我国入侵昆虫研究进展*

郭建洋** 冼晓青 张桂芬 刘万学 万方浩***

（植物病虫害生物学国家重点实验室，中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘 要 我国是世界上受外来入侵生物影响最为严重的国家之一。生物入侵已经成为威胁我国粮食安全、生态安全、经济安全的重要制约因子。调查发现，我国近 20 年入侵昆虫占已知入侵生物的 70%，已对国家经济社会安全构成持续威胁。近年来，随着全球变化加快，入侵昆虫疫情不断突发，入侵昆虫扩散分布格局变化加剧。为此，总结梳理了建国 70 年以来入侵昆虫分布扩散特点、基础与应用研究进展，分析了未来面临的挑战，提出了相关管理建议。

关键词 入侵昆虫；粮食安全；生态安全；预警监测；防控技术；国际合作

Advances in research on invasive pest insects in China

GUO Jian-Yang** XIAN Xiao-Qing ZHANG Gui-Feng LIU Wan-Xue WAN Fang-Hao***

(State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Pest Insect, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Institute of Plant Protection, Beijing 100193, China)

Abstract China is one of many countries seriously affected by invasive alien species that threaten food safety and ecological and economic, security. Recent research has revealed that 70% of invasive species recorded in China during the first 20 years of this century are pest insects that threaten China's economy and development. There has been a huge increase in the number of invasive insect pests recorded in China in recent years and the distribution of these pests has changed markedly due to accelerating global changes. This paper reviews the distribution and spread of invasive insects in China and discusses progress in basic and applied research on these species since 1949. We also analyze future challenges in managing invasive species and give valuable management advice.

Key words invasive pest insect; food safety; ecological security; early warning and monitoring; prevention and control technology; international cooperation

生物入侵已成为国际社会共同关注的严峻问题。在我国，生物入侵呈现种类多、蔓延快、危害重等特点。目前，我国已知农林外来入侵生物达 640 余种（数据来源于中国外来入侵物种数据库），其中入侵昆虫 130 余种，每年造成直接经济损失逾 500 亿元（Wan *et al.*，2017）。近年来，随着入侵生物频频犯关，新发疫情突发和频发，形势日趋严峻，外来入侵生物跨区域传播和扩散风险日益增强。调查发现，近 20 年传入我国的入侵生物近 60 种，平均每年以入侵昆虫为主的新发疫情约 5-6 种，是 20 世纪 90 年代的 10 倍。如农业新发重大入侵生物“草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 事件”（2018 年），正严重威胁我国的农产品贸易安全和粮食安全（郭井菲等，2019）。因此，加强重大外来入侵昆虫的预警监测及防控就成为我国当前的重大国家需求（万方浩等，2011）。

外来入侵昆虫的研究在我国起步较晚。2000

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金面上项目（31972344）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（Y2018ZK14, Y2019YJ06）；国家重点研发计划(2017YFC1200600)

**第一作者 First author，E-mail：guojianyang@caas.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wanfanghao@caas.cn

收稿日期 Received：2019-10-01；接受日期 Accepted：2019-10-08

年以前，我国对农林危险入侵昆虫的研究主要集中在生物生态学、风险评估、检疫除害和应急控制等，缺乏较为系统和深入的研究，尤其是缺乏成灾机制和控制的基础研究。但从 2002 年开始，将入侵机理和防控技术的基础研究列入国家重点基础研究发展计划（以下简称“ 973 ”计划）进行重点和稳定支持以来，我国生物入侵科学研究进入快速发展时期（万方浩等，2009，2011）。在国家“ 973 ”计划、国家科技支撑计划、行业科技专项、基础性工作专项和国家重点研发计划项目等国家级重大项目的支持下，国家近 20 年累计投入科研经费约 5 亿元，在入侵昆虫入侵机理等基础科学理论领域取得系列创新，防控技术创新研发得到显著提升，技术示范和推广应用成效显著，技术培训和科普宣传得到加强。

我国入侵昆虫防控研究从基础理论和防控技术方面成就斐然，整体上同步于发达国家的水平，并取得了显著的国际影响力。提出和发展了一些列生物入侵基础理论和假说，揭示了烟粉虱 *Bemisia tabaci*、红火蚁 *Solenopsis invicta*、红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* 等重大入侵昆虫的入侵机制和致害机理，在国际顶尖期刊 Science、Ecology Letters、PNAS、Annual Review of Entomology、Nature Communication 等发表了高水平论文（Liu *et al.*，2007；Wan and Yang，2013；Lu *et al.*，2016；Gao and Reitz，2017；Wan *et al.*，2019；Reitz *et al.*，2020）；创新了入侵昆虫系列风险评估、快速检测、早期监测、环境友好型的系列防控技术和产品，进行了广泛的示范应用，2005 年以来，累计获得相关国家科技进步二等奖 6 项。此外，我国发起和组织召开了国际入侵生物学大会等一系列与入侵昆虫相关的国际会议，建立了系列国际合作平台。

1　建国以来新增入侵昆虫的分布扩散格局与特征

建国以来，我国农林生态系统新增外来入侵昆虫 131 种，每年平均新增 1-2 种（图 1）。其中，2005-2013 是外来入侵昆虫快速增长时期，平均每年新增 4-5 种。2013 年以后新增种类逐渐减缓，平均每年新增 2-3 种。此外，沿海地区和经济发达地区外来入侵昆虫新增种类或新纪录物种数量最多，约占 70%以上，内陆地区数量偏少，约占 8%左右。调查发现，进入新世纪以来，新发外来入侵物种的类群中，入侵昆虫数量最多，占 57.8%（冼晓青等，2018）。其中，又以体型微小昆虫类群居多，如粉虱科和粉蚧科共占 18 种。从物种入侵来源分析，来源于“一带一路”沿线国家和南亚、东南亚邻近国家入侵昆虫逐年增多（冼晓青等，2018）。

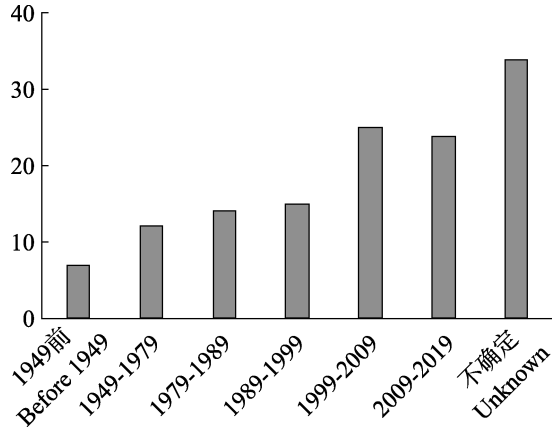

图 1　我国农林生态系统新增外来入侵昆虫动态
Fig. 1　Dynamics of Invasive alien insects from agricultural and ecological system since 1949 in China

2　入侵昆虫防控基础理论研究

入侵昆虫领域研究是入侵生物学研究的重要组成部分，在入侵生物学学科框架和研究模式下，入侵昆虫也包含传入、定殖、潜伏、扩散与暴发等过程；我国入侵昆虫相关研究以实时预警监测和有效控制为目标，侧重入侵机制与生态过程、对生态系统的影响及监控基础研究，从个体/种群、种间关系、群落/生态系统三个层次深入研究入侵昆虫预防与控制所必需解决的关键科学问题，发展入侵昆虫监控的新技术与新方法。近年来，随着多组学技术发展与进步，利用组学技术揭示入侵昆虫入侵机理取得了显著进展，先后

完成了重大入侵昆虫苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*、扶桑棉粉蚧 *Phenacoccus solenopsis*、桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis*、红火蚁 *S. invicta*、草地贪夜蛾 *S. frugiperda* 等基因组测序，为防控技术研发奠定了基础（Wei *et al.*，2017；Liu *et al.*，2019；Wan *et al.*，2019）。

已有研究表明，在入侵昆虫的入侵成灾特性方面，明确了烟粉虱 *B. tabaci*、红火蚁 *S. invicta*、桔小实蝇 *B. dorsalis*、斑潜蝇 *Liriomyza* spp.、苹果蠹蛾 *C. pomonella* 等重要入侵生物的入侵扩散路径与危害特性（Liu *et al.*，2007；Pan *et al.*，2017；Wan *et al.*，2017；Ye *et al.*，2018；Wan *et al.*，2019；Wang *et al.*，2019；Jing *et al.*，2019；Wei *et al.*，2019；Reitz *et al.*，2020）；阐析了烟粉虱等一批重要入侵生物的生态适应性与遗传分化/快速进化的分子基础和遗传基础（Dai *et al.*，2017）；明确了苹果蠹蛾等入侵生物的基于全基因组的成灾机制（Wan *et al.*，2019）；提出了入侵生物的“前适应性”与“后适应性”的“权衡”假说。在入侵生物的种群扩张与入侵生态系统互作方面，提出和解析了入侵昆虫（如烟粉虱）竞争替代本地物种的“非对称型交配互作”理论及竞争替代的“内禀生殖行为调节”机制（Liu *et al.*，2007）；解析了入侵昆虫（如烟粉虱、红脂大小蠹）通过共生生物增强入侵能力的互作机制，提出了“协同入侵假说”和“返入侵假说”（Lu *et al.*，2010；Wei *et al.*，2017）；明确了入侵生物（如烟粉虱、斑潜蝇等）对本地近缘种或生态位等同种的竞争演替效应及竞争排斥机制，丰富了种间竞争的“资源分割利用”理论及“生态系统反馈调节”理论（Ye *et al.*，2018）。相关基础理论及其新发现，为创新防控技术提供了新思路。

在入侵昆虫的预警方面，发展了入侵昆虫的全程风险评估理论，丰富了最大虫口限量原理，解决了定量风险评估要素及传入扩散阈值（冼晓青等, 2019）；发展和挖掘了烟粉虱、斑潜蝇、苹果蠹蛾等易入侵生物和潜在入侵生物的快速分子识别的靶识基因，以及入侵昆虫类别（蓟马类、实蝇类、介壳虫类、粉虱类等）的 DNA 条行码快速识别的靶识基因（田虎等，2013；张桂芬等，2013）；明确了苹果蠹蛾、桔小实蝇等入侵害虫的远程快速监测的靶识信息素和信息获取与传输的技术要素（Gui *et al.*，2017a，2017b；Hou *et al.*，2017；Jiang *et al.*，2017；Wan *et al.*，2019）。

在入侵昆虫的综合防控方面，明确了入侵昆虫（如烟粉虱、斑潜蝇、椰心叶甲 *Brontispa longissima* 等）与天敌的“生态位缺失或不匹配性”机制，丰富了“天敌逃离”假说；明确了生防作用物的控害效应和控制机制（Zhang *et al.*，2019a，2019b），创新了天敌产品研发的技术基础；明确了入侵昆虫（烟粉虱、斑潜蝇等）与天敌互作的生态调控机制以及多天敌的互补和干扰型控害原理（Xu *et al.*，2018；Xuan *et al.*，2018）。此外，还在一些入侵昆虫的 RNA 干涉调控和重塑入侵生物系统的服务功能的基础研究方面也取得重要进展（Zhang *et al.*，2017；Ma *et al.*，2019）。

3 外来入侵昆虫的预警与监控体系研究

在阐明重要农业入侵昆虫传入、定殖、扩散与暴发成灾的生态学过程及机制的基础上，构建了以入侵昆虫领域研究作为主要内容的“生物入侵：中国 4E 行动”（早期预防预警、快速检测监测、点线根除阻截、区域减灾控制），形成了我国生物入侵预防与控制全链式技术体系。

3.1 构建了入侵昆虫早期预警体系

建立了我国入侵昆虫预警数据库平台，我国现有的农业生物信息数据库中有 7 个与外来入侵生物相关，这些数据库为普及公众知识、制定防控计划、发展科学研究提供了大量的信息；其中，“中国外来入侵生物数据库”提供了 300 余种外来有害昆虫的基本信息，包含六大信息分析技术平台（野外调查监测数据云采集系统、在线风险评估系统、DNA 条形码识别系统、信息反馈与可视化处理系统等）。此外，在发展定性和

定量传入与扩散风险评估的基础上，建立了入侵昆虫全程风险评估技术体系，完成了红火蚁、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*、葡萄根瘤蚜 *Viteus vitifoliae*、桔小实蝇等近百种入侵生物的适生性风险分析，确定了其在我国的潜在分布范围；并在风险分析的基础上，制定了近百种外来入侵昆虫的控制预案与管理措施。

3.2　发展了入侵昆虫智能快速检测监测技术

发展建立了烟粉虱、苹果蠹蛾、草地贪夜蛾等 50 余种农业入侵生物的种特异性高效快速分子检测识别诊断/鉴定技术（张桂芬等，2013；田虎等，2013；冼晓青等，2018），并形成 21 种全国农业检疫性有害生物国家或行业标准；针对种类多、个体小/残体、形态难识别的 6 类昆虫（蓟马类、实蝇类、介壳虫类、粉蚧类、粉虱类、潜叶蝇类），建立了 DNA 条行码快速识别技术和平台系统，涉及物种数为 520 余种；创新研发了入侵植物的快速图像智能识别技术及 APP 平台系统，可实现对 210 余种入侵植物的快速调查和监测；发展了苹果蠹蛾、桔小实蝇等入侵害虫的基于信息素的野外实时监测技术，并在此基础上，结合诱集昆虫的图像识别和数据获取与实时传输，研发了入侵害虫的远程监测装备。

3.3　创新了入侵昆虫的根除与阻截控制技术

针对新发和局部分布的入侵生物如红火蚁、马铃薯甲虫、苹果蠹蛾、葡萄根瘤蚜、桔小实蝇、三叶草斑潜蝇 *Liriomyza trifolii* 等，创制了诱杀剂、灭杀剂等系列防控产品，并结合物理防治、化学防治、诱杀防治、野外监测等，建立了入侵生物应急防控和扩散阻截技术体系，近 3 年在 800 余个新发生点实施了根除。

3.4　发展了入侵昆虫区域减灾技术体系

针对农业入侵生物如烟粉虱、白粉虱、椰心叶甲 *B. longissima*、斑潜蝇、桔小实蝇等，引进和挖掘外来与本地高效天敌昆虫 20 余种，并建立其规模化繁育技术和田间释放应用技术（包括单种天敌释放和多种天敌组合释放），以及基于天敌利用的生态调控技术（诱集植物、载体植物助增以及作物布局等）；研制了生防病原菌制剂产品 10 余种；研发了烟粉虱、斑潜蝇、桔小实蝇、苹果蠹蛾、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 等的物理诱杀技术和化学诱杀技术。集成建立了烟粉虱、苹果蠹蛾等 20 余种农业入侵生物的区域性持续治理技术体系，并进行了大面积的示范推广和应用，在生长实践中发挥了很好的控制作用。

3.5　在防控技术方面，极大支撑了外来入侵昆虫防控的行业需求

如改进了入侵昆虫风险评估和预警技术与方法，确定了 50 余种入侵物种的适生性风险区域与风险值并制定了控制预案；建立了近 30 种危险与潜在入侵物种的快速分子检测技术与方法，并开发了多种快速检测与野外监测的试剂盒；初步构建了重大入侵物种的全程防控技术体系。2005 年以来，入侵昆虫相关研究成果已获国家科技进步二等奖 6 项，分别为“入侵害虫蔬菜花斑虫的封锁与控制技术（2005）”“重大外来侵入性害虫——美国白蛾生物防治技术研究（2006）”“重大外来入侵害虫——烟粉虱的研究与综合防治（2008）”“桔小实蝇持续控制基础研究及关键技术集成创新与推广（2009）”“主要农业入侵生物的预警与监控技术（2013 年）”“我国检疫性有害生物国境防御技术体系与标准（2017）”。省部级成果奖 30 余项。研究成果极大地满足了入侵昆虫防控的国家重大需求，为保障农业安全生产和生态安全，支撑产业可持续发展提供了强有力的技术支撑，有效提升了行业影响力。

4　国际合作日益频繁

进入新世界以来，我国科研机构和科学家积极开展国际合作研究，加强了与英国、德国、澳大利亚、美国、意大利、新加坡、CABI 等发达国家研究院所实质性合作研究，谋划推动了一批国际合作项目立项实施，如入侵昆虫的遗传控制

（中-德）、入侵昆虫的生物防治（中-美）、中欧外来入侵生物监测和控制（中-欧盟）等。推动建立了中国农业部-CABI 生物安全联合实验室（2008 年）和中国农科院-美国北卡州立大学外来有害生物防控中心（2014 年）以及中澳外来入侵物种预防与控制联合中心（2015 年）等国际联合研究平台，为进一步提升我国入侵生物学学科的国际影响力和打造世界级科学中心奠定了坚实基础。牵头组织了包括亚太经合组织（APEC）外来入侵生物防治国际研讨会（2005 年，北京）、前三届国际入侵生物学大会（2009 年，福州；2013 年，青岛；2017 年，杭州）、第五届国际烟粉虱大会（2009 年，广州）等重大国际学术活动。

5 面临挑战与相关建议

5.1 入侵昆虫传入和扩散产生新特点

20 世纪中期之前，我国外来入侵昆虫的传入途径主要是口岸贸易和“人为”引种。进入 21 世纪，全球经济一体化趋势加剧的新形势下，外来入侵昆虫的传入与扩散呈现出新特点：1）国际贸易和国际旅游等“人为”活动的迅猛发展，成为外来物种远距离入侵与迁移扩散的主要途径；2）现代大农业生产（农业、林业、畜牧业、水产养殖等）部分依赖于物种资源的引进与交换，这种有目的地共享生物多样性资源使得特定生态系统或特定区域得到巨大经济效益的同时，也增加了外来有害生物伴随入侵的危险性；3）经济一体化带来的交通基础设施的贯通，如近年来，随着国家南水北调、“一带一路”等重大战略工程的实施，基础设施建设打破或扰动了“地理隔离与生态屏障”的“廊道”效应，增加了入侵物种迁移扩散的频率；4）近年来的网购热、宠物热等新情况的出现，使得外来物种入侵途径更趋多样化、复杂化。

5.2 入侵昆虫防控研究面临新挑战

尽管我国入侵生物学学科已经基本形成，也取得了较大的国际影响力，但前期发展重点集中于“应急性”防控基础研究，侧重于入侵物种入侵扩散的生态过程，侧重于“即时/应急”的防控方法，基础研究的广度和深度均不足以支撑学科的全面发展，自主创新能力仍有待进一步增强。因此，急迫需要培育新的生长点，并通过加强基础研究投入和长期、深厚的学科知识积累，促进原始创新能力的提升，开创学科发展新局面。

5.3 入侵昆虫管理亟待加强

尽快推动出台《生物安全法》《外来入侵种管理条例》等法律法规，使外来入侵生物的防控管理有法可依；构建我国外来入侵生物的早期风险预警大数据平台，提升入侵生物的早期预警和应急处置能力；建立国家外来入侵物种地面监测网络，开展重大入侵物种的基础性、长期性监测，实现入侵生物的早发现和早控制；提升外来入侵生物防控技术与产品的研发能力和水平，促进防控技术的标准化、规范化，为防控管理决策提供支撑；促进入侵生物防控技术与产品的应用示范，构建入侵生物区域性全程防控技术体系，满足入侵生物防控的国家需求；加强科普宣传和教育，提升公众认知和防控意识，防止入侵生物的“无意”传入和扩散蔓延。

参考文献 (References)

Dai TM, Lu ZC, Liu WX, Wan FH, Hong XY, 2017. The homology gene BtDnmt1 is essential for temperature tolerance in invasive *Bemisia tabaci* mediterranean cryptic species. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/s41598-017-03373-w.

Gao YL, Reitz SR, 2017. Emerging themes in our understanding of species displacements. *Annual Review of Entomology*, 62: 165–183.

Gui SH, Jiang HB, Liu XQ, Xu L, Wang JJ, 2017. Molecular characterizations of natalisin and its roles in modulating mating in the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Insect Molecular Biology*, 26(1): 103–112.

Gui SH, Jiang HB, Xu L, Pei YX, Liu XQ, Smagghe G, Wang JJ, 2017. Role of a tachykinin-related peptide and its receptor in modulating the olfactory sensitivity in the oriental fruit fly,

Bactrocera dorsalis (Hendel). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, doi: 10.1016/j.ibmb.2016.12.002.

Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology,* 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]

Hou QL, Chen EH, Jiang HB, Wei DD, Gui SH, Wang JJ, Smagghe G, 2017. Adipokinetic hormone receptor gene identification and its role in triacylglycerol mobilization and sexual behavior in the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, doi: 10.1016/j.ibmb. 2017.09.006.

Jiang HB, Gui SH, Xu L, Pei YX, Liu XQ, Smagghe G, Wang JJ, 2017. The short neuropeptide F modulates olfactory sensitivity of *Bactrocera dorsalis* upon starvation. *Journal of Insect Physiology*, doi: 10.1016/j.jinsphys.2017.03.012.

Jing TX, Zhang YX, Dou W, Jiang XY, Wang JJ, 2019. First insights into the intrapuparial development of *Bactrocera dorsalis* (Hendel): Application in predicting emergence time for tephritid fly control. *Insects*, 10(9): e283.

Liu H, Lan TM, Fang DM, Gui FR, Wang HL, Guo W, Chen XF, Chang Y, He SQ, Lyu LH, Sahu SK, Chen L, Li HM, Liu P, Fan GY, Liu TX, Hao RS, Lu HR, Chen B, Zhu SS, Lu ZH, Huang FN, Dong W, Dong Y, Kang L, Yang HM, Sheng J, Zhu YY, Liu X, 2019. Chromosome level draft genomes of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest in China. *BioRxiv*, doi: 10.1101/671560.

Liu SS, De Barro PJ, Xu, Luan JB, Zang LS, Ruan YM, Wan FH, 2007. Asymmetric mating interactions drive widespread invasion and displacement in a whitefly. *Science*, 318(5857): 1769–1172.

Lu M, Hulcr J, Sun JH, 2016. The role of symbiotic microbes in insect invasions. *Annual Review of Ecology*, *Evolution and Systematics*, doi: 10.1146/annurev-ecolsys-121415-032050.

Lu M, Wingfield MJ, Gillette NE, Mori SR, Sun JH, 2010. Complex interactions among host pines and fungi vectored by an invasive bark beetle. *New Phytologist*, 187(3): 859–866.

Ma MQ, He WW, Xu SJ, Xu LT, Zhang J, 2019. RNA interference in Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*): A potential strategy for pest control. *Journal of Integrative Agriculture*, doi: 10.1016/S2095-3119(19)62702-4.

Pan F, Lu Y, Wang L, 2017. Toxicity and sublethal effects of sulfoxaflor on the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, doi: 10.1016/j.ecoenv. 2017.02.014.

Reitz SR, Gao YL, Kirk WDJ, Hoddle MS, Leiss KA, Funderburk JE, 2020. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. *Annual Review of Entomology*, doi: 10.1146/ annurev-ento-011019-024947.

Tian H, Li XF, Wan FH, Zhang GF, Zhang JL, 2013. Identification of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) with species-specific COI (SS-COI) primers. *Acta Entomologica Sinica*, 56(6): 689–696. [田虎, 李小凤, 万方浩, 张桂芬, 张金良, 2013. 利用种特异性 COI 引物 (SS-COI) 鉴别扶桑绵粉蚧. 昆虫学报, 56(6): 689–696.]

Wan FH, Guo JY, Zhang F, 2009. Biological Invasion Research in China, Beijing: Science Press. 10–24. [万方浩, 郭建英, 张峰, 2009. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社. 10–24.]

Wan FH, Jiang MX, Zhan AB, 2017. Biological Invasion and Its Management in China. Volume I. Dordrecht: Springer Nature, Netherland. 3–15.

Wan FH, Yan Y, Wang R, Yang GQ, 2011. Invasion biology: development and perspective in China. *Journal of Biosafety*, 20(1): 1–19. [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.]

Wan FH, Yang NW, 2016. Invasion and management of agricultural alien insects in China. *Annual Review of Entomology*, 61: 77–98.

Wan FH, Yin CL, Wu Q, Tang R, Huang C, Chen MH, Qian WQ, Yang NW, Wang SP, Wang GR, Zhang GF, Guo JY, Gu LQ, Chen LF, Xing LS, Xi Y, Liu FL, Lin KJ, Guo MB, Liu W, Jacquin-Joly E, Franck P, Rota-Stabelli O, Meslin C, Siegwart M, Petr N, Dalíková M, Marec F, Shen JR, Liu JD, Tian RZ, Guo JM, Luo JP, Liu B, Fan W, Feng LK, Zhao XX, Peng X, Wang K, Liu L, Zhan HX, Liu WX, Lu S, Shi GL, Jiang CY, Jin JS, Xian XQ, Ye ML, Li MZ, Yang ML, Walters JR, Li F, 2019. A chromosomal genome assembly reveals key genetic features of invasiveness in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Nature Communication*, doi: 10.1038/s41467-019-12175-9.

Wang L, Xu YJ, Zeng L, Lu YY, 2019. A review of the impact of the red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren on biodiversity in South China. *Journal of Integrated Agriculture*, 18(4): 788–796.

Wei DD, He W, Lang N, Miao ZQ, Xiao LF, Dou W, Wang JJ, 2019. Recent research status of *Bactrocera dorsalis*: Insights from resistance mechanisms and population structure. *Archives of*

Insect Biochemistry and Physiology, doi: 10.1002/arch.21601.

Wei J, He YZ, Guo Q, Guo T, Liu YQ, Zhou XP, Liu SS, Wang XW, 2017. Vector development and vitellogenin determine the transovarial transmission of begomoviruses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114 (26): 6746–6751.

Xian XQ, Zhang GF, Liu WX, Wan FH, 2018. Risk assessment of the invasion of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) into China. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 49–55. [冼晓青, 张桂芬, 刘万学, 万方浩, 2018. 世界性害虫番茄潜麦蛾入侵我国的风险分析. 植物保护学报, 46(1): 49–55.]

Xian XQ, Wang R, Guo JY, Liu WX, Zhang GF, Sun YF, Wan FH, 2018. Analysis of new invasive alien species in China's agricultural and forestry ecosystems in recent 20 years. *Plant Protection*, 44(5): 168–175. [冼晓青, 王瑞, 郭建英, 刘万学, 张桂芬, 孙玉芳, 万方浩, 2018. 我国农林生态系统近 20 年新入侵物种名录分析. 植物保护, 44(5): 168–175.]

Xu HY, Yang NW, Chi H, Ren GD, Wan FH, 2018. Comparison of demographic fitness and biocontrol effectiveness of two parasitoids, *Encarsia Sophia* and *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae), against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*, 74(9): 2116–2124.

Xuan JL, Liu WX, Zhang YB, Cheng XQ, Guo JY, Wan FH, 2018. Interactions between *Diglyphus isaea* and *Neochrysocharis formosa* (Hymenoptera: Eulophidae), two parasitoids of agromyzid leafminers. *Biological Control*, doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.07.005.

Ye FY, Zhu CD, Yefremova Z, Liu WX, Guo JY, Wan FH, 2018. Life history and biocontrol potential of the first female producing parthenogenetic species of *Diglyphus* (Hymenoptera: Eulophidae) against *Agromyzid leafminers*. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/s41598-018-20972-3.

Zhang GF, Liu WX, Guo JY, Zhang YB, Wan FH, 2013. Species-specific COI primers for rapid identification of *Tuta absoluta* (Meyrick), a significant, potential alien species. *Journal of Biosafety*, 22(2): 80–85. [张桂芬, 刘万学, 郭建洋, 张毅波, 万方浩, 2013. 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.]

Zhang J, Khan SA, Heckel DG, Bock R, 2017. Next generation insect-resistant plants: RNAi-mediated crop protection. *Trends in Biotechnology*, 35(9): 871–882.

Zhang YB, Zhang GF, Liu WX, Wan FH, 2019a. Continuous heat waves change the life history of a host-feeding parasitoid. *Biological Control*, doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.04.013.

Zhang YB, Zhang GF, Liu WX, Wan FH, 2019b. Variable temperatures across different stages have novel effects on behavioral response and population viability in a host-feeding parasitoid. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/s41598-018-38087-0.