

我国外来入侵生物防控科技进展

陈洁君*, 王 晶

中国生物技术发展中心, 北京 100039

摘要: 随着全球经济一体化的发展, 外来入侵生物的危害日益加重。我国针对当前各类重大外来生物的入侵, 按照基础研究、共性关键技术与重大产品研发、典型应用示范 3 个层面, 部署了一系列项目, 并取得了一定成果: 揭示了入侵生物的入侵特性和入侵机理, 以及入侵植物与脆弱生态系统的相互作用机制; 研发了重大新发农业入侵物种风险评估及防控技术, 建立了生物威胁数据库和生物入侵突发事件可视化智能决策支持平台, 以及重大入侵动植物的治理模式和技术体系; 建立了主要入侵生物标本资源库。今后应以跨境动植物有害生物为主要目标, 开展入侵扩散与成灾机制、早期预防预警、快速检测监测、识别追踪溯源、点面拦截狙击、区域防灾减灾等技术研究。

关键词: 外来入侵生物; 预防; 控制; 科技项目; 研究成果

Progress in prevention and control of invasive species in China

CHEN Jiejun*, WANG Jing

China National Center for Biotechnology Development, Beijing 100039, China

Abstract: With the current trend in global economic integration, the harm of alien invasive species is increasingly becoming a serious issue. Aiming at the threat of major invasive species, China has carried out a series of research projects on three aspects: common key technologies, major product development, and typical application demonstration. These projects resulted in understanding the invasion characteristics and mechanisms of invasive species, and the interaction mechanisms of invasive plants in fragile ecosystems. Risk assessment and control technologies for major new invasive agricultural species have been developed. Biological threat databases, a visual intelligent decision support platform for emergencies, and major management strategies and technology systems for invasive plants and animals have been established. A major invasive biological specimen repository has also been developed. In the future, cross-border animals and plants should be the main targets to carry out research on invasion and dispersion patterns, early warning, rapid detection and monitoring, identification and tracking, point interception and eradication, and regional disaster prevention and mitigation.

Key words: invasive species; prevention; control; science and technology project; research findings

全球经济一体化的飞速发展使得国家/地区间经济、文化交流日益频繁, 这为外来物种入侵、定殖、传播与扩散创造了有利条件(Hulme, 2009; Turbelin *et al.*, 2017; Wan *et al.*, 2017); 同时, 现代农业生产大部分依赖于物种资源引进与交换(司伟和周章跃, 2007; 周海燕, 2014), 这种在经济效益驱动下的有目的的生物资源共享加剧了外来生物入侵的危险性与破坏性, 给全球带来了更为严重的经济损失(李浩等, 2007)。因此, 防范外来生物入侵已成为全球 21 世纪农业可持续发展面临的共同问题,

也成为 21 世纪五大全球性环境问题之一(万方浩等, 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Wan & Yang, 2016)。

我国是一个农业大国, 人口规模巨大、经济活动频繁为外来物种的传入创造了有利条件(鞠瑞亭等, 2012), 加之我国地大物博、生态系统多样化促进了入侵物种的定殖与扩散, 致使我国成为饱受入侵物种危害最为严重的国家之一(李博和马克平, 2010)。农业外来入侵生物严重威胁我国的粮食安全、经济安全、生物安全、生态安全和农产品贸易安

收稿日期(Received): 2018-01-26 接受日期(Accepted): 2018-02-09

作者简介: 陈洁君, 女, 副研究员, 博士。研究方向: 国家科技计划项目管理及科技发展战略

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: chenjj@cncbd.org.cn

全,每年直接经济损失逾 2000 亿元(中国新闻网,2017)。“十三五”期间,中华人民共和国科学技术部启动“生物安全关键技术研发”重点专项,针对我国当前面临的各类重大入侵生物的威胁,按照基础研究、共性关键技术与重大产品研发、典型应用示范 3 个层面,进行了一系列项目部署。本文将阐述这些科研项目取得的主要研究成果,以期为相关方面的研究提供参考。

1 基础研究

1.1 揭示了入侵生物的入侵特性和入侵机理

以紫茎泽兰 *Eupatorium adenophora* Spreng.、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.)、松材线虫 *Bursaphelenchu xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle、黄瓜绿斑驳花叶病毒 *Cucumber green mottle mosaic virus* 等为研究对象,揭示了入侵生物“可塑性基因驱动”入侵特性和“虫菌共生”入侵机理。在入侵特性方面,通过分析 15 年来 100 多个国家近百种物种间竞争替代的经典案例,发现竞争替代是由入侵种和本地种生殖能力差异、寄主适应能力差异、生殖干扰等多个因子长期进化的结果;进一步从基因水平上研究发现,入侵种的进化特点为存在可塑性基因,包括发育基因高表达、抗性基因内含子变长、受体蛋白扩增、抗药性神经肽受体不敏感等适应性进化。在入侵机理方面,研究发现入侵生物协助致病病毒的垂直传播,并通过加速媒介发育促进自身扩散,共生细菌调控入侵共生体的资源分配模式,以此为从进化和生态的角度提出入侵昆虫的“虫菌共生入侵学说”(Gao & Reitz, 2017; Xu *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2017)。这些研究全面诠释和完善了物种竞争取代理论,丰富了入侵生物学学科发展,为入侵生物的风险评估、预测预报、检验检疫、综合防治提供了新的思路。相关成果发表在 *Nature Communications*、*ISME Journal* 等期刊上。

1.2 揭示了入侵植物与脆弱生态系统的相互作用机制

通过在湖北、江苏、安徽、广东、广西等 8 个省(自治区)21 个地点对美洲商陆 *Phytolacca americana* L. 和加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 发生态势的野外调查表明,土壤微生物在决定群落入侵性强弱中发挥着重要作用。对 2014—2016 年增温加氮实验数据进行分析,发现增温对加拿大一枝黄

花开花物候期和地上部分枯死期有明显影响,这表明气候变暖会增大加拿大一枝黄花的入侵风险。通过比较互花米草 *Spartina alterniflora* Loisel. 原产地种群(美国)和入侵地种群(中国)对我国土著广食性昆虫素毒蛾 *Laelia* 取食抗性和耐性的影响,发现互花米草引入中国以后发生了防御进化。对 5 种外来入侵植物(瘤突苍耳 *Xanthium strumarium* L.、三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L.、粗毛牛膝菊 *Galinsoga quadriradiata* Ruiz et Pav.、刺萼龙葵 *Solanum rostratum* Dunal. 和反枝苋 *Amaranthus retroflexus* L.) 和 4 种本土植物[苍耳 *Xanthium sibiricum* Patr. ex Widder、黄花蒿 *Artemisia annua* L.、狗尾草 *Setaria viridis* (L.) Beauv. 和稗草 *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.] 的菌根真菌侵染情况进行分析表明,入侵物种显著改变了入侵地菌根真菌的组成和结构。相关成果已形成论文 9 篇,获得 1 项实用新型专利。

2 关键技术与产品研发

2.1 研发了重大新发农业入侵物种风险评估及防控技术

针对大区域跨境传播农业入侵生物和重大新发、突发农业入侵生物,如甘蓝粉虱 *Allantus cinctus* (L.)、长芒苋 *Amaranthus palmeri* S. Watson、葡萄蛀果蛾、福寿螺 *Pomacea canaliculata* Spix、梨枯梢病、木尔坦棉花曲叶病毒 *Cotton leaf curl Multan virus*、橡胶树棒孢霉等,围绕其发生、分布、危害等级、跨境传播扩散方式与途径,开展了入侵生物风险评估及防控关键技术研究。当前已收集 200 余种大区域农业入侵物种的生物信息,并构建了生物信息库;研发了基于 PCR 的物种特异性快速分子检测技术 3 项(张桂芬等, 2013a, 2013b; Zhang *et al.*, 2014),初步开展了主要入侵物种模板图像特征分析与算法筛选;设计了 1 套风险评估数据处理方法,并开展了木尔坦棉花曲叶病毒随寄主跨区域传播及综合风险的定量评估;获得梨枯梢拮抗细菌菌株 18 株、杀螺高活性先导化合物 2 个;基于无机盐对橡胶树棒孢霉或粗毒素的抑制或钝化作用,研制复配配方药剂 1 种、不同施药剂型配方 4 个;明确了不同地理种群长芒苋对主要除草剂草甘膦的抗性。相关成果已经申请国家发明专利 3 项,发表学术论文 7 篇。

2.2 建立了生物威胁数据库及生物入侵突发事件可视化智能决策支持平台

针对生物入侵事件(红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren)、生物恐怖袭击(生物气溶胶)、突发传染病疫情(禽流感、鼠疫)等 3 类突发生物威胁,建立了具有统一数据模型的生物危害数据库以及突发生物危害事件可视化智能决策支持平台。数据库内容涵盖地理环境、社会人文、公共卫生信息等要素,空间尺度包含局地、区域、全国(典型区)3 个,要素指标包含 16 大类 40 小类,数据量达 650 GB;决策支持平台基于 GIS 和网络技术,集成了生物危害演变、评估和应急处置方法/模型 50 余个,实现了 3 类突发生物危害事件的 2-3 维动态可视化分析和决策支持功能。相关成果已发表 SCI 论文 10 篇,申报软件著作权 2 项。

2.3 建立了重大入侵动植物的治理模式和技术体系

通过整理外来入侵物种的分布现状、扩散格局、入侵路径、潜在分布区等相关研究,提出需要重点管理和防范的外来入侵物种,为指导相关部门和地方进行外来入侵物种防控提供了依据,并支撑中华人民共和国环境保护部会同中国科学院于 2016 年 12 月发布的《中国自然生态系统外来入侵物种名单(第四批)》。围绕加拿大一枝黄花、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.、紫茎泽兰、飞机草 *Eupatorium odoratum* L.、凤眼莲 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms、豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L.、少花蒺藜草 *Cenchrus pauciflorus* Benth.、巴西龟 *Trachemys scripta*、红火蚁等主要入侵物种,构建了基于生物防治和生态修复联防联控为核心的区域性持续治理技术新模式。其中,红火蚁防控技术在我国南方多类生态区域防效达到 96%~100%;空心莲子草、豚草、少花蒺藜草等防控技术被行业部门评价为“技术高效、技术好用和基层会用”。相关成果已发表 SCI 论文 22 篇,申请发明专利 8 项,制定行业标准 11 项。

3 典型应用示范

建立了集科研、教学、科普一体化的现代化主要入侵生物标本资源库。目前,资源库已收集入侵动物资料共 33963 条,其中昆虫类 24660 条,软体动物 374 条,鱼类 4909 条,两栖爬行动物 696 条,兽类 3324 条。这些条目均包括标本的采集信息、鉴

定信息、国内外分布情况、分种描述、物种分类地位、标本整体图片和保藏位置等。另有 2.5 万份入侵动物、植物和植物病原微生物等标本正在整理入库。通过制定野外调查数据采集规范与数据质量控制规范,研发外来入侵生物野外调查软件,开展一体化入侵生物数据库及信息共享平台的需求分析,实现了生物标本资源库的一体化高效共享。此外,制定了互花米草生态控制工艺流程,并在上海崇明东滩互花米草生态控制工程中得到初步应用;制定了加拿大一枝黄花综合防控技术体系试验实施细则和操作流程;完成了基于生态位模型的刺萼龙葵风险区预测,并制成了刺萼龙葵在我国适生分布的专题图(Huang *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017; Shang *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017)。

4 结语

全球经济一体化进程的不断加快,国际贸易、国际旅游、大型活动的迅速发展,以及国家/城市间交通运输的多样化、快捷化和网络化,加速了外来有害生物的传播与扩散。生物入侵已成为与一个国家的经济发展、生态安全、国际贸易与政治利益紧密关联的重大科学问题,也是国际社会、各国政府、科学家与民众共同关心的社会热点(丁晖等, 2011; 侯有明等, 2015)。针对我国的国情,以及当前面临的各类重大生物威胁,应该采取一系列具有中国特色的外来入侵生物防控新策略(Wan *et al.*, 2017; Wan & Yang, 2016)。作者认为今后应以跨境动植物有害生物为主要目标,开展入侵扩散与成灾机制、早期预防预警、快速检测监测、识别追踪溯源、点面拦截狙击、区域防灾减灾等技术研究,并在危害发生时有效、快速控制其发展,最大程度地降低危害效应,防范次生危害发生,及时启动危害生境的恢复重建等。

参考文献

- 丁晖, 徐海根, 强胜, 孟玲, 韩正敏, 缪锦来, 胡白石, 孙红英, 黄成, 雷军成, 乐志芳, 2011. 中国生物入侵的现状与趋势. 生态与农村环境学报, 27(3): 35-41.
- 侯有明, 彭露, 万方浩, 2015. 生物入侵的管理//万方浩, 侯有明, 蒋明星. 入侵生物学. 北京: 科学出版社: 151-167.
- 鞠瑞亭, 李慧, 石正人, 李博, 2012. 近十年中国生物入侵研究进展. 生物多样性, 20(5): 581-611.
- 李博, 马克平, 2010. 生物入侵: 中国学者面临的转化生态

- 学机遇与挑战. 生物多样性, 18(6): 529-532.
- 李浩, 郑安民, 李东明, 2007. 美国、澳大利亚防控生物入侵策略对我国的启示. 植物检疫, 21(4): 258-260.
- 司伟, 周章跃, 2007. 中国和澳大利亚农产品贸易: 动态和展望. 中国农村经济 (11): 4-14.
- 万方浩, 郭建英, 张峰, 2009. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社.
- 张桂芬, 刘万学, 郭建洋, 张毅波, 万方浩, 2013a. 重大潜在入侵害虫番茄潜叶蛾的 SS-COI 快速检测技术. 生物安全学报, 22(2): 80-85.
- 张桂芬, 郭建洋, 王瑞, 杨婷, 李小凤, 郭建英, 曹凤勤, 张金良, 万方浩, 2013b. 双钩巢粉虱的种特异性 SS-COI 检测技术. 生物安全学报, 22(3): 157-162.
- 中国新闻网, 2017. 生物入侵酿逾 2000 亿损失 专家称控制源头是关键. (2017-11-20) [2018-02-05]. <http://www.chinanews.com/sh/2017/11-20/8381370.shtml>.
- 周海燕, 2014. 中国与澳大利亚农产品贸易互补性研究. 世界农业 (9): 105-108.
- GAO Y L, REITZ S R, 2017. Emerging themes in our understanding of species displacements. *Annual Review of Entomology*, 62: 165-183.
- HUANG J X, XU X, WANG M, NIE M, QIU S Y, WANG Q, QUAN Z X, XIAO M, LI B, 2016. Responses of soil nitrogen fixation to *Spartina alterniflora* invasion and nitrogen addition in a Chinese salt marsh. *Scientific Reports*, 6: 20384.
- HULME P E, 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathway in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology*, 46(1): 10-18.
- LI G Y, DENG Y, GENG Y P, ZHOU C C, WANG Y G, ZHANG W J, SONG Z P, GAO L X, YANG J, 2017. Differentially expressed microRNAs and target genes associated with plastic internode elongation in *Alternanthera philoxeroides* in contrasting hydrological habitats. *Frontiers in Plant Science*, 8: 2078.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- SHANG L, QIU S Y, HUANG J X, LI B, 2015. Invasion of *Spartina alterniflora* in China is greatly facilitated by increased growth and clonality: a comparative study of native and introduced populations. *Biological Invasions*, 17(5): 1327-1339.
- TURBELIN A J, MALAMUD B D, FRANCIS R A, 2017. Mapping the global state of invasive alien species: patterns of invasion and policy responses. *Global Ecology and Biogeography*, 26(1): 78-92.
- WAN F H, JIANG M X, ZHAN A B, 2017. *Biological invasions and its management in China*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- WAN F H, YANG N W, 2016. Invasion and management of agricultural alien insects in China. *Annual Review of Entomology*, 61: 77-98.
- XU L T, SHI Z H, WANG B, LU M, SUN J H, 2016. Pine defensive monoterpene alpha-pinene influences the feeding behavior of *Dendroctonus valens* and its gut bacterial community structure. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(11): 1734.
- ZHANG G F, WU X, ZHOU Z X, MENG X Q, WAN F H, 2014. A one-step, single tube, duplex PCR to detect predation by native predators on the invasive *Bemisia tabaci* MEAM1 and *Frankliniella occidentalis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 150: 66-73.
- ZHANG P, NIE M, LI B, WU J H, 2017. The transfer and allocation of newly fixed C by invasive *Spartina alterniflora* and native *Phragmites australis* to soil microbiota. *Soil Biology & Biochemistry*, 113: 231-239.
- ZHAO L L, ZHANG X X, WEI Y A, ZHOU J, ZHANG W, QIN P J, CHINTA S, LIU Y P, YU H Y, HU S N, ZOU Z, BUTCHER R A, SUN J H, 2016. Ascarosides coordinate the dispersal of a plant-parasitic nematode with the metamorphosis of its vector beetle. *Nature Communications*, 7: 12341.
- ZHOU F Y, XU L T, WANG S S, WANG B, LOU Q Z, LU M, SUN J H, 2017. Bacterial volatile ammonia regulates the consumption sequence of D-pinitol and D-glucose in a fungus associated with an invasive bark beetle. *ISME Journal*, 11(12): 2809-2820.

(责任编辑:杨郁霞)