

DOI: 10.5846/stxb202005121190

孙雪莹, 李伟斌, 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.

Sun X Y, Li Y B, Wu Q M, Xu Z, Gao X D, Li Y C, Liu X, Zou H F, Li X M. Habitat suitability assessment and habitat selection of the Grey heron (*Ardea cinerea*) during autumn in Songnen Plain, China. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(7): 2877-2885.

松嫩平原苍鹭秋季栖息地选择及适宜性分布

孙雪莹¹, 李伟斌¹, 吴庆明^{1,*}, 徐卓^{1,2}, 高晓冬³, 李玉春⁴, 柳旭⁵, 邹红菲¹, 李晓民¹

1 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 哈尔滨 150040

2 黑龙江扎龙国家级自然保护区管理局, 齐齐哈尔 161000

3 曲阜师范大学生命科学学院, 曲阜 273165

4 烟台市森林资源监测保护服务中心, 烟台 264001

5 黑龙江省宝清东升自然保护区管理局, 宝清 155600

摘要: 苍鹭 (*Ardea cinerea*) 是松嫩平原湿地的常见鸟种, 松嫩平原也是苍鹭重要的栖息地。为了了解苍鹭潜在栖息地的适宜性分布, 利用 GPS/GSM 卫星跟踪技术, 结合遥感影像和地理信息系统, 应用 Maxent 模型对松嫩平原苍鹭秋季潜在的栖息地进行了评价, 并对其适宜性分布进行了分析。结果显示: 水源距离和绿度指数是影响松嫩平原苍鹭秋季栖息地适宜性的重要环境变量; 松嫩平原内苍鹭适宜栖息地面积为 2761.06 km² (占研究区域的 1.24%), 主要分布在大庆 (756.86 km², 占适宜栖息地面积的 27.41%)、白城 (537.14 km², 占适宜栖息地面积的 19.45%)、齐齐哈尔 (439.43 km², 占适宜栖息地面积的 15.92%) 等地市行政区, 以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县 (429.90 km², 占适宜栖息地面积的 15.57%)、白城市镇赉县 (334.92 km², 占适宜栖息地面积的 12.13%)、大庆市肇源县 (185.54 km², 占适宜栖息地面积的 6.72%) 等县级行政区为主; 其中, 15.79% 的适宜栖息地依次受到莫莫格保护区 (10.34%)、扎龙保护区 (3.47%)、向海保护区 (0.67%)、查干湖保护区 (0.54%)、大布苏保护区 (0.41%)、乌裕尔河保护区 (0.36%) 等国家级自然保护区的保护。建议对未受到保护的零星小面积栖息地给与更多关注。

关键词: 苍鹭; 最大熵模型; 秋季栖息地; 适宜性分布; 松嫩平原

Habitat suitability assessment and habitat selection of the Grey heron (*Ardea cinerea*) during autumn in Songnen Plain, China

SUN Xueying¹, LI Yibin¹, WU Qingming^{1,*}, XU Zhuo^{1,2}, GAO Xiaodong³, LI Yuchun⁴, LIU Xu⁵, ZOU Hongfei¹, LI Xiaomin¹

1 College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Heilongjiang Zhalong National Nature Reserve, Qiqihar 161000, China

3 College of Life Science, Qufu Normal University, Qufu 273165, China

4 Yantai Forest Resources Monitoring and Protection Service Center, Yantai 264001, China

5 Heilongjiang Baoqing Dongsheng Nature Reserve, Baoqing 155600, China

Abstract: Songnen plain is the important plain in Northeast, China, and located in the middle part of the East Asian-Australasian Avian Migration Route which is the most key avian migration route of nine avian migration routes around the world. And this avian migration route possessed the biggest population number migratory birds and the most endangered

基金项目: 国家自然科学基金 (31401978); 教育部中央高校基本科研业务费 (2572019BE04, 2572017CA16)

收稿日期: 2020-05-12; 网络出版日期: 2021-01-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qingmingwu@126.com

avian species. Of them, Grey heron is a common bird species in Songnen Plain that is also an important habitat for the Grey heron. In order to understand the suitable distribution of Grey heron potential habitat in autumn, the potential habitat and its suitability distribution of Grey herons in Songnen Plain was analyzed by Maxent model and GPS/GSM satellite tracking technology, remote sensing, and Geographic Information System. The results showed that (1) the distance to water body and greenness index were the important environmental variables that affected the habitat suitability of Grey herons during autumn in Songnen Plain. (2) The suitable habitat area for Grey herons was 2761.06 km² (1.24% of Songnen plain area), mainly distributed in Daqing city (756.86 km², 27.41% of suitable habitat area), Baicheng city (537.14 km², 19.45% of suitable habitat area), Qiqihar city (439.43 km², 15.92% of suitable habitat area), and Buerbote Mongolian Nationality Autonomous County of Daqing city (429.90 km², 15.57% of suitable habitat area), Zhenlai county of Baicheng city (334.92 km², 12.13% of suitable habitat area), and Zhaoyuan county of Daqing city (185.54 km², 6.72% of suitable habitat area). (3) Among them, 15.79% of the suitable habitat areas were successively protected by Momoge nature reserve (10.34%), Zhalong nature reserve (3.47%), Xianghai nature reserve (0.67%), Chagan lake nature reserve (0.54%), Dabusu nature reserve (0.41%), and Wuyuer river nature reserve (0.36%). Based on the above research results, these habitats with small area for Grey heron should be paid more attention, and is maybe the most key habitat that can support habitat element for Grey heron.

Key Words: *Ardea cinerea*; Maxent model; autumn habitat; suitability distribution; Songnen Plain

栖息地是指野生动物的生存环境空间,这一空间可为野生动物提供完成生活史过程所需要的所有生物与非生物需求,所有这些需求都关系着野生动物的生存繁衍与种群延续,不仅有宏生境层面数量的配置供给,更有微生境层面质量的精细需要^[1-4]。这种情况下,适宜野生动物生存的栖息地则显得尤为重要,这是野生动物生存的必要条件,对野生动物的生存起决定性作用,鸟类也不例外,对候鸟最为关键^[4-6]。因此,基于野生动物现存的栖息地环境特征,分析其潜在的栖息地并对适宜性分布进行分析,有助于对特定区域野生动物及其栖息地资源开展针对性的科学保护^[7-8]。

松嫩平原是东北平原的重要组成部分,不仅是我国及世界重要的黑土带分布区,更是世界九条鸟类迁徙路线中最为重要的东亚-澳大利西亚鸟类迁徙路线的重要组成^[9-10]。苍鹭(*Ardea cinerea*)是该区域最为常见的大型湿地鸟类,但繁殖种群数量远低于历史规模,历史上的大规模繁殖群现在已很难再现^[11-12]。为了避免苍鹭这一常见鸟种出现青头潜鸭(*Aythya baeri*)种群骤减且科学研究资料缺乏的现象,非常有必要对苍鹭的保护生物学进行密切关注和深入思考^[13-14]。

而关于野生动物潜在栖息地分析及栖息地适宜性评价方面的研究,已被众多学者认为是开展濒危物种保护工作极为重要的生物学信息,不仅能指导开展具体的栖息地资源管理与保护,而且能有针对性地挖掘潜在栖息地并进行栖息地资源质量的管理预警^[15-17]。目前,已有众多学者对丹顶鹤(*Grus japonensis*)、白头鹤(*Grus monacha*)、白鹤(*Grus leucogeranus*)、白枕鹤(*Grus vipio*)、灰鹤(*Grus grus*)、黑颈鹤(*Grus nigricollis*)、朱鹮(*Nipponia nippon*)、小鸨(*Tetrax tetrax*)、鹬类(*Scolopacidae*)、啄木鸟(*Picidae*)等鸟类栖息地适宜性开展了一系列的评价研究^[1-2, 18-27]。而关于苍鹭栖息地适宜性评价方面,关注较少,仅有学者通过经典的生境适合度指数模型(Habitat suitability index, HSI)对扎龙保护区苍鹭营巢最适生境进行了分析^[12]。为了了解松嫩平原苍鹭秋迁期停歇地的适宜性分布信息,本文采用最新的 GPS/GSM 卫星跟踪技术,并结合遥感影像和地理信息系统及 Maxent 模型,对该区域苍鹭秋季潜在停歇地进行了分析,并对其适宜性进行了评价,以期对松嫩平原苍鹭栖息地未来的管理和保护提供科学依据。

1 研究地概况

松嫩平原是中国东北三大平原之一,地理位置 119°45′—129°36′E, 42°50′—49°18′N, 西连大兴安岭东麓,

北部和东部与小兴安岭和长白山外缘山麓台地相邻,南以松辽分水岭为界,跨黑龙江和吉林两省,行政区域涵盖哈尔滨、大庆、白城、齐齐哈尔、绥化、扶余、长春、四平 9 个地级行政区内的 55 个县级行政区^[28-29]。松嫩平原地处温带半湿润、半干旱的森林草甸与草甸草原地带,大陆性季风气候明显,四季分明,年均温 2—6℃,年均降水量可达 400—600mm,降水多集中在 6—9 月^[28-29]。松嫩平原源于松花江和嫩江两大河流,其间分布的湖泊等湿地分布广泛,这些成为丹顶鹤、白枕鹤、白头鹤、白鹤、苍鹭等许多大型水鸟的繁殖地和停歇地^[9,11-13],也因此建立了吉林莫莫格国家级自然保护区(下文简称莫莫格保护区)、黑龙江扎龙国家级自然保护区(下文简称扎龙保护区)、吉林向海国家级自然保护区(下文简称向海保护区)、吉林查干湖国家级自然保护区(下文简称查干湖保护区)、吉林大布苏国家级自然保护区(下文简称大布苏保护区)、黑龙江乌裕尔河国家级自然保护区(下文简称乌裕尔河保护区)等重要保护地,并成为东亚-澳大利西亚鸟类迁徙路线的重要组成部分^[13]。

2 研究方法

2.1 数据收集与筛选

2018 年 6 月下旬,在黑龙江省齐齐哈尔市泰来县泰湖国家湿地公园为五只苍鹭雏鸟佩戴了卫星跟踪器(黑林护许准[2018]32 号)。卫星跟踪器生产于湖南环球信士科技有限公司,型号为鸟类背负式追踪器 HQBG3527,重量为 40g,体积为 65mm×35mm×50mm。跟踪器佩戴个体的选择原则上选取苍鹭雏鸟各个器官基本发育完善的体型较大的个体,该阶段雏鸟已能短距离飞行,能独立觅食但捕食能力不强,每日早晚仍需亲鸟喂食。通过网捕对捕捉到的符合体重要求的苍鹭雏鸟个体佩戴卫星跟踪器。

关于本文分析所使用的数据,选取的是苍鹭在松嫩平原区域内离开繁殖地后的活动位点数据。利用 GPS/GSM 卫星跟踪技术结合实地调查的方法获取了 2018 年 7 月 17 日—10 月 24 日间苍鹭的空间位点数据。数据每小时采集一组,每组数据包括时间、温度、定位精度(最高 5m)、经纬度、飞行速度、飞行高度等信息。为了真正反映苍鹭对空间的栖息利用情况并提升数据精度,对采集的 5976 组数据进行了筛选,通过剔除重复位点、选取定位精度为 5m 且连续停留时间大于 1h 的栖息位点作为苍鹭选择的栖息位点,共获得栖息位点 231 个(图 1)。这些栖息位点被认为是被苍鹭选择有继续利用概率的栖息点。其中,重复位点的考虑原则以距离超过 10km 为准。

2.2 环境变量数据

栖息地环境变量包括人为环境变量和自然环境变量两大类。其中,人为环境变量通过距道路距离(Distance to road, Dr)、人类足迹指数(Human footprint index, Hf)进行体现;而自然环境变量通过距水体距离(Distance to water body, Dw)、土地覆盖类型(Land cover type, Lc)、亮度指数(Brightness index, Bi)、湿度指数(Wetness index, Wi)和绿度指数(Greenness index, Gi)等进行体现。

其中,人为环境变量中的道路矢量数据、人类足迹指数数据来源于哥伦比亚大学社会经济数据和应用中

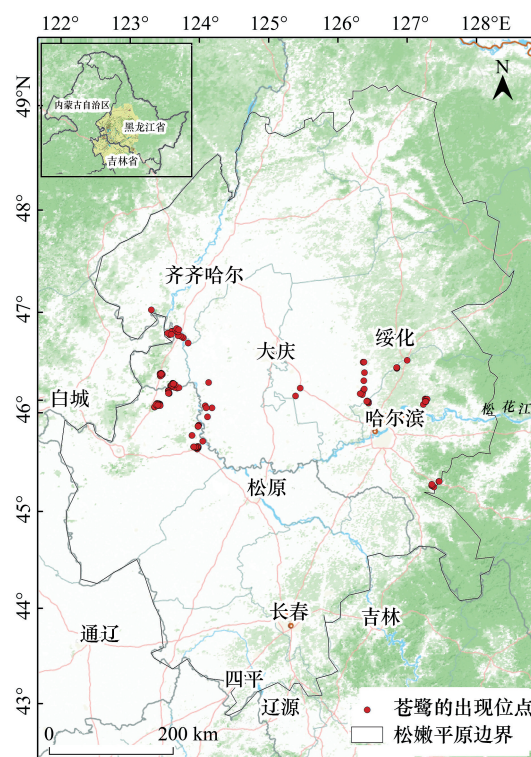


图 1 苍鹭在松嫩平原的栖息位点

Fig.1 Habitat site of Grey heron in Songnen Plain

心数据库(<http://sedac.ciesin.columbia.edu/data>)的 Global Roads Open Access Data Set (Version 1) 和 Last of the Wild Data Version 3 模块。

水体、土地覆盖类型数据来自国家综合地球观测数据共享平台(<http://www.chinageoss.org/dsp/home/index.jsp>)中空间分辨率为 30m×30m 的 Landsat8 和国产高分卫星,下载于 LandCover_China2017 数据集,通过 ArcGIS 10.6 平台提取土地覆盖类型栅格数据中的水体,并用空间分析工具(Spatial Analyst Tools)对提取的道路和水体的矢量数据通过欧式距离分析方法进行栅格化处理。

亮度指数、湿度指数和绿度指数数据来自美国地质勘探局官方网站(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)上 Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 数据集中 17 景云量低的多波段卫星影像数据(2018/9/26, LC81200262018269LGN00, LC81200272018269LGN00, LC81200282018269LGN00, LC81200292018269LGN00; 2018/9/19, LC81190272018262LGN00; 2018/8/18, LC81190262018230LGN00; 2018/8/2, LC81190292018214LGN00, LC81190302018214LGN00; 2018/7/1, LC81190282018182LGN00; 2018/6/24, LC81180262018175LGN00, LC81180302018175LGN00; 2018/6/2, LC81170282018152LGN00; 2018/6/1, LC81170292018152LGN00, LC81170272018152LGN00; 2017/9/25, LC81180272017268LGN00, LC81180282017268LGN00, LC81180292017268LGN00),利用 ENVI 5.3 对松嫩平原边界裁剪后的拼接矢量数据进行缨帽变换(Kauth-Thomas Transformation),提取亮度指数、绿度指数、湿度指数,这些分别反映了地物目标总辐射能量水平的亮度信息、影像中植被覆盖叶面积指数和生物量等绿色植被、影像的湿度信息^[30]。

2.3 模型构建与检验

用 ArcGIS 10.6 将所有栅格数据变量的行列数、像元大小进行一致化处理,转换为模型所需的 ASC 格式,导入 Maxent 3.3.3k 软件中^[18,24-25,27,31]。在模型设置中,随机选取 70% 的苍鹭栖息位点用于模型建立,其余 30% 的栖息位点用于模型验证。在模型检验过程中,利用刀切法(Jackknife test) AUC 值对模型进行评价。AUC 值为模型自带的受试者工作特征曲线 ROC (Receiver Operator Characteristic) 下的面积 (Area Under Curve, 简称 AUC)。AUC 值越大,表示环境变量与模型的相关性越大,模型的预测结果就越准确;当 AUC 值为介于 0.5—0.6 之间时,意味着所建模型的预测效果不及格;当 AUC 值为介于 0.6—0.7 之间时,意味着所建模型的预测效果较差;当 AUC 值为介于 0.7—0.8 之间时,意味着所建模型的预测效果一般;当 AUC 值为介于 0.8—0.9 之间时,意味着所建模型的预测效果良好;当 AUC 值为介于 0.9—1.0 之间时,意味着所建模型的预测效果优秀。

2.4 适宜栖息地分布

模型预测的栖息地适宜性分级标准值为 0—1,值为 0 意味着栖息地适宜性最低,值为 1 意味着栖息地适宜性最高。本研究中,将值介于 0.0—0.2 之间的栖息地定义为不适宜栖息地,将值介于 0.2—0.5 之间的栖息地定义为低适宜栖息地,将值介于 0.5—0.7 之间的栖息地定义为较适宜栖息地,将值介于 0.7—1.0 之间的栖息地定义为适宜栖息地。通过 ArcGIS 10.6 将模型预测的结果进行重分类,用空间分析工具中的区域分析提取松嫩平原 55 个县区和 6 个国家级自然保护区内苍鹭秋季适宜栖息地面积,分析和统计各县区的分布情况及受保护情况。

3 结果与分析

3.1 Maxent 模型预测结果检测

ROC 曲线评价结果显示(图 2):训练数据集(Training data) AUC 值为 0.946,测试数据集(Test data) AUC 值为 0.933,预测结果达到优秀水平,表明建立 Maxent 模型对松嫩平原苍鹭秋季栖息地适宜性预测的结果可信度高。

3.2 苍鹭秋季栖息地环境变量分析

从刀切法测定的苍鹭秋季栖息地变量的贡献率可以看出(图 3):距水体距离(Dw)和绿度指数(Gi)是影

响苍鹭秋季栖息地利用的重要环境变量,亮度指数(Bi)、人类足迹指数(Hf)、土地覆盖类型(Lc)、湿度指数(Wi)、距离道路的距离(Dr)等环境变量对苍鹭秋季栖息地利用的影响较小。

3.3 苍鹭秋季栖息地适宜性分布

松嫩平原苍鹭秋季栖息地适宜性分布结果显示(图4):苍鹭在松嫩平原秋季的适宜栖息地面积为 2761.06 km²,仅占研究区总面积的 1.24%;较适宜栖息地 7049.57 km²,占比为 3.16%;低适宜栖息地 36125.15 km²,占比 16.19%;不适宜栖息地 177129.60 km²,占比 79.41%。

其中,适宜栖息地在松嫩平原 9 个地/州的分布各不相同,大庆、白城、齐齐哈尔 3 个行政区是主要的分布区(占适宜栖息地面积的 62.78%),其次是哈尔滨和绥化(20.23%),黑河、扶余、长春、四平区域内的适宜栖息地面积较少(16.99%)。适宜栖息地在松嫩平原 55 个县/区的分布也各不相同,杜尔伯特蒙古族自治县区域内适宜栖息地面积最多(429.90km²,占研究区适宜栖息地总面积的 15.57%),其次是镇赉县(334.92km²,12.13%)和肇源县(185.54km²,6.72%),五常县、德都县、大安市区内苍鹭适宜栖息地面积均超过 100 km²,这些是苍鹭秋季适宜栖息地面积较多的行政区域。

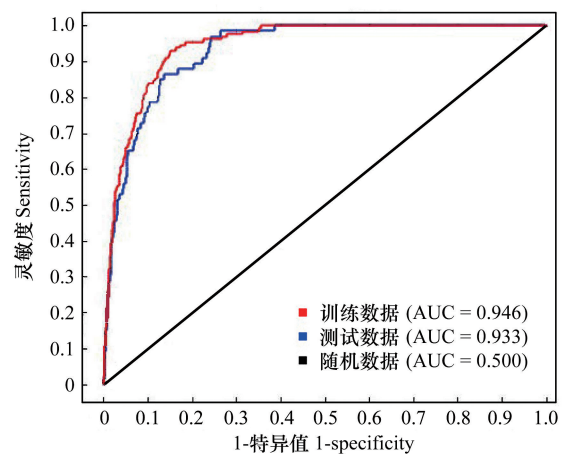


图2 苍鹭秋季栖息地适宜性评价模型的 ROC 曲线
Fig.2 ROC curve of Maxent model for autumn habitat suitability assessment of Grey heron

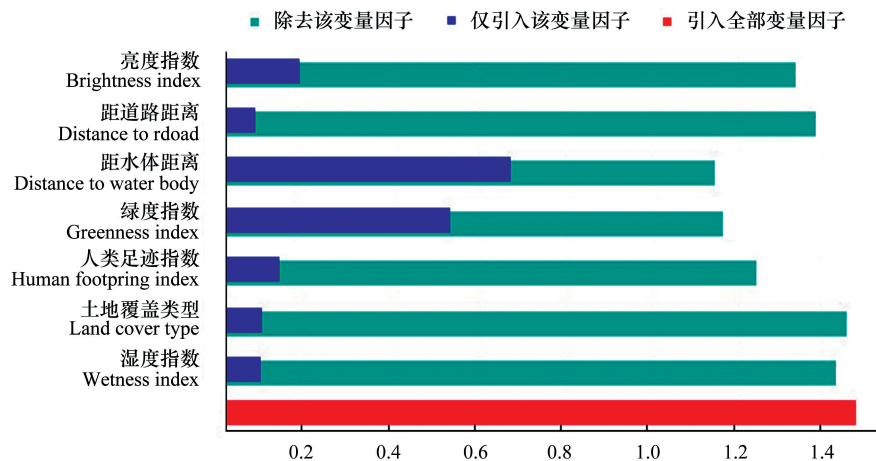


图3 苍鹭秋季栖息地环境变量刀切法检验
Fig.3 Jackknife test for environmental variable of autumn habitat of Grey heron

3.4 苍鹭秋季适宜栖息地的保护现状

由上述分析可以看出,松嫩平原苍鹭秋季适宜栖息地面积(图5)的 15.79%受到保护,分布在 6 个国家级自然保护区内,分别为莫莫格保护区(285.62 km²,占秋季适宜栖息地面积的 10.34%)、扎龙保护区(95.80 km²,3.47%)、向海保护区(18.57 km²,0.67%)、查干湖保护区(14.89 km²,0.54%)、大布苏保护区(11.26 km²,0.41%)、乌裕尔河保护区(9.95 km²,0.36%);而五大连池山口湖水库、绥化东北部、五常县龙凤山国家森林公园是处于未保护状态的、面积连续分布较大的区域。

4 讨论

4.1 苍鹭秋季栖息地环境变量

关于苍鹭栖息地环境特征方面的分析,仅有 7 篇零星的研究报道,分别分散在中国、俄罗斯、日本、波兰、

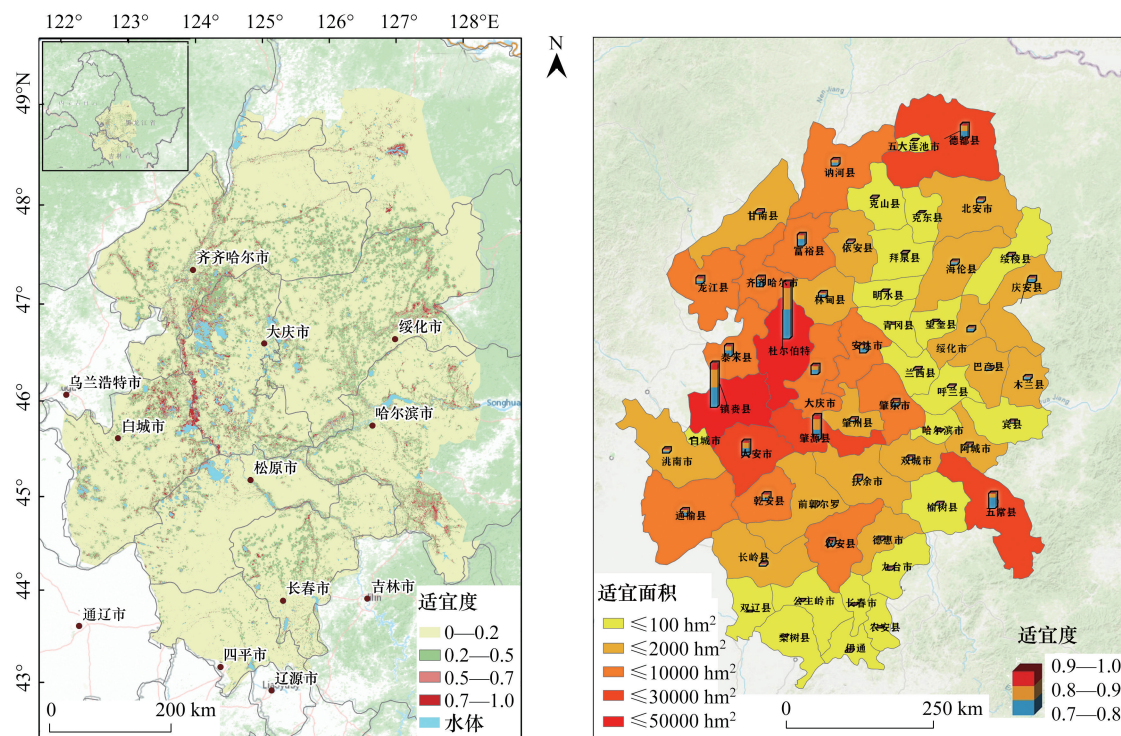


图4 松嫩平原苍鹭秋季栖息地适宜分布

Fig.4 Suitable autumn habitat distribution of Grey heron in Songnen Plain

法国、希腊,在苍鹭最适营巢生境、苍鹭生境与仔鱼群落关系、生境特征和不同空间尺度下苍鹭繁殖力、苍鹭对村园区域的季节性利用、水文网络特征与苍鹭群体大小及空间分布的关系、针对栖息地苍鹭形成的觅食策略等方面进行了分析研究^[11-12,32-36]。

本文关于苍鹭秋季栖息地环境变量方面的研究,Maxent 模型得出影响苍鹭秋季栖息地的主要环境变量是距水体距离和绿度指数。这与苍鹭生活史期间的食物需求和行为相符合^[11-12,35],苍鹭主要捕食鱼类,是典型的湿地鸟类,水域是其偏好的主要生境类型;同时,该研究结果也与同域分布的其他大型水鸟如白琵鹭(*Platalea leucorodia*)、丹顶鹤的结果一致^[27,37],芦苇塘和开阔水面及绿度是其偏好的生境及主要环境特征。这种既配置有充足食物的水体、也配置有大尺度开阔空间而利于隐蔽警戒逃逸的环境,不仅能保证苍鹭栖息所需要的食物、水、隐蔽等生境需求,也能为其提供警戒、逃逸等安全的空间保障。

4.2 苍鹭秋季栖息地适宜分布

关于松嫩平原水禽栖息地适宜性评价方面,已有学者通过目视解译、监督分类、层次分析等方法结合遥感影像和 GIS 系统对松嫩平原水禽栖息地进行了适宜性分析^[38-39],也有学者通过最大熵模型对松嫩平原丹顶鹤秋季生境适宜性进行了评价,分析了适宜性分布的环境影响因素、适宜性空间分布及景观格局^[40]。本文苍鹭秋季栖息地适宜性分布的内容与丹顶鹤有些类似。

本文分析的苍鹭秋季适宜栖息地在松嫩平原不同区域的分布与受保护情况各不相同。其中,西部区域分布的适宜栖息地较多,集中于嫩江中下游地区,这也是松嫩平原生物多样性保护优先区,受保护性和受关注度也较高,连片面积较大的区域主要分布在莫莫格保护区(占适宜栖息地面积的 10.34%)、扎龙保护区(3.47%)、向海保护区(0.67%)、查干湖保护区(0.54%)、大布苏保护区(0.41%)、乌裕尔河保护区(0.36%)等国家级自然保护区中。

其中,莫莫格保护区内分布的适宜栖息地面积最大、连通性最好。保护好莫莫格保护区苍鹭的栖息地对于松嫩平原的苍鹭种群而言至关重要,应该进一步摸清莫莫格保护区内苍鹭的种群数量和时空分布,这不仅

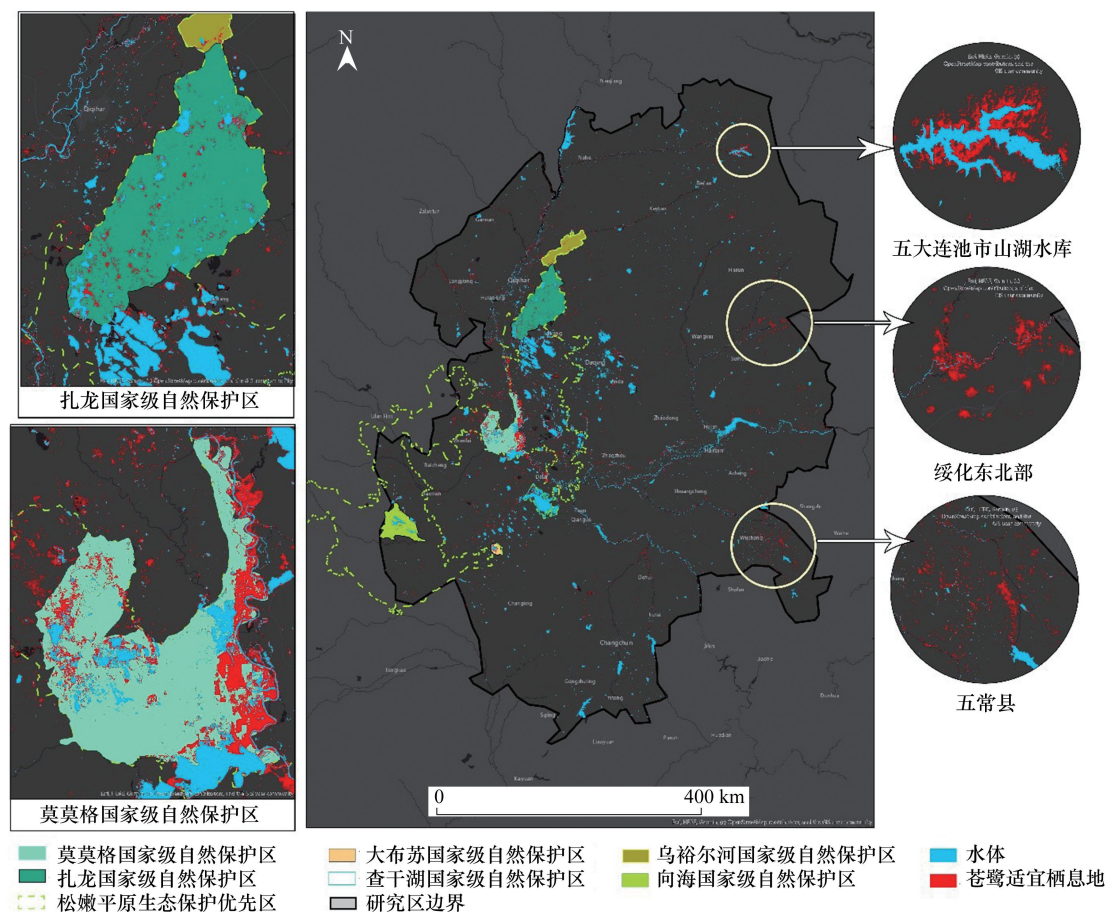


图5 苍鹭适宜栖息地的保护性分布及主要潜在栖息地

Fig.5 Conservation status of Grey heron's suitable habitat and main potential habitat

能提前预警苍鹭种群的动态,更能有助于深入认识苍鹭栖息的湿地资源质量情况,利于进而开展及时的资源管护工作。

扎龙保护区苍鹭适宜栖息地相对莫莫格保护区较分散。关于扎龙保护区的苍鹭种群与分布,零星的研究记载显示出,不仅种群数量较历史上有所下降,曾经常见的成千上万只群体已下降为不足千只,甚至几百只也很难见,而且分布区斑块也变少,由原来的成片相连变为目前的斑块状分布^[12,14]。而土地覆盖类型方面的研究表明,扎龙保护区内水体发生了明显的空间分布转移^[41],随之而来的环境特征等信息也必然会发生变化,这是否是苍鹭群体发生时空变化的根本原因,非常有必要进行深入的大尺度相关性分析。

向海保护区苍鹭适宜栖息地分布相对其他保护区较少。众所周知,由于降水量等自然驱动力和农业开垦、过度放牧等人为驱动力的影响,向海保护区的湿地面积呈现出年度间波动较大的下降趋势,时空均发生了变化、湿地破碎化增加^[42],这些因素极大程度地限制了以湿地资源为生活史需求的各种鸟类的时空分布,苍鹭也不例外。

松嫩平原东部区域面积较大的苍鹭适宜栖息地主要分布在五大连池市的山口湖水库、绥化地区东北部的湿地、五常龙凤山国家森林公园及阿什河流域,此外还有一些零星的适宜栖息地分布在松嫩平原的中东部地区,所有这些区域均缺少苍鹭的分布信息报道和管护关注,如何对这些分布小区进行科学管理和积极的必要关注,对苍鹭种群的迁徙管理极为必要,应加强对这些区域的关注和监测。

4.3 GPS/GSM 技术

GSM 是全球移动通信系统(Global System for Mobile communications)的简称,是数字制式移动通信(2G)

网络的主导技术,其与 GPS 结合,用以传输目标动物目标位置的系列信息,具有信号覆盖范围广、定位精度高、传输效率高的特点,这弥补了原来仅通过卫星进行信号传播、导致部分地区信号弱的缺点。结合 GPS/GSM 技术和 Maxent 模型对野生动物栖息地适宜性、空间扩散、停留规律等大尺度空间生态学进行研究,这种研究融合了卫星跟踪器采集的最为精准的 GPS 分布位点、卫星拍摄的最为真实的遥感影像、不受样本点数量限制的 Maxent 模型,相对于传统方法,这种耦合多种先进方法的科学研究提供的数据更为精准、分析的结果更为科学,其研究结果不仅有利于评价濒危物种栖息地适宜性、发现潜在栖息地、制定科学的保护对策,更有助于更为深入地了解濒危物种的生物学规律,这已经成为众多学者认可的最先进的研究技术^[43-45]。本文用该技术研究了松嫩平原苍鹭秋季栖息地的适宜性分布,更为深入地掌握了松嫩平原秋季苍鹭适宜栖息地的空间分布及受保护情况,将能推动我们制定进一步地科学保护对策,更能促进未受保护的小区采取相应的保护措施和科学规划。

参考文献 (References):

- [1] Xiang L, Gao X, Peng Y H, Liang J. Coupling the occurrence of correlative plant species to predict the habitat suitability for Lesser White-fronted Goose (*Anser erythropus*) under climate change: a case study in the middle and lower reaches of the Yangtze river. *Journal of Resources and Ecology*, 2020, 11(2): 140-149.
- [2] 李美玲, 陈强强, 韩雷, 王鹏, 杨建伟, 汪沐阳, 杨维康. 新疆塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊生境适宜性评价. *生态学报*, 2020, 40(11): 3549-3559.
- [3] Devries J H, Clark R G, Armstrong L M. Dynamics of habitat selection in birds: adaptive response to nest predation depends on multiple factors. *Oecologia*, 2018, 187(1): 305-318.
- [4] Schlacher T A, Meager J J, Nielsen T. Habitat selection in birds feeding on ocean shores: landscape effects are important in the choice of foraging sites by oystercatchers. *Marine Ecology*, 2014, 35(1): 67-76.
- [5] 孟维悦, 李淑红, 周景英, 钱英, 魏秀宏, 韩莫日根, 戴强, 陆军, 朱思雨, 张国钢. 基于卫星跟踪的灰雁秋季活动特征与生境利用研究. *生态学报*, 2018, 38(16): 5659-5666.
- [6] 尚玉昌. 动物行为研究的新进展(十): 栖息地选择. *自然杂志*, 2014, 36(3): 182-185.
- [7] 王征, 张旭晖. 野生动物觅食地选择的研究进展. *生态学杂志*, 2014, 33(11): 3150-3156.
- [8] Wirsing A J, Heithaus M R. Accounting for individual behavioural variation in studies of habitat selection. *Journal of Animal Ecology*, 2014, 83(2): 319-321.
- [9] 邹红菲, 黄华智, 宋雅玲, 吴庆明. 我国松嫩平原鹤类研究进展. *野生动物学报*, 2018, 39(2): 433-437.
- [10] 王思睿. 中国东部鸟类迁徙路线野禽禽流风险空间分布分析与保护区网络构建[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [11] 吴庆明, 缪克传, 邹红菲, 焦为屹. 扎龙湿地苍鹭巢址选择. *野生动物*, 2008, 29(1): 26-28.
- [12] Sun H Z, Gao Z X, Wang D. Habitat suitability index models: grey heron nesting in Zhalong national nature reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 1995, 6(2): 61-64.
- [13] 张琦, 朱井丽, 吴可新, 李小琴, 李连山, 吴庆明. 青头潜鸭在向海自然保护区的分布状况. *野生动物学报*, 2019, 40(2): 510-512.
- [14] 王洪波, 高中信. 扎龙自然保护区草鹭、苍鹭种群动态研究. *林业资源管理*, 1997, (3): 30-35.
- [15] Park J, Kim D S, Song K H, Jeong T J, Park S J. Mapping potential habitats for the management of exportable insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 2018, 11(1): 11-20.
- [16] 吴文, 李月辉, 胡远满, 陈龙, 熊在平. 不同营林面积情景下鹿科动物的潜在生境分布. *应用生态学报*, 2017, 28(8): 2705-2713.
- [17] 钟明, 侍昊, 安树青, 冷欣, 李宁. 中国野生动物生境适宜性评价和生境破碎化研究. *生态科学*, 2016, 35(4): 205-209.
- [18] 赵宁, 夏少霞, 于秀波, 段后浪, 李瑾璞, 陈亚恒. 基于 Maxent 模型的渤海湾沿岸鸕鹚类栖息地适宜性评价. *生态学报*, 2020, 39(1): 194-205.
- [19] Campos B R, Latif Q S, Burnett R D, Saab V A. Predictive habitat suitability models for nesting woodpeckers following wildfire in the Sierra Nevada and Southern Cascades of California. *The Condor*, 2020, 122(1): DOI: 10.1093/condor/duz062.
- [20] Ibouroi M T, Hassane N A, Moindjié S, Ombade M, Mohamed N, Saidou M H, Abderemane K, Cheha A, Chiffard J. The first comprehensive survey of habitat suitability and population size for the endangered Grande Comore Scops Owl (*Otus pauliani*): implications for its conservation. *Journal of Ornithology*, 2019, 160(4): 1121-1132.
- [21] Sanz-Pérez A, Giral D, Robleño I, Bota G, Milleret C, Mañosa S, Sardà-Palomera F. Fallow management increases habitat suitability for endangered steppe bird species through changes in vegetation structure. *Journal of Applied Ecology*, 2019, 56(9): 2166-2175.

- [22] Cui Y L, Dong B, Chen L N, Gao X, Cui Y H. Study on habitat suitability of overwintering cranes based on landscape pattern change—a case study of typical lake wetlands in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2019, 26(15): 14962-14975.
- [23] Leal A I, Acácio M, Meyer C F J, Rainho A, Palmeirim J M. Grazing improves habitat suitability for many ground foraging birds in Mediterranean wooded grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, 270-271: 1-8.
- [24] 李绒, 角媛梅, 刘歆. 基于 Maxent 模型的黑颈鹤夜宿地生境适宜性分析——以云南大山包黑颈鹤国家级自然保护区为例. *西华师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 39(4): 352-357.
- [25] 郑刘梦. 基于 Maxent 模型对董寨再引入朱鹮的生境适宜性评价[D]. 新乡: 河南师范大学, 2018.
- [26] 陈凌娜, 董斌, 彭文娟, 高祥, 黄慧, 王成, 叶小康, 朱鸣, 吕典, 赵抗抗, 张双双, 倪燕华. 升金湖自然湿地越冬鹤类生境适宜性变化研究. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(3): 556-563.
- [27] 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.
- [28] 初丽爽, 李海燕, 杨允菲. 松嫩平原异质生境羊草种群营养繁殖特征. *应用生态学报*, 2020, 31(1): 83-88.
- [29] 吴欣睿, 那晓东, 臧淑英. 温度植被干旱指数在 2000—2015 年松嫩平原土壤湿度中的应用. *生态学报*, 2019, 39(12): 4432-4441.
- [30] Baig M H A, Zhang L F, Tong S, Tong Q X. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(5): 423-431.
- [31] 张东方, 张琴, 郭杰, 孙成忠, 吴杰, 聂祥, 谢彩香. 基于 Maxent 模型的当归全球生态适宜区和生态特征研究. *生态学报*, 2017, 37(15): 5111-5120.
- [32] Stolbunov I A, Kutuzova O R, Krylov A V. Impact of heron (*Ardea cinerea* L. and *A. alba* L.) habitat on coastal juvenile fish assemblages in Rybinsk Reservoir. *Inland Water Biology*, 2017, 10(4): 427-435.
- [33] Manikowska-Ślepowska B, Ślepowski K, Jakubas D. Grey heron *Ardea cinerea* productivity in relation to habitat features and different spatial scales. *Polish Journal of Ecology*, 2016, 64(3): 384-398.
- [34] Tamada K. Seasonal change in habitat use by Grey herons in a rural area of western Hokkaido. *Ornithological Science*, 2012, 11(2): 95-102.
- [35] Boisteau B, Marion L. Habitat use by the Grey heron (*Ardea cinerea*) in eastern France. *Comptes Rendus Biologies*, 2007, 330(8): 629-634.
- [36] Dimalaxis A, Pyrovetsi M, Sgardelis S. Foraging ecology of the Grey heron (*Ardea cinerea*), Great egret (*Ardea alba*) and Little egret (*Egretta garzetta*) in response to habitat, at 2 Greek wetlands. *Colonial Waterbirds*, 1997, 20(2): 261-272.
- [37] 张余广, 马一丹, 李晓民. 基于 GPS+GPS 技术对白琵鹭幼鸟扩散的研究. *野生动物学报*, 2018, 39(3): 579-583.
- [38] Tian Y L, Wang Z M, Mao D H, Li L, Liu M Y, Jia M M, Man W D, Lu C Y. Remote Observation in Habitat Suitability Changes for Waterbirds in the West Songnen Plain, China. *Sustainability*, 2019, 11(6): doi:10.3390/su11061552.
- [39] Dong Z Y, Wang Z M, Liu D W, Li L, Ren C Y, Tang X G, Jia M M, Liu C Y. Assessment of habitat suitability for waterbirds in the West Songnen Plain, China, using remote sensing and GIS. *Ecological Engineering*, 2013, 55: 94-100.
- [40] 朱井丽, 高忠斯, 邹红菲, 吴庆明, 杨宇博, 李全亮, 陶蕊, 黄华智. 基于 MAXENT 模型的松嫩平原丹顶鹤秋迁期生境适宜性评价. *野生动物学报*, 2018, 39(4): 852-857.
- [41] 于成龙, 刘丹. 扎龙湿地土地利用/覆盖类型时空演变及其气候响应. *生态环境学报*, 2018, 27(11): 2117-2126.
- [42] 刘吉平, 李会芬, 张科. 1990—2016 年向海自然保护区沼泽湿地景观格局动态变化及驱动力分析. *吉林师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 39(3): 130-134.
- [43] Alonso H, Correia R A, Marques A T, Palmeirim J M, Moreira F, Silva J P. Male post-breeding movements and stopover habitat selection of an endangered short-distance migrant, the Little Bustard *Tetrax tetrax*. *Ibis*, 2020, 162(2): 279-292.
- [44] Deng X Q, Zhao Q S, Fang L, Xu Z G, Wang X, He H R, Cao L, Fox A D. Spring migration duration exceeds that of autumn migration in Far East Asian Greater White-fronted Geese (*Anser albifrons*). *Avian Research*, 2019, 10(3): 319-329.
- [45] Meng F J, Li H B, Wang X, Fang L, Li X H, Cao L, Fox A D. Size matters: wintering ducks stay longer and use fewer habitats on largest Chinese lakes. *Avian Research*, 2019, 10(1): 27.