

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2024.01.009

外来入侵杂草假苍耳在新疆地区的适生性分析及风险评估

冯佳楠^{1,2,3}, 依米提·热苏力⁴, 史博⁴, 张兴⁵, 方艳⁵, 马德英^{1,2,3*}

¹新疆农业大学农学院, 新疆乌鲁木齐 830052; ²农业农村部西北荒漠绿洲农林外来入侵生物防控重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052; ³农林有害生物监测与安全防控重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052; ⁴中华人民共和国乌鲁木齐海关, 新疆乌鲁木齐 830011; ⁵中华人民共和国塔城海关, 新疆塔城 834700;

摘要:【目的】假苍耳是一种恶性入侵杂草, 预测其在新疆地区的潜在适生区并进行风险评估, 旨在为其科学防控提供参考。【方法】采用 MaxEnt 模型与 ArcGIS 10.4 软件进行分析, 预测假苍耳在新疆的潜在分布区, 并划分风险等级。运用多指标综合评估方法, 对假苍耳的危害风险性进行综合分析评估。【结果】假苍耳在新疆的适生区主要在北疆地区, 适生区范围较广。高适生区主要包括克拉玛依市、昌吉回族自治州北部及塔城地区中部。年平均温 (bio1)、最干季平均温 (bio9)、最冷季平均温 (bio11) 及最热季平均温 (bio10) 是影响假苍耳分布的主要环境因子。假苍耳的危险性综合评价值为 2.238, 属于高度危险的有害生物。【结论】假苍耳目前在新疆仅分布在塔城地区, 预测结果表明其北疆地区继续扩散的趋势较大, 需要提前制定好相应的管理和控制措施。



开放科学标识码
(OSID 码)

关键词: 假苍耳; MaxEnt 模型; 适生性分析; 风险评估; 新疆

Adaptability analysis and risk assessment of alien invasive weed *Cyclachaena xanthiifolia* (Nuttall) Fresenius in Xinjiang

FENG Jianan^{1,2,3}, YIMITI · Resuli⁴, SHI Bo⁴, ZHANG Xing⁵, FANG Yan⁵, MA Deying^{1,2,3*}

¹College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China; ²Key Laboratory of Prevention and Control of Invasive Alien Species in Agriculture & Forestry of the North-western Desert Oasis (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi, Xinjiang 830052, China; ³Key Laboratory of Monitoring and Safety Prevention and Control of Agriculture and Forest Pests, Urumqi, Xinjiang 830052, China; ⁴Urumqi Customs District P. R. CHINA, Urumqi, Xinjiang 830011, China; ⁵Tacheng Customs District P.R. CHINA, Tacheng, Xinjiang 834700, China

Abstract: 【Aim】 *Cyclachaena xanthiifolia* (Nuttall) Fresenius is an invasive weed species. The aim of predicting its potential habitat and conducting a risk assessment in Xinjiang is to provide a scientific reference for effective prevention and control in our region. 【Method】 The MaxEnt model and ArcGIS 10.4 software were utilized to analyze and predict the potential distribution area of *C. xanthiifolia* in Xinjiang. Additionally, the classification of risk levels was performed. Furthermore, the multi-index comprehensive evaluation method was employed to comprehensively analyze and assess the hazard risk of *C. xanthiifolia*. 【Result】 The suitable area for *C. xanthiifolia* in Xinjiang is predominantly situated in the northern region, covering a wide expanse. Highly adaptable areas include Karamay City, the northern part of Changji Hui Autonomous Prefecture, and the central part of Tacheng District. Key environmental factors influencing the distribution of *C. xanthiifolia* encompass the annual average temperature (bio1), the average temperature in the driest season (bio9), the average temperature in the coldest season (bio11), and the average temperature in the hottest season (bio10). The comprehensive risk assessment value of *C. xanthiifolia* is 2.238, indicating its classification as a highly dangerous pest. 【Conclusion】 Though *C. xanthiifolia* is confined to Tacheng, Xinjiang, prediction results suggest a potential expansion of its coverage in northern Xinjiang. Therefore, proactive management and control measures should be devised accordingly.

Key words: *Cyclachaena xanthiifolia*; MaxEnt model; adaptability analysis; risk assessment; Xinjiang

收稿日期 (Received): 2022-11-15 接受日期 (Accepted): 2023-06-22

基金项目: 重要跨境农业入侵生物精准识别与智能化快速检测 (2017YFC1200602); 乌鲁木齐海关合作项目

作者简介: 冯佳楠, 女, 硕士研究生。研究方向: 农药学。E-mail: fjn8210@163.com

* 通信作者 (Author for correspondence), 马德英, E-mail: mdxnd@163.com

随着全球化进程的发展,生物入侵的危害日趋严重(Paini *et al.*, 2016)。外来入侵植物会威胁本土物种正常生长,导致生物多样性的减少甚至丧失,破坏当地自然生态系统的平衡。假苍耳 *Cyclachaena xanthiifolia* (Nuttall) Fresenius 是一年生菊科植物,原产自北美洲,是我国入境植物检疫性有害杂草之一(李凤兰等, 2020),于 20 世纪 80 年代首次在我国辽宁省发现,之后主要分布在东北地区、山东、新疆等地(王丽娟等, 2021)。2012 年 8 月,杜珍珠等(2017)在新疆塔城市发现该植物。假苍耳具有较强的环境适应能力,不论是在干旱瘠薄的道路边,还是在肥沃的土壤里均能生长,破坏本地的生态环境(许志东等, 2012)。假苍耳入侵大豆 *Glycine max* (L.) Merr.、玉米 *Zea mays* Linn.、向日葵 *Helianthus annuus* L. 和甜菜 *Beta vulgaris* L. 等农田后,降低农作物品质,造成严重的经济损失(胡庆华等, 2011)。其花粉也易引起枯草热病,危害人类健康(Krštic *et al.*, 2007)。

MaxEnt 模型在预测有害生物潜在分布区时,只需要发生地的地理坐标数据,且在数据较少的情况下就能达到较高的准确度(Phillips & Dud'k, 2008)。因此,MaxEnt 模型已被广泛应用于外来入侵生物在中国的潜在适生区分析,以及农业害虫、天敌的适宜分布分析等(祝梓杰等, 2017)。

新疆是我国农产品的重要生产基地(王野和孙东升, 2015),为了避免假苍耳在新疆蔓延范围扩大、危害加重,本文采用 MaxEnt 模型与 ArcGIS 软件对假苍耳传入新疆的适生区进行了预测,采用 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve)法评价模型的准确率,运用刀切法(jackknife)判断影响假苍耳潜在适生区分布的主要环境变量。通过多指标综合评估方法,分析其入侵新疆的风险,以期为新疆制定假苍耳的防控措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 假苍耳分布点数据收集与处理

在塔城市货场与巴克图口岸附近进行调查,利用 GPS 记录假苍耳发生地的地理坐标点。此外,从全球生物多样性信息机构网站(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)下载假苍耳在全球的分布资料,并通过查阅国内外公开发表的相关论文获取已报道的假苍耳主要分布点地理信息。将收集到的分布点信息保存为 CSV 格式的文件,并且按照

物种名、分布点的经度、纬度顺序保存。为降低采样偏差,采用 ArcGIS 软件进行缓冲区分析,最终获得筛选后的有效分布点 95 个。

1.2 环境变量

在 Worldclim 网站(<http://www.worldclim.org>)下载获得 19 个环境气候变量,上述数据均为 1950—2000 年各环境变量的平均值,其空间分辨率为 30 s。由于环境变量之间具有一定的相关性,易产生多重共线性问题,对模型模拟结果造成影响(卢林, 2022),利用 SPSS 软件对环境变量进行 Pearson 相关系数(r)分析。为了避免高度相关的气候数据($r > 0.8$)对预测结果的影响,选择贡献率较高的变量用于模型预测(毛俐慧, 2017),最终筛选出 12 个环境变量用于 MaxEnt 模型预测(表 1)。

表 1 用于模型预测的环境变量
Table 1 Variables used in the mode

变量 Variable code	变量名称 Variable name
bio1	年平均温 Annual mean temperature
bio2	月平均昼夜温差 Monthly mean diurnal temperature range
bio3	等温性 Isothermality
bio4	温度季节变化的标准差 Standard deviation of temperature seasonal change
bio7	温度年变化范围 Range of annual temperature
bio8	最湿季平均温 Mean temperature of the wettest quarter
bio9	最干季平均温 Mean temperature of the driest quarter
bio10	最热季平均温 Mean temperature of the warmest quarter
bio11	最冷季平均温 Mean temperature of the coldest quarter
bio12	年降水量 Annual mean precipitation
bio14	最干月降水量 Precipitation during the driest month
bio18	最暖季降水量 Precipitation during the warmest quarter

1.3 参数设置

参考丁新华等(2019)的方法,将假苍耳的分布数据和筛选出的环境变量加载到 MaxEnt 软件中,随机抽取 25% 的分布点数据设为测试集,其余 75% 设为训练集,选择刀切法中其他参数设为默认值。本次模拟运行 10 次,选取 10 次模拟的平均预测结果作为对假苍耳潜在分布区预测的最终结果。该模型预测的结果为连续栅格数据,输出文件格式为 ASCII,再利用 ArcGIS 软件转换成 raster 格式,利用自然间断点分级法(Jenks' natural breaks)将假苍耳适生区划分为 4 个等级:高适生区($P \geq 0.5$)、中适生区($0.1 \leq P < 0.5$)、低适生区($0.05 \leq P < 0.1$)、非适生区($P < 0.05$),最终得到假苍耳在新疆的潜在适生区。

ROC 曲线下面积 AUC (area under curve) 值越

大说明模型预测的结果越准确; $0.5 \leq \text{AUC 值} \leq 0.6$ 时, 预测结果较差; $0.6 \leq \text{AUC 值} \leq 0.7$ 时, 预测结果一般; $0.7 \leq \text{AUC 值} \leq 0.8$ 时, 预测结果较准确; $0.8 \leq \text{AUC 值} \leq 0.9$ 时, 预测结果很准确; $0.9 \leq \text{AUC 值} \leq 1.0$ 时, 预测结果为极准确(许志东等, 2012)。

1.4 假苍耳风险性评估

参照蒋青等(1995)建立的有害生物风险性评估体系, 并根据假苍耳的生物学特性及其研究成果, 将该杂草的风险评估指标设为 5 个一级指标和 16 个二级指标。对每个二级指标进行赋分, 再计算得出一级指标的数值。

2 结果与分析

2.1 ROC 曲线的精度评价

本研究 AUC 平均值为 0.980 (图 1), 表明预测结果极准确。

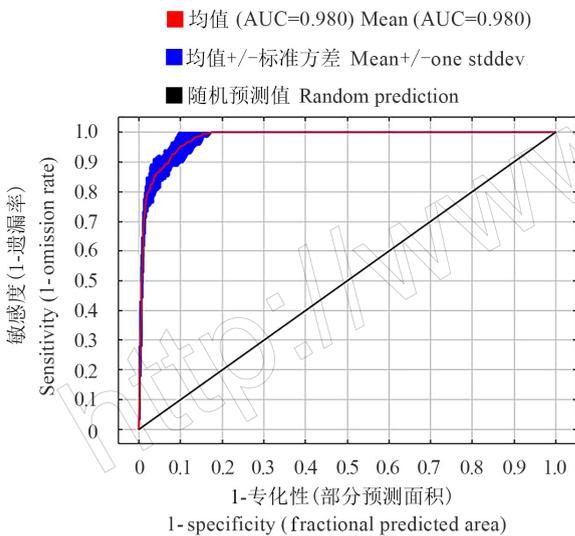


图 1 ROC 曲线验证 MaxEnt 预测结果所得的 AUC 值

Fig.1 The ROC curve verifies the AUC value obtained from MaxEnt prediction results

2.2 环境变量的重要性分析

本研究选取 12 个环境因子, 完成基于 MaxEnt 模型对假苍耳在新疆潜在分布区的建模工作。由刀切法检验结果(图 2)可得, 仅使用单一环境变量时, 对正规化训练增益影响较大的环境变量为年平均温(bio1)、最干季平均温(bio9)、最冷季平均温(bio11)、最热季平均温(bio10), 说明它们是影响假苍耳分布的主要环境因子。

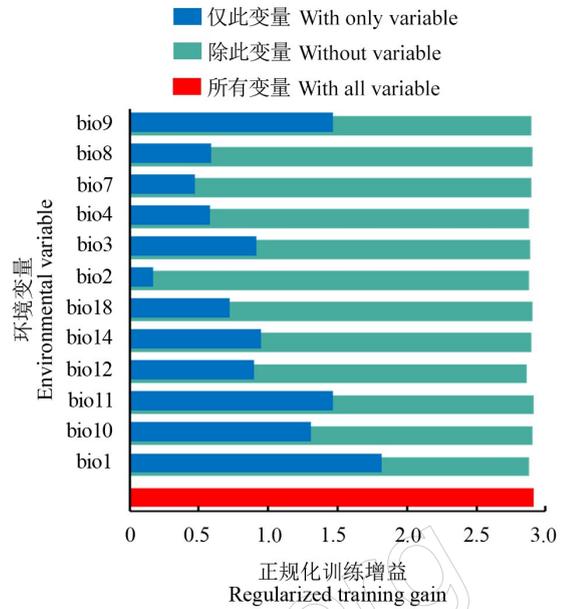


图 2 环境变量的刀切法测试

Fig.2 Jackknife test for the environmental variables

2.3 假苍耳在新疆潜在分布区的预测结果

基于 MaxEnt 预测的结果, 对假苍耳的适生区进行等级划分。假苍耳在新疆的适生区主要在北疆地区, 其中高适生区包括克拉玛依市、昌吉回族自治州北部及塔城地区中部; 中适生区包括阿勒泰地区西部、塔城地区、昌吉回族自治州、哈密市北部、吐鲁番市北部及博尔塔拉蒙古自治州东部; 低适生区包括阿勒泰地区中部及西部、塔城地区、昌吉回族自治州、乌鲁木齐市北部及中部、伊犁哈萨克自治州中部、阿克苏地区东部、吐鲁番市中部及北部、巴音郭楞蒙古自治州北部部分区域及哈密市西部、东北部区域。

2.4 假苍耳风险性评估

根据假苍耳的国内外分布、潜在危害性、经济重要性、传播可能性及危害与控制等因素进行综合评估, 各评估指标详见表 2。

国外分布: 假苍耳原产于北美洲, 现已广泛分布在欧洲、大洋洲及亚洲多个国家 (<http://www.cabi.org/isc>)。赋分 2 分。

国内分布: 假苍耳广泛分布于我国东北地区, 在辽宁省沈阳市、黑龙江省哈尔滨市及新疆省塔城市等均发现其分布(贾晶, 2007)。赋分 2 分。

潜在的经济意义: 假苍耳入侵大豆、玉米、向日葵、甜菜等农田后, 降低农作物品质, 造成严重的经

济损失(胡庆华,2011)。赋分 3 分。其他检疫性有害生物的媒介:假苍耳不传带其他检疫性有害生物。赋分 0 分。

国际检疫地位:美国、澳大利亚、加拿大、俄罗斯、瑞士、塞尔维亚、波兰、德国、法国等将假苍耳列为有害杂草(Ewald & Daniel,1999)。赋分 2 分。

受害寄主的种类:假苍耳主要危害的作物有大豆、玉米、向日葵、甜菜等(郑国良和孟庆国,2009)。赋分 1 分。

受害寄主的种植面积:在我国大豆、玉米、向日葵、甜菜总种植面积大于 350 万 hm^2 。赋分 3 分。

受害寄主的经济价值:大豆、甜菜、向日葵是重要的经济作物,玉米是重要的粮食作物,经济价值高。赋分 3 分。

截获可能性:近年来,我国各海关陆续检测出假苍耳种子,如常州检验检疫局工作人员在进境羊毛的下脚料中发现大量假苍耳种子(许志东,2012)。赋分 3 分。

运输中的存活性:假苍耳适应性强,不易受环境变化的影响,种子活力高。赋分 3 分。

国外分布范围:假苍耳现已广泛分布在北美洲、欧洲、大洋洲及亚洲多个国家。赋分 2 分。

国内定殖及适生范围:假苍耳在我国适生区较广,我国的华北地区、东北地区、华东地区、华中地区、西南地区、西北地区均存在适生区(许志东,2012)。赋分 3 分。

传播扩散能力:假苍耳能够产生大量种子,平均单株产生种子量达 55289.8 个,种子远距离传播主要靠交通工具携带传播(赵吉柱,2010)。赋分 2 分。

检疫鉴定的难度:假苍耳可通过目测或镜检鉴定。赋分 2 分。

除害处理的难度:草甘膦对假苍耳有较好的防除作用,加入生物助剂,最大株防效为 98.03% ~ 99.28%(赵微和陶波,2010)。赋分 1 分。

根除难度:根除假苍耳成本较高。赋分 2 分。

表 2 假苍耳风险评估指标

Table 2 Risk assessment index of *C. xanthifolia*

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	评价标准 Evaluation criterion	赋值 Score
P_1 国内外分布状况 Distribution at home and abroad	P_{11} 国外分布 Distribution abroad	20% ~ 50%	2
	P_{12} 国内分布 Domestic distribution	0% ~ 20%	2
P_2 潜在危害性 Potential damage	P_{21} 潜在的经济意义 The potential economic implications	重要 Important	3
	P_{22} 其他检疫性有害生物的媒介 Vectors for other quarantine pests	否 No	0
	P_{23} 国际检疫地位 International quarantine status	10 国以上 More than 10 countries	2
P_3 受害寄主重要性 Importance of damaged host	P_{31} 受害寄主的种类 Number of potential host species	4 种 Four kinds	1
	P_{32} 受害寄主的种植面积 Distribution area of damaged host	>350 万 hm^2 >3.5 million hm^2	3
	P_{33} 受害寄主的经济价值 Importance of damaged economics	经济价值高 High economic value	3
P_4 传入定殖扩散可能性 Introduced habituated and dispersed possibility	P_{41} 截获可能性 Possibility of interception	经常被截获 Often intercepted	3
	P_{42} 运输中的存活性 Surviving rate during transmission	>40%	3
	P_{43} 国外分布范围 Foreign distribution range	20% ~ 50%	2
	P_{44} 国内定殖及适生范围 Domestic colonization and suitable range	>50%	3
	P_{45} 传播扩散能力 Transmission and spread capacity	主要通过交通工具携带长距离传播 Mainly carried by vehicles over long distances	2

续表 2

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	评价标准 Evaluation criterion	赋值 Score
P_5 风险管理的效率 Efficiency of risk management	P_{51} 检疫鉴定的难度 The difficulty of quarantine identification	可靠性较高但费时 High reliability but time consuming	2
	P_{52} 除害处理的难度 Management difficulty of pest	除害率在 50%~100% The control rate is 50%~100%	1
	P_{53} 根除的难度 Eliminating difficulty of pest	恶性杂草去除难度大, 成本较高 The removal of malignant weeds is difficult and costly	2

参照蒋青等(1995)风险评估值计算公式:

$$P_1 = 0.5P_{11} + 0.5P_{12} = 2.000$$

$$P_2 = 0.6P_{21} + 0.2P_{22} + 0.2P_{23} = 2.200$$

$$P_3 = \max(P_{31}, P_{32}, P_{33}) = 3.000$$

$$P_4 = \sqrt[5]{P_{41} \times P_{42} \times P_{43} \times P_{44} \times P_{45}} = 2.551$$

$$P_5 = (P_{51} + P_{52} + P_{53}) / 3 = 1.667$$

$$R = \sqrt[5]{P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5} = 2.238$$

根据我国有害生物危险性综合评价标准,将有害生物危险程度分为 4 级: $2.5 \leq R < 3.0$, 特别危险; $2.4 \leq R < 2.0$, 高度危险; $1.9 \leq R < 1.5$, 中度危险; $1.4 \leq R < 1.0$, 低度危险。假苍耳的危险性综合评价值为 2.238, 属于高度危险的有害生物。

3 讨论

许志东等(2012)采用 MaxEnt 模型软件对假苍耳在我国及世界的潜在适生区进行预测, 结果表明, 假苍耳的适生区较广, 世界范围内除南极洲外均存在假苍耳的适生区, 我国的华北、东北、华东、华中、西南及西北地区均存在适生区, 测试数据的 AUC 值达到 0.926, 表明预测结果较精确。但该预测结果对新疆的适生区预测较为模糊。本研究利用 MaxEnt 模型, 基于假苍耳在全球的物种分布数据和环境数据预测其在新疆的适生区。结果表明, 假苍耳在新疆的适生区主要分布在北疆地区, 这与许志东等(2012)预测的假苍耳在新疆的适生区基本一致, 但本研究对新疆的预测区域更精准, 对新疆制定相应的防控措施具有更强的实际指导意义。

目前, 应严格把控植物检疫关, 做好疫情监测, 加强对经济和旅游热点地区环境的检查和管理, 对假苍耳的入侵要做到早发现, 早铲除, 防止其进一步扩散蔓延(杜云安等, 2020)。处于苗期的假苍耳可人工拔除, 处于成熟期的假苍耳因其植株高大可采用机械割除。在假苍耳 4~6 叶期时施用草甘膦加生物助剂、氟磺胺草醚加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 最大株防

效均达到 95% 以上(赵微和陶波, 2010)。利用紫穗槐 *Amorpha fruticosa* L.、沙棘 *Hippophae rhamnoides* L.、草地早熟禾 *Poa pratensis* L. 等具有经济、绿化价值的植物替代假苍耳属植物群落, 可抑制假苍耳的生长发育(杜珍珠等, 2017)。

本研究中获得预测模型 AUC 平均值为 0.980, 表明该预测的准确性。利用刀切法检验结果表明, 年平均温(bio1)、最干季平均温(bio9)、最冷季平均温(bio11)、最热季平均温(bio10)对假苍耳的潜在分布影响较大, 说明温度是影响假苍耳分布的主要环境因子。

本研究还采用多指标综合评估方法, 通过对假苍耳在国内外分布情况、潜在危害性、受害寄主重要性、传入定殖扩散可能性和风险管理效率等方面进行赋值计算, 综合评估假苍耳入侵新疆的危险性综合评价值为 2.238, 属于高度危险的有害生物。但该评估体系未设置各个指标的权重, 评估指标之间存在一定的重复, 指标体系中生态、社会影响涉及较少。另外, 我国自然地理环境复杂, 同一外来物种在我国不同地区生态习性差异较大, 在我国分布呈现区域化(李惠茹等, 2022)。因此, 未来需构建特定区域或特定生态类型的风险评估体系, 提高风险评估系统的科学准确性, 为我国入侵植物预警机制的建立提供更可靠的理论依据。

新疆与八国接壤, 长期进行对外贸易往来, 为假苍耳随进口农产品和货物进入新疆创造了有利条件。假苍耳能适应多种土壤条件, 一旦传入, 将大肆排挤本地植物, 对多种生物资源构成巨大的威胁(赵吉柱等, 2010)。鉴于新疆其他区域尚未发现假苍耳, 因此对该杂草局部发生区域要进行彻底铲除, 防止其进一步扩散传播。严格把控进口产品和货物的检验检疫, 加强监测, 同时做好应急预案, 从而保障新疆农业的健康发展。

参考文献

- 杜珍珠, 崔瑜, 阎平, 徐文斌, 黄刚, 2017. 新疆发现外来有害杂草——假苍耳. *生物安全学报*, 26(1): 95-97.
- 杜云安, 杨连勇, 杜华安, 韦玮, 唐小美, 张志雄, 向国红, 2020. 洞庭湖区外来入侵植物调查分析及防治对策. *生物安全学报*, 29(3): 222-228.
- 丁新华, 李超, 王小武, 付开赞, 吐尔逊·阿合买提, 黄红梅, 木拉提·塔里木别克, 何江, 郭文超, 2019. 稻水象甲在新疆的潜在分布及适生性研究. *生物安全学报*, 28(2): 116-120.
- 胡庆华, 刘菊, 于景华, 2011. 入侵植物假苍耳种群的分形特征与土壤环境因子的耦合关系. *现代化农业* (4): 28-31.
- 蒋青, 梁忆冰, 王乃扬, 姚文国, 1995. 有害生物危险性评价的定量分析方法研究. *植物检疫*, 9(4): 208-211.
- 贾晶, 2007. 林业有害植物假苍耳的入侵特性研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.
- 李凤兰, 武佳文, 姚树宽, 赵梓颐, 赵潇臻, 贺付蒙, 朱元芳, 石奇海, 周磊, 徐永清, 2020. 假苍耳不同部位水浸提液对5种土著植物化感作用的研究. *草业学报*, 29(9): 169-178.
- 李惠茹, 严靖, 杜诚, 闫小玲, 2022. 中国外来植物入侵风险评估研究. *生态学报*, 42(16): 6451-6463.
- 卢林, 张志伟, 林美英, 赵梓伊, 肖能文, 王琦, 2022. 基于MaxEnt模型预测胸窗萤在北京市的潜在适生区. *植物保护学报*, 49(4): 1217-1224.
- 毛俐慧, 李垚, 刘畅, 方炎明, 2017. 基于MaxEnt模型预测细叶小羽藓在中国的潜在分布区. *生态学杂志*, 36(1): 54-60.
- 王野, 孙东升, 2015. 新疆主要农作物比较优势分析——基于国内资源成本法. *新疆农业科学*, 52(8): 1555-1562.
- 王丽娟, 李爱雨, 冯旭, 武佳文, 王雪, 刘丹, 李翠婷, 徐永清, 2021. 外来入侵植物假苍耳种子的萌发特性. *生态学杂志*, 40(7): 1979-1987.
- 许志东, 丁国华, 刘保东, 池春玉, 肖玮, 金晓霞, 李春焯, 2012. 假苍耳的地理分布及潜在适生区预测. *草业学报*, 21(3): 75-83.
- 郑国良, 孟庆国, 2009. 阜新外来林业有害杂草种类调查. *防护林科技* (6): 83, 120.
- 祝梓杰, 王桂瑶, 乔飞, 白月亮, 程家安, Kong Luen HEONG, 祝增荣, 2017. 基于MaxEnt模型的两种植食性盲蝽潜在分布区及其适生性分析. *昆虫学报*, 60(3): 335-346.
- 赵吉柱, 2010. 高压静电场处理对假苍耳种子萌发影响的研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学.
- 赵吉柱, 滑雪, 陶波, 2010. 不同处理方法对假苍耳种子萌发的影响. *东北农业大学学报*, 241(8): 15-18.
- 赵微, 陶波, 2010. 假苍耳的化学防除. *东北农业大学学报*, 41(6): 32-36.
- EWALD W, DANIEL G, 1999. Evaluation of future weeds problems in Switzerland // BRUNDU G. *Proceedings of the 5th international conference on the ecology of invasive alien plants*. La Maddalena-Sardinia, Italy: 127.
- PAINI D R, SHEPPARD A W, COOK D C, BARRO P J, WÖRNER S P, THOMAS M B, 2016. Global threat to agriculture from invasive species: sub-Saharan Africa most vulnerable. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 7575-7579.
- PHILLIPS S J, DUD' K M, 2008. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2): 161-175.
- KRSTIĆ L N, ANAČKOV G T, PAL B P, IGIĆ R S, LUKOVIĆ J Ž, VUKOV D M, 2007. Analysis of anatomical and micromorphological characteristics of *Iva xanthifolia* nutt. *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke*, 112: 49-55.

(责任编辑: 郭莹)