DOI: 10.5846/stxb201411022146
热木图拉·阿卜杜克热木,古再努尔·孜比比拉,许仲林,艾孜孜江·乃比,阿不都克依木·阿布力孜,迪力夏提·阿卜杜萨拉木,马合木提·哈力克.基于生态位模型的艾比湖鹅喉羚生境评价.生态学报,2016,36(13): - .
Rahmutulla Abdukerim, Guzalnur Zibibilla, Xu Zhonglin, Ezizjan Nabi, Abdulkeyum Abliz, Dilshat Abdusalam, Mahmut Halik. Assessment of habitat suitability for *Gazella subgutturosa* in the Ebinur Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(13): - .

基于生态位模型的艾比湖鹅喉羚生境评价

热木图拉·阿卜杜克热木[1],古再努尔·孜比比拉[1],许仲林[2],艾孜孜江·乃比[1],阿不都克依木·阿布力孜[2],迪力夏提·阿卜杜萨拉木[2],马合木提·哈力克[1,*]

1 新疆大学生命科学与技术学院/资源生物研究所,乌鲁木齐　830046

2 新疆大学资源与环境学院,乌鲁木齐　830046

摘要:明确物种生境空间分布格局及其与环境因素的关系,对了解该物种的生境需求和适宜生境空间分布至关重要。生境评价和预测是对物种进行有效保护的基础。本文以鹅喉羚(*Gazella subgutturosa*)为研究对象,以其重要栖息地新疆博州艾比湖国家级湿地自然保护区为研究区域,选取 115 个鹅喉羚分布点数据和 23 个环境变量因子,应用 MAXENT 模型分析其生境空间分布及主要影响因子,划分了鹅喉羚在研究区域的适宜生境,并对它的栖息地特征进行了分析。探讨了鹅猴羚生境选择与环境因子的关系。结果表明:气温日较差是影响鹅喉羚生境分布的主要环境因子。植被类型,坡度和最干月降水量对艾比湖鹅喉羚的生境选择影响不大。除了温度和降水在内的 19 项生物气候变量是鹅猴羚选择生境的重要因素之外,海拔和坡向等地形特征也影响鹅猴羚的生境选择性。鹅喉羚的高度适宜生境区主要分布在研究区域的北部和东部,中度及低度适宜生境区则分布于高度适宜生境区的边缘,而非适宜生境区主要集中在西部地区。本研究不仅给我们提供了鹅喉羚在艾比湖的实际分布状况及其栖息地特征,也为鹅喉羚在栖息地方面的研究,即鹅猴羚的栖息地选择和环境因子的关系方面提供了一个重要的依据。

关键词:鹅喉羚;生态位模型;生境评价;刀切法测定;适宜生境

Assessment of habitat suitability for *Gazella subgutturosa* in the Ebinur Reserve

Rahmutulla Abdukerim[1], Guzalnur Zibibilla[1], XU Zhonglin[2], Ezizjan Nabi[1], Abdulkeyum Abliz[2], Dilshat Abdusalam[2], Mahmut Halik[1,*]

1 *College of Life Science and Technology*, *Xinjiang University*, *Urumqi* 830046, *China*

2 *College of Resources and Environment Science*, *Xinjiang University*, *Urumqi* 830046, *China*

Abstract: Understanding the spatial distribution of a species' habitat and its relationship with environmental factors is crucial to determine the distribution of suitable habitat of a target species and its habitat requirements. Such habitat assessment and prediction form the basis for effective species protection. The maximum entropy (MAXENT) model can be used to predict the possible distribution range of a species in a target region according to data of geographic distribution and environmental factors. The Ebinur Lake National Wetland Nature Reserve in Xinjiang is the main habitat for *Gazella subgutturosa*. In order to clarify the spatial distribution of *G. subgutturosa* in this area and analyze its habitat features, a predictive habitat distribution map of this species was estimated using the MAXENT model with a total of 115 recorded points of known *G. subgutturosa* occurrence and 23 environmental factors; the environmental factors and habitat selection of *G. subgutturosa* were then analyzed. The results showed that the mean diurnal range is the main environmental factor

基金项目:国家自然科学基金项目(31060152, 31360266);新疆大学自治区重点学科——动物学科资助;中华人民共和国全球环境基金艾比湖流域可持续管理与生物多样性保护项目(zx-3-1)

收稿日期:2014-11-02;　　**网络出版日期**:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mahmuthalic@xju.edu.cn

influencing the distribution of *G. subgutturosa*, followed by maximum temperature of the warmest month, temperature seasonality, mean temperature of the warmest quarter, mean temperature of the coldest month, and annual mean temperature. Vegetation type, slope, and precipitation of the driest month had little effect on habitat distribution. The model constructed by MAXENT was highly reliable, as evaluated by the receiver operating characteristic curve. In addition to 19 bioclimatic variables (including temperature and precipitation), topographical features such as elevation and aspect also appear to affect the habitat selection of *G. subgutturosa*. The most suitable habitat for *G. subgutturosa* was mainly distributed in the northern and eastern parts of the study area, and habitats with moderate and low suitability were in the marginal areas of the most suitable habitats. On the other hand, the western part of the study area was determined to be an unsuitable habitat for *G. subgutturosa*. This study not only provides information on the actual distribution of *G. subgutturosa* habitat in the Ebinur Lake National Wetland Nature Reserve, but also provides important clues for future research about this species and its habitat.

Key Words: *Gazella subgutturosa*; niche model; habitat evaluation; jackknife test; suitable habitat

在世界现存的 3 百万至 1 亿个物种中,平均每年约有一千个灭绝,并且该速度还在提高[1]。国内外许多研究表明,生物生境的丧失和破碎化是导致物种灭绝和生物多样性下降的关键因素[2]。估计目前全世界哺乳动物中大概 25%的物种遇到灭绝危害,主要是因为栖息地丧失或破碎化[3]。在目前的物种分布的详细资料通常是任何物种生态系统恢复的一个先决条件[4]。因此,利用一些有效的方法来评价其栖息地,由此提供有效的保护措施是非常重要的。

近年来,国内外学者广泛利用各种模型来预测目标物种生境的空间分布,如回归模型[5],机理模型[6-7],生态位模型[8-11]。其中生态位模型只需要物种“出现点”的数据,并且即使在出现点数据较少的情况下,也具有较高的预测精度[9,12-13]。因而,生态位模型在评价物种栖息地的研究中发挥着重要作用并且发展迅速。

1 鹅喉羚研究概况

鹅猴羚(*Gazella subgutturosa*)作为典型的荒漠,半荒漠中型有蹄类动物,分布于阿拉伯半岛、伊朗、阿富汗和中亚,向东直到中国西北和蒙古境内的广大地区[14]。鹅喉羚成体体长 90—126 cm,体型矫健,四肢细,蹄狭尖。雄性体质量 22—40 kg、雌性 18—33 kg,奔跑时尾竖起。背部、四肢外侧、头颈部被毛黄棕色。腹部、四肢内侧、喉部、耳内侧及臀部被毛白色。从眶下腺到口角为黑褐色被毛,尾亦为黑褐色被毛[15]。虽然数量统计方面,国内外学者做了不少的研究,但对于鹅猴羚各亚种的种群数量还是缺乏统计数据[16]。据 IUCN 统计全世界范围内的鹅猴羚数量大概在 1.2×10^5—1.4×10^5 头左右。国家林业局中国重点陆生野生动物资源调查结果为 190,000 头[17]。鹅猴羚的主要栖息地是荒漠盆地和山地,它选择地势平滩、低坡位、水源距离较远、隐蔽度高、植被密度中、低和草本植物密度中、高的区域作为卧息地[18]。分布高度介于 600—3500 m 之间[19]。有关鹅猴羚的亚种分划方面国内外学者有不同的观点。在国外有些专家认为除分布于伊朗、阿富汗以及中亚部分地区的指明亚种外,尚有 5 个亚种[20];钱燕文[21]等认为塔里木盆地东部、甘肃、内蒙古的鹅猴羚可能属于蒙古亚种(*G. s hillieriana*),而准噶尔盆地的为准噶尔亚种(*G. s sairensis*),新疆南部的为叶尔羌亚种(*G. s yarkandenssis*)。国内学者一般认为中国分布有 4 个亚种[19]。还有一些人认为世界范围内的鹅猴羚应分为 4 个亚种[22]。因此,关于鹅喉羚亚种划分方面目前国内外学者仍存在争议。总而言之,对鹅喉羚种下分类的研究,仍缺乏较全面而系统的资料,有需要进一步深入研究。

近几十年来,由于栖息地的丧失、过度捕猎及偷猎,全球范围内鹅喉羚种群数量锐减[19,23]。我国于 1989 年将其列为国家二级保护动物,1994 年国际自然与自然资源保护联盟(IUCN)红色名录列为低危种,2006 年将其列为易危种,CMS(Convention on Migratory Species)将其列为附录Ⅱ物种[15]。

2　研究区域概况

艾比湖湿地国家级自然保护区位于我国西北部边陲,地处大西洋西风气流的主要通道——阿拉山口,整个湿地处于阿拉山口的风道区。海拔 189 m,是准噶尔盆地最低点。艾比湖湿地国家级自然保护区东西长 102.63 km,南北宽 72.3 km 四至界限:东以乌苏、精河县界线为界,北以博州塔城地界为界,南部则以 312 国道、北疆铁路、兵团农五师 82 团、90 团、91 团行政界线为界,西部则为博乐市和阿拉山口的荒漠林区,保护区内野生动物约 167 种(国家级保护动物 38 种,自治区级 18 种),其中鸟类 111 种,约 100 万只,是鸟类重要的栖息繁殖迁徙湿地。野生植物 385 种,其中,胡杨、艾比湖沙拐枣、艾比湖桦等国家重点保护植物 12 种。该保护区是中国内陆荒漠物种最为丰富的区域,植物种类占全国荒漠植物种类的 62%。保护区内有脊椎动物 160 多种,鸟类 100 多种,鱼类十种。其中国家级珍贵保护动物 38 种。2000 年 6 月,艾比湖湿地成为自治区级自然保护区,2007 年 4 月晋升为国家级自然保护区[24-25]。

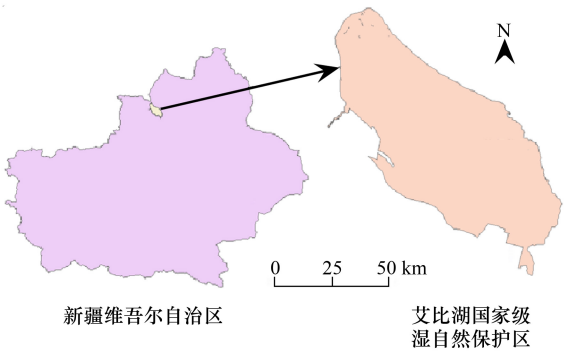

图 1　研究区域的地里位置

Fig.1　Location of the study Area

3　研究方法

3.1　模型的介绍

生态位模型是利用物种已知的分布数据和相关环境变量,根据一定的算法运算来构建模型,判断物种的生态需求,并将运算结果投射至不同的时间和空间中以预测物种的实际分布和潜在分布[26]。MAXENT 模型是目前比较常用的,预测进度较好的生态位模型[27]。MAXENT 模型是把研究区所有像元作为构成最大熵的可能分布空间,将已知物种分布点的像元作为样点,根据样点像元的环境变量如气候变量,海拔,土壤类型,植被类型得出约束条件,探寻此约束条件下的最大熵的可能分布(即探寻与物种分布点的环境变量特征相同的像元),据此来预测物种在研究区的生境分布[9]。该模型采用 Jackknife 检验对环境因子重要性进行分析并用 ROC(receiver operating characteristic)曲线(受试者工作特征曲线)下面积(area under curve, AUC)对 MAXENT 模型的精度进行评价。AUC 值越大,表示环境变量与预测物种地理分布模型之间相关性越大,越能将该物种有分布和无分布判别开,预测效果也就越好。评价标准为[28-29]: AUC 值为 0.50—0.60,失败(fail);0.60—0.70,较差(poor);0.70—0.80,一般(fair);0.80—0.90,好(good);0.90—1.0,非常好(excellent)。

3.2　数据来源与处理

3.2.1　鹅喉羚分布点数据

从 2013 年 9 月至 2014 年 5 月通过走访当地居民和向导对新疆博州艾比湖国家级湿地自然保护区开展四次野外巡护和监测,记录粪便、食迹、足迹、树穴等能够证明是鹅喉羚活动后留下的痕迹以及鹅喉羚活体,用 GPS 进行定位,共得到 115 个包含经纬度坐标的鹅喉羚活动痕迹点。

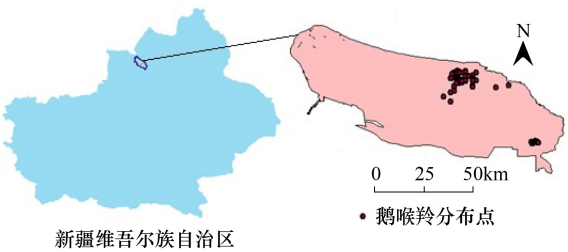

图 2　艾比湖鹅喉羚出现点分布图

Fig.2　Species occurrence data

3.2.2　环境数据

①气候因子:

从世界气象数据库(http://www.worldclim.org/)中下载全球 19 个生物气候因子的 1 km^2 分辨率的栅格文

件 1950 年至 2000 年的平均值,然后用 ArcGIS10.1 软件来提取艾比湖区域的气候变量作为模型预测的环境变量。

表 1 19 个生物气候变量

Table 1 Bio climatic variables

变量代号 Code of variables	变量名称 Names of variables
BIO1	年均温 Annual Mean Temperature
BIO2	气温日较差 Mean Diurnal Range ,Mean of monthly (max temp - min temp
BIO3	等温性 Isothermality P2/P7 * 100
BIO4	温度季节性变动率 Temperature Seasonality ,standard deviation * 100
BIO5	最热月最高温 Max Temperature of Warmest Month
BIO6	最冷月最低温 Min Temperature of Coldest Month
BIO7	年温度变化范围 temperature Annual Range (P5-P6
BIO8	最湿季平均温度 Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9	最干季平均温度 Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10	最热季平均温度 Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11	最冷季平均温度 Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12	年降雨量 Annual Precipitation
BIO13	最湿月降水量 Precipitation of Wettest Month
BIO14	最干月降水量 Precipitation of Driest Month
BIO15	降雨量季节性变化 Precipitation of Seasonality,Coefficient of Variation
BIO16	最湿季降水量 Precipitation of Wettest Quarter
BIO17	最干季降水量 Precipitation of Driest Quarter
BIO18	最热季降水量 Precipitation of Warmest Quarter
BIO19	最冷季降水量 Precipitation of Coldest Quarter

②植被数据:

我们先从谷歌剪切器下载艾比湖地区的地形图,然后通过目视解译法作出植被分布图,我们把艾比湖区域的植被类型分为草地,泡泡刺,干涸湖底湖泊,宜林地,沙漠,枸杞,梭梭林,柽柳,胡杨林,柳树,芦苇,等 12 类。

③地形银子

利用 ArcGIS10.1 软件,从新疆的 DEM 图里面分别提取艾比湖的坡度(slop)、坡向(aspect)和海拔数据。

3.3 MAXENT 模型预测方法

3.3.1 MAXENT 模型数据的准备

物种分布点数据:将物种分布点数据在 Excel 中保存为 MAXENT 软件可以识别的以逗号分隔的 csv 数据格式,字段包括物种名称、经度和纬度。

环境变量数据:将所有环境变量数据在 ArcGIS10.1 软件下转换为 ASCII 格式,并且按照 MAXENT 软件要求,所有环境变量数据的边界范围和栅格大小一致。

3.3.2 影响鹅喉羚潜在分布关键环境变量的筛选

MAXENT 模型预测中必须用到的数据有两个,分别是物种空间分布点数据和环境变量数据,其中物种分布点数据是必不可少的,而环境变量数据因为有多个变

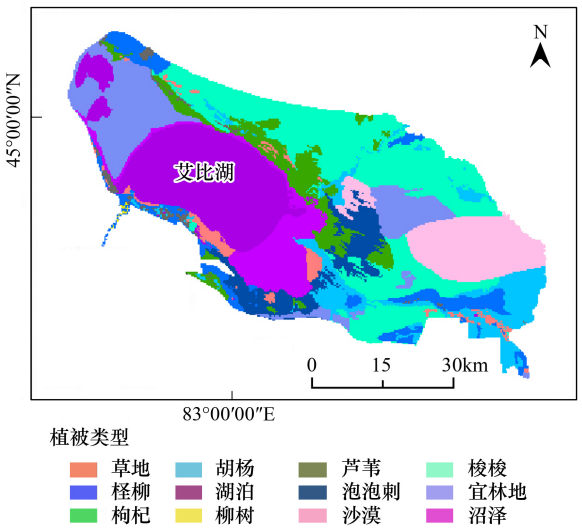

图 3 研究区域的植被分布图

Fig.3 Vegetation distribution map of the study area

量,并不是每个变量对物种潜在分布预测都是必需的,因此需要剔除掉一些对 MAXENT 模型预测结果贡献较小的环境变量,只留下对模型预测结果贡献较大的关键限制因子,以提高模型的预测精度。在 MAXENT 模型中软件本身提供了实现这一步骤的模块,即刀切法(Jackknife 检验)测定变量的重要性,通过比较每个环境变量对模型结果的影响程度来来剔除影响较小的变量。

3.3.3　鹅喉羚生境模型构建

将鹅喉羚分布点数据和环境变量数据导入 MAXENT3.3 中,随机选取 75%的鹅喉羚分布点数据用于建立模型,剩下 25%的鹅喉羚分布点用于模型验证,其他参数为模型默认值,输出结果为值在 0.00001—100 之间的连续栅格数据。

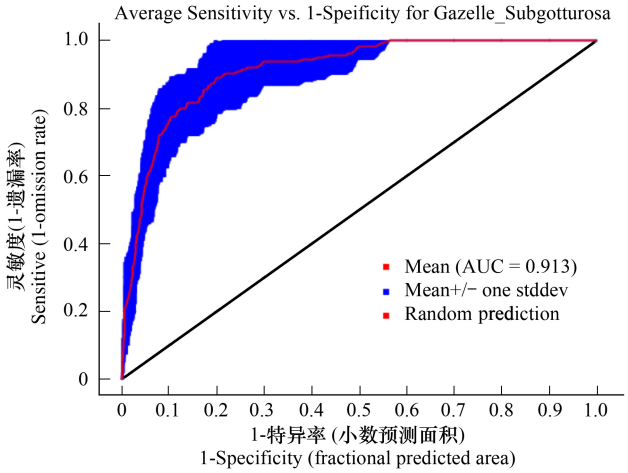

图 4　MAXENT 模型的 ROC 曲线及 AUC 面积

Fig.4　ROC Curve and AUC values of the MAXENT model

4　研究结果

4.1　鹅喉羚生境与环境因子的关系

4.1.1　ROC 曲线和 AUC 面积

AUC 值为 0.913,表明 MAXENT 模型预测结果好。

4.1.2　Jackknife 检验结果

由图 5 刀切法测定环境变量的重要性中可以看出,植被类型(vegetation)、坡度(slop)和最干月降水量(Precipitation of Driest Month,bio14)对其分布影响最小,因此,在选择最优秀 MAXENT 预测模型时剔除这两个影响最小的因子来构建最优秀模型进行预测。

从图中可以看出气温日较差(Mean Diurnal Range, bio2)对艾比湖鹅猴羚分布影响最大,其次是最热月最高温(Max Temperature of Warmest Month, bio5)、温度季节性变动率(Temperature Seasonality, bio4)、最热季平均温度(Mean Temperature of Warmest Quarter, bio10)、最冷月最低温(Mean Temperature of Coldest Month, bio6)和年均温(Annual Mean Temperature, bio1)。

4.1.3　环境变量对模型预测的影响

图 6 列出了全部环境变量的反馈曲线,显示了每个环境变量对模型预测的影响。从图中可以看到,除了坡度(slop)和植被类型(vegetation)的变化对 MAXENT 模型预测的结果不明显,而其他变量的变化对模型预测的结果有一定的影响。

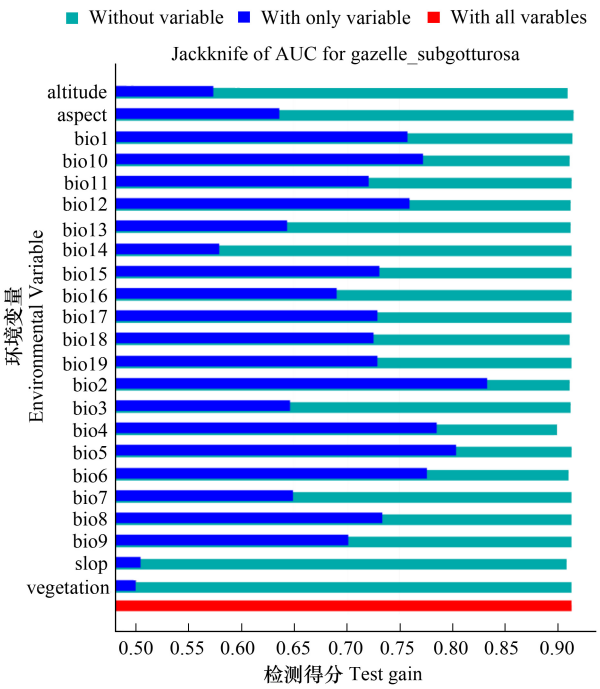

图 5　MAXENT 模型刀切法测定的各环境变量的重要性

Fig.5　MAXENT Jackknife measuring of environmental variable importance

4.2　艾比湖鹅喉羚生境适宜性与评价

表 2 给出了 MAXENT 模型潜在分布区适宜性等级划分。MAXENT 模型运行结果计算了每个栅格单元中物种可能出现的概率,即 $P(0\leqslant P\leqslant 1)$,概率值越小,这就说明该物种在这个栅格中单元出现的几率越小,相反,概率值越大,则物种在该栅格单元中出现的几率越大。本研究是利用物种出现的概率大小来评价物种分布的适宜性,将计算结果分为 4 类:$0\leqslant P\leqslant 0.05$ 为非适宜区,$0.05<P\leqslant 0.2$ 为低适宜区,$0.2<P\leqslant 0.5$ 为次适宜

区,0.5<P≤1 为高适宜区。

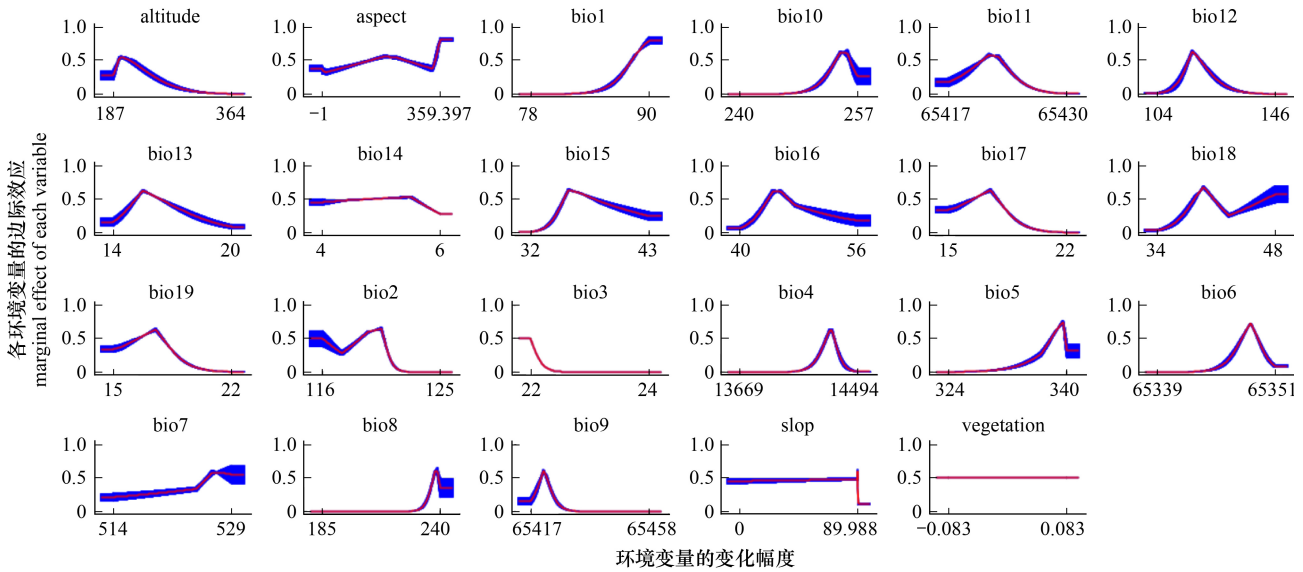

图 6 MAXENT 模型中研究物种对各环境变量的响应曲线反馈曲线

Fig.6 Response curves of environmental varibles in MAXENT models

表 2 MAXENT 模型潜在分布区适宜性等级划分

Table 2 Classes of potential distribution suitability for MAXENT model

适宜等级 Suitable level	P	适宜等级 Suitable level	P
不适宜 Unsuitable	0—0.05	次适宜 Medium suitable	0.2—0.5
低适宜 Low suitable	0.05—0.2	高适宜 High suitable	0.5—1

我们把艾比湖鹅喉羚的生境分成四个不同的级别(图 7),从图中我们可以看到鹅喉羚在艾比湖的高适宜生境区主要在研究区域的北部和东部区域,中适宜区和地适宜区主要分布于高适生区范围的边缘,非适宜区主要集中在研究区域的西部地区。

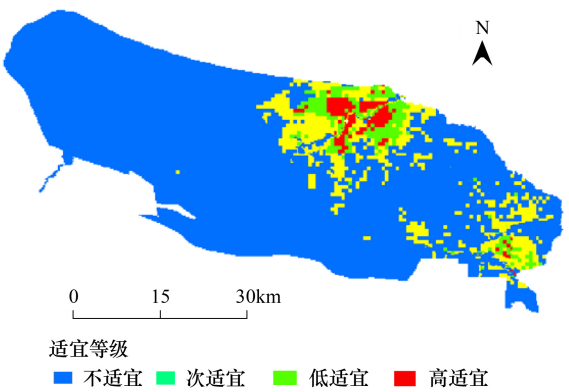

图 7 MAXENT 模型得到的鹅喉羚在艾比湖适生区分布范围

Fig.7 Potential distribution of Gazella subgutturosa predicted by MAXENT model

5 讨论

物种—环境关系是生态学以及宏观生物学研究中非常重要的一个内容,是研究物种生境需求和空间分布的重要方面。本研究基于 Maxent 生态位模型,结合 ArcGIS,以气候因子、海拔、坡度、坡向和植被类型作为环境变量因子,与分布点数据结合对新疆博州艾比湖国家级湿地自然保护区里面的一个代表性动物鹅喉羚的栖息地进行评价,找出了它在研究区域里面的适宜生境分布区和不适宜生境分布区。结果显示,鹅喉羚主要分布在研究区的北部和东(Mean Diurnal Range,bio2)、最热月最高温(Max Temperature of Warmest Month,bio5)、温度季节性变动率(Temperature Seasonality,bio4)、最热季平均温度(Mean Temperature of Warmest Quarter,bio10)、最冷月最低温(Mean Temperature of Coldest Month,bio6)和年均温(Annual Mean Temperature,bio1)是主要的气候因子外,海拔和坡向等地形因子也是在鹅猴羚生境中起着重要的作用。但是植被类型对艾比湖鹅猴羚的生境选择没有太大的影响,主要原因是虽然我们把植被分为不同的几个类型,但是艾比湖国

家级湿地自然保护区里面大部分地区的植被类型是混交林,同一区域范围会有各种植被共存,这是导致植被类型对艾比湖鹅猴羚生境选择没有明显的影响。

此外,根据以前的研究所知水源也是鹅猴羚生境选择的因素,而我们在研究过程中没有加上水源因素,是因为艾比湖国家级湿地自然保护区大部分区域总体上类似,以前的水源都不存在了,即艾比湖里面不同的区域离水源距离没有明显的差异,而且初红军等[18](2009)采用样方法对分布于卡拉麦里山有蹄类自然保护区内的鹅喉羚种群的生境选择进行研究。结果发现:鹅猴羚主要选择离、水源、道路距离较远的区域作为栖息地,所以以艾比湖的实际情况出发我们没有考虑了水源因素。这是对艾比湖鹅喉羚在栖息地研究方面提供了一个重要的线索。

我们在本研究中所用的气候数据是从世界气象数据库下载的,分辨率是 1 km^2,而我们的研究区域艾比湖的面积较小,这是引起我们的结果图有点模糊。

致谢:我首先要真心感谢我的研究生导师马合木提·哈力克教授,从选题开始、样品的采集、研究内容的设计、数据分析及讨论、每一个阶段都有恩师的心血与睿智。同时对艾比湖国家级自然保护区里面的工作人员在采样过程中给我们给予的帮助表示衷心的感谢!

参考文献(References):

[1] V H Heywood. Global Biodiversity Assessment. Cambridge, New York, USA: Cambridge University Press, 1995.

[2] Jonathan E M Baillie, Janine Griffiths, Sam T Turvey, Jonathan Loh, Ben Collen. Evolution Lost: Status and Trends of the World's Vertebrates. London: Zoological Society of London, 2010.

[3] Lenore Fahrig. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2003, 34: 487-515.

[4] Yang X Q, S P S Kushwaha, S Saran, Xu J C, P S Roy. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. Ecological Engineering, 2013, 51: 83-87.

[5] Stephanie Schadt, Eloy Revilla, Throsten Wiegand, Felix Knauer, Peter Kaczensky, Urs Breitenmoser, Luděk Bufka, Jaroslav Červený, Petr Koubek, Thomas Huber, Cvetko Staniša, Ludwig Trepl. Assessing the suitability of central European landscapes for the reintroduction of Eurasian lynx. Journal of Applied Ecology, 2002, 39(2): 189-203.

[6] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.

[7] 徐卫华, 欧阳志云, 蒋泽银, 郑华, 刘建国. 大相岭山系大熊猫生境评价与保护对策研究. 生物多样性, 2006, 14(3): 223-231.

[8] Lluís Brotons, Wilfried Thuiller, Miguel B Araújo, Alexandre H Hirzel. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. Ecography, 2004, 27(4): 437-448.

[9] Steven J Phillips, Robert P Anderson, Robert E Schapire. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.

[10] 王学志, 徐卫华, 欧阳志云, 刘建国, 肖燚, 陈佑平, 赵联军, 黄俊忠. 生态位因子分析在大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)生境评价中的应用. 生态学报, 2008, 28(2): 821-828.

[11] 徐卫华, 罗翀. MAXENT 模型在秦岭川金丝猴生境评价中的应用. 森林工程, 2010, 26(2): 1-4.

[12] Pilar A Hernandez, Catherine H Graham, Lawrence L Master, Deborah L Albert. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. Ecography, 2006, 29(5): 773-785.

[13] Richard G Pearson, Christopher J Raxworthy, Miguel Nakamura, A Townsend Peterson. Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. Journal of Biogeography, 2007, 34(1): 102-117.

[14] Kingswood S C, Blank D A. Gazella subgutturosa. Mammalian Species, 1996, 518: 1-10.

[15] 汪松. 中国濒危动物红皮书: 兽类. 北京: 科学出版社, 1998.

[16] 徐文轩, 乔建芳, 刘伟, 杨维康. 鹅猴羚生态生物学研究现状. 生态学杂志, 2008, 27(2): 257-262.

[17] 马福, 张建龙. 中国重点陆生野生动物资源调查. 北京: 中国林业出版社, 2009.

[18] 初红军, 蒋志刚, 蒋峰, 葛炎, 陶永善, 李斌. 鹅喉羚夏季和冬季卧息地选择. 动物学研究, 2009, 30(3): 311-318.

[19] 高行宜, 许可芬, 姚军, 贾泽信. 新疆鹅猴羚的种群结构. 兽类学报, 1996, 16(1): 14-18.

[20] John Reeves Ellerman, T S C Morrison-Scott. Checklist of Palaearctic and Indian Mammals 1758 to 1946. London: British Museum (Natural History), 1951.

[21] 钱燕文, 张洁, 郑宝赉. 新疆南部的鸟兽. 北京: 科学出版社, 1965.

[22] Groves C P. On the smaller gazelles of the genus *Gazella* de Blinville, 1916. Zeitschrift fur Saugetierkunde, 1969, 34: 38-60.

[23] 许可芬, 任志刚, 高行宜. 卡拉麦里山保护区的蒙古野驴, 鹅喉羚资源及生存现状. 干旱区研究, 1997, 14(增刊): 17-22.

[24] 弥艳. 基于 3S 技术的艾比湖流域农业非点源污染对水环境的影响研究[D].乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.

[25] 孔琼英. 艾比湖流域植被研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2008.

[26] 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 高玉葆. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. 生物多样性, 2013, 21(1): 90-98.

[27] 齐增湘, 徐卫华, 熊兴耀, 欧阳志云, 郑华, 甘德欣. 基于 MAXENT 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价. 生物多样性, 2011, 19(3): 343-352.

[28] J A Swets. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 1998, 240(4857): 1285-1293.

[29] Miguel B Araújo, Richaed G Pearson, Wilfried Thuiller, Markus Erhard. Validation of species-climate impact models under climate change. Global Change Biology, 2005, 11(9): 1504-1513.