

DOI: 10.5846/stxb201504060690

陈宝明, 彭少麟, 吴秀平, 王鹏龙, 马建霞. 近 20 年外来生物入侵危害与风险评估研究的文献计量分析. 生态学报, 2016, 36(10): - .
Chen B M, Peng S L, Wu X P, Wang P L, Ma J X. A bibliometric analysis of researches on topics related to the ecological damage caused by and risk assessments of exotic invasive species from 1995 to 2014. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(10): - .

近 20 年外来生物入侵危害与风险评估研究的文献计量分析

陈宝明¹, 彭少麟^{1,*}, 吴秀平², 王鹏龙², 马建霞²

¹ 中山大学生命科学大学院, 有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275

² 中国科学院兰州文献情报中心, 兰州 730000

摘要: 外来生物入侵导致全球生物多样性下降, 极大地威胁着生态系统健康, 已造成很大的生态损失与经济损失。近年来, 随着生物入侵的加剧, 全球对生物入侵的研究力度不断加大。外来入侵生物的生态危害与风险评估可以为人们提供对入侵可能性和入侵方式更直接的信息, 从而为管理者制定管理策略提供依据。本文基于最近 20 年间 (1995—2014 年) 科学文献数据库 Web of Science 的科学引文索引数据库扩展版 (SCI-E) 中数据, 对外来入侵生物的生态危害与风险评估方面的研究进行了文献计量分析, 旨在了解当前国际研究现状, 以便推动中国的生物入侵相关研究。为了全面掌握全球外来生物入侵生态危害与风险评估方面的研究, 采用 Bibexcel 与 TDA 文献计量工具, 对 Web of Science 数据库中相关文献进行了分析, 去重后共获取 5492 篇文献。结果表明: 近 20 年 (1995—2014 年) 入侵生物的生态危害与风险评估方面的研究刊文量呈现前缓后剧增的趋势, 2008—2014 年进入了快速发展阶段, 文献数量急剧增加, 2014 年达到最高 (511 篇); 美国发文量远超其它国家, 占据主导地位, 中国刊文量排名第 5。美国、澳大利亚、法国、英国、德国的研究论文影响力较大。刊文量最多的研究机构为美国农业部 (USDA), 中国科学院发文量排名第 10 位。研究学科主要为昆虫学、农艺学、植物科学、生态学, 研究热点集中在生物防治、风险评估、粮食作物和经济作物的病虫害防治、杂草防控, 以及生物入侵与气候变化的关系等方面。有关外来入侵生物的生态危害与风险评估的研究多集中于北美、澳大利亚和欧洲, 未来要加强亚洲地区, 特别是中国外来生物入侵风险评估的研究; 要加强气候变化对外来生物物种特性的影响研究, 更多关注入侵生物的生态控制与生态恢复方面的研究, 以便更好地为今后长期有效地防控入侵生物提供理论与技术指导。

关键词: 生物入侵; 风险评估; 外来生物; 生态危害

A bibliometric analysis of researches on topics related to the ecological damage caused by and risk assessments of exotic invasive species from 1995 to 2014

CHEN Baoming¹, PENG Shaolin^{1,*}, WU Xiuping², WANG Penglong², MA Jianxia²

¹ State Key Laboratory of Biocontrol, School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

² Lanzhou Library of Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Biological invasions are one of the major threats to the functioning of local ecosystems and global biodiversity, and thus have become a prime focus of scientific attention over the past several decades. To better understand the research that has been carried out, we searched the Web of Science database for publications pertaining to ecological damage caused by and risk assessments of exotic invasive species between the years 1995 and 2014. We then used Bibexcel and the Thomson Data Analyzer to examine such aspects as the annual number of publications, journal of publication, institutional

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31030015, 31070481, 71373260); 中国科学院西部之光博士项目 (Y300021001); 广东省自然科学基金项目 (S2013010012346)

收稿日期: 2015-04-06; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lsspsl@mail.sysu.edu.cn

affiliations, study subjects and the frequency of key words. We found that the number of publications increased annually from 1995 to 2014, reaching 511 publications in 2014; notably, there appeared to be a rapid increase from 2008 to 2014. Publications derived primarily from North America, Australia and Europe, with the USA the most dominant individual country and China ranking 5th, and papers published by authors in the USA, Australia, France, the UK, and Germany proved to have greater impact based on the analysis of citations. The US Department of Agriculture published the most papers, with the Chinese Academy of Sciences ranking 10th. Papers published by researchers in the fields of entomology, agronomy, plant sciences, and ecology focused primarily on topics related to biological control, risk assessment, weed control, and pest control in agricultural production, followed by biological invasion and climate change. Based on these results, it is clear that more studies should be carried out in Asia, and particularly in China. In addition, the effects of climate change on traits of invasive species, along with research on ecological control of invasive species and ecosystem restoration, should be given more attention in the future.

Key Words: biological invasions; exotic/alien species; risk assessment; ecological damage

外来生物入侵被认为是导致全球生物多样性下降的第二大因素^[1],严重威胁着生态系统健康^[2-4],已带来重大经济损失^[5]。生态系统受人类干扰后的抗入侵能力弱,入侵种扩散和暴发日趋严重^[6],外来生物入侵极大地破坏了原有生态系统的完整性;此外,全球化进程使得众多新的外来种传入速度进一步加快^[7],外来入侵生物正在以史无前例的速度扩张^[8],新的生态危害与生物入侵风险不断加大。如何判断外来生物的入侵力及入侵风险,对外来生物的入侵性进行预测已成为入侵生态学研究的重点之一^[9-12]。

近年来,中国生物入侵方面的研究越来越多,发文量也逐年上升。贺萍等对 1991—2006 年之间生物入侵的相关文献进行了计量研究,结果表明,美国发文量遥遥领先其它国家,中国位居第 9^[13];对 1998—2007 年间林业外来有害生物研究的相关文献进行了分析,发现发文量位居前 5 的依次为美国、澳大利亚、新西兰、加拿大和法国,中国位居第 8 位,高被引论文的前 5 位作者的文章被引次数超过 100 次,而中国作者发表的文章被引次数最高为 16 次^[14]。2013 年,朱方和杜道林分析了近 10 年(2003—2012 年)生物入侵风险评估研究,但没有进行研究领域及关键词的分析^[15]。

预测外来物种是否会发生入侵已经成为生态学研究的一个重要目标^[9,16]。外来生物入侵的生态危害与风险评估可以为人们提供对入侵可能性和入侵方式更直接的信息,从而为管理者制定管理策略提供依据。为了全面了解全球外来生物入侵生态危害与风险评估方面的研究,本文基于最近 20 年间(1995—2014 年)科学文献数据库 Web of Science 的科学引文索引数据库扩展版(SCI-E)中数据,对外来入侵生物的生态危害与风险评估方面的研究进行了文献计量分析,旨在了解当前国际研究现状,以便推动中国的生物入侵相关研究。

1 文献检索与分析方法

报告以科学文献数据库 Web of Science 的科学引文索引数据库扩展版(SCI-E)作为数据源,采用积木型策略,将检索需求分解成外来入侵物种的“生态危害”和“风险评估”两个主题概念,对每个主题概念列举相关关键词,以“或”的方式连接成子检索式,然后再以“和”的方式将两个子检索式连接起来,构成一个总检索式。检索式 1:ts=((“invasive species” or “exotic/alien/nonnative/ nonin -digenous/ introduced species” or “pest” or “weed”) and (harmful or harm or “damage”)) and dt=article and py=1995—2014;检索式 2:ts=((“invasive species” or “exotic/alien/nonnative/ nonin -digenous/ introduced species” or “pest” or “weed”) and ((“harmful” or “damage” or harm) and (“biodiversity” or “genetic erosion” or “ecosystem function” or “ecological process” or “gene introgression”))) and dt=article and py=1995—2014;检索式 3:tS=(“invasive species” or exotic/alien/nonnative/ nonindigenous/ introduced species or pest or weed) and ts=(“risk assessment” or “risk ranking” or “ecological niche model” or “invasiveness”) and dt=article and py=1995—

2014。综合检索式:1 OR 2 OR 3,检索时间范围 1995—2014 年,去除重复记录,删除了与所检索主题不相关的学科噪点(如“Neurosciences, Medicine research experimental, Business, Chemistry medicine, Pharmacology pharmacy”等),共得到文献 5492 条。

采用 Bibexcel 与 TDA 分析工具,结合文章主题构建检索式——检索获得相关文献信息——下载信息——进行数据清理与分析(主要是机构、作者、关键词的同义归并等)。Bibexcel 是瑞典科学家佩尔松(Persson)开发的文献计量学研究软件,用于帮助用户分析文献数据或者是文本类型格式的数据,实现引文分析。Thomson Data Analyzer(以下简称 TDA)是美国 Thomson 公司开发的专利分析工具,对专利数据进行深度挖掘并展开可视化分析。

2 结果与分析

2.1 刊文总体情况

2.1.1 刊文量变化

文献数量的年代分布可以从整体反映研究的态势和趋势。图 1 结果显示,近 20 年文献数量整体呈增长趋势。2001 年以前,外来生物入侵的生态危害和风险评估方面的研究处于萌芽阶段,发文量总体呈现稳定变化;2002—2007 年,文献数量逐渐增加,对此方向研究逐渐引起学术界关注,处于起步阶段;2008—2014 年,研究进入了快速发展阶段,文献数量急剧增加,年发文量在 2014 年达到最高点的 511 篇,并逐渐趋于稳定。

2.1.2 刊文期刊分析

学术期刊是研究成果发表的有效途径,通过对某领域研究论文所在期刊的分布进行分析可以确定该领域的核心期刊,为读者提供相关指导,指导作者投稿,并为该领域研究者对该领域相关文献的搜集和管理提供一定的依据^[17]。

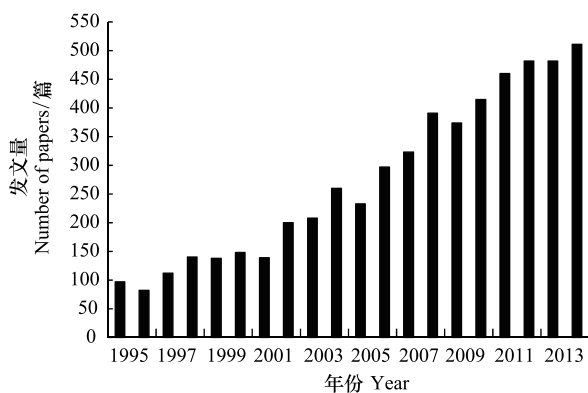


图 1 Web of Science 数据库 1995—2014 年间外来生物入侵的生态危害和风险评估方面发文量

Fig. 1 The published papers of ecological damage and risk assessment of exotic invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

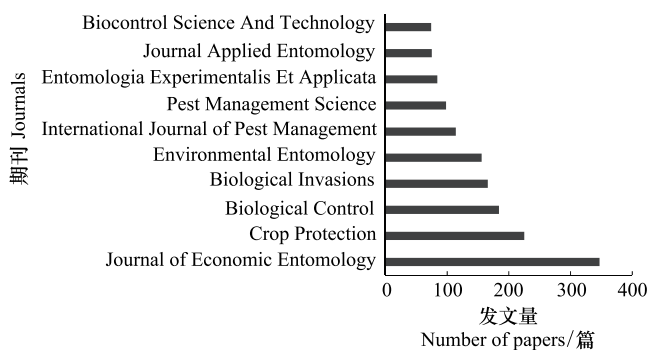


图 2 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面发文的 TOP10 期刊的刊文量

Fig. 2 The top 10 journals for published papers of ecological damage and risk assessment of exotic invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

1995—2014 年,外来入侵物种的生态危害与风险评估的论文发表的 TOP10 的期刊依次为:Journal of Economic Entomology、Crop Protection、Biological Control、Biological Invasions、Environmental Entomology、International Journal of Pest Management、Pest Management Science、Entomologia Experimentalis Et Applicata、Journal Applied Entomology、Biocontrol Science and Technology。其中 Journal of Economic Entomology 是刊文量最多的期刊,其刊文量占 TOP10 刊文总量的 27.7%。

2.2 研究力量分析

2.2.1 国家研究力量分析

表 1 结果表明,1995—2014 年发文量前 10 的国家从高到低依次为:美国、澳大利亚、巴西、加拿大、中国、英国、法国、印度、西班牙、德国。美国发文量远超其它国家,其发文量占了 TOP10 国家总发文量的 72%,美国在此研究方向中占据主导地位。在该方向的研究上,美国、英国、加拿大、法国的研究起步最早,巴西、中国和印度在该方面研究起步比较晚。美国的总被引频次最大,为 23481 次,其次是法国。篇均被引频次最高的国家是法国,而美国高被引论文(被引频次 ≥ 10)数量最多,达 789 篇;英国、法国和德国的高被引论文比例均在 40%以上,显示出较高的研究水。中国发文量排名第 5 位,总被引频次、篇均被引频次、高被引论文数相对较小,但高被引论文比例相对好一些。

综合总被引频次、篇均被引频次和高被引论文等指标来看,美国、澳大利亚、法国、英国、德国的研究论文影响力较大。

表 1 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面发文的 TOP10 国家的发文影响力

Table 1 The top 10 countries in the influence of study on ecological damage and risk assessment of invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

国家 Countries	发文量 Papers	总被引次数 Total citations	篇均被引次数 Average citations per paper	被引次数 ≥ 10 的论文 Papers with citation over 10	被引次数 ≥ 10 的论文占比 Percentage rate of the papers with citations over 10
USA	1753	23481	13.39	674	38%
Australia	378	4075	10.78	144	38%
Brazil	333	2072	6.22	55	17%
Canada	319	1842	5.77	24	8%
P. R. China	290	2323	8.01	71	24%
England	262	3540	13.51	151	58%
France	212	4210	19.86	87	41%
India	211	1203	5.70	38	18%
Spain	208	2774	13.34	26	13%
Germany	205	2521	12.30	85	41%

2.2.2 机构研究力量分析

按照全部作者统计,1995—2014 年发文量 TOP10 的机构中,美国机构有 5 家,占了 TOP 机构总发文量的 68%;美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)、加利福尼亚大学(University of California)、佛罗里达大学(University of Florida)和澳大利亚联邦科学与工业研究组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)研究力量较强;中国科学院(Chinese Academy of Sciences)排名第 10(图 3)。美国农业部的发文主要集中在农业研究局、动植物检疫处、森林服务与森林健康保护部门;美国加州大学(加利福尼亚大学)的发文主要来自以戴维斯分校、河滨分校、伯克利分校;中国科学院的发文主要来自动物研究所、植物研究所、昆明植物研究所、水生生物研究所。

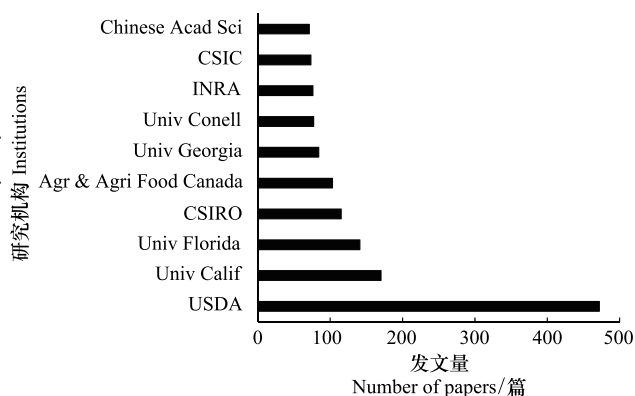


图 3 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面发文的主要机构发文变化

Fig. 3 The top 10 institutions on the study of ecological damage and risk assessment of exotic invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

表 2 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面发文的 TOP10 机构的发文影响力变化

Table 2 The influence of top 10 institutions in the study on ecological damage and risk assessment of exotic invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

研究机构 Institutions	总被引次数 Total citations	篇均被引次数 Average citations per paper	被引次数 ≥ 10 的论文 Papers with citation over 10	被引次数 ≥ 10 的论文占比 Percentage rate of the papers with citations over 10
美国农业部 (United States Department of Agriculture, USDA)	5524	11.7	190	40%
加利福尼亚大学 (University of California)	3251	19.12	85	50%
佛罗里达大学 (University of Florida)	1620	11.49	47	33%
澳大利亚联邦科学与工业研究组织 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)	1545	13.43	56	49%
法国农业科学研究院 (French National Institute for Agricultural Research, INRA)	1331	17.51	33	43%
西班牙国家研究委员会 (Spanish National Research Council, CSIC)	1092	14.96	36	49%
加拿大农业与农产食品部 (Agr. & Agri. Food Canada)	975	9.47	38	37%
中国科学院 (Chinese Academy of Sciences)	776	10.93	22	31%
康奈尔大学 (University of Cornell)	757	9.83	21	27%
乔治亚大学 (University of Georgia)	686	8.17	29	35%

表 2 结果表明,美国农业部的总被引频次最大,为 5524 次,其次加利福尼亚州立大学、佛罗里达大学引频次较大;从篇均被引频次看,加利福尼亚州立大学研究论文平均影响力最大,其次,法国农业研究部、澳大利亚联邦科学与工业研究组织平均影响力亦较大。从被引频次 ≥ 10 的高被引论文量看,美国农业部最多;从高被引论文占比看,加利福尼亚州立大学、澳大利亚联邦科学与工业研究组织、西班牙国家研究协会研究论文水平最高,中国科学院研究论文水平相对较低。综合各指标看,美国农业部、加利福尼亚州立大学机构影响力高于其他机构。

2.2.3 高被引论文分析

表 3 结果表明,有关外来生物入侵的危害与风险评估研究的论文被引次数最多的为 392 次,论文于 1997 发表在 *Conservation Biology* 期刊;其次是被引用 325 次,论文于 2005 年发表在 *Global Change Biology* 期刊。这两篇文章主要是研究外来物种入侵后的风险评估预测。从高被引论文的年代分布可以看到,2000 年以后的发文被引用频次较高,其中 2005 年发文中,采用模型模拟预测外来物种风险评估被引用次数排名第二,这表明采用模型方法应用于外来物种入侵危害研究是最近十年入侵风险评估研究的热点。

2.3 研究热点分析

2.3.1 学科分布

从学科分布角度看,外来入侵物种的生态危害与风险评估研究方向主要涉及昆虫学、农艺学、植物科学、生态学、农学、交叉学科、生物技术与应用、微生物学、生物多样性保护、林学、园艺学、动物学等学科领域;昆虫学、农艺学、植物科学、生态学 4 个学科约占论文总数的 70% (图 4)。

2.3.2 关键词分析

关键词能较好集中反映研究内容,通过分析关键词的变化可以全面把握该学科发展的动态过程、特点和规律。高频关键词与关键词之间的亲疏关系的分析,可以很好地反映出该领域的学科或主体的研究重点与研究热点,以及未来的发展趋势。去除不具有揭示主题意义的词,出现频次前 15 的关键词依次为:生物防治

(Biological control)、风险评估(Risk assessment)、玉米(Maize)、种群动态(Population dynamic)、大米(Rice)、植物抵抗力或抗性(Plant resistance)、杂草控制(Weed control)、害虫控制(Pest control)、天敌(Natural enemies)、棉花(Cotton)、小麦(Wheat)、苏云金芽胞杆菌(*Thuringiensis*)、竞争(Competition)、气候变化(Climate change)、鳞翅类(Lepidoptera)、甲虫类(Coleoptera)(图5)。

表3 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面 TOP10 被引论文

Table 3 The influence of top 10 cited paper in the study on ecological damage and risk assessment of exotic invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

文章题目 Titles	文章来源 Publications	被引次数 Citations
Predicting invasions of woody plants introduced into North America	Conserv. Biol., 1997, 11(1):193-203	392
Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale	Glob. Change Biol., 2005, 11 (12): 2234-2250	325
History, current status, and collaborative research projects for <i>Bemisia tabaci</i>	Crop Prot., 2001, 20(9):709-723	256
Why alien invaders succeed: Support for the escape-from-enemy hypothesis	Am. Nat., 2002, 160(6):705-711	253
Invasion success of exotic in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores	Biol. Conserv., 2004, 117(2):215-226	244
An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species	Proc. R. Soc. B-Biol. Sci., 2002, 269 (1508):2407-2413	234
Effects of transgenic <i>Bacillus thuringiensis</i> corn-fed prey on mortality and development time of immature <i>Chrysoperla carnea</i> (Neuroptera : Chrysopidae)	Environ. Entomol., 1998, 27(2):480-487	230
Potential uses and limitations of crop models	Agron. J., 1996, 88(5):704-716	217
Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes	Mar. Pollut. Bull., 2002, 44(1):32-38	213
Forest response to the introduced hemlock woolly adelgid in southern New England, USA	J. Torrey Bot. Soc., 1998, 125(1):60-73	205

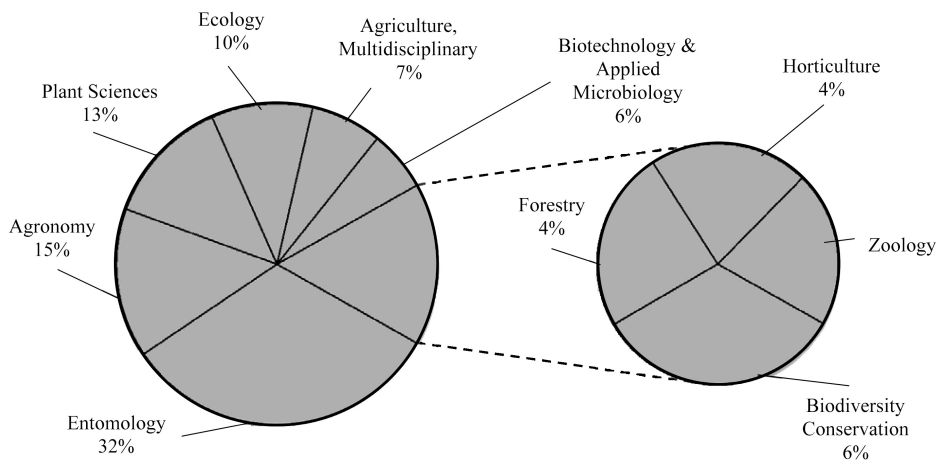


图4 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面发文的主要学科领域论文比重

Fig. 4 The proportion of the subjects related to ecological damage and risk assessment of exotic invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

3 讨论

自 1958 年 Elton 出版有关外来入侵生物的专著^[18]出版以来,入侵生物学得到了全世界广泛关注。外来生物入侵的研究主要集中以下四个方面:入侵过程(包括引入、繁殖、定居、扩散等),入侵机制(包括外来物种的入侵性,生境可入侵性,入侵的抵抗力,以及空生态位、天敌逃逸、新奇武器、资源波动等入侵假说),生态影响或生态效应(包括对生态系统物种组成结构、生态系统功能及生态过程等的影响,其中包括本文涉及的生

态危害),以及入侵生物的防控(包括人工清除、化学防治、生物防治、生态控制等)与管理(包括检验检疫、风险评估、预防预警等)。虽然以上 4 个方面有相对的独立性,但它们在许多方面是相互交叉重叠的。比如,风险评估中包括外来物种的特性研究,虽然物种特性的许多研究都属于入侵机制的研究范畴,但能否通过一系列物种特性来预测外来种的入侵力成为入侵生态学的一个中心主题^[19]。本文主要针对生态危害与风险评估方面的研究进行计量分析,其它方面的研究将在后期陆续分析。近 20 年的刊文量结果表明,外来入侵生物的生态危害与风险评估方面的研究在 2001 年以后出现快速增长,发文量从(1995—2001 年间)年均 120 篇增加到 2002 年的 200 篇,增幅达 67%。一方面,这与上世纪 90 年代末实施的全球入侵物种计划(The Global Invasive Species Programme, GISP)对入侵生物研究的推动作用有关;另一方面,与两个入侵生物有关的专业期刊

(1998 年创刊的 *Diversity and Distributions* 与 1999 年创刊的 *Biological Invasions*) 的创刊密不可分。有研究表明,近 10 年生物入侵风险评估研究成果在 *Biological Invasions* 与 *Diversity and Distributions* 的发文量排在发文量前 10 的期刊前列,分别位列第 1 与第 3^[15]。贺萍等(2009)分析了 1991—2006 年间生物入侵研究的发文刊物,其中 *Cancer Research* 的刊文量排名第 3, *Clinical Cancer Research* 的刊文量排名第 7^[13],这可能与作者没有排除医学方面的论文有关,因为 invasion 一词在肿瘤学中出现的频率很高,主要是指肿瘤的侵入或侵袭,而并非生态学或农林学科所指的外来生物入侵的范畴,并且医学方面与 invasion 一词有关的研究发文量很大。本研究综合生态危害与风险评估两个方面的文献分析,结果发现 *Biological Invasions* 的发文量位列第 3,而 *Diversity and Distributions* 的发文量跌出前 10,排在 *Weed Science*, *Weed Research*, *Forest Ecology And Management* 等刊物之后,位列第 18。自 1999 年 *Biological Invasions* 创刊至 2014 年,我国大陆为第一作者单位或通讯作者单位在生物入侵专业期刊 *Biological Invasions* 上共发表生物入侵的研究论文有 49 篇,其中复旦大学 8 篇,中山大学 8 篇,中国科学院植物研究所 7 篇。

美国在入侵生物的生态危害与风险评估方面的研究中占据主导地位,其次是澳大利亚。这与 1990—2006 年间入侵生物全部研究分析的排名有所不同,美国依然是第一,日本、德国、法国依次排在其后^[13];近 10 年文献计量分析表明,澳大利亚关于生物入侵风险评估的研究发文量全球排名第二^[15],这是本文分析结果中澳大利亚排名第二的主要原因。综合论文引用指标来看,美国、英国、澳大利亚、法国、德国的研究论文影响力较大,中国的研究论文影响力较弱。综合各指标看,美国农业部、加州大学、澳大利亚联邦科学与工业研究组织、西班牙国家研究协会研究论文水平最高机构影响力高。文献计量分析中进行刊文机构分析时,美国农业部(USDA)、澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)、法国农业科学研究院(INRA),西班牙国家研究委员会(CSIC)以及中国科学院(CAS)等大型组织机构是统计来源的主体,本文刊文量分析时考虑到文章体量,将加州大学 UC 系统的 10 个分校合在一起统计,以便比较大型高校团体与国家科研机构的研究影响力,结果发现加州大学篇均被引次数与被引次数 ≥ 10 的论文占比排名第一,论文影响力最大。

外来入侵物种的生态危害与风险评估研究方向涉及昆虫学、农学、植物科学、生态学、农学、交叉学科、生物技术与应用、微生物学、生物多样性保护、林学、园艺学、动物学等学科领域。1990—2006 年间入侵生物全部研究分析结果中生态学发文量最多,其次为肿瘤学、生化与分子生物学,生态学位列第 4^[13]。本文结果表明,外来入侵生物的生态危害与风险评估研究刊文量学科以昆虫学最多,其次是农学、植物科学,生态学排名

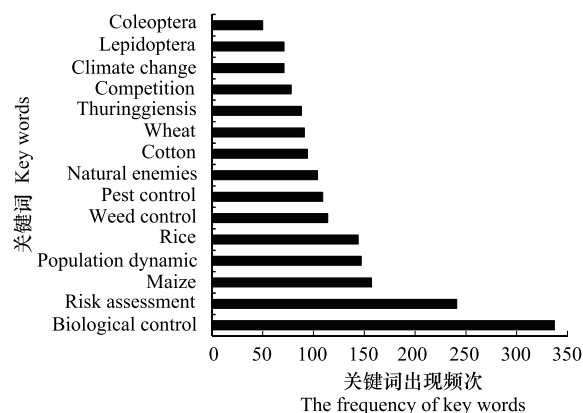


图 5 Web of Science 数据库 1995—2014 年间关于外来生物入侵的生态危害和风险评估方面关键词出现频次

Fig. 5 The frequency of the key words related to ecological damage and risk assessment of invasive species based on the Web of Science during 1995—2014

第4(表3,图5);研究热点集中在生物防治、风险评估、粮食作物和经济作物的病虫害防治、杂草防控,以及生物入侵与气候变化的关系等方面。

4 研究展望

外来生物的生态危害与入侵风险评估作为入侵生态学研究的重点之一,我国目前在研究排名前10的国家中研究影响力较弱,研究质量有待提高。郑景明等(2008)综述了木本植物入侵的生态预测和生态风险评价方面的国内外相关研究进展,建议逐步建立我国的入侵风险评价系统^[20]。中国具有全世界最多的陆地生物群系,同时具有非常宽广的地理与气候梯度,因而非常容易遭受外来生物的入侵。近年来,中国的外来生物入侵问题已引起全球的广泛关注^[21,22],该区的生物入侵生态危害与风险评估不仅是实践上迫切需要解决的问题,同时也将促进入侵生态学学科的发展。

以往的入侵风险评估研究多集中于北美、澳大利亚和欧洲,在亚洲特别是中国进行的相关研究相对匮乏^[12,23]。另外,澳大利亚杂草风险评估体系(WRA)^[24]、美国政府发布的生态风险评估体系(National Research Council 2002)属于半定量的评估,这些基于专家诊断的问卷系统存在一定程度的主观性,可能增加预测外来物种入侵的不确定性^[25]。Chen et al. (2015)基于我国150种入侵植物与87种非入侵草本植物的生物地理分布与生活史特性进行了入侵植物风险评估模型的研究,发现多重累计回归树(multiple additive regression tree, MART)与随机森林(Random forest, RF)都能很好地评估入侵风险^[12]。未来应强化利用非线性机器学习算法,例如分类与回归树(CART)、随机森林(Random forest)、支持向量机(SVM)等,以便更好地对大数据进行快速分析预测。

加强未来气候变化对外来生物物种特性的影响。现有的外来入侵物种的生态危害与风险评估体系大多建立在入侵生物的物种特性基础。而已有的大量研究表明,随着外界气候的快速变化,外来物种的很多物种特性会表现出明显的变化(表型可塑性),甚至出现快速的进化适应。因此,将物种特性对气候变化因子的响应整合到现有的风险评估体系,可能是对未来生物入侵风险进行预测的一个方向。

目前,更多的入侵生物的研究集中在入侵机制方面,有关入侵生物防控的研究相对较少,除了生物防治外,其它防控技术及入侵生物管理的研究较少,尤其是生态控制或采用生态恢复控制入侵生物方面的研究更少。2009年Science发表了“生物入侵与生态恢复”的专栏,认为面对生物入侵的威胁,生态恢复的管理充满挑战^[26]。近年来,通过生态恢复来控制外来入侵生物危害的生态控制逐渐引起了人们的关注^[27-29]。生态控制是利用生态学和恢复生态学原理,通过群落改造以及外来入侵植物与各环境因子间的关系来防控外来入侵植物的方法,它从生态系统的总体功能出发,在充分了解生态系统的结构、功能、演替规律及生态系统与周围环境(生物环境、非生物环境)的基础上,对生态系统进行改造,以期控制甚至清除外来入侵植物^[30]。近期,我国关于入侵生物生态控制的研究表明,群落生境(如光照)的构建及植物替代可以作为防控入侵植物的有效措施,未来可加强这方面的研究^[31,32]。除了继续加强外来生物入侵机制与过程的研究,入侵物种生物特性及入侵物种生物防治等研究外,今后急需加强有关入侵生物的生态控制、生态恢复、预防预警等方面的研究,以便更好地为今后长期有效地防控入侵生物提供理论与技术指导。

参考文献(References):

- [1] Runyon J B, Butler J L, Friggens M M, Meyer S E, Sing S E. Invasive species and climate change // Finch D M. Climate Change in Grasslands, Shrublands and Deserts of the Interior American West: A Review and Needs Assessment. USDA Forest Service RMRS-GTR-285, Fort Collins, CO.; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2012: 97-115.
- [2] D'Antonio C M, Jackson N E, Horvitz C C, Hedberg R. Invasive plants in wildland ecosystems: merging the study of invasion processes with management needs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, 2(10): 513-521.
- [3] Ehrenfeld J G. Ecosystem consequences of biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2010, 41: 59-80.
- [4] Vilà M, Espinar J L, Hejda M, Hulme P E, Jarošík V, Maron J L, Pergl J, Schaffner U, Sun Y, Pyšek P. Ecological impacts of invasive alien

- plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 2011, 14(7): 702-708.
- [5] Pimentel D, Lach L, Zuniga R, Morrison D. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *Bioscience*, 2000, 50(1): 53-65.
- [6] Pyšek P, Hulme P E. Biological invasions in Europe 50 years after Elton: time to sound the alarm // Richardson D M. *Fifty Years of Invasion Ecology: the Legacy of Charles Elton*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2010.
- [7] Weber E, Li B. Plant invasions in China: what is to be expected in the wake of economic development?. *Bioscience*, 2008, 58(5): 437-444.
- [8] Catford J A, Vesk P A, Richardson D M, Pyšek P. Quantifying levels of biological invasion: towards the objective classification of invaded and invulnerable ecosystems. *Global Change Biology*, 2012, 18(1): 44-62.
- [9] Daehler C C, Carino D A. Predicting invasive plants: prospects for a general screening system based on current regional models. *Biological Invasions*, 2000, 2(2): 93-102.
- [10] Pyšek P, Kivánek M, Jarošík V. Planting intensity, residence time, and species traits determine invasion success of alien woody species. *Ecology*, 2009, 90(10): 2734-2744.
- [11] Benke K K, Steel J L, Weiss J E. Risk assessment models for invasive species: uncertainty in rankings from multi-criteria analysis. *Biological Invasions*, 2011, 13(1): 239-253.
- [12] Chen L Y, Peng S L, Yang B. Predicting alien herb invasion with machine learning models: biogeographical and life-history traits both matter. *Biological Invasions*, 2015, 17(7): 2187-2198.
- [13] 贺萍, 路文如, 骆有庆. 生物入侵文献计量分析. *北京林业大学学报*, 2009, 31(3): 77-83.
- [14] 贺萍, 骆有庆, 路文如. 全球林业外来有害生物研究的文献计量分析. *北京林业大学学报*, 2009, 31(6): 77-85.
- [15] 朱方, 杜道林. 基于文献分析的生物入侵风险评估研究. *广东农业科学*, 2013, 40(22): 177-182.
- [16] Rejmánek M, Richardson D M. What attributes make some plant species more invasive. *Ecology*, 1996, 77(6): 1655-1661.
- [17] 邱均平, 王明芝. 1999—2008 年国内数字图书馆研究论文的计量分析. *情报杂志*, 2010, 29(2): 1-5.
- [18] Elton C S. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. London: Methuen, 1958.
- [19] Richardson D M, Pyšek P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. *Progress in Physical Geography*, 2006, 30(3): 409-431.
- [20] 郑景明, 李俊清, 孙启祥, 周金星. 外来木本植物入侵的生态预测与风险评价综述. *生态学报*, 2008, 28(11): 5549-5560.
- [21] Liu J, Dong M, Miao S L, Li Z Y, Song M H, Wang R Q. Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin. *Biological Invasions*, 2006, 8(7): 1461-1470.
- [22] Weber J, Dane Panetta F, Virtue J, Pheloung P. An analysis of assessment outcomes from eight years' operation of the Australian border weed risk assessment system. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(2): 798-807.
- [23] Ou J, Lu C Y, O'Toole D K. A risk assessment system for alien plant bio-invasion in Xiamen, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(8): 989-997.
- [24] Pheloung P C, Williams P A, Halloy S R. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management*, 1999, 57(4): 239-251.
- [25] Kolar C S, Lodge D M. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science*, 2002, 298(5596): 1233-1236.
- [26] Norton D A. Species invasions and the limits to restoration: learning from the New Zealand experience. *Science*, 2009, 325(5940): 569-571.
- [27] Kettenring K M, Adams C R. Lessons learned from invasive plant control experiments: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(4): 970-979.
- [28] Cutting K J, Hough-Goldstein J. Integration of biological control and native seeding to restore invaded plant communities. *Restoration Ecology*, 2013, 21(5): 648-655.
- [29] Seastedt T R. Biological control of invasive plant species: a reassessment for the Anthropocene. *New Phytologist*, 2015, 205(2): 490-502.
- [30] D'Antonio C, Meyerson L A. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology*, 2002, 10(4): 703-713.
- [31] Chen L Y, Peng S L, Li J, Lin Z G, Zeng Y. Competitive control of an exotic mangrove species: restoration of native mangrove forests by altering light availability. *Restoration Ecology*, 2013, 21(2): 215-223.
- [32] Li W H, Luo J N, Tian X S, Soon Chow W, Sun Z Y, Zhang T J, Peng S L, Peng C L. A new strategy for controlling invasive weeds: selecting valuable native plants to defeat them. *Scientific Reports*, 5: 11004.