

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2018.04.017

重大外来入侵杂草在我国的分布危害格局与可持续治理

王 瑞¹, 周忠实¹, 张国良², 郭建英¹, 高尚宾³, 孙玉芳³, 付卫东², 张付斗⁴, 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中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; ³农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; ⁴云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南 昆明 650205

The distributional pattern and sustainable control of major invasive alien weed in China

WANG Rui¹, ZHOU Zhongshi¹, ZHANG Guoliang², GUO Jianying¹, GAO Shangbin³,
SUN Yufang³, FU Weidong², ZHANG Fudou⁴, WAN Fanghao^{1*}
¹State Key Laboratory for Biology and Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; ²Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; ³Rural Energy & Environment Agency, Ministry of Agricultural and Rural affairs, Beijing 100125, China; ⁴Agricultural Environment & Resource Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China

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)。生物入侵的防控已成为21世纪全球各国政府关注的主要问题和科学研究的热点。中国已成为世界上生物入侵危害最为严重的国家之一(万方浩等, 2011)。外来生物入侵已经对我国的生态环境和农业生产造成了极大危害,而且还在随着国际交流的发展不断增强(万方浩等, 2009)。由于我国地理环境多样,为不同物种的入侵提供了天然生境。因此,我国不同地区存在着不同的入侵物种,这些物种对当地的生态系统造成了极大危害。其中,紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* (Sprengel) R. King & H. Robinson、豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L.、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.、薇甘菊 *Mikania micrantha* Kunth、黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze.、刺萼龙葵 *Solanum rostratum* Dunal、少花蒺藜草 *Cenchrus*

pauciflorus Benth 是我国发生面积大、危害严重的入侵杂草,对我国从南到北、从东到西、从热带到温带、从湿地到农田、从草原到林业的生态系统构成了极大危害,已成为国家重点管理与控制的外来入侵物种(农业部外来物种管理办公室, 2013)。

为了控制豚草、空心莲子草等重大入侵杂草的发生与危害,本项目组自1986年开始在原国家科委(科技部)重点项目、国家自然科学基金、国家支撑计划和“973”计划等诸多项目的资助下,通过30余年的系统研究,探明了豚草等重大入侵杂草在我国的地理分布格局、时空扩散规律、种群发生与危害的时空异质性及其决定因素等特性,在此基础上,提出和发展了生物入侵的防控策略与可持续治理技术,并在我国不同地区进行了示范应用。本文旨在对已开展的重大入侵杂草的相关研究进行阶段性总结,为制定和优化入侵物种的防控技术、进

收稿日期(Received): 2018-09-23 接受日期(Accepted): 2018-11-03
基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1200600); 国家自然科学基金(31471827); 国家科技支撑计划(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: wangrcaas@163.com
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: wanfanghao@caas.cn

一步提高国家应对日益严重的外来物种入侵形势提供指导。

1 重要入侵杂草在中国的地理分布格局、种群扩张规律与发生危害区划

通过系统调查与分析,查明了豚草等 7 种重大入侵杂草在我国 26 个省(市、区)的农田、果园、草原、林地、湿地、自然保护区、河流、排灌系统等生境大面积发生与危害的现状,构建了其在中国的入侵历史动态,揭示了它们在我国发生危害的时空异质性与扩张规律,并对发生危害区进行了区划(Horvitz *et al.*, 201, 2017; Wang *et al.*, 2011; Wang & Wang, 2006)。

重要外来入侵杂草的发生与危害呈现出明显的地域特征。基于此,根据入侵地的自然地理、物种的生物学特性等把我国入侵杂草的发生区划分为 3 个区:东北华北一年生杂草混发区、华东和中南水生和陆生杂草灾害区、西南地区多年生杂草危害区(图 1)。华北东北区主要为豚草、刺萼龙葵、少花蒺藜草和黄顶菊的主要发生区和危害区。4 种入侵植物在这一区域都呈现出沿道路扩散的特性,随人类的长距离活动扩散是其拓展分布区的主要途径,形成了入侵早期离散式分布向连续分布蔓延的趋势,物种的发生通常有多个扩散中心。入侵物种在该地区的这种格局与入侵杂草自身的生物学特性和人类活动密切相关。这一分布特点对入侵物种的防控提出了更高要求,需要通盘考虑、协同治理。华东和中南区是空心莲子草、豚草等入侵杂草发生危害的重灾区。该地区是我国对外开放的门户,外来物种的入侵历史悠久,19 世纪开始,一些外来物种随着对外交流从青岛、上海、杭州、南京、广州等传入我国。豚草和空心莲子草均于 20 世纪 30 年代入侵我国,并在该地区不断扩散蔓延。由于该区域内河流湖泊众多,外来物种除了随人类活动扩散,随水流扩散是其危害的关键途径。由于外来物种在该地区发生与危害相对较为严重,区域减灾的技术被用来降低危害。西南地区是我国与东南亚的连接通道,一些外来物种借助风力入侵我国。如紫茎泽兰和薇甘菊均通过该途径入侵并向内陆扩散蔓延。紫茎泽兰和薇甘菊的化感作用是其在与土著物种竞争中获得优势的主要途径,基于此,发展了以竞争替代为主的防控技术,已充分利用西

南地区生物多样性的优势控制外来物种入侵。

重大外来入侵杂草在我国的不同生态区都呈现出显著的沿河流、公路聚集分布和扩散蔓延的特性(万方浩等,2010; Horvitz *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017)。通过对重大外来入侵杂草在我国扩散的动态分析,揭示了其在我国发生危害的时空变化规律、扩散通道和驱动机制。重大外来入侵杂草 98% 的最早入侵点位于河流、公路等主要廊道 2 km 的区域内,且呈跳跃式拓展,其后以入侵种群为源头持续扩张蔓延。扩散的速度与入侵地的自然地理、种群的繁殖增长、种子扩散综合症、扩散媒介(风力、水流、物流等)的空间分布等显著相关(Horvitz *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2011)。最终,在上述因素的驱动下形成了重大入侵杂草在我国多中心、多区域扩散蔓延的灾变过程及其发生与危害动态的时空异质性,了解这一特性对制定区域减灾、扩散阻截、早期治理等管理策略具有重要意义。

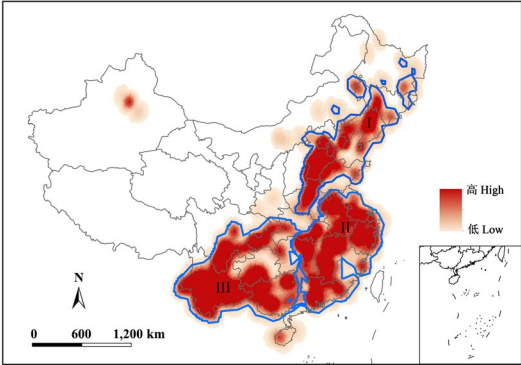


图 1 7 种入侵杂草交错重叠分布格局示意图
Fig.1 The crisscross and overlap distributional pattern of seven invasive alien weed in China
I: 华北东北区; II: 华东和中南区; III: 西南区。
I: North and northwest region; II: South-central and east region; III: Southwest region.

2 重大入侵杂草的可持续治理技术与应用

豚草等重大外来入侵杂草的扩散动态分析表明,它们在我国还未完全侵占其适生区,处在快速扩散阶段。根据重大外来入侵杂草的时空扩散动态与潜在扩张趋势,明确其在我国的新发区、扩散区和暴发区,发展和制定了针对性防控策略和技术措施,即新发区灭除防患、扩散区阻截降速、暴发区减灾控害(万方浩等,2009, 2011)。

在新发区和扩散区,创建了入侵杂草生态屏障拦截与生态修复技术。在豚草、紫茎泽兰、薇甘菊、

刺萼龙葵、少花蒺藜草和黄顶菊 6 种入侵杂草扩散的廊道前沿,层次性地种植替代植物(紫穗槐 *Amorpha fruticosa* L.、黑麦草 *Lolium perenne* L.、非洲狗尾草 *Setaria anceps* Stapf ex Massey 等)进行绿化与拦截,阻止其扩散蔓延。如沿 G60(关岭→镇宁)、G105(茌平→德州)、G104(德州→吴桥)等国道建立植物拦截带,拦截防线达 500 多 km,有效切断了 6 种入侵杂草的自然扩散路径,拦截效果达 86% 以上(高尚宾等,2017)。

在暴发区,创建了以天敌—天敌、天敌—替代植物修复为主的技术。在华东/中/南地区,针对豚草和空心莲子草等,构建了以天敌—天敌/天敌—替代植物联合增效为关键技术的减灾治理技术体系,并进行了大面积的推广应用;在东北和华北等地区,针对少花蒺藜草、刺萼龙葵、黄顶菊和豚草等,建立了以替代控制—农艺措施协同应用为核心技术的入侵杂草阻截减灾技术体系;在西南等地区,针对薇甘菊和紫茎泽兰等,建立了以植物替代控制—化学防除协同应用为核心技术的生态修复技术体系。这些技术已在四川果园与林地(石棉县等)、云南草场与林地(腾冲县等)、贵州草场(晴隆县等)、山东撂荒地(曹县等)、河北撂荒地(献县等)、辽宁退化草地(彰武县等)的紫茎泽兰、黄顶菊、刺萼龙葵、少花蒺藜草等发生危害区进行了示范,取得显著控制效果。如应用非洲狗尾草+黑麦草混种替代草场紫茎泽兰,生物量降低 95% 以上;应用紫花苜蓿 *Medicago sativa* L.+冬牧 70 黑麦草混播控制果园黄顶菊,生物量降低 97.8%;应用紫穗槐与象草 *Pennisetum purpureum* Schum 替代修复河坝与河滩成片发生的豚草,生物量降低 92.3%。

在入侵物种的高发区,创建了天敌—天敌/天敌—替代植物联合增效、替代控制—农艺措施/替代控制—化学防除协同应用等技术模式,并在不同地区进行了示范应用(周忠实等,2011)。在东北和华北等地区针对少花蒺藜草、刺萼龙葵、黄顶菊和豚草等主要采用以替代控制—农艺措施为主的扩散阻截技术;在华东/中/南地区,针对豚草和空心莲子草等,主要采用以天敌—天敌/天敌—替代植物联合增效为关键技术的减灾治理技术;在西南等地区,针对薇甘菊和紫茎泽兰等,主要采用以替代控制—化学防除协同应用为核心的生态修复技术体系。

上述专项技术的试验结果表明,已开展的针对

重要入侵杂草的防治技术均具有显著的控制效果。为了进一步明确上述控制措施对入侵物种在全国范围内发生与危害的影响,项目组以 1986 年以前的 7 种入侵杂草在我国的发生数据为基础,计算了其在我国 1938—2018 年间以 4 年为一个时间段的扩散面积增加率,并分别做出了实际发生数据的拟合曲线和理论扩散拟合曲线(图 2),并通过比较实际发生和理论扩散动态之间的差异评估已采取的控制措施的效果。图 2 表明,7 种入侵杂草在我国的扩散面积的增长率在 1990—2002 年间实际增长率与理论预测趋势基本一致,而 2002 年以后两者间有差异,实际增长率呈下降趋势。2 条拟合曲线之间的差异体现了对这些入侵杂草扩散蔓延的抑制效应。因此,综合单项技术的效果以及重大入侵杂草全区域、全过程的综合分析结果表明,已经开展的针对重大入侵杂草的防控技术具有显著的控制效果,能显著降低暴发区的发生密度、抑制其扩散蔓延的速度。

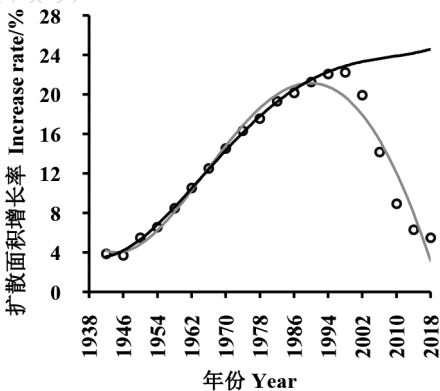


图 2 7 种入侵杂草在我国不同时间段扩散面积增长率与拟合曲线

Fig.2 The increase rate of invaded area for seven invasive alien weeds over time and their fitted line
灰色线是实际数据拟合曲线,黑色线是理论扩散趋势拟合曲线。
Gray line is fitted for real data and black line is fitted for theoretical prediction of potential trends.

3 总结与结论

本项目组对豚草、空心莲子草、紫茎泽兰、刺萼龙葵、黄顶菊、少花蒺藜草、薇甘菊等重大入侵杂草的发生与防控研究历时 30 多年,在“联合防控、区域减灾、持续治理”的策略指导下,研发了针对不同地域条件的天敌—天敌、天敌—替代植物、替代控制—农艺措施、替代控制—化学防除等技术体系,并在入侵的新发区、扩散区和暴发区进行了示范应用。这是国内外首次从大区域整体考虑,着重研发遏制豚

草等入侵杂草危害与蔓延、防止生态位被入侵杂草再次占领的生物防治与生态修复技术。该技术已达到区域减灾与持续治理的效果,基本解决了重大入侵杂草生态位重叠发生、交错连片成灾的控制难题,有效遏制了其在我国的危害与蔓延,并取得了显著的经济、社会和生态效益。

参考文献

高尚宾, 张宏斌, 孙玉芳, 张国良, 2017. 植物替代控制 3 种入侵杂草技术的研究与应用进展. *生物安全学报*, 26(1): 18–22.

农业部外来物种管理办公室, 2013. 国家重点管理外来入侵物种综合防控技术手册. 北京: 中国农业出版社.

万方浩, 郭建英, 张峰, 2009. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社.

万方浩, 严盈, 王瑞, 杨国庆, 2011. 中国入侵生物学学科的构建与发展. *生物安全学报*, 20(1): 1–19.

周忠实, 郭建英, 李保平, 孟玲, 傅建炜, 陈红松, 马明勇, 史梦竹, 李敏, 郭薇, 罗敏, 郑兴汶, 郑海燕, 罗源华, 万方浩, 2011. 豚草和空心莲子草分布与区域减灾策略. *生物安全学报*, 20(4): 263–266.

HORVITZ N, WANG R, WAN F H, NATHAN R, 2017. Pervasive human-mediated large-scale invasion: analysis of spread patterns and their underlying mechanisms in 17 of China's

worst invasive plants. *Journal of Ecology*, 105: 85–94.

HORVITZ N, WANG R, ZHU M, WANG F H, NATHAN R, 2014. A simple modeling approach to elucidate the main transport processes and predict invasive spread: river-mediated invasion of *Ageratina adenophora* in China. *Water Resources Research*, 50: 9738–9747.

LIU D S, WANG R, GORDON R D, SUN X H, CHEN L, WANG Y W, 2017. Predicting plant invasions following China's water diversion project. *Environmental Science and Technology*, 51: 1450–1457.

PAINI D R, SHEPPARD A W, COOK D C, BARRO P J, WORNER S P, THOMAS M B, 2016. Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 7575–7579.

WANG R, WANG J F, QIU Z J, MENG B, WAN F H, WANG Y Z, 2011. Multiple mechanisms underlie rapid expansion of an invasive alien plant. *New Phytologist*, 191: 828–839.

WANG R, WANG Y Z, 2006. Invasion dynamics and potential spread of the invasive alien plant species *Ageratina adenophora* (Asteraceae) in China. *Diversities and Distributions*, 12(4): 397–408.

(责任编辑:郭莹)