

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201610023

引文格式: 吴昊. 气候变化背景下生物入侵研究态势的文献计量分析 [J]. 广西植物, 2017, 37(7): 934-946

WU H. A bibliometrical analysis of biological invasions under the global climate change [J]. Guihaia, 2017, 37(7): 934-946

气候变化背景下生物入侵研究态势的文献计量分析

吴 昊^{1, 2}

(1. 中国科学院武汉文献情报中心, 武汉 430071; 2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

摘 要: 生物入侵严重威胁生物多样性与生态系统健康, 对全球环境、经济造成极大损失, 而快速的气候变化显著影响外来生物的扩散和入侵进程。探讨气候变化背景下生物入侵研究态势能够从宏观上把握该领域的国际研究现状与热点, 为深入理解外来种入侵机制和制定合理的防治策略提供参考。该文基于最近 27 a 间(1990—2016 年)科学文献数据库 Web of Science 中科学引文索引扩展版(SCI-E)数据, 利用 TDA 等统计工具对气候变化下生物入侵方面的研究进行了文献计量分析。结果表明: 27 a 间共发表论文 1 736 篇, 论文数量整体保持增长态势, 2009 年开始进入快速发展阶段; 该领域的研究涉及环境科学与生态学、生物多样性保护、植物学等多个学科; 澳大利亚莫纳什大学 Chown SL 教授发文量最高(35 篇); 美国的总发文量(708 篇)和高被引、高影响因子论文数量均居世界首位; 发文量最多的研究机构是加利福尼亚大学(93 篇), 中国科学院发文量居世界第 10 位(27 篇); Biological Invasions 是刊文量最大的学术杂志; 物种分布模型、生物多样性、全球变暖、风险评估等是近年来该领域的研究热点; 中国共发表论文 52 篇, 中国科学院是国内最大的发文机构, 其中, 动物研究所、武汉植物园、植物研究所的发文量居中科院科研系统前三名; 中国在气候变化下生物入侵领域的高被引、高影响因子论文数量及国际合作强度亟待提升。未来需重点关注气候变化下生物入侵的预测与风险评估、生物入侵与生物多样性关系、入侵物种的系统进化、入侵生态系统的多营养级关系、海洋生物入侵、生物入侵与人类健康等问题。

关键词: 生物入侵, 气候变化, 文献计量, 态势分析

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)07-0934-13

A bibliometrical analysis of biological invasions under the global climate change

WU Hao^{1, 2}

(1. Wuhan Branch of National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;
2. Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Biological invasions seriously threaten the global biodiversity and ecosystem health, causing great losses to global environment and economy. However, rapid climate change could significantly affect the diffusion and invasion of alien

收稿日期: 2016-12-09 修回日期: 2017-01-06

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(Y02A461H02); 中国科学院武汉植物园知识创新工程项目(Y455437H05) [Supported by Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences(Y02A461H02); Knowledge Innovation Program of Wuhan Botanical Garden(Y455437H05)]。

作者简介: 吴昊(1986-), 男, 河南光山人, 博士, 讲师, 主要从事入侵生态学和群落生态学研究, (E-mail) wuhao868686@163.com。

species. To explore the development situation of biological invasions under climate change could be helpful for better understanding the status and hot spots in this field, and also the beneficial for understanding the invasion mechanism and making effective management measures. In our study, we studied the Web of Science (WOS) database for publications pertaining to the biological invasions under climate change between the years 1990—2016, we then used the Thomson Data Analyzer (TDA) to operate the systematic analysis. We found that there were total 1 736 published papers in recent 27 years. The number of publications increased annually, while it rapidly increased since 2009. This research area related to several subjects such as environmental science and ecology, biodiversity protection, botany, etc. Prof. Chown SL from Monash University had the largest amounts of publications. USA had the maximum total papers, highly cited and high impact factor papers. California University published the most papers among international research institutes, while the Chinese Academy of Science (CAS) ranked the 10th. Biological Invasions was the academic journal which had the largest publications. Recent studies focused primarily on topics related to species distribution models, biodiversity, global warming and risk assessment. China totally published 52 articles, Chinese Academy of Science had the largest amounts of papers, while Institute of Zoology, Wuhan Botanical Garden, Institute of Botany ranking Top 3 among the branch organizations of CAS. In the future, China should give more attentions on the high level research papers and international cooperation of biological invasions under climate change. In addition, we need to focus on prediction and risk assessment of alien species, relationships between biological invasions and biodiversity, system evolution of invaders, relationships among multiple trophic levels of invaded ecosystem, marine biological invasion, influence of invasion on human health, etc under a rapid global climate change.

Key words: biological invasions, climate change, bibliometrics, situation analysis

生物入侵严重威胁全球生态系统健康和物种多样性,而全球化进程进一步加剧了入侵速度(吴昊和丁建清,2014)。近年来,气温上升、氮沉降加剧、CO₂含量增加等极端气候使得各国的经济、环境面临严峻挑战(魏一鸣等,2014)。在气候变化背景下,外来物种通过生理适应、生态位拓展、改变与天敌的互作关系等途径来减少生物、非生物因素的制约,从而削弱本土群落抵抗性,加速其入侵进程(Winder et al, 2011; Sorte et al, 2013)。气候变化和生物入侵已经成为全球变化的重要组件,显著影响生态系统功能和全球环境质量,引起广泛关注(Thomas et al, 2004; kiritani, 2011)。但以往论文的研究对象多局限于某一入侵物种或特定区域,亟待从宏观尺度上把握气候变化下生物入侵研究的现状及发展态势。

文献计量是一种借助文献各种特征的数量,采用数理统计等手段来描述、评价和预测科学技术现状与发展趋势的方法(贺萍等,2009;陈晶等,2014)。通过文献计量分析,贺萍等(2009)、陈宝明等(2016)发现北美和欧洲是生物入侵领域研究力量较强的地区,亚洲地区尚待加强;Qiu & Chen (2009)认为全球五大洲在生物入侵领域的发文总

量排名依次为美洲、欧洲、亚洲、大洋洲和非洲;魏一鸣等(2014)关于气候变化的文献计量则表明,生态脆弱性、自然灾害和水资源是近期的研究热点。但迄今为止,关于气候变化背景下生物入侵领域的文献计量分析尚属空白。本文旨在了解该领域的国际研究态势,以期为其未来研究提供科学参考。

1 数据来源与分析方法

1.1 检索词的选择与检索方式

本文数据来源于 Web of Science(WOS)中的科学引文索引扩展版(science citation index expanded, SCI-E, 简称 SCI),通过编写检索式来限定检索范围。根据 SCI 论文中关于“生物入侵”和“气候变化”这两个主题词的常用英文写法,编制检索式:TS = [(biological invasions or biology invasions or bio-invasions or exotic species invasions or alien species invasions or non-native species invasions or non-indigenous species invasions) and (climate change or climatic change or global climate change or global climatic change or climate variation or climatic variation or global climate variation or global climatic varia-

tion)]。共检索 1990—2016 年气候变化下生物入侵研究领域内发表的 SCI 论文1 786篇,选择类型为“Article”和“Review”的论文进行分析,最终获得 1 736篇文献(数据更新时间为 2016 年 6 月 6 日)。

1.2 数据处理

利用 Thomson Data Analyzer(TDA)(6.5.20 版)软件对文献数据进行处理和分析。TDA 是美国 Thomson 公司开发的专业分析工具,能够对数据进行深度挖掘并实现可视化。首先利用 TDA 对文献数据进行挖掘和清洗,然后将数据按学科领域、论文发表年度、研究机构、关键词等信息进行分类统计,并绘制国家合作、热点关键词等数据的关联可视化图。

2 结果与分析

2.1 文献数量年度分布特点

1990—2016 年间,共发表关于气候变化下生物入侵研究的 SCI 论文1 736篇,27 a 以来,发文数量呈稳态增长趋势(图 1)。国际上从 1990 年开始有相关文献出版,分别为 Gucinski H(美国环保局)等人(1990)在 *Fisheries* 上发表的题为“Global climate change: Policy implications for fisheries”、Bond WJ(南非开普敦大学)和 Richardson DM(南非林业研究所)(1990)在 *South African Journal of Science* 上发表的题为“What can we learn from extinctions and invasions about the effects of climate change?”的论文(Bond & Richardson,1990;Gucinski et al,1990)。这两篇文章最早涉及气候变化下的生物入侵。由图 1 可知,2000 年以前的发文数量较少,属于萌芽阶段;2000—2008 年之间论文总量明显增大,属于起步阶段;2009 年至今,文献数量急剧增加,研究进入快速发展阶段。尤其是近 3 a,年度发文量超过 200 篇,表明气候变化下的生物入侵研究已引发当前国际社会广泛关注。由于文献检索日期为 2016 年 6 月 6 日,该年文献记录尚不完整,因此 2016 年的发文量相比 2015 年有较大回落。

2.2 主要研究学科分布

表 1 按照发表论文的数量依次列出了 1990—2016 年气候变化背景下生物入侵研究所涉及的前 10 名学科(按照 ISI 数据库学科分类)。从学科分

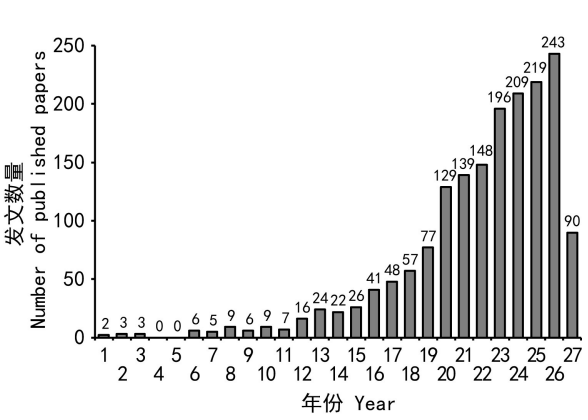


图 1 1990—2016 年气候变化背景下生物入侵研究论文发文量
Fig. 1 Published papers of biological invasions under climate change during 1990–2016

布来看,该研究是一个多学科交叉的领域,其内容不仅涉及到宏观学科,如:环境科学与生态学、生物多样性保护、自然地理学;同时,也涉及研究对象比较精确的专业学科,如:植物科学、林学、动物学、海洋与淡水生物学;甚至渗透到微观学科,如:进化生物学、生物医学等。其中,论文数量排在首位的学科为环境科学与生态学(1 008篇),其发文量占总检索文献量在 50%以上。由于多数论文同时涉及两个或两个以上的学科领域,故表 1 中各学科发文量总和高于总检索量。

2.3 研究力量及刊文情况比较

2.3.1 发文作者分析 气候变化下生物入侵研究领域发文数量前 10 名学者名单依次为 Chown SL(澳大利亚莫纳什大学)、Hulme PE(新西兰林肯大学)、Pysek P(捷克共和国科学院)、Richardson DM(南非斯坦陵布什大学)、Essl F(澳大利亚维也纳大学)、Thuiller W(法国国家科学院)、Olden JD(美国华盛顿大学)、Bradley BA(美国马萨诸塞州大学)、Kriticos DJ(澳大利亚联邦科学与研究组织)、Vila M(西班牙高等科研理事会)(表 2)。其中,Chown SL 发文量最高(35 篇),Chown SL 现任澳大利亚莫纳什大学生物科学系教授,其主要研究方向为以下三点:(1)宏观生理学:生物如何通过大规模的生理进化来减缓环境变化的影响?(2)入侵生物学:探索外来入侵物种对各种形式生物多样性的影响;(3)保护生物学:关注南极地区

表 1 气候变化背景下生物入侵研究涉及的前 10 名重点学科领域

Table 1 Top 10 key subject areas involves the study of biological invasions under climate change

排序 Rank	学科类别 Subject categories	中文释义 Chinese meaning	发文量（篇） Number of publications	发文量百分比 Proportion（%）
1	Environmental sciences ecology	环境科学与生态学	1 008	64.204
2	Biodiversity conservation	生物多样性保护	380	24.204
3	Plant sciences	植物科学	166	10.573
4	Marine freshwater biology	海洋与淡水生物学	156	9.936
5	Science technology other topics	综合科学技术	127	8.089
6	Evolutionary biology	进化生物学	99	6.306
7	Physical geography	自然地理学	75	4.777
8	Biomedicine	生物医学	67	4.268
9	Forestry	林学	66	4.204
10	Zoology	动物学	59	3.758

的物种及生态系统保护，特别是制定相应的保护政策。

2.3.2 发文国家分析 在 67 个发文国家中,发文量居前 10 名的国家依次为美国、澳大利亚、英国、德国、法国、西班牙、加拿大、南非、瑞士和新西兰(表 2)。其中,美国的发文数量居世界第一位(708 篇),分别是是排名第 2 位澳大利亚(218 篇)和第 3 位英国(207 篇)发文量的 3 倍多,占总检索文献量的 40.783%,表明美国在该研究领域处于主导地位;发文量前 10 名国家中,发达国家占据 9 个,说明发达国家在气候变化下生物入侵领域的研究实力明显高于发展中国家;此外,南非的发文量虽然只排名世界第 8 位,但其是最早涉及该研究领域的国家之一(Bond & Richardson,1990),也是发文量前 10 名中唯一的发展中国家,反映出南非在气候变化背景下生物入侵研究领域起步较早,并投入了较多的科研力量。

2.3.3 发文机构分析 按照全部作者统计,气候变化下生物入侵领域发文量较多的 10 个机构依次为美国加利福尼亚大学、南非斯坦陵布什大学、美国地质调查局、西班牙高等科学委员会、美国林业局、美国华盛顿大学、美国科罗拉多大学、新西兰林肯大学、捷克共和国科学院、中国科学院(表 2)。以上 10 个科研机构共发表论文 439 篇,占据总检索文献

数量的 1/4。美国加利福尼亚大学以 93 篇的发文量位居首位、南非斯坦陵布什大学发文量位居第 2 位(71 篇)。其中,加利福尼亚大学发表的文章主要来自于其戴维斯分校和伯克利分校;斯坦陵布什大学发表的文章则主要来自其下属的入侵生物卓越研究中心。在发文量前 10 名机构中,美国所属的单位占据了 1/2,表明美国在此领域拥有较强的科研实力。此外,中国科学院作为除了南非斯坦陵布什大学之外另一发展中国家的科研机构,居于发文量第 10 位(27 篇),表明中国科学院在气候变化下生物入侵研究领域也拥有一定的国际学术地位。

2.3.4 发文期刊分析 1990—2016 年刊载气候变化下生物入侵领域论文数量前 10 名的国际期刊依次为 Biological Invasions(IF = 2.876,环境科学与生态学 3 区)、Diversity and Distributions(IF = 5.355,环境科学与生态学 2 区)、PLoS One(IF = 3.648,生物学 3 区)、Global Change Biology(IF = 8.708,环境科学与生态学 1 区)、Global Ecology and Biogeography(IF = 7.180,环境科学与生态学 1 区)、Ecology Letters(IF = 16.783,环境科学与生态学 1 区)、Ecology(IF = 6.155,环境科学与生态学 2 区)、Conservation Biology(IF = 5.199,环境科学与生态学 2 区)、Forest Ecology and Management(IF = 3.153,农林科学 1 区)、Ecological Applications(IF = 5.508,环

表 2 气候变化下生物入侵领域的研究力量及刊文情况

Table 2 Research strength and publication journal of biological invasions under climate change

发文量前 10 名作者 TOP 10 Author	篇数 Articles	发文量前 10 名机构 TOP 10 Institute/University	篇数 Articles
Chown SL	35	California University(美国加利福尼亚大学)	93
Hulme PE	24	Stellenbosch University(南非斯坦陵布什大学)	71
Pysek P	24	US Geological Survey(美国地质调查局)	47
Richardson DM	24	Spanish Council of Higher Science(西班牙高等科学委员会)	38
Essl F	21	US Forestry Bureau(美国林业局)	37
Thuiller W	20	Washington University(美国华盛顿大学)	36
Olden JD	18	Colorado University(美国科罗拉多大学)	31
Bradley BA	16	Lincoln University(新西兰林肯大学)	30
Kriticos DJ	15	Czech Republic Academy of Sciences(捷克共和国科学院)	29
Vila M	14	Chinese Academy of Sciences(中国科学院)	27

发文量前 10 名国家 TOP 10 Country	篇数 Articles	刊文量前 10 名 SCI 期刊 TOP 10 Journal	篇数 Articles
USA(美国)	708	Biological Invasions(生物入侵)	126
Australia(澳大利亚)	218	Diversity and Distributions(生物多样性及分布)	84
UK(英国)	207	PLoS One (公共科学图书馆)	84
Germany(德国)	163	Global Change Biology(全球变化生物学)	41
France(法国)	140	Global Ecology and Biogeography(全球生态及生物地理学)	33
Spain(西班牙)	139	Ecology Letters(生态学快讯)	28
Canada(加拿大)	126	Ecology(生态学)	27
South Africa(南非)	118	Conservation Biology(保护生物学)	26
Switzerland(瑞士)	101	Forest Ecology and Management(森林生态与管理)	25
New Zealand(新西兰)	80	Ecological Applications(生态应用)	24

境科学与生态学 2 区)(IF 按照 2015 年最新 JCR 报告 5 年平均影响因子统计,期刊分区参照中科院文献情报中心最新 SCI 期刊大类分区)(表 2)。其中,Biological Invasions 作为生物入侵领域的专业期刊,其总计刊文量最高(126 篇)。

2.4 研究合作情况

利用 TDA 工具对发文国家及研究机构的合作关系分别进行关联统计,并绘制关联可视化图(图 2,图 3)。图中点的大小代表不同国家(机构)发表文献量的多少,点与点之间的连线及其距离代表了各国家(机构)之间研究内容的关联程度,连线越

粗,距离越近,则代表其相互之间的关联程度就越高(邢颖等,2010)。

2.4.1 国家合作 以中国与发文量前 10 名的国家进行关联分析,结果如图 2 所示。前 10 名国家之间在气候变化下生物入侵研究领域存在较为密切的合作关系,其中,美国与除南非之外的其余 8 个国家存在很强的合作关系,其最密切的合作成员是加拿大;新西兰、英国、法国、澳大利亚与其它国家之间均存在很强的合作关系;英国—法国—西班牙、新西兰—瑞士—德国、美国—加拿大—澳大利亚分别形成 3 个密切合作的小区域;南非虽然其它国家之

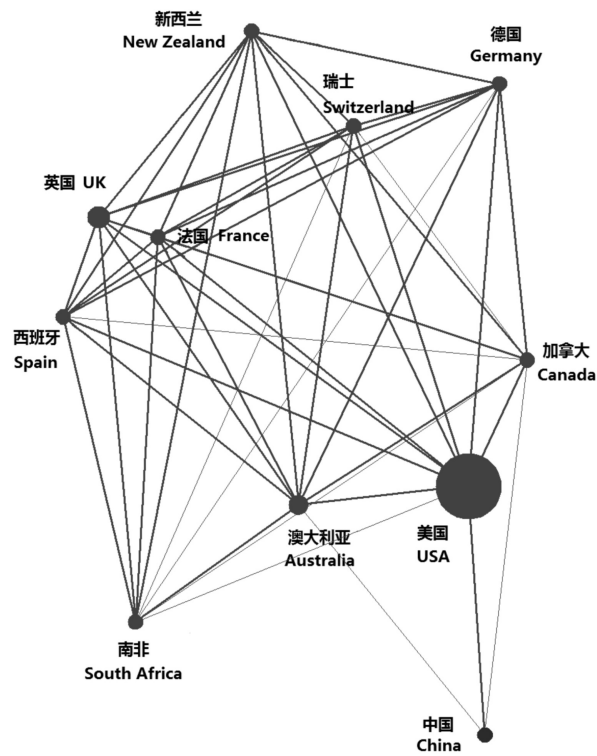


图 2 中国与发文量前 10 位国家的合作情况
Fig. 2 Collaborations among China and Top 10 countries based on the numbers of papers

间也存在合作关系,但其关联程度不高,尤其是与瑞士、德国、加拿大之间的合作强度较弱;中国仅与美国、加拿大、澳大利亚 3 个国家之间存在合作关系,其最密切的合作成员国是美国。

2.4.2 研究机构合作 对发文量前 20 名的国际科研机构合作情况进行关联分析,由图 3 可知,美国的 9 所机构之间均存在较为密切的合作,发文量居首位的加利福尼亚大学与斯坦福大学合作关联度最高;苏黎世联邦理工学院、澳大利亚昆士兰大学也与美国的部分机构存在合作关系;发文量第 2 位的南非斯坦陵布什大学与捷克、德国、英国和新西兰等国家的科研机构具有较高的合作关联度,其最密切的合作对象是捷克布拉格查尔斯大学;中国科学院虽然发文量居世界第 10 位,但与其它科研机构之间无密切合作关系;此外,法国科学院的科研活动也相对独立。

2.5 热点关键词

关键词能够对文章主题进行高度概括和精炼,

高频次的关键词可以看作是该领域最新的研究热点(曹永强等,2016;唐霞和张志强,2016)。使用 TDA 工具对气候变化下生物入侵领域的文献进行关键词统计。由于英文关键词存在多词同意现象,因此对含义相同或相近的词进行合并。如:“exotic species”、“alien species”、“introduced species”都是外来物种的意思,统一采用“exotic species”,得出频次居于前 20 名的高频关键词(表 3)。外来物种、气候变化、生物入侵、物种分布模型(频次 ≥ 100)是当该领域的研究核心;此外,生物多样性、全球变暖、风险评估等问题(频次 ≥ 40)也是当前的研究热点。按照 20 个高频关键词的属性可以划分为三大类:(1)入侵机制(10 个词):外来物种、气候变化、全球变暖、干扰、繁殖体压力、适应性、生物地理学、火、物候学、表型可塑性。(2)入侵效应(6 个词):生物入侵、生物多样性、扩散、分布区扩展、竞争、灭绝。(3)入侵防治(4 个词):物种分布模型、风险评估、保护、管理。气候变化下的生物入侵机制引起较大关注。

以 20 个高频关键词绘制关联可视化图(图 4),图 4 中圆点大小代表关键词的中心度,点与点之间连线长短及粗细代表关联程度的强弱。由图 4 可知,“外来物种”和“气候变化”这两个词居于关联图的核心位置,与其它关键词之间存在一定的关联度;“全球变暖—生物多样性”、“气候变化—外来物种”、“繁殖体压力—生物入侵”形成三组关联性较强的词对;直接影响“外来物种”的词主要有“气候变化”、“全球变暖”、“干扰”和“适应性”,而直接影响“生物入侵”的词主要是“繁殖体压力”和“生物地理学”;“气候变化”和“全球变暖”并未直接对“生物入侵”产生较强影响,它们可能通过影响“外来物种”而最终导致生物入侵。

2.6 高影响力论文

2.6.1 高被引论文 1 736 篇论文中,总被引次数前 10 名的论文如表 4 所示。其中,由 Hooper et al (2005)发表在 *Ecological Monographs* 上的文章总被引次数(2 550 次)和年均被引次数(213 次)均居于首位,该综述论文详细分析了“人类活动—气候变化—生物入侵和灭绝—生物多样性”的四级反应链(Hooper et al, 2005)。10 篇高被引论文的研究内容涉及气候变化下生物入侵与物种多样性、群落可入侵

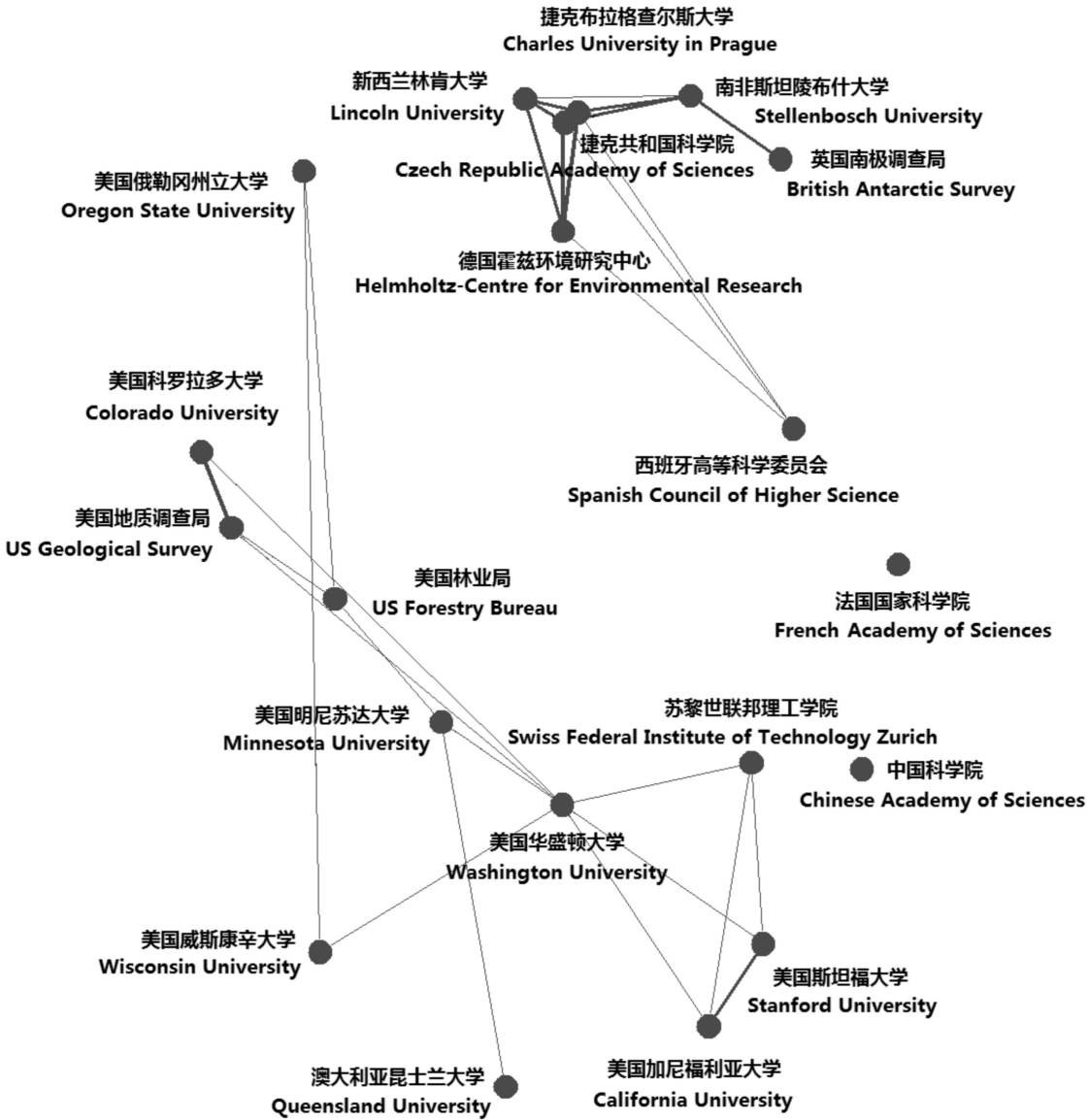


图 3 发文量前 20 位的研究机构合作情况

Fig. 3 Collaborations among the Top 20 research institute based on the numbers of papers

性、森林系统破碎化与抗性、可利用性资源竞争等多个方面。在 10 篇文章中,有 7 篇论文的发文机构均为美国的大学,表明美国在该领域的学术影响力远高于其它国家。此外,巴拿马、澳大利亚和英国也分别发表了 1 篇被引率较高的文章。

2.6.2 高影响因子论文 根据检索结果,1990—2016 年气候变化下生物入侵领域的 5 篇高影响因子论文分别发表在国际顶尖学术期刊 *Nature* (美国、英国各 1 篇) 和 *Science* (美国、英国和瑞士各 1 篇) 上(表

5)。其中,美国学者发现气候变暖能够延缓入侵树种的老叶衰落时间,从而促使其积累更多的生物量 (Fridley, 2012);此外,美国学者还发现氮沉降、CO₂ 浓度上升等气候变化事件能够促使入侵者与生境之间形成反馈调节,加速全球生物群的同质化 (Stuart et al, 1997)。英国学者发现 CO₂ 浓度上升会加速海洋的酸化,为入侵的水生动物提供了生态避难所,从而威胁海洋系统中的本土生物多样性 (Hall-Spencer et al, 2008);英国学者还认为入侵者

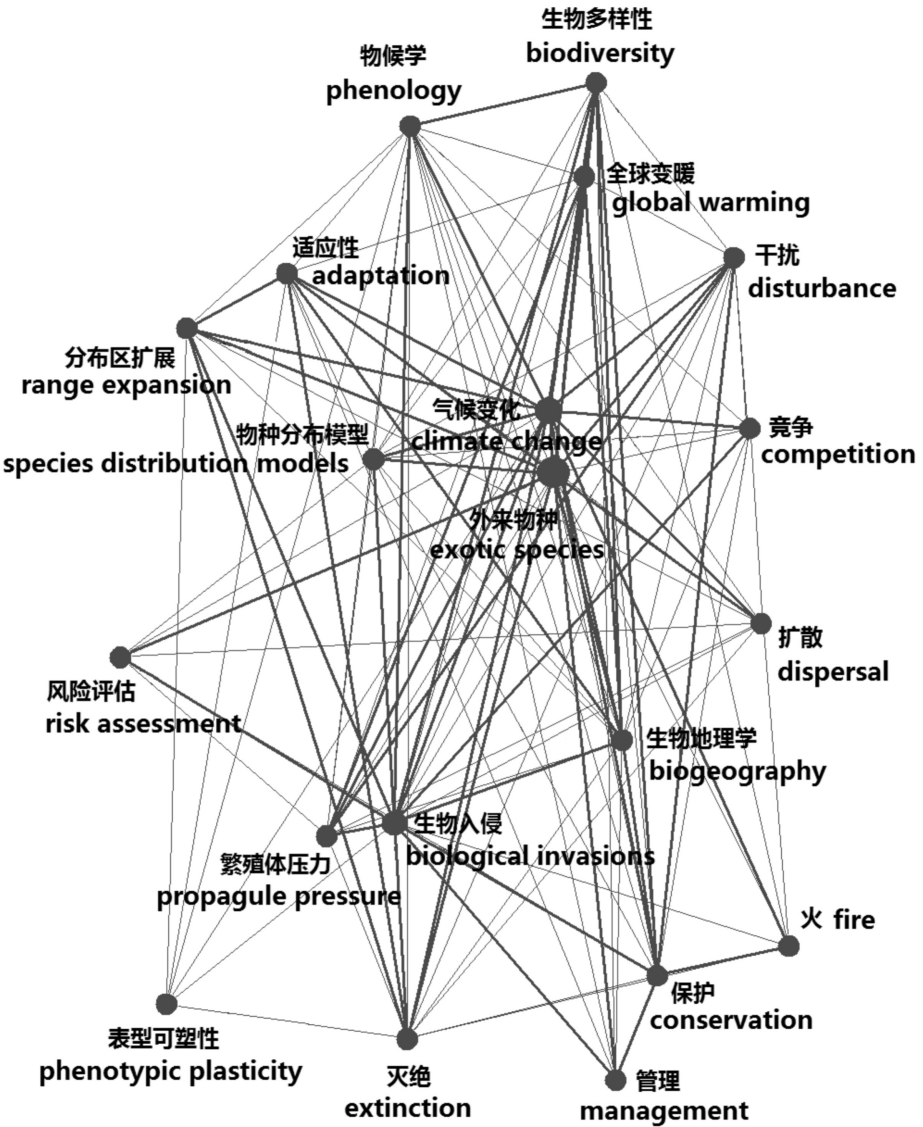


图 4 气候变化背景下生物入侵领域关键词关联可视化图
Fig. 4 Correlation map of key words on biological invasions under climate change

比本土种更能适应环境变化带来的扰动,由于存在这种“生物惰性”(biological inertia)而加剧了本土物种的灭亡(Willis & Birks,2006);瑞士学者则通过气候生态位测验,认为气候变化并未在大尺度空间上显著影响入侵物种的生态位(Petitpierre et al, 2012)。

2.7 中国的发文概况

近 25 年以来,中国在气候变化背景下生物入侵研究领域发表的 SCI 论文共 52 篇。其中,最早是由张知彬(中科院动物研究所)等发表在 *Integrative*

Zoology 上(Zhang et al, 2006)、以及李迈和(中科院成都山地灾害与环境研究所)等发表在 *Journal of Integrative Plant Biology* 上的文章(Li et al, 2006)。国内发文量最大的机构是中国科学院(27 篇),其中,动物研究所(6 篇)、武汉植物园(5 篇)、植物研究所(4 篇)发表的文章数量居中科院科研系统前三位。此外,复旦大学(4 篇)和中山大学(4 篇)发文量也相对较大。

中国在气候变化下生物入侵领域 SCI 论文发文量较多的期刊为 PLoS ONE(7 篇)和 Biological Inva-

表 3 气候变化背景下生物入侵领域前 20 名高频关键词列表

Table 3 Top 20 high frequency key words of biological invasions under climate change

排序 Rank	词频 Frequency	英文关键词 Key word	中文释义 Chinese meaning	排序 Rank	词频 Frequency	英文关键词 Key word	中文释义 Chinese meaning
1	401	Exotic species	外来物种	11	31	Conservation	保护
2	376	Climate change	气候变化	12	28	Propagule pressure	繁殖体压力
3	353	Biological invasions	生物入侵	13	25	Adaptation	适应性
4	109	Species distribution models	物种分布模型	14	24	Biogeography	生物地理学
5	59	Biodiversity	生物多样性	15	24	Management	管理
6	49	Global warming	全球变暖	16	22	Fire	火
7	40	Risk assessment	风险评估	17	21	Competition	竞争
8	39	Disturbance	干扰	18	21	Phenology	物候学
9	38	Dispersal	扩散	19	20	Extinction	灭绝
10	36	Range expansion	分布区扩展	20	20	Phenotypic plasticity	表型可塑性

表 4 气候变化背景下生物入侵领域前 10 名高被引论文

Table 4 Top 10 highly cited papers of biological invasions under climate change

论文题目 Title	总被引次数 Total cites	年均被引次数 Annualcites	发文期刊 Journal	第一作者发文机构 Institution of the first author
Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge	2 550	213	Ecological Monographs	美国华盛顿大学 Washington University
Biological invasions:Lessons for ecology	927	39	Trends in Ecology & Evolution	美国诺特丹大学 University of Notre Dame
The ecological consequences of changes in biodiversity: A search for general principles	893	50	Ecology	美国明尼苏达大学 Minnesota University
Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation	738	50	Conservation Biology	巴拿马史密森热带研究所 Smithsonian Tropical Research Institute
Does global change increase the success of biological invaders?	651	36	Trends in Ecology & Evolution	美国斯坦福大学 Stanford University
Biotic control over the functioning of ecosystems	542	27	Science	美国加利福尼亚大学 California University
Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges	527	66	Ecology Letters	澳大利亚墨尔本大学 Melbourne University
Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future	509	34	Environmental Conservation	美国缅因大学 Maine University
Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification	480	53	Nature	英国普利茅斯大学 Plymouth University
Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling	466	33	Quarterly Review of Biology	美国堪萨斯大学 Kansas University

sions (3 篇)。中国学者(第一作者和通讯作者机构均为中国机构)发表的 5 篇较高影响因子 SCI 论文(5 年 JCR 平均影响因子>6.0)分别为:中科院武汉植物园丁建清课题组在 *Global Change Biology* 上发

表的关于气候变暖改变入侵植物与其天敌昆虫互作关系,从而加剧高纬度地区植物入侵态势的文章(Lu et al, 2013);此外,丁建清课题组还在 *Ecology Letters* 上发表了关于气候变暖影响入侵生物—本土

表 5 气候变化背景下生物入侵领域高影响因子论文

Table 5 Papers with high impact factors of biological invasions under climate change

论文题目 Title	发文期刊 Journal	第一作者发文机构 Institution of the first author	五年影响因子 5-years IF
Extended leaf phenology and the autumn niche in deciduous forest invasions	Nature	美国锡拉丘兹大学 Syracuse University	41.458
Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification	Nature	英国普利茅斯大学 Plymouth University	41.458
Biotic control over the functioning of ecosystems	Science	美国加利福尼亚大学 California University	34.921
What is natural? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation	Science	英国牛津大学 Oxford University	34.921
Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders	Science	瑞士洛桑大学 Lausanne University	34.921

生物—生防天敌三级互作关系,从而加剧生物防治“非靶标效应”的文章(Lu et al, 2015);中科院动物研究所李义明课题组在 *Ecology Letters* 上发表的关于地形异质性、入侵区与原产地气候相似性程度影响全球外来爬行类动物入侵进程的论文(Liu et al, 2014);清华大学杨军课题组发表在 *Global Ecology and Biogeography* 上关于人类活动、气候差异影响本土和入侵植物种类组成,导致城市生态系统生物同质化的文章(Yang et al, 2015);厦门大学张宜辉课题组发表在 *Ecology* 上关于“红树林-入侵植物互花米草”生态交错带对人类活动、全球气候变化的响应与反馈机制的文章(Li et al, 2014)。

3 讨论与结论

基于对 SCI 论文的计量分析,发现气候变化背景下生物入侵研究领域具有以下特征:1990—2016 年间论文数量整体保持增长态势,2009 年开始进入迅速发展期;该领域涉及环境科学与生态学、生物多样性保护等多个学科;澳大利亚莫纳什大学 Chown SL 教授发文量最高;美国加利福尼亚大学是发文总量最多的机构,中国科学院发文总量居世界第 10 位;*Biological Invasions* 是发文量较大的期刊;欧、美等国家间存在较为密切的合作关系,而中国在此领域的国际合作较弱;物种分布模型、生物多样性、全球变暖、风险评估等是近年来气候变化下生物入侵领域的研究热点;中国科学院是国内最大

的发文机构,其次为复旦大学和中山大学。

气候变化是生物入侵的强有驱动力,在未来,全球变暖、氮沉降加剧、降雨带北移、二氧化碳浓度上升等气候变化趋势将持续进行(丁一汇和王会军,2016)。气候变化驱动的外来种入侵效应比某个入侵种单一引起生态系统功能变化的作用要大(Gedan & Bertness, 2009),且大多数入侵物种具备快速迁移的能力,它们将利用气候变化提供的新环境大量繁殖和扩散,进一步加剧入侵威胁。气候变化下的生物入侵研究远超过单一科学范围,甚至可上升至政治议题(Occhipinti-ambrogi & Savini, 2003),值得国际社会广泛关注。中国幅员辽阔,跨越 50 个纬度和 5 个气候带,多样的气候条件更有利于外来物种入侵。中国入侵种已达 529 种,是全球遭受入侵危害最为严重的国家之一。对于中国而言,应加强对加利福尼亚大学等优秀国际机构关于气候变化下生物入侵研究动态的关注,特别是南非斯坦陵布什大学入侵生物研究中心,其在该领域的科研成绩卓越,且南非与中国同属发展中国家,加强与该机构交流合作并借鉴其科研经验或有助于快速提升我国在此研究领域的科研水平。

经过 27 a 的发展,国际生物入侵研究领域取得了诸多重要进展。但在全球气候变化背景下,外来生物将凸显出形式更为多样的入侵过程并为生物入侵研究带来新的挑战(吴昊和丁建清,2014)。因此,未来该领域的研究内容仍应重点关注以下几个方向:

(1)气候变化下生物入侵的预测与风险评估。全球变暖、二氧化碳上升、氮沉降等气候条件的改变导致栖息地生境及生态系统属性发生变化,进而增加群落的可入侵性;同时,气候变化也会显著影响外来种的生理、生态属性(Bradley et al, 2010)。因此,利用基于生境适宜性评价的各类生态模型对入侵物种潜在分布区进行预测、并建立完整的入侵风险评估框架体系,深入探讨生物入侵与微生境之间的反馈作用、制约入侵进程的非生物因子之间的交互作用以及不同生态系统对生物入侵响应的差异性,将有利在快速的气候变化背景下制定切实有效的生物入侵防治管理措施(Diez et al, 2012; Sorte et al, 2013; Vicente et al, 2016)。此外,生态模型的建立也要充分考虑不同外来物种在其整体入侵进程中的差异性(传播、建群力度以及大时空尺度上的种群变化模式)(Chapman et al, 2016)。

(2)气候变化下生物入侵对本土生物多样性的影响。气候变化可能导致入侵物种的生态位拓展,加剧其与本土物种的种间竞争,威胁本土物种多样性(Camenen et al, 2016; Wu et al, 2016);同时气候变化也可能增加入侵生物的繁殖体压力、消除其“基因瓶颈”效应,扰乱本土群落中物种的时空分布格局(Simberloff, 2009),并加剧外来种与本土种的杂交几率,显著降低本土生物的基因多样性(Chown et al, 2015)。对于两栖爬行类入侵动物而言,其入侵热点与全球范围内生物多样性水平较高的地理区域相重叠,且在气候变化背景下,这些外来种的潜在入侵风险区域会扩展至高纬度地区(Li et al, 2016)。因此,探讨气候变化下生物入侵-生物多样性关系有利于制定优先保护措施以减轻外来物种的入侵危害。

(3)气候变化对入侵物种基因变异及其系统进化的影响。尽管已有研究表明入侵物种的种群遗传多样性较低,但仅限于基因片段甲基化修饰等解释(Gao et al, 2010),而较少涉及气候变化对入侵物种在大时空尺度上生物地理学模式的影响。运用分子测序、扩增片段长度多态性等技术手段对比分析气候变化对外来入侵物种遗传变异的影响,探究气候因子在其进化及系统发育过程中的作用,可进一步揭示生物入侵的地理系统学特征,以反演外来物种的入侵史及预测入侵态势(Hodgins et al,

2013)。

(4)气候变化影响入侵生态系统的多营养级关系。地上-地下多营养级生物之间的相互作用显著影响群落物种组成及其生物多样性水平,尤其是对于入侵植物群落而言,应深入理解气候变化背景下寄主植物如何影响其地上地下天敌昆虫生活史(如地上成虫和地下幼虫)、以及生防天敌如何影响本土与入侵植物的竞争关系,这对于预测入侵群落动态变化、以及评价生物因子对外来物种入侵风险的作用至关重要(Van der Putten et al, 2010; Lu et al, 2016)。此外,气候变化导致入侵植物-根际微生物互作关系的改变也应引起重视(Saha et al, 2016)。

(5)气候变化与海洋生态系统的生物入侵。目前诸多学者已针对陆生入侵生态系统做了大量研究,但关于海洋生物入侵的问题研究甚少。近年来,气候变化导致的海洋变暖、海水酸化等问题使得海洋系统的初级生产力、功能群、食物网结构均发生显著改变,如海水变暖会消除某些外来物种的低温生殖障碍,从而加速海洋生物入侵(Aronson et al, 2007; Occhipinti-ambrogi, 2007)。

(6)气候变化加剧生物入侵对人类健康的威胁。诸多外来入侵物种都是病菌的携带者或其媒介生物,快速的气候变化可能导致这类有毒有害入侵者种群的大规模爆发和扩散,从而加剧人类感染各类疾病的概率。如入侵种白纹伊蚊(*Aedes albopictus*)是登革病毒(dengue virus)的携带者,气候变暖能够促进白纹伊蚊的产卵率及生长发育速率,增加其携带和传播病毒的能力,进而导致人群患上登革热病(Leishman & Juliano, 2012)。在气候变化背景下,应加大这些对人类健康存在巨大威胁的入侵生物的监测与防治。

参考文献:

- ARONSON RB, THATJE S, CLARKE A, et al, 2007. Climate change and invasibility of the Antarctic benthos [J]. *Ann Rev Ecol Evol Syst*, 38:129-154.
- BOND WJ, RICHARDSON DM, 1990. What can we learn from extinctions and invasions about the effects of climate change? [J]. *S Afr J Sci*, 86(7-10):429-433.
- BRADLEY BA, BLUMENTHAL DM, WILCOVE DS, et al, 2010. Predicting plant invasions in an era of global change [J]. *Trends Ecol Evol*, 25(5):310-318.

- CAMENEN E, PORTÉ AJ, MARTA BJ, 2016. American trees shift their niches when invading Western Europe: evaluating invasion risks in a changing climate. [J]. *Ecol Evol*, 6(20): 7263–7275.
- CAO YQ, GUO M, LIU SR, et al, 2016. A bibliometrical analysis of recent research on ecological restoration [J]. *Acta Ecol Sin*, 36(8):2442–2450. [曹永强, 郭明, 刘思然, 等. 2016. 基于文献计量分析的生态修复现状研究 [J]. *生态学报*, 36(8):2442–2450.]
- CHAPMAN DS, MAKRA L, ALBERTINI R, et al, 2016. Modelling the introduction and spread of non-native species: international trade and climate change drive ragweed invasion [J]. *Glob Change Biol*, 22:3067–3079.
- CHEN BM, PENG SL, WU XP, et al, 2016. 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 [J]. *Acta Ecol Sin*, 36(20):1–6. [陈宝明, 彭少麟, 吴秀平, 等. 2016. 近 20 年来外来生物入侵危害与风险评估研究的文献计量分析 [J]. *生态学报*, 36(20):1–6.]
- CHEN J, ZHU YG, YONG W, et al, 2014. Status and trends of neurosciences research in China: Findings from comparative analyses of publications in the past decade [J]. *Chin Sci Bull*, 59(23):2310–2319. [陈晶, 朱元贵, 雍武, 等. 2014. 中国神经科学领域发展态势: 基于 WOS 数据库 10 年文献计量分析 [J]. *科学通报*, 59(23):2310–2319.]
- CHOWN S, HODGINS KA, GRIFFIN PC, et al, 2015. Biological invasions, climate change and genomics [J]. *Evol Appl*, 8(1):23–46.
- DIEZ JM, D'ANTONIO CM, DUKES JS, et al, 2012. Will extreme climatic events facilitate biological invasions? [J]. *Front Ecol Environ*, 10(5):249–257.
- DING YH, WANG HJ, 2016. Newly acquired knowledge on the scientific issues related to climate change over the recent 100 years in China [J]. *Chin Sci Bull*, 61(10):1029–1041. [丁一汇, 王会军, 2016. 近百年中国气候变化科学问题的新认识 [J]. *科学通报*, 61(10):1029–1041.]
- FRIDLEY JD, 2012. Extended leaf phenology and the autumn niche in deciduous forest invasions [J]. *Nature*, 485(7398):359–364.
- GAO LX, GENG YP, LI B, et al, 2010. Genome-wide DNAmethylation alterations of *Alternanthera philoxeroides* in natural and manipulated habitats: Implications for epigenetic regulation of rapid responses to environmental fluctuation and phenotypic variation [J]. *Plant Cell Environ*, 33:1820–1827.
- GEDAN KB, BERTNESS MD, 2009. Experimental warming causes rapid loss of plant diversity in New England salt marshes [J]. *Ecol Lett*, 12(8):842–848.
- GUCINSKI H, LACKEY RT, SPENCE BC. 1990. Global climate change: policy implications for fisheries [J]. *Fisheries*, 15(6):33–38.
- HALL-SPENCER JM, RODOLFO-METALPA R, MARTIN S, et al, 2008. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification [J]. *Nature*, 454(7200):96–99.
- HE P, LU WR, LUO YQ, 2009. A bibliometric analysis on literatures of biological invasion [J]. *J Beijing For Univ*, 31(3):77–83. [贺萍, 路文如, 骆有庆. 2009. 生物入侵文献计量分析 [J]. *北京林业大学学报*, 31(3):77–83.]
- HODGINS KA, LAI Z, NURKOWSKI K, 2013. The molecular basis of invasiveness: Differences in gene expression of native and introduced common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in stressful and benign environments [J]. *Mol Ecol*, 22:2496–2510.
- HOOVER DU, CHAPIN FS, EWEL JJ, et al, 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge [J]. *Ecol Monogr*, 75(1):3–35.
- KIRITANI K, 2011. Impacts of global warming on *Nezara viridula* and its native congeneric species [J]. *J Asi-Pac Entomol*, 14:221–226.
- LEISNHAM PT, JULIANO SA, 2012. Impacts of climate, land use, and biological invasion on the ecology of immature *Aedes* mosquitoes: Implications for *La Crosse* emergence [J]. *EcoHealth*, 9:217–228.
- LI MH, KRÄUCHI N, GAO SP, 2006. Global warming: Can existing reserves really preserve current levels of biological diversity? [J]. *J Integr Plant Biol*, 48(3):255–259.
- LI XP, LIU X, KRAUS F, et al, 2016. Risk of biological invasions is concentrated in biodiversity hotspots [J]. *Front Ecol Environ*, 14(8):411–417.
- LI ZJ, WANG WQ, ZHANG YH, 2014. Recruitment and herbivory affect spread of invasive *Spartina alterniflora* in China [J]. *Ecology*, 95(7):1972–1980.
- LIU X, LI XP, LIU ZT, et al, 2014. Congener diversity, topographic heterogeneity and human-assisted dispersal predict spread rates of alien herpetofauna at a global scale [J]. *Ecol Lett*, 17(7):821–829.
- LU XM, SIEMANN E, HE MY, et al, 2015. Climate warming increases biological control agent impact on a non-target species [J]. *Ecol Lett*, 18(1):48–56.
- LU XM, SIEMANN E, SHAO X, et al, 2013. Climate warming affects biological invasions by shifting interactions of plants and herbivores [J]. *Glob Change Biol*, 19(8):2339–2347.
- LU XM, SIEMANN E, HE MY, et al, 2016. Warming benefits a native species competing with an invasive congener in the presence of a biocontrol beetle [J]. *New Phytol*, 211:1371–1381.
- OCCHIPINTI-AMBROGI A, SAVINI D, 2003. Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems [J]. *MarPoll Bull*, 46(5):542–551.
- OCCHIPINTI-AMBROGI A, 2007. Global change and marine communities: Alien species and climate change. [J]. *MarPoll Bull*, 55:342–352.
- PETITPIERRE B, KUEFFER C, BROENNIMANN O, et al,

2012. Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders [J]. *Science*, 335(6074):1344–1347.
- QIU H, CHEN YF, 2009. Bibliometric analysis of biological invasions research during the period of 1991 to 2007 [J]. *Scientometrics*, 81(3):601–610.
- SAHA M, WIESE J, WEINBERGER F, et al, 2016. Rapid adaptation to controlling new microbial epibionts in the invaded range promotes invasiveness of an exotic seaweed [J]. *J Ecol* 104:969–978.
- SIMBERLOFF D, 2009. The role of propagule pressure in biological invasions [J]. *Ann Rev Ecol Evol Syst*, 40:81–102.
- SORTE CJB, IBANEZ I, BLUMENTHAL DM, 2013. Poised to prosper? A cross – system comparison of climate change effects on native and non – native species performance [J]. *Ecol Lett*, 16(2):261–270.
- STUART CHAPIN III F, WALKER BH, HOBBS RJ, et al, 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems [J]. *Science*, 277(5325):500–504.
- TANG X, ZHANG ZQ, 2016. A bibliometrical analysis of oasis research [J]. *Acta Ecol Sin*, 36(10):1–8. [唐霞, 张志强. 2016. 基于文献计量的绿洲研究发展态势分析. *生态学报*, 36(10):1–8.]
- THOMAS CD, CAMERON A, GREEN RE, et al, 2004. Extinction risk from climate change [J]. *Nature*, 427(6970):145–148.
- VAN DER PUTTEN WH, MACEL M, VISSER ME, 2010. Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels [J]. *Phil Trans R Soc B*, 365:2025–2034.
- VICENTE JR, ALAGADOR D, GUERRA C, et al, 2016. Cost-effective monitoring of biological invasions under global change: a model-based framework [J]. *J Appl Ecol*, 53:1317–1329.
- WEI YM, YUAN XC, WU G, et al, 2014. Climate change risk assessment: A bibliometric analysis based on Web of science [J]. *Bull Natl Nat Sci Found Chin*, 5: 347–356. [魏一鸣, 袁潇晨, 吴刚, 等, 2014. 气候变化风险评估研究现状与热点:基于 Web of Science 的文献计量分析 [J]. *中国科学基金*, 5:347–356.]
- WILLIS KJ, BIRKS HJB, 2006. What is natural? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation [J]. *Science*, 314(5803):1261–1265.
- WINDER M, JASSBY AD, NALLY RM, 2011. Synergies between climate anomalies and hydrological modifications facilitate estuarine biotic invasions [J]. *Ecol Lett*, 14(8):749–757.
- WU H, DING JQ, 2014. Recent progress in invasion ecology [J]. *Chin Sci Bull*, 59(6):438–448. [吴昊, 丁建清. 2014. 入侵生态学最新研究动态 [J]. *科学通报*, 59(6) 438–448.]
- WU H, ISMAIL M, DING JQ, 2017. Global warming increases the interspecific competitiveness of the invasive plant alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Sci Total Environ*, 575:1415–1422.
- XING Y, KONG HM, LIU TX, 2010. A bibliometrical analysis of status on ecology research in China based on SCI database [J]. *Ecol Environ Sci*, 19(2):447–452. [邢颖, 孔红梅, 刘天星. 2010. 基于 SCI 发文的中国生态学研究态势文献计量分析 [J]. *生态环境学报*, 19(2):447–452.]
- YANG J, LA SORTE FA, PYŠEK P, et al, 2015. The compositional similarity of urban forests among the world's cities is scale dependent [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 24(12):1413–1423.
- ZHANG ZB, XIE Y, WU YM, 2006. Human disturbance, climate and biodiversity determine biological invasion at a regional scale [J]. *Integr Zool*, 1(3):130–138.