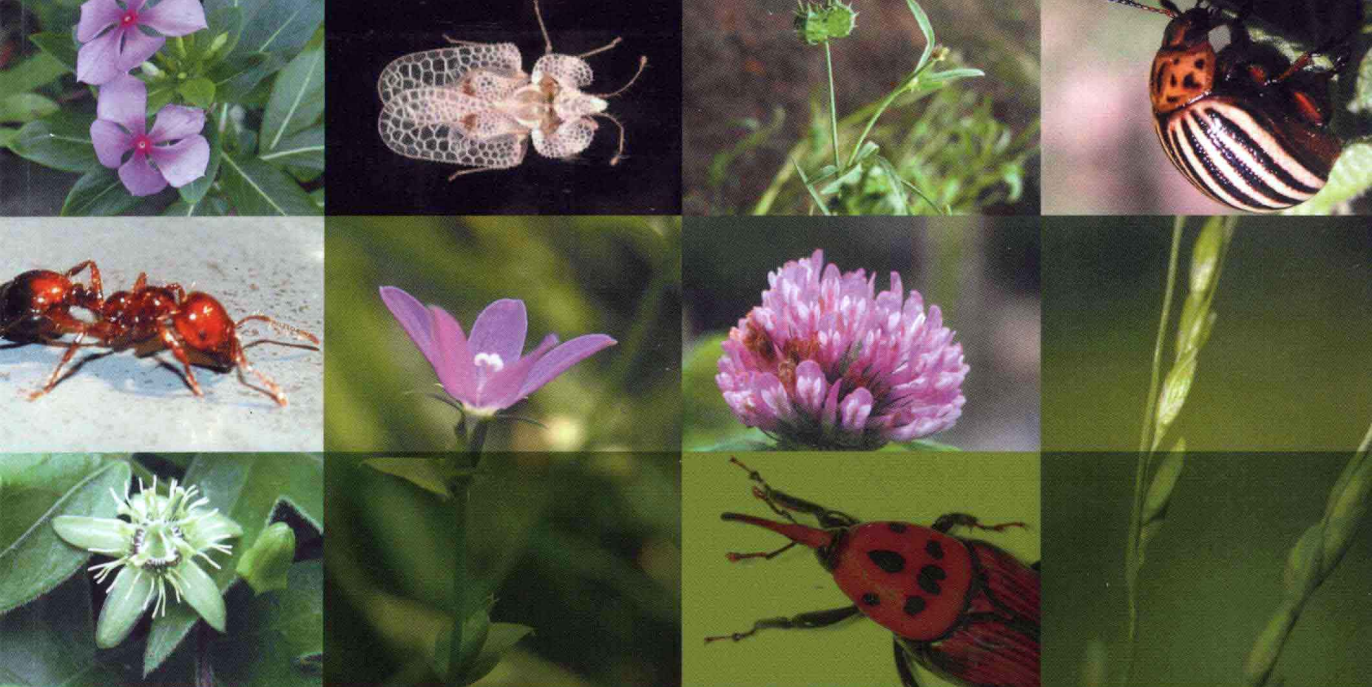




环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

外来物种环境风险评估 与控制研究

徐海根 吴 军 陈洁君 © 主编



科学出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

外来物种环境风险评估 与控制研究

徐海根 吴 军 陈洁君 主编

本书得到环保公益性行业科研专项经费“外来物种环境风险评估技术研究”项目（200709017），以及国家“973”计划“农林危险生物入侵风险和环境经济评估的模式与体系”课题（2002CB111405）的资助。

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了外来物种环境风险评估的指标、模型和方法；分析了加拿大一枝黄花、假高粱、苹果蠹蛾、梨火疫病菌在我国的适生范围和入侵风险；总结了桉树、清道夫、罗非鱼的环境风险试验；研究了松材线虫病的致病机理；开发了梨火疫病菌的快速检测技术；开发了由加拿大一枝黄花制备墙体装饰材料，由水葫芦制备草坪板的技术；建立了外来物种早期预警平台；剖析了我国外来物种法规和管理体制及其存在的问题；提出了加强外来物种环境安全管理的建议。

本书可作为高等院校、科研院所专业人员、政府和企业的决策者及管理人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

外来物种环境风险评估与控制研究/徐海根等主编. —北京：科学出版社，2011

ISBN 978-7-03-030387-5

I. ①外… II. ①徐… III. ①外来种：侵入种-环境生态评价-研究 ②外来种：侵入种-风险管理-研究 IV. ①Q16 ②X176

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 029454 号

责任编辑：马 俊 王 静/责任校对：林青梅

责任印制：钱玉芬/封面设计：耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 6 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2011 年 6 月第一次印刷 印张：17 1/2 插页：4

印数：1—1 800 字数：390 000

定价：68.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

序

外来入侵物种是当今全球面临的一个重大环境问题，是造成生物多样性丧失的主要因素之一，同时也对农林业生产和人类健康造成了严重的威胁。一些国际公约和组织，如《生物多样性公约》、《国际植物保护公约》、世界自然保护联盟等均高度关注外来入侵物种问题。2010年10月在日本召开的《生物多样性公约》第十次缔约方大会通过了生物多样性战略计划（2011-2020年），并通过了拥有20个目标的2020年目标。其第9个目标是：到2020年，查明外来入侵物种，明确其优先顺序，控制或根除优先的外来入侵物种。

我国政府十分重视外来入侵物种的防治工作。经2010年9月15日国务院第126次常务会议审议通过，我国正式发布实施了《中国生物多样性保护战略与行动计划》（2011-2030年）。该战略与行动计划明确了我国今后20年生物多样性保护的指导思想、目标和优先行动。其中，“提高对外来入侵物种的早期预警、应急与监测能力”被列为第23项优先行动。该战略与行动计划的实施，必将对我国乃至国际生物多样性保护产生积极而又深远的影响。

外来物种环境风险评估是对外来物种引进、扩散过程中产生的不确定事件进行识别、评估和处理，以最小的成本将其对环境的不利影响减小到最低程度的科学管理技术。开展外来物种环境风险评估，是减少和控制外来入侵物种造成危害的有效手段。通过资源化利用减少外来入侵物种的危害，是防治外来入侵物种的重要途径。因此，外来物种环境风险评估和控制在国家及全球生物多样性保护中占有重要的地位，同时对维护国家经济利益具有重要的意义。

目前我国对外来物种的研究还比较薄弱，大部分外来物种的入侵机制、传播途径和扩散风险等尚不十分清楚。另外，我国在外来物种的管理上还存在很多薄弱环节，外来物种的引进存在一定的盲目性，监管也不到位。我欣喜地看到，环境保护部南京环境科学研究所等单位经过长期科研工作的努力，在外来物种环境风险评估和控制研究方面取得了较大的进展。该书是南京环境科学研究所等单位的专家学者近几年来研究成果的积累和总结。该书在国内较全面地建立了外来物种环境风险评估与控制以及预测预警的技术体系，在外来入侵物种控制技术上提出了创新的方法，对我国外来入侵物种的环境管理政策也进行了详细的分析。该书的成果将对我国防治外来入侵物种和保障国家生态安全产生积极的意义。我对该书的出版表示热烈祝贺。

金鉴明

中国工程院院士
国际欧亚科学院院士
2011年5月

前 言

大部分外来物种对农林业生产、人类发展起到了十分积极的作用。但由于各种原因,外来物种中的一部分已演变成具有入侵性的物种,对生态环境、农林业生产和人类健康造成巨大的危害。所谓外来物种是指出现在其过去或现在的自然分布范围及潜在扩散范围以外的种、亚种或以下的分类单元,包括该物种所有可能存活繁殖的部分、配子或繁殖体。外来入侵物种是指在当地的自然或半自然生态系统中形成了自我再生能力,可能或已经对生态环境、生产或生活造成明显损害或不利影响的外来物种。

外来物种入侵是导致生物多样性丧失的主要原因之一,我国是世界上遭受外来入侵物种危害最严重的国家之一。我国地域辽阔,气候类型复杂多样,来自世界各地的大多数外来物种都可能在我国找到合适的生境,全国各省、自治区和直辖市均有外来入侵物种。几乎所有的生态系统,从森林到农区,从湿地到草原,都可见到外来入侵物种。我国外来入侵物种已呈现传入数量增多、传入频率加快、蔓延范围扩大、危害加剧、损失加重等趋势。我国每20年新发现的外来入侵物种,在20世纪10年代前为1~16种,10~60年代为50~59种,到70年代达到87种,每年新增加的外来入侵物种种数呈指数增长。根据我们的最新调查成果,全国目前有488种外来入侵物种。外来入侵物种已对我国生物多样性和生态环境造成严重的危害,每年造成的环境和经济损失达1198.76亿元(2000年测算值),约占2000年国内生产总值的1.36%。预防和控制外来入侵物种已成为保障国家生态安全的迫切需求。

我国是《生物多样性公约》等国际公约的缔约方,履行相关国际公约的义务是我国应尽的责任。《生物多样性公约》第8条h款要求缔约方尽可能“防治、控制或消除那些威胁到生态系统、生境或物种的外来物种”。《卫生和植物卫生措施协议》是世界贸易组织的贸易规则,防治外来入侵物种是该协议的一项主要任务。《国际植物保护公约》要求缔约方在植物和植物产品的国际贸易中加强检疫工作,防止有害生物的引进和传播。《联合国海洋公约》也要求各缔约方防止、减少或控制外来入侵物种的有意引进或无意传入。防治外来入侵物种是促进环境外交、维护国家利益的需要。

在国家环保公益性行业科研专项“外来物种环境风险评估技术研究”项目(200709017)和国家“973”计划“农林危险生物入侵风险和环境经济评估的模式与体系”课题(2002CB111405)的支持下,经过多年艰苦努力,我们建立了外来物种环境风险评估系统,探索了加拿大一枝黄花、水葫芦、松材线虫病等典型外来入侵物种的控制和资源化利用技术,建立了外来物种数据库系统与早期预警平台,为防治外来入侵物种奠定了一定的科学基础。

本书是11个大学和科研机构的30余位专家多年的辛勤劳动和集体智慧的结晶。全书由徐海根统稿,共分10章:

第1章 对1560种外来陆生草本植物、树种和鱼类进行了风险评估;

第2章 建立了外来物种潜在分布区预测技术，并分析了加拿大一枝黄花、假高粱、苹果蠹蛾在我国的潜在分布区及其主要限制因素；

第3章 采用多点、长期野外试验的方式，探讨了桉树种植对生物多样性、土壤及水土流失的影响；

第4章 研究了清道夫和罗非鱼野外种群对当地水生生态系统可能带来的影响；

第5章 分析了梨火疫病菌在我国的入侵风险，建立了梨火疫病菌的检测技术；

第6章 开发了外来入侵物种的扩散模型和仿真系统，为分析外来入侵物种的扩散潜力和制定防治策略提供科学依据；

第7章 研究了松材线虫病的致病机制，为松材线虫病的防治提供科学基础；

第8章 介绍了加拿大一枝黄花和水葫芦的资源化利用与产品开发情况；

第9章 介绍了外来物种数据库系统与早期预警平台；

第10章 分析了我国外来物种引进的管理体制和体制及其薄弱环节，提出了我国外来物种环境安全管理对策建议。

本书的编写得到环境保护部科技标准司、自然生态保护司的大力支持，也得到环境保护部南京环境科学研究所和其他兄弟单位的支持，在此对各位领导和专家的支持与帮助表示感谢。受资料、知识和时间的限制，本书尚有很多不足之处，疏漏在所难免，请读者不吝指正。

徐海根

2011年5月18日于南京

目 录

序

前言

第 1 章 外来植物和鱼类的调查与环境风险评估	1
1.1 外来陆生草本植物	1
1.1.1 全国外来陆生草本植物调查	1
1.1.2 全国外来陆生草本植物调查数据汇总分析	2
1.1.3 外来陆生草本植物风险评估	4
1.2 外来树种	7
1.2.1 方法	7
1.2.2 外来树种调查	7
1.2.3 外来树种风险评价指标和方法	8
1.2.4 外来树种风险评价	12
1.3 外来鱼类	14
1.3.1 调查和评估方法	15
1.3.2 外来养殖鱼类	18
1.3.3 外来观赏鱼类	24
参考文献	31
第 2 章 外来物种潜在分布区预测	36
2.1 加拿大一枝黄花	36
2.1.1 材料与方法	37
2.1.2 结果	40
2.1.3 分析与讨论	40
2.2 假高粱	43
2.2.1 材料与方法	44
2.2.2 结果与分析	47
2.2.3 讨论	48
2.3 苹果蠹蛾	49
2.3.1 影响苹果蠹蛾分布的主要环境因子的选取及基点的选择	50
2.3.2 材料与方法	51
2.3.3 结果与讨论	52
参考文献	56
第 3 章 桉树环境风险试验研究	60
3.1 研究区域概况和主要研究方法	60

3.1.1	研究区域概况	60
3.1.2	研究方法	61
3.1.3	土壤肥力评价方法	62
3.1.4	水土流失观测	63
3.1.5	物种多样性分析	63
3.2	结果	64
3.2.1	广西东门林场桉树的环境影响	64
3.2.2	广西柳州桉树的环境影响	74
3.2.3	海南儋州桉树栽培代数和管理措施的环境影响	82
3.2.4	海南儋州不同母质发育的土壤上种植桉树的环境影响	92
3.3	讨论	98
	参考文献	99
第4章	清道夫和罗非鱼的环境风险试验研究	102
4.1	清道夫	102
4.1.1	实验目的	102
4.1.2	实验方法	102
4.1.3	实验结果	104
4.1.4	讨论	105
4.2	罗非鱼	107
4.2.1	实验目的	107
4.2.2	实验方法	108
4.2.3	实验结果	109
4.2.4	讨论	114
	参考文献	116
第5章	梨火疫病菌的检测及风险评估	117
5.1	前言	117
5.2	材料与方法	117
5.2.1	试验材料	117
5.2.2	试验方法	119
5.2.3	数据处理	126
5.3	结果与分析	128
5.3.1	梨火疫病菌在中国的潜在分布及入侵风险分析	128
5.3.2	利用 Monte-Carlo 模拟再评估梨火疫病菌随水果果实的入侵风险	129
5.3.3	利用间接免疫荧光染色和协同凝集技术检测梨火疫病菌	130
5.3.4	EAsdiA 基因的克隆和作为新靶标对梨火疫病菌的检测	130
5.3.5	梨火疫病菌的实时荧光 PCR 检测	133
5.3.6	免疫吸附 PCR 技术提高梨火疫病菌检测灵敏度	135
5.4	讨论	136

参考文献	138
第 6 章 外来入侵物种扩散模型和仿真研究：以青藏铁路为例	141
6.1 基本假设与记号	141
6.1.1 基本记号	142
6.1.2 基本假设	142
6.2 入侵物种的扩散模型及最短扩散时间优化模型的建立	143
6.2.1 入侵物种的扩散方程	143
6.2.2 扩散方程的定解条件确定	145
6.2.3 最短扩散时间优化模型的建立	146
6.3 模型分析与理论研究	146
6.3.1 模型分析	146
6.3.2 扩散模型式 (6-31) 的理论研究与扩散速度	147
6.4 扩散模型式 (6-32) 的离散化	151
6.4.1 模型式 (6-32) 的简化形式及离散化	151
6.4.2 模型式 (6-60) 和式 (6-32) 的数值解说明	153
6.5 模型式 (6-32) 的数值解的仿真	155
6.5.1 模型式 (6-60) 和式 (6-32) 的仿真说明	155
6.5.2 模型式 (6-60) 的一维仿真	156
6.5.3 模型式 (6-32) 的二维仿真	159
6.5.4 模型式 (6-32) 的二维仿真的改进	160
6.5.5 模型式 (6-32) 的三维仿真	165
参考文献	168
第 7 章 松材线虫病致病机制的研究	169
7.1 前言	169
7.2 材料和方法	169
7.2.1 线虫来源、纯化及培养	169
7.2.2 线虫体表细菌观察和分离	170
7.2.3 无菌线虫的获得	171
7.2.4 无菌黑松苗的培育	171
7.2.5 黑松愈伤组织的培养	171
7.2.6 室内接种试验	172
7.2.7 细菌毒素培养和毒素的生物测定	172
7.2.8 野外接种试验	173
7.2.9 线虫和细菌关系的研究	173
7.3 结果与分析	174
7.3.1 松材线虫体表携带细菌观察、分离和鉴定	174
7.3.2 松材线虫体表细菌的致病性	178
7.3.3 松材线虫与体表细菌的关系研究	183

7.4 结论与讨论	186
参考文献	188
第8章 加拿大一枝黄花和水葫芦的资源化利用与产品开发	190
8.1 前言	190
8.2 材料和方法	191
8.2.1 试验材料	191
8.2.2 试验方法	191
8.3 结果与分析	194
8.3.1 加拿大一枝黄花制作内墙纤维装饰板	194
8.3.2 水葫芦制作草坪板	195
8.4 讨论	197
参考文献	197
第9章 外来物种数据库系统与早期预警平台	199
9.1 系统分析	199
9.1.1 用户需求分析	199
9.1.2 系统设计目标	199
9.1.3 系统功能分析	199
9.1.4 数据需求	200
9.1.5 系统环境分析	200
9.2 系统设计	200
9.2.1 系统设计原则	200
9.2.2 系统总体结构设计	200
9.2.3 系统功能设计与实现	202
9.3 外来物种入侵预警系统设计与实现	205
9.3.1 外来物种入侵预警系统设计	205
9.3.2 外来入侵物种数据库系统的建立	206
9.3.3 外来物种入侵预警系统实现	207
参考文献	216
第10章 外来物种管理体制和制度分析与对策建议	217
10.1 与外来物种管理有关的法律法规	217
10.1.1 引进审批	217
10.1.2 检疫	219
10.1.3 海关	220
10.1.4 民航	220
10.2 各类生物物种进口管理及行政许可事项的分类叙述	220
10.2.1 农作物种子进口审批	220
10.2.2 草种进口审批	222
10.2.3 水产苗种进口审批	223

10.2.4 种畜禽进口审批	226
10.2.5 林木种子苗木进口的审批	227
10.2.6 水生野生动物进口的审批	229
10.2.7 引进陆生野生动物外来物种种类及数量的审批	230
10.2.8 外来陆生野生动物物种野外放生的审批	233
10.2.9 实验动物进口管理	235
10.2.10 农业野生植物进口的审批	235
10.2.11 进口国际公约限制进出口的陆生野生动物或其产品的审批	237
10.2.12 进出口中国参加的国际公约限制进出口野生植物的审批	239
10.2.13 微生物进口管理	240
10.2.14 农业转基因生物材料入境的审批（用于研究、试验和生产）	243
10.2.15 农业转基因生物材料入境的审批（用做加工原料）	244
10.3 进境（过境）动植物及其产品检疫管理	245
10.3.1 出入境检验检疫局职责	245
10.3.2 出入境动植物检疫的主要程序	246
10.3.3 进境（过境）动植物及动植物产品检疫审批	246
10.3.4 从国外引进植物繁殖材料的检疫审批	250
10.3.5 入境转基因产品检验检疫管理	251
10.4 海关对入境物种的管理	252
10.5 民航对生物物种运输的管理	253
10.6 对无意引进的有害生物的风险分析	254
10.6.1 进境动物和动物产品风险分析管理规定	254
10.6.2 进境植物和植物产品风险分析管理规定	255
10.7 目前我国外来物种管理存在的主要问题与对策	257
10.7.1 目前我国外来物种管理存在的主要问题	257
10.7.2 有关对策	260

图版

第 1 章 外来植物和鱼类的调查与环境风险评估

本章提出了外来陆生草本植物、树种和鱼类的风险评估指标及风险等级划分标准，较系统、全面地收集了 1560 种外来陆生草本植物、树种和鱼类的详细信息，并对这些外来植物和鱼类进行了风险评估。结果表明，具有高入侵风险的外来陆生草本植物有 213 种，占我国外来陆生草本植物总种数的 26.5%；具有潜在入侵风险或高入侵风险的外来树种有 23 种，占我国外来树种总种数的 4.5%；具有高入侵风险的外来养殖鱼类有 31 种，占我国外来养殖鱼类的 44.3%。就入侵风险而言，外来养殖鱼类>外来陆生草本植物>外来树种>外来观赏鱼。

1.1 外来陆生草本植物

1.1.1 全国外来陆生草本植物调查

1. 调查对象

调查对象为从其他国家进入我国的，并且主要生活在陆生生态系统的外来草本植物。

2. 调查区域

调查范围为全国陆生生态系统。

3. 调查指标体系

调查指标涉及外来草本植物的名称（学名及中、英文俗名）、分类地位、分布、起源、首次发现或引入的地点和时间等生物学、生态学信息。

(1) 学名：外来陆生草本植物的拉丁文物种名。

(2) 中文俗名：通常有多个，本文取较为通用或流行的名称，多以《中国植物志》记载为标准。

(3) 英文俗名：通常有多个，本文以美国农业部（United States Department of Agriculture, USDA）植物数据库中记载的英文名为主。

(4) 分类地位：外来物种所属的纲、目、科的中文和拉丁文名称。

(5) 分布：指外来物种在中国的分布范围。

(6) 起源：外来物种的原产地或在世界范围内首次发现的国家、地区或区域，主要记录该物种起源于哪个洲。

(7) 在我国首次发现或引入的时间及地点：以文献记录的物种首次发现或引入中国的时间及地点为准。但是，对未能找到准确记载时间及地点的，本文以最早记录该物种

的植物志所代表的地区为首次发现的地点，以该植物志出版时间作为首次发现的时间。

(8) 引入路径：外来物种进入中国的途径，包括有意引种（出于观赏、药用、粮食、饲料、水土保持等目的的引种）和无意引种（随作物引种、货物交易等夹杂带入），以及随着风、水、动物等自然扩散到中国的。

4. 调查方式

采用文献调研与专家咨询相结合的方式。利用国家和地方植物志，选择有明确记载起源于国外的陆生草本植物；利用网络数据库和各种出版文献获得物种的生物学和生态学信息，对于有争议的部分结合专家意见考虑。

中国外来陆生草本植物物种名单来源于各类已发表文献，包括《中国植物志》、已出版的专业书籍、相关的会议报告（郭水良和李扬汉，1995；强胜和曹学章，2000；李振宇和解焱，2002；徐海根和强胜，2004；Liu et al., 2005, 2006；Xu et al., 2006；Weber et al., 2008）及国家农业科学数据共享中心（<http://www.agridata.cn/>, 2008-11-30）、中国农业有害生物系统（<http://www.agripests.cn/index.asp>, 2008-11-30）、中国数字植物标本馆（<http://www.cvh.org.cn/>, 2009-12-30）和 Flora of China（<http://hua.huh.harvard.edu/china/>, 2009-12-30）等网络数据库。

1.1.2 全国外来陆生草本植物调查数据汇总分析

我们共收集到陆生外来草本植物 804 种，其基本信息收集情况见表 1-1。其中有首次发现或引入时间记载的物种占 34.5%；有首次发现或引入地点记载的物种占 35.9%；有引入路径记载的物种占 68.4%；有原产地信息记载的物种占 97.3%。

表 1-1 陆生外来草本植物基本信息收集情况

外来草本植物的记录分类情况	物种数	占陆生外来草本植物总种数的比例/%
记录的陆生外来草本植物总种数	804	100.0
有首次发现或引入时间记载的物种数	277	34.5
有首次发现或引入地点记载的物种数	289	35.9
有引入路径记载的物种数	550	68.4
有原产地信息记载的物种数	782	97.3

1. 外来陆生草本植物的种类构成

804 种外来陆生草本植物分属 37 目、72 科，其中双子叶植物占 81%。种数最多的是菊科（Asteraceae）（161 种，占外来陆生草本植物总种数的 20.0%）。其他种数较多的科有：豆科（Leguminosae）（90 种，11.2%）、仙人掌科（Cactaceae）（57 种，7.1%）、禾本科（Poaceae）（41 种，5.1%）、百合科（Liliaceae）（35 种，4.4%）和十字花科（Cruciferae）（34 种，4.2%）。

2. 外来陆生草本植物的来源地

从外来陆生草本植物的来源地分析，绝大多数外来物种来自美洲（46.3%）、欧洲（23.2%）和非洲（17.0%），来自这三个地区的频次占总频次的 86.5%（表 1-2）。

表 1-2 外来陆生草本植物来源地分布

来源地	频次	占总频次的比例/%
美洲	410	46.3
欧洲	205	23.2
非洲	150	17.0
亚洲	91	10.3
大洋洲	7	0.8
不详	22	2.5

3. 外来陆生草本植物在我国的分布和生境

我们把外来陆生草本植物在我国的分布分成 4 个区。区Ⅰ亚热带-热带区：福建、广东、广西、海南、云南、台湾、香港、澳门；区Ⅱ亚热带区：上海、浙江、江苏、安徽、湖北、江西、湖南、重庆、贵州、陕西、四川；区Ⅲ温带湿润区：河南、山东、北京、河北、山西、辽宁、天津、吉林、黑龙江、宁夏；区Ⅳ旱-寒区：西藏、内蒙古、新疆、青海、甘肃。

这些外来陆生草本植物，在我国分布较多的区依次为亚热带-热带区（约占外来陆生草本植物总频次的 23.1%）、亚热带区（约 22.7%）、温带湿润区（约 21.0%）和旱-寒区（约 14.0%），在我国分布区不详的约占 19.2%。显然，除旱-寒区略低外，外来陆生草本植物在我国各大生态区分布的差异不大，各自约占总频次的 1/5（表 1-3）。

表 1-3 陆生外来草本植物在中国的分布区

区域	频次	占总频次的比例/%
区Ⅰ	357	23.1
区Ⅱ	351	22.7
区Ⅲ	325	21.0
区Ⅳ	217	14.0
不详	296	19.2

在有“分布生境”信息的 427 个物种中，约有一半（48%）的外来陆生草本植物分布于“高养分高干扰”类型的生境（农业用地、房前屋后废弃地、水岸、沟渠边等）；约有三成（29%）的物种分布在“低养分高干扰”的生境（草坪、草场、人工林、天然林的间隙或边缘等）。因此，“高干扰”是我国陆生外来草本植物分布生境的主要特征（77%）。

4. 外来陆生草本植物首次发现或引入的时间

在有“首次发现或引入时间”记载信息的 277 个物种中, 约 58% 的物种是在新中国成立后首次引入或被发现的; 有 29% 的物种是 1800~1949 年首次引入或被发现的; 1800 年前引入的占 13%。

5. 外来陆生草本植物的引入路径

在有引入路径记载信息的 550 个物种中, 约有 80% 的物种属有意引入。显然, 有意引入是陆生外来草本植物进入我国的主要途径。

1.1.3 外来陆生草本植物风险评估

1. 风险评估系统的建立

风险评估系统建立的基本流程: 首先选择风险评估指标, 制定风险评分表; 接着依据评分表对收集的外来陆生草本植物赋分后, 计算每个物种的总分; 然后把收集的外来物种根据已有研究划分为已知入侵种和待风险评估种 (或非入侵种); 最后根据入侵种判别准确率、非入侵种判别准确率、总判别准确率和可靠性指数等指标对该系统进行可靠性分析。

入侵种判别准确率 = 被评估系统成功判别为入侵种的数目 / 入侵种的总数 $\times 100\%$

非入侵种判别准确率 = 被评估系统成功判别为非入侵种的数目 / 非入侵种的总数 $\times 100\%$

总判别准确率 = (被评估系统成功判别为入侵种的数目 + 被成功判别为非入侵种的数目) / (入侵种的总数 + 非入侵种的总数) $\times 100\%$

可靠性指数 = (被评估系统成功判别为入侵种的数目 / 入侵种的总数) / (误判为入侵种的非入侵种数目 / 非入侵种的总数)

当“可靠性指数”等于 1 时, 表明该系统的准确率为 50%, 该指数越大, 准确率越高。

1) 评估系统的指标选择和评分表

依据国内外对外来杂草入侵风险评估的研究, 初步选择了 6 个评估指标 (表 1-4): 来源地、在中国的分布区、在中国的分布生境、生活型、繁殖方式及系统分类地位。依据该评分表对收集的外来陆生草本植物赋分后, 计算每个物种的总分。

表 1-4 中国外来陆生草本植物风险评估指标

指标		等级划分和评分			
来源地	美洲	欧洲	非洲	亚洲	大洋洲
评分	5	4	3	1	0
在中国的分布区	区 I	区 II	区 III	区 IV	
评分	5	3	2	1	

续表

指标		等级划分和评分			
在中国的分布生境		高养分、高干扰	低养分、高干扰	高养分、低干扰	其他
评分		5	3	2	0
生活型		一年生	多年生	二年生	其他
评分		5	3	2	0
繁殖方式		无性+种子	无性	有性	
评分		5	3	2	
系统分类地位		菊科	禾本科	A	B 其他
评分		4	3	2	1 0

注：(1) 中国分布区。区Ⅰ，南亚热带-热带区：福建、广东、广西、海南、云南、台湾、香港、澳门；区Ⅱ，亚热带区：上海、浙江、江苏、安徽、湖北、江西、湖南、重庆、贵州、陕西、四川；区Ⅲ，温带湿润区：河南、山东、北京、河北、山西、辽宁、天津、吉林、黑龙江、宁夏；区Ⅳ，旱-寒区：西藏、内蒙古、新疆、青海、甘肃。

(2) 系统分类地位中，A 为十字花科、豆科、茄科 (Solanaceae)、苋科 (Amaranthaceae)、旋花科 (Convolvulaceae)；B 为玄参科 (Scrophulariaceae)、夹竹桃科 (Apocynaceae)、唇形科 (Labiatae)

2) 指标收集情况

在拟定的 6 个风险评估指标中，收集较全的是外来物种的分类地位 (科) (100%)、来源地 (97.3%)、繁殖方式 (92.3%) 和生活型 (91.7%) (表 1-5)。但是外来物种在中国的分布区和在中国的分布生境这 2 个指标的收集较差，有一半左右的物种无此信息。

表 1-5 陆生外来草本植物指标收集情况

指标	外来待评估物种		已知外来入侵物种		合计	
	物种数	占物种总数的比例/%	物种数	占物种总数的比例/%	物种数	占物种总数的比例/%
分类地位(科)	569	100.0	235	100.0	804	100.0
来源地	548	96.3	234	99.6	782	97.3
繁殖方式	507	89.1	235	100.0	742	92.3
生活型	502	88.2	235	100.0	737	91.7
在中国的分布	293	51.5	216	91.9	509	63.3
在中国的分布生境	195	34.3	232	98.7	427	53.1

在已知外来入侵物种中，6 个指标均有的物种占 91.1%；有 5 个指标的占 8.1%；还有 0.9% 的物种收集到 4 个指标 (表 1-6)。外来待评估物种的情况是：约有一半的物种收集到 4 个指标；约 1/4 的物种收集到 5 个指标；收集齐 6 个指标的物种占 19.9%。收集指标少于 4 个的物种占 4.7% (表 1-6)。

表 1-6 陆生外来草本植物风险评估 6 指标完整程度表

指标数/个	外来待评估物种		已知外来入侵物种	
	物种数	占物种总数的 比例/%	物种数	占物种总数的 比例/%
6	113	19.9	214	91.1
5	139	24.4	19	8.1
4	290	51.0	2	0.9
3	27	4.7	0	0
合计	569	100.0	235	100.0

2. 全国外来陆生草本植物风险评估

已知外来入侵物种的平均得分为 20.7 (± 0.2), 外来待评估物种的平均得分为 13.5 (± 4.0)。以 20 和 17 为划分标准, 对外来待评估草本植物的风险等级作表 1-7 中的划分。

表 1-7 陆生外来草本植物风险评估得分统计表

	外来待评估物种	已知外来入侵物种
平均值	13.5(± 4.0)	20.7(± 0.2)
最大值	26	29
最小值	4	10

该风险评估系统对已确定的外来入侵物种的评估准确率达到 68.9%; 对外来待评估物种的评估准确率为 76.4%。据此, 待评估物种中有 51 种 (总数的 9.0%) 为高入侵风险物种 (表 1-8), 但是其中约有 23% 的误判概率, 须根据情况进行剔除 (如向日葵)。

表 1-8 陆生外来草本植物风险等级分布表

风险等级	评分等级	外来待评估物种		已知外来入侵物种	
		物种数	占物种总数的 比例/%	物种数	占物种总数的 比例/%
高	$S \geq 20$	51	9.0	162	68.9
中	$20 > S \geq 17$	83	14.6	51	21.7
低	$S < 17$	435	76.4	22	9.4
合计		569	100.0	235	100.0

注: 对已知外来入侵物种的判别准确率: $A_i = 162/235 = 68.9\%$

对外来待评估物种的判别准确率: $A_n = 435/569 = 76.4\%$

总的判别准确率: $A_o = (162 + 435)/(235 + 569) = 74.3\%$

可靠性: $LR = 68.9/9.0 = 7.7$

综上所述, 在 804 种外来陆生草本植物中, 高入侵风险物种有 213 种, 占陆生草本植物总种数的 26.5%; 中入侵风险的物种有 134 种, 占 16.7%; 低入侵风险物种有 457 种, 占 56.8%。该预测系统的总的预测准确率 $A_o = 74.3\%$, 可靠性指数 $LR = 7.7$ 。

(潘晓云, 杨博, 李博)