DOI: 10.5846/stxb202111143192

丁彦珂,姚志诚,赵唱,张致荣,陈俊达,滕丽微,刘振生.贺兰山马麝(*Moschus chrysogaster*)生境适宜性评价.生态学报,2023,43(8):3150-3156.
Ding Y K, Yao Z C, Zhao C, Zhang Z R, Chen J D, Teng L W, Liu Z S.Habitat suitability assessment of *Moschus chrysogaster* in Helan Mountain.Acta Ecologica Sinica,2023,43(8):3150-3156.

贺兰山马麝(*Moschus chrysogaster*)生境适宜性评价

丁彦珂[1],姚志诚[2],赵 唱[3],张致荣[1],陈俊达[1],滕丽微[1,4],刘振生[1,4,*]

1 东北林业大学野生动物与自然保护地学院,哈尔滨 150040

2 淄博市林业保护发展中心,淄博 255020

3 华东理工大学人事处,上海 200237

4 国家林业和草原局野生动物保护学重点开放实验室,哈尔滨 150040

摘要:马麝(*Moschus chrysogaster*)是我国特有种,在贺兰山分布数量不足百头,对贺兰山马麝进行生境适宜性评价是保护和恢复贺兰山马麝种群的前提和依据。2014—2016 年通过样线法对贺兰山马麝的野外分布情况进行调查,确定了 750 个马麝出现位点,结合 13 个环境因子变量,利用最大熵(MAXENT)模型,并根据最大约登指数划分贺兰山马麝适宜生境及不适宜生境的分布区,对贺兰山地区马麝的生境适宜性进行评价。研究结果表明:在众多影响贺兰山马麝分布的环境因子中,针叶林、距水源距离、距护林点距离、海拔高度、距矿区距离和距道路距离六种环境因子影响较大;贺兰山地区适宜马麝分布的生境面积极小,仅占贺兰山地区总面积的 3.27%,面积为 120.24 km^2,而不适宜生境面积为 3 555.72 km^2。利用受试者工作特征性曲线对模型进行检测,结果表明预测水平达到优秀,可以为马麝保护工作提供参考。为保护和恢复马麝种群,建议管理部门加强管理力度,严格控制人为干扰,识别和建立马麝各适宜生境之间的生态廊道,加强对零散分布的潜在适宜生境区域的利用。

关键词:贺兰山;马麝(*Moschus chrysogaster*);最大熵模型;生境适宜性评价

Habitat suitability assessment of *Moschus chrysogaster* in Helan Mountain

DING Yanke[1], YAO Zhicheng[2], ZHAO Chang[3], ZHANG Zhirong[1], CHEN Junda[1], TENG Liwei[1,4], LIU Zhensheng[1,4,*]

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

2 *Center of Zibo Forestry Protection and Development, Zibo* 255020, *China*

3 *Department of Human Resources, East China University of Science and Technology, Shanghai* 200237, *China*

4 *Key Laboratory of Conservation Biology, National Forestry and Grassland Administration, Harbin* 150040, *China*

Abstract: *Moschus chrysogaster* is endemic to China, and now its number is less than one hundred in Helan Mountain. Habitat suitability assessment of *Moschus chrysogaster* in Helan Mountain is the premise and basis for protecting and restoring the population of *Moschus chrysogaster* in Helan Mountain. 750 occurrence points of *Moschus chrysogaster* were confirmed by using the line transect method. Combining 13 kinds of environmental factors, the MAXENT model was used to determine the main factors affecting the distribution of *Moschus chrysogaster*, and to assess its potentially suitable habitat in Helan Mountain. The distribution map of suitable habitat and unsuitable habitat of *Moschus chrysogaster* could be obtained according to the Jorden index. The results showed that the coniferous forest, the distance from water source, the distance from forest ridge, altitude, the distance from mining area and the distance from road were the most important environmental factors affecting the suitable habitat distribution of *Moschus chrysogaster*. The suitable habitat of *Moschus chrysogaster* was mainly distributed in the central part of Helan Mountain. The suitable habitat area covered 120.24 km^2, which accounted for 3.27% of the total area, and the unsuitable habitat area was 3555.72 km^2. The results showed that the AUC (the area under the receiver operating characteristic curve) value was 0.992, suggesting perfectly predictive effect of the model. It is

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31870512, 32071649);宁夏回族自治区重点研发计划资助项目(2020BEG02001);宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局资助项目(NLF2020-93-1,2020BEG02001-1)

收稿日期:2021-11-14; **网络出版日期**:2022-12-22

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhenshengliu@163.com

suggested that the management organizations should strictly control the human disturbance, identify and establish ecological corridors between suitable habitats, and attach the importance to the use of scattered potentially suitable habitat of *Moschus chrysogaster* to ensure the development of this population.

Key Words: Helan Mountain; *Moschus chrysogaster*; MAXENT; habitat suitability assessment

生境是动物种群、群落赖以生存的重要空间[1],为野生动物提供了生存、繁衍和种群发展所必须的资源,如水、食物和隐蔽条件等[2]。野生动物为了满足自身生存、繁衍,需要对不同生境做出不同反应从而达到最适宜其种群发展的过程称之为生境选择[3]。生境适宜性是指某生境能支持某特定物种生存和繁衍的潜在能力[4],生境适宜性评价以野生动物栖息地为基础,对影响动物生存和繁衍的环境因子进行分析与评价,可以明确研究范围内适宜野生动物生存的生境范围[5]。对野生动物的生境适宜性进行研究评价能够为相关部门制定野生动物保护措施提供科学指导。

马麝(*Moschus chrysogaster*)属偶蹄目麝科麝属,是我国特有种,仅在青藏高原及邻近省份分布,被列为我国Ⅰ级重点保护野生动物[6—7]。马麝通常在 1700—4500 m 的海拔范围内活动,最高可达海拔 5000 m 左右;栖息地植被类型选择多样,山地疏林草原、山地混交林、山地针叶林、亚高山灌丛和草甸都发现过马麝的活动痕迹[8]。马麝食性较广,灌木植物、草本植物、苔藓植物等均在其取食之列[9]。其性情胆怯,多独栖,几乎没有自卫能力,只能通过逃跑来躲避天敌的捕杀。

生境适宜性评价的模型分为回归模型、机理模型和生态位模型[10]。生态位模型与前两者相比特点突出,即误差更小,稳定性更高,准确性更高,可信度更强,只需要收集目标物种的野外出现点坐标,即可通过最大熵模型(MAXENT)计算得到预测结果,因此,近年来已广泛应用于野生动物的生境分布预测中[11—13],单在偶蹄目动物中,就有不少学者进行过研究[14,15]。李宏群等利用 MAXENT 模型对陕西黄龙山原麝(*Moschus moschiferus*)的潜在分布区进行研究,确定了黄龙山区域原麝的潜在分布范围和关键影响因子,并为原麝的管理和保护提供了合理的建议[16];牛莹莹等利用 MAXENT 模型对老爷岭南部野生东北梅花鹿(*Cervus Nippon hortulorum*)的生境适宜性进行评价,确定了适宜梅花鹿生活的环境及范围,对该地区野生东北梅花鹿的保护和恢复具有重要意义[17];李龙等基于 MAXENT 模型对甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区北山羊(Asiatic ibex(*Capra sibirica*))的生境进行评估,明确了该地区北山羊的分布格局,并阐释了气候变化和人类活动对北山羊的影响,为该地区北山羊的管理和保护提供了科学依据[18]。

贺兰山因其独特的地形条件曾是马麝的重要分布地之一,但由于麝香高昂的经济价值和药用价值使得偷猎盗猎行为不断,再加上过去矿山的开采和道路的修建使得森林被破坏,从而导致马麝生境严重压缩和破碎化[19—20],除此之外同域分布的有蹄类食草动物如岩羊(*Pseudois nayaur*)、马鹿(*Cervus elaphus*)等与其形成种间竞争,挤占了它的生存空间[21],导致马麝的数量日益减少,相关资料显示,1958 年贺兰山地区马麝数量约在 10 000 头左右,而根据 1995 年调查显示,贺兰山地区马麝数量已不足 100 头[22]。本文利用生态位模型对贺兰山地区马麝的生境进行研究,明确马麝在此区域内适宜生境的空间分布格局并估测其面积,分析分布区与主要环境因子之间的关系,绘制该区域内马麝的生境适宜性分布等级图,并据此为贺兰山地区马麝的保护工作提供科学建议。

1　研究地区概况

贺兰山位于我国内陆西北部,地处银川平原与阿拉善高原之间,属阴山山系,以其山脊为界,东坡属宁夏回族自治区,西坡属内蒙古自治区阿拉善盟[23]。贺兰山整体山势呈东北—西南走向,南北长约 250 km,东西宽 20—40 km,保护区总面积达 3675.96 km^2(图 1),地理坐标为东经 105°44′—106°42′,北纬 38°21′—9°22′,海拔 2000—3000 m[24]。贺兰山地区是典型的大陆性季风气候[25],夏短冬长;地质历史悠久,地理位置独特,在自然和社会因素的综合作用下,孕育了丰富的野生动植物资源[21],且植被垂直分布特征明显,大致可分为

以下四种类型:分布在海拔 2800—3500 m 之间的高山-亚高山灌丛、分布在海拔 1800—3000 m 之间的山地森林、分布在海拔 1800—2700 m 之间的山地灌丛和分布在2000 m左右平缓坡地的山地草原[26]。

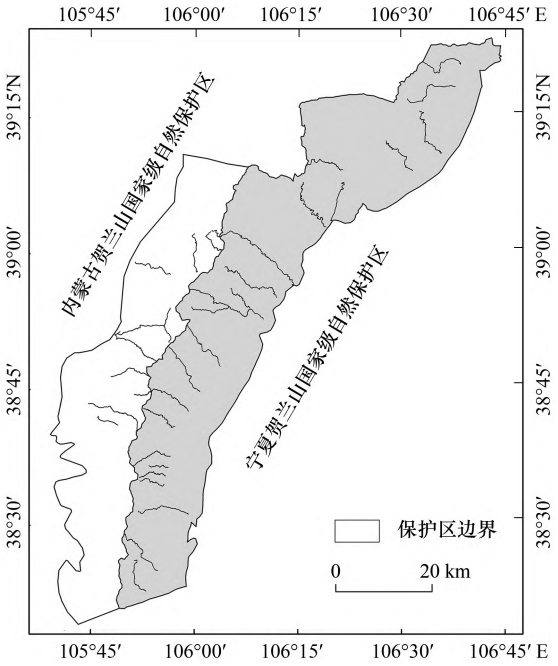

图 1 贺兰山研究区域示意图

Fig.1 Study area in Helan Mountain Nature Reserve

2 研究方法

2.1 贺兰山马麝出现点信息收集与处理

自 2014 至 2016 年期间,分四个季节对贺兰山马麝进行样线调查,其中季节划分如下:春季 4 月—5 月;夏季 6 月—8 月;秋季 9 月—10 月;冬季 11 月—次年 3 月[8]。根据马麝的生境喜好,结合贺兰山预调查实际情况,在贺兰山各沟系中选择马麝活动痕迹较多沟系,对马麝的分布情况进行野外实地调查并记录。沟系的选取原则为包含不同的海拔高度,覆盖马麝栖息在贺兰山的全部生境类型,以确保马麝分布位点数据的准确性、真实性和可靠性。在选中的 12 条沟系中(冰沟头道沟、二道沟、下八段,雪岭子头道沟、二道沟,哈拉乌头道沟、三道沟火烧坡沟,边渠子沟、大关沟、青树湾火烧坡沟、大青树湾沟、小青树湾沟)共设置样线 22 条,架设红外相机 55 台,样线长度 2.5—5.5 km 不等,平均长度为 4.36(±0.93)km,总长 87.5 km。由于贺兰山马麝种群数量稀少,生性警觉不易被发现[27],而其分布比较集中,有固定的卧息地和粪场,从而使得马麝在食源选择方面具有明显的地缘特征[8]。因此在调查中,利用全球定位系统(GPS)记录马麝的出现点(实体、粪便、足迹、卧迹)经纬度信息。经过两年野外实地调查,共获得马麝出现点 750 个(实体 202 个、粪便 327 个、足迹 143 个、卧迹 78 个),将所有位点信息转换成.csv 格式导入 MAXENT 3.3 软件。

2.2 贺兰山环境变量数据的收集与处理

贺兰山的环境变量数据分为 3 种:地形因子数据、植被因子数据和其他数据[8]。地形因子数据包括海拔高度、坡度和坡向 3 种因子,通过将贺兰山区域的数字高程模型图(DEM)导入 ArcGIS 中得到,DEM 图则是通过国际科学数据服务平台网站(http://datamirror.csdb.cn)下载得到;植被因子数据包括针叶林、阔叶林、灌丛、草地、荒漠以及高山草甸 6 种类型,通过利用 ERDAS 软件下载贺兰山地区 2017 年遥感影像数据(由贺兰山管理局提供)获得;其他数据包括距矿区距离、距护林点距离、距道路距离以及距水源距离 4 种数据,从贺兰山地区的矢量电子地图(1:50000,由贺兰山管理局提供)中提取计算得到,具体方法为在 ArcGIS 10.5 中导入贺兰山地区矢量化地图,采用鼠标屏幕跟踪的方式对 4 种数据信息进行数字化处理,再运用分析工具分别提取即可得到[28]。

2.3 模拟方法与模型检验

将贺兰山马麝出现点数据和环境变量数据导入 MAXENT 3.3 软件中,随机抽取 75%的马麝出现点用来建立模型,其余 25%的数据用来检验模型是否准确,以逻辑斯蒂格式输出所得结果[11]。曲线下面积(AUC)值指受试者工作特征曲线(ROC 曲线)与横坐标围成的面积,模型的预测结果利用 AUC 值进行检验[29],其中 AUC 值越大,代表环境因子变量与模型相关性越大,预测的效果越好,可信度越高。AUC 值的范围在 0—1 之间,取值范围在 0.5 以上才具有意义。一般 AUC 值的等级标准划分规则为:0.9—1.0 为优秀,0.8—0.9 为良好,0.7—0.8 为一般,0.6—0.7 为较差,0.5—0.6 为不合格。利用 MAXENT 得到的模型分析各环境因子对马麝分布的影响并采用刀切法验证结果,从而明确本研究所选择的 13 种生境因子对马麝分布的影响程度[30]。

2.4　贺兰山马麝适宜生境评定

将模型输出的结果导入至 ArcGIS 10.5 中分析,依据最大约登指数找到最佳切断点,对 MAXENT 模型得到的马麝出现概率图进行重新定义,指数取值范围为 0—1,指数值越大代表预测效果越好,马麝的存在概率越高,表示马麝越适宜在此生境生存,由此可将切断点至 1 的区域定义为生境适宜,0 至切断点的区域定义为不适宜生境,从而得到马麝的生境适宜性分布等级图。

3　研究结果

3.1　MAXENT 模型预测效果检测

ROC 曲线结果表明:训练集 AUC 曲线值为 0.992,验证集 AUC 曲线值为 0.985,均在 0.9—1.0 范围内,说明 MAXENT 模型预测结果优秀,可用于评价贺兰山马麝的生境适宜性(图 2)。

3.2　环境因子对贺兰山马麝分布的影响

各环境变量对模型贡献值表明:对马麝分布影响较大的环境因子有六种:针叶林(35.5%)、距水源距离(15.6%)、距护林点距离(14.6%)、海拔高度(13.2%)、距矿区距离(9.4%)和距道路距离(5.9%),6 个环境变量的贡献率共计 94.2%;坡向(2.4%)、草地(1.8%)、阔叶林(0.7%)、灌丛(0.4%)、坡度(0.3%)影响次之,高山草甸(0.1%)和荒漠(0%)两个环境因子变量的贡献率最小。再运用刀切法对模型各环境因子的重要性大小进行检验,得出了相似的重要性排序(图 3)。

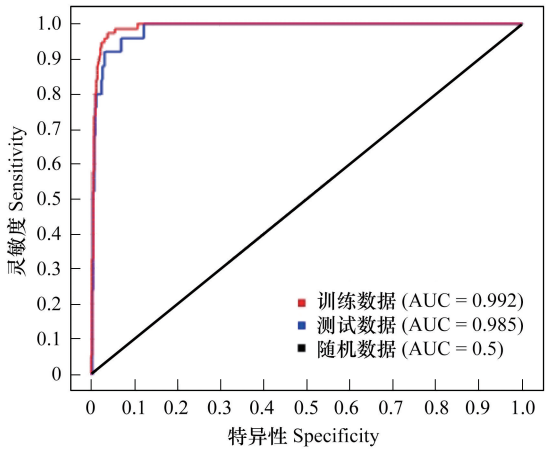

图 2　贺兰山马麝生境评价结果 ROC 曲线检测图

Fig.2　ROC curve verification of *Moschus chrysogaster* in Helan Moutain

ROC:受试者工作特征曲线 receiver operating characteristic curve;
AUC:曲线下面积 area under curve

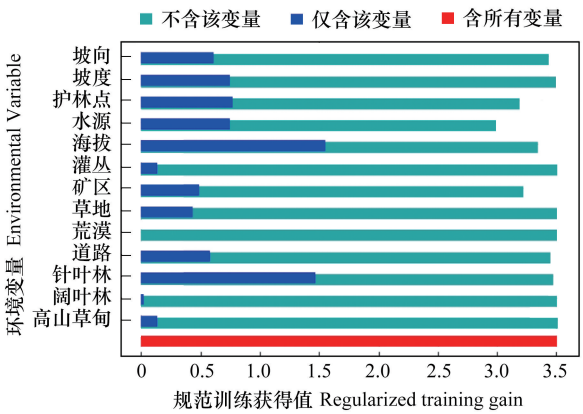

图 3　刀切检验环境变量重要性的结果

Fig. 3　Results of the Jackknife test of environmental variable importance

通过利用 MAXENT 模型得出的主要环境因子对贺兰山马麝分布的影响曲线(图 4)可以看出,马麝的生境适宜性与距护林点距离和坡大体呈正相关,说明马麝适宜生境主要分布在坡度陡峭且远离人为干扰的区域;生境适宜度指数与距水源距离说明马麝的适宜生境分布在水源附近,距水源距离 800 m 时最适宜马麝生存;生境适宜度指数与海拔大体呈正态分布,海拔 2800 m 左右最适宜马麝生存,在 1400—2800 m 海拔范围内,生境适宜性随海拔升高而增大,海拔高于 2800 m 的生境,其适宜性随海拔的升高而降低。

3.3　贺兰山马麝生境适宜性分布

将马麝相关数据输入 MAXENT 3.3 软件进行分析运算,得到贺兰山马麝生境质量等级分布图,即分布预测概率图(图 5)。由图可知,贺兰山地区马麝的适宜生境面积极少,主要分布在贺兰山中心地带,大部分地区生境质量等级较低,不适宜马麝生存。

根据约登指数算法“灵敏度+特异度-1”,选取 MAXENT 模型运算结果中约登指数最大值时的概率切断

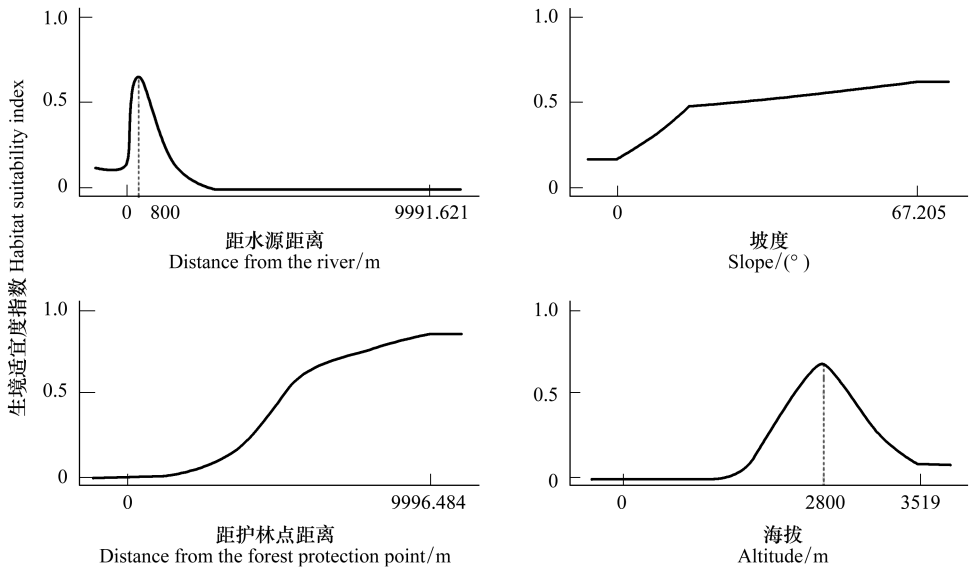

图 4 主要环境因子对马麝分布影响曲线图

Fig.4 The curve of main environmental factors effect the distribution of *Moschus chrysogaster*

点 0.081[28],将马麝的分布预测概率图(图 5)划分为适宜(0.081—1)和不适宜(0—0.081)两个等级,从而得到贺兰山地区马麝生境适宜性分布等级图(图 6)。适宜生境总面积为 120.24 km^2,约占贺兰山总面积的 3.27%,不适宜生境面积为 3 555.72 km^2,约占总面积的 96.73%。

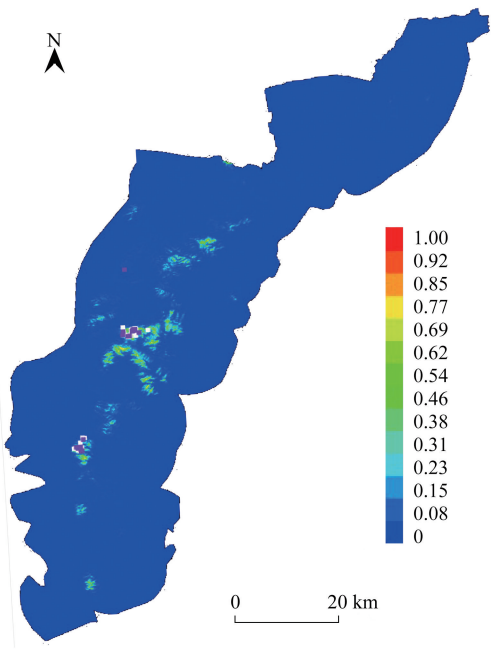

图 5 贺兰山马麝生境质量等级分布图

Fig. 5 Habitat quality class distribution map of *Moschus chrysogaster* in Helan Moutain

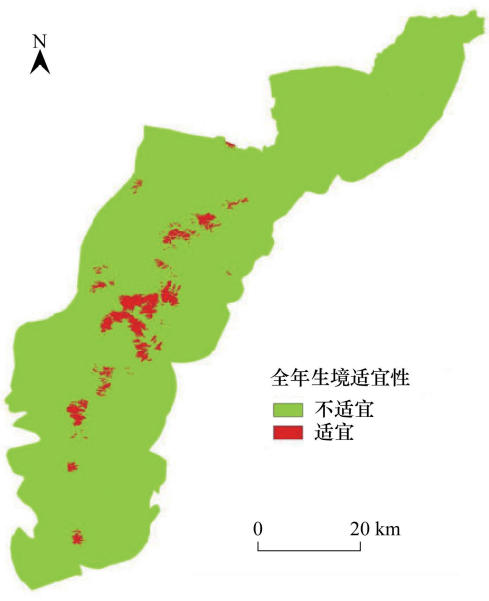

图 6 贺兰山马麝生境适宜性分布等级图

Fig. 6 The class distribution of habitat suitability of *Moschus chrysogaster* in Helan Moutain

4 讨论

构建 MAXENT 模型预测物种潜在分布时,通常会选择地形、植被和气候三大生境因子来开展研究[31—33]。

考虑到在整个贺兰山地区没有显著的气候差异,而人类活动的频繁影响对贺兰山马麝影响较大[8],故本研究未将气候因子作为变量纳入研究范围,而是用人为干扰因子替代,预测结果更加准确。

在贺兰山国家级自然保护区的自然环境中,影响马麝适宜生境分布的主要环境因子主要包括针叶林(35.5%)、距水源距离(15.6%)、海拔高度(13.2%)三种自然环境因子和距护林点距离(14.6%)、距矿区距离(9.4%)、距道路距离(5.9%)三种人为干扰因子。可以看出,针叶林是马麝适宜生境类型中的主要植被类型,其不仅可以从中获取灌木、草本等食物来源,同时,苔藓植物也可以为马麝提供水分,此外高密度乔木也为马麝提供了隐蔽的生存环境。距水源距离响应曲线表明,800 m 是马麝生境适宜指数最高的距离,在超过这个距离后适宜生境随距离增加而减小,这可能是因为冬季马麝可以从雪中获取水分,而夏季可以从苔藓植物中获得水分,从而使马麝不受水源因素限制[9]。海拔响应曲线结果表明 2800 m 左右的高海拔地区更适宜马麝生存,高海拔地区人类活动痕迹少,植被类型丰富,可为马麝提供充足的食物,而贺兰山冬季漫长,从而又限制了马麝不能长时间选择海拔更高的区域,因此,2800 m 左右的高海拔地区最适宜马麝生存[6]。距矿区、护林点和道路距离均是人为干扰因子,其贡献率高达 29.9%,且马麝生境适宜性随三种人为干扰因子距离增加而增大,表明人类活动对马麝影响较大,马麝会选择远离人类干扰的区域活动。

通过马麝在贺兰山的生境适宜性分布等级图可以看出贺兰山区域内适宜马麝生存的生境面积极少,适宜性生境面积为 120.24 km^2,仅占总面积的 3.27%。从空间分布情况来看,贺兰山地区马麝的适宜生境主要分布在海拔高、人为干扰小、植被生长较好的中部地区,南部地区少量斑块化的分布,北部地区因为矿区的存在和降水较少导致植被生长较差,所以几乎没有马麝的适宜生境分布。通过与贺兰山地区岩羊和马鹿的生境适宜性研究结果对比可以看出,岩羊、马鹿的适宜生境区域与马麝的适宜生境区域有很大部分的重叠,且岩羊的适宜生境面积(28%)和马鹿的适宜生境面积(18.2%)都远远大于马麝的适宜生境面积(3.27%)[23,28],数量较多的岩羊、马鹿与数量稀少的马麝争夺有限的空间和资源,对马麝的种群发展来说无疑也是一种压力。

为保证马麝种群发展,必须加强对马麝的保护和管理力度。首先,必须严格控制人为干扰。在收集数据过程中仍然还是能发现偷猎痕迹,林区的游客和采蘑菇的人员也会影响马麝的生存。因此,建议有关部门加大监管和巡护力度,扩大马麝保护的宣传范围,加快矿区的生态植被恢复。其次,贺兰山地区马麝适宜生境破碎化严重,建议重点识别和建立马麝各适宜生境之间的生态廊道,以加大马麝的迁移和扩散、加强马麝种群的基因交流。最后,模型预测的马麝适宜生境分布区中零散分布的小斑块可能未能被马麝所利用,故建议若在这些区域中发现马麝足迹,则优先保护马麝的潜在适宜生境分布区,必要时可采取措施进行小范围的就地保护。

参考文献(References):

[1] Altemus M M. Antelope jackrabbit (*Lepus alleni*) habitat characteristics in a former rangeland. Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science, 2022, 49(2): 58-64.

[2] Fu M X, Pan H, Song X Q, Dai Q, Qi D W, Ran J H, Hou R, Yang X Y, Gu X D, Yang B, Xu Y, Zhang Z J. Back-and-forth shifts in habitat selection by giant pandas over the past two decades in the Daxiangling Mountains, southwestern China. Journal for Nature Conservation, 2022, 66: 126129.

[3] 米书慧, 赵唱, 孙嘉, 李宗智, 滕丽微, 刘振生. 贺兰山马麝秋季生境选择. 四川动物, 2021, 40(2): 169-175.

[4] 王鑫, 任亦钊, 黄琴, 邓小兵, 陈才文, 邓洪平. 基于 GIS 和 Maxent 模型的赤水河地区濒危植物桫椤生境适宜性评价. 生态学报, 2021, 41(15): 6123-6133.

[5] 龚旭, 付强, 王磊, 杨彪, 张全建, 张远彬. 四川鞍子河保护地水鹿和羚牛栖息地适宜性评价与重叠性分析. 生态学报, 2020, 40(14): 4842-4851.

[6] 孙嘉, 赵唱, 孟德怀, 米书慧, 李宗智, 滕丽微, 刘振生. 贺兰山马麝冬季生境选择. 野生动物学报, 2020, 41(3): 573-579.

[7] 平晓鸽, 曾岩.《国家重点保护野生动物名录》所列物种命名变化及其对野生生物保护的影响. 中国科学: 生命科学, 2020, 50(1): 33-43.

[8] 赵唱. 贺兰山马麝的营养采食策略和微生境选择及评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.

[9] 赵唱, 刘尊显, 滕丽微, 高惠, 孙玉姣, 王志勇, 王继飞, 马忠其, 刘振生. 贺兰山马麝夏季营养采食策略. 野生动物学报, 2018, 39(2): 215-223.

[10] 白君君, 侯鹏, 赵燕红, 徐海涛, 张兵. 物种生境适宜性模型及验证的研究进展. 生态学杂志, doi: 10.13292/j.1000-4890.202209.009.

[11] 白泙露, 李艳红, 郑维超, 陈万里, 谌利民, 黎大勇, 胡杰. 唐家河国家级自然保护区川金丝猴生境适宜性评价. 生态学报, 2021, 41(11): 4460-4468.

[12] Sun X, Long Z X, Jia J B. A multi-scale Maxent approach to model habitat suitability for the giant pandas in the Qionglai mountain, China. Global Ecology and Conservation, 2021, 30: e01766.

[13] Jha K K, Jha R. Study of vulture habitat suitability and impact of climate change in central India using MaxEnt. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(1): 30-42.

[14] 陈智强, 赵增辉, 王远飞, 韦力, 丁国骅, 林植华. 基于红外相机技术和 MaxEnt 模型的黑麂(*Muntiacus crinifrons*)活动节律分析和潜在适生区预测. 生态学报, 2021, 41(9): 3535-3547.

[15] 汪沐阳, 张楚婕, 宓春荣, 韩雷, 李美玲, 徐文轩, 杨维康. 气候变化对中国马可波罗盘羊适宜生境的潜在影响. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3127-3135.

[16] 李宏群, 牛常会, 袁晓青, 霍安平, 尚伟, 刘江成, 韩培士, 张云朝, 简宁. 基于 MaxEnt 模型的陕西黄龙山原麝(*Moschus moschiferus*)潜在分布区研究. 生态与农村环境学报, 2021, 37(12): 1616-1622.

[17] 牛莹莹. 老爷岭南部野生东北梅花鹿(*Cervus Nippon hortulorum*)种群现状及栖息地适宜性评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.

[18] 李龙, 王亮, 温阿敏, 闫世伟, 姚晓军. 基于 MaxEnt 模型的甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区北山羊生境评估. 生态学报, 2021, 41(24): 9932-9940.

[19] 周继莲, 宋桂梅. 麝香在各系统病症中的治疗作用. 中国民间疗法, 2012, 20(2): 63-64.

[20] 刘文华, 佟建明. 中国的麝资源及其保护与利用现状分析. 中国农业科技导报, 2005, 7(4): 28-32.

[21] 刘向才, 胡天华, 贾永华, 王春良. 宁夏贺兰山自然保护区生物多样性现状与保护对策. 宁夏农林科技, 2015, 56(2): 53-55.

[22] 胡天华, 李涛. 宁夏贺兰山马麝资源的兴衰及保护管理对策. 野生动物, 2003, 24(4): 4-5.

[23] 刘振生,高惠,滕丽微,苏云,王晓勤,孔芳毅.基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价.生态学报,2013,33(22):7243-7249.

[24] Liu Z S, Wang X M, Li Z G, Cui D Y, Li X Q. Feeding habitats of blue sheep (*Pseudois nayaur*) during winter and spring in Helan Mountains, China. Frontiers of Biology in China, 2007, 2(1): 100-107.

[25] 耿侃, 杨志荣. 贺兰山气候特征与气候地貌. 烟台师范学院学报: 自然科学版, 1990, (2): 49-56.

[26] 梁存柱, 朱宗元, 王炜, 裴浩, 张韬, 王永利. 贺兰山植物群落类型多样性及其空间分异. 植物生态学报, 2004, 28(3): 361-368.

[27] 王静, 孙军平, 徐涛, 祁军, 张远林, 张学炎, 孟秀祥. 甘肃兴隆山保护区野生马麝分布、数量特征及影响因素. 生态学报, 2020, 40(21): 7997-8004.

[28] 高惠, 滕丽微, 汪洋, 王继飞, 刘振生. 阿拉善马鹿(*Cervus alashanicus*)生境适宜性评价. 生态学报, 2017, 37(11): 3926-3931.

[29] Soberón J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. Ecology Letters, 2007, 10(12): 1115-1123.

[30] Green M J B. The distribution, status and conservation of the Himalayan musk deer *Moschus chrysogaster*. Biological Conservation, 1986, 35(4): 347-375..

[31] Ji W, Han K, Lu Y Y, Wei J F. Predicting the potential distribution of the vine mealybug, *Planococcus ficus* under climate change by MaxEnt. Crop Protection, 2020, 137: 105268.

[32] Remya K, Ramachandran A, Jayakumar S. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. Ecological Engineering, 2015, 82: 184-188.

[33] Tang J H, Li J H, Lu H, Lu F P, Lu B Q. Potential distribution of an invasive pest, *Eu platypus parallelus*, in China as predicted by Maxent. Pest Management Science, 2019, 75(6): 1630-1637.