

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.02.003

入侵植物筛选方法在我国口岸防控中的应用建议

张 宁¹, 薛华杰¹, 王筱艺², 李 薇¹, 徐 飞¹, 杨 轶¹, 何善勇^{2*}, 印丽萍^{1*}
¹上海海关, 上海 200135; ²西华师范大学/西南野生动植物资源保护
教育部重点实验室, 四川 南充 637002

摘要: 入侵植物是生物入侵中数量最多的类群, 给全世界造成了重大的经济和环境影响。植物入侵的预测研究是口岸防控工作中的重要技术环节之一。本文介绍了入侵植物筛选方法的概念, 简述了与之相关的基础理论、研究情况以及 3 种植物入侵的预测方法。综合来看, 入侵植物筛选方法主要采用植物自身的生物生态学特性作为评估指标来筛选外来植物, 能快速可靠地将外来植物评判为严重入侵植物、非入侵植物以及介于二者之间的一般入侵植物, 因此该方法能为我国口岸防范外来植物入侵的管理提供基础技术支撑。当前我国入侵植物筛选方法的研究和应用尚处起步阶段, 通过本文的简述期望引起相关人员对此问题进行探讨, 并为我国口岸入侵植物防控工作提供理论参考。

关键词: 入侵植物; 筛选方法; 口岸防控



Suggestions on application of screening invasive plants as a preventive and control method at China's ports

ZHANG Ning¹, XUE Huajie¹, WANG Xiaoyi², LI Wei¹, XU Fei¹,
YANG Yi¹, HE Shanyong^{2*}, YIN Liping^{1*}
¹Shanghai Customs, Shanghai 200135, China; ²Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation
(Ministry of Education)/China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002, China

Abstract: Invasive plants cause significant economic and environmental impacts worldwide. Plant invasion prediction is an important technical aspect of port management. After explaining the concept behind the method for screening invasive plants, this review briefly introduces the basic theories and research progress regarding the method for screening invasive plants, and introduces three ways to construct a method for screening invasive plants. In general, the method for screening invasive plant mainly uses the biological and ecological characteristics of plants as an evaluation index to screen invasive plants, which can quickly and reliably rate alien plants as major invasive plants, non-invasive plants, and minor invasive plants. Therefore, we conclude that the method for screening invasive plants can provide basic technical support for the management of ports in China to prevent the invasion of alien plants. In China, the research and application of the method for screening invasive plants have just begun. Therefore, this article is expected to lead relevant personnel to discuss this issue and provide a theoretical reference for the prevention and control of invasive plants at ports in China.

Key words: invasive plants; screening method; port prevention and control

入侵植物是生物入侵中数量最多的类群(Luque *et al.*, 2014), 给全世界造成了重大的经济和环境影响(Pheloung *et al.*, 1999), 植物入侵的预测研究具有重要的现实意义, 并成为诸多学者的研究目标(Daehler & Carino, 2000; Kolar & Lodge, 2002; Rejmánek, 2000; Richardson & Pyšek, 2006)。生物入侵研究的核心问题包括生物的入侵性与生境的可入侵性, 前者探索入侵生物具有哪些特征, 后者探究具有哪些特征的生境更

容易被入侵(刘健等,2010; Alpert *et al.*, 2000)。在植物入侵研究中,生境可入侵性由于受到研究范围、各生境因子间的相互作用等多种因素限制(Higgins & Richardson, 1998; Rejmánek, 1989),很难找到不同生境间显著差异的可入侵因子(Lonsdale, 1999),在实践应用中相对较少;而植物入侵性的研究与实际应用结合十分紧密,已利用所发现的植物入侵特征建立起多种外来植物入侵筛选方法,并直接应用于多个国家的口岸检疫管理(Hazard, 1988; Koop *et al.*, 2012; Panetta, 1993; Pheloung *et al.*, 1999; Weber & Gut, 2004)。

外来植物的入侵筛选方法多利用植物入侵特征建立,如澳大利亚杂草风险筛选方法(Australian weed risk assessment, AWRA)(Pheloung *et al.*, 1999),以评判受试植物是否为入侵植物确定植物的入侵身份,该方法的评判指标(通常为植物自身的生物生态学特性)信息相对较易获取,评判操作相对简便易行。因此,该方法能快速对外来植物进行分类,确定出风险分析的对象,适用于对未知身份植物的风险管理。目前,我国对植物入侵性的研究相对较少,以植物入侵特征建立起的风险筛选方法也相对较少(何善勇等, 2020),但以植物内在特性构建指标的入侵植物筛选方法,可通过相对客观的植物内在特性来识别其入侵性,快速筛选出入侵植物。鉴于此,本文介绍了入侵植物筛选方法的定义、研究理论与建立概况,并提出其在我国口岸防控中的应用建议,旨在为我国口岸制定防范外来植物入侵的有效管理政策和措施提供参考依据。

1 入侵植物筛选方法的定义

入侵植物亦称外来入侵植物,其概念来源于入侵生物学,是指已于自然或半自然生态环境中建立一稳定族群并可能进而威胁原生生物多样性的外来种(IUCN, 2000)。本文介绍的入侵植物筛选方法,主要是根据植物生物生态学特性以及植物在非本地区的危害历史,建立相关评判指标体系和计算方法,评判外来植物自身是否具备潜在入侵特征的过程。

2 入侵植物筛选方法的理论研究

2.1 单一类群研究

最初,学者们注意到总有部分外来植物能够在多个相互隔离的地区内成功定殖,便推断植物的归化与其自身特性之间可能存在一定的关联性(Mack, 1996),由此便产生了入侵植物特性的研

究.Gray (1879)最早开始尝试罗列和筛选与植物入侵有关的特性,但真正的兴起是在 Baker (1965, 1974)提出典型入侵植物特征之后,典型入侵植物特征包括 12 种,涉及繁殖、扩散和适应性 3 个方面的生物生态学特性(Baker, 1974),其中繁殖特性占据了主要地位。Baker 的方法和理论为后续的研究提供了重要的借鉴和启发,很多学者展开了类似的研究(De Wet, 1966; Patterson, 1985)。但不久就在现实中发现了与之相反的情况,即一些严重入侵植物仅带有很少的入侵植物典型特征,比如海岸松 *Pinus pinaster* Aiton 在南非地中海生境中为入侵植物,但仅有很少的典型入侵植物特征(Kruger, 1977)。因此,部分学者认为不是所有外来植物都具有一致的生活史和繁殖特性(Williamson, 1993; Williamson & Fitter, 1996)。由此可见,单一类群研究往往并不具有普遍性。

2.2 多类群比较研究

由于单独研究入侵植物特性具有一定的局限性,学者们开始进行多类群物种特性的比较。多类群物种的比较通常包括两类:一类是针对近缘物种(如同科或同属)间入侵植物和非入侵植物的比较;另一类是直接对入侵植物和非入侵植物两个类群进行特性的比较。前者主要分析分类学上亲缘关系相近的同科或同属植物中,或者系统发育相关的物种间入侵植物和非入侵植物的特性差异。例如,在对近缘物种比较研究中,发现了入侵植物相较非入侵植物,更具空间生长优势、更能忍受被食草动物取食、更具扩散效率、开花更早且花期更长、光合速率更快、具有较长的土壤种子库等多种重要的入侵特性(Pyšek & Richardson, 2007)。虽然近缘物种比较能找到很多重要的植物入侵特性,但当被应用到所有外来植物时,很多特性并不具有普适性。

自 20 世纪 90 年代后期起,随着计算机技术和互联网技术的飞速发展,植物信息获取变得更为容易,针对更大类群的植物比较研究开始增加,主要是针对入侵植物和非入侵植物之间的特性比较(Pyšek & Richardson, 2007)。大类群植物的特性比较研究通常需要考虑多种因素,如比较对象、来源途径、比较物种的数量、研究的地理范围、发生情况以及比较的方法等,但该类研究的一些特性数据(如生长率、繁殖量等)相对难以获取。

长期以来,植物入侵的预测一直是学者们的研

究目标 (Daehler & Carino, 2000; Kolar & Lodge, 2002; Rejmánek, 2000; Richardson & Pyšek, 2006)。随着认识的深入, 学者在肯定植物入侵特征重要性的基础之上, 也意识到了入侵特性还应与入侵所处的阶段、地理空间尺度和具体的自然环境相结合 (Van *et al.*, 2015)。由此, 近年来学者们也相继提出了一些新的生物入侵研究框架体系。

3 入侵植物筛选方法的建立概况

根据采用的具体计算方法划分, 入侵植物筛选方法可分为定性、半定量和定量 3 种评判方法 (Hulme, 2012)。

3.1 入侵植物的筛选方法

3.1.1 定性评判方法 该方法采取专家定性评判的方法, 评判时重点参考外来植物在非本地区的入侵历史。该方法主要通过实地调查、文献资料查找等手段, 收集整理在全世界其他地区发生的入侵植物名录、分布及基础生物学信息, 形成大量的入侵植物基础资料供专家或决策者使用。该方法具有诸多局限性, 植物在原产地或其他地区具有危害的历史有一定的参考性, 但并不能完全决定其是否在引入地区产生危害。如凤眼蓝 (水葫芦) *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solme, 在其原产地南美几乎不产生危害, 但在全世界其他无霜地区却成为严重入侵植物 (Holm *et al.*, 1997)。外来植物的成功入侵需要其自身与环境间多种因素共同作用 (Noble, 1989), 不过入侵历史作为一项识别入侵植物的指标仍具有重要价值。

3.1.2 半定量评判方法 该方法主要根据外来植物的生物生态学特性建立指标并赋值, 通过求平均值、乘法或加法等方式进行总体风险的计算, 形成了半定量统计方法 (Baker *et al.*, 2008)。该方法来自 AWRA 建立的打分系统 (Panetta, 1993; Pheloung, 1995), 该打分系统共设置 49 个问题, 涵盖植物的生物地理学、外来植物历史和生物生态学特性, 并采取简单的加法进行计算 (Pheloung *et al.*, 1999), 筛选出严重杂草、非杂草或介于二者之间的一般杂草。从功能和评判目的上来划分, AWRA 与本文介绍的入侵植物筛选方法较为相似。

3.1.3 定量评判方法 随着对外来植物研究的深入, 学者开始尝试研究定量的统计模型, 这种模型主要从多种与入侵有关的特性中筛选出重要的特性 (通常不会很多), 利用相应的数学方法构建起入

侵植物筛选模型 (Pyšek & Richardson, 2007)。该模型采用最具有分类判定的特征进行外来植物的归类, 其中最为成功的是对松科植物入侵性的判断, 该方法筛选出松科植物的 3 个特征, 即种子质量、幼年期长度和结果间隔周期, 采用简单评判分析方法, 就能评判出松属植物是否具有入侵性 (Rejmánek & Richardson, 1996)。定量方法中采用的特性相对较少, 因此, 在大类群植物的应用上总体准确率相对较低。目前, 机器学习算法则可能采用更多的特性进行定量的入侵植物筛选研究 (Chen *et al.*, 2015)。

3.2 我国对外来植物入侵风险筛选方法的研究

目前, 我国对外来植物的入侵风险筛选主要采取综合风险评估方法, 即综合评价入侵植物传入和扩散可能性以及后果影响等因素。具体方法包括: 厦门、温州、江浙沪地区、华东地区外来植物入侵风险评估体系 (冯幼义等, 2010; 顾慧, 2014; 李明丽, 2010; 欧健和卢昌义, 2006), 《杂草风险分析技术要求》(国家认证认可监督管理委员会, 2007), 外来入侵植物杂草化风险“五阶评估法” (强胜, 2009) 等。以“五阶评估法”为例, 其指标设置较详尽, 涵盖了生物生态学、经济、管理等多方面内容, 传入后果评估分为环境适生能力、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, 最终使用风险等级 (如高、中、低) 衡量评估结果。但是该评估方法对各指标设置的合理性以及计算方法的准确性有较高的要求, 而且还存在着指标信息难以获取、不确定性大以及评估时间长等问题。

近年来, 我国已有基于植物生物生态学特性建立植物入侵性评判方法的初步研究。如: 郑勇奇和张川红 (2014) 建立的外来树种生物入侵风险评价体系中, 包含了对树种自身入侵性的评估方法, 但其指标主要与乔木类植物有关; Chen *et al.* (2015) 基于 6 个植物生物生态学特性, 建立了基于多种机器学习算法的入侵植物评估模型, 但其使用时需要采用相关的软件或相关计算机语言, 不便于广泛应用。

入侵植物筛选方法注重从植物自身生物生态学特性进行指标构建 (Pheloung *et al.*, 1999; USDA, 2015), 通过建立相关评判指标体系和计算方法, 将植物划分为严重入侵植物、非入侵植物或介于二者之间的一般入侵植物, 筛选出具有潜在入侵性的外来植物。因其指标相对稳定且易获取, 不仅

能快速筛选出具有潜在入侵性的植物,亦能快速筛选出不具潜在入侵性的非入侵植物。因此,便于应用到口岸植物检疫部门防范外来植物入侵工作中,可以对口岸截获或监测中发现的新的植物种类进行评价,及时提出风险预警;同时能快速甄别出非入侵性植物,使得口岸的监测和管理能将更多资源用于预防重点关注的入侵植物,节约管理成本。因此,该方法能为制定科学有效的防范外来植物入侵的管理政策和措施提供技术参考。

4 入侵植物筛选方法在我国口岸防控中的应用建议

我国口岸作为防范外来植物入侵的“第一道防线”,检疫把关责任重大,只有不断完善外来植物监测、预警和快速反应机制,筑牢口岸防线,才能将外来植物的入侵风险控制到最低。但是,口岸面对截获、监测到新植物种类或当入侵性未知的外来植物拟进入我国境内的时候,目前采用的综合风险评估,虽然内容涵盖全面,但存在着指标信息难以获取、不确定性大以及评估时间长等问题。因此,本文介绍的入侵植物筛选方法,能通过相对客观的植物内在特性来识别其入侵性,主要作用是快速筛选出入侵植物,为我国口岸检疫机构制定针对外来植物的管理政策和措施提供基础数据支持,降低入侵植物带来的经济和环境的影响(Keller & Drake, 2009)。鉴于目前我国缺乏高效的基于植物内在特性建立的入侵植物筛选方法,提出以下 3 方面的应用建议。

4.1 采取应用与研究并行的管理策略

从我国口岸入侵植物防控工作的角度,可以实施“应用为先,兼顾发展”应用策略,即先在实践中重点借鉴主要贸易国家的先进经验,如 AWRA,该方法已筛选了 2800 多种外来植物(Weber *et al.*, 2009),在全世界广泛应用且具有一致的准确率(Gordon *et al.*, 2008),其他很多杂草风险筛选系统都在 AWRA 基础之上进行发展或者直接应用(Heikkilä, 2011)。He *et al.* (2018) 采用我国已知身份的外来植物对 AWRA 进行测试,发现该方法对我国外来入侵植物具有较好的筛选效果。因此,可直接借鉴 AWRA 的指标和计算方法,对口岸截获或监测发现的新植物种类进行逐一评判,筛选出严重入侵植物、非入侵植物或介于二者之间的一般入

侵植物,以帮助口岸检疫部门管理者进一步综合分析,提高口岸入侵植物防控工作的效率和质量。

同时,不断加强对我国外来入侵植物与非入侵植物、外来入侵植物与本土非入侵植物、同属植物中外来入侵植物与非入侵植物的比较研究(Pyšek & Richardson, 2007),弄清我国外来入侵植物生物学特性,例如植物是否耐阴、是否可以无性繁殖、是否能产生大量种子、是否能在 1 年及以下繁殖、是否能在自然环境下杂交、是否能被人类主动扩散、是否具有化感作用、是否为重要病虫害的寄主等,从而构建适合中国具体情况的入侵植物的筛选指标,不断探索各指标权重以及计算方法,建立一个适合我国的筛选方法,为口岸植物检疫部门今后进一步利用大数据进行外来植物风险预测奠定基础。

4.2 充分运用互联网技术和信息化手段开展工作

在实践中需充分运用互联网技术和信息化手段开展工作,如利用机器学习中的算法进行植物入侵的筛选,并开发在数据处理、数据计算以及评判效果方面存在很高的潜力的机器学习模型(Witten *et al.*, 2011)。研究显示,机器学习算法构建起的外来植物的入侵风险筛选具有很高的识别准确率(Elith *et al.*, 2006; Keller *et al.*, 2011),还能不断提供新的评判方法,不断积累和更新训练集,实现筛选的动态发展,具有很好的应用前景。当口岸截获未知入侵身份的外来植物的时候,可通过这个基于机器学习算法的在线开放式的入侵植物筛选系统进行快速查询和评判,相关计算结果能为口岸检疫机构提供基础数据支持。

4.3 构建多部门联合国家级入侵植物信息和预警共享平台

入侵植物筛选方法评判结果的准确性高度依赖全面、详实的基础信息(黄静等, 2014),需在大量信息基础上进行筛选分析。因此,需加强与地方环保、农业、林业以及科研机构、高校的沟通和协调,发挥各自优势,构建多部门联合国家级入侵植物信息和预警共享平台。如:中国国家有害生物检疫信息系统(www.pestchina.com)、中国外来入侵物种信息系统(<http://www.iplant.cn/ias/>)、中国农作物有害生物监控信息系统(<http://www.ccpmis.org.cn/>)等。通过联网快速检索外来植物的相关准确信息,不仅能实现信息资源共享,还能提高入侵植物筛选

方法对外来植物评价的准确率与便捷性,在短时间内提出风险预警,有效防控外来植物入侵和筑牢口岸检疫防线,这不仅是落实我国生态文明建设的基本要求,也是落实总体国家安全观的重要环节。

本文介绍了以植物内在特性构建指标的入侵植物筛选方法的基本构想和初步研究。作为一种尝试,入侵植物筛选方法还处在起步阶段,还需要不断地完善,在实践中进一步发展。

参考文献

冯幼义,董晓慧,胡仁勇,柯倩倩,丁炳扬,2010. 温州外来入侵植物风险评价体系研究——以黑荆为例. 植物资源与环境学报, 19(3): 79–84.

顾慧,2014. 华东地区外来引种陆生植物入侵风险评估体系的构建. 硕士学位论文. 南京: 南京林业大学.

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.

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.

黄静,孙双艳,何善勇,孔令斌,2014. 主要贸易国家有害生物信息系统概况. 植物检疫, 28(1): 98–100.

李明丽,2010. 江浙沪地区外来植物入侵性风险评估系统的构建. 硕士学位论文. 杭州: 浙江师范大学.

刘建,李钧敏,余华,何维明,于飞海,桑卫国,刘国方,董鸣,2010. 植物功能性状与外来植物入侵. 生物多样性, 18(6): 569–576.

欧健,卢昌义,2006. 厦门市外来植物入侵风险评价指标体系的研究. 厦门大学学报(自然科学版), 45(6): 883–888.

强胜,2009. 杂草学. 2版. 北京: 中国农业出版社.

郑勇奇,张川红,2014. 外来树种生物入侵风险评价. 北京: 科学出版社.

ALPERT P, BONE E, HOLZAPFEL C, 2000. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution & Systematics*, 3(1): 52–66.

BAKER H G, 1965. *Characteristics and modes of origin of weeds*. New York, USA: Academic Press.

BAKER H G, 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 5(1): 1–24.

BAKER R H A, BLACK R, COPP G H, HAYSOM K A, HULME P E, THOMAS M B, BROWN A, BROWN M, CANNON R J C, ELLIS J, ELLIS M, FERRIS R, GLAVES P, GOZLAN R E, HOLT J, HOWE L, KNIGHT J D, MACLEOD A, MOORE N P, MUMFORD J D, MURPHY S

T, PARROTT D, SANSFORD C E, SMITH G C, ST-HILAIRE S, WARD N L, 2008. The UK risk assessment scheme for all non-native species // RABITSCH W F, ESSL F, KLINGENSTEIN F. *Biological invasions from ecology to conservation*. Sofia, Bulgaria: Pensoft Publishers: 46–57.

CHEN L Y, PENG S L, YANG B, 2015. Predicting alien herb invasion with machine learning models: biogeographical and life-history traits both matter. *Biological Invasions*, 17(7): 2187–2198.

DAEHLER C C, CARINO D A, 2000. Predicting invasive plants: prospects for a general screening system based on current regional models. *Biological Invasions*, 2(2): 93–102.

DE WET J M J, 1966. The origin of weediness in plants. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 47: 14–17.

ELITH J, GRAHAM C H, ANDERSON R P, DUDÍK M, FERRIER S, GUIAN A, HIJMAN R J, HUETTSMANN F, LEATHWICK J R, LEHMANN A, LI J, LOHMANN L G, LOISELLE B A, MANION G, MORITZ C, NAKAMURA M, NAKAZAWA Y, OVERTON J, PETERSON M, TOWNSEND A, PHILLIPS S J, RICHARDSON K, SCACHETTI-PEREIRA R, SCHAPIRE R E, SOBERÓN J, WILLIAMS S, WISZ M S, ZIMMERMANN N E, ARAUJO M, 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129–151.

GORDON D, ONDERDONK D A, FOX A M, STOCKER R K, 2008. Consistent accuracy of the Australian weed risk assessment system across varied geographies. *Diversity and Distributions*: 14(2): 234–242.

GRAY A, 1879. The pertinacity and predominance of weeds. *American Journal of Science and Arts*, 18: 161–167.

HAZARD W H L, 1988. Introducing crop, pasture and ornamental species into Australia the risk of introducing new weeds. *Australian Plant Introduction Review*, 19(2): 19–36.

HE S Y, YIN L P, WEN J B, LIANG Y B, 2018. A test of the Australian weed risk assessment system in China. *Biological Invasions*, 20(8): 2061–2076.

HEIKKILÄ J, 2011. A review of risk prioritisation schemes of pathogens, pests and weeds: principles and practices. *Agricultural and Food Science*, 20(1): 15–28.

HIGGINS S I, RICHARDSON D M, 1988. Pine invasions in the southern hemisphere: modelling interactions between organism, environment and disturbance. *Plant Ecology*, 135: 79–93.

HOLM L R, DOLL J, HOLM E, HERBERGER J, DOLL J, HOLM E, PANCHO J V, HERBERGER J P, 1997. *World Weeds: natural histories and distribution*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.

- HULME P E, 2012. Weed risk assessment; a way forward or a waste of time? *Journal of Applied Ecology*, 49(1): 10–19.
- IUCN, 2000. Guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature.
- KELLER R, DRAKE J, 2009. Trait-based risk assessment for invasive species // KELLER R, LODGE D M, LEWIS M, SHOGREN J. *Bioeconomics of invasive species*. New York: Oxford University Press: 44–62.
- KELLER R P, KOCEV D, DŽEROSKI S, 2011. Trait-based risk assessment for invasive species: high performance across diverse taxonomic groups, geographic ranges and machine learning/statistical tools. *Diversity and Distributions*, 17(3): 451–461.
- KOLAR C S, LODGE D M, 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science*, 298: 1233–1236.
- KOOP A L, FOWLER L, NEWTON L P, CATON B P, 2012. Development and validation of a weed screening tool for the United States. *Biological Invasions*, 14(2): 273–294.
- KRUGER F J, 1977. Invasive woody plants in the Cape fynbos, with special reference to the biology and control of *Pinus pinaster* // *Proceedings of the second national weeds conference of South Africa*. Cape Town: National Weeds Conference of South Africa: 57–74.
- LONSDALE W M, 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology*, 80(5): 1522–1536.
- 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(5): 981–985.
- MACK R, 1996. Predicting the identity and fate of plant invaders: emergent and emerging approaches. *Biological Conservation*, 78(1/2): 107–121.
- NOBLE I R, 1989. Attributes of invaders and the invading process: terrestrial and vascular plants // DRAKE J A, MOONEY H A, DI CASTRI F, GROVES R H, KRUGER F J, REJMANEK M, WILLIAMSON M. *Biological invasions: a global perspective*. New York: Wiley & Sons: 301–313.
- PANETTA F D, 1993. A system of assessing proposed plant introductions for weed potential. *Plant Protection Quarterly*, 8(1): 10–14.
- PATTERSON D T, 1985. Comparative ecophysiology of weeds and crops // DUKE S O, PATTERSON D T. *Weed physiology*. Boca Raton: CRC Press Inc: 101–129.
- PHELOUNG P, 1995. *Determining the weed potential of new plant introductions to Australia*. Western Australia: Agriculture Protection Board.
- PHELOUNG 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.
- PYŠEK P, RICHARDSON D M, 2007. Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand? // NENTWIG W. *Biological invasions, ecological studies* 193. Berlin: Springer-Verlag GmbH: 97–125.
- REJMANEK M, 1989. Invasibility of plant communities. *Scope*, 37: 269–383.
- REJMANEK M, RICHARDSON D M, 1996. What attributes make some plant species more invasive? *Ecology*, 77(6): 1655–1661.
- REJMANEK M, 2000. Invasive plants: approaches and predictions. *Austral Ecology*, 25(5): 497–506.
- RICHARDSON D M, PYŠEK P, 2006. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. *Progress in Physical Geography*, 30(3): 409–431.
- USDA, 2015. *Guidelines for the USDA-APHIS-PPQ weed risk assessment process*. Raleigh: United States Department of Agriculture.
- VAN K M, DAWSON W, MAUREL N, 2015. Characteristics of successful alien plants. *Molecular Ecology*, 24(9): 1954–1968.
- WEBER E, GUT D, 2004. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 12(3): 171–179.
- WEBER J, DANE P F, VIRTUE J, PHELOUNG P, 2009. An analysis of assessment outcomes from eight years' operation of the Australian border weed risk assessment system. *Journal of Environmental Management*, 90(2): 798–807.
- WILLIAMSON M, 1993. Invaders, weeds and the risk from genetically manipulated organisms. *Experientia*, 49(3): 219–224.
- WILLIAMSON M H, FITTER A, 1996. The characters of successful invaders. *Biological Conservation*, 78(1/2): 163–170.
- WITTEN H I, FRANK E, HALL A M, 2011. *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. 3rd ed. Burlington: Morgan Kaufmann.