

DOI: 10.5846/stxb201802280401

塞依丁·海米提, 努尔巴依·阿布都沙力克, 阿尔曼·解思斯, 邵华, 维尼拉·伊利哈尔. 人类活动对外来入侵植物黄花刺茄在新疆潜在分布的影响. 生态学报, 2019, 39(2): - .

SAYIT Hamit, NURBAY Abdushalih, ARMAN Jiesisi, Shao H, VINIRA Yilihar. Impact of human activities on potential distribution of *Solanum rostratum* Dunal in Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): - .

人类活动对外来入侵植物黄花刺茄在新疆潜在分布的影响

塞依丁·海米提^{1,2}, 努尔巴依·阿布都沙力克^{1,2,*}, 阿尔曼·解思斯^{1,2}, 邵 华³, 维尼拉·伊利哈尔⁴

1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046

2 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046

3 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

4 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046

摘要:明确区域尺度上外来入侵植物的潜在分布格局及入侵风险区对入侵种的预防和控制具有重要意义。以国家重点管理外来入侵物种黄花刺茄(*Solanum rostratum* Dunal)为研究对象,以其扩散蔓延的新疆地区为研究区域,基于生物气候、土壤、地形等 60 个自然环境因子和人类活动强度因子,应用 MaxEnt 模型和 ArcGIS 空间分析技术分别构建了现代气候情景及人类活动干扰下的黄花刺茄适宜生境预测模型,分析探讨了人类活动及自然环境因子对黄花刺茄空间分布的影响。结果表明:人类活动干扰下的训练集和测试集的 AUC 值均大于无人类活动干扰的 AUC 值,无人类活动干扰下黄花刺茄在新疆的总适生面积为 327784.36 km²,人类活动干扰下总适生面积为 445619.96 km²;阿勒泰地区北部、塔城中部和南部、博州中部和东部、伊犁州中部、克州西部、五家渠市、阜康市、玛纳斯县、呼图壁县为高危入侵风险区;影响黄花刺茄潜在分布的主导变量为年降雨量、人类活动强度、海拔、下层土沙含量、降雨量的季节性变化和年平均温,黄花刺茄在新疆的扩散与人类活动强度呈正相关;黄花刺茄在新疆的分布未达到饱和且处于逐步扩散态势,呈现以昌吉州和乌鲁木齐市为中心,向天山以北和新疆以西的区域辐射状扩散。

关键词: 外来入侵物种;黄花刺茄;人类活动;风险区识别

Impact of human activities on potential distribution of *Solanum rostratum* Dunal in Xinjiang

SAYIT Hamit^{1,2}, NURBAY Abdushalih^{1,2,*}, ARMAN Jiesisi^{1,2}, SHAO Hua³, VINIRA Yilihar⁴

1 College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

3 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

4 College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: Studying the potential distribution and risk area of alien invasive species is very important to prevent and control the expansion of these species. As alien invasive species *Solanum rostratum* Dunal is spreading rapidly in Xinjiang, this study took *S. rostratum* as object, and based on 60 human activity intensity and environmental factors including biological climate, soil, and topography, used the Maximum Entropy Model and ArcGIS Spatial Analysis to construct a suitable

基金项目:国家自然科学基金(41561013);国家林业局委托项目(211-62210)

收稿日期:2018-02-28; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Nurbaye@sina.com

habitat prediction model for *S. rostratum* under the influence of modern climate scenarios and human activities, and analyzed the influences of human activities and natural environmental factors. The result shows that the AUC value of the test set under human activity interference is greater than that with no human activity interference. The total suitable area of *S. rostratum* in Xinjiang without interference from human activities is 327,784.36 km² and under interference from human activities it is 445,619.96 km². The North Altay region, central and southern Tacheng, central and eastern Bozhou, central Yili, western Kezhou, Wujiaqu, Fukang, Manas, and Hutubi are high-risk areas. The dominant variables influencing the potential distribution of *S. rostratum* are the rainfall in the driest season, human activities, elevation, average temperature of the wettest season, the content of the lower soil sediment, annual rainfall, and temperature. The proliferation of *S. rostratum* in Xinjiang is positively correlated with the intensity of human activities. The distribution of *S. rostratum* in Xinjiang has not reached saturation and is gradually spreading; with Changji and Urumqi as the center, it currently spreads radially to north of Tianshan and west of Xinjiang.

Key Words: alien invasive species; *Solanum rostratum* Dunal; human activity; risk area identification

外来入侵植物的适宜生境在人类活动干扰下有可能扩大,有可能缩小,因此制定准确有效的预防措施需要考虑外来入侵植物在人类活动干扰下的分布。位于祖国西部边陲的新疆,因为其干旱半干旱荒漠、绿洲的生态环境,其脆弱的生态系统更容易被外来植物入侵所破坏,近年来新疆已成为我国外来入侵生物数量最多的地区之一^[1]。其中外来入侵植物黄花刺茄在新疆迅速的扩散蔓延^[2],对入侵地的农业、畜牧业生产及生态环境造成了极大的危害,对新疆本地植物资源保护和生态平衡构成了严重威胁。

黄花刺茄(*Solanum rostratum* Dunal)属于茄科茄属 1 年生草本植物,是一种入侵性极强的有毒检疫性杂草,2013 年被中华人民共和国农业部列入《国家重点管理外来入侵物种名录(第一批)》^[3]。其植株一般高 30—70 cm,叶片为单叶互生,全株密被锥状硬刺,呈不规则羽状深裂^[4],果实成熟后逐渐干裂,种子会在外力作用下从果实中散落于植株周围,部分种子由断裂的主茎携带,且具有休眠机制,可以进行远距离的传播^[5]。该植物原产于美国西北部及墨西哥地区,现已扩散至加拿大、澳大利亚、俄罗斯、韩国、中国等地。1982 首次在中国辽宁省发现,目前已扩散至吉林省白城市、北京市、河北省张家口市、新疆乌鲁木齐市等多个省市区^[6]。黄花刺茄竞争能力和适应能力很强,很容易在新的环境中占据领地,与当地物种竞争水分、光照、土壤营养、空间等生存资源,占据本地物种的生态位,破坏入侵地的生态系统。致使本地物种失去竞争力,甚至灭绝,对入侵地的生物多样性和生态环境构成了严重威胁^[7-8]。

研究外来入侵物种的扩散趋势,量化人类活动对物种分布格局的影响是国内外学者关注的热点问题。目前对外来入侵植物黄花刺茄的研究主要集中在群落特点^[9]、繁殖特性^[10]、传粉生物学及种子萌发特性^[11]等方面,未发现人类活动对黄花刺茄在新疆潜在分布影响的研究报道。鉴于黄花刺茄在新疆的分布现状、扩散趋势和潜在危害,本研究基于 MaxEnt 模型和 ArcGIS 空间分析技术,预测了入侵种黄花刺茄在新疆的潜在分布区,并与其在人类干扰下的分布格局进行了比较,旨在揭示人类活动和自然环境因子对黄花刺茄空间分布的影响。目的在于较早的做好预防和控制措施以控制入侵种黄花刺茄往潜在的入侵风险区扩散,减小外来入侵植物对新疆本地植物资源和生物多样性的不利影响,为地方和政府制定合理的防治策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 物种分布数据来源

根据相关文献记录,黄花刺茄在新疆分布于乌鲁木齐市、乌鲁木齐县、石河子市、昌吉市、吐鲁番市和托克逊县^[12-13],因此划定以上区域为研究范围。黄花刺茄的花果期在 6—10 月,6 月进入盛花期,8 月果实成熟,10 月初霜降后将萎蔫枯死^[14],因此划定 8—10 月为野外考察期。依托第二次全国植物资源普查新疆片区的调查工作于 2015—2017 年在研究范围内进行野外实地调研,发现黄花刺茄即记为“存在点(presence)”,用

GPS 记录经纬度和海拔,共获得 47 条不重复的地理分布信息(图 1)。

1.2 环境变量数据及预处理

本研究共选取生物气候、土壤、地形等 60 个自然环境因子和对比干扰变量人类活动强度因子。生物气候变量来源于 Worldclim 数据集(<http://www.worldclim.org/>)^[15],该数据集分辨率为 1 km,由 19 个降水量、温度的极值和变化范围的变量构成,根据新疆政区图对下载的全球气候数据进行影像配准、裁剪和叠加。海拔高程数据(DEM)从美国国家航空航天局发布的全球数字高程模型(SRTM v4.1,<http://datamirror.csdb.cn/>)下载,空间分辨率为 100 m^[16]。坡向和坡度利用 ArcToolbox 工具箱的表面分析工具根据 DEM 生成。土壤数据来源于南京土壤所制作的二调数据,选取了数据集中的 38 个土壤变量,其中上层土壤属性(0—30 cm)用 T_开头属性字段表示,下层土壤属性(30—100 cm)用 S_开头属性字段表示。人类活动强度数据(模型中称为: Hf)来源于国际地球科学信息网络中心(CIESIN)的人类足迹(Human Footprint)数据层^[17],此数据层是由人类土地利用、基础设施建设、人口密度、NOAA 夜间灯光数据、公路、铁路等 8 个全球数据层生成的人类影响指数通过归一化得到的,能客观且全面的反应人类活动的强弱及空间分布状态。对人类足迹的原始数据进行坐标与格式转换等处理^[18],再利用 ArcGIS 10.2.2 根据新疆政区图对全球人类足迹中的数据进行影像裁剪、配准和叠加(图 2)。

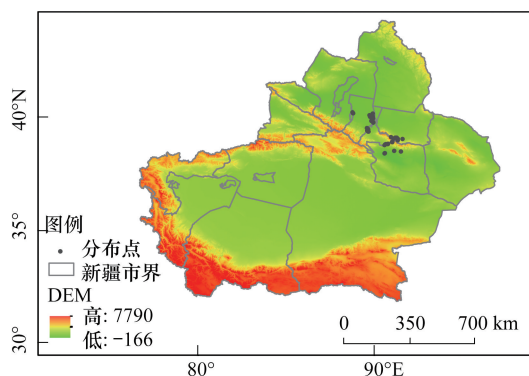


图 1 黄花刺茄在新疆的地理分布

Fig.1 Distribution of *Solanum rostratum* Dunal in Xinjiang

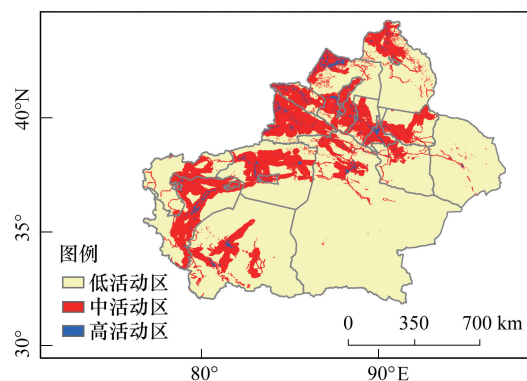


图 2 新疆人类活动强度

Fig.2 The intensity of human activities in Xinjiang

在建模过程中为了避免变量之间存在自相关和多重线性重复等问题,本研究参考 Worthington^[19]、张殷波等^[20]的方法对环境变量进行了筛选,具体方法为在 R 语言中加载 cor 函数包,通过 spearman 相关系数分别对生物气候因子和土壤因子进行预处理^[21],并且在土壤因子的选择中综合考虑土壤养分及土壤水分对植物入侵的重要影响。选用相关系数<0.75 的环境因子,对于相关系数>0.75 的环境因子进行单因子建模,运行刀割法测定其对模型预测的贡献率大小,从而保留对模型预测更为重要的因子。最终确定 5 个生物气候因子、9 个土壤因子、3 个地形因子和人类活动强度因子共计 18 个环境变量参与建模(表 1)。

1.3 软件及矢量图来源

本文所用的新疆政区矢量图,来源于新疆维吾尔自治区测绘地理信息局的标准地图下载服务区,地址为 <http://www.xjch.gov.cn/wsfw/bzdt/bzdtxz/>。所用的 MaxEnt 模型是由 S.J.Phillips 于 2004 年构建的用于预测物种分布的技术方法^[22],目前在生态学领域中被广泛使用^[23],本研究所使用的 MaxEnt 软件版本为 3.3.3k 版^[24-26]。ArcGIS 空间技术平台是美国 Esri 公司研发的一套完整的 GIS 产品^[27],本研究所使用的 ArcGIS 软件版本为 10.2.2 版^[28]。

1.4 模型构建及数据处理

为了与人类活动干扰下的分布格局相比较,分析人类活动强度和自然环境变量对黄花刺茄潜在分布的影响,需进行两次预测。第一次预测中将黄花刺茄地理分布数据和 17 个自然环境变量导入 MaxEnt,随机选取

75%的黄花刺茄分布点作为训练集(testing data),剩余 25%的黄花刺茄分布点作为测试集(training data)^[29],运行刀割法(Jackknife)测定各变量权重,选择创建环境变量响应曲线,其余参数均选择模型的默认值。第二次预测将黄花刺茄地理分布数据和 17 个自然环境变量及人类活动强度变量导入 MaxEnt,重复上述步骤。本研究用受试者操作特征曲线(Receiver Operating Characteristic Curve, ROC 曲线)下面积值^[30],即 AUC 值(Area Under Curve, AUC)为判据来评价模型模拟结果,不同的 AUC 值代表不同预测效果(表 2)。

表 1 环境变量

Table 1 Environmental variables		
变量分类 Variables kinds	变量名称 Code of variables	描述 Names of variables
生物气候变量 Bio-clime Variables	Bio1	年平均温 Annual mean temperature
	Bio3	等温线 Isothermality (Bio2/Bio7) (* 100)
	Bio7	年温度变化范围 Temperature annual range
	Bio12	年降雨量 Annual precipitation
	Bio15	降雨量的季节性变化 Precipitation seasonality
土壤变量 Soil variables	S_sand	下层土沙含量 Lower soil sediment content
	T_sand	上层土沙含量 Upper soil sediment content
	S_ph_h2o	下层土 pH pH of undersoil
	T_ph_h2o	上层土 pH pH of topsoil
	S_oc	下层土有机碳含量 Organic carbon content of undersoil
	T_oc	上层土有机碳含量 Organic carbon content of topsoil
	N	全氮 Total nitrogen
	P	全磷 Total phosphorus
	Awc_water	有效水含量 Available water content
地形变量 Terrain variables	Alt	海拔 Altitude
	Aspect	坡向 Aspect
	Slope	坡度 Slope
对比干扰变量 Contrast interference variable	Hf	人类活动强度 Human footprint

表 2 AUC 评价标准表

Table 2 The evaluation criterion of AUC			
AUC 取值范围 Range of AUC values	评价标准 Evaluation criterion	AUC 取值范围 Range of AUC values	评价标准 Evaluation criterion
0.5≤AUC<0.6	失败 Fail	0.8≤AUC<0.9	好 Good
0.6≤ AUC<0.7	较差 Poor	0.9≤AUC<1.0	优秀 Excellent
0.7 ≤AUC<0.8	一般 Fail		

AUC:ROC 曲线下面积值,即 Area Under Curve

将 MaxEnt 模型输出的结果导入 ArcGIS 软件中进行生境适宜划区,首先通过 ArcGIS 进行重分类操作^[31],并根据专家经验法及野外调查得到的实际情况将黄花刺茄生境分布区划分成 4 个等级:0—0.1 为非适应区,0.1—0.3 为低适生区,0.3—0.6 为中适生区,0.6—1.0 为高适生区^[32]。运用 ArcGIS 的 SDM 工具箱和统计工具 Zonal 计算 4 类分区的面积,分析比较人类活动干扰下各级适生区的面积变化。

2 结果与分析

2.1 MaxEnt 模型预测结果评价及对比

受试者操作特征曲线下面积值(AUC)越大表示与随机分布相距越远,选取的环境变量与预测的物种地理分布模型之间的相关性越大,即表示模型的预测效果越好^[33-34]。本研究的 ROC 曲线验证结果显示(图 3):无人类活动干扰下训练集的 AUC 值为 0.976,测试集的 AUC 值为 0.927,有人类活动干扰下训练集的 AUC 值

为 0.980,测试集的 AUC 值为 0.941,AUC 值均处于 0.9—1.0 区间,表明 MaxEnt 模型预测结果可靠^[35],此次预测的地理分布结果与实际分布区域的相符度较高,预测结果可用于黄花刺茄的适生区划。对比发现人类活动干扰下训练集和测试集的 AUC 值均大于无人人类活动干扰的 AUC 值,说明 MaxEnt 模型对黄花刺茄适宜生境潜在分布的预测结果准确度提高,所选取的变量与黄花刺茄地理分布之间的相关性更强,人类活动强度对黄花刺茄潜在地理分布具有一定的影响。

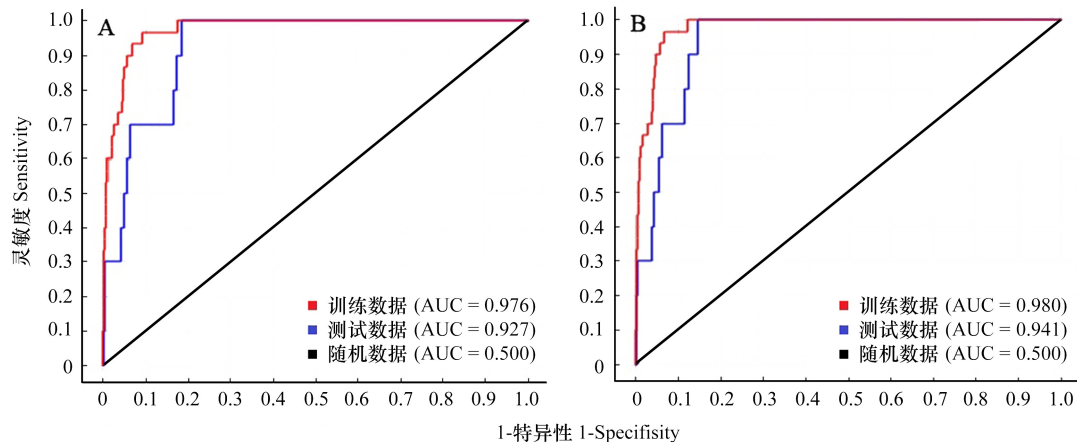


图3 预测结果的 ROC 曲线验证

Fig.3 ROC Curve and AUC values of the MaxEnt model

A:无人人类活动干扰;B:有人类活动干扰

2.2 黄花刺茄适生区预测及风险区识别

由预测结果(图4)和统计分析可知(表3),无人人类活动干扰下黄花刺茄在新疆的总适生面积为327784.36 km²,其中高适生区面积为43095.60 km²,主要位于塔城北部、博州中部和西部、伊犁州中部、昌吉州中部和西部、吐鲁番地区西北部、乌鲁木齐市、五家渠市、石河子市。中适生区面积为84811.97 km²,主要位于阿勒泰地区、塔城地区、伊犁地区、阿克苏地区、克州和克拉玛依市。低适生区面积为199876.79 km²,主要位于新疆北部和西部。人类活动干扰下黄花刺茄在新疆的总适生面积为445619.96 km²,其中高适生区面积为54524.12 km²,新增的高适生区包括阿勒泰地区北部和克州西部。中适生区面积为75038.17 km²,新增的中适生区包括哈密地区中部和喀什市。低适生区面积为316057.67 km²,低适生区范围在无人人类活动干扰下的适生区基础上进一步向四周扩散。

人类活动干扰下黄花刺茄适宜生境增加140704.08 km²,减少26087.99 km²,呈大幅度增加趋势(图5),人类活动与入侵种植物黄花刺茄在新疆的扩散呈正相关。且除了已知分布的地区外,阿勒泰地区北部、塔城中部和南部、博州中部和东部、伊犁州中部、克州西部、五家渠市、阜康市、玛纳斯县、呼图壁县等地的黄花刺茄生境适宜度较高,具有极高的入侵风险。

表3 黄花刺茄在新疆的适生区面积/km²

Table 3 Suitable area of *Solanum rostratum* Dunal in Xinjiang

类型 Genre	高适生区面积 Most suitable area	中适生区面积 Suitable area	低适生区面积 Marginally suitable area	非适生区面积 Unsuitable area
无人人类活动干扰 Without human disturbance	43095.60	84811.97	199876.79	1302993.10
有人类活动干扰 With human disturbance	54524.12	75038.17	316057.67	1185157.50

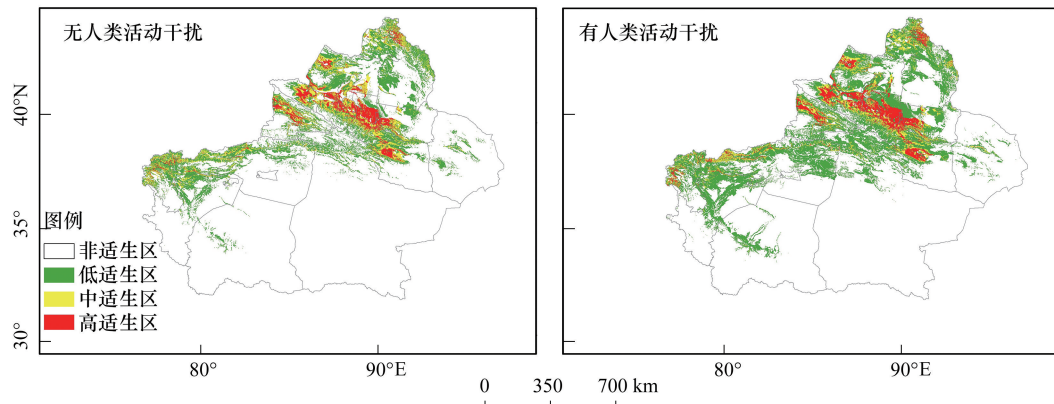


图4 黄花刺茄在新疆的适生区预测

Fig.4 Potential suitable distribution of *Solanum rostratum* Dunal in Xinjiang

2.3 环境变量贡献率比较

开启刀割法测定各环境变量在影响黄花刺茄生长适宜度中所占的权重(图6)^[36]。无人类活动干扰下,影响黄花刺茄潜在分布的主导环境因子为年降雨量、海拔、下层土沙含量、降雨量的季节性变化、年平均温和坡度,贡献率分别为24.7%、21.4%、12.3%、11.9%、8.6%、7.1%。人类活动干扰下,影响黄花刺茄潜在分布的主导环境因子为人类活动强度、海拔、年降雨量、下层土沙含量、年平均温和降雨量的季节性变化,贡献率分别为24.2%、21%、16.9%、10.4%、5.9%、4.8%。交叉对比发现,影响黄花刺茄潜在分布的主导变量为年降雨量、人类活动强度、海拔、下层土沙含量、降雨量的季节性变化和年平均温,年降雨量是影响黄花刺茄潜在分布的决定因子,人类活动强度是影响黄花刺茄潜在分布的次要因子。

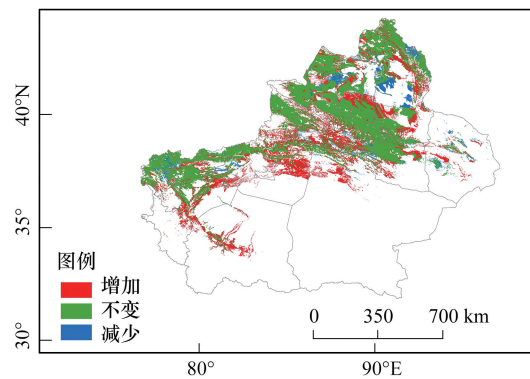


图5 人类活动干扰下黄花刺茄适宜生境的空间变化

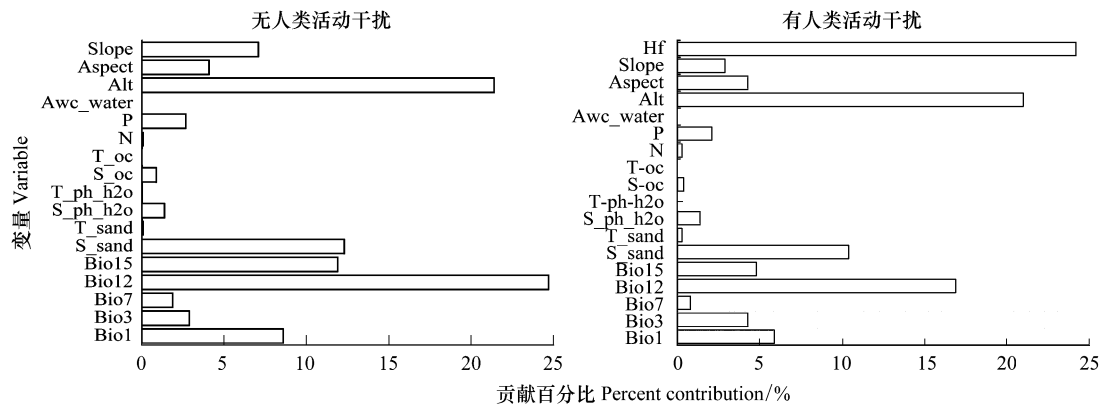
Fig.5 Spatial changes of suitable habitats of *Solanum rostratum* dunal under human activity disturbance

图6 环境因子对黄花刺茄生境适宜性的贡献率比较

Fig.6 The comprehensive contribution of environmental factors to *Solanum rostratum* Dunal habitat suitability index

3 讨论与结论

物种分布格局的变化是对人类活动最直接和明确的反应,本研究将基于GIS的空间化人类活动因子作为

预测干扰变量,定量的展示了人类活动对入侵种黄花刺茄在新疆潜在分布的影响。将模型预测的黄花刺茄适宜生境预测结果与实际分布点进行比较,发现其记录分布点都分布于高适生区内,数据可信度较高。原因在于本研究用 ArcGIS 对 MaxEnt 模型生成的栅格数据进行了投影处理,将黄花刺茄的地理分布数据、生物气候变量、土壤变量、地形变量、人类活动强度变量在栅格单元上相互对应,缩小了系统误差,使数据的可信度和准确性得到了有效提升。

本文以 ROC 曲线验证结果、参与建模的环境因子对物种预测的贡献率、适生区空间面积变化等 3 项研究结果作为指标探讨了人类活动对入侵植物黄花刺茄的影响。其中 ROC 曲线验证结果表明人类活动干扰下训练集和测试集的 AUC 值均大于无人活动干扰的 AUC 值,加入人类活动强度因子后预测结果准确度提高,人类活动与黄花刺茄地理分布之间具有较强的相关性。刀割法运行结果表明人类活动在影响黄花刺茄生长适宜度中所占的权重较高,为 24.2%。且人类活动干扰下黄花刺茄适宜生境增加 140704.08 km²,减少 26087.99 km²,呈大幅度增加趋势。而本研究所选取的人类活动强度因子是由土地利用、基础设施建设、人口密度、公路、铁路等一系列的人类活动数据通过归一化得到的,可见人类活动与黄花刺茄在新疆的扩散蔓延呈正相关。此外,在野外调查过程中我们还发现,黄花刺茄的种子会随着牛、羊等牲畜的体毛传播扩散。因此预防和控制工作的当务之急是重点防控人为原因造成的传播和扩散,尤其是在人类活动较为频繁的适生区加强对黄花刺茄的监测,例如口岸、货物集散中心、旅游区、城市周边工厂区、交通运输频繁的公路和铁路两侧等等,对于入侵程度还不严重的地区,要及时发现并采取清除措施,再在其周围加强监测,防止其再度入侵。并建议林业部门和畜牧部门加强对牧区及草场的监管,加大在牧区的宣传及科普力度,让牧民能及时的发现黄花刺茄并汇报相关部门,减少牲畜对黄花刺茄扩散的促进作用。

将研究结果与现有分布区域比较发现,阿勒泰地区北部、塔城中部和南部、博州中部和东部、伊犁州中部、克州西部、五家渠市、阜康市、玛纳斯县、呼图壁县为高危入侵风险区,此结果与钟良平等^[37]2009 年基于 GARP 生态位模型预测黄花刺茄在中国的潜在分布区所得出的预测结果基本一致,这证实了像 MaxEnt、GARP 等生态位模型在外来入侵物种的定量化风险评估研究中具有重要的参考价值。总体上看黄花刺茄在新疆的分布未达到饱和且处于逐步扩散态势,呈现以昌吉州和乌鲁木齐市为中心,向天山以北和新疆以西的区域扩散。因而在未来黄花刺茄在新疆的种群数量可能较当前会有指数型的增长,入侵预防和控制任务更为艰巨。需建立预警监控机制,对其潜在的入侵风险区需建立两条隔离监测带,第一条建立在五家渠市和阜康市,预警和控制黄花刺茄继续向天山以北的区域扩散蔓延。第二条建立在奎屯市,预防黄花刺茄扩散至新疆以西的区域,通过系统的监测抑制黄花刺茄在新疆进一步扩散。

郭章碧等^[38]发现黄花刺茄喜好温暖气候中的土壤,尤其是沙质土壤,这也间接证实了下层土沙含量在黄花刺茄生长适宜度中所占权重较高的原因。吴晓雯等^[39]、易小燕等^[40]认为人类活动强度是决定外来入侵植物物种数的关键因子,与外来入侵植物的扩散呈正相关。王苏铭等^[41]认为凡是反映人类干扰的因子,其与外来入侵植物分布多呈负相关。本研究得出的结论与前者一致,与后者相悖,原因可能由以下几点:(1)王苏铭等的侧重点是林区和平原区野外分布的入侵种,对城市绿地及郊区的调查不多,而本研究的调查范围较为广泛,包含了城市绿地及郊区,而这些区域更容易受到人类活动的影响;(2)研究区域的不同导致了自然环境条件的差异,相对优越的自然环境中环境因子可能成为了影响入侵种扩散的主要因素;(3)本研究在省级空间尺度上探讨了人类活动对入侵植物分布的影响,可能在大的空间尺度范围内,人类活动对入侵种的分布格局影响较大,而在小尺度上,外来入侵种的空间分布主要受环境因子的影响。

本研究所使用的 MaxEnt 模型近年来被广泛的应用于物种潜在分布预测研究中,但其仍然存在着一定的局限性,原因在于生态位模型假设物种的生态位需求是保守的,空间尺度的大小、环境变量的选取、物种分布数据的多少等诸多因素都会对模型的预测精度和稳定性产生影响。且本研究中仅探讨了气候因素、土壤因素、地形因素及人类活动对黄花刺茄分布范围及空间格局的影响,而未考虑光照、河流、生物相互作用、种间竞争等其他因素,在今后的研究中需要进一步考虑环境变量的选取。

参考文献 (References):

- [1] 陈丽. 新疆外来入侵种现状研究. 新疆环境保护, 2012, 34(1): 21-27.
- [2] 周明冬, 刘淑华, 符桂华, 周泽容. 有害入侵生物刺萼龙葵在新疆的分布、危害与防治. 新疆农业科技, 2009, (1): 56-56.
- [3] 魏守辉, 杨龙. 刺萼龙葵—国家重点管理外来入侵物种. 植物保护, 2013, 39(3): 123-123.
- [4] 王晓红. 外来物种——刺萼龙葵的生物学特性、危害及防治. 新疆畜牧业, 2011, (7): 63-63.
- [5] 向俊, 李翠妮, 刘全儒, 周云龙, 孙乐, 毛春明, 梁前进. 北京外来入侵植物刺萼龙葵的生态状况. 生态学杂志, 2011, 30(3): 453-458.
- [6] 董河鱼. 外来入侵植物黄花刺茄研究文献统计分析. 内蒙古师范大学学报: 哲学社会科学版, 2015, 44(4): 167-168, 171-171.
- [7] 王立勇. 外来有害杂草刺萼龙葵在朝阳市的发生与防控对策. 现代农村科技, 2011, (20): 27-27.
- [8] 张延菊, 曲波, 董淑萍, 董文轩. 警惕外来入侵植物——刺萼龙葵在辽宁省进一步蔓延. 辽宁林业科技, 2009, (6): 22-24, 47-47.
- [9] 宋珍珍. 两种入侵植物在新疆的分布、群落特点及对物种多样性的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
- [10] 邱娟, 地里努尔·沙里木, 谭敦炎. 入侵植物黄花刺茄在新疆不同生境中的繁殖特性. 生物多样性, 2013, 21(5): 590-600.
- [11] 地里努尔·沙里木. 黄花刺茄的传粉生物学及种子萌发特性[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011.
- [12] 林玉, 谭敦炎. 一种潜在的外来入侵植物: 黄花刺茄. 植物分类学报, 2007, 45(5): 675-685.
- [13] 阿马努拉·依明尼亚孜. 黄花刺茄入侵对马铃薯甲虫的分布、生活史及习性的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
- [14] 兰希平. 辽宁省外来植物刺萼龙葵的入侵警报及防控对策. 河北农业科学, 2012, 16(8): 25-27.
- [15] 柳晓燕, 李俊生, 赵彩云, 全占军, 赵相健, 宫璐. 基于 MAXENT 模型和 ArcGIS 预测豚草在中国的潜在适生区. 植物保护学报, 2016, 43(6): 1041-1048.
- [16] 刘艳, 阿提古丽·毛拉, 沙毕热木·斯热义力, 买买提明·苏来曼. 气候变化下耐旱藓类连轴藓属在新疆的分布模拟. 西北植物学报, 2017, 37(9): 1881-1887.
- [17] 迈迪娜·吐尔逊. 意大利苍耳在新疆的适生区分析研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2017.
- [18] Bjornlie D D, Thompson D J, Haroldson M A, Schwartz C C, Gunther K A, Cain S L, Tyers D B, Frey K L, Aber B C. Methods to estimate distribution and range extent of grizzly bears in the greater Yellowstone ecosystem. Wildlife Society Bulletin, 2014, 38(1): 182-187.
- [19] Worthington T A, Zhang T J, Logue D R, Mittelstet A R, Brewer S K. Landscape and flow metrics affecting the distribution of a federally-threatened fish: Improving management, model fit, and model transferability. Ecological Modelling, 2016, 342: 1-18.
- [20] 张殷波, 高晨虹, 秦浩. 山西翅果油树的适生区预测及其对气候变化的响应. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1156-1162.
- [21] Yang X Q, Kushwaha S P S, Saran S, Xu J C, Roy P S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. Ecological Engineering, 2013, 51: 83-87.
- [22] Phillips S J, Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, 2008, 31(2): 161-175.
- [23] Padalia H, Srivastava V, Kushwaha S P S. Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. Ecological Informatics, 2014, 22: 36-43.
- [24] Ha H, Heumann B W, Liesch M, Wang X G. Modelling potential conservation easement locations using physical and socio-economic factors: A case-study from south-east Michigan. Applied Geography, 2016, 75: 104-115.
- [25] Vinod P N, Chandramouli P N, Koch M. Estimation of nitrate leaching in groundwater in an agriculturally used area in the state Karnataka, India, using existing Model and GIS. Aquatic Procedia, 2015, 4: 1047-1053.
- [26] Glon H E, Heumann B W, Carter J R, Bartek J M, Monfils A K. The contribution of small collections to species distribution modelling: A case study from Fuireneae (Cyperaceae). Ecological Informatics, 2017, 42: 67-78.
- [27] Al-Kindi K M, Kwan P, Andrew N R, Welch M. Modelling spatiotemporal patterns of dubas bug infestations on date palms in northern Oman: A geographical information system case study. Crop Protection, 2017, 93: 113-121.
- [28] Park J H, Kim J, Yoon D K, Cho G H. The influence of Korea's green parking project on the thermal environment of a residential street. Habitat International, 2016, 56: 181-190.
- [29] 宗敏, 韩广轩, 栗云召, 王光镇, 王安东, 杨显基. 基于 MaxEnt 模型的黄河三角洲滨海湿地优势植物群落潜在分布模拟. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1833-1842.
- [30] 王茹琳, 李庆, 封传红, 石朝鹏. 基于 MaxEnt 的西藏飞蝗在中国的适生区预测. 生态学报, 2017, 37(24): 8556-8566.
- [31] 王茹琳, 李庆, 何仕松, 刘原. 中华猕猴桃在中国潜在分布及其对气候变化响应的研究. 中国生态农业学报, 2018, 26(1): 27-37.
- [32] 张东方, 张琴, 郭杰, 孙成忠, 吴杰, 聂祥, 谢彩香. 基于 MaxEnt 模型的当归全球生态适宜区和生态特征研究. 生态学报, 2017, 37(15): 5111-5120.

- [33] 邵云玲, 曹伟. 外来入侵植物豚草在中国东北潜在分布区预测. 干旱区资源与环境, 2017, 31(7): 172-176.
- [34] 张颖. 基于 GIS 的生态位模型预测源自北美的菊科入侵物种的潜在适生区[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [35] 李丽鹤, 刘会玉, 林振山, 贾俊鹤, 刘翔. 基于 MAXENT 和 ZONATION 的加拿大一枝黄花入侵重点监控区确定. 生态学报, 2017, 37(9): 3124-3132.
- [36] 王国欢, 白帆, 桑卫国. 中国外来入侵生物的空间分布格局及其影响因素. 植物科学学报, 2017, 35(4): 513-524.
- [37] 钟良平, 沈文君, 万方浩, 王进军. 用 GARP 生态位模型预测刺萼龙葵在中国的潜在分布区. 生态学杂志, 2009, 28(1): 162-166.
- [38] 郭章碧, 张国良, 付卫东, 郑浩. 外来入侵植物刺萼龙葵的研究概况及展望. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2011, 42(3): 460-464.
- [39] 吴晓雯, 罗晶, 陈家宽, 李博. 中国外来入侵植物的分布格局及其与环境因子和人类活动的关系. 植物生态学报, 2006, 30(4): 576-584.
- [40] 易小燕. 外来入侵植物的扩散路径与入侵风险管理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [41] 王苏铭, 张楠, 于琳倩, 赵容慧, 郝鹏, 李景文, 姜英淑, 沙海峰, 刘义, 张志翔. 北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素. 生态学报, 2012, 32(15): 4618-4629.