

基于文献计量法分析我国生物安全子领域 入侵生物学学科发展现状

赵添羽¹, 黄 聪^{2*}

¹中国生物技术发展中心, 北京 100039; ²中国农业科学院植物保护研究所,
植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193

摘要:【目的】入侵生物学是一门生物安全学领域的新兴学科, 了解我国乃至全球入侵生物学学科发展进程以及现状, 对于全面掌握该学科的全球状况和前沿动态, 以及国家在该领域的科学能力和影响力等具有重要意义。【方法】本文利用“biological invasion”“invasion biology”“invasion ecology”“invasive alien species”“alien species”“exotic alien species”“exotic species”“non-indigenous species”“non-native species”和“invasiveness”等 10 个关键词检索 Web of Science 和中国知网等数据库以获得入侵生物学相关论文和著作等科学成果, 通过文献计量法分析、归纳和总结科学产出的各项属性特征。【结果】截止目前(1950—2024 年)全球共发表了 117575 篇中英文论文(若通过物种名称进行检索, 实际数量将远超该数), 出版了 389 部专著, 提出了 45 个生物入侵相关的假说, 完成了 1463 个外来入侵物种基因组测序和组装工作; 我国入侵生物学研究起步较晚, 但经过二十多年的发展, 在论文产出量、Top 期刊刊文量、专著数量、领军人物和前沿技术研究等方面已位居世界前列, 然而与领先国家相比还存在一定差距, 如缺乏具有国际影响力的专业性期刊, Top 期刊论文被引频次、假说数量、国际合作发表论文数量分别占全球领先国家的 30.0%、16.7%、29.9%, 是今后需重点发展的方向。【结论】本研究结果客观地反映了我国入侵生物学学科发展的现状以及在国际上的地位和影响力, 为明确今后科学研究发展方向提供了理论依据。

关键词: 入侵生物学; 学科发展; 文献计量法; Web of Science; 中国知网



开放科学标识码
(OSID 码)

A bibliometric analysis of the current development status of invasion biology in the biosecurity field in China

ZHAO Tianyu¹, HUANG Cong^{2*}

¹China National Center for Biotechnology Development, Beijing 100039, China; ²State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

Abstract:【Aim】Invasion biology is an emerging discipline in the field of biosecurity. Understanding the development process and current status of invasion biology both in China and globally is of significant importance for comprehensively grasping the global situation and frontiers of this discipline, as well as evaluating the scientific capabilities and influences of countries in this field.【Method】This study used ten keywords ("biological invasion" "invasion biology" "invasion ecology" "invasive alien species" "alien species" "exotic alien species" "exotic species" "non-indigenous species" "non-native species", and "invasiveness") to search the databases such as Web of Science and China National Knowledge Infrastructure (CNKI) to obtain the scientific outputs (including papers and monographs) related to invasion biology. A bibliometric analysis was conducted to summarize and categorize various attributes of the scientific outputs.【Result】The period from 1950 to 2024 witnessed the publishing of a total of 117575 Chinese and English papers and 389 monographs, the proposal of 45 hypotheses related to biological invasions, and the completion of genome sequencing and assembly of 1 463 invasive alien species. Despite a late start in the research on invasion biology, China has made remarkable progress in the past two decades and is now at the forefront of the world in terms of paper output, publications in top journals, number of monographs, leading researchers, and cutting-edge technology. Nevertheless, gaps persist between China and global leaders in this field. For instance, China lacks specialized journals with international influence, and its outputs remain to be im-

收稿日期(Received): 2025-01-12 接受日期(Accepted): 2025-02-10

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(S2023XM27)

作者简介: 赵添羽, 男, 博士, 助理研究员。研究方向: 生物安全、科技计划管理和科技法。E-mail: zhaoty@cncbd.org.cn

* 通信作者(Author for correspondence), 黄聪, E-mail: huangcong@caas.cn

proved. The citations of top-journal articles, hypotheses generated, and internationally co-authored papers from China accounted for only 30.0%, 16.7%, and 29.9%, respectively, of those from leading countries. 【Conclusion】 Filling the gaps should be prioritized for future development. The findings of this study objectively reflect the current research status of invasion biology in China and its international position and influence, providing a theoretical basis for pinpointing the future research directions.

Key words: invasion biology; discipline development; bibliometrics; Web of Science; China National Knowledge Infrastructure (CNKI)

全球经济一体化的飞速发展和气候变化加剧了生物入侵(biological invasion)对人类社会的影响。我国是全球遭受生物入侵威胁和危害最严重的国家之一(陈宝雄等,2020; Wan & Yang, 2016), 外来入侵物种对我国造成的经济损失逾 2000 亿元·年⁻¹。据统计,当前我国已确认的外来入侵物种数已达 668 种,其中近七成为农业外来入侵物种,严重威胁我国农业生产。全球百种最具危害力的入侵物种中,在我国发生或产生危害的高达 82% (洗晓青等,2022)。入侵生物学(invasion biology)作为一门新兴交叉学科,其核心研究内容聚焦于入侵主体机制、受体系统脆弱性、预防与控制技术集成等方面(万方浩等,2011a)。

文献计量法(bibliometrics)以量化模型揭示科技发展规律与趋势,兼具客观性与预测性,已广泛应用于多学科领域(朱亮和孟宪学,2013)。通过对入侵生物学学科相关研究产出进行计量分析和比较,有助于对该学科布局、整体实力和相关优势进行全面和系统的了解。近年来,文献计量法被广泛应用于分析入侵生物学相关研究进展(Campbell & Simberloff, 2022; Dutra Silva *et al.*, 2021; Enders *et al.*, 2019; Muñoz-Mas *et al.*, 2021; Stevenson *et al.*, 2023; Wray *et al.*, 2024),国内科研人员也通过文献计量法分析了我国入侵生物学相关的研究进展(陈宝明等,2016; 贺萍等,2009; 万方浩等,2011b; 万静等,2017; 王聪等,2018; 吴昊,2017; 喻金明和胡淑恒,2022)。然而,这些研究主要集中于比较入侵生物学研究的具体相关内容,鲜有从整个入侵生物学学科层面进行系统和全面的分析。基于此,本文对 Web of Science (WOS) 和中国知网(CNKI) 等数据库中收录的有关入侵生物学相关文献进行计量研究,从学科层面对我国入侵生物学学科的发展现状以及在国际上的地位进行了系统分析,为进一步推动我国入侵生物学学科发展提供了新视野。

1 材料与方法

1.1 文献收集

针对英文文章,以“biological invasion”“inva-

sion biology”“invasion ecology”“invasive alien species”“alien species”“exotic alien species”“exotic species”“non-indigenous species”“non-native species”和“invasiveness”等 10 个关键词,在 Web of Science (WOS) 数据库中进行主题检索,检索年份设置为所有年份,共获得 320152 条检索结果。通过“Refine results”对检索结果进行进一步精炼,具体设置如下:“Document Types”选择 article 和 review article,“Research Areas”选择 environmental sciences ecology、plant sciences、entomology、biodiversity conservation、agriculture 等,排除医学相关的研究领域的检索结果。

针对中文文章,以“生物入侵”“入侵生物学”“入侵生态学”“外来入侵物种”“外来物种”“非本地物种”“入侵性”等 7 个关键词,在 CNKI 数据库中进行主题检索。

针对专著,以“biological invasion”“invasive species”“invasive insect”“invasive plant”“invasive fish”“alien species”和“exotic species”等关键词在 Google Book 和 Worlcat 数据库中进行检索,随后导入 EndNote 软件中进行人工清洗,并通过网络搜索统计作者国家。

针对入侵相关假说,通过“biological invasions hypothesis”“入侵生物学假说”等关键词在 Web of Science、CNKI 等数据库中进行检索,获得相关文章或专著后进行人工统计。

针对基因组测序数据,从 NCBI (National Center for Biotechnology Information) 数据库中检索并导出所有已测序动植物基因组信息,通过与外来入侵物种名单进行比对,提取已测序外来入侵物种的基因组信息,通过基因组数据提交者所属单位确定各个国家完成的外来入侵物种测序的数量。

1.2 数据清洗

将检索获得的结果导入 EndNote 中,进一步进行人工清洗。英文文章清洗方法:利用医学相关关键词对期刊名、文章标题、关键词和摘要等进行检索,删除医学相关的检索结果;中文文章清洗方法,利用“Reference Type”和“Journal”进行筛选,其中参考文献类型选择 Journal Article。

1.3 文献计量法分析

导出在 EndNote 软件中进行人工清洗后的文献,导出格式选择“RefMan (RIS) Export”,输出 RIS 格式的参考文献,利用编写的 perl 脚本和 R 包 Bibliometrix 中的 web 交互 app biblioshiny 对清洗后的中英文文献数据进行分析,获得发文量年际动态、期刊载文量、作者发文数量、国家发文数量、单位/机构发文量、Top 期刊发文量及被引频次、高被引用文献所属国家、国家之间的合作网络等特征属性。利用 VOSviewer (Version 1.6.11) 软件对作者合作网络进行可视化。利用 R 包 wordcloud2 对关键词及其频次进行可视化。利用 R 包 circlize 对国家之间的合作网络进行可视化。

2 结果与分析

2.1 国际入侵生物学学科发展概况

2.1.1 国际论文发表年际变化 利用生物入侵相关的 10 个关键词在 Web of Science 数据库中进行检索(所有年份),共检索到 320152 条记录,经过文献精炼以及人工清洗最终保留 114526 篇与生物入侵相关的文献(1950 年—2024 年 12 月)。通过刊文年际发文量分析,国际入侵生物学学科发展可大

致归为 3 个时期:20 世纪 50—80 年代中期,共发表入侵生物学相关学术论文 5805 篇,为入侵生物学学科发展的萌芽期;20 世纪 80 年代后期—20 世纪 90 年代末期,共发表学术论文 7727 篇,为该学科发展的成长期;21 世纪初至今,共发表学术论文 100994 篇,为该学科发展的快速发展期。

2.1.2 国际论文发表期刊分析 通过对所有期刊(数据来源于 WOS 数据库)发文量进行分析发现,入侵生物学相关领域刊文期刊共计 7044 个,其中,刊文量 Top20 期刊分别是:Biological Invasions、Plos One、Forest Ecology and Management、Biological Conservation、Ecology and Evolution、Hydrobiologia、Ecology、Scientific Reports、Journal of Applied Ecology、Diversity and Distributions、Biological Control、Molecular Ecology、Restoration Ecology、Journal of Economic Entomology、Environmental Entomology、Aquatic Invasions、Ecological Applications、Oecologia、Invasive Plant Science and Management、Bioinvasions Records, 其中,Biological Invasions 期刊发表入侵生物学相关论文 4040 篇,远高于其他杂志(图 1)。

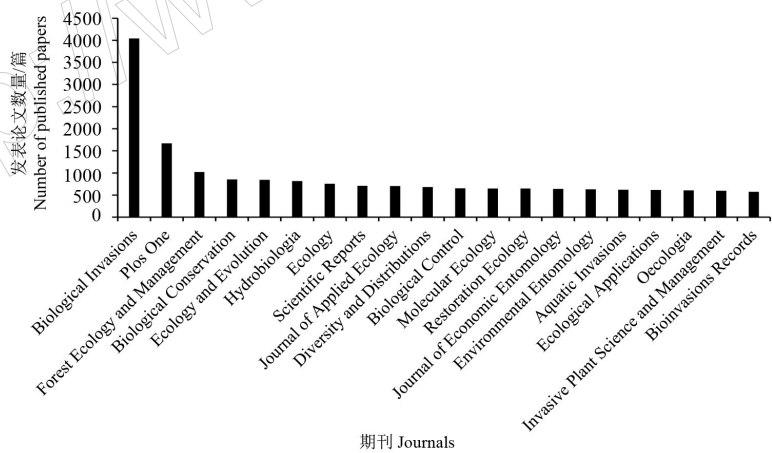


图 1 入侵生物学论文发表 Top20 期刊发文
Fig.1 The top 20 journals for published papers of invasion biology

2.1.3 高频关键词分析 本文提取了所有文献的关键词共计 116583 个,并统计其出现的频次,按照出现频次大小进行排序,选取前 120 个关键词利用 R 软件中的 wordcloud2 包绘制词云图(图 2)。结果表明,当前入侵生物学研究主要集中于外来入侵害虫和植物对生态系统的影响(包括 ecosystem function/management、ecological impact、ecological restoration、function diversity 等)、外来入侵物种的风险

评估(包括 species distribution model/modeling、species distribution、risk analysis/management 等)、外来入侵物种的适应性进化(包括 phenotypic plasticity、rapid evolution、natural selection、adaptive management 等)、外来入侵物种的防治(包括 classical biological control、natural enemies、invasive species management、biocontrol、integrated pest management、pest control 等)、全球变化对生物入侵的影响(包括

究院、中国环境科学研究院、云南省农科院、中国热带农业科学院、上海海关技术中心、广州海关技术中心、南京海关、海口海关等单位承担的项目主要聚焦于防控应用研究,并取得了一系列重要科技成果(赵添羽等,2022)。

经过 20 年的发展,中国农科院植保所和农业基因组研究所生物入侵研究团队围绕种群形成(个体)、生态适应(种群)、竞争置换(种间)、资源利用(群落)和响应抵御(生态系统)等 5 个研究内容,提出了以“预防预警、检测监测、扑灭拦截、联控减灾、组学与人工智能技术”为主的“生物入侵防控工程体系建设:中国方案(4E 行动、4E+行动)”(万方浩,2018,2022)。其中,E1:早期智能预警(early warning & prevention),包括数据智能预测、定量风险预警、定殖区域评判、早期扩张预警;E2:早期检测与快速检测(early monitoring & rapid detection),包括远程智能监控、分子快速检测、野外实时诊断、区域追踪监测;E3:早期根除与拦截(early eradication & blocking),包括早期根除灭绝、廊道快速拦截、生态屏障建设、疫区源头治理;E4:全域治理(entire mitigation),包括生态修复平衡、持久生物控制、跨境协同治理、区域联防联控。

随着组学等大数据以及人工智能等前沿技术的发展,在 4E 行动基础之上,我国科学家又提出了 4E+行动,即基于大数据和人工智能等技术创新发展颠覆性防控技术,组建一带一路海外联合实验室群,解决跨境传播的入侵生物难题(万方浩,2018,2022)。在 4E 和 4E+行动方案基础框架基础上,如何充分利用组学技术、大数据分析、人工智能等前

沿技术,构建集早期预警、准确监测、阻截控制等技术一体的全链条防控技术体系是当前入侵生物学研究的难点和热点研究方向,基于此,由中国农科院植保所刘万学研究员等提出的“如何实现农业重大入侵生物的前瞻性风险预警和实时控制?”成功入选中国科协 2020 年十大工程技术难题。

(2) 优势单位/机构。

通过对 3049 篇论文作者所属机构进行分析发现,共有 2444 个研究单位/机构发表了入侵生物学相关论文,发文量排名前 20 的单位/机构包括:中国科学院、中国农业科学院、中国热带农业科学院、北京林业大学、华南农业大学、南京农业大学、福建农林大学、复旦大学、中国检验检疫科学研究院、云南农业大学等。其中,中国科学院和中国农业科学院发文量最多,分别为 330 篇和 285 篇,远高于其他单位/机构(表 1)。

2.2.3 国内入侵生物学载文期刊 对国内载文期刊进行分析发现,共有 807 个杂志发表了入侵生物学相关论文,其中,排名前 20 的期刊,如《生物安全学报(中英文)》《植物检疫》《生物多样性》《生态学报》《生态学杂志》《昆虫学报》《植物保护学报》《生态环境学报》《应用生态学报》《植物生态学报》《环境昆虫学报》《草业学报》《生态科学》《中国农业科学》等杂志发表期刊刊文量 838 篇,占总刊文量的 27.5%(表 2)。其中,《生物安全学报(中英文)》《植物检疫》《生物多样性》《生态学报》《生态学杂志》等 Top5 期刊发文量分别为 93、92、87、82 和 66 篇,共计 420 篇,占总发文量的 13.8%(表 2)。

表 1 我国入侵生物学研究优势单位及其发文量

Table1 Leader institutes and their publication papers of invasion biology in China			
优势单位 Leader institutes	发表论文 数量/篇 No. of papers	优势单位 Leader institutes	发表论文 数量/篇 No. of papers
中国科学院 Chinese Academy of Sciences	330	南京大学 Nanjing University	32
中国农业科学院 Chinese Academy of Agricultural Sciences	285	华东师范大学 East China Normal University	32
中国热带农业科学院 Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences	73	复旦大学 Fudan University	31
北京林业大学 Beijing Forestry University	65	中国检验检疫科学研究院 Chinese Academy of Inspection and Quarantine	30
华南农业大学 South China Agricultural University	57	中国环境科学研究院 Chinese Research Academy of Environmental Sciences	29
南京农业大学 Nanjing Agricultural University	47	北京师范大学 Beijing Normal University	28
海南大学 Hainan University	46	云南农业大学 Yunnan Agricultural University	28
中国农业大学 China Agricultural University	43	南京林业大学 Nanjing Forestry University	28
中国水产科学研究院 Chinese Academy of Fishery Sciences	40	西南林业大学 Southwest Forestry University	28
福建农林大学 Fujian Agriculture and Forestry University	34	中山大学 Sun Yat-sen University	26

表 2 国内入侵生物学论文发表 Top20 期刊发文量
Table 2 The top 20 journals for published papers of invasion biology in China

期刊 Journals	发表论文 数量/篇 No. of papers	期刊 Journals	发表论文 数量/篇 No. of papers
生物安全学报(中英文) Journal of Biosafety	93	植物保护学报 Journal of Plant Protection	26
植物检疫 Plant Quarantine	92	生态环境学报 Ecology and Environmental Sciences	25
生物多样性 Biodiversity Science	87	应用生态学报 Chinese Journal of Applied Ecology	25
生态学报 Acta Ecologica Sinica	82	广西植物 Guihaia	24
生态学杂志 Chinese Journal of Ecology	66	植物生态学报 Chinese Journal of Plant Ecology	24
安徽农业科学 Journal of Anhui Agricultural Sciences	49	草业科学 Pratacultural Science	23
现代园艺 Modern Horticulture	48	环境昆虫学报 Journal of Environmental Entomology	19
植物保护 Plant Protection	48	草业学报 Acta Prataculturae Sinica	18
昆虫学报 Acta Entomologica Sinica	33	生态科学 Ecological Science	16
热带作物学报 Chinese Journal of Tropical Crops	27	中国农业科学 Scientia Agricultura Sinica	13

2.3 我国入侵生物学研究在国际上的影响力

2.3.1 我国入侵生物学研究科技产出位居世界前列 对 Web of Science 数据库中检索到的 114526 篇入侵生物学领域文献所属国家进行分析,结果表明,共有 209 个国家发表了入侵生物学相关论文,其中,发文量排名前 30 的国家包括:美国、澳大利亚、中国、

英国、加拿大、巴西、法国、意大利、德国、西班牙、南非、新西兰、日本、阿根廷、葡萄牙、捷克、瑞士、智利、荷兰、波兰、印度、俄罗斯、墨西哥、比利时、瑞典、土耳其、韩国、以色列、匈牙利、希腊。其中,美国出现频次为 63912 次,其次是澳大利亚(11361 次),我国出现频次为 11355 次,位居全球第三(图 4)。

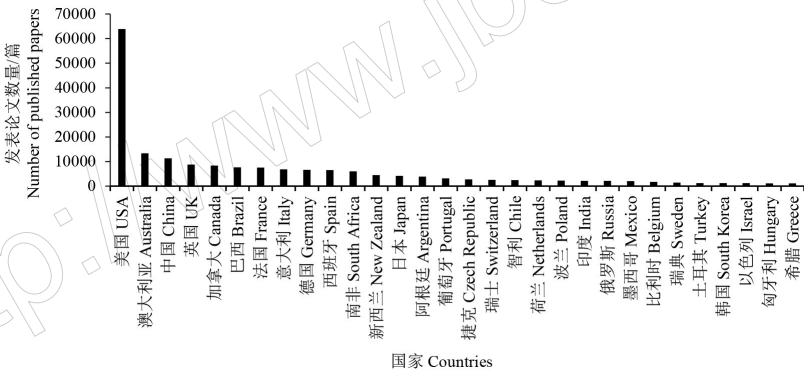


图 4 全球入侵生物学科领域 Top 30 国家科技论文产出情况
Fig.4 Global top 30 high output countries in paper publications of invasion biology

对发表在 Nature、Science、Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)、Trends in Ecology & Evolution 和 Annual Review 系列顶级期刊及其影响因子大于 10 的子刊等 Top 期刊上的论文进行分析,结果表明,全球科学家在 Top 期刊上共发表论文 1690 篇。从发表数量来看,美国在 Top 期刊发表论文最多(680 篇),其次分别为澳大利亚(164 篇)、德国(135 篇)、法国(130 篇)、瑞士(104 篇)、加拿大(102 篇)、新西兰(86 篇),我国为 70 篇,排名第八;从总被引频次来看,美国被引频次最高(81404 次),其次为澳大利亚(16527 次)、瑞士(15803 次)、加拿大(13486 次)、德国(11603 次)、新西兰(10623 次)、法国(10094 次)、西班牙(9850 次)、捷克(7049

次)、荷兰(6865 次),我国为 4463 次,排名第 14;从平均被引频次来看,挪威平均被引频次最高(213 次),其次为瑞典(165 次)、以色列(161 次)、西班牙(156 次)、瑞士(152 次)、新加坡(148 次)、芬兰(137 次)、加拿大(132 次)、捷克(131 次)、新西兰(124 次),我国为 64 次,排名第 28(表 3)。

对全球入侵生物学相关的专著进行统计,结果表明,全球科学家共出版专著 389 部,其中,我国科学家出版专著最多(140 部),其次为美国(122 部)、英国(31 部)、加拿大(15 部)、印度(10 部)、德国(9 部)、澳大利亚(8 部)、南非(8 部)、法国(7 部)、荷兰(5 部)(图 5),说明我国入侵生物学学科体系已相当成熟。由中国农科院植保所牵头编写的一系列入侵生物学专著,形成了系统全面的具有

中国特色的入侵生物学新兴学科;理论研究方面有 2011 年出版的《入侵生物学》;技术与方法方面有分别于 2008、2010 和 2011 年出版的《生物入侵:生物防治篇》《生物入侵:预警篇》《生物入侵:检测与监测篇》;政策与规划方面有 2008 年出版的《生物入侵:管理篇》;教材方面有 2015 年出版的《入侵生物学》;科普宣传方面有 2012 年和 2019 年出版的《生物入侵:中国外来入侵植物图鉴》《生物入侵:中国外来入侵动物图鉴》;行政综合方面有 2009 年出版的《Research on Biological Invasions in China》《中国生物入侵研究》;管理实践方面有 2017 年出版的

《Biological Invasions and Its Management in China: Volume 1》《Biological Invasions and Its Management in China: Volume 2》。

假说的提出在一定程度上可以反映相关研究领域工作的创新性,分析全球科学家提出的入侵生物学相关假说,结果表明,全球科学家共提出 45 个与外来生物入侵相关的假说,其中,美国科学家提出的假说数最多(24 个),其次为加拿大(5 个)、我国(4 个)、英国(3 个),荷兰和瑞士分别为 2 个,澳大利亚、芬兰、德国、以色列和新西兰分别为 1 个。

表 3 国家在 Top 期刊发文情况
Table 3 Publication status of countries in Top journals

国家 Country	发文量 /篇 No. of papers	总被引 次数 Total citations	平均被引 次数 Average citation count	国家 Country	发文量 /篇 No. of papers	总被引 次数 Total citations	平均被引 次数 Average citation count
美国 USA	680	81404	120	奥地利 Austria	33	2062	62
澳大利亚 Australia	164	16527	101	丹麦 Denmark	32	2741	86
德国 Germany	135	11603	86	日本 Japan	31	3326	107
法国 France	130	10094	78	比利时 Belgium	29	2357	81
瑞士 Switzerland	104	15803	152	巴西 Brazil	25	1848	74
加拿大 Canada	102	13486	132	芬兰 Finland	22	3013	137
新西兰 New Zealand	86	10623	124	爱尔兰 Ireland	22	1448	66
中国 China	70	4463	64	阿根廷 Argentina	20	1852	93
南非 South Africa	67	6650	99	葡萄牙 Portugal	20	2271	114
西班牙 Spain	63	9850	156	智利 Chile	18	1757	98
荷兰 Netherlands	59	6865	116	挪威 Norway	18	3833	213
捷克 Czech Republic	54	7049	131	印度 India	16	1853	116
意大利 Italy	48	4889	102	以色列 Israel	16	2580	161
苏格兰 Scotland	39	2267	58	新加坡 Singapore	14	2075	148
瑞典 Sweden	37	6102	165	希腊 Greece	11	1102	100

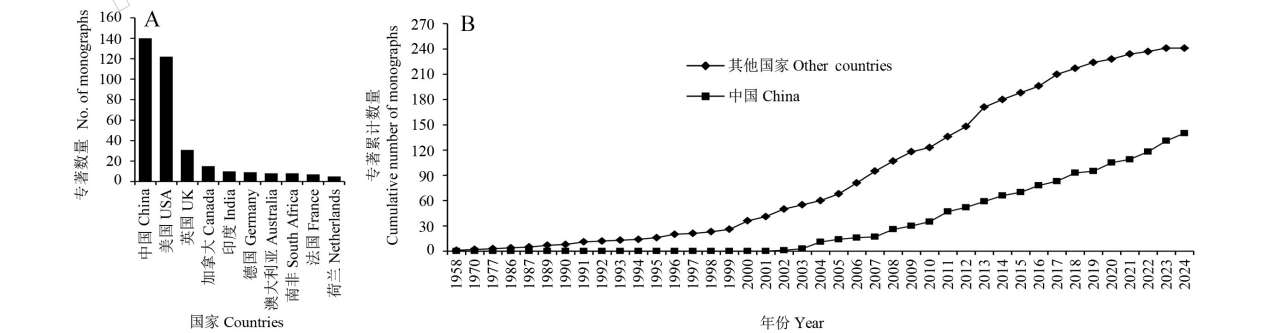


图 5 全球入侵生物学科出版专著情况

Fig.5 Global publication of monographs of invasion biology

A: 出版入侵生物学相关专著国家;B: 入侵生物学专著出版数量年际变化动态。

A: Countries publishing monographs on invasion biology; B: Annual variation in the number of invasion biology monographs published.

2.3.2 入侵生物学学科全球领军人物 对全球入侵生物学学科领域高产作者进行分析(数据来源于 WOS 数据库),结果表明,共有 162119 位作者发表了入侵生物学相关论文,将 Top20 作者按顺序进行排序,南非斯坦陵布什大学入侵生物学中心的 David

Mark Richardson 教授、捷克科学院植物研究所的 Petr Pyšek 教授、中国农业科学院的万方浩研究员、澳大利亚麦考瑞大学的 Richard Shine 教授、奥地利维也纳大学的 Franz Essl 教授、新西兰林肯大学的 Philip E. Hulme 教授、加拿大温莎大学的 Hugh J.

MacIsaac 教授、德国康斯坦茨大学的 Mark van Kleunen 教授、英国贝尔法斯特女王大学的 Jaimie TA Dick 教授、西班牙西班牙国家研究委员会的 Montserrat Vilà 教授、美国蒙大拿大学的 R. M. Callaway 教授、捷克科学院植物研究所的 Jan Pergl 教授、复旦大学的李博教授、南非比勒陀利亚大学的 Michael John Wingfield 教授、美国华盛顿大学的 Julian D. Olden 教授、南非国家生物多样性研究所的 John R Wilson 教授、捷克布拉格生命科学大学的 Andrew M Liebhold 教授、英国伯恩茅斯大学的 J Robert Britton 教授、美国史密森环境研究中心的 Gregory Ruiz 教授、美国田纳西大学的 Daniel Simberloff 教授(图 6)。

2.3.3 入侵生物学学科国际合作现状 将所有 SCI 文献导入 VOSviewer (Version 1.6.11) 软件进行作者合作网络可视化分析,结果表明,合作网络最广的作者分别为捷克的 Petr Pyšek 教授、奥地利维的 Franz Essl 教授、捷克的 Jan Pergl 教授、新西兰的 Philip E. Hulme 教授、德国的 Mark van Kleunen 教授、南非的 David Mark Richardson 教授、中国的万方浩研究员、西班牙的 Montserrat Vilà 教授等(图 7A)。

提取英文文章作者所属国家,分析合作研究文章数量 Top30 国家之间的合作网络,并利用 R 语言

进行可视化,结果表明,在 Top30 国家之间,所有国家均与其他 29 个国家之间存在着合作研究,但各个国家之间合作文章数量却存在较大差异,如美国国际合作文章数量为 11988 篇,其次是英国 6844 篇、法国 5387 篇、德国 5213 篇、澳大利亚 5207 篇、西班牙 4694 篇、加拿大 4119 篇、意大利 3972 篇,我国国际合作文章 3585 篇(图 7B)。

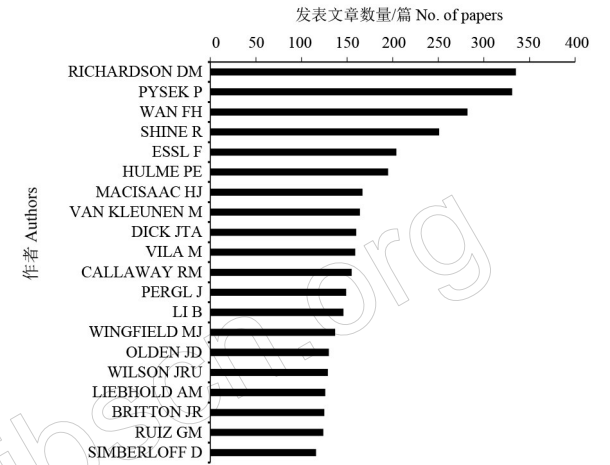


图 6 入侵生物学领域全球领军人物及其发文量

Fig.6 Global leaders and their publication output in invasion biology

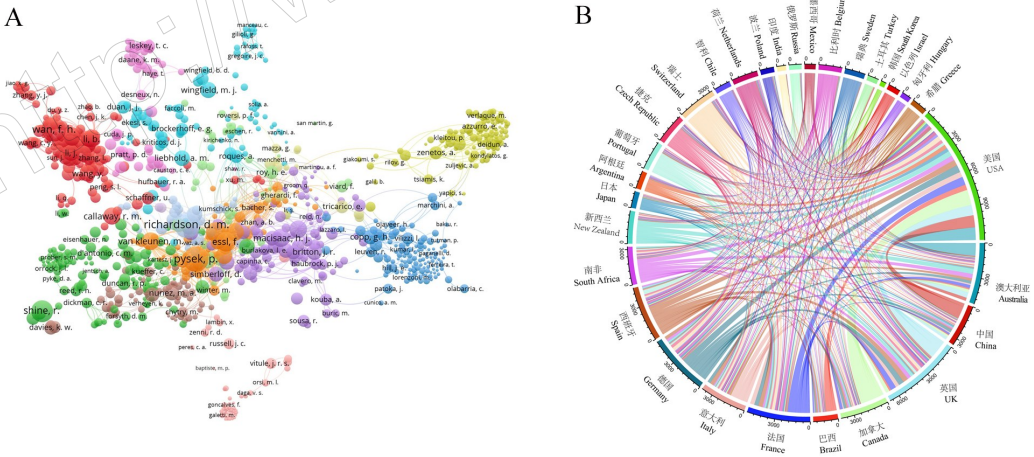


图 7 全球入侵生物学学科领域合作网络

Fig.7 Global collaboration network among authors in invasion biology

A: 作者之间的合作网络; B: 国家之间的合作网络。

A: Global collaboration network among authors; B: Global collaboration network among countries.

2.3.4 入侵生物学学科前沿研究 组学技术的快速发展极大地促进了外来入侵物种入侵机制的研究和新型防控靶标的挖掘,通过对 NCBI 中已完成基因组测序的物种进行分析发现,截止目前,共有 58 个国家完成了 1463 个外来入侵物种基因组测序和组装工作。从测序数量增速来看,最早于 2002

年,玻璃海鞘 *Ciona intestinalis* (Linn.) 和小家鼠 *Mus musculus* L. 2 个外来入侵物种的基因组完成测序工作,至 2012 年外来入侵物种基因组测序进展缓慢,共有 46 个基因组完成测序;2013—2018 年,外来入侵物种基因组测序数量呈现稳步增长趋势,从 2013 年的 19 个增长至 2018 年的 68 个,共计

246 个基因组完成测序;2019 年至今,外来入侵物种基因组测序数量呈快速增长趋势,由年均 101 个增长至 324 个,完成了 1171 个基因组测序工作(图 8A)。从完成测序和组装的国家来看,美国完成了 427 个,占总测序数量的 29.17%,其次为中国(356

个,24.32%)、英国(219 个,14.96%)、德国(67 个,4.58%)、澳大利亚(52 个,3.55%)、日本(41 个,2.80%)、加拿大(40 个,2.73%)、法国(39 个,2.66%)、印度(37 个,2.53%)、瑞士(20 个,1.37%),其余国家共计 166 个(图 8B)。

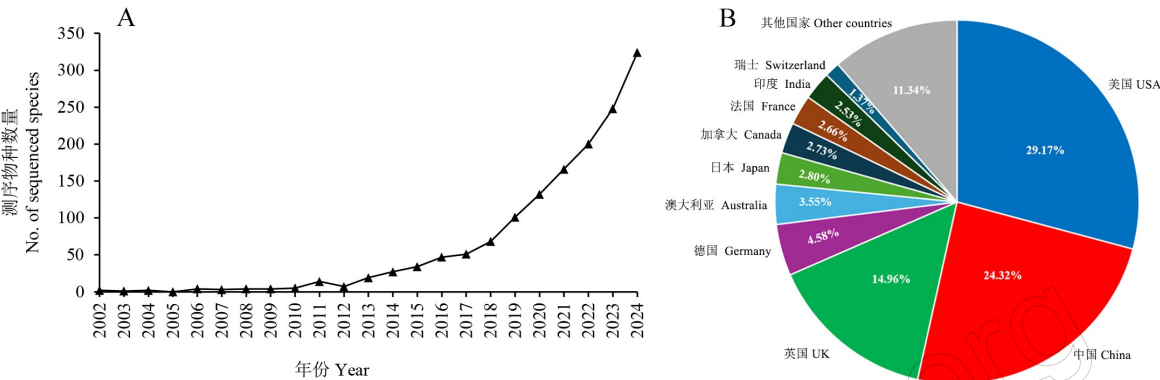


图 8 全球入侵物种基因组测序概况
Fig.8 Overview of genome sequencing of invasive alien species
A: 基因组测序数量年际变化动态;B: 完成入侵物种基因组测序的国家。

A: Annual variation in the number of genome sequencing; B: Countries with finished genome sequencing of invasive alien species.

3 讨论与结论

本文在数据库中以入侵生物学相关中英文关键词检索,获得 1950—2024 年入侵生物学相关的科技成果。这些成果与其他学科相比存在较大差距,可能原因有:一是该学科属于新兴学科,从事相关研究的专业人员较少;二是本文使用的关键词属于宏观词汇,并未包括所有入侵生物学相关成果,许多基础研究的成果未检索到,若以所有入侵物种名称作为关键词进行检索,成果数量将远超这些。

虽然入侵生物学学科是一门新兴的学科,但早在 17 世纪人们已关注到外来物种,1958 年,《动植物的入侵生态学》的出版使其成为一门学科(Simberloff,2013)。由于该书没有给出入侵生物学的学科布局,入侵生物学未得到更广泛的关注,因此,在之后的二三十年间,该学科发展缓慢,处于萌芽阶段;至 20 世纪 80 年代,由于入侵生物引起的环境问题越来越明显,由美国生物学家 Harold Mooney 牵头的生物入侵影响和管理的国际项目,真正推动了入侵生物学学科的正式发展,形成了专业性的期刊(Biological Invasions 和 NeoBiota 等),标志着入侵生物学进入了成长期;进入 21 世纪,随着全球经济一体化和全球变化,加剧了生物入侵对人类社会的影响,入侵生物学研究受到更多重视,进入快速发展期(万方浩等,2011b)。

我国入侵生物学研究起步较晚,至 20 世纪 90 年代中期才出现相关报道(王刚等,1995),进入 21 世纪后,我国生物入侵研究进入了快速发展阶段,一是依托中国农科院植保所,于 2003 年成立了农业部外来入侵生物预防与控制研究中心,致力于外来入侵物种的预防与控制研究;二是依托国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目和中国科学院知识创新工程重大项目等科技计划加强对入侵生物学研究的资助;三是出版了 150 万字的大型专著《重要农林外来入侵物种的生物学与控制》;四是分别于 2004、2005 年在北京成功组织与举办了“外来入侵物种研究与管理能力建设国际研讨会”与“亚太经合组织(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)外来入侵物种国际研讨会”,这个时期我国入侵生物学研究进入快速发展期,至 2007 年发表论文数量达到高峰期,年发文量达到 165 篇,随后进入稳定发展期。经过近 10 年的发展,至 2011 年,《入侵生物学》一书正式出版,标志着我国入侵生物学学科体系正式形成。十三五以来,我国接续实施国家重点研发计划“生物安全关键技术研发/究”重点专项,将入侵生物学研究作为国家生物安全科技研究的重要组成部分进行重点支持,进一步提升了我国入侵生物学的国际影响力。

经过短短 20 年的发展,我国入侵生物学相关研究取得了一系列显著成果。在论文产出、专著出

版方面均有不错成果,其中,《生物入侵》系列著作形成了从理论、技术与方法、教材、科普、行政综合、管理实践等覆盖生物入侵全链条的学科体系(万方浩,2011);在全球领军科学家方面,中国农科院植保所万方浩研究员和复旦大学李博教授发表入侵生物学相关论文分别排名第三和第十三,体现了我国科学家在国际入侵生物学研究领域的地位;在入侵生物学前沿研究方面,我国科学家已完成 356 个外来入侵物种的全基因组测序与组装工作,说明我国在入侵生物学研究的前沿技术方面处于领先地位;此外,我国科学家也是国际入侵生物学大会的倡导者和发起人,并于 2009、2013 和 2017 年分别在福州、青岛和杭州成功组织和召开了前三次国际生物入侵大会,显著提升了我国入侵生物学在国际上的地位和话语权。

我国在入侵生物学研究领域取得系列显著成果,但也存在一些不足之处。在 Top 期刊发表方面,虽然我国科学家在 Top 期刊发表论文数量较多,但相较于美国和澳大利亚等国家,还存在一定差距,此外,这些论文在总被引频次和平均被引频次等方面与其他国家存在一定差距;在载文期刊方面,国际上有 *Biological Invasions*、*Diversity and Distributions*、*Aquatic Invasions* 等专业性的权威期刊,而我国入侵生物学领域专业性期刊仅有《生物安全学报(中英文)》和《植物检疫》,高影响力的专业性期刊数量不足;在国内研究优势单位和机构方面,中国科学院和中国农业科学院发文量显著高于其他单位,还存在着发展不平衡的问题;在理论创新方面,我国科学家提出了“可塑性基因驱动”“转换防御”“非共进化”和“虫菌共生入侵”4 个假说(赵添羽等,2022; Lu *et al.*, 2016),与美国(24 个)之间还存在较大差距,说明我国入侵生物学相关研究在理论创新方面存在着不足,与我国科学家在 Top 期刊发表论文数量和被引频次均与领先国家存在较大差距等结果相符,可能是我国在入侵生物学基础研究领域投入比例较低所致;在国际合作方面,虽然我国科学家在论文产出数量方面位于世界前列,但国际合作论文数量相对不足,主要合作国家为美国,总体来说,我国入侵生物学领域国际合作方面仍需要进一步加强。

综上,经过 20 年的发展,我国已形成了系统性和完整性的入侵生物学学科体系,在科技产出和学科引领方面均位居世界前列,在国际上具有非常重

要的地位和话语权,但也存在着一些不足之处,今后需注重以下几方面的发展:一是加强原创性研究,突破理论创新,发表高质量论文;二是加强国际合作研究,如推动设立入侵生物学专项国际合作基金、建立入侵生物学国际联合实验室等,进一步提升我国入侵生物学研究在国际上的地位;三是全面发展人工智能、大数据分析、大语言模型等前沿技术在入侵生物学研究中的应用,如基于人工智能的入侵扩散风险评估技术体系、基于多组学数据与智能识别的外来入侵物种入侵力预测模型和远程智能检测监测技术、基于大语言模型的多源异构数据挖掘与分析技术等,充分发挥技术支撑作用;四是加强外来入侵物种危害经济损失评估等方面的研究,完善学科体系平衡发展;五是完善入侵生物学领域相关法律法规研究,为科研提供法治保障。

参考文献

- 陈宝明, 彭少麟, 吴秀平, 王鹏龙, 马建霞, 2016. 近 20 年外来生物入侵危害与风险评估文献计量分析. *生态学报*, 36(20): 6677-6685.
- 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. 我国外来入侵生物防控现状、问题 and 对策. *生物安全学报*, 29(3): 157-163.
- 贺萍, 路文如, 骆有庆, 2009. 生物入侵文献计量分析. *北京林业大学学报*, 31(3): 77-83.
- 林克剑, 钱万强, 刘万学, 万方浩, 2015. 基础研究对入侵生物学学科形成与发展的作用解析. *农业科技管理*, 34(5): 26-29.
- 万方浩, 2011. 《生物入侵》系列著作. *中国生物防治学报*, 27(4): 503.
- 万方浩, 2018. 生物入侵: 中国方案 // 中国农业科学院植物保护研究所. 第五届全国入侵生物学大会——入侵生物与生态安全会议摘要. 北京: 中国农业科学院植物保护研究所: 1.
- 万方浩, 2022. 生物入侵防控的中国方案. *光明日报*, 2022-09-20 (07).
- 万方浩, 谢丙炎, 杨国庆, 2011a. 入侵生物学. 北京: 科学出版社.
- 万方浩, 严盈, 王瑞, 杨国庆, 2011b. 中国入侵生物学学科的构建与发展. *生物安全学报*, 20(1): 1-19.
- 万静, 杨一帆, 彭露, 王瑞, 2017. 基于文献计量分析比较中国与澳大利亚外来生物入侵的研究. *环境昆虫学报*, 39(2): 471-479.

- 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, PREDA C, GARCÍA-BERTHOU E, 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.
- ZAICO 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研究 I 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. Modeling 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-BERTHOU E, 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)