

基于 Maxent 模型的越冬白头鹤适宜生境预测

郝雪娜, 吴艳兰*

(安徽大学资源与环境工程学院, 合肥 230601)

摘要: 依据 2013—2014 年冬季野外调查的白头鹤分布点数据, 结合 2011—2015 年间中国观鸟记录中心和已公开发表的相关文献中记录的白头鹤分布点信息, 基于气候、地形、水系、土地利用类型和人类干扰 5 类环境因子, 应用 Maxent 模型分析了安徽省越冬白头鹤适宜生境分布及影响其分布的主要环境因子, 并结合已建自然保护区对白头鹤适宜生境进行保护空缺分析。结果表明, 模型预测结果达优秀水平; 距主要水源距离、1 月份平均最低温、12 月份平均最低温和距主要道路距离是影响白头鹤分布的主要环境因子, 对模型的综合贡献值分别为 45.3%、21.4%、19.3%和 7.6%。白头鹤适宜生境主要分布在升金湖上湖和菜子湖, 少量分布在龙感湖沿岸、武昌湖东岸及其东部的长江干流沿岸, 其中核心适宜生境的总面积为 45 980 hm²。空缺分析表明, 已建自然保护区覆盖了 60.1% 的核心适宜生境, 尚有 18 346 hm² 的核心适宜生境处于保护区之外, 需要在重点管理保护区的同时, 对保护区之外的核心适宜生境给予更多关注。

关键词: 白头鹤; 适宜生境; Maxent 模型

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)04-0591-07

Prediction of suitable habitat for overwintering hooded cranes (*Grus monacha*) based on Maxent modeling

HAO Xuena, WU Yanlan

(School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601)

Abstract: In this study, the Maxent model was used to predict the suitable habitat distribution for the hooded crane in Anhui province and the major environmental factors affecting such a distribution based on the occurrence data of the species and environmental factors. A gap analysis was conducted on the existing nature reserves. The occurrence data were collected from the winter field survey in 2013-2014, China Bird Report and relevant literatures published in 2011-2015. The environmental factors include climate, terrain, river system, landuse type and human disturbance. The results showed that the model evaluation results was ideal, and the major environmental factors influencing the distribution of the hooded crane included the distance from main water source, the average minimum temperature in January, the average minimum temperature in December and the distance from main roads, with a contribution of 45.3% , 21.4%, 19.3% and 7.6%, respectively. The suitable habitat for the hooded crane was mainly distributed in the upper Lake of Shengjin Lake and Caizi Lake and a small amount of the habitat was distributed along Longgan Lake, in the east bank of Wuchang Lake, and along the mainstream of Yangtze River in its east. The total area of core suitable habitat was 45 980 hm². The Gap analysis showed that 60.1% of the core suitable habitat of the hooded crane was protected by natural reserves. There are 18 346 hm² core suitable habitat uncovered by these reserves; therefore more attention shall be paid to suitable habitats outside the reserves.

Key words: Hooded crane; suitable habitat; Maxent model

白头鹤 (*Grus monacha*) 是我国 I 级重点保护野生动物, 也是世界自然保护联盟 (IUCN) 收录的

易危种, 目前全球白头鹤种群数量仅仅约为 11 600 只^[1-2]。越冬期是白头鹤为后续繁殖储蓄能量

收稿日期: 2017-01-03

基金项目: 安徽省自然科学基金 (1308085MD52) 资助。

作者简介: 郝雪娜, 硕士研究生。E-mail: hxuena@163.com

* 通信作者: 吴艳兰, 博士, 教授。E-mail: wylmq@sina.com

的重要时期,是种群得以延续和维持的关键阶段,研究白头鹤的越冬生境问题是对白头鹤进行有效保护和管理的基礎^[3]。

安徽长江中下游沿江湖泊是全球白头鹤重要的越冬地之一,容纳了我国长江中下游地区60%越冬白头鹤种群数量,该区域的升金湖和菜子湖是越冬白头鹤的主要活动区。安徽省即将实施“引江济淮”调水工程,菜子湖是调水蓄水的湖泊,越冬白头鹤的生境面临威胁。因此,识别其潜在的生境对于进一步开展该受胁物种的生境恢复和有效保护具有指导意义。

近年来,随着3S技术的成熟,利用不同类型的物种分布模型预测目标物种生境的空间分布得到了广泛应用。常用的物种分布模型有规则集遗传算法模型(GARP)、主域分析模型(DOMAIN)、生态位因子分析模型(ENFA)和最大熵模型(Maxent)等。GARP依据物种分布数据与环境因子生成不同规则组合,反复运行得到最优规则组合,以预测物种适宜生境分布^[4],常用于研究外来种入侵^[5]。DOMAIN依据环境空间中点间的邻近程度,利用点-点的相似矩阵分析研究区内待选点与其最近的物种分布点间的相似程度来模拟物种适宜生境分布,其不足之处是受取样点的影响较大^[6]。ENFA通过分析物种的生态位和生态幅度与研究区域的环境因子的平均状态和变异关系确定物种适宜生境分布,其预测结果能够体现出物种的生境利用与环境因子的相互关系,但操作复杂,前期的数据准备比较繁琐^[7-8]。相比于上述3种模型,Maxent相对新颖,开发于2006年^[9],具有运行效率高、受样本量影响较小、预测结果稳定以及在物种分布点数据不全情况下也能得到较为满意的预测结果等特点^[10],现已被众多研究者所采用。如吴庆明等^[11]利用Maxent模型有效预测并评价了扎龙保护区丹顶鹤营巢生境;闻丞等^[12]采用Maxent模型分析了我国96种易危物种的保护空缺现状,吴文等^[13]基于Maxent模型模拟了小兴安岭南麓马鹿的冬季适宜生境分布。

本研究主要利用Maxent模型与GIS技术相结合的方法,探讨安徽省越冬白头鹤潜在适宜生境分布及其与环境因子的关系,并结合已建自然保护区,对越冬白头鹤进行保护空缺分析,以期为该易危物种的保护和保护区规划提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

安徽省地处长江中下游,介于29°41'~34°38'N,

114°54'~119°37'E之间,全省东西宽450 km,南北长570 km,总面积为13.96×10⁴ km²。气候上属暖温带与亚热带过渡区,四季分明,温和湿润;年平均气温为14~17℃,1月平均气温-1~4℃,7月平均气温28~29℃;全年平均降水量在773~1 670 mm之间。地形上,淮河、长江横贯其中,从南到北依次为淮河平原、江淮丘陵、皖西山地、沿江平原和皖南丘陵山地;地势西高东低、南高北低,最高海拔可达1 800 m以上。其中安徽长江中下游流域的沿江湖泊是白头鹤重要的越冬地,该流域的升金湖和菜子湖是白头鹤在越冬地的主要活动区,每年11月到次年4月有大量的白头鹤在这里越冬^[14]。

1.2 研究方法

在对白头鹤分布点数据和潜在影响白头鹤分布的环境变量数据的收集与预处理的基础上,利用Maxent软件和Pearson's相关性分析进行环境变量筛选;其次利用Maxent模型建立白头鹤适宜生境预测模型,并选用物种分布模型常用精度评价指标AUC值评价白头鹤适宜生境预测模型精度,最后对白头鹤适宜生境分布及其主要影响环境变量进行分析,研究技术路线见图1。

1.2.1 Maxent模型介绍 最大熵理论认为:在已知条件下,熵最大的事物,最接近其真实状态^[15]。Maxent模型是依据最大熵理论,根据已知物种分布点和对应的环境变量建立约束条件,从符合约束条件的分布中选择熵最大的分布作为最优分布,进而预测物种在研究区域的适宜生境分布^[9,16]。Maxent模型具有对样本量要求低、模拟时只需提供物种已知分布点、具备自检功能、对物种分布具有较高的预测能力和良好的稳定性等特性^[17-18]。

1.2.2 数据来源及预处理 白头鹤分布点数据通过以下3种途径收集:(1)安徽大学生物多样性湿地生态研究所2013年11月至2014年4月的冬季野外水鸟调查数据;(2)中国观鸟记录中心(<http://www.birdreport.cn/Watch/Index>)2011—2015年经过审核的鸟类爱好者观察记录提交的具有确切经纬度坐标的分布点数据;(3)2011—2015年间公开发表的相关文献,对于有白头鹤分布点坐标信息的文献,直接提取分布点坐标,对于未提供白头鹤分布点坐标信息的文献,依据文献的调查样线信息利用ArcGIS缓冲分析工具界定样线调查区域,结合白头鹤生境条件,筛选出符合白头鹤生境条件的区域作为白头鹤适宜分布范围,进而利用ArcGIS随机分布点工具随机生成1个点作为白头鹤分布点。对以上3种途径收集的白头鹤分布点进行去重处理后共获得

225 个白头鹤分布点数据 (见表 1)。

另外根据白头鹤的生活习性特征如主要栖息于河湖岸边的滩涂、稻田等湿地, 也受到距水源距离、人类活动干扰的影响, 选择气候、地形、土地利用、

水系和人类干扰 5 类环境因子, 共 30 个环境变量, 作为潜在影响安徽省越冬白头鹤适宜生境分布的环境变量 (见表 2)。

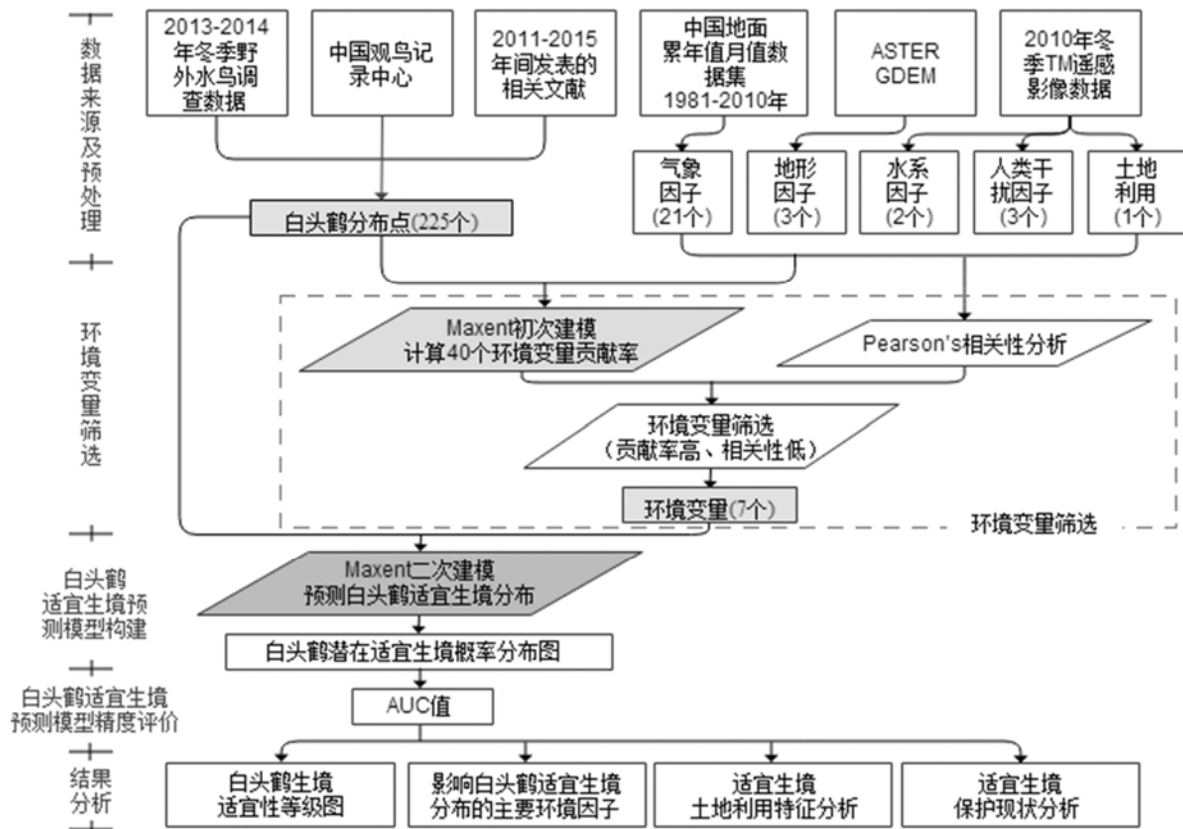


图 1 技术路线

Figure 1 Technology roadmap

表 1 越冬白头鹤 225 个分布点来源及说明

Tabel 1 Information for 225 occurrences of wintering Hooded Crane

来源 Source	数量/个 Quantity individual	调查区域 Survey area	调查时间 (年-月) Survey time	描述 Discription
野外冬季调查数据 Winter field survey data	219	升金湖、菜子湖 Shengjin Lake and Caizi Lake	2013-11— 2014-04	有分布点坐标信息
中国观鸟记录中心 China Bird Report	4	升金湖 Shengjin Lake	2015-01— 2016-01	
文献[19](发表于 2011 年) Literature[19](published in 2011)	1	瓦蚌湖 Wabeng Lake	2008-06— 2009-05	无分布点坐标信息, 分布点利用 ArcGIS 分析
文献[20](发表于 2015 年) Literature[19](published in 2015)	1	颍州西湖 Yingzhou west Lake	2013-01 —2013-12	工具模拟生成

气候因子由安徽及周边省份的 83 个气象观测站的长期观测数据 (1981—2010 年) 内插而成, 气象观测站数据来自中国气象数据网 (<http://www.cma.gov.cn>) 发布的“中国地面累年值月值数据集 (1981—2010 年)”。地形因子来自美国国家航空航天局 (NASA) 发布的 ASTER GDEM 地形数据,

利用地形分析得到 (<http://gdem.ersdac.jp>)。土地利用因子来源于 2010 年 Landsat TM 影像, 通过影像解译将其分为水系、滩涂、稻田、草地、旱地、居民区和林地 7 种土地类型。水系因子和人类干扰因子提取自土地利用数据, 通过 ArcGIS 10.2 欧式距离分析工具计算得到。所有变量

统一转换为 WGS-1984 坐标系下分辨率为 0.005° (约 550 m)、边界范围一致的栅格数据。

1.2.3 环境变量筛选 不同的环境变量可能存有较强的相关性,易引起模型的过度拟合,影响模型预测精度^[21]。为此对 30 个潜在影响白头鹤分布的环境变量进行了筛选:(1)利用 Pearson’s 相关性分析,计算并检验 225 个物种分布点所对应环境变量值的两两之间的 Pearson’s 相关系数;(2)使用

Maxent 对 225 个分布点和 30 个环境变量进行初次建模,得到环境变量对初次建模的贡献率;(3)对于相关系数 $\geq|0.8|$ 的一对变量,保留对初次建模贡献率较高者。经筛选后,在 30 个环境变量中最后确定 7 个变量,分别为:距主要水源距离、12 月平均最低温、1 月平均最低温、11 月份平均降水量、海拔、土地利用和距主要道路距离。

表 2 潜在影响越冬白头鹤适宜生境分布的环境变量

Tabel 2 The potential impact of wintering Hooded Crane suitable habitat distribution of environmental variables

类型 Type	描述 Discription
气候因子 (21 个) Climate variables(21)	1—4 月、11—12 月, 各月平均最低温 The monthly average minimum temperature of January to April and November to December 1—4 月、11—12 月, 各月平均最高温 The monthly average maximum temperature of January to April and November to December 1—4 月、11—12 月, 各月平均降水量 The monthly precipitation of January to April and November to December 年平均温度 Mean annual temperature 昼夜温差月均值 Mean diurnal range 年均降水量 Annual precipitation
地形因子 (3 个) Topographic variables(3)	海拔 Elevation 坡度 Slope 坡向 Aspect
土地利用类型 Landuse	土地利用类型 Landuse
水系因子 (2 个) River system variables (2)	距主要水源距离 Distance to major water source 距次要水源距离 Distance to major water source
人类干扰因子 Human interference variables (3)	距稻田距离 Distance to major water source 距居民区距离 Distance to residential area 距主要道路距离 Distance to the major roads

1.2.4 白头鹤适宜生境模型构建 将 225 个白头鹤分布点数据和 7 个环境变量导入到 Maxent 3.3 中,随机选取 169 个白头鹤分布点数据 (占全部白头鹤分布点数据的 75%) 用于建立模型,剩余的 56 个白头鹤分布点数据 (占全部白头鹤分布点数据的 25%) 用于验证模型;其余参数设为模型默认值,构建白头鹤适宜生境模型并进行模拟。取 20 次重复建模的平均值作为最终预测结果,得到概率值在 0~1 之间的概率分布图。

1.2.5 白头鹤适宜生境模型预测精度评价 采用评价物种分布模型预测精度常用方法受试者工作特征曲线 (ROC) 下的面积值 (AUC 值) 评价白头鹤适宜生境模型预测精度。ROC 曲线是以假阳性率 (实际不存在但被预测为存在的比率) 为横坐标,以真阳性率 (实际存在且被预测为存在的比率) 为纵坐标绘制的曲线。因 AUC 值具有不受阈值影响的特性,是目前最常用的模型精度评价指标之一^[22]。AUC 值

的评估标准为: 0.5~0.6, 不及格; 0.6~0.7, 较差; 0.7~0.8, 一般; 0.8~0.9, 良好; 0.9~1.0, 优秀。

1.2.6 白头鹤适宜生境分布及主要环境因子分析 依据专家经验法对白头鹤适宜生境概率分布图进行重分类,将白头鹤适宜生境分为 4 个等级: 不适宜 (0~0.2), 低适宜 (0.2~0.4), 中适宜 (0.4~0.65) 和最适宜 (0.65~1)。将白头鹤适宜生境分别与已建自然保护区和土地利用类型进行叠置运算,以分析适宜生境的保护空缺现状和土地利用特征。同时用 Maxent 软件自带的刀切法 (Jackknife) 工具分析影响白头鹤适宜生境分布的主要环境变量,依据环境变量与模型预测适宜生境概率分布值的关系曲线分析白头鹤适宜生境下的环境变量特征。

2 结果与分析

2.1 白头鹤适宜生境模型精度评价

ROC 曲线评价结果显示: 模型 20 次重复运算

的 AUC 均值为 0.991, 表明模型的预测结果达到优秀水平, 所用模型可用于安徽省越冬白头鹤适宜生境分布的研究。

2.2 白头鹤适宜生境分布

模型预测结果表明安徽省越冬白头鹤适宜生境

仅分布在长江中下游流域, 除升金湖和菜子湖 2 个安徽省越冬白头鹤主要活动区外, 龙感湖、黄湖、泊湖、武昌湖等其他长江中下游流域的湖泊湿地也含有白头鹤适宜生境 (见图 2)。

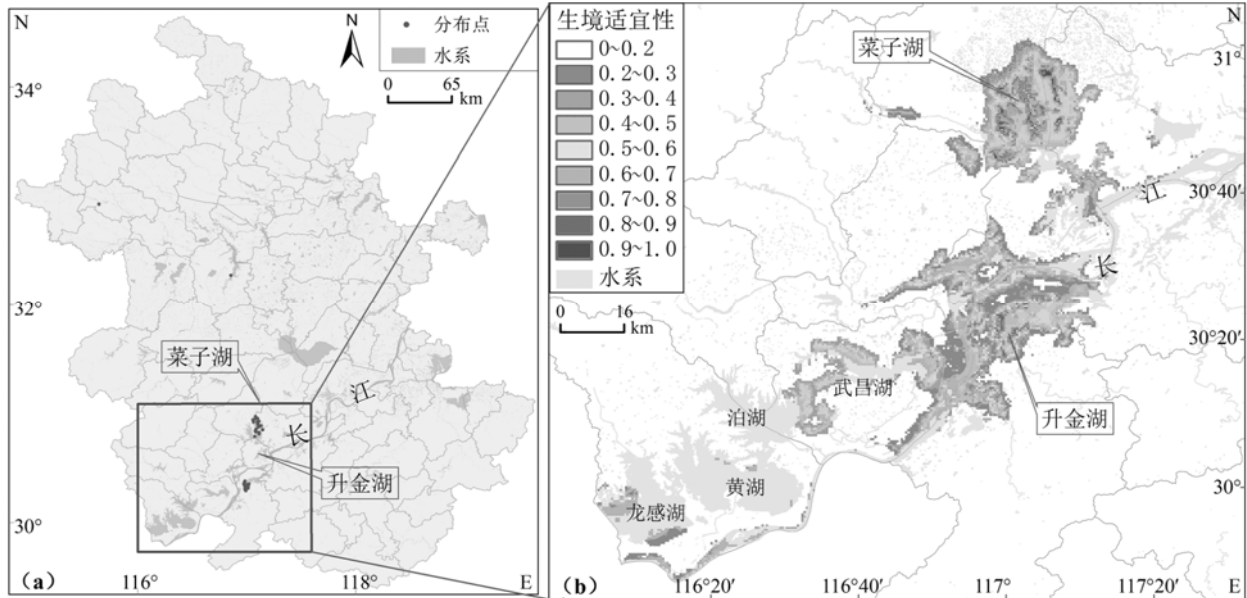


图 2 安徽省越冬白头鹤分布点及适宜生境概率分布

Figure 2 Occurrences and the suitable habitat probability distribution of Hooded crane in Anhui Province

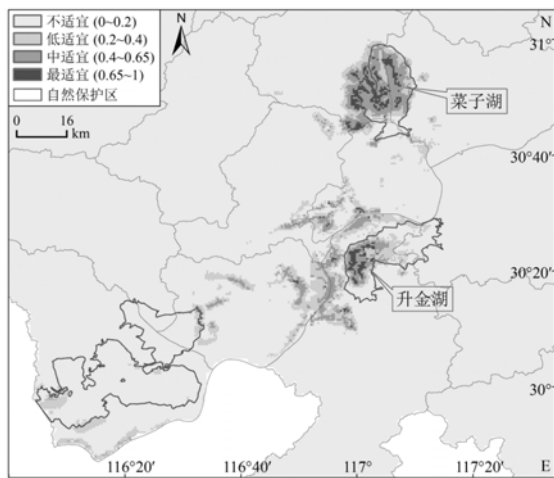


图 3 安徽省越冬白头鹤生境适宜性等级

Figure 3 Habitat suitability level of wintering Hooded crane in Anhui Province

白头鹤适宜生境适宜性等级图 (图 3) 显示:

白头鹤适宜生境的主要分布在菜子湖 (兔子湖区和禧子湖区) 沿岸、七里湖南岸、武昌湖东岸、泊湖东岸、龙感湖沿岸、升金湖上湖沿岸以及武昌湖东部长江干流沿岸的部分区域。其中最适宜生境主要分布在菜子湖的白兔湖区沿岸以及禧子湖区北岸和升金湖的上湖, 面积为 10 371 hm^2 ; 中适宜生境面积为 35 609 hm^2 , 低适宜生境面积为 120 999 hm^2 。

白头鹤适宜生境保护空缺分析表明: 保护区内的白头鹤最适宜生境面积、中适宜生境面积和低适宜生境面积分别占全省范围内对应适宜等级生境面积的 72.9%、47.3%和 17.1%。为便于进一步分析, 将最适宜生境和适宜生境统一归为核心适宜生境, 核心适宜生境的总面积为 45 980 hm^2 , 其中分布在保护区内的核心适宜生境占全省核心适宜生境的 60.1%, 尚有 18 346 hm^2 的核心适宜生境处在保护区之外。

表 3 安徽省越冬白头鹤适宜生境各土地利用类型占比

Table 3 Percent of each landuse in suitable habitat wintering Hooded crane in Anhui Province

项目 Item	稻田 Rice field	滩涂 Wetland	水系 River system	草地 Grass land	旱地 Dry land	其他 Other	%
全省范围内 Within Anhui province	56.7	16.9	11.2	10.2	2.9	2.1	
保护区范围内 Within nature reserve	37.1	26.5	21.6	8.7	2.4	3.7	

表 4 环境变量对模型预测结果的贡献率

Table 4 Contribution percent of environmental factors to model prediction

环境变量 Environment variables	贡献率/% Contribution
距主要水源距离 Distance to major water source	45.3
1 月份平均最低温 Average minimum temperature of February	21.4
12 月份平均最低温 Average minimum temperature of December	19.3
距主要道路距离 Distance to major roads	7.6
海拔 Elevation	2.9
土地利用 Landuse	2.3
11 月份降水量 Precipitation of november	1.2
总计 Total	100

为分析预测的白头鹤适宜生境类型特征，对图 3 中适宜生境内各土地利用类型面积进行统计（见表 3），其中稻田面积最高，占全省白头鹤适宜生境

总面积的 56.7%，占保护区内白头鹤适宜生境总面积的 37.1%；无论从全省的角度还是从保护区的角度来看，白头鹤适宜生境的土地利用类型面积均以稻田、滩涂和水系为主，这与已有类似研究相符^[23]。

2.3 影响白头鹤适宜生境分布的主要环境变量

刀切法是 Maxent 软件自带的用以衡量变量对模型预测结果重要程度的一种分析工具，其原理为：在 Maxent 软件建模分析过程中，依次选取一个变量，将仅用该单一变量建模与用去除该单一变量后余下的变量建模对比分析，得出单一变量对模型预测结果的重要程度。通过刀切法分析结果表明（见表 4）：距水源距离（45.3%）、1 月份最低温（21.4%）、12 月份最低温（19.3%）、距主要道路距离（7.6%）对模型预测结果的累计贡献率达 93.6%，基本包含了全部 7 个环境变量所具有的信息，是影响白头鹤分布的主要环境变量。

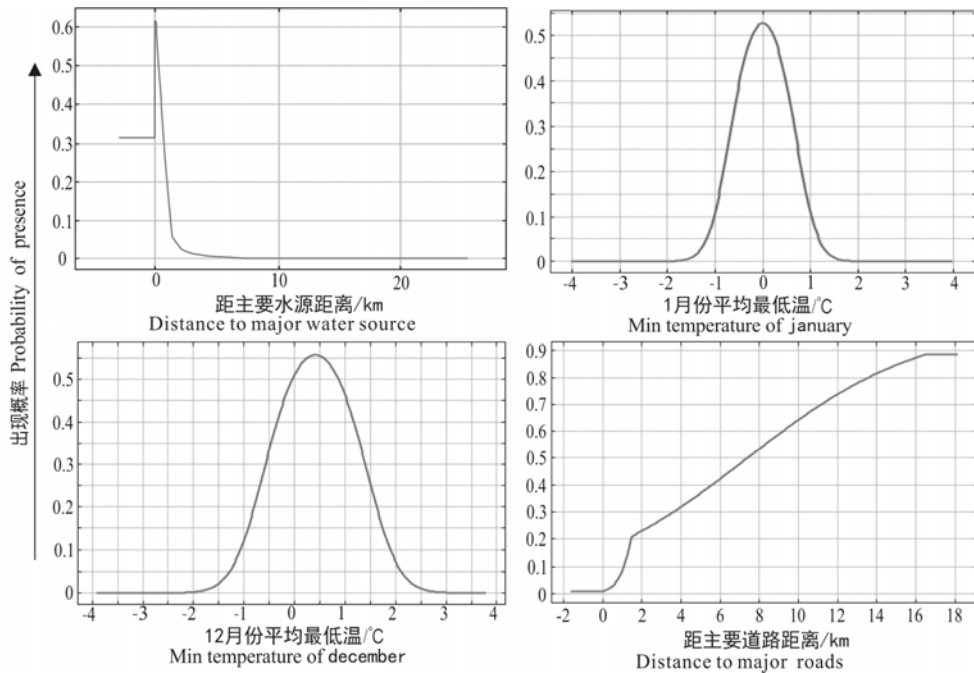


图 4 影响安徽省越冬白头鹤适宜生境分布的主要环境变量与白头鹤分布概率的反映曲线

Figure 4 Respose curve of each dominant environment variables and the distribution probability of wintering Hooded crane in Anhui Province

模拟 4 个主要环境变量与白头鹤分布概率的线性关系（图 4），从曲线的波动幅度可以给出白头鹤适宜生境内的环境变量取值区间。由图 4 可见，在白头鹤核心适宜生境内（出现概率>0.4）主要环境变量的取值区间分别为：距主要水源距离为 0~1 km、1 月份平均最低温为-0.5~0.47℃，12 月份平均最低温为-0.35~1.2℃，距离主要道路距离为 5.8 km 以上（图 4）。

3 结论

Maxent 模型近年来被广泛应用于物种适宜生境分布的预测，利用 Maxent 模型对安徽省越冬白头鹤适宜生境进行了预测，得到如下结果：（1）安徽省越冬白头鹤适宜生境均分布在长江中下游流域，适宜生境主要范围为菜子湖（兔子湖区和禧子湖区）沿岸、七里湖南岸、武昌湖东岸、泊湖东岸、龙感湖沿岸、黄湖北岸、升金湖上湖沿岸以及武昌

湖东部长江干流沿岸的部分区域。(2) 安徽省越冬白头鹤核心适宜生境面积为 45 980 hm², 主要分布在长江中下游流域的升金湖和菜子湖, 少量分布在武昌湖东岸及其东部的长江流域。目前有 60.1% 的核心适宜生境分布在保护区内, 尚有 18 346 hm² 的核心潜在适宜生境处在保护区之外。(3) 白头鹤适宜生境内土地利用类型以稻田为主, 其次为滩涂。

(4) 影响白头鹤分布适宜生境的主要环境变量为: 距主要水源距离, 1 月份最低温, 12 月份最低和距主要道路距离 4 个环境变量, 这与白头鹤生活习性相符。(5) 白头鹤核心适宜生境内影响其适宜生境分布的主要环境变量取值区间为: 距主要水源距离为 0~1 km, 1 月份平均最低温为 -0.5~0.47℃, 12 月份平均最低温为 -0.35~1.2℃, 距离主要道路距离为 5.8 km 以上。

白头鹤适宜生境是由多种因素综合决定, 除本研究选择的气候、地形、水系和人为干扰外, 生物间的相互作用、物种迁移能力、食物来源及可获得程度也是决定性因素, 限于目前的认知水平不足和资料收集难度, 未对上述因素进行考虑。因此, 今后对白头鹤适宜生境研究还需对环境要素进行更深入的研究, 以获得更优的模拟结果。

参考文献:

- [1] World Conservation Union (IUCN). IUCN Red List of Threatened Species[EB/OL]. [2016-12-25]. <http://www.iucnredlist.org>.
- [2] ZHOU B,ZHOU L Z,CHEN J Y,et al.Diurnal time activity budgets of wintering Hooded Cranes (*Grus monacha*) in Shengjin Lake, China[J]. Waterbirds, 2010, 33(1): 110-115.
- [3] 张佰莲, 刘群秀, 宋国贤. 崇明东滩越冬白头鹤生境适宜性评价[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 85-87.
- [4] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 557-567.
- [5] 崔相艳, 王文娟, 杨小强, 等. 基于生态位模型预测野生油茶潜在分布[J]. 生物多样性, 2016, 24(10): 1117-1128.
- [6] 曹向锋, 钱国良, 胡白石, 等. 采用生态位模型预测黄顶菊在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3063-3069.
- [7] NAZERI M, KUMAR L, JUSOFF K, et al. Modeling the potential distribution of sun bear in Krau wildlife reserve, Malaysia[J]. Ecol Inform, 2014, 20: 27-32.
- [8] 蔡静芸, 张明明, 粟海军, 等. 生态位模型在物种生境选择中的应用研究[J]. 经济动物学报, 2014, 18(1): 47-58.
- [9] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecol Model, 2006, 190(3): 231-259.
- [10] ELITH J, PHILLIPS S J, HASTIE T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists[J]. Divers Distrib, 2011, 17(1): 43-57.
- [11] 吴庆明, 王磊, 朱瑞萍, 等. 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[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3758-3764.
- [12] 闻丞, 顾垒, 王昊, 等. 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[J]. 生物多样性, 2015, 23(5): 591-600.
- [13] 吴文, 李月辉, 胡远满, 等. 小兴安岭南麓马鹿冬季适宜生境评价[J]. 生物多样性, 2016, 24(1): 20-29.
- [14] 陈锦云, 周立志. 安徽沿江浅水湖泊越冬水鸟群落的集团结构[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5323-5331.
- [15] GE Z M,WANG T H, ZHOU X, et al.Changes in the spatial distribution of migratory shorebirds along the Shanghai shoreline China.between 1984 and 2004[J]. Emu, 2007, 107(1): 19-27.
- [16] PHILLIPS S J, DUDÍK M, SCHAPIRE R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling[C]// ICML '04 Proceedings of the Twenty-first International Conference on Machine Learning. New York: ACM, 2004: 83.
- [17] SOBEK-SWANT S, KLUZA D A, CUDDINGTON K, et al.Potential distribution of emerald ash borer what can we learn from ecological niche models using MAXENT and GARP?[J]. Forest Ecol Manag, 2012, 281: 23-31.
- [18] HOWARD C, STEPHENS P A, PEARCE-HIGGINS J W, et al. Improving species distribution models: the value of data on abundance[J]. Methods Ecol Evol, 2014, 5(6): 506-513.
- [19] 鲍方印, 王松, 王梅, 等. 安徽沿淮湖泊湿地水鸟资源调查[J]. 动物学杂志, 2011, 46(4): 117-125.
- [20] 王松, 常丽, 高飞, 等. 安徽颍州西湖湿地自然保护区水鸟多样性及季节动态[J]. 湿地科学, 2015, 13(5): 616-621.
- [21] HU J, LIU Y. Unveiling the conservation biogeography of a data-deficient endangered bird species under climate change[J]. PloS One, 2014, 9(1): e84529.
- [22] SWETS J A.Measuring the accuracy of diagnostic systems [J]. Science, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [23] 杨玲. 湖泊湿地退化对越冬白头鹤(*Grus monacha*)觅食活动的影响[D]. 合肥:安徽大学, 2015.