

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20230130

入侵种危害的评估排序与分类分级方法

徐钦望, 任利利, 骆有庆*

北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室/北京林业大学和法国国家农业食品与环境研究院中法欧亚森林入侵生物联合实验室, 北京 100083

摘要: 中国是受入侵种危害最严重的国家之一, 随着入侵种的不断增多, 需要对其造成的危害与影响进行评估、排序、分级或分类以加强重点管理。本文对世界范围内全物种类群入侵种危害的评估排序与分类分级方法进行归类介绍, 并评述各方法的优缺点。根据评估内容、评估结果的量化与呈现方式, 可将入侵种危害的评估排序与分类分级方法分为 4 大类: 专家定性分级与排序、基于文献证据的影响分级与排序、考虑影响与其他因素的分级与分类、基于层次分析的多指标综合评价。其中, 外来种影响分级法、通用影响评分系统 2 种方法具有较高的可重复性、稳定性和科学性, 在世界范围内得到了广泛应用。从应用情况、评估对象、评估内容、评估结果、稳定性等角度对各方法进行比较发现, 我国现有评估入侵种危害的多指标综合评价方法与指标体系存在评估内容不全面、稳定性较低等不足。最后, 提出我国多指标综合评价方法的改进建议, 以期完善提升我国入侵种风险评估方法体系, 支持有关研究与管理工作。

关键词: 生物入侵; 风险分析; 风险评估; 优先排序; 入侵等级; 层次分析; 多指标



开放科学标识码
(OSID 码)

Assessment, ranking, classification, and grading methods for invasive species based on their damage

XU Qinwang, REN Lili, LUO Youqing*

Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University/Sino-French Joint Laboratory for Invasive Forest Pests in Eurasia, Beijing Forestry University-French National Research Institute for Agriculture Food and Environment (INRAE), Beijing 100083, China

Abstract: China is one of the countries most severely affected by invasive species. With the increasing number of invasive species, assessing, and classifying invasive species based on their potential damage and impact to strengthen focused management is necessary. In this review, we classified diverse assessment, ranking, classification, and grading methods for invasive species' damage to all species groups, worldwide, and evaluated the advantages and disadvantages of each method. According to the assessment contents and quantification and presentation of the assessment results, the main methods can be divided into four categories: expert qualitative grading and ranking, impact grading and ranking based on literature evidence, grading and classification considering impacts and other factors, and multi-index comprehensive evaluation based on analytic hierarchy process. Among them, two methods, the impact classification for alien taxa and the general impact scoring system, have high repeatability, stability, and scientific evidence and are widely used. We compared these methods in terms of application, assessment objective, content, and results, and method stability and found that the present index systems and Chinese multi-index comprehensive evaluation method used have certain shortcomings, including incomplete evaluation contents and low stability. Finally, we propose improvements for the multi-index comprehensive evaluation method, hoping to improve the Chinese risk assessment method and assessment systems for invasive species. Supporting related research and management work will be needed.

Key words: biological invasion; risk analysis; risk assessment; prioritization; invasion grade; analytic hierarchy process; multi-index

生物入侵在全球范围内造成了严重的经济损失, 我国是受入侵种危害最严重的国家之一, 由其造成的经济损失量居于世界前列(陈宝雄等, 2020; Diagne *et al.*, 2021)。对入侵种造成的危害与影响

收稿日期(Received): 2023-11-08 接受日期(Accepted): 2024-01-23

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1401000)

作者简介: 徐钦望, 男, 博士研究生。研究方向: 林业入侵生物风险分析。E-mail: xuqinwang@yeah.net

* 通信作者(Author for correspondence), 骆有庆, E-mail: yqluo@bjfu.edu.cn

进行准确的评估是科学管理的基础 (Goerlandt *et al.*, 2022)。随着入侵种的不断增多,需要对其危害进行评估、排序、分级或分类,以将有限的资源聚焦高风险物种,从而经济高效地减轻入侵种可能造成的损失与影响 (徐钦望等, 2024; Mcgeoch *et al.*, 2016)。评估尚未传入我国的潜在入侵种的风险需要对物种传入、定殖、扩散的可能性以及可能造成的损失进行预测 (李志红和秦誉嘉, 2018; 潘绪斌, 2020; 孙佩珊等, 2017; 赵紫华, 2021)。而针对已经定殖且造成危害的入侵种,应重点评估其已造成的生态环境与社会经济影响、现有分布区及其扩散能力 (Nentwig *et al.*, 2016)。

我国的《生物安全法》《外来入侵物种管理办法》及《进一步加强外来物种入侵防控工作方案》提出要分类管控生物入侵风险,对入侵种实行分类、分级管理。目前,我国评估已入侵物种等级的方法主要是专家定性评估方法与多指标综合评价方法 (国家林业和草原局森林和草原病虫害防治总站, 2020)。其中,现有的多指标综合评价方法的指标体系与评估内容适用于入侵性植物有害生物、入侵植物等特定物种类群,尚未建立能够同时排序和比较全部物种类群生物风险的指标体系。总体而言,我国入侵种危害的评估排序与分类分级的可用方法较少,缺少能够以同一标准来评估、量化、比较跨类群入侵种风险的方法,评估与决策的科学性有待提高。

近年来,国际上已开发了多种方法来评估、排序入侵种的危害与影响程度,评估结果在科学管理入侵种、推动管理政策出台、提高公众认知等方面起到了重要作用 (宫璐等, 2015; Bernardo-Madrid *et al.*, 2022; Essl *et al.*, 2011; González-Moreno *et al.*, 2019; Keller *et al.*, 2017; Kil *et al.*, 2015; Nentwig *et al.*, 2016; Roy *et al.*, 2018; Vilà *et al.*, 2019)。其中,许多方法能够对全部的物种类群开展风险评估与排序研究。本文旨在对世界范围内主要的全物种类群入侵种危害影响的评估排序与分类分级方法进行归类介绍,并评述各方法的优缺点,将中国方法与国外方法进行比较,提出我国多指标综合评价方法的改进建议,以期完善提升我国入侵种风险评估方法与体系,支持有关研究与管理工作。

1 专家定性分级与排序方法

1.1 专家经验分级法

基于专家对所研究领域物种类群的深入认识,

对入侵种直接进行分级。例如,根据入侵植物对我国经济、生态的危害及入侵的自然地理范围,将我国的入侵植物划分为 4 个等级:恶性、严重、局部和一般入侵 (马金双和李惠茹, 2018; 闫小玲等, 2014)。专家经验分级方法缺少评估过程,是专家根据个人经验直接进行的定性分级,受到专家个人智力、知识与经验水平的限制,片面性和主观性较大,科学性和可信度相对较低,可重复性和稳定性也较差 (Essl *et al.*, 2011)。

1.2 专家组评选与分级方法

通过专家组会议等方式商定或投票决定入侵种的等级划分或风险排序。世界自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 组织专家组从全球入侵种数据库 (Global Invasive Species Database, GISD) 中评选出了世界上危害最严重的 100 种入侵种 (洗晓青等, 2022; 徐钦望等, 2021; Lowe *et al.*, 2000; Luque *et al.*, 2014)。欧洲国家组织专家组从欧洲入侵种数据库 (DAISIE-inventory of alien invasive species in Europe) 中评选出了欧洲最危险的 100 种入侵种 (Vilà *et al.*, 2008)。我国组织了专家组对外来林业有害生物与重点管理入侵种进行了筛选与分级评估。

专家组会议法是我国目前建立重点关注与重点管理入侵种名单的主要方法。该方法能够集思广益,尽量多地考虑不同研究类群专家的意见,但有时会因此将关注点过多聚集到物种类群与生境的代表性上,从而弱化了对入侵种危害影响的量化考虑 (Nentwig *et al.*, 2018)。专家组会议方法作为经典的决策方法,还存在以下缺点:部分参会专家可能由于会议时长短、准备时间不足、心理压力较大等因素导致表达受限 (徐国祥, 2016)。

2 基于文献证据的影响分级与排序方法

基于文献证据的入侵种影响分级与排序方法具有标准化的评估流程,科学性、可重复性和稳定性都较高,缺点是只能评估入侵种对生态环境与社会经济的影响,不考虑或较少考虑入侵种的分布与扩散能力。且该类方法只依据历史文献的报道信息,可能会低估目前研究、报道较少的入侵种的危害与影响程度。

2.1 外来种影响分级法

IUCN 专家组根据外来种对环境与社会经济的影响程度建立了 2 种外来种影响分级法 (impact

classification for alien taxa, ICAT),即外来种环境影响分级法(environmental impact classification for alien taxa, EICAT)和外来种社会与经济影响分级法(socio-economic impact classification for alien taxa, SEICAT)(Bacher *et al.*, 2018; Blackburn *et al.*, 2014)。这2种方法虽然可评估全部的外来种,但评估内容中仅有物种对环境与社会经济造成的不良影响,因此在实际应用中仍然只适用于具有危害性的入侵种的评估。目前专家组也在不断完善方法,新推出的EICAT+方法能够评估外来种对生物多样性的积极影响,但目前该方法的应用仍极少(Vimercati *et al.*, 2022)。以上方法中,EICAT方法已被IUCN采纳为标准。

以EICAT为例,介绍其评估流程。根据EICAT评估标准(Hawkins *et al.*, 2015; Kumschick *et al.*, 2020; Volery *et al.*, 2020),评估过程包括5个步骤,即预评估、评估、审查、数据与结果提交、在GISD出版。评估的核心步骤是:首先由入侵种类群专家根据标准规程收集待评估入侵种详尽的文献资料;其次,根据实情选择入侵种对环境造成危害的机制(共12种机制,包括竞争、捕食、杂交、传播疾病、寄生、毒素、生物污染、其他的直接物理干扰、对生态系统的化学影响、对生态系统的物理影响、对生态系统的结构影响、与其他物种互作产生的间接影响);然后,根据各危害机制设置的5个影响等级(严重、较大、中等、较小、最小)的描述,选择评估物种的对应等级;最后,全部机制的等级中最高影响级别即为该入侵种最终的等级划分。

ICAT方法可在全球、国家或区域尺度进行评估,已被全球多个国家使用。ICAT方法的本质是基于全面权威文献的专家分级方法。ICAT对评估过程要求严格,过程标准化、精细化,对必须查询的文献库与数据库、查询方法与查询关键词、数据处理、文本记录等都做出了具体规定。由于设置有较为全面的评估内容与客观的评估标准,且必须有文献证据的引用支撑和评估过程的完整记录,ICAT方法比起专家定性评估方法具有更高的科学性、可信度和可重复性。

2.2 通用影响评分系统

通用影响评分系统(generic impact scoring system, GISS)是欧洲地区量化入侵种影响的工具,于2010年首次提出,于2016年建立标准化的方法流

程(Nentwig *et al.*, 2010, 2016)。GISS评估同样基于已经出版的文献证据,而非专家观点。GISS方法是唯一一个能够同时全面评估入侵种生态环境与社会经济影响的量化方法,其设置有12个评估类别,包括环境影响6类(包括入侵种对植物与植被、动物、生态系统的影响和入侵种通过竞争、疾病或寄生虫、杂交对本土种的影响)、社会经济影响6类(包括入侵种对农业、动物、林业生产的影响和对人类基础设施、健康、生活福祉的影响),评估内容全面丰富,每个类别设置有6个危害等级,每个等级分别赋分0~5分(Nentwig *et al.*, 2016)。

GISS方法提供了评估指导版本,可直接按照文件说明进行评估。该方法首先需要根据要求对待评估入侵种的文献进行检索;其次对12个评估类别逐次赋分,并给出文献依据与评论,同时需要评估者给出每个评分的置信度;最后将12个评估得分加和,获得GISS总分。总分排序即入侵种危害影响程度的排序。该方法对评分不设置档次,但经验数据表明:GISS总分10~19分为中等影响,20分以上为严重影响(Nentwig *et al.*, 2016)。该方法可在全球、国家或区域尺度使用,在欧洲、南非得到了广泛的应用。

3 考虑影响与其他因素的分级与分类方法

3.1 生物入侵影响与生物污染评估系统

生物入侵影响与生物污染评估系统(biological invasion impact/biopollution assessment system, BINAPS)方法考虑入侵种的丰度、分布及其对生态的影响(Naršcius *et al.*, 2012; Olenin *et al.*, 2007; Zaiko *et al.*, 2011)。该方法首先根据物种的丰度与分布将入侵种划分为5个等级;其次评估入侵种对生态的影响,评估分为群落、生境与生态系统的影响3小类,每小类设置5个等级,每个等级设置危害程度的说明,评估者根据实际情况选择物种的危害等级;最后使用矩阵合并方法把丰度分布的等级与生态影响的等级合并,最终生成生物污染指数的5个等级。

该方法建立了在线版本可供使用(<http://www.corpi.ku.lt/databases/index.php/binpas>)。该方法的优点在于设置了较为明确的评估方法与物种等级说明,相较于专家经验分级法更具科学性,但未对物种丰度、分布与影响的分级结果要求提供文献证据的支撑,不利于后人对评估结果进行审查。该方法主要应用于欧洲地区水生入侵种的危害评估。

3.2 挪威分级方法

挪威的外来种通用生态影响评估法 (generic ecological impact assessment of alien species, GEIAA) 考虑入侵种的入侵潜力与生态影响 (Gederaas *et al.*, 2012; Sandvik *et al.*, 2019, 2013)。入侵潜力的评估包括种群生活史、扩张速度、占据生态系统生态位比例 3 个指标, 每个指标设置 4 个等级。生态影响的评估包括 6 个指标: 危害或可能危害本土受威胁种与关键种、其他物种、受威胁生态系统、其他生态系统和传播或可能传播遗传物质、寄生虫与病菌, 每个指标设置 4 个等级。通过入侵潜力等级与生态影响等级的矩阵合并, 把所有的入侵种划分为严重影响、高影响、低影响、无影响等多个级别。

3.3 黑灰白名单分类方法

德国-奥地利黑名单信息系统 (German-Austrian black list information system, GABLIS) 方法考虑入侵种的生态影响和分布情况 (Essl *et al.*, 2011)。该方法先评估入侵种对生物多样性的影响, 包括种间竞争、捕食与植食、杂交、传播寄生虫与其他生物、对生态系统功能的负面影响 5 项评估内容; 然后根据物种对生物多样性的影响高低将其依次划分为黑、灰、白名单 3 个类别; 在黑灰白名单之下, 再根据物种的入侵分布、管理措施等情况分为预警、行动、管理、观察等类别。该方法对物种类别的划分过细, 管理难度很高。

捷克对入侵种的分类采取了近似的黑灰白方法, 但评估内容不同, 且对物种的影响评估直接使用了已有的方法 (Pergl *et al.*, 2016)。首先使用 GISS 和 ICAT 方法评估入侵种对生态环境与社会经济的影响, 其次评估了每个物种应采取的管理措施, 最后根据影响和管理措施把物种划分为黑灰白名单等类别。

3.4 比利时分类方法

比利时对入侵种和潜在入侵种采取精细的管理方式, 被认为是实现《生物多样性公约》爱知目标 9 (生物入侵管理) 的典范 (潘绪斌等, 2015; Convention on Biological Diversity, 2020)。比利时入侵种论坛 (Belgian Forum on Invasive Species, BFIS) 由比利时生物多样性平台成立, 负责比利时入侵种与潜在入侵种清单的收集、编制和更新, 以及入侵种的风险评估工作。BFIS 使用的入侵种环境影响评估法 (invasive species environmental impact assess-

ment, ISEIA) 考虑物种的环境影响与分布情况, 根据物种在比利时是否有分布、分布范围、入侵阶段和对环境的影响, 对已入侵的物种和潜在入侵物种进行评估和分级分类 (Branquart *et al.*, 2009; Vanderhoeven *et al.*, 2015)。

ISEIA 的具体流程如下 (Branquart *et al.*, 2009): 第一步, 识别初始物种。收集定殖在比利时的外来种与定殖在临近相似生态气候条件国家的外来种。第二步, 物种风险评估。从物种的扩散潜力与入侵性、在重要生境定殖的可能性、对本土种的影响、对生态系统结构与功能的改变 4 方面进行评估, 使用打分法, 设置 3 个档次, 分别赋分 1~3 分。此外, 还规定了数据不足以得出结论时的赋分方法。第三步, 物种环境风险分级。将 4 方面的打分结果等权相加, 即该物种的 ISEIA 得分, 将得分划分为高、中、低环境风险 3 类。第四步, 根据物种在比利时的地理分布, 分为无分布、零星分布、局部分布、广泛分布 4 个等级。第五步, 通过矩阵合并法耦合物种的环境风险等级与地理分布等级, 将全部物种划分为 7 个等级。第六步, 物种分类。将 7 个等级物种分为 3 类, 分别为尚未传入比利时的高风险物种被列入预警名单, 传入比利时的高风险外来种被列入黑名单, 传入比利时的中风险外来种被列入观察名单。

4 基于层次分析的多指标综合评价方法

层次分析法是重要的决策方法, 能够将复杂问题分解成目标、准则、方案等层次, 以解决多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题 (管理科学技术名词审定委员会, 2016)。我国基于层次分析法开发的植物有害生物风险多指标综合评价法已成为重要的有害生物风险分析 (pest risk analysis, PRA) 方法, 被广泛使用在我国近 30 年来植物有害生物的全过程风险评估中 (蒋青等, 1995; 潘绪斌, 2020; 王聪等, 2022; 赵紫华, 2021)。

与 PRA 关注植物有害生物的传入、定殖、扩散、危害的可能性不同, 针对已经定殖造成危害的入侵种的评估方法的层次与指标设置中, 不需要包括对传入、定殖可能性的评估。目前, 我国已有研究将多指标综合评价方法应用于已入侵物种的危害排序与分级。

4.1 中国排序与分级方法

基于第三次林业有害生物普查, 我国对外来林

业有害生物进行了危险性分级,将现有林业有害生物分级与风险分析标准中的部分评估指标进行综合、调整、补充,建立了林业有害生物危害性评估指标体系以及赋分标准,包括发生、危害、寄主和管理难度 4 个层次,每个层次包含 3 个指标,每个指标分 3~4 个等级,不同的等级对应不同的危害程度与赋分(国家林业和草原局森林和草原病虫害防治总站,2020)。评估时,根据物种实际发生情况选择相应等级并赋分,将所有赋分求和计算可得危害性评估值 P ,总分值最高为 100。根据 P 值大小将林业有害生物划分为 4 级,并提出了每个等级物种的管理对策。该分级是我国应用层次分析法和多指标综合评价法对入侵种进行等级划分以加强重点管理的一次有益尝试,但该研究的层次和指标的设置仅针对林业有害生物类群,适用范围较窄。

入侵植物的评估体系与等级划分的研究较多(国家林业局,2011;胡沁沁等,2021;汪远等,2015;严靖等,2017)。评估指标包含物种分布、物种特性、物种对生态与经济的影响、扩散能力,实用性较高,但指标体系较为简陋,大多仅有一级层次,目前尚未形成具有全面完整评估内容且标准化的方法。

4.2 爱尔兰排序方法

爱尔兰使用层次分析法建立的评估方法能够开展全物种类群入侵种的排序,但仅设置入侵历史、扩散潜力、适生区、危害影响、管理 5 个指标,各指标赋分 0~4 分不等,方法较为简陋和粗糙(Kelly *et al.*,2013)。

5 多指标综合评价方法应用在入侵种危害的评估排序与分类分级中的改进建议

5.1 方法比较

从各方法的应用情况、评估对象、评估内容、评估结果、稳定性(可重复性)等角度对各方法进行比较,如表 1 所示。从评估对象与应用情况看,ICAT 与 GISS 方法可评估全部物种类群的入侵种,且可设置不同尺度的评估范围,在全球范围内得到了最广泛的应用。从评估内容看,专家定性评估方法与多指标综合评价方法能够考虑最多的风险因素。实现评估内容量化的方法仅有 GISS、ISEIA、多指标综合评价法。各方法在评估入侵种生态环境与社会经济影响的具体内容上存在一定差异,以 ICAT 与 GISS 方法的评估内容最为全面。从评估结果的类型看,物种分级的方法最多。从方法的稳定性与可重复性看,ICAT 和 GISS 方法设置了评估方法的

标准化规程,评估结果基于文献证据且需其他专家进行审核,评估流程需要完整记录,具有较高的可重复性、稳定性和科学性。

相较而言,我国使用的多指标综合评价方法的优势在于能够全面考虑各种风险因素,并实现评估结果的量化。其应用在入侵种危害的评估排序与分类分级中的不足之处主要有 3 点:一是尚未建立能够同时评估全部物种类群的指标体系,目前仅建立了针对入侵性植物有害生物、入侵植物等物种类群的评估体系,无法使用统一的评估体系对全类群、跨类群物种展开评估比较;二是评估内容不全面,以评估入侵性植物有害生物的评估体系为例,在影响的评估中,相比 GISS 评估生态环境与社会经济影响的 12 个类别,仅设置对植物的危害 1 项评估内容,且未考虑入侵种的扩散能力(国家林业和草原局森林和草原病虫害防治总站,2020),针对入侵植物的评估内容较为全面,但指标体系较为简陋和粗糙;三是没有保障评估结果稳定性的方法,评估方法未对审查者作要求,方法亦未要求进行完整的评估流程记录,之后的研究者无法进行审查。

5.2 改进建议

建议尽快组织全入侵物种类群与风险评估专家,共同建立适用于全物种类群入侵种危害与影响评估、排序、分级的多指标综合评价方法与指标体系,充分考虑不同类群物种的特点,并吸收上述国际方法的优势。评估内容上应全面包含入侵种的生态环境影响、社会经济影响、分布、扩散能力等层次与指标。可以探索学习捷克评估方法(Pergl *et al.*,2016),将国际评估入侵种生态环境与社会经济影响的高质量、标准化的 GISS、ICAT 方法整合融入多指标综合评价方法中作为评估的一个层次。

建议学习国外方法建立标准化的评估规程文件,保证评估流程得到完整记录,使每个物种的评估过程都记录在档,便于之后的研究者进行审阅,同时也要求任何物种的评估都必须设置审查员进行复核。对指标的每个赋分等级都应设置详尽的说明与案例物种,要求使用者对每次赋分给出评论、文献证据与置信度,以应对评估过程可能出现的数据不足与不确定性问题,使每个指标的赋分得到文献证据与专家观点的支持,从而提高评估的稳定性与科学性。

表 1 入侵种危害的评估排序与分类分级方法的比较
Table 1 Comparison of assessment, ranking, classification, and grading methods for invasive species based on their damage

方法 Method	评估对象 Assessment object			评估内容 Assessment content				稳定性 Stability				
	应用地区 Application area	物种类群 Species group	地区尺度 Area range	生态环境影响 Ecological and environmental impact	社会经济影响 Socio-economic impact	分布 Distribution	扩散能力 Spread ability	量化 Quantization	评估人员 Assessor	评估依据 Assessment basis	标准化 标准 regulation	评估流程记录 Assessment process record
专家经验分级 Expert experience grading	中国 China	全部, 植物为主 All species, mainly plant	国家、区域 Country, region	有 Y	有 Y	有 Y	无 N	无 N	单一 Single	专家观点 Expert opinion	无 N	无 N
专家组评选与分级 Experts selecting and grading	全球 Global	全部 All	全球、国家 Global, country	有 Y	有 Y	有 Y	有 Y	无 N	专家组 Experts	专家观点 Expert opinion	无 N	无 N
外来种环境影响分级 EICAT	全球 Global	全部 All	全球、国家、区域 Global, country, region	有 Y	无 N	无 N	无 N	无 N	单一+审查 Single and reviewer	文献证据 Literature evidence	有 Y	有 Y
外来种社会与经济影响分级 SEI-CAT	全球 Global	全部 All	全球、国家、区域 Global, country, region	无 N	有 Y	无 N	无 N	无 N	单一+审查 Single and reviewer	文献证据 Literature evidence	有 Y	有 Y
通用影响评分系统 GISS	全球 Global	全部 All	全球、国家、区域 Global, country, region	有 Y	有 Y	无 N	无 N	有 Y	单一+审查 Single and reviewer	文献证据 Literature evidence	有 Y	有 Y
生物入侵影响与生物污染评估系统 BINAPS	欧洲 Europe	全部, 水生生物为主 All, mainly aquatic specie	国家、区域 Country, region	有 Y	无 N	有 Y	无 N	无 N	单一 Single	专家观点 Expert opinion	有 Y	有 Y
外来种通用生态影响评估 GEIAA	挪威 Norway	全部 All	国家 Country	有 Y	无 N	无 N	有 Y	无 N	单一 Single	专家观点+文献证据 Expert opinion and literature evidence	有 Y	无 N
德国-奥地利黑名单信息系统 GAB-LIS	德国、奥地利 Germany, Austria	全部 All	国家 Country	有 Y	无 N	有 Y	无 N	无 N	单一 Single	专家观点+文献证据 Expert opinion and literature evidence	有 Y	无 N
入侵种环境影响评估 ISEIA	比利时 Belgium	全部 All	国家 Country	有 Y	无 N	有 Y	无 N	有 Y	单一+审查 Single and reviewer	专家观点+文献证据 Expert opinion and literature evidence	有 Y	有 Y
多指标综合评价 Multi-index comprehensive evaluation	中国 China	植物有害生物, 植物为主 Mainly plant pest, plant	国家、区域 Country, region	有 Y	有 Y	有 Y	有 Y	有 Y	单一 Single	专家观点+文献证据 Expert opinion and literature evidence	无 N	无 N

基于层次分析法的多指标综合评价法是我国独立自主的风险分析方法, 与我国 30 余年的植物有害生物风险分析技术齐头并进, 未来也一定能够在全物种类群的生物入侵风险分析中发挥更大作用(李志红和秦誉嘉, 2018; 梁忆冰, 2019; 王聪等, 2022)。

致谢:感谢联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)林业司 Shiroma Sathyapala 在风险优先排序方法上的指导与帮助。

参考文献

- 陈宝雄, 孙玉芳, 韩智华, 黄宏坤, 张宏斌, 李垚奎, 张国良, 刘万学, 2020. 我国外来入侵种防控现状、问题和对策. *生物安全学报*, 29(3): 157-163.
- 宫璐, 李俊生, 白加德, 赵相健, 赵彩云, 2015. 外来入侵物种管理中的排序体系研究进展. *生态科学*, 34(2): 179-186.
- 管理科学技术名词审定委员会, 2016. *管理科学技术名词*. 北京: 科学出版社.
- 国家林业局, 2011. LY/T 1960—2011 外来树种对自然生态系统入侵风险评价技术规程. 北京: 中国标准出版社.
- 国家林业和草原局森林和草原病虫害防治总站, 2020. 中国林业有害生物 2014—2017 年全国林业有害生物普查成果. 北京: 中国林业出版社.
- 胡沁沁, 周颖, 华春霞, 庞博文, 潘晨航, 金水虎, 2021. 浙江农林大学校园外来入侵植物及其入侵风险等级评估. *杂草学报*, 39(2): 28-35.
- 蒋青, 梁忆冰, 王乃扬, 姚文国, 1995. 有害生物危险性评价的定量分析方法研究. *植物检疫*, 9(4): 208-211.
- 李志红, 秦誉嘉, 2018. 有害生物风险分析定量评估模型及其比较. *植物保护*, 44(5): 134-145.
- 梁忆冰, 2019. 有害生物风险分析工作回顾. *植物检疫*, 33(6): 1-5.
- 马金双, 李惠茹, 2018. *中国外来入侵植物名录*. 北京: 高等教育出版社.
- 潘绪斌, 2020. *有害生物风险分析*. 北京: 科学出版社.
- 潘绪斌, 严进, 李志红, 张祥林, 叶军, 朱水芳, 2015. 爱知生物多样性目标框架下生物入侵的检疫防控. *植物检疫*, 29(5): 39-41.
- 孙佩珊, 姜帆, 张祥林, 张静秋, 潘绪斌, 李志红, 2017. 地中海实蝇入侵中国的风险评估. *植物保护学报*, 44(3): 436-444.
- 王聪, 丁子玮, 姜培, 潘绪斌, 2022. 多指标综合评价方法应用
- 的系统回顾与展望. *植物保护*, 48(6): 187-192, 206.
- 汪远, 李惠茹, 马金双, 2015. 上海外来植物及其入侵等级划分. *植物分类与资源学报*, 37(2): 185-202.
- 洗晓青, 王瑞, 陈宝雄, 张宏斌, 李垚奎, 万方浩, 张桂芬, 刘万学, 2022. “世界 100 种恶性外来入侵物种”在我国大陆的入侵现状. *生物安全学报*, 31(1): 9-16.
- 徐国祥, 2016. *统计预测和决策*. 5 版. 上海: 上海财经大学出版社.
- 徐钦望, 任利利, 骆有庆, 2021. 全球外来入侵种与植物有害生物数据库的比较评价. *生物安全学报*, 30(3): 157-165.
- 徐钦望, 任利利, 骆有庆, 2024. 中国林业入侵生物关键技术语辨析及优先工作探讨. *中国森林病虫*, 43(1): 34-40.
- 严靖, 闫小玲, 王樟华, 李惠茹, 马金双, 2017. 安徽省外来入侵植物的分布格局及其等级划分. *植物科学学报*, 2017, 35(5): 679-690.
- 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.
- 赵紫华, 2021. *入侵生态学*. 北京: 科学出版社.
- BACHER S, BLACKBURN T M, ESSL F, GENOVESI P, HEIKKILÄ J, JESCHKE J M, JONES G, KELLER R, KENNIS M, KUEFFER C, MARTINO A F, NENTWING W, PERGL J, PYŠEK P, RABITSCH W, RICHARDSON D M, ROY H E, SAUL W C, SCALERA R, VILÀ M, WILSON J R U, KUMSCHICK S, 2018. Socio-economic impact classification of alien taxa (SEICAT). *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1): 159-168.
- BERNARDO-MADRID R, GONZÁLEZ-MORENO P, GALLARDO B, BACHER S, VILÀ M, 2022. Consistency in impact assessments of invasive species is generally high and depends on protocols and impact types. *NeoBiota*, 76: 163-190.
- BLACKBURN T M, ESSL F, EVANS T, HULME P E, JESCHKE J M, KÜHN I, KUMSCHICK S, MARKOVÁ Z, MRUGAŁA A, NENTWING W, PERGL J, PYŠEK P, RABITSCH W, RICCIARDI A, RICHARDSON D M, SENDEK A, VILÀ M, WILSON J R U, WINTER M, GENOVESI P, BACHER S, 2014. A unified classification of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. *PLOS Biology*, 12(5): e1001850.
- BRANQUART E, VERREYKEN H, VANDERHOEVEN S, VAN R F, 2009. ISEIA, a Belgian non-native species assessment protocol// *Science facing aliens proceedings of a scientific meeting on invasive alien species*. Brussels; Belgian Biodiversity Platform: 11-18.

- CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2020. *Global biodiversity outlook 5*. Quebec: Montreal: Convention on Biological Diversity.
- DIAGNE C, LEROY B, VAISSIÈRE A C, GOZLAN R E, ROIZ D, JARIĆI, SALLES J M, BRADSHAW C J A, COURCHAMP F, 2021. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592: 571–576.
- ESSL F, STEFAN N, KLINGENSTEIN F, MILASOWSZKY N, NOWACK C, RABITSCH W, 2011. Review of risk assessment systems of IAS in Europe and introducing the German-Austrian Black List Information System (GABLIS). *Journal for Nature Conservation*, 19(6): 339–350.
- GEDERAAS L, LOENNECHEN M T, SKJELSETH S, LARSEN L K, 2012. *Alien species in Norway: with the Norwegian Black List 2012*. Norway: The Norwegian Biodiversity Information Centre.
- GOERLANDT F, LI J, 2022. Forty years of risk analysis: a scientometric overview. *Risk Analysis*, 42(10): 2253–2274.
- GONZÁLEZ-MORENO P, LAZZARO L, VILÀ M, PREDA C, ADRIAENS T, BACHER S, BRUNDU G, COPP G H, ESSL F, GARCÍA-BERTHOU E, KATSANEVAKIS S, 2019. Consistency of impact assessment protocols for non-native species. *NeoBiota*, 44: 1–25.
- HAWKINS C L, BACHER S, ESSL F, HULME P E, JESCHKE J M, KÜHN I, KUMSCHICK S, NENTWIG W, PERGL J, PYŠEK P, RABITSCH W, 2015. Framework and guidelines for implementing the proposed IUCN Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT). *Diversity and Distributions*, 21(11): 1360–1363.
- KELLER R P, KUMSCHICK S, 2017. Promise and challenges of risk assessment as an approach for preventing the arrival of harmful alien species. *Bothalia-African Biodiversity & Conservation*, 47(2): 1–8.
- KELLY J, O'FLYNN C, MAGUIRE C, 2013. *Risk analysis and prioritisation for invasive and non-native species in Ireland and Northern Ireland*. Belfast: Northern Ireland Environment Agency and National Parks and Wildlife Service.
- KIL J, MUN S, KIM C G, 2015. Risk assessment tools for invasive alien species in Japan and Europe. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 2(3): 191–197.
- KUMSCHICK S, BACHER S, BERTOLINO S, BLACKBURN T M, EVANS T, ROY H E, SMITH K, 2020. Appropriate uses of EICAT protocol, data and classifications. *NeoBiota*, 63: 193–212.
- LOWE S, BROWNE M, BOUDJELAS S, DE POORTER M, 2000. *100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database*. Auckland: Invasive Species Specialist Group.
- LUQUE G M, BELLARD C, BERTELSMEIER C, BONNAUD E, GENOVESI P, SIMBERLOFF D, COURCHAMP F, 2014. The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological Invasions*, 16: 981–985.
- MCGEOCH M A, GENOVESI P, BELLINGHAM P J, COSTELLO M J, MCGRANNACHAN C, SHEPPARD A, 2016. Prioritizing species, pathways, and sites to achieve conservation targets for biological invasion. *Biological Invasions*, 18(2): 299–314.
- NARŠČIUS A, OLENIN S, ZAIKO A, MINCHIN D, 2012. Biological invasion impact assessment system: from idea to implementation. *Ecological Informatics*, 7(1): 46–51.
- NENTWIG W, BACHER S, KUMSCHICK S, PYŠEK P, VILÀ M, 2018. More than "100 worst" alien species in Europe. *Biological Invasions*, 20(6): 1611–1621.
- NENTWIG W, BACHER S, PYŠEK P, VILÀ M, KUMSCHICK S, 2016. The generic impact scoring system (GISS): a standardized tool to quantify the impacts of alien species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 1–3.
- NENTWIG W, KÜHNEL E, BACHER S, 2010. A generic impact-scoring system applied to alien mammals in Europe. *Conservation Biology*, 24(1): 302–311.
- OLENIN S, MINCHIN D, DAUNYS D, 2007. Assessment of biopollution in aquatic ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 55(7/8/9): 379–394.
- PERGL J, SÁDLO J, PETRUSEK A, LAŠTŮVKA Z, MUSIL J, PERGLOVÁ I, ŠANDA R, ŠEFROVÁ H, ŠÍMA J, VOHRALÍK V, PYŠEK P, 2016. Black, Grey and Watch Lists of alien species in the Czech Republic based on environmental impacts and management strategy. *NeoBiota*, 28: 1–37.
- ROY H E, RABITSCH W, SCALERA R, STEWART A, GALLARDO B, GENOVESI P, ESSL F, ADRIAENS T, BACHER S, BOOY O, BRANQUART E, 2018. Developing a framework of minimum standards for the risk assessment of alien species. *Journal of Applied Ecology*, 55(2): 526–538.
- SANDVIK H, HILMO O, FINSTAD A G, HEGRE H, MOEN T L, RAFOSS T, SKARPAAS O, ELVEN R, SANDMARK H, GEDERAAS L, 2019. Generic ecological impact assessment of alien species (GEIAA): the third generation of assessments in Norway. *Biological Invasions*, 21: 2803–2810.
- SANDVIK H, SÆTHER B E, HOLMERN T, TUFTO J, ENGEN S, ROY H E, 2013. Generic ecological impact assessments of alien species in Norway: a semi-quantitative set of criteria. *Biodiversity and Conservation*, 22: 37–62.
- VANDERHOEVEN S, ADRIAENS T, D'HONDT B, VAN GOSUM H, VANDEGEHUCHTE M, VERREYCKEN H, CIGAR

- J, BRANQUART E, 2015. A science-based approach to tackle invasive alien species in Belgium; the role of the ISEIA protocol and the Harmonia information system as decision support tools. *Management of Biological Invasions*, 6(2): 197–208.
- VILÀ M, BASNOU C, GOLLASCH S, JOSEFSSON M, PERGL J, SCALERA R, 2008. One hundred of the most invasive alien species in Europe // DAISIE. *Handbook of alien species in Europe* 2009. Dordrecht: Springer Netherlands: 265–268.
- VILÀ M, GALLARDO B, PREDÀ C, GARCÍA-BERTHOUE, ESSL F, KENIS M, ROY H E, GONZÁLEZ-MORENO P, 2019. A review of impact assessment protocols of non-native plants. *Biological Invasions*, 21(3): 709–723.
- VIMERCATI G, PROBERT A F, VOLERY L, BERNARDO-MADRID R, BERTOLINO S, CESPEDES V, ESSL F, EVANS T, GALLARDO B, GALLIEN L, GONZÁLEZ-MORENO P, GRANGE M C, HUI C, JESCHKE J M, KATSANEVAKIS S, KÜHN I, KUMSCHICK S, PERGL J, PYŠEK P, RIESEBERG L, ROBINSON T B, SAUL W S, SORTE C J B, VILÀ M, WILSON J R U, BACHER S, 2022. The EICAT+ framework enables classification of positive impacts of alien taxa on native biodiversity. *PLOS Biology*, 20(8): e3001729.
- VOLERY L, BLACKBURN T M, BERTOLINO S, EVANS T, GENOVESI P, KUMSCHICK S, ROY H E, SMITH K G, BACHER S, 2020. Improving the Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT): a summary of revisions to the framework and guidelines. *NeoBiota*, 62: 547–567.
- ZAIKO A, LEHTINIEMI M, NARŠČIUS A, OLENIN S, 2011. Assessment of bioinvasion impacts on a regional scale: a comparative approach. *Biological Invasions*, 13: 1739–1765.
- (责任编辑: 郑姗姗)
- (上接第 10 页)
- 王聪, 蔡普默, 仪传冬, 陈家骅, 2018. 2007—2017 年外来入侵害虫风险评估的文献分析及常用风险评估模型介绍. *中国农业大学学报*, 23(8): 225–238.
- 王刚, 吴明强, 蒋文兰, 1995. 人工草地杂草生态学[J] 杂草入侵与放牧强度之间的关系. *草业学报*, 4(3): 75–80.
- 吴昊, 2017. 气候变化背景下生物入侵研究态势的文献计量分析. *广西植物*, 37(7): 934–946.
- 洗晓青, 王瑞, 陈宝雄, 张宏斌, 李垚奎, 万方浩, 张桂芬, 刘万学, 2022. “世界 100 种恶性外来入侵物种”在我国大陆的入侵现状. *生物安全学报*, 31(1): 9–16.
- 喻金明, 胡淑恒, 2022. 基于 CiteSpace 生物入侵研究的知识图谱分析. *环境保护与循环经济*, 42(5): 51–55.
- 赵添羽, 何蕊, 华玉涛, 2022. 我国“十三五”时期重要外来物种入侵防控科技进展与展望. *生物安全学报*, 31(2): 95–102.
- 朱亮, 孟宪学, 2013. 文献计量法与内容分析法比较研究. *图书馆工作与研究*, 208(6): 64–66.
- CAMPBELL S E, SIMBERLOFF D, 2022. Forty years of invasion research: more papers, more collaboration... bigger impact? *NeoBiota*, 75: 57–77.
- DUTRA SILVA L, BENTO ELIAS R, SILVA L, 2021. Modelling invasive alien plant distribution: a literature review of concepts and bibliometric analysis. *Environmental Modelling & Software*, 145: 105203.
- ELTON C S, 1958. *The ecology of invasions by animals and plants*. London: Springer Science Business Media.
- ENDERS M, HAVEMANN F, JESCHKE J M, 2019. A citation-based map of concepts in invasion biology. *NeoBiota*, 47: 23–42.
- LU M, HULCR J, SUN J H, 2016. The Role of symbiotic microbes in insect invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47: 487–505.
- MUÑOZ-MAS R, CARRETE M, CASTRO-DÍEZ P, DELIBES-MATEOS M, JAQUES J A, LÓPEZ-DARIAS M, NOGALES M, PINO J, TRAVESSET A, TURON X, VILÀ M, GARCÍA-BERTHOUE, 2021. Management of invasive alien species in Spain: a bibliometric review. *NeoBiota*, 70: 123–150.
- SIMBERLOFF D, 2013. *Invasive species: what everyone needs to know*. Oxford: Oxford University Press.
- STEVENSON E A, ROBERTSON P, HICKINBOTHAM E, MAIR L, WILLBY N J, MILL A, BOOY O, WITTS K, PATTISON Z, 2023. Synthesising 35 years of invasive non-native species research. *Biological Invasions*, 25(8): 2423–2438.
- WAN F H, YANG N W, 2016. Invasion and management of agricultural alien insects in China. *Annual Review of Entomology*, 61: 77–98.
- WRAY A K, AGNEW A C, BROWN M E, DEAN E M, HERNANDEZ N D, JORDON A, MORNINGSTAR C R, PICCOLOMINI S E, PICKETT H A, DANIEL W M, REICHERT B E, 2024. Understanding gaps in early detection of and rapid response to invasive species in the United States: a literature review and bibliometric analysis. *Ecological Informatics*, 84: 102855.
- (责任编辑: 郭莹)