

防范生物入侵：以昆虫为例^{*}



张润志^{1,2} 姜春燕^{2,3} 徐 婧²

1 中国科学院动物研究所，农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100101

2 中国科学院动物进化与系统学重点实验室 北京 100101

3 中国科学院大学 北京 100049

摘要 入侵生物严重危害农业、林业、生态和人类健康安全，马铃薯甲虫、扶桑绵粉蚧、苹果蠹蛾等入侵害虫对中国农业发展构成严重威胁。我国的入侵物种有3/4最早发现于沿海经济发达地区，人类活动造成的生物入侵以空前的速度增加，一旦这些引入物种定居下来，几乎不可能根除。全球气温升高也在一定程度上加速了生物的入侵速度和危害程度。潜在入侵害虫的准确和快速鉴定、各类昆虫快速鉴定的特异性分子标记以及重要入侵害虫的监测技术与防控技术研究，成为我国预防和控制害虫入侵和入侵害虫危害的关键科学和技术问题。

关键词 生物入侵，入侵害虫，鉴定，监测，防控

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.04.003

入侵种会对生物区系和生态系统造成巨大破坏，引起本地动物包括人类和植物疾病暴发，使当地的生态系统发生变化，本地物种不断减少。生物入侵被视为当代世界最重要的环境问题之一。

1 生物入侵的严峻形势

生物入侵可以威胁农业、林业、生态和人类健康安全^[1]。原产于北美的马铃薯甲虫（*Leptinotarsa decemlineata* Say）是重要的世界性入侵害虫，严重危害马铃薯生产，同时也对茄子和番茄等作物造成危害。1993年其入侵新疆地区，2013年又在吉林省被发现，严重威胁我国马铃薯等的生产安全（图1）。马铃薯甲虫当前给我国造成的经济损失为2 223.97万元/年，其中农业损失为909.28万元/年；最重要的是潜在经济损失，估计为16.10亿元/年，其中潜在农业损失估计为4.07亿元/年，潜在防治费用为12.03亿元/年^[2]。对入侵新疆种群

^{*}资助项目：中科院生物多样性与生态系统服务专题评估项目（KFJ-EW-STS-021）

修改稿收到日期：2016年2月28日



图1 马铃薯甲虫成虫

的遗传结构研究表明，马铃薯甲虫在入侵地扩散过程中，遗传保持很强的入侵性^[3]。2008年首次在我国发现的棉花毁灭性害虫扶桑绵粉蚧（*Phenacoccus solenopsis* Tinsley），其被国际棉花咨询委员会（International Cotton Advisory Committee, ICAC）警告是未来BT棉花的重要害虫（图2），是影响世界棉花发展的重要因素^[4]。该虫2009年前后在海南，2010年在广西、福建、江西、湖南、浙江、云南、四川均有被发现，庆幸的是2010年在新疆乌鲁木齐该虫被发现后被根除。



图2 扶桑绵粉蚧危害状

苹果蠹蛾（*Cydia pomonella* L.）原产欧洲，可造成苹果、沙果、梨、桃、杏等大量落果，危害。损失严重（图3），对我国苹果等安全生产构成了巨大威胁^[5,6]。根据苹果蠹蛾的扩散速度及传播特点，可将苹果蠹蛾在中国的传播扩散历史分为3个阶段：第一阶段为1987年之

前。在该阶段，苹果蠹蛾仅在中国新疆的81个县（市）发生，且其很可能是随中长距离的人类活动进行传播扩散的。第二阶段为1987—2006年。在该阶段，苹果蠹蛾突破了在新疆—甘肃之间以荒漠与戈壁为主的自然屏障，进入甘肃省。苹果蠹蛾种群的自然扩散及中短距离的人为传播是这一阶段的主要扩散方式，但由于甘肃中部适宜苹果蠹蛾生存的果树种植区狭长，对苹果蠹蛾的扩散起到一定的挟制作用。这一阶段苹果蠹蛾由西向东的扩散速度相对较慢，平均年扩散距离在30 km左右，但近年来在我国最大的苹果主产区陕西省的果汁加工厂中常被监测到，说明威胁十分紧迫。第三阶段为2006年至今。苹果蠹蛾在除甘肃、新疆以外的省区出现，特别是在中国东部监测到其存在，在东北地区的黑龙江、吉林和辽宁均发现疫情，对渤海湾苹果主产区构成严重威胁。在这一阶段，由于新发地区通常采取高强度的防治措施，因此短距离的自然扩散明显受到遏制，但中长距离的传播明显增加，每年平均传播距离在100 km左右，有时会在发生区几百公里之外出现新的疫情发生点，表明苹果蠹蛾的传播扩散与日益密集的果品调运活动之间存在着重要联系。



图3 苹果蠹蛾危害状

原产中国东北、朝鲜半岛和俄罗斯的白蜡窄吉丁（*Agrilus planipennis* Fairmaire）2012年被发现入侵美国以来，已经造成了数百万株白蜡树的死亡并且发生区域还在扩散。美国在发现之初对该虫一无所知，后经过10余年的深入研究，发现原产中国的白蜡树对该虫具

有很强的抗性,因此进行了抗性基因的引入并进行美国白腊树的抗性育种与改良。由于监测与消除危害的难度太大,早期的根除努力几乎白费,目前防治措施重点集中在以生物防治技术应用、高价值树木的药剂防治来降低白腊树的死亡数量^[7]。一种双翅目昆虫日本伊蚊 [*Aedes japonicus japonicus* (Theobald)] 从其原产地日本、韩国入侵到北美和欧洲中部地区,这种昆虫特别是幼虫可以影响其入侵的疾病流行。日本伊蚊的成功入侵并不是其食物的关系,而关键在于其幼虫行为和耐低温特性,因此预测它将在北美洲扩散并且将快速扩散至欧洲、亚洲等许多地区永久生存^[8]。相互依存的生物构成了相对稳定的生态系统并且调节它们的各种功能,而入侵物种打破这种互利共生关系、降低生物多样性、影响生态系统功能。互利共生中的授粉、种子传播和植物与微生物相互关系遭受入侵生物影响同时也影响入侵物种的生存,动物的某些行为也受入侵生物的影响^[9]。克氏原螯虾(俗称小龙虾)的引入与入侵给人类和生态系统带来收益和损害两方面的影响,负面影响包括干扰本地物种生存、传播疾病、农业水利管理成本上升等,显然这些负面影响已经远远超过其自身的利用价值^[10],因此需要深入研究其生态影响并且需要货币化,包括寄生物及其与病害流行的关系、杂交物种的风险评估、对不同区域不同人群的影响以及控制策略等。

2 人类活动加速入侵物种形成

人类活动造成的非有意引进物种以空前的速度增加,一旦这些引入物种定居下来,几乎不可能被根除。我国的入侵物种有 3/4 最早发现于沿海经济发达地区,分析我国 2008 年以前发现的 166 种对农林有害生物为主的非有意引进入侵物种,入侵物种首发地数量在各省区间随着对外商贸活动的不同而变化很大,沿海经济发达省区入侵物种首发地(first detection location, FDL)明显多于内陆省区。辽宁、北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西和海南等 12 省区市

的土地面积仅占全国的 15.6%,而入侵物种首发地所占比例却高达 74.6%^[11,12]。

原产北美洲、1988 年入侵我国的稻水象甲(*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel),目前已经在我国 24 个省区发现,而与稻水象甲近缘的 *Lissorhoptrus* 属昆虫全世界共有 23 种,其中在北美洲危害水稻 *Oryza sativa* L. 或野生稻 *Zizania aquatic* L. 的有 6 种,除稻水象甲以外还有 *L. bosqi* Kuschel, *L. isthmicus* Kuschel, *L. kusheli* O'Brien, *L. persimilis* O'Brien 和 *L. buchanani* Kuschel,这些都是我国和其他地区的潜在入侵生物。由此推断,很多入侵物种的近缘物种,对其超前的鉴定、监测等相关研究,在预防生物入侵过程中都是非常重要的。

近百年来,全球气温升高导致入侵物种定居速度明显加快^[13],1900—2005 年中国大陆入侵昆虫定居速度与气温升高呈显著相关性。通过对英国和美国相关数据分析,也证实了与中国存在显著的一致性。由此确定了气温变化与入侵物种数量增加的相关关系模型,研究发现:大气温度每升高 1°C,入侵物种的数量每 10 年增加 5 种。全世界生物入侵的历史证明,快速发展的国际贸易直接导致了物种被携带到新的生态系统,而全球变暖直接影响了物种成功定居并造成入侵危害。这一研究结果充分说明,在制定外来入侵物种控制的策略和政策过程中,需要考虑到全球环境变化的重要影响。

3 当前存在的关键问题

检疫是控制入侵物种引入的关键环节。《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》中绝大多数物种广泛分布在国外,我国口岸快速准确鉴定成为难题。该名录中包括昆虫 146 种属,急需利用现代生物学技术提供快速、准确、易于掌握和便于口岸使用的新方法。随着分子生物新技术的发展,DNA 条形码鉴定技术成为快速鉴定的新手段,在发达国家被普遍采用。

许多入侵昆虫,不但在战争中作为生物武器使用,和平年代也可能成为攻击粮食、蔬菜、棉花生产的重要

手段。“二战”期间，马铃薯甲虫被用于毁灭英国和德国马铃薯产业，以削弱他们的食品供应。貌似平和的手段导致的后果却相当严重，并且是长期的、难以根治的灾难。

应充分依靠我国从事相关研究的科学家，通过与国际研究学者进行合作研究，获得可能造成恐怖性危害、致使我国粮食、棉花、蔬菜、水果和人民健康遭受重大危害的入侵昆虫，如马铃薯甲虫、苹果蠹蛾、扶桑绵粉蚧、玉米根萤叶甲、稻水象甲、地中海实蝇、红火蚁（图4）等关键研究材料，研究关键监测与控制技术，进而分别集成监测防控技术体系。



图4 红火蚁及其危害

4 我国亟待解决防范生物入侵的关键技术

（1）潜在入侵害虫准确定名标本和快速分子鉴定材料。入侵生物一旦出现鉴定错误，会造成入侵、蔓延危害，或者遭受国际贸易讹诈而产生损失。应超前布置研究我国法律规定的146种属潜在入侵昆虫分子快速鉴定技术，不仅要分子水平了解这些物种，更重要的是深入研究这些物种与近缘种的区别。该研究将涉及物种数量超过500种，由于每个类群昆虫的分子鉴定技术都有特殊性，要针对特定类群寻找特异性分子标记。

（2）146种属昆虫快速鉴定的特异性分子标记。寻

找适合鞘翅目、鳞翅目、膜翅目等各个类群的特异性物种鉴定分子标记和DNA片段，对各个类群和种属，均要提供准确、检测简便的特异性鉴定DNA片段和分子标记，这是鉴定试剂盒研制的关键。具体包括：各个类群潜在入侵昆虫的特异性分子标记和DNA鉴定片段的寻找；入侵害虫扩散及暴发机制；恐怖性入侵农业害虫的危害评估、监测与防控新技术。

（3）重要入侵害虫的监测技术与防控技术。研制入侵农业害虫马铃薯甲虫、苹果蠹蛾、扶桑绵粉蚧、玉米根萤叶甲、稻水象甲、地中海实蝇、红火蚁等的简便监测技术和关键防控技术。

参考文献

- 1 Elton C S. 动植物入侵生态学. 张润志, 任立, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- 2 Liu N, Li Y, Zhang R. Invasion of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, in China: dispersal, occurrence, and economic impact. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 143: 207-217.
- 3 Zhang J, Yang J, Li Y, et al. Genetic relationships of introduced Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, populations in Xinjiang, China. *Insect Science*, 2013, 20: 643-654.
- 4 Wang Y, Watson G W, Zhang R. The potential distribution of an invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis*, and its threat to cotton in Asia. *Agricultural and Forest Entomology*, 2010, 12: 403-416.
- 5 张润志, 王福祥, 张雅林, 等. 入侵生物苹果蠹蛾监测与防控技术研究. *应用昆虫学报*, 2012, 49 (1): 37-42.
- 6 Wei J, Xu J, Zhang R. Oviposition site selection of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) and its consequences for egg and neonate performance. *J. Econ. Entomol.* 2015, 108 (4): 1915-1922.
- 7 Herms D A, McCullough D G. Emerald ash borer invasion of North America: History, biology, ecology, impacts, and

- management. Annu. Rev. Entomol., 2014, 59: 13-30.
- 8 Kaufman M G, Fonseca D M. Invasion Biology of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae). Annu. Rev. Entomol., 2014, 59: 31-49.
- 9 Traveset A, Richardson D M. Mutualistic interactions and biological invasions. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., 2014, 45: 89-113.
- 10 Lodge D M, Deines A, Gherardi F, et al. Global introductions of crayfishes: Evaluating the impact of species invasions on ecosystem services. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., 2012, 43: 449-472.
- 11 黄顶成, 张润志. 中国外来入侵种的类群、原产地及变化趋势. 生物安全学报, 2011, 20 (2): 113-118.
- 12 Huang D, Zhang R, Kim K C, et al. Spatial pattern and determinants of the first detection locations of invasive alien species in Mainland China. Plos One, 2012, 7 (2): e31734.
- 13 Huang D, Haack R A, Zhang R. Does global warming increase establishment rates of invasive alien species? A Centurial Time Series Analysis. Plos One, 2011, 6 (9): e24733.

Defence Biological Invasions: In Case of Invasive Alien Insects

Zhang Runzhi^{1,2} Jiang Chunyan^{2,3} Xu Jing²

(1 State Key Laboratory of Integrated Pest Management, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 CAS Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Invasive alien species have great impacts on agriculture, forestry, ecology, and human health. Introduced pest insects such as the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say), cotton mealybug (*Phenacoccus solenopsis* Tinsley), codling moth (*Cydia pomonella* L.), etc. have posed serious threats to Chinese agricultural development. Three quarters of invasive species in China were first discovered in the coastal economically developed areas. Biological invasions which caused by human activities increased faster than ever before. Once these introduced species settle down, they are almost impossible to be eradicated. With the global temperature rising, it also accelerates the degree of invasion and damage of alien species. Key problems of science and technology for preventing and controlling introduced alien pests in China are as follows: accurate and rapid identification, specific molecular markers, and techniques of monitoring, prevention, and control for important invasive pests.

Keywords biological invasion, invasive pest insect, identification, monitoring, control

张润志 中科院动物所研究员, 国家杰出青年基金、中科院杰出科技成就奖获得者, 中国昆虫学会常务理事兼副秘书长。主要从事外来入侵害虫的鉴定与控制等研究工作。E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn

Zhang Runzhi Professor in the Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences (CAS). Winner of the National Outstanding Youth Foundation and the CAS Outstanding Science Technology Achievement Awards. Standing committee member and deputy secretary-general of Chinese Society of Entomology. Research fields cover identification and management of invasive alien insects. E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn