

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2020.03.001

我国外来入侵生物防控现状、问题和对策

陈宝雄^{1*}, 孙玉芳¹, 韩智华², 黄宏坤¹, 张宏斌¹, 李垚奎¹, 张国良³, 刘万学⁴

¹农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; ²国防专利审查中心, 北京 100082;

³中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

⁴中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193

摘要: 外来物种入侵已经威胁全球多个国家和地区,严重影响农林牧渔业生产,威胁生态系统稳定,是当前全球生物多样性丧失的主要原因之一,开展入侵物种防控已成为生物多样性保护与农业绿色发展的工作重点。我国已经成为全球遭受生物入侵威胁与损失最为严重的国家之一,截至 2018 年底,入侵我国的外来物种有近 800 种,已确认入侵农林生态系统的有 638 种,全国 31 个省(区、市)均有外来生物入侵发生并带来危害,半数以上县域都有入侵物种分布,几乎涉及所有类型的生态系统。本文对全球主要发达国家外来入侵物种发生情况及防控进行梳理发现,从国家层面立法开展外来入侵生物防控成为主流,制定长期防控战略并增加投入是入侵物种防控成功的关键。近些年,我国在外来入侵物种防控方面初步建立了工作机制,发布了重点管理外来入侵物种名录,完成了重点入侵物种的调查监测,开展了局部地区的防控措施,积极推动立法工作。根据国外生物入侵防治经验与我国实际情况,本研究提出我国外来入侵物种防控对策建议,包括加强法制建设、开展本底调查和启动重大防控工程等,为我国外来入侵生物的防控提供借鉴。

关键词: 外来入侵物种; 防控; 对策



开放科学标识码
(OSID 码)

Challenges in preventing and controlling invasive alien species in China

CHEN Baoxiong^{1*}, SUN Yufang¹, HAN Zhihua², HUANG Hongkun¹,
ZHANG Hongbin¹, LI Yaokui¹, ZHANG Guoliang³, LIU Wanxue⁴

¹Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China;

²National Defense Examination Center, Beijing 100082, China; ³Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

⁴Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

Abstract: Species invasion has threatened many countries around the world, seriously affecting agricultural, forestry, husbandry and fishery production, threatening ecosystem stability, and is one of the major reasons for global biodiversity loss. The prevention and control of invasive alien species has become a research hotspot of current biodiversity conservation and sustainable agricultural development. China has become one of the countries with the most serious threats from and losses of biological invasions in the world, with nearly 800 species invading by the end of 2018, and 638 species of invasive agroforest ecosystems identified. All 31 provinces (autonomous regions and municipalities) have invasive species involving almost all the type of ecosystems and thus causing damage. To promote the prevention and control of invasive alien species national legislations are now mainstream. China government has initially established a working mechanism for the prevention and control of invasive alien species, successfully issued a list of 52 key invasive alien species, organized for species survey every year, setup a national wide network for monitoring of key species, and carried out control measures in some key areas. Based on the experience of foreign countries controlling invasive alien species and the author's many years of work experience, this paper puts forward some suggestions on the prevention and control measures of invasive species, including strengthening the legal system construction, including the Law of Biosecurity, conducting back-

收稿日期(Received): 2020-03-27 接受日期(Accepted): 2020-04-29

基金项目: 农业外来入侵物种防控(2110402)

作者简介: 陈宝雄, 男, 助理研究员, 博士。研究方向: 外来入侵物种防控、农田生物多样性、气候变化

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: cbxiong@126.com

ground general investigations, strengthening long-term monitoring and forecasting, starting major invasion prevention and control projects. It would provide reference for the prevention and control of invasive alien species in China.

Key words: invasive alien species; prevention and control; countermeasures

随着全球经济一体化,国际贸易、跨国旅游业等快速发展,外来生物入侵已成为当前全球性的问题,对各国生态环境、农业发展造成了重大负面影响,被认作是 21 世纪五大全球性环境问题之一,开展外来生物入侵的防控已是全球各国政府关注的主要环境问题和工作重心之一(赵彩云,2016; Caffrey *et al.*, 2014; Doherty *et al.*, 2016)。Elton(1958)提出生物入侵的概念:非本地生物物种由于人为因素有意或无意进入新的区域建立其种群并可持续生存,且进一步扩散到其他区域的过程。我国的研究学者也对外来生物入侵进行了定义,认为广义上的外来入侵生物物种见于所有类群,狭义的外来入侵生物指害虫、害螨、病原真菌、病原原核生物(包括细菌、植原体和螺原体)、病毒类(包括病毒和类病毒)、杂草、线虫和软体动物等(张建军和李冠雄, 2005; Wang & Yang, 2011)。总的来说,入侵生物一般具有较强的繁殖能力、适应环境能力和扩散能力,而且在新入侵区域缺乏天敌,因而生长扩展迅速,从而影响本地物种的生存(Jiang *et al.*, 2011)。

近年来,我国已成为世界上遭受生物入侵危害最为严重的国家之一,生物入侵对我国生态环境和农业生产造成了极大危害,而且还在随着气候变化、国际贸易等的发展不断加剧(王瑞等,2018; Qiu, 2013; Wan *et al.*, 2016)。加拿大一枝黄花 *Solidago Canadensis* L.、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.、豚草 *Ambrosia artemisiifolia* (L.)、烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius、福寿螺 *Pomacea canaliculata* Spix、松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle 等重大入侵杂草、病虫害已成为公众熟知的入侵物种,给我国造成严重的经济、社会和生态危害(鞠瑞亭等,2012; 刘昊等,2016)。它们不仅导致农林渔牧业生产遭受损失、生物多样性丧失、区域自然景观和生态环境破坏、生态系统退化,甚至威胁到人类健康及社会安全稳定(庞淑婷等, 2015; Early *et al.*, 2016; Walsh *et al.*, 2016)。

为防止外来生物入侵,保护生态环境和生物多样性,国际组织与全球主要发达国家纷纷研究并制定了相应的对策,采取多种办法管理外来物种,包

括物种引进的风险管理、传播的监测预警和处置等,实施了适合本国应对外来物种入侵的防控措施,取得了较好的生态和经济效益(García-llorente *et al.*, 2008; Holden *et al.*, 2016)。我国也需要客观理性地借鉴国际先进经验,加强管理,严加防控,保障国家生态安全。本研究首先对国外外来物种入侵的防控进行系统的梳理,其次探讨我国生物入侵的现状和面临的问题,并总结导致这些问题的主要原因,进而提出适合我国的生物入侵防治建议,以期我国的生物入侵防控工作提供参考。

1 国外外来物种入侵发生及防控

据估计,全球外来入侵物种造成的损失每年高达 1.4 万亿美元,接近全球国民生产总值(GNP)的 5%(吴金泉和 Smith, 2010; Pimentel *et al.*, 2005)。数据表明,美国外来物种种类超过 50000 种,其中 73% 的杂草属外来物种,扩散面积超过 0.4 亿 hm^2 ,且以每年 8%~20% 的速度增加,仅入侵杂草每年就造成 234 亿美元的经济损失,外来入侵物种造成的损失总计达 1380 亿美元(Johnson *et al.*, 2017; Pimentel *et al.*, 2005);澳大利亚 6 种外来入侵杂草每年造成的经济损失达 1.05 亿美元;菲律宾的福寿螺每年给水稻生产造成损失达 2800 万~4500 万美元;南非和印度每年遭受生物入侵的经济损失分别达 1200 亿和 980 亿美元(Pimentel, 2014)。

外来物种入侵作为全球性问题已经引起国际组织和世界各国的广泛关注,从 20 世纪 50 年代开始,国际组织如世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)、国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)、环境问题科学委员会(Scientific Committee on Problems of the Environment, SCOPE)、国际应用生物科学中心(Center for Agriculture and Bioscience International, CABI)等就开始通过制定国际公约、协议,成立联合管理机构等方式来预防和管理外来物种。目前,已通过了 40 多项国际公约、协议和指南,如《实施卫生与植物卫生措施协议》《生物多样性公约》《国际植物保护公约》《贸易技术壁垒协议》、全球入侵物种计划(global invasive species programme, GISP)等。同

时,还建立了 80 余个外来入侵的重要信息数据库和网站,为发展外来入侵生物的最佳预防与管理策略提供了技术指导,为制定防控外来物种入侵的全球对策、组织实施国际合作项目研究和公众教育等方面提供了平台和支撑(万方浩等,2008)。

大多数国家特别是发达国家高度重视外来入侵物种防控工作,制定了相关法律法规,并投入大量财政用于外来入侵生物的防控工作及研究。美国先后颁布《国家入侵物种法(1996)》《入侵物种法令(1999)》,2016 年,美国再次签署了总统令,成立了国家入侵物种委员会,协调全国的外来入侵生物防控工作,联邦政府投入 23 亿美元,用于国内预防、控制和根除外来入侵物种。美国农业部收集了全球 3000 余种有害生物信息,实现全国范围内的限制性信息开放和共享。美国联邦政府每年都会编制巨额预算用于入侵生物防控,如仅防控密西西比河泛滥成灾的亚洲鲤鱼的预算就高达 190 亿美元(Johnson *et al.*, 2017)。澳大利亚制定了《生物安全法(2015)》《澳大利亚杂草战略(2017—2027)》及《澳大利亚有害动物战略(2017—2027)》,强化对入侵生物防控的领导和管理,推进生物入侵科学研究工作。欧盟于 2013 年重新修订了《欧盟入侵物种法案》。日本于 2004 年颁布《入侵物种法案》,2010 年 3 月发布了包括 97 种生物的外来入侵生物名录(王运生等, 2007)。一些发展中国家如印度、泰国、马来西亚、南非等也成立了由国家农业委员会(理事会)牵头的专门机构,统一管理入侵物种问题。总之,发达国家外来生物入侵防控工作的总体机制、法律法规体系和财政投入好于发展中国家,但也存在预防预警不及时、响应滞后等问题(万方浩等,2008)。

2 我国外来生物入侵总体状况

对 124 个国家 1300 余种入侵生物的对比分析表明,我国是遭受生物入侵威胁最大和损失最为严重的国家之一(万方浩等,2002; Xu *et al.*, 2006)。我国外来植物的入侵地点主要分布于东南沿海地区,其次为西南地区和辽东半岛。外来植物入侵和扩散过程受人类活动的影响最为显著,甚至突破一些自然条件的限制(姜景鹤, 2018; 闫小玲等, 2014; Liu *et al.*, 2006)。近年来,网购热、宠物热、不规范放生活动等新情况的出现,使得外来物种入侵途径更加多样化、复杂化,监管和防控工作难度进一步加大,防控形势更加严峻(付伟等, 2017;

Shackleton *et al.*, 2019)。

根据我国农业部门的初步调查总结,目前我国外来物种入侵的严峻形势,主要存在 3 个特点。

2.1 入侵物种发生种类多

我国疆域辽阔,生态系统类型多,生态脆弱带分布广泛,极易遭受生物入侵、定殖。从脊椎与无脊椎动物、陆生与水生植物、海洋与淡水生物到动植物细菌、真菌等,各种类型的入侵生物均有发生(Xu *et al.*, 2012)。截至 2018 年底,我国的外来入侵物种有近 800 种,已确认入侵农林生态系统的有 638 种,其中动物 179 种、植物 381 种、病原微生物 78 种。大面积发生和危害严重的重大入侵生物多达 120 余种。在国际自然保护联盟公布的全球 100 种最具威胁的外来入侵生物中,我国有 51 种。近 10 年,新入侵物种有 55 种,是 20 世纪 90 年代前入侵物种新增频率的 30 倍之多,且该趋势还在不断增加(冼晓青等, 2018; Weber *et al.*, 2008)。同时,为了水产养殖和经济发展的需要,近 30 年我国许多地区先后从国外引进了上百种外来水生生物,如罗非鱼 *Oreochromis* spp.、豹纹脂身鲶 *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855)、大口黑鲈 *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802)等,许多物种在带来经济利益的同时也对我国的水生生态系统带来了严重的影响和危害,随着养殖逃逸及其自我扩散,部分物种已成为华南地区水域的入侵种(刘飞等, 2019; 朱冰涛等, 2020)。

2.2 入侵物种分布范围广

全国 31 个省(自治区、直辖市)均有入侵生物发生和危害,半数以上县域都有入侵物种分布,涉及农田、森林、水域、湿地、草地、岛屿、城市居民区等几乎所有的自然或人工生态系统(图 1)。全国外来入侵物种发生面积超过 0.25 亿 hm^2 ,其中 80% 以上的入侵种出现在农田等人为干扰频繁的生境中。据调查,河北、江苏、广东、海南、云南等省的入侵物种数量均在 200 种以上,云南最为严重(288 种);宁夏、西藏、甘肃、内蒙等省(自治区)的入侵种数量相对较少,宁夏最少(77 种);在沿边沿海地区,天津、山东、福建、广西等 12 个省(自治区、直辖市)入侵物种首次发现比例高达 74.6%。入侵物种更是扩散到了青藏高原腹地,2009 年印加孔雀草 *Tagetes minuta* L. 在西藏米林县第一次被发现,2013 年已经形成较大规模的种群,近期的野外调查发现,印加孔雀草在西藏的朗县和米林县已呈暴发增长趋

势(土艳丽等,2018; 杨春蕾等,2018)。由于边境贸易不断发展,作为最内陆的新疆也面临入侵生物的危害,农林外来入侵生物多达 95 种,如刺苍耳 *Xanthium spinosum* L.、豚草等(郭文超等,2017),以前外来

入侵生物大多分布在伊犁河谷、乌鲁木齐等地区,现在已经扩散至全疆各绿洲农区,每年给新疆造成的损失超过 30 亿元(董合干等,2017)。

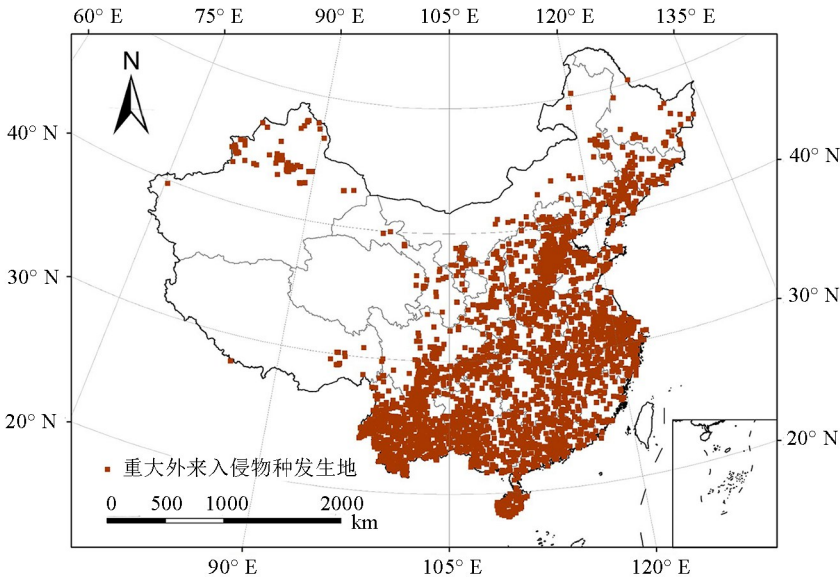


图 1 我国重大外来入侵物种分布图

Fig.1 The distribution of major invasive alien species in China

2.3 入侵生物危害严重

入侵生物的最大危害即造成直接经济损失。据统计,外来入侵物种在我国每年造成直接经济损失逾 2000 亿元,其中农业损失占 61.5%(马玉忠,2009)。外来入侵生物造成农产品产量下降、品质降低、生产成本增加,如稻水象甲 *Echinocnemus squameus* Billherg、香蕉穿孔线虫 *Radopholus similis* (Cobb) Thorne 和美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 造成相应农作物减产分别达 50%、40%和 60%以上,严重时甚至造成绝收(邓启明等,2006)。许多国家将入侵生物问题作为非关税壁垒,限制我国农产品进入国际市场,给我国出口贸易带来了巨大的经济损失。外来入侵生物还导致生物多样性下降。外来入侵生物通过竞争排斥本地生物,降低了生态系统的生物多样性。外来入侵物种还破坏当地物理、化学、水文环境等,威胁其他生物的生存,改变当地的生态系统结构,使当地生物多样性不断降低,并严重影响当地生态环境系统的各项功能(陈兴,2017)。在国际自然保护联盟濒危物种红色名录中,约 30%的灭绝物种是由于外来物种入侵导致的。加拿大一枝黄花导致上海地区 30 多种本地物种消失(董梅等,2006)。云南大理洱海原产鱼

类 17 种,有意无意引入 13 个外来物种后,17 种土著鱼类中已有 5 种陷入濒危状态(万方浩等,2002)。在畜牧养殖方面,普通豚草和三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L.所产生的花粉是引起人类花粉过敏症的主要病原,近年来导致北方地区“枯草热”症逐年上升;福寿螺等是人畜共患的寄生虫病的中间宿主(郭靖和章家恩,2015)。生物入侵还会给人类健康带来直接的负面影响,对其潜在影响范围和持续时间还有待进一步认识(Lavery et al.,2017)。

3 我国已开展的主要工作

3.1 制度建设

2004 年,原中华人民共和国农业部牵头成立环保、质检、林业等多部门参加的外来入侵物种防治协作组,并先后成立农业部外来入侵生物预防与控制研究中心和外来物种管理办公室。发布了《农业重大有害生物及外来生物入侵突发事件应急预案》,指导湖南省出台《湖南省外来物种管理条例》。2013 年,发布《国家重点管理外来入侵物种名录(第一批)》,收录了 52 种对生态环境和农林业生产具有重大危害的入侵物种,包括 21 种植物、27 种动物和 4 种微生物。同期,原中华人民共和国环境保

护部会同中国科学院发布 3 批《中国外来入侵物种名单》和 1 批《中国自然生态系统外来入侵物种名单》，共收录入侵物种 71 种，其中有 36 种物种和农业部门发布的名录保持一致。目前，中华人民共和国全国人民代表大会正在制定生物安全法，拟将外来入侵物种防控纳入其中；农业农村部正会同生态环境部、国家林业和草原局积极推动出台《外来物种管理条例》，研究制定《国家重点管理外来入侵物种名录（第二批）》。这些工作为全国的外来生物入侵防控提供了法律政策基础，明确了防控内容和方向。

3.2 调查监测

多年来，农业部门牵头组织各省开展外来入侵物种调查，建立中国外来入侵物种数据库，收录了近 1000 种外来入侵物种的数据信息；对南方 11 个省区 20 处重点水域水生入侵植物持续开展遥感监测，指导地方开展应急灭除（孙玉芳等，2016）；在云南、湖北、内蒙等地针对刺萼龙葵 *Solanum rostratum* Dunal、少花蔊菜 *Cenchrus pauciflorus* Benth、豚草、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.、薇甘菊 *Mikania micrantha* Kunth 等设置 500 处入侵杂草定位监测点，定期发布全省危险性农业外来入侵植物预警预报。调查监测工作为入侵生物的防控提供了数据和科学基础。

3.3 综合防控

针对水花生 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.、水葫芦 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms、豚草、椰心叶甲 *Brontispa longissima* (Gestro) 等入侵物种，我国已建成 30 个天敌防治基地，湖北省水花生天敌基地防治面积约为 333.3 km²，湖南省豚草天敌昆虫生产基地年均生产 2 亿头，已累计释放 50 亿头。在贵州和内蒙等地开展本土植物替代技术试点，建成黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze、刺萼龙葵、少花蔊菜入侵杂草生态拦截和修复综合防控示范基地 10 处。针对新发和集中暴发外来入侵物种，组织开展集中灭除行动，先后开展灭除活动 1000 余次，面积达 2 万 km²。这些措施都减少了入侵生物的危害和扩散，取得了较好效果（高尚宾等，2017）。

3.4 科技支撑

农业部门组织专家开展外来生物入侵的科学研究和防治技术攻关，发布 40 种重大入侵物种应急处置技术，制定 23 项调查监测及防控技术标准，确定 120 余种入侵生物的适生性风险区域，建立

300 余种危险与潜在入侵物种的检测监测技术与方法，开发了多种快速分子检测与野外监测的试剂盒，为外来入侵物种的防控提供了技术保障。

4 我国外来入侵生物防控面临的主要困难

4.1 法制建设滞后

我国涉及外来物种管理的法律条文散见于《农业法》《种子法》《环境保护法》《植物检疫条例》《进出境动植物检疫法》等 18 部法律法规之中，缺少一部专门针对外来入侵生物防控的相关法律。在监管职责、风险评估、应急处置、责任追究等方面存在大量法律空白，对非法引进、随意丢弃或放生、网络平台交易等行为的监管缺乏充足法律依据，已有的相关法律条文相对陈旧。

4.2 长效投入机制有待建立

相对于美国等发达国家在入侵物种防控工作的财政预算，我国目前外来入侵生物防控领域资金投入规模小，与防控需求相比缺口巨大。在入侵物种普查、监测预警网络构建、综合防控工程建设、应急物资储备、技术装备研发等方面缺乏长效稳定的投入，严重制约防控工作。

4.3 监测预警能力薄弱

虽然我国已经开展了针对部分入侵生物的监测点建设，但外来入侵物种监测工作基础还是相对薄弱，监测点数量少，布局不尽合理，监测“盲点”较多，且监测预警仪器设备简陋，多以手查目测为主，疫情信息搜集能力弱，极大地影响了监测预警和防治决策的准确性与时效性。

4.4 综合治理与应急控制能力不足

目前，外来入侵物种防治多以单一的化学防治为主，过程费时、费工、费力，以生态调控为主的生物综合治理和无害化防控技术尚处于研发起步阶段。大多数基层农业部门应急处置能力不足，专业工作人员缺乏，专业技能培训有待加强，应急基础设施落后，防控措施难以落实，严重影响防控效果。

5 建议

外来入侵物种防控任务长期而艰巨，需加强法制建设，开展外来入侵生物普查，推进源头预防和监测预警体系建设，提升综合治理与应急控制能力。同时，强化科技支撑，改善技术手段，完善数据信息支撑体系，逐步形成系统的外来入侵生物预防、控制、治理机制，切实保障国家经济、生态和生物安全。

5.1 加强法制建设,推动防控工作法制化管理

推动形成我国外来入侵物种防控法制化和长效化的管理体制机制,积极配合有关部门开展《生物安全法》的立法调研,争取将外来物种管理列为专章。落实国家生物安全战略要求,会同有关部门加快研究制定《外来物种管理条例》,争取尽快列入国务院立法计划,并加紧该条例的制定和审核工作。继续完善外来入侵物种管理名录,尽快发布《国家重点管理外来入侵物种名录(第二批)》。

5.2 开展本底调查,强化长期性监测预警

推动由多部门联合开展的外来入侵物种普查,全面摸清我国外来入侵物种的扩散规律和发生情况。在自贸区(边贸区)、生物多样性富集区、生态脆弱区、粮食主产区等重点区域,针对部分重大危害入侵物种开展重点调查,补充完善外来入侵物种数据库信息。开展基础性、长期性监测,合理布局监测点形成系统性网络,探索利用卫星遥感、物联网等信息技术进行监测,形成数据联网综合监测体系,提升外来入侵物种动态监测预警能力。

5.3 设立专项资金,启动外来入侵物种重大防控工程

根据外来入侵物种发生特点和防控工作需要,加大财政和人力投入力度,构建全国性监测预警网络,在重点区域建设外来入侵物种生物阻截带、有害生物天敌繁育基地、可持续综合防控示范区和应急物资基地。利用国家重点研发计划、国家农业科技创新联盟等科技平台,联合国内外科研机构及公司,全面提升外来物种防控科研水平,为外来物种防控科技创新与行业管理提供科技支撑。

参考文献

陈兴, 2017. 外来生物入侵对农业生物多样性的危害及预防. 现代农村科技, 11(1): 30-32.

邓启明, 张秋芳, 周曙东, 2006. 外来入侵物种的危害及其安全管理问题. 自然灾害学报, 15(2): 25-31.

董合干, 周明冬, 刘忠权, 郝晓云, 刘延, 艾尼瓦尔·阿不都瓦依提, 刘彤, 2017. 豚草和三裂叶豚草在新疆伊犁河谷的入侵及扩散特征. 干旱区资源与环境, 31(11): 175-180.

董梅, 陆建忠, 张文驹, 陈家宽, 李博, 2006. 加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物. 植物分类学报, 44(1): 72-85.

付伟, 王宁, 庞芳, 黄玉龙, 吴俊, 祁珊珊, 戴志聪, 杜道林, 2017. 土壤微生物与植物入侵: 研究现状与展望. 生

物多样性, 25(12): 1295-1302.

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.

郭靖, 章家恩, 2015. 福寿螺的生物防治现状、问题与对策. 生态学杂志, 34(10): 2493-2950.

郭文超, 张祥林, 吴卫, 张伟, 付开赞, 吐尔逊·阿合买提, 丁新华, 依米提·热苏力, 2017. 新疆农林外来入侵生物的发生现状、趋势及其研究进展. 生物安全学报, 26(1): 1-11.

姜景鹤, 2018. 中国主要外来植物入侵趋势分析. 价值工程(21): 289-292.

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.

刘飞, 韦慧, 胡隐昌, 顾党恩, 牟希东, 罗渡, 徐猛, 2019. 流溪河入侵鱼类豹纹脂身鲃的年龄与生长特征研究. 淡水渔业, 49(5): 22-30.

刘昊, 张强, 陈正桥, 2016. 外来物种入侵的风险管理体系研究. 农业灾害研究, 6(10): 7-9.

马玉忠, 2009. 外来物种入侵 中国每年损失 2000 亿. 中国经济周刊(21): 43-45.

庞淑婷, 刘颖, 朱志远, 2015. 国内外防止外来物种入侵管理策略研究进展. 农学学报, 5(12): 99-103.

孙玉芳, 姜丽华, 李刚, 陈宝瑞, 张宏斌, 2016. 外来植物入侵遥感监测预警研究进展. 中国农业资源与区划, 37(8): 223-229.

土艳丽, 仇晓玉, 罗建, 王喜龙, 段元文, 2018. 西藏林芝入侵植物印加孔雀草与农作物藏青稞的竞争研究. 西藏科技, 308(11): 62-65.

万方浩, 郭建英, 王德辉, 2002. 中国外来入侵生物的危害与管理对策. 生物多样性, 10(1): 119-125.

万方浩, 谢丙炎, 褚栋, 2008. 生物入侵: 管理篇. 北京: 科学出版社.

王瑞, 周忠实, 张国良, 郭建英, 高尚宾, 孙玉芳, 付卫东, 张付斗, 万方浩, 2018. 重大外来入侵杂草在我国的分布危害格局与可持续治理. 生物安全学报, 27(4): 317-320.

王运生, 肖启明, 万方浩, 谢丙炎, 2007. 日本《外来入侵物种法》及对我国外来物种管理立法和科研的启示. 植物保护, 33(1): 24-28.

吴金泉, SMITH M T, 2010. 发达国家应战外来入侵生物的成功方法. 江西农业大学学报, 32(5): 1040-1055.

洗晓青, 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.

闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 曾宪锋, 张勇, 陈丽, 刘演, 马海英, 齐淑艳, 马金双, 2014. 中国外来入侵植物的等级划分

- 与地理分布格局分析. 生物多样性, 22(5): 667-676.
- 杨春蕾, 罗建, 拦继酒, 2018. 西藏林芝市外来植物入侵风险评估指标体系. 高原农业, 4(2): 167-175.
- 赵彩云, 2016. 中国国际贸易往来中的“外来客”. 世界环境(S1): 84-85.
- 张建军, 李冠雄, 2005. 对我国外来生物入侵问题的若干思考//中国昆虫学会、中国植物病理学会. 外来有害生物检疫及防除技术学术研讨会论文汇编: 15-20.
- 朱冰涛, 徐猛, 刘超, 顾党恩, 余梵冬, 杨叶欣, 胡隐昌, 牟希东, 2020. 外来鱼类革胡子鲶与本地鲶的功能反应及生物学特性的比较. 生态学杂志, 39(2): 567-575.
- CAFFREY J M, BAARS J R, BARBOUR J H, BOETS P, BOON P, DAVENPORT K, DICK J T, EARLY J, EDSMAN L, GALLAGHER C, GROSS J, 2014. Tackling invasive alien species in Europe: the top 20 issues. *Management of Biological Invasions*, 5(1): 1-20.
- DOHERTY T S, GLEN A S, NIMMO D G, RITCHIE E G, DICKMAN C R, 2016. Invasive predators and global biodiversity loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 11261-11265.
- EARLY R, BRADLEY B A, DUKES J S, LAWLER J J, OLDEN J D, BLUMENTHAL D M, GONZALEZ P, GROSHOLZ E D, IBAÑEZ I, MILLER L P, SORTE C J, 2016. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications*, 7(1): 1-9.
- ELTON C S, 1958. *The ecology of invasions by animals and plants*. London: Chapman and Hall.
- GARCÍA-LLORENTE M, MARTÍN-LÓPEZ B, GONZÁLEZ J A, ALCORLO P, MONTES C, 2008. Social perceptions of the impacts and benefits of invasive alien species: implications for management. *Biological Conservation*, 141: 2969-2983.
- HOLDEN M H, NYROP J P, ELLNER S P, 2016. The economic benefit of time-varying surveillance effort for invasive species management. *Journal of Applied Ecology*, 53: 712-721.
- JIANG H, FAN Q, LI J T, SHI S, LI S P, LIAO W B, SHU W S, 2011. Naturalization of alien plants in China. *Biodiversity and Conservation*, 20(7): 1545-1556.
- JOHNSON R, CRAFTON R E, UPTON H F, 2017. *Invasive species: major laws and the role of selected federal agencies*. Washington, DC: Congressional Research Service.
- LAVERTY C, GREEN K D, DICK J T, BARRIOS-O'NEILL D, MENSINK P J, MÉDOC V, SPATARO T, CAFFREY J M, LUCY F E, BOETS P, BRITTON J R, 2017. Assessing the ecological impacts of invasive species based on their functional responses and abundances. *Biological Invasions*, 19(5): 1653-1665.
- LIU J, DONG M, MIAO S L, LI Z Y, SONG M H, WANG R Q, 2006. Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin. *Biological Invasions*, 8(7): 1461-1470.
- PIMENTEL D, 2014. *Biological invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species*. Boca Raton: CRC press.
- PIMENTEL D, ZUNIGA R, MORRISON D, 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52(3): 273-288.
- QIU J, 2013. China battles army of invaders. *Nature*, 503: 450-451.
- SHACKLETON R T, SHACKLETON C M, KULL C A, 2019. The role of invasive alien species in shaping local livelihoods and human well-being: a review. *Journal of environmental management*, 229: 145-157.
- XU H G, DING H, LI M Y, QIANG S, GUO J Y, HAN Z M, HUANG Z G, SUN H Y, HE S P, WU H R, WAN F H, 2006. The distribution and economic losses of alien species invasion to China. *Biological Invasions*, 8(7): 1495-1500.
- XU H G, QIANG S, GENOVESI P, DING H, WU J, MENG L, HAN Z M, MIAO J L, HU B S, GUO J Y, SUN H Y, HUANG C, LEI J C, LE Z F, ZHANG X P, HE S P, WU Y, ZHENG Z, CHEN L, JAROŠÍK V, PYŠEK P, 2012. An inventory of invasive alien species in China. *NeoBiota*, 15: 1-26.
- WALSH J R, CARPENTER S R, VANDER Z M J, 2016. Invasive species triggers a massive loss of ecosystem services through a trophic cascade. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(15): 4081-4085.
- WAN F H, YANG N W, 2016. Invasion and management of agricultural alien insects in China. *Annual Review of Entomology*, 61: 77-98.
- 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(3): 828-839.
- WEBER E, SUN S G, LI B, 2008. Invasive alien plants in China: diversity and ecological insights. *Biological Invasions*, 10(8): 1411-1429.