

# 发达国家应战外来 入侵生物的成功方法

吴金泉<sup>1</sup>, Michael T. Smith<sup>2</sup>

(1. Dept. Entomology & Applied Ecology, University of Delaware, 250 Townsend Hall, Newark, DE 19713, USA; 2. USDA - Agricultural Research Service, Beneficial Insect Introduction Research Unit, 501 South Chapel Street, Newark, Delaware 19713, USA)

**摘要:**生物入侵越来越严重地威胁着全球的自然资源和生物多样性。为了阻止生物入侵,发达国家采用了多种办法,系统地处理整个入侵过程,其中包括入侵生物的引进,建立种群,传播和归化。本文通过美国、加拿大、新西兰、英国和澳大利亚等发达国家的成功例子,讨论了生物入侵管理项目中可采用的主要方法,其中包括防止,早期发现和快速反应,灭除,包围、压制和防治。立法能很大程度上防止外来物种的入境,立法主要是针对入侵途径和入境口岸的风险评估。在过去二十年中,立法速度显著加快,立法内容也越来越侧重于单一物种或某一类物种。成功的早期发现和快速反应很大程度取决于公众教育和宣传,研究和检测技术的发展。对新引入的外来物种作出快速反应,特别是当它在较低的种群水平下,是防止它建立种群,扩散和归化的关键。美国对柑桔星天牛的早期发现和快速反应(*Anoplophora chinensis*)为灭除项目的一种方法及其结果提供了例证。然而,比较和对比不同柑桔星天牛的灭除方案,对其他发达国家和发展中国家制订灭除方案是至关重要的。

对于一个特定的入侵生物,灭除方案的前景也取决于其生殖能力,寄主范围,传播速度,在低种群密度下是否有有效的检测方法和对有效的防治方法的敏感性等生物学特性。此外,成功的灭除措施和标准在种内和种间都存在很大的差异,它们也随着危害程度,政治和法律约束的不同而变化[比如光肩星天牛(*glabripennis*)]。如果一个外来入侵物种没有被成功地拦截,并已在广泛的领域建立起了种群,从而使灭除变得不可行,那么重点就应该转移到包围、压制和防治的策略上。虽然这些策略利用了很多与灭除策略相同的方法(例如调查和诊断,机械方法,化学方法,生物防治),但综合管理方案是最有效的方法。夏威夷果蝇[比如地中海果蝇(*Ceratitis capitata*)、瓜实蝇(*Bactrocera cucurbitae*)、东方果实蝇(*Bactrocera dorsalis*)、马来西亚果蝇(*Bactrocera latifrons*)]的治理代表了一个独特的综合利用这些方法的例子。本文讨论的治理外来入侵生物的方法可作为适应性管理的模型,修改后可以满足发展中国家的需要。

**关键词:**发达国家;入侵生物;成功经验;立法;防止;早期发现和快速反应;灭除;包围、压制和防治;综合治理方案  
**中图分类号:**S41-30 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2286(2010)05-1040-16

## Successful Approaches for Battling Invasive Species in Developed Countries

WU Jinquan<sup>1</sup>, Michael T. Smith<sup>2</sup>

(1. Dept. Entomology & Applied Ecology, University of Delaware, 250 Townsend Hall, Newark, DE 19713, USA; 2. USDA - Agricultural Research Service, Beneficial Insect Introduction Research Unit, 501 South Chapel Street, Newark, Delaware 19713, USA)

收稿日期:2010-06-25 修回日期:2010-10-10

**作者简介:**吴金泉(1965—),男,江西南丰人,研究员。1988年7月本科毕业于江西农业大学植物保护系;于1992年硕士毕业于中国农业科学院研究生院;1992年8月至1999年5月在中国农业科学院蜜蜂研究所工作。1999年-2003年就读美国内布拉斯加林肯大学(University of Nebraska - Lincoln),分别于2001年和2003年获昆虫学和统计学双硕士学位。现为德拉华大学(University of Delaware)昆虫与野生动物生态系研究员。主要研究外来入侵害虫的生物学特征及生物防治技术。共发表论文与综述13篇,独著书1部,主编1部,合著书3部,E-mail: jinquanw@udel.edu。Michael T. Smith(1954—),男,昆虫学家,主要从事外来入侵害虫研究,E-mail: Michael.Smith@ars.usda.gov。

**Abstract:** Biological invasions increasingly threaten natural resources and reduce biological diversity worldwide. To curtail biological invasions, developed countries have adopted multi-tire approaches that systematically address the process of invasion, encompassing introduction, establishment, spread and naturalization of invasive species. This paper addresses the primary approaches to successful adaptive management programs for invasive species, including prevention, early detection and rapid response, eradication, containment, suppression and control, with examples from United States, Canada, New Zealand, Great Britain and Australia. Prevention of entry of invasive species is facilitated largely through legislation, targeting risk assessment of pathways and ports of entry. Development of new legislation has significantly accelerated in the past two decades, increasingly focusing on individual or small groups of species. Successful early detection and rapid response to invasive species depends in large part on public education and outreach, and research and development of detection technologies. Rapid response to new introductions, particularly while invasive species are at a low population level, is key to preventing their establishment, spread and naturalization. Early detection and rapid response to the introduction of the Citrus Longhorned Beetle (CLB) (*Anoplophora chinensis*) in the United States provides an example of one approach and resulting outcome of an eradication program. However, comparison and contrast among different CLB eradication programs are vitally important to formulating a template for other developed and developing countries. Prospects for successful eradication of a given invasive species also depends on a limited number of biological characteristics, including its reproductive capacity, host range, rate of spread, effective detection at low population density and susceptibility to effective control methods. Furthermore, measures and criteria of successful eradication vary widely within and among species, infestations, and political and legislative constraints (e.g. Asian Longhorned Beetle, *Anoplophora glabripennis*). If an invasive species fails to be intercepted and becomes established over a wide area, thereby rendering eradication unfeasible, emphasis shifts to containment, suppression and control strategies. While these strategies utilize many of the same approaches as eradication (e.g. survey and detection, and mechanical, chemical and biological control), an integrated management program is the most effective. Management of Tephritid fruit flies (e.g. *Ceratitis capitata*, *Bactrocera cucurbitae*, *Bactrocera dorsalis*, *Bactrocera latifrons*) in Hawaii represents a unique example of integrated management program. The approaches for managing invasive species presented in this paper collectively serve as models for adaptive management programs that can be modified to meet the needs in developing countries.

**Key words:** developed countries; invasive species; successful experience; legislation; prevention; early detection and rapid response; eradication; containment; suppression and control; integrated management program

## 1 引言

对于一个特定的生态系统,任何非本土物种,包括它的种子、卵、孢子或其他能够繁殖该物种的生物材料,都叫外来物种(Alien Species)。如果引进一个外来物种会或可能会对经济、环境或人类健康造成危害,那么这个外来物种就叫外来入侵物种(Alien Invasive Species),简称“入侵种”(Invasive Species)<sup>[1]</sup>,在中国也叫“入侵生物”<sup>[2-3]</sup>。

外来入侵种往往具有以下特点:①生态适应能力强;②繁殖能力强;③传播能力强<sup>[4]</sup>。

外来物种可通过3种途径成功入侵:①有意识地引进:引入用于农林牧渔生产、生态环境改造与恢复、景观美化、观赏等目的的物种,尔后演变为入侵种;②无意识地引进:随着贸易、运输、旅游等活动而传入的物种;③自然入侵:靠自身的扩散传播力或借助于自然力量而传入<sup>[5]</sup>。在我国所有外来入侵物种中,39.6%属于有意引进,49.3%属于无意引进,仅有3.1%属于自然入侵<sup>[5]</sup>。

外来入侵物种主要有五大危害:①导致生态系统多样性、生物物种和遗传资源多样性的丧失和破坏,甚至造成本地生物物种的灭绝;②导致草场退化,畜牧业受损;③导致农业、林业减产欠收;④导致环境污染;⑤影响人类健康<sup>[6-7]</sup>。

在过去几年中,外来入侵物种的问题变得更加严重,这个问题已成为全球化贸易的严重挑战。“现在,动物、植物和微生物可以轻轻松松地跨越整个地球,迁移到新的地方去居住”<sup>[8]</sup>。

在自然界长期的进化过程中,生物与生物之间相互制约、相互协调,将各自的种群限制在一定的栖境和数量,形成了稳定的生态平衡系统。当一种生物传入一个新的栖境后,如果脱离了人为控制逸为野生,在适宜的气候、土壤、水分及传播条件下,极易大肆扩散蔓延,形成大面积单优群落,破坏本地动植物,危及本地濒危动植物的生存,造成生物多样性的丧失。外来入侵物种已经导致了許多物种的绝种,它是本地物种减少和生态系统退化的主要原因之一<sup>[12]</sup>。在美国的濒危物种法中被列为受到威胁或濒危的 958 个物种中,大约有 400 种被认为主要是由于与非本土物种竞争食物而受到危害<sup>[9-10]</sup>。在世界其它地区,多达 80% 的濒危物种是由于非本地物种产生的压力而受到威胁<sup>[11]</sup>。世界上很多其它物种,即使不处于濒危状态,也会负面地受到外来物种及其引起的生态系统变化的影响。

然而,全球气候的变化可能进一步恶化本来就很可怕的入侵物种的冲击。温度上升最快的地方就是外来入侵物种增加最多的地方。在气候变化的前提下外来入侵物种是整体优胜者,因为:①许多外来入侵物种具有高度的适应能力,能忍受各种环境条件,抗扰能力强;②极端环境通常会促进生物入侵;③在高压状态下,本地物种更脆弱,无法与入侵物种竞争;④人类反应可能为外来物种提供更多的入侵机会,并降低防治效率<sup>[12]</sup>。

外来入侵物种给各国带来的经济损失大得惊人。比如,在美国,外来入侵物种带来的损害和防治费用估计每年超过了 1 370 多亿美元;给美国、英国、澳大利亚、南非、印度和巴西等 6 个国家带来的损害和防治费用估计每年合计超过 3 140 多亿美元<sup>[13-16]</sup>。对全球而言,外来入侵物种造成的损害每年高达 1.4 万亿美元,接近世界国民生产总值(GNP)的 5%<sup>[14]</sup>。

2003 年,中国原国家环保总局的调查显示:外来入侵物种当年给中国造成的经济损失高达 1 198.76 亿元,占中国国内生产总值的 1.36%,其中对国民经济相关行业造成直接经济损失共计 198.59 亿元,而对中国生态系统、物种及遗传资源造成的间接经济损失则高达 1 000.17 亿元<sup>[17]</sup>。如今在我国,每年外来入侵物种造成的经济损失高达约 2 000 亿元<sup>[17]</sup>。

据估计,在美国、英国和澳大利亚等发达国家,外来入侵物种造成的损失分别相当于其国内农业生产总值的 53%,31% 和 48%。在南非,印度和巴西等发展中国家分别相当于其国内农业生产总值的 96%,78% 和 112%<sup>[14]</sup>。

对于农业占国内生产总值比例较高的发展中国家,外来生物入侵对整体经济表现的影响相应地比发达国家要大得多。比如,在印度,1999 年与外来入侵物种有关的年度防治费用及损失高达国内生产总值的 20%,与之相比,美国却不到 1%<sup>[14]</sup>。

世界各国到底总共有多少外来入侵物种,目前还是个谜。因为尽管有些国家有比较准确的数据可用,但很多国家只有比较粗略的估计数据,更多的国家根本就没有这方面的数据。

在过去的 200 年左右,美国引进了 50 000 多个外来物种。其中大约有七分之一<sup>[18]</sup>,约 7 200 种<sup>[14]</sup>已成为外来入侵物种。英国、澳大利亚、南非、印度和巴西分别约有 63 600 种,3 600 种,8 400 种和 22 800 种,1 200 种外来入侵物种<sup>[14]</sup>。

中国的外来入侵物种几乎无处不在,主要特点表现为:①涉及面广:全国 34 个省市自治区均发现入侵种。到 1999 年底,中国共建立了 1 118 个自然保护区,覆盖全国总面积的 8.62% (86 410 000  $\text{hm}^2$ )。除少数偏僻的保护区外,或多或少都能找到入侵种;②涉及的生态系统多:几乎所有的生态系统,从森林、农业区、水域、湿地、草地、城市居民区等都可见到外来入侵物种。其中以低海拔地区及热带岛屿生态系统的受损程度最为严重;③涉及的物种类型多:从脊椎动物(哺乳类、鸟类、两栖爬行类、鱼类),无脊椎动物(昆虫、甲壳类、软体动物),高、低等植物,小到细菌、病毒都能够找到例证。入侵植物以草本植物为主<sup>[19]</sup>。

中国从北到南 5 500 km,东到西 5 200 km,跨越 50 个纬度,5 个气候带:寒温带、温带、暖温带、亚热带和热带<sup>[20]</sup>。这种自然特征使中国容易遭受入侵物种的侵害。来自世界各地的大多数外来物种都能在中国找到合适的栖息地。

2004 年中国查明共有 283 种外来入侵物种,其中包括 19 种微生物、18 种水生植物、170 种陆生植

物、25种水生无脊椎动物、33种陆生无脊椎动物、3种两栖爬行类、10种鱼类、5种哺乳类;来源于美洲、欧洲、亚洲、非洲、大洋洲的外来入侵物种分别占55.1%、21.7%、9.9%、8.1%和0.6%<sup>[5]</sup>。

然而,在2009年11月份于福州举行的“国际生物入侵大会”上却报道:据不完全统计,目前入侵我国的外来生物物种超过500种,已产生明显经济和生态危害的、具有潜在威胁与危险性和可能导致严重危害的入侵生物大约有300种,在22个省区市超过了100种,这些物种集中分布在广东、云南、福建、江苏、浙江、山东、广西、辽宁等省份<sup>[21]</sup>。

财富和贸易与外来物种的发生成正相关<sup>[22-23]</sup>。人们普遍认识到,最有害的外来物种是通过贸易而被带到新的地点<sup>[24-27]</sup>。例如,在20世纪80年代末,美国联邦当局截获的外来杂草中有81%都是通过商品运输而引入的<sup>[24]</sup>;自1970年以来,中国外来入侵物种数也是直接关联到中国的经济发展<sup>[28]</sup>。

预计表明2000-2020年进入美国的贸易量将会以平均每年约6%的比率呈指数增长。按照Levine和D'Antonio<sup>[22]</sup>的米氏模型预测,耦合这个贸易增长量,在此期间,能在美国建立起种群群落的外来入侵物种数最少也要增长3%~6%,这意味着2000-2020年的20年中,最少会增加115种昆虫,5种植物病原体和3种软体动物。这些结果表明,在未来几十年,由生物入侵造成的生态及经济损失可能会继续大幅上升。作者认为这种预测方法也适用于世界各国。并且发展中国家,由于国际贸易增加更快,其外来入侵物种数会比美国增加更多。比如,从世界各国进入中国的贸易量,从2000年的2251亿美元增加到2008年的11326亿美元及2009年的10056亿美元,平均每年增加20%多<sup>[29]</sup>。由此可见中国目前和将来的外来物种来势会更加凶猛。所以现在采取措施防治生物入侵是必要的,及时采取措施能够防止未来生物入侵的恶劣影响<sup>[30]</sup>。

然而,全球从事外来入侵物种研究最多的地区往往不是那些生物入侵对生物多样性影响最大、最需要保护的地区。外来入侵物种的研究主要集中在发达国家<sup>[31]</sup>,而极大比例的自然生态系统和较多的生物多样性热点地带却坐落在发展中国家<sup>[32-33]</sup>。

在处理外来入侵物种的问题上,发达国家比发展中国家在社会意识、社会资源、经济预算、研究方法和防治措施等方面有着更多的优势。因此,发达国家在外来入侵物种的管理方面有很多先进经验值得我们学习。本文主要就外来入侵物种的立法,防止,早期发现和快速反应,灭除,包围、压制和防治等五个方面,综述了一些发达国家的成功经验和杰出成就,为我国的行政管理和科研人员提供一些借鉴。

## 2 立法

生物入侵是一个全球性问题,已引起世界各国和国际组织的广泛关注。生物入侵的防止、灭除和防治应该充分地纳入国家和地方立法和生物多样性及其他相关的政策,策略和行动计划之中。这些法律、法规和行动计划必须与国际法相一致。许多发达国家,如美国、加拿大、澳大利亚、新西兰等,都已建立了健全的法律法规,制定了相应的管理策略、技术准则和技术指南来加强对本国外来入侵物种的管理。

特别是美国,很早就开始采用法律手段来管制生物入侵,经过100多年的发展,逐步形成了一个以联邦立法为主,州立法和相关国际法规为辅的立法体系,该立法体系渐趋完善,并成为世界各国效仿的榜样。美国目前有37部与生物入侵有关的联邦法律<sup>[34]</sup>:

1930年以前颁布了2部:《莱西法》(Lacey Act, 1900年,修订于1998年),《植物检疫法》(Plant Quarantine Act, 1912年);1931-1950年颁布了4部:《动物危害控制法》(Animal Damage Control Act, 1931年),《联邦种子法》(Federal Seed Act, 1940年,修订于1998年),《有机体法》(Organic Act, 1944年),《联邦杀虫剂,杀真菌剂和灭鼠剂法》(Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, 1947年);1951-1970年颁布了4部:《国际植物保护公约》(International Plant Protection Convention, 1952年),《美国与加拿大之间大湖区渔业公约》(Convention on Great Lakes Fisheries Between the United States and Canada, 1955年),《联邦植物病虫害法》(Federal Plant Pest Act, 1957年,修订于1994年)和《国家环境政策法》(National Environmental Policy Act, 1970年);1971-1990年颁布了6部:《滨海地区管理法》(Coastal Zone Management Act, 1972年),《濒危物种法》(Endangered Species Act, 1973),《联邦有害杂草法》(Federal Noxious Weed Act, 1974年),《濒危物种国际贸易公约》(Convention on International Trade in Endangered Species, 1975年),《关于禁止发展,生产和储存细菌(生物)及毒素武器和销毁生

物武器的公约》(Convention on the prohibition of the development, production and stockpiling of bacteriological (biological) and toxin weapons and on their destruction (Biological Weapons Convention), 1975 年)和《外来水生有害物种防止与控制法》(Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention And Control Act, 1990); 1991 - 2010 年颁布了 21 部:《野生鸟类保护法》(Wild Bird Conservation Act, 1992 年),《夏威夷热带森林恢复法》(Hawaii Tropical Forest Recovery Act, 1992 年),《外来物种防止和执行法》(Alien Species Prevention and Enforcement Act, 1992 年),《北美环境合作协议》(North American Agreement on Environmental Cooperation, 1994 年),《实施卫生与植物检疫措施协议》(Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures, 1995 年),《国家入侵物种法》(National Invasive Species Act, 1996 年),《水资源开发法》(Water Resources Development Act, 1999 年),《13112 号总统行政命令》(Executive Order 13112, 1999 年 2 月),《植物保护法》(Plant Protection Act, 2000 年),《农场安全和农村投资法》(Farm Security and Rural Investment Act, 2002 年),《公共健康安全和生物恐怖主义防备和反应法》(Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act, 2002 年),《海狸鼠灭除和控制法》(Nutria Eradication and Control Act, 2003 年),《棕树蛇控制和灭除法》(Brown Tree Snake Control and Eradication Act, 2004 年),《有害杂草防治和灭除法》(Noxious Weed Control and Eradication Act, 2004 年),《国家控制和管理突发橡树死亡计划》(National Plan for Control and Management of Sudden Oak Death, 2004 年),《安全,负责,灵活,高效运输平衡法:用户遗产》(Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users, 2005 年),《公共土地兵团健康森林恢复法》(Public Lands Corps Healthy Forests Restoration Act, 2005 年),《怪柳和沙枣防治示范法》(Salt Cedar and Russian Olive Control Demonstration Act, 2006 年),《2006 年大湖鱼类和野生动物恢复法》(Great Lakes Fish and Wildlife Restoration Act of 2006, 2006 年),《水资源发展法》(Water Resources Development Act, 2007 年)和《2008 年国防授权法》(National Defense Authorization Act (NDAA) for Fiscal Year (FY) 2008, 2008)。

综观以上法律,我们能够发现在应对生物入侵方面美国联邦法有几个明显的变化趋势:

(1)立法速度越来越快:在 1931 年以前,只产生了 2 部法律,1931 - 1950 年的 20 年增加了 4 部;1951 - 1970 年的 20 年又增加了 4 部;1971 - 1990 年的 20 年增加了 6 部;1991 年 - 2010 年的 20 年增加了 21 部,同时还修订了 3 部旧法。也就是说近 60% 的法律是在最近 20 年产生的。这一立法速度完全是为了应付自 20 世纪 90 年代起,进入美国的外来物种数急剧增加的局面。

(2)不同时期立法的侧重点不同<sup>[35]</sup>。比如,1900 - 1970 年,随着现代化交通工具的迅速发展,危险性病、虫、草害等在国际间人为播散的问题特别突出。因此,这一时期的联邦立法侧重于检疫,特别是出入境检疫,目的是防止以农牧渔业为代表的产业损害。如 1912 年的《植物检疫法》(Plant Quarantine Act)和 1931 年的《动物损害控制法》(Animal Damage Control Act),以及 1944 年的《有机体法》(Organic Act)等;1970 - 1999 年,随着人口的增加和经济的快速发展,环境污染和生态破坏的问题日益严重。这一时期的联邦立法则侧重于保护生态环境和生物多样性。如 1970 年的《国家环境政策法》(National Environmental Policy Act),1972 年的《滨海地区管理法》(Coastal Zone Management Act)和 1996 年的《国家入侵物种法》(National Invasive Species Act)等。20 世纪末,随着全球化进程的进一步发展,美国人员和物资的国际交流每年呈几何级数增长,外来物种传入的威胁变得比以往任何时候都要大,单靠农业部,特别是动植物健康检疫局来承担生物入侵的主要管理职责已经力不从心。于是,1997 年,美国 500 名科学家和资源管理者联名签署了一封致克林顿政府的信,敦促联邦政府采取行动解决美国生物入侵管理体制的问题。作为回应,克林顿总统于 1999 年签署了《13112 号总统行政命令》(Executive Order 13112)<sup>[36]</sup>。这部法律最伟大的成就是创建了联邦层次的中心协调机构——国家入侵生物委员会(the National Invasive Species Council, NISC),其成员包括国务卿、财政部长、国防部长、内政部长、农业部长、商务部长、交通部长和环境保护局局长等 13 个部和机构的代表。该委员会主席由农业部长、商务部长和内政部长共同承担<sup>[1]</sup>。其目的在于彻底改革美国入侵生物管理体制,确保联邦各机构工作的协调一致并富有效率。这部法律的产生标志着美国生物入侵立法进入了新的历史时期。

(3)立法的针对性越来越强。在 2003 年以前的立法主要是针对某类生物的入侵或某个地区的生物入侵,比如植物、动物、有害杂草、濒危物种、滨海地区、大湖区等。从 2003 年起立法却开始转向针对

单一入侵种。比如,《海狸鼠灭除和控制法》(Nutria Eradication and Control Act, 2003年)、《棕树蛇控制和灭除法》(Brown Tree Snake Control and Eradication Act, 2004年)、《国家控制和管理突发橡树死亡计划》(National Plan for Control and Management of Sudden Oak Death, 2004年)和《怪柳和沙枣防治示范法》(Salt Cedar and Russian Olive Control Demonstration Act, 2006年)等。这些法律明确地针对单一入侵物种。

(4)军队参与越来越多。1975年以前的法律通常规定由农业部、环保部、内务部和商业部等民事部门来执行,从1975年开始则有国防部门参加。比如,1975年的《关于禁止发展,生产和储存细菌(生物)及毒素武器和销毁生物武器的公约》(Convention on the prohibition of the development, production and stockpiling of bacteriological (biological) and toxin weapons and on their destruction (Biological Weapons Convention)),就是单独由国防部来组织执行,1996年的《外来水生有害物种防止与控制法》(Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention And Control Act, 1990)和《国家入侵物种法》(National Invasive Species Act)则由国防部的陆军工兵部队参与执行,而2007年的《水资源发展法》(Water Resources Development Act)中防止亚洲鲤(Asian carp)进一步扩散和《2008年国防授权法》(National Defense Authorization Act (NDAA) for Fiscal Year (FY) 2008)中防止棕树蛇进入非本土环境的工作则完全是由美国军队来执行。

目前,美国大多数州都已制定了应对生物入侵的地方法律和法规,立法数量繁多,规定具体详细。但大多数州立法最多也只是对联联邦法的一般回应<sup>[37]</sup>。为了帮助各州弥补现有法律法规的空白,创造更综合的方案应对生物入侵,环境法律研究所开展了一个题为“阻止入侵:入侵物种的州级管理工具”的研究,并研究出至少17种法律和政策工具来防止、调节、控制和管理生物入侵和有效地实施和执行其方案。通过混合这17种工具中的大部分或全部,一个州就可以实现一个非常全面的方案来管理外来物种的威胁。在这些研究基础上,该研究所又起草了一个防治外来生物入侵的州示范法,为各州发展一个解决各类生物入侵的综合方案提供了法律框架<sup>[38]</sup>。

与美国相比,新西兰应对生物入侵的法律和管理体系要相对简单,同时又综合有效。在过去几十年,新西兰用作生物安全立法基础的2个法案是1993年颁布的《生物安全法》和1996年颁布的《有害物质和新生物体法》。《生物安全法》的目的是防止无意引进潜在的外来生物。这是一部授权法而不是要求法,不要求任何特殊机构对有害生物的出现采取行动。《有害物质和新生物体法》是设计来控制新生物体的有意引进,目的是通过防止和管理有害物质和新生物体的不利影响,保护人民和社区的环境、健康和安全<sup>[39]</sup>。无意引进外来入侵物种的管理工作主要由农林部及其下设的新西兰生物安全署负责,他们和环境部、渔业部、旅游部、经济发展部、外交部和贸易部以及海关等部门共同组成一个完整而协调的外来入侵物种无意引进的防控体系。有意引进外来入侵物种的管理工作主要由环境部及其下属的环境风险管理署负责,由农林部,卫生部和食品安全署等机构共同参与。在引进任何一个外来物种以前,都必须由环境风险管理署进行环境风险评估<sup>[40]</sup>。

### 3 防 止

防止就是采取各种方法减少有害生物入境或在一个地区建立起种群的可能性。防止是对付外来入侵物种的第一道防线。防止的战略目标是防止外来物种进入一个国家或地区,并在该国家或地区建立起种群群落,以减少其对该国家或地区环境,经济和人类健康的影响。防止可能是最具成本效益的方法,因为一旦一个物种铺展开了,控制它可能需要大量和持续的开支。因此,在防止工具,资源和基础设施方面的公共投资是保护人类健康、农业和自然资源必不可少的<sup>[41]</sup>。

有3种主要的方式能够防止外来物种入侵<sup>[42]</sup>:①拦截:根据强制检查和收费的法律和规章制度拦截外来物种,对于偶然引进,最好在物质和贸易出口前或刚到达时就被解决。这种方法涉及到去污染,检查,或对被列为高风险物质的特殊贸易进行限制。另外就是严防被禁物质的非法进口,因为这类物质是不受检查的,走私犯也不可能对他们的物质进行消毒处理,因此非法进口是引进外来物种的高风险渠道。②处理:对那些怀疑被外来物种污染的物质和包装材料及对安全要求较高的物质进行处理。这可能涉及到应用生物杀灭剂(例如熏蒸,农药),水浸泡,热和冷处理,压力或照射。③禁止:如果严格的措施都不能防止通过高风险途径引进外来物种,那么就要根据国际贸易法规禁止这一贸易。

目前在发达国家普遍用来防止外来物种入侵的方法和技术主要有如下几种<sup>[42-46]</sup>：

(1) 信息分享。防止的第一步,也是很重要的一步,就是确定哪些物种有可能成为外来入侵物种,需要特别注意,把它们列入“黑名单”,并根据国家法律禁止它们入境;哪些物种尽管还在接受监测,但已通过了风险评估分析,可以引进,能够合理地宣布为安全物种,因此把它们列入“白名单”,而世界上大多数物种的入侵潜力是未知的,它们既不在“黑名单”上,也不在“白名单”上,在授权决定以前还需要进行风险评估,因此应把它们列在“灰色名单”上。将这些信息建成数据库,抛在英特网上,与公众分享。

(2) 公众教育。公众教育是防止方案和管理方案中必不可少的组成部分。目的是提高人民对外来入侵物种问题的认识,并获得他们的配合和支持。教育可以采取报纸,画报,小册子,口头演讲,电视和电台广播等多种形式,教育的内容应该集中在提高公众对有关限制和管制原因的理解及对环境和经济风险的认识上。在通常情况下,公众意识和公众支持能够很大程度上增加保护和挽救生物多样性项目的胜算。

(3) 早期预警系统。发展一个分布全国各地的外来入侵物种网络,并纳入预测预警功能。该系统能够为一个人入侵物种预测潜在的、新的入侵地点,或为一个地区或地点预测新的入侵物种,并事先提出适当的反应方案。

(4) 风险评估和环境影响评估。风险评估就是定性或定量地决定引进一个特定外来物种的风险值,定量风险(R)评估需要计算 2 种风险成分:潜在的损失大小(L)和损失发生的概率(P)<sup>[47-48]</sup>。环境影响评估就是评估引进一个特定的外来物种可能对环境(包括对自然、社会和经济)造成的影响<sup>[49]</sup>。

(5) 法律和规章制度。建立和健全防止生物入侵的国家和国际法律和规章制度,通过检查和收费来强制执行。

(6) 边境控制和检疫措施。在进口处,需要用边境控制和检疫措施来防止或尽可能地减少引进外来物种的风险。这需要配备一套规则,训练有素的工作人员,物种和风险货物的清单,技术程序和监督协议。

(7) 进口商品处理。通过各种技术处理进口商品,杀死可能混入其中的外来入侵生物。处理方法包括熏蒸、浸泡、喷洒、热处理、冷处理、压力处理和紫外线消毒等。

(8) 限制或禁止贸易。对于那些违背世贸组织卫生和植物检疫协议的物质,就要采取最后措施限制或禁止其贸易。

在美国的入侵生物管理计划中特别强调了防止的优先地位<sup>[50]</sup>。实际上,美国联邦政府在应对外来生物入侵的总开支中有大约一半以上被用在防止活动中<sup>[51]</sup>。在美国,是由农业部动植物健康检疫局(APHIS)负责防止非本土的动植物病虫害进入美国的。它的保障体系包括了广泛的防止活动。例如,要求托运批准的商品必须伴有官方的卫生证书或植物检疫证书,表明其病虫害的风险已经得到充分的缓解。某些批准的商品在运往美国之前必须通过预先清关检查,其他商品必须接受卫生或植物卫生处理和强制检疫,决定是否允许农产品入境和在什么条件下入境主要取决于科学的风险评估。在美国所有国际港口入境处都建立了检查站,并有受过专门训练的人员检查乘客和机组人员的行李、商业货物和邮件。这些检查人员用 X 光机和专门培训的小猎犬帮助寻找可能违禁的农业产品。此外,他们的兽医人员也检查可能带有病虫害的活畜和动物产品<sup>[52]</sup>。事实证明这些防止活动在防止有害生物入境方面是很有成效的。比如,1984-2000 年的 17 年中,在全美 167 个入境处,共截获 728 990 项对植物有害的非本土生物,代表至少 2 340 个种。平均每年截获 42 882 项,代表至少 137 个种。在被截获的生物中,昆虫最多,占 73%~84%,植物病原菌占 13%,杂草占 7%,软体动物占 1.5%,而螨虫和线虫占不到 1%<sup>[53]</sup>。也就是说,通过这种边境控制和检疫措施,平均每年至少能防止 137 种非本土植物病虫害进入美国。

#### 4 早期发现和快速反应

早期发现和快速反应是对付外来入侵物种种群普遍建立的第二道重要防线。一旦一个外来入侵物种出现在一个新的国家或地区,在一个短暂的时期内,它普遍建立起种群的机会可能危危可及。然而,在这个阶段,越晚发现它,就越少有机会干预它,并且有越少的选择去遏制或消灭它,将来防治它的费用

就越高<sup>[42]</sup>。

早期发现和警报系统是快速反应的前提条件。只要一发现了外来入侵物种就立即采取行动,才能实现早期发现的真正价值。早期发现和快速反应能增加在外来入侵物种种群被普遍建立起来以前发现、遏制和消灭它的可能性。早期发现和快速反应可以减缓范围扩大,并避免昂贵的长期防治费用。

美国国家入侵生物委员会曾批准过一个《早期发现和快速反应指南》<sup>[54]</sup>。美国许多州和一些地区都已经形成了自己的早期发现和快速反应计划。在美国的治理实践中,早期发现和快速反应包括3个步骤:第一步是早期发现:必须找到入侵物种的种群,权威鉴定标本,并确定侵扰的边界范围;第二步就是快速评估:采取必要的行动来决定适当的反应,包括确定入侵物种当前和未来的侵扰范围和拦截时机,制定拦截方案和总的行动策略,并给公众提供可靠的信息;第三步就是快速反应:在外来入侵物种种群被普遍建立以前,迅速地调动资源,系统地消灭或遏制它<sup>[41]</sup>。

有效的早期发现和快速反应取决于能否及时回答诸如下列的关键问题<sup>[41]</sup>:①靶标物种是什么?它是否已被权威鉴定?②发生在什么地方?它可能会蔓延吗?③该物种可能引起什么危害?④如果需要,应该采取什么措施?⑤谁拥有必要的权力和资源?⑥如何资助?

外来入侵物种往往是偶然发现的,但它们也可以被训练有素的人员通过针对外来入侵物种的调查和对特定地区的监控而发现。

比如,美国早期发现柑橘星天牛并迅速作出反应的过程就是一很好的例子<sup>[55-56]</sup>。2001年8月初,在美国西雅图附近的塔奇拉,一个苗圃从韩国进口了一批盆景日本枫树,该苗圃的主人在这批树上发现了一头异常的天牛,然后他把这头天牛送到西雅图机场的美国农业部动植物检疫站。联邦调查员意识到这种天牛是一种潜在的危险,于是他通报了华盛顿农业部。在几个小时之内一个州生物学家作出反应,并发现了更多的天牛。于是隔离了这个传染源。然而,在完全控制局面以前,有几头天牛逃到邻近的绿林地带。一个科学咨询小组很快就确定这种天牛就是柑橘星天牛,它是一种危害仅次于光肩星天牛的害虫。如果它在塔奇拉普遍建立起了种群,它破坏的不仅是西北太平洋地区的环境和经济,而且是整个北美的环境和经济。

根据该天牛的生命周期,州和联邦官员知道他们有不到12个月的时间来策划和实施灭除项目。所有的行动计划都必须在下一代天牛羽化和繁殖以前完成。这个行动计划被确定为砍掉在逃天牛可能飞入并在其中产卵的那片绿林中的几千棵敏感树种。其次,对紧靠砍伐区周边的树林带中的所有树木都注射了系统农药,以杀死所有在砍伐期间逃跑的天牛。州农业官员还担心这些天牛可能会藏在劈柴、剪枝和其它木屑中而被人为地传播到其它地方,因此在发现该天牛地点周围1.5英里的地方设了一个检疫区,禁止当地居民搬运该天牛的寄主材料(木头和剪枝)。

该农业部发起一项教育攻势,以解释灭除项目的必要性。开展的活动包括召开现场会议、邮寄业务通讯和设立每月庭院废物处理日,以便生活在检疫区内的居民把他们修剪的树枝送到一个特定的地点去销毁。此外,美国林业局也为华盛顿州农业部、州苗圃和景观协会拨了经费来恢复那些被砍伐的绿林带。这些机构为民众提供优惠券,抵消他们购买和种植新树的开销。在接下来的5年中,允许华盛顿农业部继续在塔奇拉地区实施劈柴检疫制度,并广泛调查该天牛的任何迹象。

快速的反应和足够的经费允许州和联邦政府机构在塔奇拉实施搬迁和注射树木的计划。在收集了几年的负面调查数据后,于2006年12月,该农业部取消了对该地区的检疫,并正式宣布华盛顿地区已彻底灭除了柑橘星天牛。该方案的成功完全归功于成功的早期发现和快速的行动反应。

另一个早期发现的例子就是第一次在华盛顿州发现欧洲绿蟹(*Carcinus maenas*)的过程。1998年,华盛顿州的研究人员邀请加州罗切曼德旧金山河口研究院的海洋生态学家安德鲁科恩来华盛顿西南部的威拉帕湾调查正在侵入该地区浅水水域的一种外来绳草。在下水后30 min左右,科恩就踩到了一个脱落的蟹壳,根据他在加州的经验,他立马就认出这是一只雄性欧洲绿蟹的壳,这表明一个不受欢迎的外来入侵物种已经抵达华盛顿。接下来就是大肆宣传这种绿蟹的到来,宣传它可能会对当地贝类产业和沿海生态系统造成的损害,并提醒和鼓励当地的群众注意这种绿蟹<sup>[42]</sup>。从1991年起,总督办公室及州议会拨款控制和监测这种绿蟹。全州设了100多个监测点,并利用各种防治方法来降低绿蟹种群。美国鱼类和野生生物局在华盛顿最北部的河口设下了一道诱捕绿蟹的诱捕线。这些诱捕线起着早期发现装置的作用,使该机构能够迅速对这种外来入侵物种作出反应<sup>[57]</sup>。



## 5 灭 除

灭除就是在有限的时间框架内,采用各种措施从一个界定区域内彻底和永久地消灭一种外来入侵物种<sup>[58-59]</sup>。灭除是一项管理外来入侵物种的重要工具,在适当和可行的地方应当予以鼓励和促进。然而,这种方法只适合一些外来入侵物种,对于许多存在野外并建立起种群已经很久的外来入侵物种,这种方法却根本行不通<sup>[44]</sup>。

成功的灭除对恢复本地生物多样性具有极为重要的影响。近年来,灭除已成为管理外来入侵物种的日常工具,特别是在岛屿上,许多入侵的脊椎动物已被成功地灭除。例如,新西兰已完成了 156 个灭除项目<sup>[60]</sup>;在西澳大利亚,自 1969 年以来已在 48 个岛屿上对哺乳动物实现了灭除方案<sup>[61]</sup>。大多数灭除方案都涉及到脊椎动物,但也有成功地灭除植物<sup>[62]</sup>和无脊椎动物的例子,比如新西兰灭除了芒草(*Cortaderia selloana*)、千里光(*Jacobaea*)、和针叶哈克木(*Hakea sericea*)<sup>[63]</sup>;澳大利亚在西部地区灭除了卡罗栲(*Acacia karoo*),在北部地区灭除了银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)<sup>[64]</sup>;2001 年英国灭除了南黄蓟马(*Thrips palmi*)<sup>[65]</sup>;1997 年新西兰使用 BT 制剂灭除了白点毒蛾(*Orgyia thyellina*)<sup>[66]</sup>等。即使是海洋生物,当入侵生物还限制在局部地区的情况下也能够被灭除。比如,澳大利亚在库伦海湾灭除了贻贝(*Mytilopsis* sp.)<sup>[67]</sup>;美国在加利福尼亚州成功地灭除了鲍鱼寄生性蠕虫(*Terebrasabella heterouncinata*)<sup>[68]</sup>。

多年以来,通常用来消灭和控制外来入侵物种的方法有如下几种<sup>[42,69]</sup>:

(1) 机械方法。手拣窝牛,用手拔草等。这种技术的一个成功典范是美国加利福尼亚州防治寄生性蠕虫(*Terebrasabella heterouncinata*)。在 20 世纪 80 年代,该蠕虫随南非鲍鱼意外地进口到加州。到 1995 年,它已在该州的卡尤科斯建立起种群。在这种情况下,该州发动志愿者,采用机械方法灭除了 160 万头被该蠕虫寄生的鲍鱼<sup>[70]</sup>。

(2) 物理方法。建立和维持障碍区,防止其扩展蔓延。比如对对人有毒或对人的活动有害的动物,经常用栅栏、网或纱窗将它们与人感兴趣的地方隔离开来;或在更大的范围建立障碍篱笆墙,以防止外来入侵的脊椎动物从一个地区运动到另一个地区。

(3) 化学方法。利用毒饵诱捕脊椎动物;喷洒农药毒杀害虫等。

(4) 生物防治。对害虫释放天敌,喷洒 Bt 制剂;用病原体控制脊椎动物;用昆虫病原线虫杀死入侵害虫等。

(5) 自我毁灭。释放雄性不育体;使用性激素等。

(6) 生境管理。通过焚烧,放牧哺乳动物,狩猎,改变非生物因素等。这些方法要么创造不利于外来入侵物种的生态环境,要么创造有利于该物种天敌的生态环境。在灭除战役中很少有只使用一种方法的例子,明智的方案应该规划和使用所有可能的方法。

若要一个灭除战役成功,首先必须满足如下条件<sup>[42,58,70-76]</sup>:

(1) 充分的群众基础。有很多外来入侵物种最早就是被普通群众发现的,要进入他们所控制的财产,更需要他们的支持。

(2) 充足的经费。人们通常会低估灭除项目所需要的花费。在预算经费时要特别注意 3 个问题:一是受影响地区的面积和灭除费用之间存在很强的正相关<sup>[77]</sup>;二是消灭种群中最后 1%~10% 的个体所需要的时间、精力和金钱可能要比消灭前 90%~99% 的个体所要求的还要多<sup>[78]</sup>;三如有必要,预算应该包括灭除后的调查及其后续行动所需要的费用。

(3) 足够的政治授权。必须有一个人或机构被授权来强制执行合作。在执行灭除项目期间,即使绝大多数利益相关者积极配合,但只要有少数利益相关者允许这种入侵物种保留在他们控制的财产中,这一灭除项目就不可能成功。

(4) 从生态角度来说必须可行。通常需要掌握一些生物学知识,但不必要知道太多。入侵物种通常可以在早期种群生物学知识很少甚至肤浅的情况下被灭除,失败灭除很少是因为在该领域知识不足造成的<sup>[79]</sup>。应该尽快地根据靶标物种的生物特性,及其与受侵地区的生态关系和社会经济因素,来评估其可行性。怎么评价这种可能性:有一套广为接受的标准可供参考:①去除靶标个体的速率必须大于种群密度增加的速率;②阻止再侵入:如果靶标物种能不断地迁入灭除区或被捉捕的靶标物种被释放回灭除区,灭除就不可能成功或只能是短暂地成功;③所有有繁殖能力的靶标个体都处在危险之中;④在低种群密度的情况下能够被检测到;⑤贴现成本效益分析表明灭除的效益比防治的效益好;⑥合适的社

会政治环境。冲突的社区或行政目标及法律障碍都可以挫败灭除计划的实行。其中前3个标准是成功的灭除战役所必须满足的。

舞毒蛾(*Lymantria dispar*)在美国很多地区都被成功地灭除过,因为它符合以上大部分条件。但到现在为止,舞毒蛾还没有完全彻底地从美国灭除,根本原因是无法阻止再侵入。使每个舞毒蛾灭除战役能够成功的一个关键因素是具有一个敏感的监测工具——信息素诱捕笼,这种工具能够监测到新建立的、虫口密度很低的舞毒蛾种群,并且在高虫口密度下也很有效。目前用于灭除舞毒蛾的主要方法是喷洒苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis Bt*) *kurstaki* HD-1菌株。在舞毒蛾早龄时用飞机喷洒2~3次即可。

如果靶标物种具有如下全部或大部分特点,灭除战役是最有可能取得成功的<sup>[77]</sup>:(1)低繁殖率;(2)在低种群密度的情况下能够被检测到(例如通过视觉识别或用引诱剂引诱);(3)有限的寄主范围;(4)有合适的防治方法,并且这些防治方法对非靶标物种影响很小。

确定靶标物种已被灭除是灭除项目主管所面临的一个主要挑战<sup>[80]</sup>。由于调查技术不完善,特别是对小种群,很难确定一个靶标物种已被灭除了<sup>[80-83]</sup>。未能检测出靶标物种并不一定意味着它不存在。如果我们错误地宣布一个物种已被灭除,并停止调查,那么该种群以后可能会导致巨大的经济和环境损失。另一方面,如果一个物种已被灭除而继续调查,这将涉及到不必要的调查费用。Regan等人根据以前连续缺席调查的次数,平衡这两种相反的风险,从理论上找到使预期成本最小化的停止调查的时间,这一时间就是最理想的宣布靶标物种被灭除的时间<sup>[83]</sup>。这种方法及其衍生物<sup>[84-85]</sup>代表了一种新的思维方式,但由于很难得到该模型所要求的数据,因而大大地降低了这些方法的实用性。因此,尽管有以上两方面的风险,目前人们还是喜欢即兴宣布灭除<sup>[83]</sup>,比如连续三年没有监测到靶标物种就宣布该靶标物种已被灭除<sup>[62]</sup>。

美国灭除光肩星天牛的战役是一个典型的例子。1996年美国在纽约布鲁克林的几棵硬木树上首次发现了光肩星天牛。然后它蔓延到纽约的长岛、皇后区和曼哈顿。之后又陆续地被发现在伊利诺伊州的芝加哥郊区(1998年),新泽西州的哈得孙县(2002年)和米德尔塞克斯/尤宁县(2004年),纽约州的斯塔滕和普罗尔岛(2007年),马萨诸塞州的伍斯特(2008)和波士顿(2010年)<sup>[86-87]</sup>。

自从1996年以来,美国农业部和林业局、纽约州、伊利诺伊州、新泽西州和马萨诸塞州的州和城市合作伙伴共同承担了灭除光肩星天牛的任务,负责划定监管区域,调查和控制被确认有光肩星天牛的场地,砍伐并挖去受害树木,种植新的非寄主树,恢复那些被砍伐的地方,并对监管区周围的寄主树做化学处理<sup>[88]</sup>。

这些光肩星天牛被认为是混在木质托盘及其他木质包装材料里,伴随货物从亚洲进入美国的<sup>[86,88]</sup>。1998年,美国发表了一份临时规定,要求所有来自中国的实木包装材料完全不带树皮和活的植物病虫害,并要求这些实木包装材料在进入美国以前必须经过防腐剂,高温或熏蒸处理。从2005年9月16日起,要求来自所有国家的所有木质包装材料(如托盘、板条箱、盒、垫料)在进入美国前都必须经过热处理或甲基溴熏蒸处理,并加上国际植物保护公约(IPPC)的标记和适当地表明处理地点的国家代码<sup>[89]</sup>。2009年1月该局又发布联邦令,禁止和限制进口光肩星天牛寄主植物属<sup>[90]</sup>。一旦发现不符合安全要求的材料,立即隔离,并迅速运回出口国直到它合格为止。如果发现包装材料被该虫为害过,在大多数情况下,该包装材料必须和进口产品分开,并立即销毁。如果在港口入境处发现光肩星天牛,就要找到该货物运往的目的地,并检查存储设施和以前从同一地区出口的货物。同时调查该仓库周边附近地区,看是否该虫已逃入周边环境<sup>[91]</sup>。

这种害虫一旦进入环境中,它就很难被控制,因为其生活史的大部分是在树心里度过的,触杀剂很难生效。目前唯一能确保消灭它的方法就是砍倒,劈开或焚烧被寄生的树,并种植非寄主植物来替代它们<sup>[91]</sup>。使用系统农药吡虫啉被证明能够减少虫口密度,帮助防止该虫的扩展蔓延,使用该农药已成为一种有效的辅助防治措施。吡虫啉是一种系统杀虫剂,当直接应用到树干或注射到树基部附近的土壤中,它就能迅速上升到该虫食用或产卵的茎、枝和叶中,起到一定的防治效果<sup>[91-92]</sup>。

从1996年发现光肩星天牛起到2010年7月18日为止,全美国共砍去26405棵被光肩星天牛寄生的树和43913棵高风险树,并对周边地区的110170棵寄主树做了化学处理,比如在树干上或土壤中注射系统农药<sup>[93]</sup>。

由于缺少诱捕装置,检查员必须通过空中吊车和爬树来一棵树一棵树地检查该天牛的危害状;另外

就是发动自愿者参加地面观查,任何视力好的人通过望远镜都能为之作贡献<sup>[88,91]</sup>。

光肩星天牛灭除项目的预算是相当可观的。联邦政府和纽约州、伊利诺伊州及新泽西州州政府在光肩星天牛灭除项目上的预算 2003 年、2004 年、2005 年、2006 年分别是 37 181 000, 46 851 000, 39 367 000, 30 293 000 美元;从 1997 到 2006 年,总共高达 274 877 000 美元<sup>[88]</sup>。从 2008 年 8 月到 2010 年 7 月的两年里,联邦政府和地方政府就投资 7 900 万美元灭除马萨诸塞州伍斯特周围 74 平方英里地区的光肩星天牛,平均每平方英里耗资 100 多万美元<sup>[94]</sup>。

新泽西州哈得孙县的最后一头光肩星天牛是在 2002 年被检测到的,但到 2008 年 4 月 7 日该县才正式宣布已经灭除了光肩星天牛。伊利诺伊州的最后一头光肩星天牛是 2003 年在芝加哥被检测到的,直到 2008 年 4 月 17 日该州才正式宣布已经灭除了光肩星天牛<sup>[92]</sup>。其它受害地区的灭除行动仍在继续。

## 6 包围、压制和防治

对于一个外来入侵物种,一旦防止失败,而灭除又不可行,我们能做的第二选择就是包围、压制和防治。包围是一种特殊形式的防治。目标是限制外来入侵物种的蔓延,将它控制在一个界定的地域范围之内<sup>[44]</sup>。防治的目的是减少一个外来入侵物种的虫口密度和总量,将其影响长期保持在一个预定的可接受的阈值之下<sup>[42,44]</sup>。将这个外来入侵物种种群压制到这一阈值之下,能使平衡朝着有利于本土竞争物种的方向发展。

用于防治外来入侵物种的方法与灭除的方法大同小异,诸如<sup>[42-43,95-97]</sup>:

(1) 物理和机械防治。用手或各种机械直接除去入侵的植物或动物个体,射击和诱捕动物。这类防治方法常常高效但属于劳动力密集型。在美国,越来越多地利用罪犯劳动力<sup>[98]</sup>。然而,很多成功的项目主要依赖于志愿者<sup>[99]</sup>。

(2) 化学防治。使用除草剂,杀虫剂和杀鼠剂杀死入侵物种。化学防治的短期效应经常是很好的。主要缺点是成本大,对非靶标物种有负面影响及可能发展抗药性。在发达国家使用化学防治经常是很慎重的,有时还会有争议的。比如联邦杀虫剂、杀菌剂、灭鼠剂法允许美国环保局使用化学物质来防治外来入侵物种,但在外来入侵物种的防治活动中一旦涉及到使用化学物质,环保局就可能要求进行环境评估<sup>[100]</sup>。

(3) 生物防治。有意使用靶标物种的天敌,信息素诱捕,大规模释放雄性不育体,使用昆虫病原线虫和各类真菌,如生物除草剂等。采用生物防治要特别注意避免所使用的生物制剂本身成为外来入侵物种。比如有一个最臭名昭著的生物防治失败的例子:1935 年澳大利亚从夏威夷引进了甘蔗蟾蜍(*Bufo marinus*)来防治本地的甘蔗甲虫(*Dermolepida albobirtum*)。甘蔗蟾蜍有两个很大的特点:一是繁殖能力特强,开始只释放了 102 头,到现在已发展到 2 亿多头了,它们与本地野生生物竞争食物;二是能分泌致死毒液,捕食各种生物。并且如果有选择,它还不喜欢吃甘蔗甲虫。最后不仅导致这一生物防治彻底失败,而且还成了一个环境噩梦<sup>[101]</sup>。

(4) 栖息地管理。采取各种措施,如覆盖、火烧、放牧、改变非生物因素等措施创造不利于外来入侵物种发展的生态环境。覆盖入侵植物能够剥夺他们所需的阳光,通过接触土壤微生物,加速该植物的分解;有控制的焚烧能限制入侵物种生长,促进本土植物的恢复;在幼小入侵植物上面连续放牧能延缓植物生长和种子形成,并消耗根部储备。

(5) 栽培防治。这种方法特别适合防治外来入侵的植物。种植和管理理想的植物,覆盖住外来入侵物种及其他不良植物。许多本地植物在其生长的早期阶段竞争能力差,但是,一旦建立起了种群,它就可以在最低的管理水平下排挤其他大多数植物。

(6) 综合治理(IPM)。在生态研究、定期监测和认真协调的基础上,综合使用以上各种方法。综合治理通常能够达到最好的效果,因此是最合适的方法。

除了一些生物防治方法如引进天敌,能够自我维持外,其它所有的防治方法都需要长期的资金和人力投入。如果停止拨款,种群和相应的负面影响通常会增加,并有可能导致不可逆转的损害<sup>[102]</sup>。有效的防治依赖于对该靶标物种的明确认识,其中包括其生物学,受危害的生态系统,相关的引进途径,有效的控制工具,也依赖于后来对防治效果持续不断的监测<sup>[103]</sup>。从长远来说,有效的防治要比成功的灭除昂贵得多。但在短期内,防治似乎比灭除更便宜,因此它往往是一个首选方案<sup>[102]</sup>。美国夏威夷果蝇(*Tephritidae; Diptera*)防治是一个成功的防治案例。果蝇是被不经意地从非洲引进到了夏威夷,现在在

4个种已在夏威夷群岛上建立起了种群,它们分别是地中海果蝇(*Ceratitis capitata*)、瓜实蝇(*Bactrocera cucurbitae*)、东方果实蝇(*Bactrocera dorsalis*)、马来西亚果蝇(*Bactrocera latifrons*)。果蝇能攻击400多种不同的水果和蔬菜。因此这些果蝇严重地限制了当地水果和蔬菜产业的多元化发展,使水果出口要接受昂贵的检疫处理,并为这些害虫进攻美国大陆提供了一个繁殖基地。一旦这些有害生物进入美国大陆,往往需要启用大规模的灭除方案,耗资巨大。

为了防治夏威夷果蝇,1999年美国农业部(USDA)农业研究局(ARS)启动了一个5年期的夏威夷全区果蝇管理工程。该工程根据夏威夷的特殊环境,将2种或2种以上的防治方法(田间卫生,喷洒蛋白质诱饵、雄性绝灭、不育昆虫、寄生)组合成为一个经济上可行的、环境上可接受的、可持续的综合治理方案。该方案实施后,全面压制了夏威夷各岛的果蝇种群,大大减少了有机磷农药的使用,并为夏威夷进一步增加和发展多元化农业添加了动力。到2004年9月为止,常规农药的使用已经减少了75%~90%,果蝇的为害率已从原来的30%~40%减少到5%以下。以前由于果蝇的危害,很多小农场放弃了种植庄稼,现在他们中越来越多的人又开始恢复种植了<sup>[104-106]</sup>。

## 7 结 论

生物入侵正在以前所未有的速度改变这个世界的自然环境和生态特性。如果我们不能采取有效的方法阻止这种最具破坏力的影响,那么我们赖以生存的生态系统就将面临枯竭和丧失多样化的危险<sup>[107]</sup>。根据他们的经验,应对外来生物入侵可分为3个阶段:①通过制定和执行法律法规、分享信息、公众教育、边境控制和检疫等措施,防止外来生物进入一个国家或地区。防止总是第一选择,也是最具成本效益的选择。如果防止成功,就能完全避免它所造成的损害和防治费用。②外来生物一旦进入了一个新的国家或地区,就要趁早发现,并迅速采取行动,努力灭除它。如果发现得早,灭除是能够成功的,并且是一个成本效益很好的解决方案。然而,在行动之前必须进行仔细的成本核算和成功可能性分析及充足的资源调配。③如果无法灭除,那么就应采用各种防治措施将它控制在一个预定的可接受的阈值之下。在开始一个防治项目以前,必须认真地分析成本和效益,清楚地界定想要的结果,适当地规划和监测结果。在选择防治方法时要考虑其效率、可选性及它们可能引起的负面效应。在某些情况下,使用综合治理技术是最好的选择。

## 参考文献:

- [1] The White House. Presidential Documents - Executive Order 13112 of February 3, 1999 [R]. Federal Register, 1999, 64 (25): 6183 - 6186.
- [2] 张国良, 付卫东, 刘坤. 农业重大外来入侵生物[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 409.
- [3] 黄勇. 将外来入侵物种挡在门外——采取严格有效措施, 切实维护国家生态安全[R/OL]. [http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201005/t20100524\\_189858.htm](http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201005/t20100524_189858.htm) (2010-08-10).
- [4] 陈静. 外来入侵物种的生物学特征[R/OL]. <http://www.chinavalue.net/Blog/308496.aspx> (2010-07-09).
- [5] 徐海根, 强胜, 韩正敏, 等. 中国外来入侵物种的分布与传入路径分析[J]. 生物多样性, 2004, 12(6): 626 - 638.
- [6] 万方浩, 郭建英, 王德辉. 中国外来入侵生物的危害与管理对策[J]. 生物多样性, 2002, 10(1): 119 - 125.
- [7] Brandt K. Invasive Alien Species and the Global Invasive Species Programme [J]. Phycological Society of Southern Africa Newsletter, 2003, 54: 7 - 19.
- [8] Anonymity. New flora and fauna for old [J]. The Economist. Retrieved from Business Source Premier Database, 2000, 357 (8202): 118 - 119.
- [9] Stein B A, Flack S R. America's Least Wanted: Alien - Species Invasions of US Ecosystems [R/OL]. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia, USA. Available Online at <http://www.natureserve.org/library/americasleastwanted2003.pdf>. (Accessed August 21, 2010).
- [10] Wilcove D S, Rothstein D, Dubow J, et al. Quantifying threats to imperiled species in the United States [J]. Bioscience, 1998, 48: 607 - 615.
- [11] Armstrong S. Rare plants protect Cape's water supplies [J]. New Scientist, 1995, (11): 7 - 8.
- [12] Invasive Species Council (ISC). Fact Sheet: Invasive Species and Climate Change [R/OL]. Available Online at Australia Invasive Species Council: <http://www.invasives.org.au/page.php?nameIdentifier=factsheets> (Accessed June 22, 2010). 2010.

- [13] Pimentel D, Lach L, Zuniga R, et al. Environmental and Economic Costs of Nonindigenous Species in the United States[J]. *Bioscience*, 2000, 50(1): 53 – 56.
- [14] Pimentel D S, McNair J, Janecka J, et al. Economic and environmental threats of alien plant, animal and microbe invasions [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 84: 1 – 20.
- [15] Pimentel D, Zuniga R, Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien – invasive species in the United States[J]. *Ecological Economics*, 2005, 52: 273 – 288.
- [16] Pimentel D. *Biological Invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal and microbe species*[J]. CRC Press, New York, 2002: 369.
- [17] 马玉忠. 保护生物多样性, 防止外来入侵物种[J]. *中国经济周刊*, 2009, 21: 43 – 45.
- [18] APHIS. APHIS Strategic Plan 2000 – 2005 [R/OL]. Available Online at USDA: <http://www.aphis.usda.gov/oa/aphissp/spextfac.html> (Accessed July 9, 2010) .
- [19] 解焱, 李振宇, 汪松. 中国入侵物种综述. 保护中国的生物多样性(二)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 91 – 106.
- [21] 中国农科院. 入侵我国外来生物增至 500 余种[R/OL]. [http://www.xinhuanet.com/chinanews/2009-11/07/content\\_18165016.htm](http://www.xinhuanet.com/chinanews/2009-11/07/content_18165016.htm). (2010 – 08 – 21).
- [20] Wang S, X Yan, R A. Mittermeier. China. In *Megadiversity – Earth’s Biologically Wealthiest Nations*[M]. CEMEX, Monterrey, Mexico, 1997: 257 – 281.
- [22] Levine J M, C. M. D’Antonio. Forecasting Biological Invasions With Increasing International Trade. *Conservation Biology*, 2003, 17: 322 – 326.
- [23] Taylor B W, Irwin R E. Linking Economic Activities to The Distribution of Exotic Plants[R/OL]. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(51): 17725 – 17730. Available Online at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15591111> (Accessed August 21, 2010).
- [24] U S Congress, Office of Technology Assessment (USCOTA). *Harmful Non – Indigenous Species in the United States*, OTA – F – 565, U. S. [M]. Government Printing Office, Washington D C, 1993: 392.
- [25] Chow C H, Waller G H, Reinhardt C. Biodiversity and Allelopathy: From Organisms To Ecosystems In The Pacific[J]. *Academia Sinica, Taipei*, 1999: 21 – 27.
- [26] U S Department of Agriculture (USDA). *Safeguarding American Plant Resources*[M]. Animal and Plant Health Inspection Service – Plant Protection and Quarantine (APHIS – PPQ), Riverdale, MD, USA, 1999: 133.
- [27] UNEP. *Assessing The Impact of Trade Liberalisation on The Conservation and Sustainable Use of Agricultural Biological Diversity*, UNEP/CBD Report Presented at The Sixth Meeting of The Parties to the Convention on Biological Diversity[J]. The Hague, 2002: 7 – 19.
- [28] Lin W, G Zhou, X Cheng, et al. Fast Economic Development Accelerates Biological Invasions in China[R/OL]. *PLoS ONE* 2(11): e1208. doi:10.1371/journal.pone.0001208. 2007.
- [29] US – China Business Council (USCBC). *US – China Trade Statistics and China’s World Trade Statistics*[R/OL]. Available Online at the US – China Business Council: <http://www.uschina.org/statistics/tradetable.html> (Accessed August 20, 2010).
- [30] Weber E, B Li. *Plant Invasions In China: What Is To Be Expected In The Wake of Economic Development*[J]. *Bioscience*, 2008, 58(5): 437 – 444.
- [31] Pysek P, Richardson D M, Pergil J, et al. Geographical and Taxonomic Biases in Invasion Ecology[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, 23: 237 – 244.
- [32] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, et al. Biodiversity Hotspots For Conservation Priorities[J]. *Nature*, 2000, 403: 853 – 858.
- [33] Smith R J, Muir R D J, Walpole M J, et al. Governance and the Loss of Biodiversity[J]. *Nature*, 2003, 426: 67 – 70.
- [34] National Agricultural Library. *Federal Laws and Regulations: Public Laws and Acts*[R/OL]. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington D C Available Online at <http://www.invasivespeciesinfo.gov/laws/publiclaws.shtml> (Accessed August 16, 2010), 2010.
- [35] 刘春兴, 林震, 温俊宝, 等. 美国应对生物入侵立法的历史及其启示[J]. *经济社会体制比较*, 2010, 148: 161 – 166.
- [36] Baker B. *National Management Plan Maps Strategy for Controlling Invasive Species*[J]. *BioScience*, 2001, 51(2): 92.
- [37] Miller M L. *The Paradox of United States Alien Species Law*[A]. In *Harmful Invasive Species: Legal Responses*[M]. Environmental Law Institute, Washinton D C, USA, 2004: 125 – 160.
- [38] Environmental Law Institute. *Model State Law For Invasive Species: Comprehensive Protection*[J]. *Environmental Forum*,

2004,21(3):55-59.

- [39] Christensen M. Invasive Species Legislation and administration; New Zealand. In *Harmful Invasive Species; Legal Responses* [M]. Environmental Law Institute, Washinton DC, USA,2004:23-50.
- [40] 刘春兴,林震,温俊宝,等. 国外生物入侵管理体制改革的三种典型模型[J]. *中国行政管理*, 2009,10:109-112.
- [41] National Invasive Species Council (NISC). 2008-2012 National Invasive Species Management Plan[M]. National Invasive Species Council, Department of the Interior, Washington D C,2008:35.
- [42] Wittenberg R, Cock M J W. *Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices* [M]. CAB International, Wallingford, Oxon, UK,2001:228.
- [43] McNeely J A, Mooney H A, Neville L E, et al. *A Global Strategy on Invasive Alien Species* [M]. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK,2001:50.
- [44] Genovesi P C. *Shine. European Strategy on Invasive Alien Species* [M]. Council of Europe, Strasbourg Cedex, France,2004:69.
- [45] Burnett K M. *Optimal Prevention and Control of Invasive Species: The Case of the Brown Treesnake* [R/OL]. Ph. D. Dissertation. University of Hawaii, Manoa. Available Online at <http://www2.hawaii.edu/~kburnett/Diss.pdf> (Accessed August 20,2010),2007.
- [46] Independent Evaluation Group, Communication, Learning, and Strategy (IEGCS). *Global Program Review Volume 3 Issue 4* [R/OL]. Available Online at the World Bank: <http://siteresources.worldbank.org/EXTGLOREGPARPROG/Resources/gisp.pdf> (Accessed August 17, 2010). 2009.
- [47] Andersen M C, Adams H, Hope B, et al. Risk Assessment for Invasive Species[J]. *Risk Analysis*,2004,24(4):787-793.
- [48] Wikipedia. Risk assessment [R/OL]. Available Online at Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Risk\\_assessment](http://en.wikipedia.org/wiki/Risk_assessment) (Accessed August 18, 2010),2010.
- [49] Wikipedia. Environmental impact assessment [R/OL]. Available Online at Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental\\_impact\\_assessment](http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_assessment) (Accessed August 18, 2010),2010.
- [50] National Invasive Species Council (NISC). *Five-Year Review of Executive Order 13112* [M]. *Invasive Species*,2005:44.
- [51] National Invasive Species Council (NISC). *Meeting the Invasive Species Challenge: National Invasive Species Management Plan* [M]. National Invasive Species Council, Department of the Interior, Washington D C,2001:80.
- [52] Ridgway R L, Brown A G, Jackson N E, et al. *Invasive Species Stakeholders Collecting, Sharing and Using Information* [R/OL]. Available Online at The National Invasive Species Council Web Site: <http://www.invasivespecies.gov/other/stkhlldr.pdf> (Accessed August 20, 2010). 2000.
- [53] McCullough D G, Work T T, Cavey J F, et al. Marshall. Interceptions of nonindigenous plant pests at US ports of entry and border crossings over a 17-year period[J]. *Biological Invasions*,2006,8:611-630.
- [54] National Invasive Species Council (NISC). *General Guidelines for the Establishment and Evaluation of Invasive Species Early Detection and Rapid Response Systems* [M]. Version,2003:16.
- [55] Washinton Invasive Species Council (WISC). *Wood-boring beetles (Asian and Citrus Long-horned Beetle)* [R/OL]. Available Online at <http://www.invasivespecies.wa.gov/priorities/beetles.shtml> (Accessed July 18,2010),2009.
- [56] Wikipedia. *Citrus long-horned beetle* [R/OL]. Available Online at [http://en.wikipedia.org/wiki/Citrus\\_long-horned-beetle](http://en.wikipedia.org/wiki/Citrus_long-horned-beetle) (Accessed July 18,2010),2010.
- [57] Washinton Invasive Species Council (WISC). *European Green Crab* [R/OL]. Available Online at <http://www.invasivespecies.wa.gov/priorities/crab.shtml> (Accessed July 19,2010),2009.
- [58] Bomford M, O'Brien P. Eradication or Control for Vertebrate Pests[J]. *Wildlife Society Bulletin*, 1995,23:249-255.
- [59] Canada Federal Government and its Provincial and Territorial Counterparts (CFGPTC). *An Invasive Alien Species Strategy for Canada*. Available on Environment Canada [R/OL]. [http://www.ec.gc.ca/eee-ias/98DB3ACF-94FE-4573-AE0F-95133A03C5E9/Final\\_IAS\\_Strategic\\_Plan\\_smaller\\_e.pdf](http://www.ec.gc.ca/eee-ias/98DB3ACF-94FE-4573-AE0F-95133A03C5E9/Final_IAS_Strategic_Plan_smaller_e.pdf) (Accessed July 14, 2010),2004.
- [60] Genovesi P. Eradications of Invasive Alien Species in Europe: A Review[J]. *Biological Invasions*, 2004,7:127-133.
- [61] Burbridge A A, Morris K D. *Introduced Mammal Eradications for Nature Conservation on Western Australian Islands: A Review*. In *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* [C]. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasive, IUCN SSC Invasive Species, Auckland, New Zealand,2002:64-70.
- [62] Rejmanek M, Pitcairn M J. *When is Eradication of Exotic Pest Plants a Realistic Goal?* In *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* [C]. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasive, IUCN SSC Invasive Species, Auckland, New Zealand, 2002:249-253.

- [63] Timmins S M, Braithwaite H. Early Detection of New Invasive Weeds on Islands [A]. In *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* [C]. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasive, IUCN SSC Invasive Species, Auckland, New Zealand, 2002: 311 – 318.
- [64] Weiss J. Contingency Planning For New And Emerging Weeds In Victoria [J]. *Plant Protection Quarterly*, 1999, 14: 112 – 114.
- [65] Cannon R J C, Matthews L, Collins D W, et al. Eradication of an invasive alien pest [J]. *Thrips Palmi Crop Protection*, 2007, 26: 1303 – 1314.
- [66] Clearwater J R. Tackling tussock moths: strategies, timelines and outcomes of two programs for eradicating tussock moths from Auckland suburbs ( abstract ) [A]. In *Eradication of Island Invasives: Practical Actions And Results Achieved* [C] Conference of the Invasive Species Specialist Group of the World Conservation Union ( IUCN ) Species Survival Commission, IUCN, Auckland, New Zealand, 2001: 12.
- [67] Bax N, Hewitt C, Campbell M, et al. Man – Made Marinas as Sheltered Islands for Alien Marine Organisms: Establishment and World – First Eradication of A Marine Pest [A]. In *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* [C]. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasive, IUCN SSC Invasive Species, Auckland, New Zealand, 2002: 26 – 39.
- [68] Galil B S. Between Serendipity and Futility: Control And Eradication of Aquatic Invaders [J]. *Ballast Water News*, 2002, 11: 10 – 12.
- [69] Gherardi F C. Angiolini. Eradication and Control of Invasive Species [A]. In *Biodiversity Conservation and Habitat Management* [C]. In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, 2004.
- [70] Simberloff D. We Can Eliminate Invasions or Live With Them [J]. *Biol Invasions*, 2009, 11: 149 – 157.
- [71] Myers J H, Simberloff D, Kuris A M, et al. Eradication Revisited: Dealing With Exotic Species [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2000, 15: 316 – 320.
- [72] Clout M N, Veitch C R. Turning the Tide of Biological Invasion: The Potential For Eradicating Invasive Species [A]. In *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* [C]. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasive, IUCN SSC Invasive Species, Auckland, New Zealand, 2002: 1 – 3.
- [73] Mack R N, Lonsdale M W. Eradicating Invasive Plants: Hard – Won Lessons for Islands [A]. In *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* [C]. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasive, IUCN SSC Invasive Species, Auckland, New Zealand, 2002: 4 – 12.
- [74] Simberloff D. Why not eradication [A]. In *Managing for healthy ecosystems* [C]. CRC/ Lewis Press, Boca Raton, 2002: 541 – 548.
- [75] Mack R N, Foster S K. Eradication or Control [A]. *Combating Plants Through a Lump Sum Payment or on The Installment Plan* [C]. In *Proceedings of the Fourteenth Australian Weeds Conference*, Weed Science Society of New South Wales, Sydney, 2004: 55 – 61.
- [76] Hajek A, Tobin P C. North American Eradications of Asian and European Gypsy Moth [A]. In *Use of Microbes for Control and Eradication of Invasive Arthropods* [C]. Springer Science + Business Media B V, 2009: 71 – 89.
- [77] Brockerhoff E G, Liebhold A M, Richardson B, et al. Eradication of Invasive Forest Insects: Concepts, Methods, Costs and Benefits. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2010: 117 – 135.
- [78] Myers J H, Savoie A, Randen E V. Eradication and Pest Management [J]. *Annual Review of Entomology*, 1998, 43: 471 – 491.
- [79] Simberloff D. How Much Information on Population Biology is Needed To Manage Introduced Species [J]. *Conservation Biology*, 2003, 17(1): 83 – 92.
- [80] Morrison S A, Macdonald N, Walker K, et al. Facing the Dilemma at Eradication's Absence and the Lazarus Effect [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5(5): 271 – 276.
- [81] Usher M B. Ecological Effects of Controlling Invasive Terrestrial Invertebrates. *Biological Invasions: A Global Perspective* [J]. Wiley & Sons, Chichester, UK, 1989: 463 – 484.
- [82] Reed J M. Using Statistical Probability to Increase Confidence of Inferring Species Extinction [J]. *Conservation Biology*, 1996, 10: 1283 – 1285.
- [83] Regan T J, McCarthy M A, Baxter P W J, et al. Optimal Eradication: When to Stop Looking for an Invasive Plant [J]. *Ecology Letters*, 2006, 9: 759 – 766.
- [84] Rout T M, Thompson C J, McCarthy M A. Robust Decisions for Declaring Eradication of Invasive Species [J]. *Journal of Ap-*

- plied Ecology, 2009, 46:782 – 786.
- [85] Rout T M, Salomon Y, McCarthy M A. Using Sighting Records to Declare Eradication of an Invasive Species[J]. Journal of Applied Ecology, 2009, 46:110 – 117.
- [86] APHIS. Asian Longhorned Beetle[R/OL]. Available Online at USDA: [Http://Www. Aphis. Usda. Gov/Plant\\_Health/Plant\\_Pest\\_Info/Asian\\_Lhb/Index. Shtml](http://www.aphis.usda.gov/Plant_Health/Plant_Pest_Info/Asian_Lhb/Index.Shtml) ( Accessed July 31 , 2010 ), 2010.
- [87] Plain J. Destructive Asian Longhorned Beetle Now In Boston[R/OL]. Available Online at Boston Area News: <http://wbztv.com/local/asian.longhorned.beetle.2.1789751.html> ( Accessed July 31 , 2010 ), 2010.
- [88] APHIS. Eradication of Asian Longhorned Beetle in New York, New Jersey, and Illinois Implementation of the Strategic Plan [R/OL]. Available Online at USDA: [http://www.aphis.usda.gov/plant\\_health/plant\\_pest\\_info/asian\\_lhb/downloads/strategic.pdf](http://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/asian_lhb/downloads/strategic.pdf) ( Accessed July 31 , 2010 ), 2005.
- [89] APHIS. Rules and Regulations[J]. Federal Register, 2004, 69 (179) : 55719 – 55733.
- [90] APHIS. Federal Order for *Anoplophora chinensis* (Forster), the Citrus Longhorned Beetle (CLB), and *Anoplophora glabripennis*, the Asian Longhorned Beetle (ALB)[R/OL]. Available Online at USDA APHIS: [http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/plant\\_imports/downloads/Q37/CitrusLonghornedBeetleFO\\_1-16-09.pdf](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/plant_imports/downloads/Q37/CitrusLonghornedBeetleFO_1-16-09.pdf). 2009.
- [91] APHIS. Asian Longhorned Beetle: Questions and Answers[R/OL]. Available Online at USDA: [http://www.aphis.usda.gov/publications/plant\\_health/content/printable\\_version/faq\\_alb\\_07.pdf](http://www.aphis.usda.gov/publications/plant_health/content/printable_version/faq_alb_07.pdf) ( Accessed August 1 , 2010 ), 2007.
- [92] APHIS. Questions and Answers: Asian Longhorned Beetle Control Treatments[R/OL]. Available Online at USDA APHIS: [http://www.aphis.usda.gov/publications/plant\\_health/content/printable\\_version/faq\\_albcon.pdf](http://www.aphis.usda.gov/publications/plant_health/content/printable_version/faq_albcon.pdf) ( Accessed August 1 , 2010 ), 2010.
- [93] APHIS – PPQ. “Asian Longhorned Beetle Program Report”[M]. USDA Center, Riverdale, M D, USA, 2010.
- [94] McGovern J. Beetle Eradication Costs \$ 1M Per Square Mile[R/OL]. Available Online at <http://www.thebostonchannel.com/news/24216616/detail.html> ( Accessed July 31 , 2010 ), 2010.
- [95] Simberloff D. Managing Established Populations of Alien Species[A]. In *Alien Invaders in Canada’s Waters, Wetlands, and Forests*, Natural Resources, Ottawa, Canada, 2002:320.
- [96] Simberloff D, Parker I M, Windle P N. Introduced Species Policy, Management and Future Research Needs[J]. *Front Ecol Environ*, 2005, 3(1) :12 – 20.
- [97] Venner M. Control of Invasive Species: A Synthesis of Highway Practice, Volume 363 of Synthesis of Highway Practice [M]. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington D C, USA, 2006:115.
- [98] Campbell C, Carter F D. The Florida Department of Corrections Involvement in Exotic Pest Plant Control[A]. In *Florida’s Garden Of Good And Evil*. Florida Exotic Pest Plant Council , West Palm Beach, F L, USA, 1999.
- [99] Randall J M, Lewis R R. Ecological Restoration[A]. In *Strangers in paradise: Impact and Management of Nonindigenous Species in Florida*[C]. Island Press, Washington, D C, USA, 1997:467.
- [100] U S. Commission on Ocean Policy (USCOP)[A]. *An Ocean Blueprint for the 21st Century*[M]. Washington D C, ISBN #0 – 9759462 – 0 – X. 2004.
- [101] Wikipedia. Cane Toads in Australia[R/OL]. Available Online at Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Cane\\_toads\\_in\\_Australia](http://en.wikipedia.org/wiki/Cane_toads_in_Australia) ( Accessed August 6 , 2010 ), 2010.
- [102] Global Invasive Species Programme (GISP). *Ecology and Management of Invasive Alien Species: Management Strategies* [R/OL]. Available Online at <http://www.gisp.org/ecology/strategies.asp> ( Accessed August 5 , 2010 ). 2008.
- [103] Reis P. National Strategy and Implementation Plan for Invasive Species Management[R/OL]. Available Online at [http://www.fs.fed.us/invasivespecies/documents/Final\\_National\\_Strategy\\_100804.pdf](http://www.fs.fed.us/invasivespecies/documents/Final_National_Strategy_100804.pdf) ( Accessed August 4 , 2010 ). 2004.
- [104] National Invasive Species Council (NISC) . National Invasive Species Council (NISC) Success Stories [R/OL]. Available Online at USDA: <http://www.invasivespeciesinfo.gov/docs/council/successes.doc> ( Accessed August 8 , 2010 ), 2004.
- [105] National Invasive Species Council (NISC). Pathways Report. Invasive Species Pathways Team Final Report[M]. Co – Chaired By Faith Campbell and Penny Kriesh, 2004.
- [106] Vargas R I, Mau R L, Jang E B. The Hawaii Fruit Fly Area – Wide Pest Management Program: Accomplishments and Future Directions[J]. *Proceedings Hawaiian Entomological Society*, 2007, 39:99 – 104.
- [107] Mack R N, Simberloff D, Lonsdale W M, et al. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10:689 – 710.