

DOI: 10.5846/stxb201905040900

雷倩, 李金亚, 王强, 马克明. 东方白鹳幼鸟在繁殖区生境选择的跟踪研究. 生态学报, 2020, 40(9): 2944-2952.

Lei Q, Li J Y, Wang Q, Ma K M. Quantifying habitat selection of Oriental White Stork fledgling in their breeding area based on satellite tracking data. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(9): 2944-2952.

东方白鹳幼鸟在繁殖区生境选择的跟踪研究

雷倩^{1,2}, 李金亚¹, 王强^{3,*}, 马克明^{1,2}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012

摘要: 鸟类的生境选择与气候、栖息地及人为干扰有关, 而在不同生活史阶段因其自身需求及环境资源的变化也将出现差异。为明晰该一过程和规律, 基于东方白鹳 (*Ciconia boyciana*) 在三江平原的卫星跟踪数据, 按照时间序列通过核密度分析法 (95% 水平) 得到繁殖季节 (7—10 月) 跟踪个体的活动范围变化, 据此将该时期细分为在巢期与离巢游荡期两个阶段, 在巢期活动范围窄且高度聚集于单一区域, 而离巢游荡期活动范围分散于三江平原东部和北部的多个地点。后采用 Maxent 模型对两个阶段的适宜生境空间分布及其主要因子进行评估发现, 在巢期和离巢期主要影响因子分别为 (在巢期贡献率/离巢期贡献率): 土地覆被类型 (11.8%/30.6%)、水体 (23.8%/31.2%)、相对湿度 (8.1%/15.5%)、草本沼泽 (28.6%/3.2%) 及相对风速 (13.2%/2.1%); 离巢期的较适宜生境 (0.4—1) 比在巢期扩大近两倍, 且对人为活动表现出更强的耐受性。本研究结果可用于东方白鹳及其他迁徙鸟类繁殖相关的动态保护与有效综合管理。

关键词: 湿地; 三江平原; KDE; 景观生境; Maxent

Quantifying habitat selection of Oriental White Stork fledgling in their breeding area based on satellite tracking data

LEI Qian^{1,2}, LI Jinya¹, WANG Qiang^{3,*}, MA Keming^{1,2}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

Abstract: Habitat selection of birds is related to climate, habitat and human disturbance, and there are differences in their life periods due to changes in needs and environmental resources. In order to clarify the process, in Sanjiang Plain, we analyzed the oriental white stork fledglings' movements by fixed Kernel Home Range method (95% level) during July to October based on satellite tracking data. Then subdivided the breeding season into two periods: Wandering around nests and after leaving nests. During the early period, the activity range is narrow and highly concentrated in a single area, while during the later period, they scattered and wandering in multiple areas in the eastern part of the Sanjiang Plain. Then we used Maxent model to evaluate the variability in habitat suitability including factors' influences. The results showed that the Percent contribution of factors such as Land cover type (11.8%/30.6%), Water (23.8%/31.2%), Humidity (8.1%/15.5%), Meadow (28.6%/3.2%) and Wind speed (13.2%/2.1%) are different in two periods, and the more suitable habitats area in the later period (0.5—1) is doubled in the early period and showed greater tolerance to human disturbance.

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0500406, 2017YFC0505800); 国家自然科学基金项目 (41601439)

收稿日期: 2019-05-04; **网络出版日期:** 2020-03-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangqiang_1978@126.com

Our study could be used for dynamic protection and effective integrated management of Oriental White Stork and other migratory species.

Key Words: Wetland; Sanjiang Plain; KDE; Landscape habitat; Maxent

生境选择(habitat selection)是物种为更好地生存而对区域环境进行非均匀利用的过程现象^[1]。影响鸟类生境选择的因素有气候、栖息地条件、鸟类本身的生理因素及人为活动干扰等^[2-4],不同环境因子在鸟类不同生活史阶段的影响情况也有可能存在差异。然而当前的鸟类-生境研究多集中于生活史内的某一具体时期,对时期内不同阶段的划分及不同阶段之间的联系与过渡、生境条件变化过程等方面的关注还有待提高^[5-6];此外,鸟类生境选择的研究重点多集中于典型适宜栖息地的特征评估,较少涉及或结合其行为机制^[7]。

东方白鹳(*Ciconia boyciana*)是东亚特有种,IUCN 红色名录濒危物种。尽管近年来保护工作一直在开展,其种群数量的整体变化依旧呈下降趋势^[8]。东方白鹳的现有繁殖区为三江平原^[9-10]、黄河三角洲、渤海湾甚至是传统越冬地区等^[11-13]。当下东方白鹳繁殖相关研究主要集中在生境的识别与总结^[14-15],而对繁殖季节内不同阶段的生境选择研究较少。

在物种分布数据中,卫星跟踪数据是物种迁徙研究中获取难度较高、存在个体偏差但是准确度与时间序列完整性较高的数据类型。基于跟踪数据可得到定点观测无法了解或易忽略的过程,多用于辨析迁徙路线、时间及判定中途停歇地等^[16-19]。而东方白鹳相关研究中,跟踪数据应用比例不到 2%(结合 Web of Science 及知网文献数据库进行统计分析得到),其中与繁殖期相关的研究主要为 Shimazaki 等^[16]与谢鹏等^[20]在其迁徙路线、停歇地及繁殖期幼鸟的飞行高度活动时间等方面的总结。在物种-生境关系研究中,物种分布模型是常用的分析工具,但不同的物种数据类型适用的模型也不同^[21]。

本文以三江平原为研究区,以东方白鹳幼鸟卫星跟踪数据、Landsat 影像作为数据支撑,基于核密度分析与 Maxent 模型,对繁殖季节东方白鹳幼鸟在三江平原的活动规律、不同阶段下潜在适宜生境的变化情况及其主要影响因子等进行分析,并以此作为东方白鹳及其他迁徙水鸟生活史周期多生境动态保护及有效系统管理的基础参考。

1 研究地概况

三江平原地处我国黑龙江省的东北部,除了西面接壤牡丹江分水岭,其余三面均环俄罗斯边境,地理坐标范围为 130.12°—135.09°E,43.83°—48.67°N,总面积约为 $1.09 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。作为我国湿地生态功能保护区之一,三江平原地区属温带湿润、半湿润大陆性季风气候类型,年均温 3.5℃,年平均降水 577.4 mm,夏季暖湿,冬季干冷。区域内湿地约占总面积的 9.68%,包括河流、湖泊和沼泽化草甸湿地等。截至 2016 年,三江平原地区已建立包括 6 处国际重要湿地(图 1)在内的 40 多个自然保护区,其中三江湿地保护区与兴凯湖湿地保护区等均为包括东方白鹳在内的水鸟重要生境,东方白鹳在每年的 4 月左右进入三江平原,继而在 10 月左右离开,即在区域内度过其繁殖期。

2 数据与方法

2.1 数据收集与预处理

2.1.1 卫星跟踪数据

东方白鹳的跟踪数据来源为中国科学院东北地理与农业生态研究所,共有时间区间为 2016 和 2017 年 6 月底至 10 月底的 7 个终端个体,且个体均为幼鸟。数据时间间隔为一个小时(数据部分存在残缺,时间区间及间隔不完全一致),位点精度均为 A 或 B 两类定位等级(即精度误差在 10 m 内),总数 7685。后期在分析

时为保证统计水平的一致性,对跟踪数据进行了一定的筛选。

2.1.2 生境因子数据

景观水平的环境因子均基于遥感解译及其衍生数据获取。为提高遥感影像成像时间与跟踪数据获取时间的一致性,经影像数据筛选,分别选取对应跟踪数据的两个时期覆盖三江平原的 Landsat 8 OLI 影像,并基于随机森林模型将研究区土地覆盖分为如下 9 个类型:人工地表 (Artificial surface)、林地 (Forest)、水体 (Water)、水田 (Paddy)、旱田 (Dry-farmland)、草本沼泽 (Marsh)、乔灌沼泽 (Swamp)、泥滩 (Mudflat)、草地与裸地 (Grassland and Bareland);最后,基于 Fragstats 软件中的移动窗口 (Moving window) 工具进行景观格局指数的提取,选取了斑块水平的面积百分比、最大斑块指数以及景观水平的香农多样性等指数,其中移动窗口半径设置为 1 km。植被指数相关因子来源则为 MODIS 数据产品 MOD13Q1(图 2)。

此外,气象数据来源于美国国家气候资料中心 (National Centers For Environmental Information, NCDC) (<https://www.ncdc.noaa.gov>),并对其采取空间插值,用以获取平均相对湿度、平均风速等参数;人为活动相关因子选择的是来源于 OpenStreet 数据库 (<https://www.openstreetmap.org>) 的路网数据,利用 ArcGIS 进行距离分析,以获取距道路距离参数等。

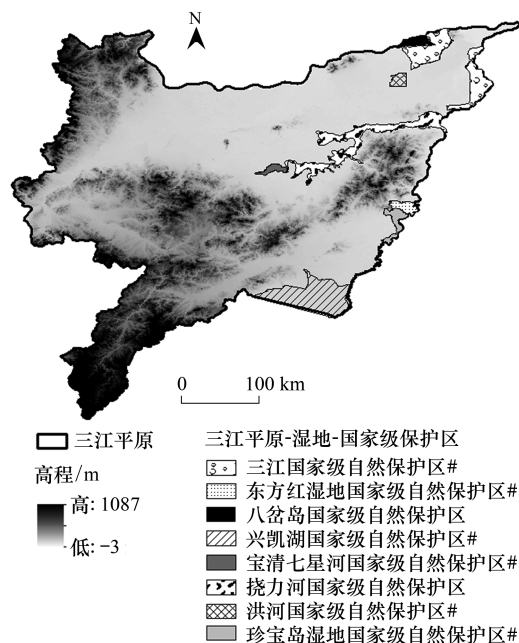


图 1 三江平原及其湿地国家级保护区分布

Fig.1 Sanjiang Plain and the distributions of its wetland nature reserve

“#”表示该处国家级保护区为国际重要湿地

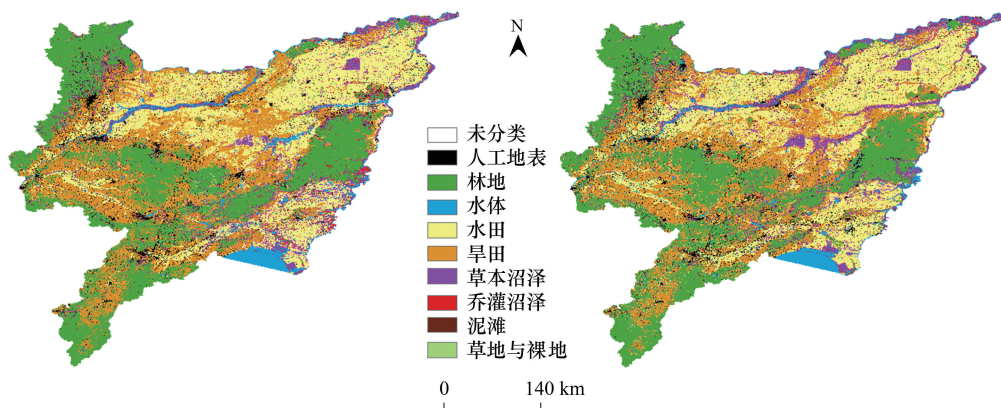


图 2 三江平原土地覆被类型图

Fig.2 Land cover maps of Sanjiang Plain in different periods

生境因子图层投影坐标均统一为 WGS_1984_UTM_Zone_52N, 栅格分辨率 100, 转化为 ASCII 格式。同时,为降低高拟相关性因子对模型结果的影响,数据导入前均针对物种分布数据建立斯皮尔曼相关 (Spearman Correlation) 系数矩阵,剔除高相关度 ($r > 0.7$) 变量,最后筛选得到表 1 所示因子类型。

2.2 活动区分析

核密度估计 (Kernel Density estimation, KDE) 是物种分布研究中较为常见的空间密度计算方法^[22],多用

于物种家域(Home range)分析和关键生境识别等^[23-26]。本文基于跟踪数据,利用 ArcView 中基于核密度原理的固定核空间法(Fixed kernel home range)对东方白鹳幼鸟个体在繁殖区的活动区变化进行规律总结,为保证跟踪数据的利用率,KDE 的参数设为 95%。

2.3 生境适宜性对比差异分析

本研究选取基于最大熵原理的 Maxent 模型,该模型具有操作简便、样本量需求低和对未知点容差度高等优点^[27-30],结合 3S 技术后在物种分布格局判定、栖息地适宜性评价及各环境因素的影响分析研究中应用较广^[31-35]。

本研究基于 Maxent 3.4.1 软件平台,分别输入跟踪数据与生境特征数据,并设置样本与验证数据的占比为 3:1,模拟迭代次数为 10;选择刀切法(Jackknife)用于评估环境因子对模型预测物种分布的重要性/贡献率,选择 ROC(Receiver operator characteristic)曲线中输出的 AUC 值(Area under curve)进行模型精度检验^[36]。其中,AUC 的取值范围为 0—1,当运行结果 AUC 的值在 0.8 以上时表明该次模拟结果良好^[27,32]。

表 1 景观水平东方白鹳潜在影响因子筛选结果

Table 1 The potential influent factors of Oriental White Stork under the landscape level

潜在影响因素 Potential influenced factors	提取特征 Extracted feature	备注 Notes
土地覆被 Landcover	土地覆被类型	Landsat 两期数据解译
景观格局 Landscape pattern	土地覆被面积占比	基于土地覆被类型解译结果
	边缘密度	
	香农多样性指数	
植被指数 Vegetation factor	归一化植被指数	MOD13Q1 数据产品
气象要素 Weather factor	平均相对湿度	基于气象站点数据插值
	平均风速	
人为干扰要素 Disturbance factor	道路网(多级道路)	网络线数据距离、密度分析

本研究所涉及到的软件:ArcGIS v10.6, ArcView v9.3, ENVI v5.3, Fragstats v4.2, eCognition 9.3, R, Excel 等。

3 结果分析

3.1 东方白鹳幼鸟在三江平原的活动变化

时间梯度下东方白鹳个体 KDE 分析结果(图 3)与跟踪点纬度随时间变化趋势(图 4)均表明,2016 年的东方白鹳跟踪个体在 8 月上半月之前活动范围极其窄小,且高度聚集于兴凯湖保护区;8 月下半月开始,分布范围显著扩大至珍宝岛、东方红、挠力河和洪河等湿地保护区及其周边地区,且个体之间的活动区重叠度逐渐减小。基于空间聚集变化和位点变化“突变”特征,以图 3 中聚集差异最大的大暑至处暑段为时间节点,将东方白鹳跟踪个体的繁殖季节细分为两个阶段:在巢期(7—8 月)和离巢游荡期(8—10 月)。下文将以此为基础,对两个阶段的适宜生境空间分布及其主要影响因子进行分析,以期明晰不同阶段下东方白鹳三江平原地区的生境需求与栖息地条件的匹配性是否存在差异。

3.2 基于 Maxent 模型的不同阶段下生境适宜性评价

两个阶段的多次模拟结果 AUC 值中位数分别为 0.967 和 0.928,且数据分布均大于 0.92,表明模拟效果均良好(>0.8),运算结果具备参考性(图 5)。而从模型贡献率的对比结果上看,在巢期贡献率由大到小此次为草本沼泽百分比(28.6%)、水体百分比(23.8%)、相对风速(13.2%)、土地覆被类型(11.8%)和相对湿度(8.1%),同理,离巢期的为水体百分比(31.2%)、土地覆被类型(30.6%)、相对湿度(15.5%)和草本沼泽百分比(3.2%),所以可得土地覆被、水体和湿度是两个阶段共有的模型贡献率较高的环境因子,反差较大的则有水体和风速等因子(图 6)。由此可以推论,离巢期与在巢期相比更多的是考虑觅食条件。从在巢期上看,草本沼泽、水体和乔灌沼泽是湿地生境的主要组成,由于其分布极度集中,生境异质性较低,故这几项贡献率较

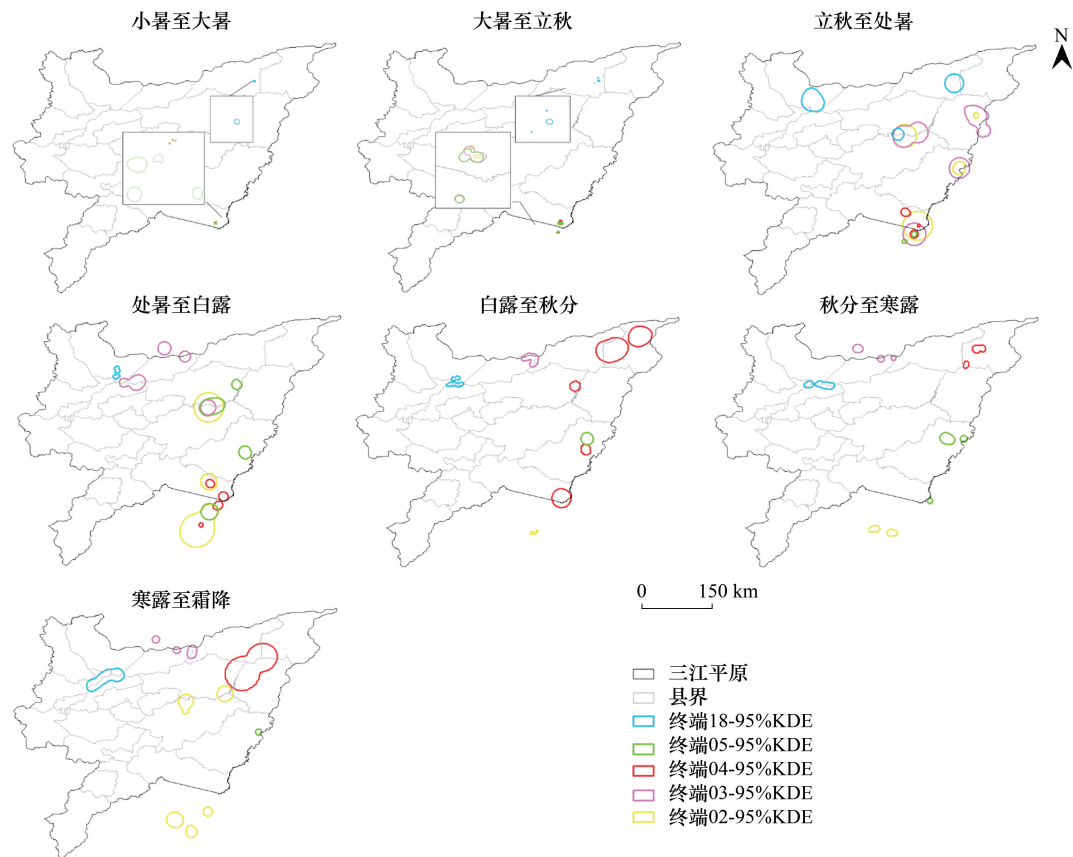


图 3 东方白鹳幼鸟跟踪个体 95% 核密度家域估计 (KDE) 活动区分时段分析结果

Fig.3 The KDE home range of every tracking individual of Oriental White Stork fledgling by average time division

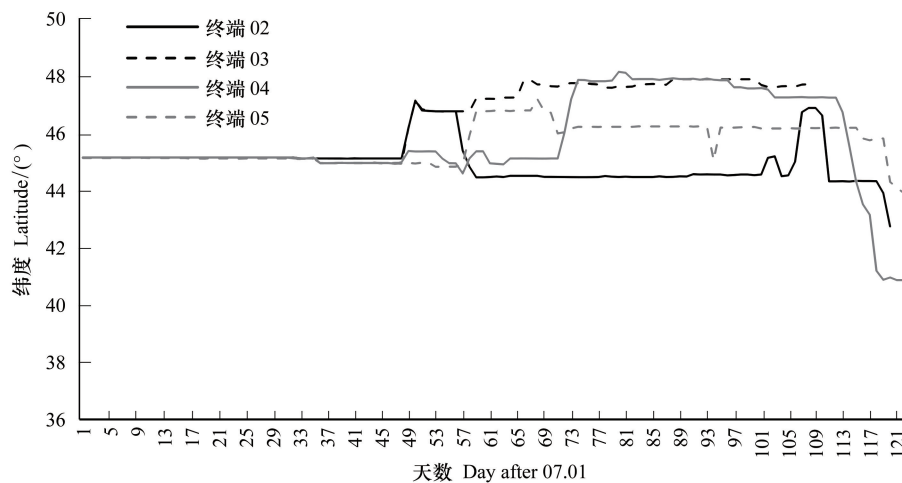


图 4 东方白鹳幼鸟跟踪个体数据位点纬度变化 (2016 年)

Fig.4 Temporal changes of Oriental White Stork fledgling tracking data latitude (2016)

高;从离巢看,气候因素和湿地结构因素的贡献率均降低,土地覆被及水体的贡献率增大,说明其活动对湿地植被的依赖性下降,且受土地利用类型的限制降低。

环境因子模拟响应曲线结果中,水田面积百分比因子的变化差异最为明显。在 0—100% 的范围内,在巢

期该因子的逻辑曲线呈现负相关,即可视为干扰要素,而在离巢后阶段,该因子曲线呈现正相关,表明水田生境在东方白鹳幼鸟的繁殖季节前后阶段影响性质不同。在水田中进行活动的时间约是 8—10 月,即离巢期。由此可推得,水田在东方白鹳幼鸟南迁前阶段成为了相对适宜的觅食地。

由图 8 可知,在巢期适宜生境空间分布较为集中,离巢游荡期适宜生境空间分布明显扩大。两个时期在生境适宜程度较高(适宜等级 >0.7)的区域均主要为湿地类型,区别在于离巢游荡期靠近湿地的水田及其交错带扩展为中等适宜生境(适宜生境等级为 0.4—0.7)。

4 讨论

4.1 东方白鹳在繁殖区的活动变化分析及保护策略

当下多数研究对迁徙物种的繁殖地和越冬地的适宜性、影响因子及各类相关关系进行了探讨,例如东方白鹳在繁殖地的主要影响因子有水源、人为干扰和食物条件等^[15]。在迁徙物种不同生活史阶段的对比分析上也较多,例如繁殖期与迁徙期之间觅食策略差异^[37]等。然而,对于时期内不同阶段的物种生境选择变化情况研究还存在不足。本研究客观性地对东方白鹳在繁殖区的活动进行了阶段性划分,明确东方白鹳幼鸟在繁殖季节后阶段的环境影响因子及适宜生境范围均存在变化。

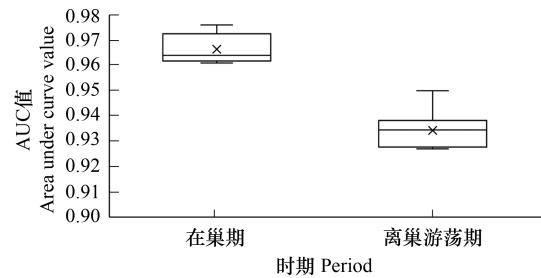


图 5 东方白鹳幼鸟在巢期与离巢游荡期 Maxent 模型 AUC 值分布图

Fig.5 The AUC value distribution of Maxent results based on tracking data in different period of oriental white stork fledglings' breeding season

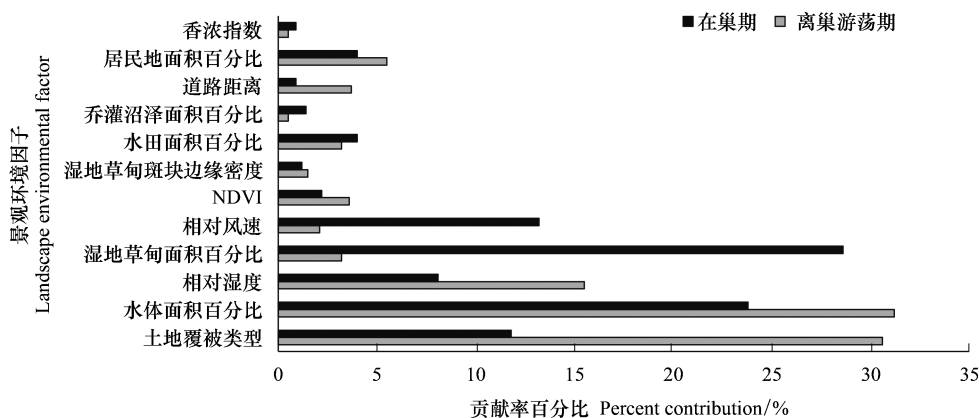


图 6 东方白鹳幼鸟繁殖季节不同阶段环境因子模型贡献率

Fig.6 The comparison of every environmental factors' percent importance in different life periods of breeding season

作为本研究中跟踪个体的主要巢址的兴凯湖保护区,其环境容纳量包括食物丰富度是较高的,但东方白鹳幼鸟依旧选择在 8 月左右离开,且后期活动区范围扩大的同时聚集地个数也在增加,这表明追踪个体在前期所属一个种群,后期则转化为不同的种群。原因可能有两种:其一,在巢期种间竞争较低,或存在其他因素使其增强了对生境内种间竞争的耐受;其二,离巢游荡期的幼鸟需要的食物量变大,飞行能力逐渐增强,个体之间需要降低种间竞争。本研究在活动规律分析上的结果与谢鹏等^[20]一致,表明幼鸟的活动区范围在前期主要受限于飞行能力。而离开筑巢地却未离开繁殖区范围现象可能是为了在干扰相对较低的区域范围内觅食的同时锻炼幼鸟的飞行能力,或是为来年的繁殖地选择进行考察准备。物种在不同时期对生境的响应,包括觅食与抗干扰能力是不同的^[38]。从环境因子模型解释度对比结果中可以推测,水体因素在离巢期间的重要性相对更高,而兴凯湖、南岔地区的水体以大面积明水面(类似湖泊)或者沼泽水泡为主,与河流水体存在

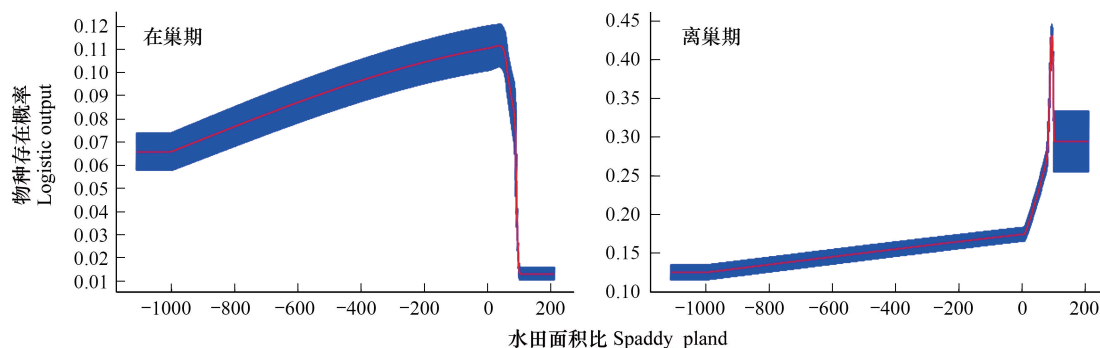


图7 东方白鹤幼鸟繁殖季节不同阶段(在巢期与离巢期)下物种对水田面积占比变量的响应曲线对比

Fig.7 Response curve of paddy PLAND in different period of Oriental White Stork's breeding season

由于环境因子图层存在空值(-999)部分,所以曲线横坐标跨度较大,但其有效范围是横坐标的0—100 部分

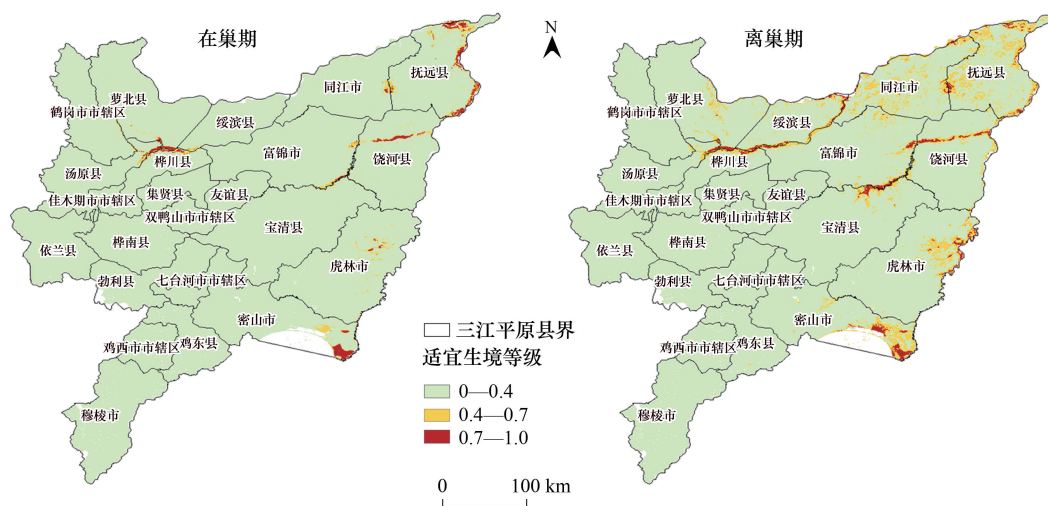


图8 基于 Maxent 模型的在巢期与离巢游荡期的适宜生境空间分布

Fig.8 The suitable area distributio of different periods of Oriental White Stork's breeding season

差异,而水体特征是鱼类资源的直接决定因素。鱼类资源与水体指数以及水质直接相关^[39],而在景观水平上湿地的水体格局是比较重要的。此外,关于水田生境的存在,一方面反映出湿地觅食生境的食物量或者觅食难度存在问题,另一方面也反映出东方白鹤在离巢期可将前期的干扰区(水田人为活动区)转化为可利用区域(水田觅食生境)。

三江平原地区在东方白鹤在巢期的保护应侧重“草本沼泽-乔灌湿地-明水面”的复合生境,而繁殖季节阶段应在保护湿地水体的同时,多关注草本沼泽-水田的过渡区及附近水田,尝试与农耕地合作进行临时生境的创建和保护。此外,基于其活动分布情况可得,三江平原西北部也逐渐成为其主要繁殖活动区,应加强该区域各省级保护区的合作,进行多方联合保护,包括资源共享、保护措施对比及针对性的动态生境管理等。

4.2 模型模拟与评估方法

在本研究中,物种分布数据源于卫星跟踪,而这类数据相较普通分布信息不仅具备高精度特征,还因其位点数量可反映出停留时间,即对出现生境进行了预先的等级划分,使得最后的适宜性评估结果有更高的参考度;评估鸟类扩散变化及环境因子影响情况也是 Maxent 模型的应用长处,一方面是全扩散假设,对应鸟类飞行能力,另一方面是对未知数据的高容差度,可提高个体跟踪数据与环境因子结合分析结果的可信度。后续

分析中,可基于本次 Maxent 结果进行更为详细的多阶段划分研究及多模型综合评估对比等。此外,本研究的时间关注点在繁殖季,为使后期的动态保护工作更加合理完善,应在增加个体数据的同时,扩大研究时间尺度,对整个生活史阶段进行多尺度划分及分析,对比年度变化,从而更好地进行预测评估。

参考文献 (References):

- [1] Cody M L. Avian ecology. (Book reviews: habitat selection in birds). 1985, Science, 230.
- [2] Liu Y H, Lu Y, Chen C, Zhang G W, Wang Q Z, Xu Z, Wang Z S. Behavioural responses of the whooper swans *Cygnus* to human disturbance and their adaptability to the different habitats in the Rongcheng lagoon of China. *Ecohydrology*, 2018, 11(7): 9.
- [3] Patterson C D, Guerin M T. The effects of climate change on avian migratory patterns and the dispersal of commercial poultry diseases in Canada-Part I. *World's Poultry Science Journal*, 2013, 69(1): 17-26.
- [4] Guillemain M, Fritz H, Guillon N. Foraging behavior and habitat choice of wintering Northern Shoveler in a major wintering quarter in France. *Waterbirds*, 2000, 23(3): 353-363.
- [5] Robinson W D, Bowlin M S, Bisson I, Shamoun-Baranes J, Thorup K, Diehl R H, Kunz T H, Mabey S, Winkler D W. Integrating concepts and technologies to advance the study of bird migration. *Frontiers in Ecology & the Environment*, 2010, 8(7): 354-361.
- [6] Desprez M, Jenouvrier S, Barbraud C, Delord K, Weimerskirch H. Linking oceanographic conditions, migratory schedules and foraging behaviour during the non-breeding season to reproductive performance in a long-lived seabird. *Functional Ecology*, 2018, 32(8): 2040-2053.
- [7] 蒋爱伍, 周放, 覃玥, 刘迺发. 中国大陆鸟类栖息地选择研究十年. *生态学报*, 2012, 32(18), 5918-5923.
- [8] BirdLife International 2018. *Ciconia boyciana*. The IUCN Red List of Threatened Species [2019-03-25]. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22697695A131942061.en>.
- [9] Ryong P S, Kim S K, Sung H C, Choi Y S. Evaluation of Historic Breeding Habitats with a View to the Potential for Reintroduction of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*) and Crested Ibis (*Nipponia nippon*) in Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 2010, 26(3): 191-196.
- [10] 刘红玉, 李兆富, 李晓民. 湿地景观破碎化对东方白鹳栖息地的影响——以三江平原东北部区域为例. *自然资源学报*, 2007, 22(05): 817-823.
- [11] Xue W, Zhou L, Zhu S, Shan K, Wang L, Renxin X U. Breeding Ecology of Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*) in the Migratory Stopover Site. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2010, 16(6): 828-832.
- [12] 何芬奇, 田秀华, 于海玲, 朱书玉, 郑忠杰, 林剑声. 略论东方白鹳的繁殖分布区域的扩展. *动物学杂志*. 2008(6), 154-157.
- [13] 杨陈, 周立志, 朱文中, 侯银续. 越冬地东方白鹳繁殖生物学的初步研究. *动物学报*, 2007, 53(2), 215-226.
- [14] 刘红玉, 李兆富, 李晓民. 小三江平原湿地东方白鹳(*Ciconia boyciana*)生境丧失的生态后果. *生态学报*, 2007, 27(7): 2678-83.
- [15] 段玉宝, 田秀华, 马建章, 朱书玉, 单凯. 黄河三角洲东方白鹳繁殖期觅食栖息地的利用. *生态学报*, 2015, 35(08): 2628-2634.
- [16] Shimazaki H, Tamura M, Darman Y, Andronov V, Parilov M P, Nagendran M, Higuchi H. Network analysis of potential migration routes for Oriental White Storks (*Ciconia boyciana*). *Ecological Research*, 2004, 19(6): 683-698.
- [17] Qian F, Wu H, Gao L, Zhang H, Zheng G. Migration routes and stopover sites of Black-necked Cranes determined by satellite tracking. *Journal of Field Ornithology*, 2010, 80(1): 19-26.
- [18] Higuchi H, Pierre J P. Satellite tracking and avian conservation in Asia. *Landscape & Ecological Engineering*, 2005, 1(1): 33-42.
- [19] Wood A G, Naef-Daenzer B, Prince P A, Croxall J P. Quantifying habitat use in satellite-tracked pelagic seabirds: application of kernel estimation to albatross locations. *Journal of Avian Biology*, 2000, 31(3): 278-286.
- [20] 谢鹏, 董树斌, 朱宝光, 李天芳, 张余广, 马一丹, 李晓民. 利用无线电跟踪技术对三江平原东方白鹳幼鸟离巢扩散行为初探. *野生动物学报*, 2018, 215(03): 140-146.
- [21] Guillerá-Arroita G, Lahoz-Monfort, José J, Elith J, Gordon A, Kujala H, Lentini P E, McCarthy M A, Tingley R, Wintle B A. Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. *Global Ecology and Biogeography*, 2015, 24(3): 276-292.
- [22] Silverman B W. Density estimation for statistics and data analysis. Number 26 in Monographs on Statistics and Applied Probability. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman & Hall London, New York. 1986.
- [23] Bingham B B, Noon B R. Mitigation of habitat "take": Application to habitat conservation planning. *Conservation Biology*, 1997, 11(1): 127-139.
- [24] Borger L, Franconi N, De Michele G, Gantz A, Meschi F, Manica A, Lovari S, Coulson T. Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. *Journal of Animal Ecology*, 2006, 75(6): 1393-1405.
- [25] Kubezki U, Garthe S, Fifield D, Mendel B, Furness R W. Individual migratory schedules and wintering areas of northern gannets. *Marine Ecology*

- Progress Series, 2009, 391: 257-265.
- [26] Maynard L D, Ronconi R A. Foraging behaviour of great black-backed gulls *larus marinus* near an urban centre in atlantic canada: evidence of individual specialization from GPS tracking. *Marine Ornithology*, 2018, 46(1): 27-32.
- [27] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3-4): 231-259.
- [28] Merow C, Jr J A S. A comparison of Maxlike and Maxent for modeling species distributions. *Methods in Ecology & Evolution*, 2014, 5(3): 215-225.
- [29] Zheng H, Shen G, Shang L, Lv X G, Wang Q, McLaughlin N, He X Y. Efficacy of conservation strategies for endangered oriental white storks (*Ciconia boyciana*) under climate change in Northeast China. *Biological Conservation*, 2016, 204: 367-377.
- [30] 罗玫, 王昊, 吕植. 使用大熊猫数据评估 Biomod2 和 MaxEnt 分布预测模型的表现. *应用生态学报*, 2017(12): 4001-4006.
- [31] Buermann W, Saatchi S, Smith T B, Zutta, B R, Chaves J A, Mila B, Graham C H. Predicting species distributions across the Amazonian and Andean regions using remote sensing data. *Journal of Biogeography*, 2008, 35(7): 1160-1176.
- [32] 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.
- [33] Suarez-Seoane S, D Garcia E L A, Morena E L, Morales Prieto M B, Osborne P E, Juana E D. Maximum entropy niche-based modelling of seasonal changes in little bustard (*Tetrax tetrax*) distribution. *Ecological Modelling*, 2008, 219(1-2): 17-29.
- [34] 孙立, 徐海根, 吴军, 雷军成, 崔鹏. 气候变化对我国白枕鹤繁殖地分布的影响. *生态与农村环境学报*, 2014, 30(5): 595-600.
- [35] Carroll C, Dunk J R, Moilanen A. Optimizing resiliency of reserve networks to climate change: multispecies conservation planning in the Pacific Northwest, USA. *Global Change Biology*, 2010, 16(3): 891-904.
- [36] Fielding A H, Bell J. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 1997, 24(1): 38-49.
- [37] Phillips R A, Lewis S, J González-Solís, Daunt F. Causes and consequences of individual variability and specialization in foraging and migration strategies of seabirds. *Marine Ecology Progress Series*, 2017, 578: 117-150.
- [38] 王袁. 基于 MaxEnt 模型的神农架川金丝猴不同季节生境识别. 华中农业大学, 2014.
- [39] Merigoux S, Ponton D, D Merona B. Fish richness and species-habitat relationships in two coastal streams of French Guiana, South America. *Environmental Biology of Fishes*, 1998, 51(1): 25-39.