

植物种质资源引进风险分析方法概述

王 坤^{1,2}, 石 娟^{1,2*}, 孙双艳^{3*}

¹森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; ²北京林业大学, 中法欧亚森林入侵生物联合实验室, 北京 100083; ³海关总署国际检验检疫标准与技术法规研究中心, 北京 100013

摘要: 种质资源作为生物资源的重要组成部分, 是培育作物优质、高产、抗病(虫)、抗逆新品种的物质基础。近年来, 为满足我国种业飞速发展的需要, 我国不断从国外引入大量的种质资源, 种质资源相比其他植物产品携带有害生物的风险更高。种质资源引进过程中不可避免地携带有害生物, 可能会带来严重危害。目前, 美国、澳大利亚等国家已制定了关于种质资源的风险分析方法, 但我国缺少针对种质资源有害生物统一的风险分析方法。本文分析了国际植物检疫措施标准、主要的贸易国家及我国有害生物风险分析标准方法的主要内容, 针对引进种质资源过程中亟需解决的有害生物风险分析问题开展讨论, 并对种质资源有害生物风险分析系统其未来展开工作提出以下建议: 设置符合种质资源风险分析特性的指标; 采用半定量风险评估方法对种质资源进行风险分析; 根据不断的学习和实际工作的需要, 对风险评估指标体系进行验证和适当修改。

关键词: 种质资源; 植物引进; 风险分析



开放科学标识码
(OSID 码)

Overview of risk analysis methods for the introduction of plant germplasm resources

WANG Kun^{1,2}, SHI Juan^{1,2*}, SUN Shuangyan^{3*}

¹Key Laboratory for Forest Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing 100083, China; ²Sino-French Joint Laboratory for Invasive Forest Pests in Eurasia, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ³Research Center of GACC for International Inspection and Quarantine Standards and Technical Regulations, Beijing 100013, China

Abstract: As an important part of biological resources, germplasm resources are the material basis for breeding new varieties of crops with high quality, high yield, disease resistance (insect), and stress resistance. In recent years, to meet the needs of the rapid development of the national seed industry, China has consistently introduced a large number of germplasm resources from abroad. The germplasm resources present a higher risk than other plant products, which is inevitably carried out during the introduction process. The introduction of pests will cause serious harm to China. At present, the United States of America, Australia, and other countries have developed risk analysis methods for germplasm resources, but China lacks a unified risk analysis method for germplasm pests. In this review, the main contents of international plant quarantine standards, major trading countries, and Chinese pest risk analysis standard methods are described. Given the urgent pest risk analysis problems in the process of introducing germplasm resources, some suggestions are put forward for future work relating to the development of a germplasm pest risk analysis system: to establish indexes in line with the characteristics of the risk analysis of germplasm resources, a semi-quantitative risk assessment method should be adopted. With further research, the risk assessment index system can be verified and modified appropriately.

Key words: germplasm resources; introduction of plants; risk analysis

为满足种业飞速发展的需要, 我国需要不断从国外引入大量的种质资源(又称遗传资源或基因资源)。建设全球植物种质资源引进中转基地, 对确

保国家的粮食安全和种业安全、加快推动农业科技创新、促进现代农业的飞速发展、推动民族种业创新具有重要的战略意义(李健, 2020)。引进种质资

收稿日期(Received): 2022-11-14 接受日期(Accepted): 2023-03-25

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC2600601); 国家自然科学基金项目(32171794)

作者简介: 王坤, 女, 硕士研究生。研究方向: 森林保护。E-mail: 2128768684@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), 石娟, E-mail: shi_juan@263.net; 孙双艳, E-mail: sunshyan2008@163.com

源的同时,也带来了大量有害生物,如番茄褐色皱果病毒(*Tomato brown rugose fruit virus*) (刘慧等, 2019)、皱匕果芥 *Rapistrum rugosum* (L.) All. (王亚锋等, 2022)、大豆北方茎溃疡病病菌 *Diaporthe phaseolorum caulivora* (张莹等, 2018)、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (侯沁文等, 2020)、马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* (Zeller) (杜霞等, 2021) 等。国际广阔的大环境为外来物种的入侵和传播创造了条件,特别是在共享生物多样性资源的过程中,世界各个国家之间的物种引进和资源交换增加了外来物种入侵的风险。植物种质资源是一种特殊的货物,涉及到生物安全风险问题,但不能就此禁止贸易,而是需要通过国际组织合作、国际贸易协定以及专业技术和规则合作规避风险(沈玉良, 2021)。

若在植物种质资源进口之前进行科学合理的有害生物风险分析(pest risk analysis, PRA),采取科学合理的管理措施降低其携带的有害生物入侵风险,即可有效防控有害生物传入的风险。从 1995 年至今,国际植物保护公约(International Plant Protection Convention, IPPC)制定了 47 个国际植物检疫措施标准(international standards for phytosanitary measures, ISPMs)。此外,一些主要贸易国家专门制定了有害生物风险分析的相关标准,例如美国农业部动植物检疫局制定了关于杂草的风险评估方法,澳大利亚制定了生物安全入境风险分析指导方针。我国也在积极应对植物种质资源传带的风险,采取了检疫审批及有害生物风险分析等多种措施。

1 国外种质资源有害生物风险评估方法

目前,世界各国专门针对植物种质资源的风险分析方法研究比较少,只是在有害生物风险分析的标准中涉及到种质资源风险评估的相关内容。

1.1 国际植物检疫措施标准

国际植物检疫措施标准是国际植物保护公约制定的标准,各国均参考执行。目前在 ISPM 中,有 3 个标准涉及有害生物风险分析。

ISPM No.2《有害生物风险分析准则》(FAO/IPPC, 2007)提供了有害生物风险分析的具体框架,是国际上进行有害生物风险分析的参考依据。该标准将有害生物风险分析划分为起始、有害生物风险评估和有害生物风险管理 3 个阶段。该标准包括种植的植物、农业、林学活体转基因生物的风险

评估,涉及种质资源的有害生物风险分析。该标准认为:评估植物品种在有害生物危险性分析地区成为有害生物时,应主要考虑该植物品种对各种生态条件的适应性、在植物中具有较强竞争力、高繁殖率、繁殖体的高流动性和杂交能力等特点;对活体转基因生物的有害生物风险进行评估时,除了考虑定殖和扩散的风险,还应考虑基因型特征。

ISPM No.11《检疫性有害生物风险分析准则》(FAO/IPPC, 2013)详细介绍了有害生物风险分析工作,确定检疫性有害生物的风险分析分为起始、风险评估和风险管理 3 个过程,风险评估是整个风险分析的关键部分,需从有害生物的进入、定殖、扩散和经济影响 4 个方面进行分析。该标准除了针对有害生物,还包括对植物、活体转基因生物(living modified organism, LMO)的风险分析。该标准认为:对拟输入的植物进行评估时,不需要评估其进入的可能性,但需要评估这些植物可能携带的有害生物进入的可能性;评估定殖可能性,除了分析寄主的存在、数量和分布、环境适宜性等指标外,还应考虑非预定生境是否可以生存等情况;扩散的可能性评估取决于自然扩散途径、预定用途等因素之外,还应考虑是否在非预定生境扩散并定殖;应评估潜在的经济影响,得出风险评估结果。

该标准对活体转基因生物进行分析时,首先在进行有害生物认定时,需重点考虑其遗传结构等方面的特性。评估活体转基因生物传入的可能性需要分析预期或非预期的传入途径和预定用途;对其定殖可能性评估,除了分析有害生物繁殖方法外,还应考虑活体转基因在没有人类干预情况下的生存能力和基因型和表现型是否稳定;评估潜在经济影响时,分析其本身有害生物性质对目标和非目标植物或植物产品的影响,以及由于其本身特性造成的其他方面影响。

ISPM No.21《限定的非检疫性有害生物风险》(FAO/IPPC, 2004)是关于限定的非检疫性有害生物风险分析的准则,确定与种植用植物有关的有害生物的风险分析。有害生物的风险评估过程分为 3 个步骤:首先根据有害生物特性等对其进行分类,对有害生物和寄主的生活史、有害生物侵染源的相对经济影响等进行分析;其次是确定种植用植物是否是有害生物侵染这些植物的主要来源;最后根据有害生物的影响等指标判断种植用植物原定用途

的经济影响。由于限定的非检疫性有害生物已经在分析地区发生,所以不需要对其进行定殖可能性的评估或长期经济影响的评估。最后根据风险评估结果确定管理措施力度。

1.2 美国风险分析的方法

美国联邦政府制定的《植物保护法》是美国植物检疫最主要的法律依据,是植物检疫的总要求。美国农业部动植物检疫局(Animal and Plant Health Inspection Service, APHIS)成立了一支专门负责植物有害生物风险分析工作的队伍。《Post-entry Quarantine》《Plants for Planting Manual》等手册都明确规定了种质资源进入美国的具体标准与方法。美国植物保护与检疫处每年通过查阅各个国家对种质资源的限定状况、海关截获情况、查询资料等方法,一旦认为某种种质资源是有害生物或可能携带检疫性有害生物,则会将该种种质资源列入待有害生物风险分析后批准入境(not authorized pending pest risk analysis)类名单和列入《种植用植物手册》名单。美国科研机构、企业等需要引进名单上的种质资源时,需要获得官方出具的植物检疫证书和 APHIS 签发的进境许可证,经过严密的风险分析以及隔离检疫处理才可引进(刘慧等,2020)。

APHIS 没有针对种质资源的风险分析,但制定了关于杂草的风险评估方法,即采用逻辑斯蒂回归建立评判公式分类方法(何善勇等,2020)。整个风险分析分为杂草风险分析起始阶段和杂草风险分析评估阶段:杂草风险起始阶段主要确定风险分析起始途径、参考以前的风险评估报告和确定杂草的身份,明确杂草的学名、分类地位、生物学及形态学特征和分布地区等基本信息(伏建国等,2009);杂草风险评估是整个评估的关键步骤,调查该杂草在美国的限定状况,确定是否在进境植物限定性有害生物名单中,将定殖潜力、扩散潜力、经济和环境的影响作为传入后果的因素,评估传入可能性,依据该种生物特性、用途和生态特点等进行评估。该评估方法共设了 41 个指标,每个评价指标风险高低分别给予 0~3 分,由传入后果风险与传入可能性风险综合决定最终的潜在风险:11~18 分为低、19~26 分为中、27~33 分为高(孙双艳等,2019)。

1.3 澳大利亚风险分析的方法

2015 年,澳大利亚制定了《生物安全法》,该法生效后,制定了配套条例管理本国的生物安全。在

有害生物风险分析方面,澳大利亚制定了生物安全入境风险分析指导方针。采用国际推荐的生物安全风险评估方法,利用风险分析矩阵工具,综合分析有害生物传入、扩散的可能性与潜在的影响,定性判断风险的大小,以及是否需要采取风险管理措施(王媛媛等,2016)。

澳大利亚杂草风险评估系统(weed risk assessment, WRA)是一个以提问的形式评估拟引入外来植物的杂草潜力的系统(李惠茹等,2022),系统分为 A 生物地理学、B 不良属性、C 生物学/生态学 3 个模块,共设置了 49 个问题。WRA 系统允许知识缺口,系统要求至少回答 A 部分的 2 个问题、B 部分的 2 个问题和 C 部分的 6 个问题,无需回答所有问题。WRA 针对信息较少或新发现的外来物种改进了风险预测的能力,为风险管理者提供充足的科学依据(陈良燕等,2001)。每题需依据评判标准,选择“是”“否”或“不作答”。对照 WRA 的赋分说明进行计分,未作答者不计分,累计总分越高,则风险越大。根据风险评估结果划分为低风险植物(得分<1),允许输入;需要进一步评估(得分 1~6);高风险植物(得分>6),禁止输入。

WRA 系统评估内容包括外来种的现状、生物学特性、气候和分布传播特点及繁殖特性等,根据最终风险值确定是否需要对其进行进一步评估(Pheloung *et al.*, 1999)。该系统可操作性强,已经用于多种引进外来植物的风险评估,并且在多个国家和地理区域进行了测试,被广泛认为是初步评估植物引种风险的一种方法,可信力较高。在引进新植物时,澳大利亚杂草风险评估系统可作为一种普遍应用的评估系统(McClay *et al.*, 2010)。新西兰等多个国家或地区对其进行改良并且用于本国的杂草风险评估(Rouget *et al.*, 2001)。

2 国内主要有害生物生物风险评估方法

2.1 进出境植物和植物产品有害生物风险分析技术要求(国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会,2007)

进出境植物和植物产品有害生物风险分析分 2 个阶段:第一阶段进行风险评估;第二阶段提出风险管理措施建议。首先,对于引进的植物本身,根据在我国的分布情况和查阅相关文献确认其是否会成为杂草,如果可能成为有害生物,则需要进行评估,并咨询权威专家是否应该禁止或限制引

进。根据植物可能携带的有害生物的种类、分布、管制情况识别出检疫性有害生物和非检疫性有害生物。对检疫性有害生物继续进行风险评估,非检疫性有害生物则停止评估。在正式的风险评估过程中,应按照以下顺序对检疫性有害生物评估传入和扩散的可能性,即有害生物在种质资源输出国的危害能力、生存能力、有害生物是否在 PRA 地区扩散并定殖、是否入侵非 PRA 地区并对经济重要区域造成危害。定性分析考虑以上造成风险事件发生的风险因素,可以将可能性分为 5 级:很高、高、中、低、很低。尤其是用于种植目的的植物,其导致有害生物传入的可能性比其他用途的植物产品要高。其次,分析有害生物是否会依靠植物传播、扩散并造成严重后果,根据有害生物在植物上的生活史、有害生物的生物性以及植物本身的抗性、预定用途等指标进行评估。以种植目的引进的植物,需评估有害生物对经济的影响,最后通过定性或定量的方法评估检疫性有害生物和非检疫性有害生物的后果,并提出检疫管理措施。

2.2 林业有害生物风险分析(全国植物检疫标准技术委员会林业分技术委员会,2016)

《林业有害生物风险分析准则》用于确定国内林业有害生物风险程度,适用于林业检疫性有害生物、林业危险性有害生物等林业有害生物。在正式评估前,根据林业有害生物预评估评价表进行预评估,根据相关情况确定为一般关注、重点关注和转入风险评估 3 个档次。对于引进的种质资源,采用“林业有害植物风险分析指标体系”对种质资源本身进行风险评估,尤其应考虑在运输过程中种子的成活率、自然扩散的能力以及适生区域等指标;其次,采用“林业有害生物(不含林业有害植物)风险分析指标体系”对可能携带入境的林业有害生物进行评估,重点分析受害寄主的经济重要性。体系均分为目标层、准则层、指标层 3 个层次。对指标层设置赋分区间并加权计算得出风险值(R),划分林业有害生物风险等级为低度危险($0 \leq R < 1.5$)、中度危险($1.5 \leq R < 2$)、高度危险($2 \leq R < 2.5$)、特别危险($2.5 \leq R < 3$)。最后根据风险等级判断是否进入风险管理阶段、提出管理措施。

2.3 杂草风险分析(国家认证认可监督管理委员会,2007)

《杂草风险分析技术要求》规定杂草风险分析

共分为开始、评估杂草风险、结论 3 部分,风险评估分为杂草传入后果评估和传入可能性评估 2 部分。传入后果评估包括环境适生能力、繁殖和定殖后扩散能力、经济影响能力和环境影响能力 4 个风险因子。根据用途、活力、传入频率及传入数量、季节和范围等 4 个方面的情况确定传入可能性风险的级别,每个风险因子的风险值按风险高低分别为忽略(0 分)、低(1 分)、中(2 分)、高(3 分)。最后,根据传入可能性风险和传入后造成后果风险的级别判断杂草潜在风险的等级,具有中高风险(风险值 7~10)或高风险(风险值 11~12)的植物被列为有害杂草。目前,杂草风险分析主要利用定性和半定量化的风险分析方法,但不同国家理解准则的深度不同,如可利用信息、技术知识水平等方面,造成各国在制定杂草风险分析系统和方法上存在差异,这种差异影响了有害杂草风险评估的客观性。

2.4 外来昆虫引入风险评估(中华人民共和国农业农村部,2010)

《外来昆虫引入风险评估技术规范》规定了外来昆虫从国外(含境外)引入时进行风险评估的程序和方法,适用于首次从国外(含境外)将外来昆虫引入的单位、个人及其相应的行业管理部门进行外来昆虫引入时的风险管理决策。引进种质资源的过程中,有的昆虫可能会随种质资源一起引入,所以需要对外来昆虫进行风险评估,判断其是否为有害生物。对外来昆虫在原产地发生情况、是否会成为我国有害生物的传播媒介、在我国的适生范围、昆虫的繁殖扩散能力、可能会产生的经济生态影响等指标层的风险值分别设置为 0、1、2、3 分,按照多指标综合评判分析方法进行计算并得出风险评估值,判断风险等级,若种质资源附带的昆虫可能为高风险,则需要重新考虑是否引进该种质资源或做好防治措施后暂缓引入。

2.5 活体转基因生物风险分析(国家质量监督检验检疫总局,2012)

《活体转基因生物风险分析方法》适用于活体转基因潜在的植物检疫风险分析。引入基因繁殖材料或注入基因的植物等种质资源可能有植物检疫的风险,需要进行有害生物风险分析。根据活体转基因的寄主范围以及寄主范围是否改变、表现型和基因型不稳定和基因流动等指标对潜在植物检疫风险进行评估,确定分析地区、收集活体转基因

特性以及结合原有的风险分析报告判断是否具有植物检疫的风险。

活体转基因风险分析过程分成归类、评估传入和扩散可能性及评估潜在经济重要性3步。根据特性、管制状况等信息对活体转基因生物进行判断,如果是潜在的检疫性有害生物,则继续进行风险分析。该方法采用场景分析、定性和定量方法对传入和扩散过程进行评估。对经济影响进行评估时,要重点考虑生物本身的性质对植物或植物产品产生的负面影响。

2.6 外来物种环境风险评估(中华人民共和国环境保护部,2011)

《外来入侵物种环境风险评估技术规范》适用于规划和建设项目可能导致外来物种造成生态危害的评估。在评估开始之前,要重点考虑在引种、繁殖、运输等途径是否可能带来外来物种,掌握原产地、扩散可能、管制状况、已有的外来物种风险评估情况等,列出拟评估的外来物种名单,决定是否对外来物种进行风险分析。在风险评估过程中,首先是针对引进可能性的评估,对于有意引进的种质资源,重点考虑引进的目的。其次是进行建立自然种群可能性、扩散可能性和生态危害的评估。除满足基本要求外,把外来物种归类为植物、动物或微生物分别进行定性分析。

3 讨论

3.1 设置进行种质资源风险分析的指标

引进的种质资源具有本地区植物没有的优良性状,是改良本地种质资源的重要育种材料。与一般有害生物的风险分析方法相比,引进种质资源需重点考虑可能携带的有害生物定殖的可能性及对本地区可能造成的危害影响,在设置风险分析指标时,从进入可能性、定殖可能性、扩散可能性、危害影响、危险性管理的难度5个方面进行风险评估。(1)从引进种质资源的数量、运输过程中有害生物存活率、有害生物被截获的可能性、各国的重视情况对有害生物进入可能性进行评估;(2)在评估定殖可能性时,需要充分考虑有害生物的生物学特性及国内是否有适生性环境;(3)从传播方式、国外的分布情况、天敌存在可能性进行扩散可能性评估;(4)有害生物入侵后果的影响不仅包括经济危害,还应考虑对生态环境的影响、对栽培寄主和人类身体健康的危害,应设置受害栽培寄主的种类、受害

栽培寄主的种植面积、是否为其他检疫性有害生物的传播媒介、潜在经济影响、生态影响、是否具有毒性或为过敏原等指标;(5)根据检疫鉴定难度、除害处理难度、根除难度综合评估危险性管理的难度。

通过以上指标对种质资源携带的有害生物进行针对性的风险分析,以制定符合种质资源特性的风险分析指标,便于对最终风险分析结果准确判断。若风险较大,则暂时停止引进该种质资源,待采取严格的管理措施后再重新考虑引进;若风险较小,则可顺利开展种质资源引进工作。

3.2 研究种质资源的风险分析方法

国内外相关学者研究了一系列外来入侵风险评估系统(Batz & Kowarik, 2019; Richardson *et al.*, 2000; Tollington *et al.*, 2017),但针对种质资源的风险评估方法还不完备。针对种质资源的半定量风险评估方法被广泛应用于杨潜叶蜂 *Messatianaensis* Xiao et Zhou (陶万强等, 2003)、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (杜予州等, 2005)、红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren (郑华和赵宇翔, 2005)等多种外来有害生物的风险性分析。其中,最常用的是多指标综合评价法,该方法主要包括多指标综合评价模块和综合评价计算模块。多指标综合评价模块包括18个指标,各个指标从低到高依次赋分0、1、2、3、4个评判等级,将结果逐级传递并进行计算,最终得到综合评价值(R)。划分的4个危险等级分别为特别危险($2.50 \leq R < 3.00$)、高度危险($2.00 \leq R < 2.50$)、中度危险($1.00 \leq R < 2.00$)、低度危险($0 \leq R < 1.00$)。

3.3 对种质资源风险分析方法进行验证

对于新创建的种质资源引进风险分析方法,要对其正确性及实用性进行验证。首先,验证设置的风险分析的指标是否合适,不断改进指标;其次,通过实例验证,比较种质资源风险分析系统与现有发挥功能的风险分析评价体系的风险结果,若种质资源风险分析系统的结果与现有发挥功能的风险分析评价体系的风险结果处于同一危险等级并更精确,则证明种质资源风险分析方法正确及具有实用性。随着不断学习和实际研究,对风险评估指标进行修改和细化,终将能提出一套适合我国引进种质资源的风险分析方法。

参考文献

- 陈良燕, 徐海根, 2001. 澳大利亚外来入侵物种管理策略及对我国的借鉴意义. 生物多样性, 9(4): 466-471.
- 杜霞, 刘霞, 周文武, 杨艳丽, 周先奇, 高玉林, 2021. 马铃薯块茎蛾生物防治研究进展与展望. 中国生物防治学报, 37(1): 60-69.
- 杜予州, 戴霖, 鞠瑞亭, 顾杰, 刁春友, 龚伟荣, 2005. 入侵害虫西花蓟马在中国的风险性初步分析. 中国农业科学, 38(11): 217-221.
- 伏建国, 安榆林, 杨晓军, 2009. 杂草风险分析概述. 植物检疫, 23(S1): 39-44.
- 国家认证认可监督管理委员会, 2007. 杂草风险分析技术要求: SN/T 1893-2007. 北京: 中国标准出版社.
- 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化委员会, 2007. 进出境植物和植物产品有害生物风险分析技术要求: GB/T 20879-2007. 北京: 中国标准出版社.
- 国家质量监督检验检疫总局, 2012. 活体转基因生物风险分析方法: SN/T 3168-2012. 北京: 中国标准出版社.
- 侯沁文, 白海艳, 李云玲, 于成龙, 2020. 马铃薯甲虫在中国的适生区. 生态学杂志, 39(10): 3311-3319.
- 何善勇, 徐飞, 张宁, 温俊宝, 印丽萍, 2020. 美国杂草风险评估方法对我国入侵植物的可应用性. 林业科学, 56(4): 197-208.
- 李惠茹, 严靖, 杜诚, 闫小玲, 2022. 中国外来植物入侵风险评估研究. 生态学报, 42(16): 6451-6463.
- 李健, 2020. 稳步推进全球动植物种质资源引进中转基地建设. 海南日报, 2020-04-15 (A08).
- 刘慧, 朱莉, 赵守歧, 宋震, 2019. 警惕番茄褐色皱果病毒传入我国. 中国植保导刊, 39(8): 73-76, 82.
- 刘慧, 赵守歧, 马晨, 2020. 美国农业植物种质资源的引进与隔离检疫管理. 中国植保导刊, 40(9): 96-98, 110.
- 全国植物检疫标准技术委员会林业分技术委员会, 2016. 林业有害生物风险分析准则: LY/T 2588-2016. 北京: 中国标准出版社.
- 沈玉良, 2021. 海南自由贸易港植物种质资源进出境监管体系研究. 南海学刊, 7(1): 22-31.
- 孙双艳, 马菲, 王振华, 2019. 中国与主要贸易国家植物有害生物风险分析体系比较研究. 植物检疫, 33(6): 10-14.
- 陶万强, 关玲, 禹菊香, 薛洋, 张宝增, 2003. 杨潜叶叶蜂的危险性分析和风险性管理. 中国森林病虫, 22(4): 8-10.
- 王亚锋, 付志玺, 郭云霞, 陶振华, 马蓓, 郑跃鸣, 2022. 入侵性杂草皱叶果芥在中国的适生区预测及分析. 生物安全学报, 31(4): 356-363.
- 王媛媛, 孙淑芳, 庞素芬, 刘陆世, 姜雯, 魏荣, 2016. 澳大利亚新生物安全进口风险分析体系介绍. 中国动物检疫, 33(7): 65-68.
- 张莹, 罗加凤, 刘鹏, 胡佳续, 廖芳, 唐芳, 2018. 加拿大进境燕麦种子中大豆北方茎溃疡病菌的检疫鉴定. 中国植保导刊, 38(2): 76-80.
- 郑华, 赵宇翔, 2005. 外来有害生物红火蚁风险分析及防控对策. 林业科学研究, 18(4): 479-483.
- 中华人民共和国环境保护部, 2011. 外来物种环境风险评估技术导则: HJ 624-2011. 北京: 中国环境科学出版社.
- 中华人民共和国农业农村部, 2010. 外来昆虫引入风险评估技术规范: NY/T 1850-2010. 北京: 中国标准出版社.
- BATZ R, KOWARIK I, 2019. Assessing the environmental impacts of invasive alien plants: a review of assessment approaches. *NeoBiota*, 43: 69-99.
- FAO/IPPC, 2004. *ISPM No. 21 Pest risk analysis for regulated non-quarantine pests*. Rome: FAO.
- FAO/IPPC, 2007. *ISPM No. 2. Guidelines for pest risk analysis*. Rome: FAO.
- FAO/IPPC, 2013. *ISPM No. 11 Pest risk analysis for quarantine pests*. Rome: FAO.
- MECLAY A, SISSONS A, WILSON C, DAVIS S, 2010. Evaluation of the Australian weed risk assessment system for the prediction of plant invasiveness in Canada. *Biological Invasions*, 12(12): 4085-4098.
- PHILOUNG P C, WILLIAMS P A, HALLOY S R, 1999. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management*, 57(4): 239-251.
- RICHARDSON D M, PYEK P, REJMANEK M, BARBOUR M G, WEST C J, 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6(2): 93-107.
- ROUGET M, RICHARDSON D M, MILTON S J, POLAKOW D, 2001. Predicting invasion dynamics of four alien *Pinus* species in a highly fragmented semi-arid shrubland in South Africa. *Plant Ecology*, 152(1): 79-92.
- TOLLINGTON S, TURBÉ A, RABITSCH W, GROOMBRIDGE J J, SCALERA R, ESSL F, SHWARTZ A, 2017. Making the EU legislation on invasive species a conservation success. *Conservation Letters*, 10(1): 112-120.

(责任编辑:郭莹)