DOI：10.19789/j.1004-9398.2022.05.007
文献引用：刘文壮，张玉虎，洪剑明，等．基于MaxEnt模型的康巴诺尔湖遗鸥幼鸟生境适宜性评价[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2022，43（5）：44-50. LIU W Z，ZHANG Y H，HONG J M，et al. Habitat suitability evaluation of relict gull juveniles in Kangba Noel Lake based on MaxEnt model[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2022，43（5）：44-50.

基于MaxEnt模型的康巴诺尔湖遗鸥幼鸟生境适宜性评价*

刘文壮[1]，张玉虎[1**]，洪剑明[2,3]，蒲　晓[1]，王　洁[1]，曹子祯[2]，刘亚东[2,3]，吴　渊[2,3]

（1. 首都师范大学资源环境与旅游学院，北京　100048；2. 首都师范大学生命科学学院，北京　100048；3. 首都师范大学北京湿地研究中心，北京　100048）

摘要：遗鸥（*Larus relictus*）幼鸟生境适宜性评价能够为遗鸥的保护与科学管理提供技术支撑．本研究利用MaxEnt模型，结合实地监测遗鸥幼鸟分布点和环境变量数据，对康巴诺尔湖遗鸥幼鸟生境适宜性进行评价．结果表明：影响遗鸥幼鸟生境适宜性的主要环境因子为底栖动物生物质量、水质酸碱度、湖泊水位和距裸露地距离．遗鸥幼鸟生境适宜性随着底栖动物生物质量的增加而提高，随着距裸露地距离的增加而降低；另当水质酸碱度为pH8.9、湖泊水位22 cm时，遗鸥幼鸟生境适宜性最高．遗鸥幼鸟适宜生境主要分布于康巴诺尔湖东部、东北部和南部的浅水滩，其中最适宜生境和较适宜生境面积分别为18.8和51.1 hm^2，共计69.9 hm^2，占研究区总面积的18.2%．建议对康巴诺尔湖的遗鸥幼鸟适宜生境进行保护，加强对湖泊水质pH和水位的监测和控制并人为营造遗鸥幼鸟的适宜生境．

关键词：遗鸥；生境适宜性；最大熵模型；康巴诺尔湖
中图分类号：X826；X176

Habitat suitability evaluation of relict gull juveniles in Kangba Noel Lake based on MaxEnt model*

LIU Wenzhuang[1]，ZHANG Yuhu[1**]，HONG Jianming[2,3]，PU Xiao[1]，WANG Jie[2]，CAO Zizhen[2]，LIU Yadong[2,3]，WU Yuan[2,3]

（1. College of resources environment and tourism，Capital Normal University，Beijing　10048；2. College of Life Sciences Capital Normal University，Beijing　100048；3. Beijing Center of Wetland Studies，Capital Normal University，Beijing　100048）

Abstract：Habitat suitability evaluation of relict gull（*Larus relictus*）juveniles can provide technical support for conservation and scientific management of relict gulls. MaxEnt model was used to evaluate the habitat suitability of juveniles in Kangba Noel Lake based on the field monitoring data of distribution points and environmental variables. The results show that the main environmental factors affecting the habitat suitability of juveniles are benthic biomass，water quality，lake water level and distance to bare land. The habitat suitability of juveniles increases with the increase of benthic biomass，

收稿日期：2021-10-14
* 北京市科技计划“京津冀协同创新推动专项”项目（Z20110000672001）
** 通信作者：zhang_yuhu@163.com

and decreases with the increase of the distance from the bare ground. In addition, when the water quality is pH8.9 and the lake water level is 22 cm, the habitat suitability of juveniles is the highest. The suitable habitats for juveniles are mostly concentrated in the shallow waters of Kangba Noel Lake, mainly distributed in the eastern, northeastern and southern regions. Among them, the areas of high and medium suitable areas are 18.8 and 51.1 hm^2, totaling 69.9 hm^2, accounting for the total study area 18.2% of the area. It is recommended to protect the suitable habitat for juveniles in Kangba Noel Lake, strengthen the monitoring and control of water quality pH and lake water level, and artificially create a suitable habitat for juveniles.

Keywords: relict gull (*Larus relictus*); habitat suitability; MaxEnt model; Kangba Noel Lake
CLC: X826; X176

0　引　言

野生动物生存和赖以发展的周围环境称为生境，是其生长发育不同阶段各类生态环境因子的总和，生境的优劣关系到野生动物物种的生存发展，适宜的生境可以促进野生动物物种的繁衍生息[1-3]. 了解野生动物的生境需求，通过运用各种方法、模型对其生境空间分布格局进行适宜性分析，可以对野生动物生境风险进行合理评价，进而有效地保护野生动物[4-5].

遗鸥（*Larus relictus*），被我国列入国家一级重点保护野生动物，也被列入华盛顿公约附录Ⅰ和世界自然保护联盟濒危物种[6]. 遗鸥环境适应性非常弱，其繁殖生境仅选择在荒漠或半荒漠地区湖泊的湖心岛上，属于狭栖型鸟种[7]. 遗鸥繁殖期为每年的5—7月，新孵化的幼鸟20 d后便可独立进行飞行和觅食等行为，等到8月中旬向东部渤海湾区域迁徙越冬[8]. 幼鸟阶段是遗鸥生长和发育的关键时期，对后期进行越冬迁徙和生存等具有重要意义.

受到自然因素和人类活动干扰等影响，我国北方荒漠-半荒漠地区的内陆湖泊水位不断下降，甚至消失[9]，目前遗鸥的主要繁殖栖息地仅为陕西省榆林市红碱淖和河北省康保县康巴诺尔湖[10]. 因繁殖地的丧失和数量的减少，遗鸥越来越受到专家和学者的关注. 已有多名专家学者针对鄂尔多斯国家自然保护区和红碱淖遗鸥的种群数量[6,11-12]、繁殖对策[13]、食性行为[14]以及生境选择[7]等方面进行了研究. 对康巴诺尔湖遗鸥种群的研究包括：对康巴诺尔湖的遗鸥栖息地的保护与管理工作进行了探讨[15]；利用环志和卫星追踪技术，对遗鸥在康巴诺尔湖以及张家口坝上地区的活动特征与空间利用等方面进行了研究[10]，以上工作集中于对成年遗鸥的研究，很少关注到遗鸥幼鸟的生境适宜性情况.

自20世纪90年代起，国内外学者便运用多种物种分布模型对物种生境适宜性进行评价，主要可以分为机制模型、回归模型以及生态位模型3类[16]. 其中，最大熵（MaxEnt）模型被广泛应用，此模型由Phillips团队基于最大熵原理开发编写，属于物种生境评价模型中的生态位模型[17-18]. 与其他模型相比，最大熵模型只需要物种的“出现点”数据，便可对研究区内物种进行生境适宜性评价，操作简单且预测精度高[19-20]. 尽管可能存在过拟合现象，但已有的研究表明，最大熵模型针对不同濒危鸟类，如丹顶鹤（*Grus japoenesis*）、朱鹮（*Nipponia nippon*）和苍鹭（*Ardea cinerea*）等的生境适宜性都表现出较为准确的评价结果[21-24]. 本研究通过实地现场监测及环境取样，以遗鸥幼鸟为研究对象，利用MaxEnt模型对遗鸥幼鸟在康巴诺尔湖的生境适宜分布及影响因素进行了评价分析，以期为遗鸥幼鸟的生境保护及改进提供科学参考.

1　研究区概况

康巴诺尔湖湿地位于河北省张家口市康保县境内，地处河北省与内蒙古省交界处，地理坐标为114°35′06″ ~ 114°36′32″E，41°49′05″ ~ 41°50′33″N. 研究区总面积384.0 hm^2，其中湖面面积为141.3 hm^2，湖区内部共有3个湖心岛，湖心岛总面积约为1.2 hm^2. 康巴诺尔湖水深最深可达3.0 m，平均水深为1.2 m，总蓄水量169.5万 m^3，主要由降水和污水处理厂排放中水组成，水体整体呈弱碱性[15]. 康巴诺尔湖生物多样性非常高，2016年共记录到水鸟52种，隶属6目12科，优势种为遗鸥（*Larus relictus*）、赤麻鸭（*Tadorna ferruginea*）、骨顶鸡（*Fulica atra*）和红头潜鸭（*Aythya ferina*）等[25]. 植物种类同样较为丰富，

记录在案达140余种,分布较多的包括芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha orientalis*)和远东芨芨草(*Achnatherum extremiorientale*)等.2016年,康巴诺尔湖共记录到遗鸥7 000余只,被授予"中国遗鸥之乡"称号[26].

2 研究方法与数据获取

2.1 模型介绍

本文使用的MaxEnt模型基于最大熵原理,由美国自然历史博物馆(http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent)获取.MaxEnt模型以研究区范围内所有像元,作为构成熵值最大时的可能分布空间,将已知物种分布位点的像元作为样本,根据样本像元所处的环境条件得出物种分布的约束条件,并根据此约束条件探明最大熵的可能分布,进而来预测物种在研究区域范围内的生境潜在分布情况[27-28].

2.2 数据获取与处理

(1)获取遗鸥幼鸟分布点.2020年7月,对康巴诺尔湖遗鸥幼鸟分布点进行观测,选取样点法,根据遗鸥幼鸟生活规律,在5:00—6:00和18:00—19:00这2个时段,利用60倍单筒望远镜和10倍双筒望远镜对康巴诺尔湖遗鸥幼鸟分布位点进行观察并记录,确定遗鸥幼鸟分布位置后,利用GPS对其进行定位并记录其经纬度坐标,共记录到遗鸥幼鸟分布位点35个.考虑到空间自相关会导致模型模拟结果过度拟合的情况[29-30],利用ArcGIS10.2软件对分布位点进行缓冲区分析,剔除距离<100 m的位点,最终得到实际位点20个(图1),并以最大熵模型所需的.csv格式进行保存.

(2)选取影响遗鸥幼鸟生境适宜性的环境因子.根据遗鸥幼鸟生活习性和前人研究成果[12],本研究选取人类干扰、生境类型、水文生态和食物作为影响遗鸥幼鸟生境适宜性的环境因子.其中人类干扰因子包括遗鸥幼鸟分布点距道路、建设区和居民点距离;生境类型因子包括遗鸥幼鸟分布点距披碱草(*Elymus dahuricus Turcz*)滩、芦苇滩、碱蓬草(*Suaeda glauca*)滩、芨芨草滩、农田、人工种植区和裸露地之间距离;水文生态因子包括水质酸碱度和湖泊水位;食物因子则为底栖动物生物质量.

(3)解译研究区生境类型.从谷歌地图上获取谷歌影像数据,并结合实地考察,通过人工目视解译得到研究区生境类型(图1),通过ArcGIS软件中的欧氏距离分析,分别得到距道路、建设区、居民点以及距披碱草滩、芦苇滩、碱蓬草滩、芨芨草滩、农田、人工种植区和裸露地距离的栅格图层数据.

(4)湖泊环境变量数据的采集和测量.对研究区进行实地调查中,为获取水质酸碱度(pH)、湖泊水位以及底栖动物生物量等数据.在研究区共设置17个采样点(图1),利用D形网采集器采集1 m^2的底栖动物,装进密封袋并迅速用酒精密封,记录其编号,后续在实验室进行挑拣、测定其生物量;水质pH数据和湖泊水位数据则直接在现场利用便携式pH计和卷尺测得.

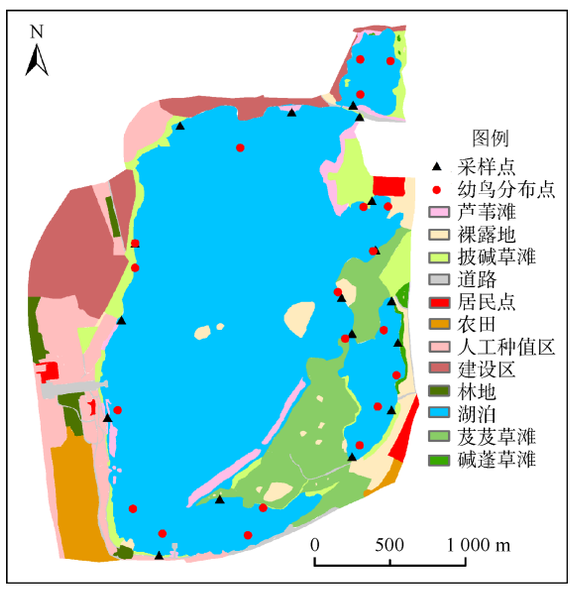


图1 研究区生境类型、采样点及幼鸟分布点位置

(5)数据处理.将环境变量数据与采样点坐标分别记录到excel表格中,导入ArcGIS软件中进行克里金插值分析得到栅格图层数据,并按研究区矢量图层统一边界范围,栅格大小统一设定为1 m×1 m,并转为MaxEnt模型所需的ASCII格式文件.

2.3 模型建立与适宜性评价

将遗鸥幼鸟分布位点数据和选取的环境变量数据导入MaxEnt模型,并对模型各参数进行设置.具体设定为:随机选取75.0%的遗鸥幼鸟分布位点用于训练模型,剩余分布位点用于模型的验证,模型重复运行次数为10次,其余参数采用模型默认设置值.利用刀切法(Jackknife)中的典线下面积(area under curve,AUC)对模型的评价效果和各个环境变量的重要性进行检测,AUC为MaxEnt模型受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic,ROC)下的面积,不同的值代表不同的模型评价效果:0.50~0.60,不及格;>0.60~0.70,较差;>0.70~0.80,一般;>0.80~0.90,良好;>0.90~1.00,优秀[17].MaxEnt模型的ROC曲线评价结果AUC为0.92,表明预测结果

为优秀,可以用作遗鸥幼鸟的栖息地适宜性评价.

将模型输出结果导入到ArcGIS软件中,并转为栅格数据,对栅格数据进行重分类,以划分遗鸥幼鸟适宜分布区.依据专家经验法[2],分布概率<31.0%,为不适宜生境;分布概率在31.0%~69.0%,为较适宜生境;分布概率>69.0%,为最适宜生境,进而得到遗鸥幼鸟生境适宜性分布图,并对各适宜生境面积进行统计.

3　结果与分析

3.1　遗鸥幼鸟生境与环境变量关系

刀切法检验各环境变量对模型的重要性(图2),变量自身得分重要性越高,表明影响程度越高.在模型运算过程中,发现距居民点、建设区距离以及距披碱草滩、碱蓬草滩、农田、人工种植区距离这些环境因子对模型重要性极低,将这些环境变量舍去,仅用剩余环境变量重新运算模型.底栖动物生物量、水质pH、湖泊水位和距裸露地距离对模型重要程度较高,是影响遗鸥幼鸟生境适宜性的主要环境变量,以上4个环境变量对模型的相对贡献率分别为:42.5%、17.3%、16.8%和13.2%,累计贡献率达到89.8%,基本包括了全部环境变量的有效信息,而距道路、芦苇滩和芨芨草滩的距离贡献率分别为6.8%、2.3%和1.1%.

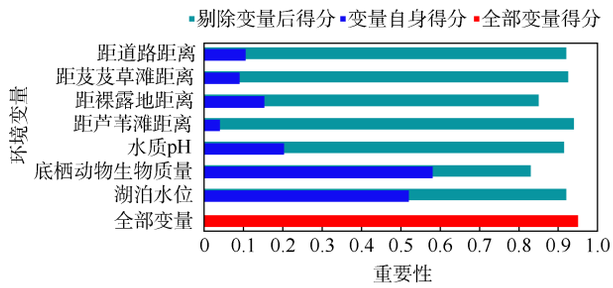


图2　环境变量刀切法检验

模型自动生成的响应曲线可以反映遗鸥幼鸟生境适宜性随环境变量的变化情况(图3),横坐标表示影响因子的数值变化,纵坐标表示适宜遗鸥幼鸟分布的概率(概率取值0~1.0).通过现场监测及采样,研究区水位处于15~350 cm,水质酸碱度为pH8.0~10.3,底栖动物生物质量范围为33.48~1 136.36 mg.由响应曲线可知,遗鸥幼鸟生境适宜性随着底栖动物生物质量的增加而提高,而随着距裸露地距离的增加而降低;当水质酸碱度为pH8.9、湖泊水位22 cm时,遗鸥幼鸟生境适宜性最高.

3.2　遗鸥幼鸟生境适宜性分布

通过ArcGIS软件的空间统计功能对模型输出结果进行分析,得出遗鸥幼鸟生境适宜分布(图4),

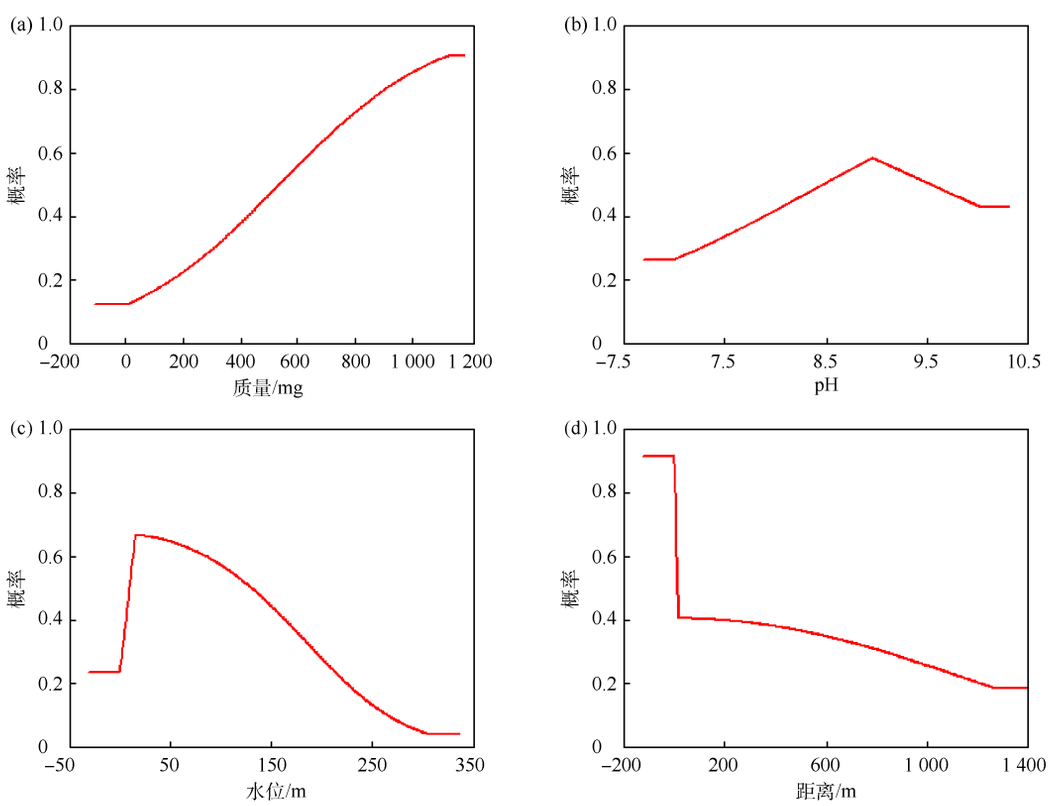


图3　主要环境变量响应曲线

(a)底栖动物生物质量;(b)水质pH;(c)湖泊水位;(d)距裸露地距离

研究结果表明,最适宜生境面积为18.8 hm^2,占研究区总面积的4.9%,主要分布在湖泊的东部以及东北部区域,西部和南部区域有较少分布;较适宜生境面积为51.1 hm^2,占研究区总面积的13.3%,主要分布于湖泊东部、东北部以及南部区域,另外,在研究区东部的裸露地上有较少分布.二者之和为遗鸥幼鸟的适宜生境,总面积为69.9 hm^2,占研究区总面积的18.2%.不适宜生境面积最大,达到了314.1 hm^2,占研究区总面积的81.8%.

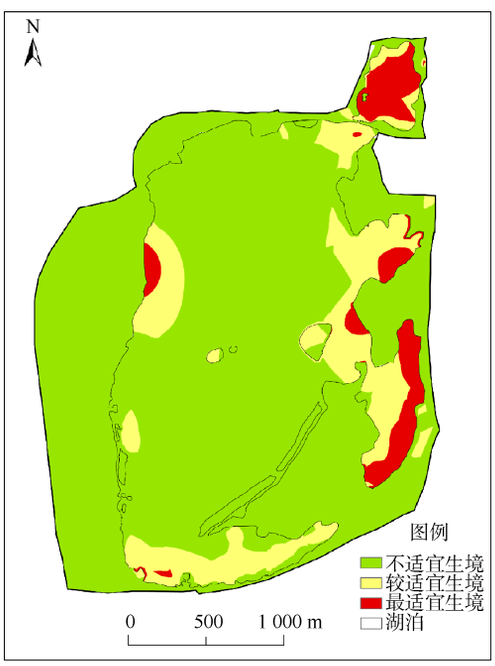


图4　遗鸥幼鸟生境适宜性分布

4　讨　论

4.1　环境变量对遗鸥幼鸟生境适宜性的影响

本文通过对研究区现场调查,选取了食物因子、水文生态因子、生境类型因子和人为干扰因子作为影响遗鸥幼鸟生境适宜性的环境变量.遗鸥幼鸟和环境变量的观测和获取时间为7月份,此时间段可反映遗鸥幼鸟对生境选择的整体状况.根据刘文盈等[8]对红碱淖遗鸥繁殖状况的研究,6月上旬遗鸥雏鸟破壳,亲鸟哺育期20 d左右,之后幼鸟开始下水学飞,即可自己觅食.在亲鸟哺育期,遗鸥幼鸟主要在巢穴,即湖心岛上活动,7月份为遗鸥幼鸟在栖息地独立活动和觅食的主要时间段.环境变量的选取中,本文未考虑气象条件,康巴诺尔湖水源主要为污水处理厂排放中水,其次为大气降水,气象条件差异对遗鸥幼鸟生境适宜性的影响较小.张巍等[31]对遗鸥在栖息地繁殖的生境特点进行的相关性分析同样表明,温度和降水对遗鸥繁殖和分布的影响不明显.

底栖动物生物量是对遗鸥幼鸟生境适宜性影响最大的环境变量,这与大多数相关学者研究结果一致.刘文盈等[8]对红碱淖湿地遗鸥的食性调查研究表明,遗鸥在繁殖栖息地的分布和底栖动物生物量的空间分布均呈现正相关关系.本文响应曲线表明,遗鸥幼鸟分布概率随着底栖动物生物质量的增加而提高,说明底栖动物生物质量越大,对遗鸥幼鸟的吸引程度越高.遗鸥幼鸟主要食物即为底栖动物.遗鸥繁殖期间,大量遗鸥幼鸟破壳而出,造成繁殖岛及其周边食物数量明显不足[32],遗鸥幼鸟不得不寻找底栖动物生物质量大的区域进行觅食.

水文生态因子中,水质酸碱度对遗鸥幼鸟生境适宜性有较大影响,达到了17.3%,响应曲线表明,遗鸥幼鸟最适宜的水质为pH8.9.谢祚浑和周一兵[33]对北方4个省份的水域的底栖动物研究证实,摇蚊科(Chironomidae)幼虫和瘦科(Ischnura sp)幼虫在盐碱水域分布的酸碱度最高值分别为pH10.1和pH9.6,而这2种底栖动物都为遗鸥幼鸟的主要食物,因此水质酸碱度对湖区的底栖动物有着重要影响,水质酸碱度<pH8.5或者水质碱性太强都不适宜于底栖动物的生存,进而影响遗鸥幼鸟的分布状况.模型结果表明,湖泊水位环境变量贡献率为16.8%,最适宜于遗鸥幼鸟分布的湖泊水位为22 cm,这是由于底栖动物主要分布于较浅的水滩,湖泊水位越深越不适宜于底栖动物的生存,由此造成了遗鸥幼鸟的适宜性选择.

生境类型因子中,距裸露地距离对遗鸥幼鸟的生境适宜性影响最大,达到13.2%,这与遗鸥的生活习性有密切联系.遗鸥对裸露地的偏好程度较高,在繁殖栖息地较少的考虑栖息地的荫蔽条件.对鄂尔多斯遗鸥种群的巢址选择研究表明,遗鸥只选择植被盖度≤38.9%,高度≤23 cm的区域繁殖[34].这种选择与遗鸥巢为地面巢有关,较高的植被覆盖度影响筑巢、较高的植被高度影响成鸟孵化时视野,进而影响对其捕食者的观察和防御.本研究表明,遗鸥幼鸟同样对植被覆盖度低的裸露地这一生境类型偏好程度较高,这可能是遗鸥幼鸟对安全因素考虑的结果.响应曲线表明,随着距裸露地距离增加,遗鸥幼鸟分布概率逐渐降低.距芦苇滩和芨芨草滩距离对遗鸥幼鸟生境适宜性同样产生影响,但影响程度并不高,二者相加为3.4%,而其他生境类型因

子的影响则可忽略不计.这可能是由于芦苇滩和芨芨草滩会对底栖动物的生长繁殖有一定促进作用,但这种促进作用相对有限,底栖动物更受水质以及水体盐度等影响[35].

人类干扰因子中,主要为距道路距离对遗鸥幼鸟生境适宜性产生影响,贡献率为6.8%.这表明,人类干扰因子对遗鸥幼鸟的生境适宜性影响较小,这与大多数学者在对鸟类生境适宜性评价中得出人类干扰(距道路距离)会对水鸟造成较大的影响结果不一致[20,36-37],这可能是由于遗鸥独特的生活习性造成.有学者对红碱淖遗鸥生境调查表明,在湖区,遗鸥不甚畏人,在岛上可接近20 m,于湖畔能靠近30~40 m而不影响其正常孵化和取食;而远离湖区的遗鸥群却很警觉,距人100 m左右即警飞[12].

4.2 遗鸥幼鸟生境适宜性评价

关于遗鸥的生境适宜性评价,目前研究还较少,本文从遗鸥幼鸟角度出发,通过观测7月份遗鸥幼鸟在康巴诺尔湖的觅食和活动位点分布以及选取相关环境变量,对遗鸥幼鸟生境适宜性进行了评价,得出遗鸥幼鸟的适宜生境主要分布于康巴诺尔湖的东部、东北部和南部区域,在西部则分布较少,这主要是因为康巴诺尔湖的东部、东北部和南部的浅水滩底栖动物生物量较高,便于遗鸥幼鸟的觅食;同时相较于西部,植被覆盖度较低的裸露地这一生境类型分布较多,便于幼鸥的休憩.

已有研究表明,荒漠半荒漠地区湖泊的湖心岛是遗鸥营巢、繁殖的主要场所,也是新孵化的遗鸥幼鸟的主要活动区域[7],因此,湖心岛生境品质好坏同样对遗鸥幼鸟生境适宜性具有重要影响.由于受到保护区规定、限制等条件的制约,未能对湖心岛生境品质进行调查,仅对遗鸥幼鸟在研究区范围内的觅食与活动等行为方面进行了生境适宜性分析,但客观上可以整体反映出遗鸥幼鸟在康巴诺尔湖的生境适宜分布以及与环境变量之间的响应关系,对康巴诺尔湖遗鸥的科学保护与管理也具有一定的积极意义,而关于遗鸥在湖心岛上的生境选择与营巢行为等分析,还需进一步的研究.

5 结论与建议

本文通过实地调查研究,结合GIS手段,利用MaxEnt模型,对康巴诺尔湖遗鸥幼鸟生境适宜性进行性价,并探讨了影响遗鸥幼鸟生境适宜性的主要环境变量.通过模型评价,遗鸥幼鸟的适宜生境面积为69.9 hm^2,占研究区总面积的18.2%,主要分布在湖泊东部、东北部和南部近岸的浅水滩区域.底栖动物生物质量、湖泊水位、水质pH和距裸露地距离是影响遗鸥幼鸟生境适宜性的主要环境变量,而人为干扰对遗鸥幼鸟生境适宜性的影响较小.

康巴诺尔湖近年来已成为遗鸥的主要繁殖栖息地,对全球范围内遗鸥种群的生存具有重要意义.本研究对康巴诺尔湖遗鸥幼鸟的生境适宜性进行了评价,表明遗鸥幼鸟的适宜生境主要分布研究区东部和东北部区域,对底栖动物生物质量、水质pH、湖泊水位和距裸露地距离等环境因子敏感.建议对康巴诺尔湖的遗鸥幼鸟适宜生境进行保护,并逐步增加遗鸥幼鸟适宜生境面积,做好以下工作:(1)加强对湖泊水质pH和水位的监测和控制.近年来,湖区附近污水处理厂将中水全部排入康巴诺尔湖,造成湖泊水质pH不稳定且水位不断升高,建议有关部门督促污水处理厂排放必须达标的中水,并设立监测位点时刻了解水质pH动态;启动“引水工程”,如利用沟渠、暗渠等方式将湖泊水引入他地,严格控制湖泊水位,维持湖区遗鸥幼鸟的适宜生境.(2)人为营造遗鸥幼鸟的适宜生境.建议对遗鸥幼鸟的中适宜区进行管理和保护,吸引遗鸥幼鸟来此觅食和活动.对于低宜区,建议通过人为方式,如建立遗鸥幼鸟觅食活动区等方式,营造遗鸥幼鸟的适宜生境.

参 考 文 献

[1] 杨维康,钟文勤,高行宜.鸟类栖息地选择研究进展[J].干旱区研究,2000,17(3):71-78.

[2] 朱井丽,高忠斯,邹红菲,等.基于MaxEnt模型的松嫩平原丹顶鹤秋迁期生境适宜性评价[J].野生动物学报,2018,39(4):852-857.

[3] 董超,张国钢,陆军,等.新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择[J].生态学报,2013,33(16):4885-4891.

[4] 曹铭昌,刘高焕,单凯,等.基于多尺度的丹顶鹤生境适宜性评价:以黄河三角洲自然保护区为例[J].生物多样性,2010,18(3):283-291.

[5] 赵宁,夏少霞,于秀波,等.基于MaxEnt模型的渤海湾沿岸鸻鹬类栖息地适宜性评价[J].生态学杂志,2020,39(1):194-205.

[6] 汪青雄,肖红,任永奇.内蒙古乌审召察汗淖尔遗鸥繁殖群数量及繁殖点分布变化[J].四川动物,2021,40(3):270-274.

[7] 张荫荪,何芬奇,陈容伯,等.遗鸥繁殖生境选择及其繁殖地湿地鸟类群落研究[J].动物学研究,1993,14(2):128-135.

[8] 刘文盈,张秋良,邢小军,等.鄂尔多斯高原盐沼湿地底栖动物多样性特征与遗鸥繁殖期觅食的相关性研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(4):185-192.
[9] 安镝霏,张方,刘军会,等.泊江海子遗鸥自然保护区湿地退化成因评估[J].环境影响评价,2019,41(3):36-43.
[10] 刘亚东,吴渊,王正军,等.基于卫星跟踪的遗鸥活动特征与空间利用研究[J].四川动物,2019,38(6):657-665.
[11] 向莹,韦安磊,宋进喜,等.红碱淖湿地生境因子与遗鸥种群变化的耦合关系[J].山东农业大学学报(自然科学版),2016,47(2):186-193.
[12] 王玉华,布仁图雅,孙静萍,等.遗鸥国家级自然保护区近十五年来生态环境变化特征[J].环境与发展,2017,29(1):78-83+87.
[13] 张荫荪,丁文宁,陈容伯,等.遗鸥(*Larus relictus*)繁殖生态研究[J].动物学报,1993,39(2):154-159.
[14] 孙承骞,冯宁,张哲邻.红碱淖遗鸥繁殖、食性及同类相食行为初探[J].野生动物杂志,2007,28(5):27-29.
[15] 鲁照阳,刘亚东,吴渊,等.张家口康巴诺尔国家湿地公园水鸟栖息地的保护与管理[J].湿地科学与管理,2019,15(1):15-18.
[16] 王学志,徐卫华,欧阳志云,等.生态位因子分析在大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)生境评价中的应用[J].生态学报,2008,28(2):821-828.
[17] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3): 231-259.
[18] PHILLIPS S J, DUDIK M. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation[J]. Ecography, 2008, 31(2): 161-175.
[19] MEROW C, SILANDERJR J A. A comparison of Maxlike and MaxEnt for modelling species distributions [J]. Methods in Ecology and Evolution, 2014, 5(3): 215-225.
[20] KAKY E, NOLAN V, ALATAWI A, et al. A comparison between ensemble and MaxEnt species distribution modelling approaches for conservation: a case study with Egyptian medicinal plants [J]. Ecological Informatics, 2020, 60: 101150.
[21] 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.
[22] NA X D, ZHOU H Y, ZANG S Y, et al. Maximum entropy modeling for habitat suitability assessment of Red-crowned crane[J]. Ecological Indicators, 2018, 91: 439-446.
[23] 颜文博,王琦,王超.应用MaxEnt模型分析秦巴地区朱鹮适宜繁殖地的分布[J].动物学杂志,2015,50(2):185-193.
[24] 孙雪莹,李祎斌,吴庆明,等.松嫩平原苍鹭秋季栖息地选择及适宜性分布[J].生态学报,2021,41(7):2877-2885.
[25] 吴渊,刘亚东,孙万兵,等.2016年张家口康巴诺尔国家湿地公园水鸟多样性[J].湿地科学,2017,15(2):237-243.
[26] 吴渊,张海,张有强,等.河北张家口康巴诺尔湖国家湿地公园遗鸥繁殖群新发现[J].动物学杂志,2016,51(4):668-670.
[27] 周海涛,那晓东,臧淑英,等.最大熵(MaxEnt)模型在物种栖息地研究中的应用[J].环境科学与管理,2016,41(3):149-151.
[28] ELITH J, PHILLIPS S J, HASTIE T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists[J]. Diversity and distributions, 2011, 17(1): 43-57.
[29] BALDWIN R A. Use of maximum entropy modeling in wildlife research[J]. Entropy, 2009, 11(4): 854-866.
[30] CAO Y, DEWALT R E, ROBINSON J L, et.al. Using MaxEnt to model the historic distributions of stonefly species in Illinois streams: the effects of regularization and threshold selections [J]. Ecological Modelling, 2013, 259(5): 30-39.
[31] 张巍,陈占仙,李奋荣,等.遗鸥分布区类型及生态环境特点分析[J].内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2017,46(5):708-712.
[32] 张丽芳,刘文盈,张秋良.内蒙古沙漠盐沼湿地底栖动物变化对遗鸥的生态影响[J].林业资源管理,2015(6):94-97.
[33] 谢祚浑,周一兵.中国北方盐碱水域中的底栖动物[J].大连水产学院学报,2002,17(3):176-186.
[34] 王琳.鄂尔多斯高原遗鸥种群繁殖对策及其保护研究[D].长春:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2018:42.
[35] 刘文盈.鄂尔多斯高原盐沼湿地遗鸥繁殖地保护研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009:80.
[36] 曹铭昌,孙孝平,乐志芳,等.基于MaxEnt模型的丹顶鹤越冬生境变化分析:以盐城保护区为例[J].生态与农村环境学报,2016,32(6):964-970.
[37] 杜博,吴渊,刘亚东,等.三门峡天鹅湖国家城市湿地公园大天鹅栖息地适宜性评价[J].首都师范大学学报(自然科学版),2020,41(3):45-51.

(责任编辑:李拓宇)