

塞依丁·海米提,努尔巴依·阿布都沙力克,迈迪娜·吐尔逊,等.外来入侵植物意大利苍耳在新疆的潜在分布及扩散趋势[J].江苏农业科学,2019,47(13):126-130.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.031

# 外来入侵植物意大利苍耳在新疆的 潜在分布及扩散趋势

塞依丁·海米提,努尔巴依·阿布都沙力克,迈迪娜·吐尔逊,阿尔曼·解思斯,阿腾古丽

(新疆大学资源与环境科学学院/新疆绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046)

**摘要:**明确外来物种适宜生境的分布对外来物种风险分析具有重要意义,可以较早期地建立隔离带和监测区,以有效防止入侵物种向潜在栖息地蔓延。以外来入侵植物意大利苍耳(*Xanthium italicum*)为研究对象,以其呈快速扩散趋势的新疆地区为研究区域,利用生态位模型(MaxEnt)和地理信息系统(ArcGIS),结合226个意大利苍耳地理分布数据和19个生物气候变量及人类活动强度数据,对入侵植物意大利苍耳在新疆的潜在分布和适生等级进行预测,分析意大利苍耳在新疆的扩散趋势及影响其潜在分布的主导环境因子。结果表明:训练集和测试集的AUC值分别为0.986、0.981,模型预测结果优秀;人类活动强度、最干月降水量、极端最低温、年温度变化范围、温度季节性变化等5个因子的贡献率总和为92.5%,是影响意大利苍耳潜在分布的主导环境因子;意大利苍耳在新疆的分布未达到饱和,呈现以伊犁地区和博州地区为中心,向东北方向辐射状扩散的趋势,塔城地区、五家渠市、克拉玛依市、北屯市、巴州北部及阿克苏中部等地具有极高的入侵风险,应针对意大利苍耳的适生区建立2条隔离监测带,预防其向新疆东北部和南部扩散。研究结果可为入侵植物意大利苍耳在新疆的入侵风险分析及相应预防控制措施的制定提供理论依据。

**关键词:**外来入侵植物;意大利苍耳;MaxEnt模型;扩散趋势;入侵风险分析

**中图分类号:**S459 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)13-0126-05

除生态环境破坏外,外来植物的入侵成为破坏全球生物多样性的的重要因素,而在我国,这一问题同样十分突出。位于我国西部边陲的新疆,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60年来,新疆农林外来入侵生物数量多达79种,包括害草10种、病害19种和害虫50种。近20年来,入侵生物更是呈现暴发式增长,平均每年就会增加2~3种,成为我国外来入侵生物数量最多的地区之一<sup>[1-3]</sup>。外来入侵植物靠抢夺当地植物的阳光、养料、土壤和水分来生存,如果不能及时发现并消灭,会威胁到当地植物的生存,从而破坏生态平衡<sup>[4-6]</sup>。本研究发现,意大利苍耳作为一种入侵植物在新疆快速蔓延,给新疆的农业、畜牧业和生物多样性带来了不同程度的危害。

意大利苍耳(*Xanthium italicum*)属于菊科(Compositae)苍耳属(*Xanthium* L.)一年生草本植物,以种子繁殖,原产地为北美洲,具有长达2.1 m的侧根分支,直根深达1.3 m,可以在缺氧环境中发育出很大的气腔,植株一般高20~150 cm,叶片狭长,长度为6.0~7.5 mm,通常宿存于成熟植物体上。果实较小,表面覆盖着倒钩刺、毛、具柄腺体,刺和体表无毛或有少量腺毛,顶部有2条内弯的喙状粗刺,基部具有

收缩的总苞柄<sup>[7]</sup>。意大利苍耳在全球范围内扩散蔓延,已扩张至欧洲、亚洲、大洋洲的多个国家和地区。1991年首次在北京昌平区发现有分布,现在已经蔓延至山东、河北、深圳、新疆、辽宁等国内的多个省(市、区)。意大利苍耳在新疆主要分布于伊犁、博州、阿勒泰、吉木乃、石河子、昌吉、乌鲁木齐等地区<sup>[8]</sup>,由于其根系发达,很容易抢夺当地农作物和其他植物的生存资源,对入侵地的生物多样性和生态平衡构成了严重威胁。

目前对于意大利苍耳的研究主要包括意大利苍耳对土壤微生物的影响及其生态效应<sup>[9]</sup>、对土壤微生物群落和土壤养分的影响<sup>[10]</sup>、适生分析及风险评估<sup>[11]</sup>、分布现状及防控措施<sup>[2]</sup>、化感作用等<sup>[12]</sup>,尚未发现对入侵种意大利苍耳在新疆的潜在分布及扩散趋势研究的报道。适合外来物种的适宜生境是指能够满足外来物种生存和繁殖所需条件的地区,是判定外来物种是否能够对该地区造成危害的重要指标。本研究鉴于意大利苍耳在新疆的分布现状、扩散趋势和潜在危害,利用生态位模型(MaxEnt)和地理信息系统软件(ArcGIS)预测其在新疆的潜在分布和适生等级以控制其进一步扩散蔓延,目的在于较早期地做好预防和控制措施以控制入侵种意大利苍耳往潜在的适生区扩散,为政府制定相应的管理和控制措施提供理论依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 意大利苍耳分布数据来源

意大利苍耳的226个地理分布数据通过以下4种方式获得:(1)2015—2017年每年7—10月在新疆境内进行野外实

收稿日期:2018-02-08

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

作者简介:塞依丁·海米提(1994—),男,新疆伊犁人,硕士研究生,主要从事干旱区生态学研究。E-mail:17699110580@163.com。

通信作者:努尔巴依·阿布都沙力克,博士,教授,主要从事干旱区生态学研究。E-mail:Nurbaye@sina.com。

地采样,调查点主要有伊犁地区、博州地区、阿勒泰地区、石河子市、昌吉市和乌鲁木齐市,发现意大利苍耳即记为“存在点(presence)”,用全球定位系统(GPS)记录经纬度和海拔;(2)查询全球生物多样性信息服务网络平台(Global Biodiversity Information Facility,简称 GBIF,网址为 <http://www.gbif.org/>);(3)查找国内外公开发表的有关意大利苍耳的相关研究报告,查阅有关植物文献资料和书籍;(4)查看国家科技资源平台教学资源共享平台(<http://muh.scu.edu.cn>)的34所标本馆。总结整理意大利苍耳在新疆的地理分布数据,通过 ArcGIS 绘制出意大利苍耳在新疆地区的分布点(图1)。

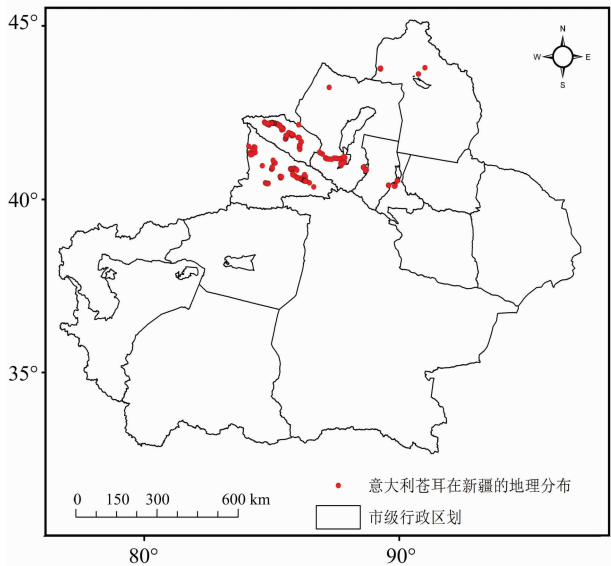


图1 意大利苍耳在新疆的地理分布

1.2 环境变量来源

本研究共选取生物气候因子和人类活动强度因子等20个环境变量(表1)。生物气候变量由19个降水量、温度的变

化范围和极值的变量构成,来源于 WorldClim 数据集(<http://www.worldclim.org/>)<sup>[13-14]</sup>,此数据集分辨率为1 km,根据新疆维吾尔自治区地图,对生物气候数据中的数据进行影像配准、裁剪和叠加。人类活动强度数据(模型中称为 hf\_v2geo)来源于国际地球科学信息网络中心(Center for International Earth Science Information Network,简称 CIESIN)的人类足迹(Human Footprint)数据层<sup>[15]</sup>,对全球人类足迹的原始数据进行坐标与格式转换等处理,再利用 ArcGIS 根据新疆维吾尔自治区地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)。采用地理坐标系 GCS\_WGS\_1984 对上述所有变量进行投影<sup>[16]</sup>。

表1 本研究所用变量

变量分类	变量名称	描述
生物气候变量	BIO1	年平均温
	BIO2	平均周温度变化范围
	BIO3	等温性
	BIO4	温度季节性变化
	BIO5	极端最高温
	BIO6	极端最低温
	BIO7	年温度变化范围
	BIO8	最湿季平均温度
	BIO9	最干季平均温度
	BIO10	最暖季平均温度
	BIO11	最冷季平均温度
	BIO12	年降水量
	BIO13	最湿月降水量
	BIO14	最干月降水量
	BIO15	降水量的季节性变化
	BIO16	最湿季降水量
	BIO17	最干季降水量
	BIO18	最热季降水量
	BIO19	最冷季降水量
干扰变量	hf_v2geo	人类活动强度

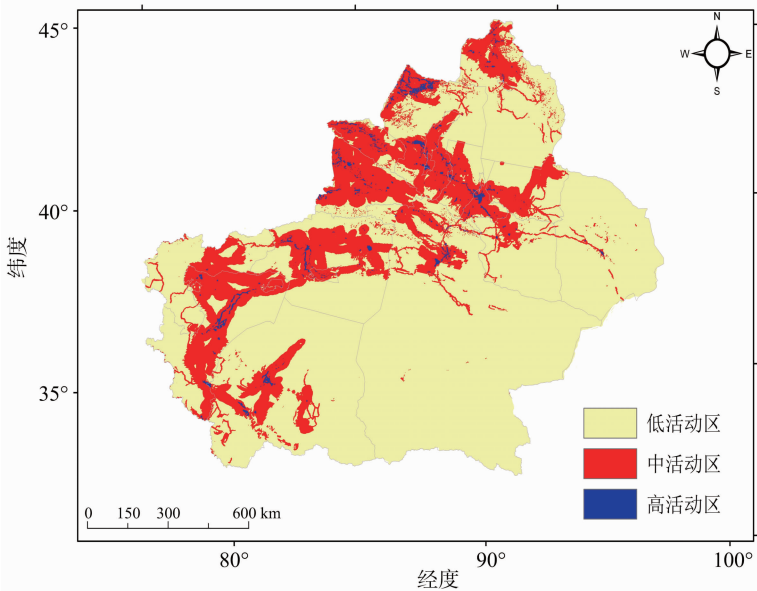


图2 新疆地区的人类活动强度

1.3 地理数据及软件来源

本研究所用的中国行政区划矢量图,来源于国家基础地

理信息系统网站,地址为 <http://nfgis.nsd.gov.cn><sup>[17]</sup>。本研究应用的 MaxEnt 生态位模型是由 Phillips 于2004 年构建

的用于预测物种分布的技术方法,目前在生态学领域中被广泛使用<sup>[18]</sup>。应用的 MaxEnt 软件版本为 3.3.3k 版,获取地址为 <http://www.Cs.princeton.edu/~schapire/maxent/><sup>[19]</sup>。ArcGIS 空间技术平台是美国 ESRI 公司研发的一套完整的 GIS 产品,本研究使用的 ArcGIS 软件版本为 10.2.2 版<sup>[20-21]</sup>。

1.4 数据处理

1.4.1 模型构建 将意大利苍耳地理分布数据和 19 个生物气候变量及人类活动强度数据导入 MaxEnt 软件中,随机选取 75% 的意大利苍耳分布点作为训练集 (testing data), 剩余的 25% 作为测试集 (training data)<sup>[22-23]</sup>。在模型中运用刀割法 (Jackknife) 测定各环境变量所占的权重,并创建环境变量响应曲线,模型的其余参数均选择默认值<sup>[24]</sup>。采用“percentile training persence logistic threshold”(即百分位训练逻辑阈值)进行重分类操作。本研究模型模拟结果的评价标准规定为受试者操作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, 简称 ROC 曲线) 下方面积值,即 AUC 值 (area under curve, 中文为曲线下面积) 为判据来评价模型模拟结果<sup>[25]</sup>。ROC 曲线可由 MaxEnt 模型自动生成,不同的 AUC 值代表了不同的预测结果 (表 2)。

表 2 AUC 评价标准

AUC 取值范围	评价标准
$0.5 \leq AUC < 0.6$	失败
$0.6 \leq AUC < 0.7$	较差
$0.7 \leq AUC < 0.8$	一般
$0.8 \leq AUC < 0.9$	好
$0.9 \leq AUC < 1.0$	优秀

1.4.2 适生区划 使用 MaxEnt 模型对意大利苍耳的潜在分布区进行适生区划,将模型输出的结果 (ASCII 文件) 导入 ArcGIS 软件转换成浮点型栅格数据,进行重分类操作<sup>[26]</sup>。再通过自然间断点分级法 (Jenks) 基于生态相似度划分成 4 个等级:0~0.40 为不适宜区,0.40~0.60 为次适宜区,0.60~0.80 为适宜区,0.80~1.00 为最适宜区<sup>[27]</sup>,并确定意大利苍

耳生态适宜分布区与行政归属范围。

2 结果与分析

2.1 MaxEnt 模型预测结果检测

ROC 曲线分析法是指通过计算曲线下方的面积即 AUC 值的大小来判断模型模拟的精确度<sup>[28]</sup>。本研究的预测结果显示,训练集的 AUC 值为 0.986,测试集的 AUC 值为 0.981 (图 3)。表明 MaxEnt 模型的预测结果达到优秀水平,此次预测的地理分布结果与实际分布区域的相符度较高,预测结果可用于意大利苍耳的适生区划<sup>[29]</sup>。

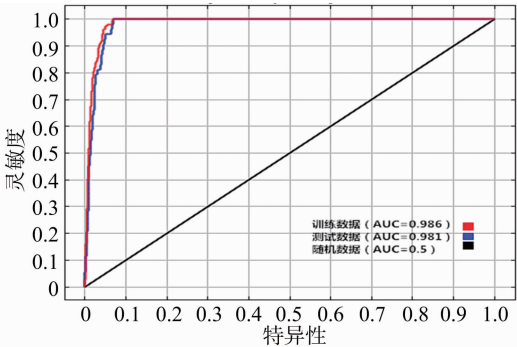


图 3 意大利苍耳潜在分布区预测结果的 ROC 曲线验证

2.2 意大利苍耳在新疆的潜在分布预测

预测结果如图 4 所示,意大利苍耳在新疆的适宜生境主要分布在天山以北,大致呈现以伊犁地区和博州地区为中心,向东北方向辐射状扩散分布。最适宜区主要包括伊犁地区、博州地区、阿勒泰地区。适宜区和次适宜区主要包括塔城地区、昌吉市、石河子市、乌鲁木齐市、五家渠市、克拉玛依市、北屯市、巴州北部及阿克苏中部。将 MaxEnt 模型预测的意大利苍耳潜在分布区与实际分布点进行比较,笔者发现意大利苍耳在新疆的分布并未饱和,即将在新疆北部进入一个快速扩散阶段,且除了已知分布的地区外,塔城地区、五家渠市、克拉玛依市、北屯市、巴州北部及阿克苏中部等地的意大利苍耳生

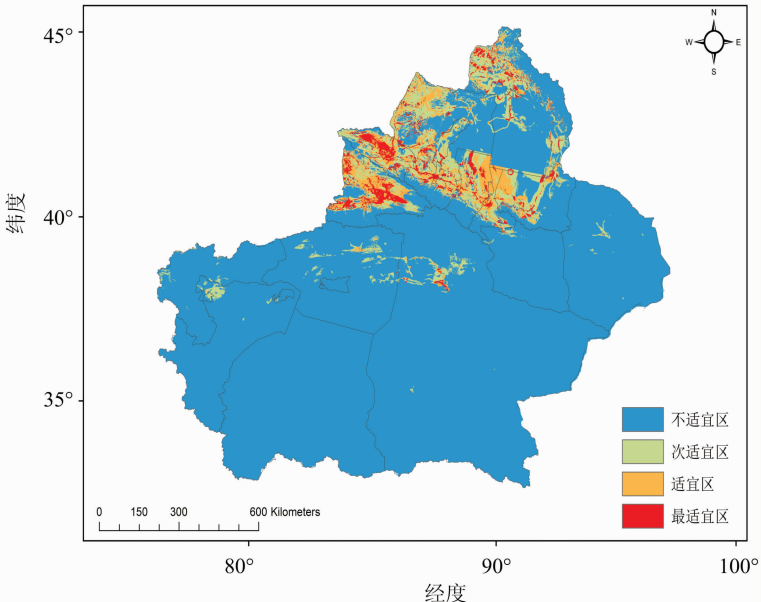


图 4 意大利苍耳在新疆的潜在适生区

境适合度较高,预示了这些地区具有极高的入侵风险。可以较早地做好防范和控制措施,以有效防止入侵物种意大利苍耳向潜在栖息地蔓延。应该针对意大利苍耳的适生区建立 2 条隔离监测带,第 1 条建立在塔城地区和克拉玛依市,预警和控制意大利苍耳继续向东北方向扩散蔓延;第 2 条建立在天山南北分界线附近,预防意大利苍耳扩散至天山以南的区域,通过系统的监测抑制该物种在新疆的进一步扩散<sup>[30-31]</sup>。

2.3 主导环境变量分析

在 MaxEnt 模型运行时开启刀割法,运行结果可以显示不同的生态因子在影响意大利苍耳生长适宜度中所占的权重

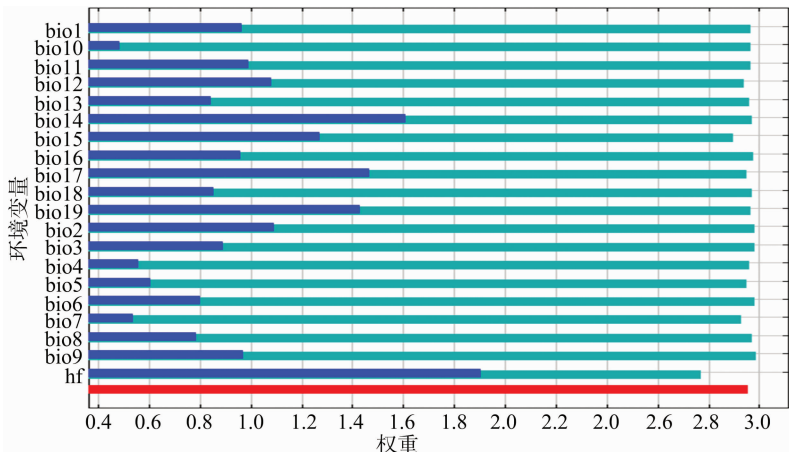


图5 MaxEnt 模型刀割法测定各变量权重结果

表 3 主要变量对预测的贡献率

变量	对预测的贡献率 (%)
hf_v2geo(人类活动强度)	40.0
BIO14(最干月降水量)	38.1
BIO6(极端最低温)	6.7
BIO7(年温度变化范围)	6.0
BIO4(温度季节性变化)	1.7
BIO15(降水量的季节性变化)	1.4
BIO1(年平均温)	1.3
BIO5(极端最高温)	1.3
BIO11(最冷季平均温度)	1.0

3 讨论与结论

本研究利用生态位模型(MaxEnt)和地理信息系统(ArcGIS)定量地反映了外来入侵植物意大利苍耳在新疆的潜在分布及扩散趋势,评估了影响其潜在分布的主导环境因子,对保护新疆的生物多样性和预防控制入侵种意大利苍耳的扩散有重要的研究意义。MaxEnt 模型检测结果显示:训练集的 AUC 值为 0.986,测试集的 AUC 值为 0.981,模型的预测结果达到优秀水平(0.9≤AUC<1.0),表明模型预测的地理分布与意大利苍耳实际分布的拟合度较高。

适生区预测结果显示,意大利苍耳在新疆北部适生区非常广泛,分布未达到饱和,即将在新疆北部进入一个快速扩散阶段,大致呈现以伊犁地区和博州地区为中心,向东北方向辐射状扩散分布。适生区划结果为:最适宜区主要包括伊犁地

(图 5)。由表 3 可知,影响意大利苍耳潜在分布的主导环境因子有 hf\_v2geo(人类活动强度)、BIO14(最干月降水量)、BIO6(极端最低温)、BIO7(年温度变化范围)、BIO4(温度季节性变化),贡献率分别为 40.0%、38.1%、6.7%、6.0%、1.7%,贡献率总和为 92.5%。其中,hf\_v2geo(人类活动强度)的贡献率最高,为 40.0%,BIO14(最干月降水量)的贡献率次之,为 38.1%,说明人类活动强度是影响外来入侵种意大利苍耳潜在分布的决定因子,最干月降水量是次要因子。由此分析可知,意大利苍耳在新疆的扩散蔓延与人类的活动呈正相关<sup>[32-34]</sup>。

区、博州地区、阿勒泰地区;适宜区和次适宜区主要包括塔城地区、昌吉市、石河子市、乌鲁木齐市、五家渠市、克拉玛依市、北屯市、巴州北部及阿克苏中部,且除了已知分布的地区外,塔城地区、五家渠市、克拉玛依市、北屯市、巴州北部及阿克苏中部等地的意大利苍耳生境适合度较高,预示了这些地区具有极高的入侵风险,此结果对外来物种意大利苍耳的扩散风险研究具有重要的意义。可以较早地做好防范措施从而有效防止入侵物种往潜在的适生区蔓延,应该针对意大利苍耳的适生区建立 2 条隔离监测带,第 1 条建立在塔城地区和克拉玛依市,预警和控制意大利苍耳继续向东北方向扩散蔓延;第 2 条建立在天山南北分界线附近,预防意大利苍耳扩散至天山以南的区域,通过系统的监测抑制该物种在新疆的进一步扩散。

刀割法检验结果显示:hf\_v2geo(人类活动强度)、BIO14(最干月降水量)、BIO6(极端最低温)、BIO7(年温度变化范围)、BIO4(温度季节性变化贡献率)的分别为 40.0%、38.1%、6.7%、6.0%、1.7%,5 种因子影响意大利苍耳的潜在分布的贡献率高达 92.5%。其中,hf\_v2geo(人类活动强度)的贡献率最高,为 40.0%,BIO14(最干月降水量)的贡献率次之,为 38.1%,说明人类活动强度是影响外来入侵种意大利苍耳潜在分布的决定因子,最干月降水量是次要因子。由此分析可知,意大利苍耳在新疆的扩散蔓延与人类的活动密切相关,这也证实了意大利苍耳在我国的扩散与人类活动密切相关的研究成果<sup>[1]</sup>。

由于意大利苍耳在我国的蔓延与人类活动呈正相关,因此在适生区尤其是人类活动频繁的适生区要加强对意大利苍耳的监测,如旅游区、城市周边工厂区和校园等。对于刚开始

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。防治意大利苍耳的入侵,重在预防,但也要做到“防”“治”并施,防止其对生态环境的破坏。当然还有一些其他对意大利苍耳潜在分布有影响的因子在本研究中未考虑到,如河流、植被、种间竞争、生物相互作用等,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:

- [1]王 瑞,万方浩. 外来入侵植物意大利苍耳在我国适生区预测[J]. 草业学报,2010,19(6):222-230.
- [2]刘慧圆. 北京地区外来入侵植物意大利苍耳的生态学研究[D]. 北京:北京师范大学,2009.
- [3]李 楠,朱丽娜,翟 强,等. 一种新入侵辽宁省的外来有害植物——意大利苍耳[J]. 植物检疫,2010,24(5):49-52.
- [4]张佳期,周守标,高香琴,等. 石首麋鹿国家级自然保护区外来入侵植物种的分析[J]. 杂草学报,2017,35(1):36-41.
- [5]杨照渠,王珍彩,郑春明,等. 漩门湾湿地外来植物入侵调查[J]. 杂草学报,2018,36(2):10-15.
- [6]左然玲,蒋 湘. 外来入侵杂草——北美刺龙葵[J]. 杂草学报,2018,36(3):1-4.
- [7]车晋溪,胡 彬. 外来入侵杂草意大利苍耳[J]. 杂草科学,2007(2):58-59,57.
- [8]杜珍珠,徐文斌,阎 平,等. 新疆苍耳属 3 种外来入侵新植物[J]. 新疆农业科学,2012,49(5):879-886.
- [9]邵 华,邵凤娇,韩彩霞. 外来植物意大利苍耳入侵对土壤微生物的影响及其生态效应[C]//中国第七届植物化感作用学术研讨会. 中国第七届植物化感作用学术研讨会会议指南及论文摘要集,2015.
- [10]邵凤娇,朱珣之,韩彩霞,等. 外来入侵植物意大利苍耳对土壤微生物群落、土壤酶活性和土壤养分的影响[J]. 生态科学,2016,35(4):71-78.
- [11]迪丽达尔·亚森江. 伊犁地区入侵植物物种的适生区分析及其风险评估[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2014.
- [12]邵凤娇. 外来入侵植物意大利苍耳的化感作用[D]. 北京:中国科学院大学,2015.
- [13]Lemke D, Hulme P E, Brown J A, et al. Distribution modelling of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*) invasion in the Cumberland Plateau and Mountain Region, USA[J]. Forest Ecology and Management, 2011, 262(2):139-149.
- [14]Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4):231-259.
- [15]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.
- [16]Andereon R P, Raza A. The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela [J]. Journal of Biogeography, 37(7):1378-1393.
- [17]谢新锐,李亭亭,汪正祥,等. 基于 GIS 与 MAXENT 模型分析的国家公园传统用地适宜性评价及应用研究——以神农架国家公园为例[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2017, 39(5):437-443, 450.
- [18]宗 敏,韩广轩,栗云召,等. 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[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6):1833-1842.
- [19]张 路. MAXENT 最大熵模型在预测物种潜在分布范围方面的应用[J]. 生物学通报, 2015, 50(11):9-12.
- [20]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 [J]. Aquatic Procedia, 2015, 4:1047-1053.
- [21][ Bjornlie D D, Thompson D J, Haroldson M A, et al. Methods to estimate distribution and range extent of grizzly bears in the Greater Yellowstone Ecosystem[J]. Wildlife Society Bulletin, 2014, 38(1):182-187.
- [22]王茹琳,李 庆,封传红,等. 基于 MaxEnt 的西藏飞蝗在中国的适生区预测[J]. 生态学报, 2017, 37(24):1-11.
- [23]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.
- [24]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.
- [25]吴晓雯,罗 晶,陈家宽,等. 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[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4):576-584.
- [26]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[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(7):172-176.
- [27]李丽鹤,刘会云,林振山,等. 基于 MAXENT 和 ZONATION 的加拿大一枝黄花入侵重点监控区确定[J]. 生态学报, 2013, 37(9):3130-3133.
- [28]张春华,和 菊,孙永玉,等. 基于 MaxEnt 模型的紫椿适生区预测[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(8):33-41.
- [29]张熙鹭,隋晓云,吕 植,等. 基于 Maxent 的两种入侵性鱼类(麦穗鱼和鲫)的全球适生区预测[J]. 生物多样性, 2014, 22(2):182-188.
- [30]徐正浩,王一平. 外来入侵植物成灾的机制及防除对策[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3):124-127.
- [31]曾 辉,黄冠胜,林 伟,等. 利用 MaxEnt 预测橡胶南美叶疫病菌在全球的潜在地理分布[J]. 植物保护, 2008, 34(3):88-92.
- [32]杨 波,薛跃规,唐小飞,等. 外来入侵植物飞机草在中国的适生区预测[J]. 植物保护, 2009, 35(4):70-73.
- [33]许志东,丁国华,刘保东,等. 假苍耳的地理分布及潜在适生区预测[J]. 草业学报, 2012, 21(3):75-83.
- [34]张 雪,李白尼,魏 武,等. 外来入侵害虫橄榄果蝇 *Bactrocera oleae* 在中国的适生区预测[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2011, 50(1):89-91, 98.