晓民.七星河湿地灰翅浮鸥繁殖前期行为研究.野生动物学报,2015,36(2):202-205.
- [26] Barakat A, Hilali A, El Baghdadi M, Touhami F. Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique. A case study in Béni Mellal-Khouribga Region, Morocco. Environmental Earth Sciences, 2017, 76(12):413.
- [27] 李李鑫,潘鸿茹,田晔,雷泽锋,邹红菲.吉林莫莫格国家级自然保护区白鹤与豆雁迁徙期资源利用特征与生态位分化.四川动物,2020,39(4):417-423.
- [28] 焦盛武.白头鹤在中国迁徙路线上的栖息地选择和觅食策略研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [29] 陈薇,周立志,王维晴,宋昀微,张宏.升金湖和菜子湖越冬白头鹤栖息地适宜性分析.湿地科学,2020,18(3):275-286.
- [30] 吴庆明,王磊,朱瑞萍,杨宇博,金洪阳,邹红菲.基于 MAXENT 模型的丹顶鹤营巢生境适宜性分析——以扎龙保护区为例.生态学报,2016,36(12):3758-3764.
- [31] Geneletti D, van Duren I. Protected area zoning for conservation and use: a combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. Landscape and Urban Planning, 2008, 85(2):97-110.
- [32] 张轶群.基于越冬水鸟生态需求的升金湖水位调控方案研究[D].合肥:安徽大学,2021.
- [33] 张引,刘海龙,杨锐.社区共管与协调生态保护和可持续发展——基于秦巴山脉区域5个典型案例的分析.中国工程科学,2020,22(1):111-119.
- [34] 康渊,王军.青藏高原自然保护区与乡村社区共生模式研究——以孟达国家级自然保护区为例.中国园林,2019,35(9):83-88.
- [35] 何思源,苏杨,闵庆文.中国国家公园的边界、分区和土地利用管理——来自自然保护区和风景名胜区的启示.生态学报,2019,39(4):1318-1329.