

外来入侵植物刺萼龙葵在我国的分布格局 与早期监测预警

王瑞¹, 唐瑶^{1,2}, 张震², 万方浩^{1*}

¹中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害国家重点实验室, 北京 100193;

²安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036

摘要:【目的】刺萼龙葵是 20 世纪 80 年代入侵我国的检疫性外来植物, 目前已在东北和西北地区广泛分布并对农牧业生产造成极大危害, 急需明确其时空分布格局和潜在扩散动态, 为其早期监测预警提供依据。【方法】首先, 利用实地调查、标本和文献查询途径获得的地理分布信息重建刺萼龙葵在我国的扩散历史和分布格局; 其次, 通过物种分布模型预测其潜在的分布区; 最后, 融合时空动态和潜在的扩张趋势, 利用空间分析模型划定早期监测预警的区域。【结果】刺萼龙葵最早于 1980 年在辽宁省朝阳市被发现, 其后不断沿河流和公路等扩散蔓延。2000 年以后相继在内蒙古、北京、河北、吉林以及新疆等省区发现其入侵种群。截至目前, 已扩散到了 7 个省的 54 个县区。适生区预测结果表明, 其在我国存在广阔的潜在分布区, 目前还处在快速扩散阶段, 没有达到饱和阶段。【结论】刺萼龙葵在我国还处在快速扩散阶段, 远没有达到饱和, 华北平原是其潜在扩散的高风险区, 建议加强对其扩散前沿带包头、张家口、北京、秦皇岛一线的监测力度, 以抑制其进一步扩散蔓延。

关键词: 刺萼龙葵; 分布格局; 早期监测预警

The distribution pattern and early monitoring for preventing further expansion of *Solanum rostratum* in China

WANG Rui¹, TANG Yao¹, ZHANG Zhen^{1,2}, WAN Fanghao^{1*}

¹ State Key Laboratory for Biology and Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; ² College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China

Abstract: 【Aim】 *Solanum rostratum* Dunal, a quarantine weed, invaded China in 1980s. *S. rostratum* has become widely distributed in northeast and northwest of China and is causing huge damage to the local agricultural production. It is imperative to identify its geographic distribution pattern and dispersal potential to establish effective management measures and prevent further invasion. 【Method】 Here, we first reconstructed the historical invasion process of *S. rostratum* in China based on field investigations, herbarium records, and published literature. Secondly, Maxent ecological niche modeling was applied to predict the potential distribution of *S. rostratum* in China. Finally, the high risk areas for potential invasion were identified. 【Result】 *S. rostratum* first invaded Chaoyang County, Liaoning Province, northeast China in 1980. It then spread along the road and rivers to the neighboring regions. After 2000, it was found in the Jilin, Neimenggu, Xinjiang, Hebei provinces. Until now, it invaded 54 counties in 7 provinces. Maxent modeling prediction showed that there is a large area suitable for survival of *S. rostratum* in China. 【Conclusion】 Its invasion process showed that it is still in the expansion phase and has not yet occupied all climatic suitability areas in China. North China plain were identified as high risk for potential expansion. Monitoring should be enforced where current invasion front and high risk areas are found, such as in the regions along the Baotou, Zhangjiakou, Beijing and Qinhuangdao, to find the invaded populations as early as possible and prevent or mitigate its expansion toward neighboring areas.

Key words: *Solanum rostratum*; distribution pattern; early monitoring and warning

收稿日期 (Received): 2018-09-03 接受日期 (Accepted): 2018-10-11

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC1200800); 国家自然科学基金 (31471827); 国家科技支撑计划课题 (2015BAD08B03)

作者简介: 王瑞, 男, 副研究员。研究方向: 入侵物种的时空扩散机制与早期监测预警。E-mail: wangrcas@163.com

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: wanfanghao@caas.cn

刺萼龙葵 *Solanum rostratum* Dunal 又名刺茄、黄花刺茄、尖嘴茄和堪萨斯蓟,原产北美洲,最早于20世纪80年代传入我国,其后在我国不断扩散蔓延(李振宇和解焱,2002;马金双,2013),目前已经扩散到了河北、辽宁、北京、吉林、内蒙古、山西和新疆等地,对当地的生态系统造成了极大危害(车晋滇等,2006;郭晓艳等,2012;贺俊英等,2011)。在最近的20年,我国已对其开展了大量的研究,涉及生物生态学特性(车晋滇等,2006;陈天翌等,2013;贺俊英等,2011;向俊等,2011;张少逸等,2011;张丽娟和娄安如,2018;张延菊等,2010)、检验检疫(刘勇等,2011)、危害(刘宁等,2011;曲波等,2011b;王维升等,2005;周明冬等,2009)、防治技术(曲波等,2011a;赵晓英等,2007;祝明炜等,2011)、风险评估(张延菊等,2009;钟良平等,2009)等方面。通过这些研究揭示了刺萼龙葵入侵我国后的生物生态学适应性,建立了化学防治、综合替代等技术,明确了它们对土著物种的竞争替代机制等。而对于其地理分布格局及其时空扩散蔓延规律的研究相对较少。刺萼龙葵具有极强的繁殖能力,一旦定殖就会造成极大危害,在其入侵的早期进行及时防控是最有效的,但是,外来物种在入侵的早期种群密度较小,不易被发现,如何才能尽早地监测到小种群是实现入侵生物早期监测预警的关键(万方浩等,2010;Simberloff *et al.*, 2013)。基于此,本研究采用入侵物种扩散动态重建,分析其传入和扩散的路线途经等,结合其潜在适生区的分布,在扩散的前沿带划定重点监测的区域,从而提高种群监测的效率,为实现早期监测预警提供基础。

1 材料与方法

1.1 数据收集与处理

刺萼龙葵在全球的分布数据主要通过 GBIF 数据库(<http://data.gbif.org/>)获取。首先,利用 R 语言 *dismo* 等程序包从 GBIF 数据库下载刺萼龙葵的分布信息数据;然后,对下载的数据进行删重、核对、矫正、坐标化等处理形成包含地理坐标的刺萼龙葵分布点文件(.csv)。刺萼龙葵在中国的分布数据主要来源于实地调查、标本、文献等。所获得数据基本包括了当前刺萼龙葵在中国的分布状况。

1.2 入侵历史过程重建

从国家基础地理信息系统(<http://nfgis.nsd.gov.cn>)下载获得 1:400 万的中国行政区划图。以

县级行政区划为空间单位统计刺萼龙葵在中国的扩散。标本和文献记录都是物种在某地生长的有力证据,并假定标本和文献记录时间为其最早入侵时间(王瑞等,2010)。对于行政区域内,有明确记录的地点,其后出现的入侵记录不予重复采用,构建基于县级和乡镇边界为基本空间单位的时空分布数据。利用 ArcGIS 软件,从 1980 年起,以县级行政区划为空间单位,以 10 年为一个时间段,绘制刺萼龙葵在中国时空扩散过程系列分布图。同时,统计不同年份分布点的数量,绘制出分布点随时间变化曲线,判定其入侵点的时空变化趋势。

1.3 适生区预测与早期监测预警

物种分布模型已被广泛用于外来入侵物种适生区预测(Guisan & Thuiller, 2005; Oberhauser & Peterson, 2003; Peterson & Vieglais, 2001)。其基本原理是根据物种的已知分布数据构建模型模拟其适应的环境梯度进而投影到目标地区预测物种的潜在分布区。本研究采用当前入侵植物适生区预测研究中应用最多的最大熵模型 Maxent 3.3.3 版(<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>)预测刺萼龙葵在中国的适生区。按照 Maxent 模型的运算步骤开展分析(Phillips *et al.*, 2006)。首先,读取刺萼龙葵的地理分布数据和环境数据。地理分布数据源于其在原产地和全球的入侵地分布数据。气候数据下载自 Worldclim 数据集,包括海拔、气温、降雨等 20 个环境因子(<http://www.worldclim.org>),空间分辨率为 5';其次,采用刀切法来分析 20 个环境因子对物种分布的影响,从而选取影响物种分布的关键因子;然后通过模型评价指标(如 receiver operating characteristic curve, ROC)评估模型的可靠性;最后,把模型的运算结果投影到中国,并对适生性预测值进行风险区划,从而生成适生性风险地图。再把上述构建的最优模型投影到中国预测其适生区并生成适生性风险等级图。环境因子刀切法分析、适生性风险等级生成的方法和步骤详见王瑞等(2016)的研究方法。

通过比较已知分布区与潜在分布区的大小明确其未来的扩散趋势,进而根据其历史扩散特性划定重点监测区域(距离)。

2 结果与分析

2.1 刺萼龙葵在我国的地理分布格局及其时空动态

由图 1 可见,刺萼龙葵自从 1980 年在辽宁省朝阳

市被发现以来,相继在其邻近的地区扩散蔓延,2000 年以前主要分布在以最早发现地为中心的朝阳市和建平县等地区。进入 21 世纪,刺萼龙葵开始进入快速扩散阶段,相继在内蒙古赤峰市和乌兰浩特市、河北省承德市和张家口市、北京市的密云县、吉林省白城和通辽等地发现刺萼龙葵,同时在新疆的乌鲁木齐也发现了刺萼龙葵。2010 年之后,刺萼龙葵在已经入侵的区域继续扩散蔓延,同时,在内蒙古呼和浩特市、乌兰察布市、包头市,山西省高阳县,北京市门头沟、延庆、怀柔,辽宁省大连市、沈阳市等地相继发现刺萼龙葵,在新疆也扩散到了吐鲁番、昌吉、石河子等地。截至 2017 年,刺萼龙葵已经扩散到了辽宁、吉林、内蒙古、河北、北京、山西和新疆 7 省区的 54 个县区。

刺萼龙葵在我国的分布呈现出以辽宁省朝阳

市、内蒙古赤峰市、内蒙古乌兰浩特和吉林省白城市、北京市、河北省张家口市、内蒙古呼和浩特市、内蒙古包头市为中心的分布和扩散模式,这些地区刺萼龙葵在空间上呈聚集分布,分布点较为密集。内蒙古通辽市和乌兰察布市、辽宁省沈阳市和大连市、河北省承德市的分布点相对密集。总体上刺萼龙葵在我国呈现出以地区经济发展中心城市为中心的聚集分布和扩散模式。

刺萼龙葵在我国的分布点随时间变化趋势统计分析结果显示,刺萼龙葵在我国的入侵呈现出指数增长的趋势,在入侵的早期其分布点的增加较为缓慢(约 1 个·年⁻¹),其后起分布点快速增加(约 8 个·年⁻¹),目前还处在快速增长阶段(图 2)。

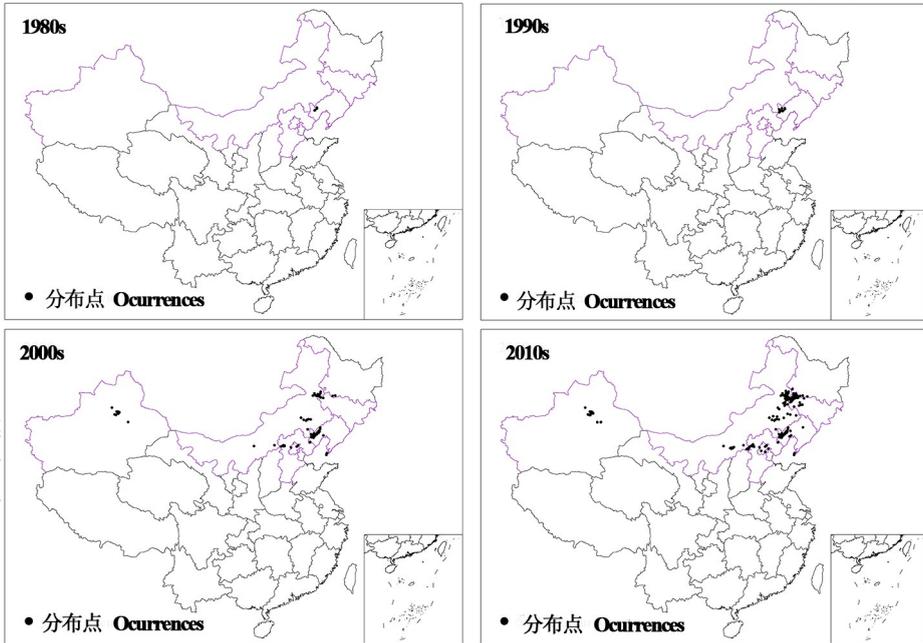


图 1 刺萼龙葵在我国不同时间的空间分布图

Fig.1 Geographic distribution of *S. rostratum* in different years

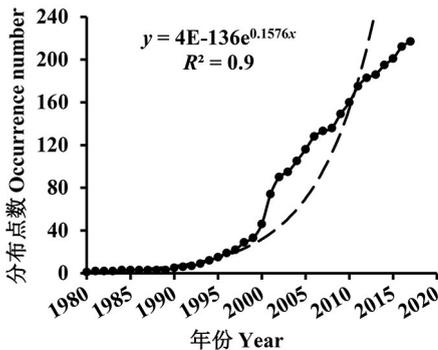


图 2 刺萼龙葵分布点随年份变化曲线

Fig.2 The cumulative number of invaded occurrences of *S. rostratum* over time

2.2 刺萼龙葵在我国潜在适生区预测与早期监测预警

刺萼龙葵生态位模型环境参数刀切法分析表明,年平均温度(bio1)、平均月温差(bio2)、昼夜温差与年温差比值(bio3)、最湿季平均温度(bio8)、最冷季平均温度(bio11)、年降水(bio12)对模型的贡献率最高,是影响刺萼龙葵分布的关键因素,因而被用来建立最终模型,预测刺萼龙葵在我国的适生区。利用上述筛选的环境变量和原产地分布数据构建的模型模拟环境生态位投影到全球,模型的评

价指标 (ROC) 曲线下的面积 (area under curve, AUC) 的值为0.887, 远高于随机预测值 0.5, 表明本研究建立的 Maxent 模型的预测能力较强, 能够很好地拟合物种已知分布区的环境生态位。进而把该模型投影到中国, 并按照适生性等级的划分方法对预测值进行分级以生成适生性等级图, 把区划后的适生性等级图与行政区划叠加后得出刺萼龙葵在中国的适生性风险预测图 (图 3)。预测结果显示, 刺萼龙葵在我国的潜在分布区极广, 其高度适生区包括东北地区的黑龙江南部部分地区、辽宁和吉林东部, 华北地区的内蒙中部、河北、天津和北京, 西北地区的新疆部分地区、甘肃南部和宁夏, 华中地区山西和陕西, 华东地区上海和浙江部分地区, 西南地区的四川中东部、云南、重庆和贵州等地部分

地区, 华南地区的广西北部部和广东北部部分地区。中度适生区包括新疆中南部、内蒙古东北部、黑龙江北部、江苏、安徽、河南和湖北及青海、西藏等地少量地区。不适生区包括海南、广东南部、广西南部、西藏大部、青海大部及新疆部分地区。

综合比较刺萼龙葵在我国的适生区与当前分布区, 刺萼龙葵在我国还存在广阔的未入侵区, 鉴于其已经扩散到了预测适生区的北部边缘, 向北进一步扩散的风险相对较低, 向南扩散的风险相对较高, 而且目前已经进入了华北平原的北部, 应该在张家口、北京、秦皇岛一线建立扩散前沿监测带, 同时在各个分布聚集区的边缘点带, 尤其是新入侵地如乌兰察布、大连、沈阳等地开展早期监测预警, 在入侵的早期进行控制以阻止其进一步扩散蔓延 (图 3)。

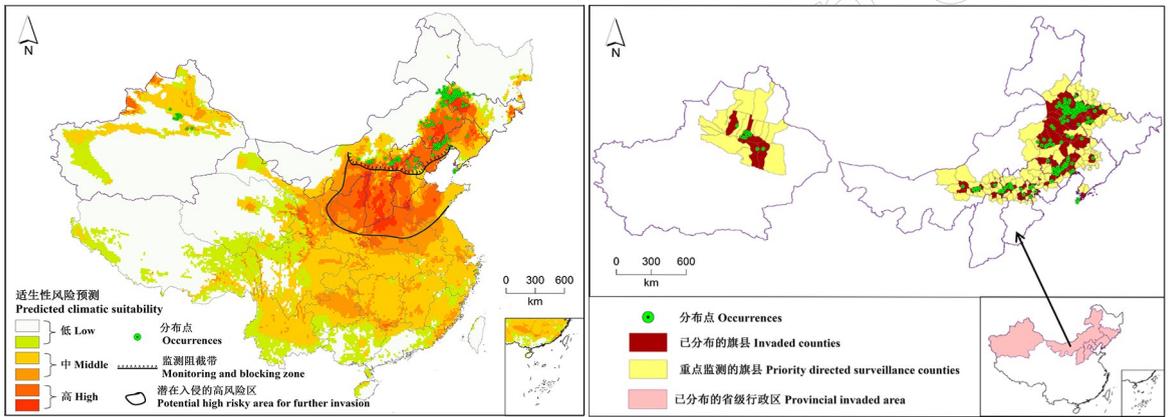


图 3 刺萼龙葵在我国的风险区划、阻截带和重点监测区域示意图

Fig.3 Schematic diagram of potential risk regionalization and target areas for preventing further expansion of *S. rostratum* in China

3 讨论

3.1 刺萼龙葵在中国的传入和扩散途径及其地理分布格局变化的驱动力

19 世纪末年开始在西欧 (如法国等) 发现刺萼龙葵入侵种群。截至目前, 在欧洲、亚洲、澳洲、非洲、南美洲等地区的多个国家都有分布。我国大陆地区的最早发生点在辽宁省朝阳市, 这与全球已知的分布点中最近的日本分布点相距也有数千公里且有海洋阻隔。我国没有引进刺萼龙葵的历史记录, 刺萼龙葵在我国的入侵可能是由于人类活动的无意携带而导致的。刺萼龙葵在辽宁朝阳市的最早发生点位于某面粉厂的附近, 且该面粉厂在 20 世纪 80 年代有加工美国进口小麦的历史, 其在朝阳市的入侵种群可能是由于进口粮谷中携带的种子逃

逸到自然生境而形成的 (关广清等, 1984)。此外, 标本记录显示同一时期在刺萼龙葵的最早发生地还采集到了其他茄科的外来植物如腺龙葵 *Solanum nigrum* L.。刺萼龙葵在我国新疆的最早发现地位于乌鲁木齐某种羊场的附近, 而且在发生之前有从澳大利亚进口种羊的历史, 这可能是导致刺萼龙葵入侵该地区主要原因 (林玉和谭敦炎, 2007)。因此, 刺萼龙葵入侵我国东北和西北地区均是通过贸易等途径人为无意携带, 进而扩散蔓延形成我国东北和西北 2 个大区的隔离分布。随着我国经济的发展, 进出口贸易量正在以前所未有的速度增加, 未来应该加强检疫以及进口货物目的地的监测。此外, 我国新疆地区的刺萼龙葵是否由国内物流从东北地区传入还需要做进一步研究。

刺萼龙葵在我国的地理分布格局及其时空动

态变化表明其入侵辽宁和新疆后逐步扩散蔓延。在东北大区,刺萼龙葵已经扩散到了辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区、北京市、河北省和山西省的 50 余个县区,同时其分布点呈以朝阳市、乌兰浩特市、赤峰市、白城市、呼和浩特市、张家口市为聚集中心的分布格局,而且近年来又入侵到了沈阳市、大连市、乌兰察布市、包头市。在新疆地区刺萼龙葵也同样形成了以乌鲁木齐和昌吉为中心分布格局,同时又扩散到了石河子、吐鲁番地区。因此,刺萼龙葵在我国主要呈跳跃式扩散模式,长距离扩散应该是多中心隔离式分布格局的主要因素。物种长距离扩散的诱导因素有很多,如风力、水流、人类活动携带的繁殖体的扩散(徐承远等, 2001)。结合刺萼龙葵在我国的分布特点,尤其是如北京市、张家口市、宣化县、万全县、阳高县、察右前旗、土左旗、固阳县等最早入侵点均主要分布在铁路、路边,推断其种子随车辆、物流等人类活动扩散。此外,河流也是其扩散蔓延的主要驱动力,如刺萼龙葵在朝阳市、新疆乌鲁木齐市、张家口市等的入侵都是由于其种子随水流扩散而导致的。因此,人类活动是刺萼龙葵在我国远距离跨区域扩散的主要驱动力,而水流等自然因素会促进其区域内的扩散蔓延。刺萼龙葵在我国入侵的东北、内蒙古、新疆等地多属于干旱地区,河流是影响当地农牧业发展的主要因素,刺萼龙葵在这些地区的扩散蔓延对当地生态的影响更大。因此,未来应该定量评估人类活动如何影响刺萼龙葵的扩散蔓延,从而构建基于种群繁殖和扩散参数的机理模型,预测其未来的时空动态,以期指导早期监测预警和防控。

3.2 刺萼龙葵在我国的潜在扩散风险区划与早期监测预警

适生区预测结果表明,刺萼龙葵在我国存在广阔的适生区。在东北和华北地区,刺萼龙葵适生区的北缘与其当前分布区基本重合,进一步向北扩散的潜力不大。而向华北地区扩散蔓延的潜力较大,从当前分布区向南扩散进入华北平原的机率很高。首先,华北平原是其气候适生区,一旦传入极易定殖;其次,紧邻其当前分布区,可为其繁殖体的扩散提供机会;同时,这一地区也是我国公路网路和人类活动较为密集的地区,会为刺萼龙葵的扩散蔓延提供机会。在新疆地区,刺萼龙葵的适生性等级相对较低,但是应该密切关注其已分布区的边缘地

区,由于新疆地区的荒漠化生态系统极其脆弱,刺萼龙葵一旦入侵就会造成极大的危害,这一地区的监测应该集中在已分布区的边缘地带,尤其是河流和公路地带。

总之,刺萼龙葵入侵我国后经过将近 40 年的扩散蔓延,已经对我国的农牧生态系统和生物多样性保护构成了极大威胁,未来还会向华北平原扩散蔓延。因此,刺萼龙葵在我国的扩散形势较为严峻,应当引起相关部门的重视,如不及时采取有效措施,可能进入一个危险的快速扩散阶段。建议在当前分布区的前沿带划定扩散监测阻截带,开展定期的监测、排查等,一旦发现刺萼龙葵的入侵,立即铲除。由于刺萼龙葵的种子有休眠机制,因此应进行多年追踪调查和铲除。刺萼龙葵主要靠种子进行远距离传播,应对国内调运的种子进行检查,防止人为传播扩散。

参考文献

- 车晋滇,刘全儒,胡彬,2006. 外来入侵杂草刺萼龙葵. *杂草科学* (3): 58-60.
- 陈天翌,刘增辉,娄安如,2013. 刺萼龙葵种群在中国不同分布地区的表型变异. *植物生态学报*, 37(4): 344-353.
- 关广清,高东昌,李文耀,叶金,辛孝贵,李树德,1984. 刺萼龙葵——一种检疫性杂草. *植物检疫* (4): 25-28.
- 郭晓艳,张精哲,郭卫东,陆超,2012. 外来入侵植物——黄花刺茄的生物学特性、危害与防控. *内蒙古林业调查设计*, 35(6): 73-75.
- 贺俊英,哈斯巴根,孟根其其格,胡美珠,2011. 内蒙古新外来入侵植物——黄花刺茄 (*Solanum rostratum* Dunal). *内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版)*, 40(3): 288-290.
- 李振宇,解焱,2002. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社.
- 林玉,谭敦炎,2007. 一种潜在的外来入侵植物: 黄花刺茄. *植物分类学报*, 45(5): 675-685.
- 刘宁,刘玉升,付卫东,张国良,2011. 外来刺萼龙葵与本地龙葵的比较. *杂草科学*, 29(3): 11-13.
- 刘勇,廖芳,杨秀丽,刘鹏,牛春敬,黄国明,2011. 重要检疫性杂草刺萼龙葵分子生物学检测的研究. *植物检疫*, 25(2): 51-54.
- 马金双,2013. 中国入侵植物名录. 北京: 高等教育出版社.
- 曲波,王承旭,赵丹,张国良,付卫东,陈旭辉,李天来,2011a. 3 种除草剂对苗期刺萼龙葵的防除试验. *草业科学*, 28(4): 614-617.
- 曲波,祝明炜,杨红,李楠,陈旭辉,张国良,付卫东,李天来,2011b. 辽宁省刺萼龙葵入侵区和未入侵区土壤真菌

- 多样性研究. 草业学报, 20(3): 298-302.
- 万方浩, 彭德良, 王瑞, 2010. 生物入侵: 预警篇. 北京: 科学出版社.
- 王瑞, 洗晓青, 万方浩, 2016. 北美刺萼龙葵在中国的适生区预测. 生物安全学报, 25(2): 106-113.
- 王瑞, 王印政, 万方浩, 2010. 外来入侵植物一年蓬在中国的时空扩散动态及其潜在分布区预测. 生态学杂志, 29(6): 1068-1074.
- 王维升, 郑红旗, 朱殿敏, 姜宗辉, 王宇飞, 2005. 有害杂草刺萼龙葵的调查. 植物检疫, 19(4): 247-248.
- 向俊, 李翠妮, 刘全儒, 周云龙, 孙乐, 毛春明, 梁前进, 2011. 北京外来入侵植物刺萼龙葵的生态状况. 生态学杂志, 30(3): 453-458.
- 徐承远, 张文驹, 卢宝荣, 陈家宽, 2001. 生物入侵机制研究进展. 生物多样性, 9(4): 430-438.
- 张丽娟, 娄安如, 2018. 入侵植物刺萼龙葵的繁殖保障及其与种群大小的关系. 北京师范大学学报(自然科学版), 54(4): 491-497.
- 张少逸, 魏守辉, 张朝贤, 黄红娟, 崔海兰, 李香菊, 王金信, 2011. 刺萼龙葵种子休眠和萌发特性研究进展. 杂草科学, 29(2): 5-9.
- 张延菊, 曲波, 董淑萍, 董文轩, 2009. 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(6): 22-24, 47.
- 张延菊, 曲波, 刘更林, 白艳伟, 董文轩, 2010. 外来入侵有害植物刺萼龙葵(*Solanum rostratum* Dunal.) 幼苗的形态学特征初步研究. 种子, 29(3): 51-55, 59.
- 赵晓英, 马晓东, 徐郑伟, 2007. 外来植物刺萼龙葵及其在乌鲁木齐出现的生态学意义. 地球科学进展, 22(2): 167-170.
- 钟良平, 沈文君, 万方浩, 王进军, 2009. 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, 28(1): 162-166.
- 周明冬, 刘淑华, 符桂华, 周泽容, 2009. 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(1): 56.
- 祝明炜, 曲波, 杨红, 陈旭辉, 王承旭, 付卫东, 张国良, 2011. 刺萼龙葵不同生育期根际土壤酶活性和真菌多样性变化. 生态学杂志, 30(3): 448-452.
- GUISAN A, THUILLER W, 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-1009.
- OBERHAUSER K, PETERSON A T, 2003. Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *PNAS*, 100: 14063-14068.
- PEJCHAR L, MOONEY H A, 2009. Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 497-504.
- PETERSON A T, VIEGLAIS D A, 2001. Predicting species invasions using ecological niche modelling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *Bioscience*, 51: 363-371.
- PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- SIMBERLOFF D, MARTIN J L, GENOVESI P, MARIS V, WARDLE D A, ARONSON J, COURCHAMP F, GALIL B, GARCÍA-BERTHOU E, PASCAL M, PYŠEK P, SOUSA R, TABACCHI E, VILÀ M, 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(1): 58-66.

(责任编辑: 郑姗姗 郭莹)