

国土生态修复研究的演进脉络与前沿进展

易行¹, 白彩全¹, 梁龙武², 赵子聪³, 宋伟轩⁴, 张妍⁵

(1. 山东大学经济研究院, 济南 250100; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058; 4. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;
5. 西北大学经济管理学院, 西安 710127)

摘要: 国土生态修复是推进生态保护修复、服务生态文明建设和加速现代化发展的重大举措, 对于人类生存和社会进步具有重要意义。采用文献计量和网络分析方法, 以 Web of Science 数据库中 1196 篇文献作为研究对象, 剖析国土生态修复研究动态趋势、合作关系和研究热点, 进一步辨析演进脉络和前沿进展。研究表明: (1) 国土生态修复问题受到学术界广泛关注, 研究文献主要集中在生态学和环 境学领域; (2) 美国等发达国家的学者和机构在该领域影响力突出, 中国显现出强劲的发展潜力, 是新兴合作团体核心成员, 中国科学院已成为全球最具影响力的机构; (3) 以生态为核心的水、土壤和人口等要素是该领域主要研究对象, 人文和自然学科交叉下的综合性研究是该领域未来发展趋势。

关键词: 国土生态修复; 文献计量; 网络分析; 演进脉络; 前沿进展

国土生态修复是指通过自然或人工的手段重建已经损害或退化的国土生态系统, 使得遭到破坏的国土生态系统逐步恢复或向良性循环方向发展的过程。国土生态修复问题由来已久, 它与工业革命相伴而生, 工业革命提升了人类生活福祉水平, 但工业化也造成了严重的生态环境污染问题。随着工业革命不断深入, 国土生态修复问题逐渐得到世界各国的重视。早在第一次工业革命时, 就已经引起了学者的注意。始于英国的第一次工业革命创造了前所未有的生产力和财富^[1], 但同时由于大量煤和重金属的使用^[2], 生态环境被污染和破坏^[3], 特别是大气和水土污染严重, 有学者基于此提出改善大气质量的方案^[4]。随着工业革命的快速发展, 生态破坏情况逐渐向全世界扩散, 局部的生态问题发展成为威胁人类生存和发展的全球性生态危机^[5-7]。

国土生态修复问题有着数百年历史, 并在人类生存发展中占据重要地位, 但是学术界对它深入考察的时间较短。早期对国土生态修复问题的研究较为分散, 直到 1980 年, Cairns^[8]才将其作为生态学的一个小分支进行系统研究。随着研究的加深, 国外学者对国土生态修复问题进行了系统性评估^[9-11], 取得了重要的研究成果。中国关于国土生态修复的研究起步较晚, 但成长速度快, 在这个领域已积累了丰富的理论成果和实践经验。为了应对国土生态环境破坏问题, 中国实施了一系列的措施。在 20 世纪 70 年代末, 为了防治沙漠化和沙尘暴, 中国政府在西北、华北和东北地区开启了为期 70 年的“三北防护

收稿日期: 2019-07-31; 修订日期: 2019-11-11

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD1100101); 国家自然科学基金项目 (41661116)

作者简介: 易行 (1994-), 男, 湖北恩施人, 博士研究生, 主要从事环境经济、能源经济、制度经济与经济史研究。E-mail: yixing0111@163.com

通讯作者: 白彩全 (1989-), 男, 甘肃兰州人, 主要从事环境经济、能源经济与经济史研究。E-mail: baicaiquan0815@163.com

林”工程^[12]；为了应对水土流失问题，1999年开始实行“退耕还林”政策^[13]；此外，为了应对酸雨危害，出台了“两控区”政策^[14]。但目前中国在国土生态修复领域的研究仍存在着很多问题，如：对国土生态修复问题缺乏系统性梳理；在国土生态修复的实践过程中，重工程、轻生态问题突出，缺乏全面性科学评估；对国外的研究特征和发展趋势缺乏足够的了解；对于如何更好地推进中国国土生态修复研究也缺乏足够的认识。因此，有必要及时梳理和总结国际国土生态修复研究的发展脉络，厘清研究现状，进而把握其未来的研究方向。

基于此，本文旨在运用文献计量的分析方法对国土生态修复研究的发展状况和特征进行系统梳理，在此基础上为中国国土生态修复研究提供借鉴，进而为中国在该领域未来的研究方向贡献相应的经验。与前人研究相比，本文首先较为系统地分析了国际国土生态修复的研究情况，从宏观（国别、机构等）和微观（作者、关键词等）两个角度切入，有助于增强对国际该领域研究状况的了解，填补国内研究空白；然后，通过关键词聚类 and 共线分析，得出目前国土生态修复的研究热点，有助于其他研究者把握该领域的国际研究动向；最后，根据以上研究结果，推导出国土生态修复未来的研究方向，为未来研究规划和实践提供相应的指导。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

逐渐兴起的文献计量分析（Bibliometric analysis）为学者提供了一种客观的、量化的分析工具来梳理学术研究的发展脉络，并被逐步应用于各个学科领域^[15-17]。目前，文献计量分析在环境学和生态学等研究领域的应用越来越频繁，Wu等^[18]就利用文献计量分析方法分析了气候变化对环境治理影响的发展态势，同时孙艳芝等^[19]也采用文献计量的分析方法分析了中国生态足迹研究的演变过程。文献计量分析方法已被作为一种总结历史研究、发掘未来研究热点的重要工具。

本文制定了研究流程和框架，并利用文献计量分析法和网络分析法对国土生态修复问题进行分析（图1）。文献计量分析是以已有的文献信息为研究对象，按照文献计量学的分析逻辑和方法，对文献中蕴含的信息进行挖掘和量化分析，进而通过数学和统计分析的角度，考察文献之间的外部特征和相互关系^[20]。通过文献计量分析的应用，能够定量揭示某一个学科领域的研究起源、发展脉络、研究热点和未来发展趋势^[21]。在此方法的帮助下，可以通过定量统计分析揭示不同国家的贡献、协作网络和该领域研究热点的转换^[22]。

本文主要采用CiteSpace、Bibexcel和SATI等文献计量软件进行文献计量分析。其中CiteSpace是由德雷塞尔大学的陈超美教授^[23]开发的可视化分析工具，能够绘制共词聚类图谱和时区视图，其优点在于它能够通过对前沿术语的算法运算，动态识别共引聚类和研究热点；Bibexcel是由瑞典科学计量学学者皮尔逊等^[24]开发的一款科学计量分析软件，能够帮助用户处理Web of Science、Scopus和ScienceDirect等一系列主流数据库的信息，主要用于引文分析、共引分析和聚类分析等，通过Bibexcel中的一系列工具，可以提取文献的基本信息（如作者、出版物、引文和关键词等），然后通过Excel以及CiteSpace进一步实现可视化和深入的网络分析。

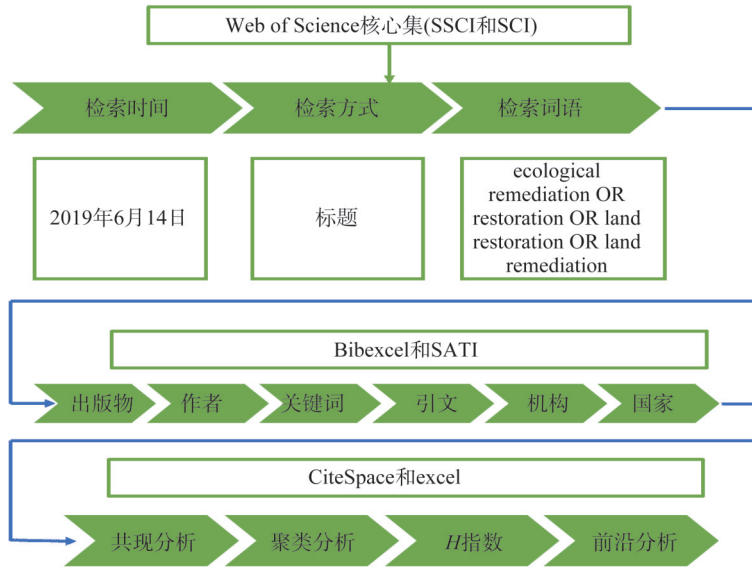


图1 文献计量分析流程

Fig. 1 A flow chart of systematic bibliometric review

1.2 数据来源及处理

选取 Web of Science 作为文献计量分析的统计数据来源。Web of Science 作为世界上最有影响力的主流数据库之一^①，提供了标准化和高质量的学术出版物信息。本文选取 Web of Science 核心集中的 SCI 和 SSCI 两大引文数据库的原始论文信息，提取了论文的标题、摘要、作者、关键词、国别和机构等一系列信息。为了提取信息的合理性，以标题作为检索方式，分别以“ecological remediation”“ecological restoration”“land restoration”和“land remediation”为关键词进行检索，将“生态”“国土”与“修复”之间进行组合，最大程度上精确地检索国土生态修复领域的相关文献^②。考虑到早期相关文献数量较少，将检索的时间确定为 1999-2019 年，具体的检索时间为 2019 年 6 月 14 日，在手工剔除掉极少数不属于国土生态修复领域的文章后，最终一共得到 1196 篇文章。本文将基于检索到的 1196 篇文章进行文献计量分析。

2 国土生态修复研究的文献计量分析

2.1 国土生态修复研究概况

近年来，国土生态修复问题受到越来越多的关注。从英国开始的工业革命，极大推动了世界的发展，它引领人类告别了农业文明，正式走向工业文明。但是，当我们回顾整个工业革命和工业化进程时，发现工业革命带给人类的除了福祉，还有环境破坏的惨痛代价，生态环境的破坏已经造成了严重的后果。在此背景下，国土生态修复的研究显

① Web of Science 是由美国汤姆森科技信息集团 (Thomson Scientific) 开发的全球最大型的期刊引文索引数据库，被公认为是世界上最权威的科学技术文献索引工具。Web of Science 以 ISI Web of Science Knowledge 作为检索平台，它涵盖了科学研究中常用的 SCI、SSCI 以及 A&HCI 等三大引文数据库。

② 在现有文献中，多采用“remediation”和“restoration”来表示国土生态修复中“修复”的含义。关键词分别是生态修复 (ecological remediation/restoration) 和国土修复 (land remediation/restoration)。

得尤为重要。国土生态修复是全球可持续发展的重要基础，在人类生存中扮演着重要的角色^[25,26]，特别是随着近年来环境保护理念和力度的不断加强，国土生态修复受到越来越多的重视^[27-30]。

2.1.1 国土生态修复研究的发文演变趋势

国土生态修复问题逐渐受到重视，发文数量逐年增加。近年来，国土生态修复问题逐渐受到了学术界的重视。通过对 Web of Science 数据库中 1999 年以来发表的国土生态修复领域研究文献的统计发现，随着时间的推移，该领域受到越来越多学者的关注，发文数量在逐渐增加（图 2）。

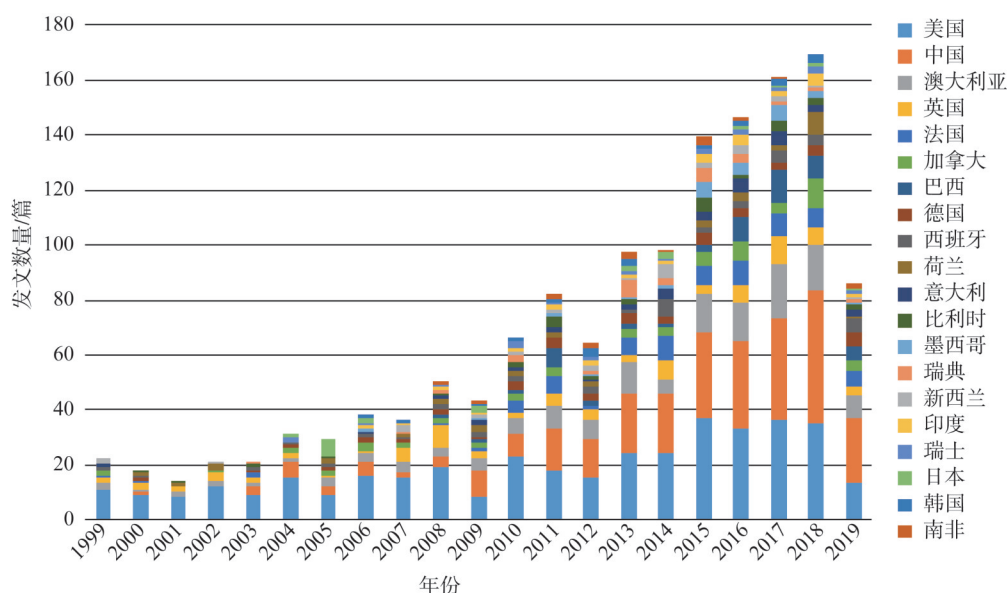


图 2 1999-2019 年发文情况

Fig. 2 General trends of selected publications from 1999 to 2019

在发量逐渐增加的同时，各国间的发量又表现出巨大的差异，其中，美国在国土生态修复研究领域占据主导地位，以中国为首的发展中国家在该领域的地位不断提高。发量是评估特定领域发展趋势的重要指标，特定国家的发量可在一定程度上显示该国在领域内的研究实力。为了了解不同国家在该领域的研究差异，本文统计了总体发量^③前 20 的国家每年的文章发表情况，其中，美国一直在该领域占据重要的位置。然而，随着中国生态问题的加剧和对国土生态保护关注度的提高，从 2008 年起，中国在该领域发表文章的数量快速增加，特别是在 2012 年，其发文数量突然迅速攀升。这与党的十八大提出“大力推进生态文明建设”和“实施重大生态修复工程”密切相关。

2.1.2 国土生态修复研究的学科差异特征

国土生态修复领域跨越多个学科，是典型的综合性研究课题。国土生态修复虽然是生态学的一个研究分支，但由于国土生态修复是一个系统性的研究领域，其内涵丰富、外延广泛，涉及到地理学、资源科学、环境科学和管理学等多个学科。为了厘清国土生态修复领域的学科分布情况，本文统计了该领域所涉及的主要学科分布（图 3）。国土生

③ 发量统计方法为：若一篇文章的作者来自于多个国家，则这些国家的发量均增加一篇。

态修复的研究文献主要集中在生态学和环
境学, 分别占该领域论文总数的42%和
18%, 占据了过半文献。此外, 有将近40%
的国土生态修复文献涉及到工程学、水资
源科学和地理科学等多个学科, 其中工程
学的比例为8%, 农林业学为9%, 生物学
为7%, 土壤科学为5%, 水资源科学为
3%。这说明国土生态修复不仅是生态学关
注的重点, 也吸引了大量其他领域学者的
兴趣。国土生态修复是一个庞大的系统工
程, 融合其他学科的研究方法、理论和经验,
不同学科的碰撞和交流有助于带来其他领
域的思维方式、研究方法和理论框架^[31],
激发国土生态修复领域的创新, 对于进一
步推进国土生态修复研究有着无法替代的
作用。

除了汲取不同学科的研究特长, 国土生态
修复研究的不断发展更离不开一些重要学
术期刊的支持, 它们对国土生态修复研究
的快速深入功不可没。表1中列出了刊载
国土生态修复文章数量前10的期刊, 这些
期刊刊载国土生态修复的文章占据该领域
文献总数的33.42%。这意味着在该研究
领域集中了一系列关注国土生态修复的学
术期刊, 且列出的SCI和SSCI期刊的质
量较高, 其影响因子均在1以上。但是从
另一方面来看, 这些期刊大多为综合类期
刊, 专门关注国土生态修复研究的期刊仅
有 *Restoration Ecology* 和 *Ecological
Engineering*^④, 且所列综合期刊大多不
是所在领域的顶级权威期刊^⑤。这说明
虽然国际主流学术界对国土生态修复问题
给予了越来越多的关注, 但是国际顶尖学
术期刊对此问题的关注度相对较弱, 该领
域的研究仍然任重道远。

表1 发表国土生态修复文章最多的期刊(前10名)

Table 1 Top 10 productive journals in this field

期刊名称	刊量/篇	所占百分比/%	影响因子(2018)
<i>Restoration Ecology</i>	143	11.95	2.826
<i>Ecological Engineering</i>	81	6.77	1.469
<i>Science of the Total Environment</i>	27	2.26	5.589
<i>Ecology and Society</i>	27	2.26	4.136
<i>Environmental Management</i>	24	2.01	2.376
<i>Forest Ecology and Management</i>	23	1.92	3.126
<i>Sustainability</i>	22	1.84	2.592
<i>Land Degradation & Development</i>	20	1.67	4.275
<i>Plos One</i>	17	1.42	2.776
<i>Biological Conservation</i>	16	1.34	4.451

④ 上述两个期刊由于其期刊定位的特殊性, 主要关注生态修复以及国土生态工程等问题, 刊发关于国土生态修复研究的文章数量多、比例大。

⑤ 原因在于: 学科顶级期刊所涉及的领域类别多, 国土生态修复研究问题所占比例较小, 这也说明国土生态修复问题在期刊方面的重视程度不够。

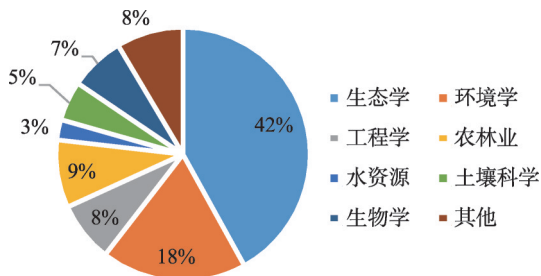


图3 国土生态修复学科分布

Fig. 3 Major disciplines and their proportions

2.2 国土生态修复研究的文献计量分析

为了进一步了解国土生态修复研究领域的特征, 本文对国土生态修复领域的国家、机构和作者进行文献计量分析, 剖析文献之间的相互联系。

2.2.1 主要国家分析

美国是国家合作网络的核心, 中国影响力增大, 跻身全球两大主要新兴合作体。为了考察国家间合作情况, 本文绘制了国与国之间的合作网络图(图4)。图中连线的粗细表示合作的强弱, 连线的颜色表示国家间合作的时间。从图4可以看出, 美国在国家合作网络中占据中心位置, 是核心国家。从不同时期来看, 在研究早期(1999-2004年), “澳大利亚—加拿大”和“德国—西班牙”是主要合作体, 其合作开始时间较早; 在研究中期(2005-2013年), 瑞典、荷兰和英国等多国均在该领域活跃起来, 国家之间的合作产出也较多; 而在近几年(2014-2019年), “中国—美国”和“意大利—巴西—法国—西班牙—加拿大”成为两大新兴合作体, 同时中国与德国、英国等国家也加强了合作。中国作为该领域研究的后起之秀, 逐步站稳脚跟, 并逐渐扩大自己的影响力。同时, 国家间密切的合作关系加速了国土生态修复技术和经验的共享, 特别是中美双方在森林治理、河流修复以及工程建设上的密切合作。

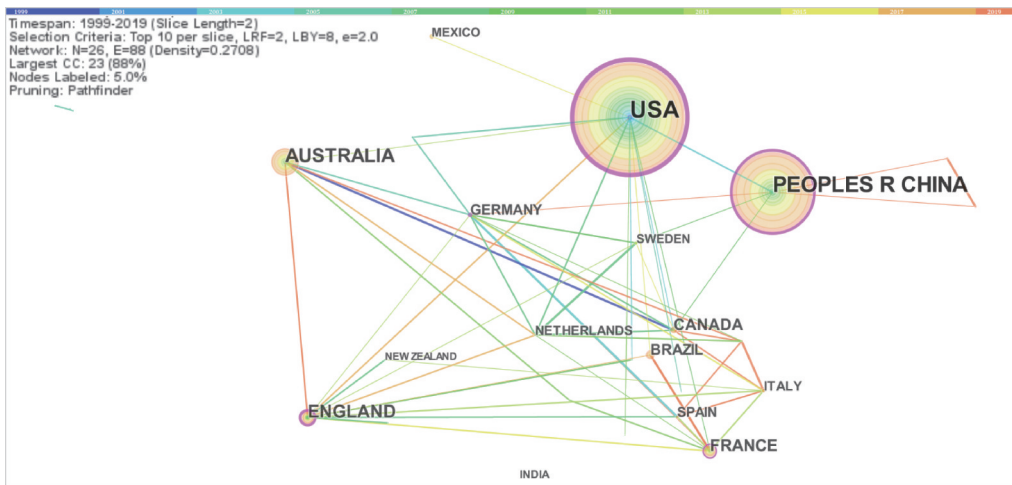


图4 国家合作网络

Fig. 4 The academic collaborative relationships of countries

2.2.2 重要研究机构分析

中国科学院(Chinese Academy of Sciences)成为国土生态修复领域全球最具影响力的研究机构。本文统计了国际上在国土生态修复领域发文最多的十大科研机构(表2)。表2显示, 中国科学院牢牢占据着第一的位置, 发文量远超第二名, 以中国科学院生态环境研究中心为中心的各个研究分支机构在中国该领域有着举足轻重的作用; 其次是法国国家科研中心(Centre National De La Recherche Scientifique)和美国农业部(United States Department of Agriculture), 二者均在生态修复领域发表了43篇论文。该十大机构共发文439篇, 占据总发文量的36.71%, 接近整体文献量的四成。这表明, 国土生态修复的研究主要集中在部分机构, 集中度较高, 这一定程度上能够集中优势资源进行研

究,但也埋下了学术垄断的隐患。有必要充分激励其他科研机构参与该领域的研究,百花齐放才能更好地推动国土生态修复研究的深度和广度。

为了深入揭示各个机构的合作情况,本文绘制了各个机构之间的合作网络图(图5)^⑥。从合作网络图中可以看出,中国科学院是整个合作网络的中心,与各大研究机构之间有着密切的合作关系,中国的北京师范大学、北京林业大学和中国科学院大学也显现出强劲的发展潜力。

表2 国土生态修复领域发量最多的机构(前10)

Table 2 Top 10 productive institutions

机构名称	发量/篇	国家	篇均被引频次/次
中国科学院	122	中国	20.72
国家科学研究中心	43	法国	17.23
美国农业部	43	美国	20.74
北京师范大学	39	中国	15.08
西澳大学	36	澳大利亚	16.39
国家发展研究院	35	法国	17.29
美国林业局	31	美国	25.65
加州大学	31	美国	21.32
中国科学院大学	30	中国	13.16
美国内政部	29	美国	14.55

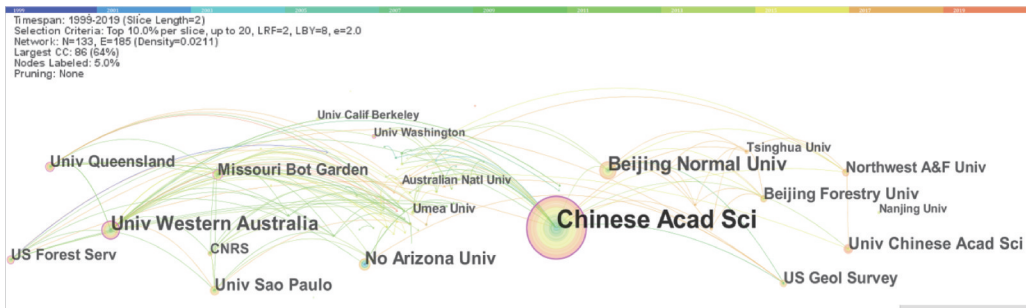


图5 机构合作网络

Fig. 5 The academic collaborative relationships of institutions

2.2.3 高产作者分析

高产作者集中在美国科研机构,中国科学院傅伯杰为该领域全球最佳作者。本文统计了该领域的代表性作者、发量和国别等情况(表3)。国际上国土生态修复的高产学者包括 Aronson J、Covington W W 和 Fule P Z 等人,他们多来自美国的高校和研究机构。Aronson J 是生态修复领域最高产的作者,共发文22篇,他在巴西热带雨林地区生态修复的研究中取得了丰硕成果^[32,33],并时刻关注气候变化对生物多样性的影响^[34],同时如何在处理经济与生态修复矛盾的研究中也卓有成效^[35];与 Aronson J 不同, Covington W W 将更多的关注点聚集到美国本土,特别是亚利桑那州的生态治理和修复^[36],尤其关注黄松林的保护和修复问题^[37,38],同时 Aronson J 和 Covington W W 的 H 指数也是所有学者中最高的,均为12^⑦。此外,从篇均被引频次的角度来看,中国科学院生态环境研究中心的傅伯杰院士是最佳作者,其每篇论文平均被引高达57.25次,可见其在国土生态修复领域的研究有着举足轻重的作用,对中国国土生态修复领域做出了重要的贡献,特别是在中国各项重大工程后的国土生态修复问题上取得了系统性创新成果^[39,40]。

国土生态修复研究中团队合作较为盛行,许多知名学者间都存在着合作关系。为了

⑥ 为了令图谱展示更加简洁,时间切片为2,阈值选择“Top 10% per slice, up to 20”。

⑦ H 指数为12的含义指其发表的22篇论文中有12篇至少被引用12次,其余论文每篇被引均小于或等于12次。

表3 国土生态修复领域十大高产作者

Table 3 Comparison and clustering of the top 10 productive authors

作者	发文量/篇 (篇均被引频次/次)	国别	H指数	研究关键词
Aronson J	22(27.41)	美国	12	ecological restoration、natural capital、tropical forest restoration
Covington W W	15(52.2)	美国	12	ponderosa pine、thinning、Arizona
Fule P Z	13(49.46)	美国	10	pinus ponderosa、Gambel oak、presettlement
Brancalion P H S	12(33.33)	巴西	8	large-scale restoration、capacity building、environmental policy
Rodrigues R R	11(36.45)	巴西	7	tropical forest restoration、natural regeneration、pasture
Hobbs R J	10(37.5)	澳大利亚	10	AFLP、ecology、carbon sequestration
Cao S X	9(32.33)	中国	6	ecological restoration、sustainable development、climate change
Aradottir A L	8(11.5)	冰岛	6	ecological restoration、participatory approaches、evaluation
Burger J	8(11)	美国	5	remediation、department of energy、ecosystem management
Fu B J	8(57.25)	中国	6	USLE、land use、runoff

注：此处的篇均被引频次和研究关键词均针对本文所研究的1196篇文献而言。

探讨不同学者之间的合作状况，本文生成了作者之间的合作关系网络，用以识别国土生态修复领域不同作者之间合作关系的强弱（图6）。该网络中心区域作者之间的连线较多，说明小部分学者合作紧密，而网络四周的作者则较为分散，多为单个或2~3人的小团体。其中最大的团队是以 Aronson J 为中心的国土生态修复团队，其团队中汇集了 Aronson J、Brancalion P H S 和 Rodrigues R R 等重量级学者，围绕着热带雨林修复和生物多样性等领域进行了深入的合作。

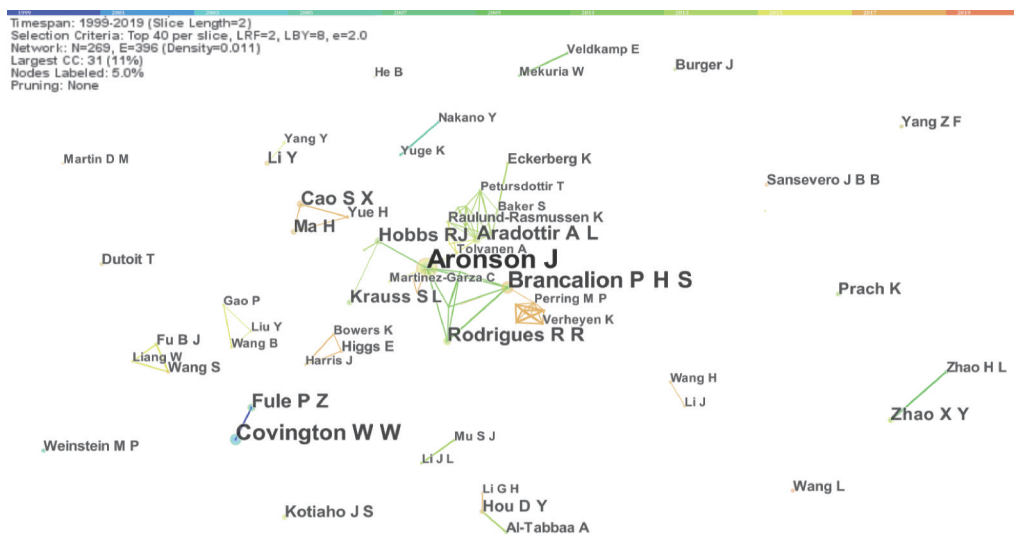


图6 作者合作网络

Fig. 6 The academic collaborative relationships of authors

2.3 国土生态修复研究热点与前沿发展

2.3.1 国土生态修复研究热点分析

关键词代表着特定领域的研究焦点,反映了作者的研究兴趣和意图,总结了一篇论文中的主要内容,同时关键词也反映了整个领域的研究热点。因此,对关键词进行频率分析是研究一个领域相关热门话题和发展脉络的关键。为了深入探索国土生态修复领域研究重心的分布,梳理该领域研究热点的变迁状况。本文首先通过SATI软件总结全部1196篇论文中使用的所有关键词,并对关键词中的信息进行提取和统计,然后通过CiteSpace软件对关键词进行了共现分析、类别统计和时区划分。

(1) 关键词分析

生态修复是国土生态修复领域一直以来关注的焦点。为了更加精确地聚集国土生态修复领域的研究焦点,本文统计了该研究领域频次排在前20位的关键词(图7)。生态修复(ecological restoration)、管理(management)、保护(conservation)、生物多样性(biodiversity)、植被(vegetation)、生态系统服务(ecosystem service)和恢复(restoration)的出现频次均大于100,排在前七位。

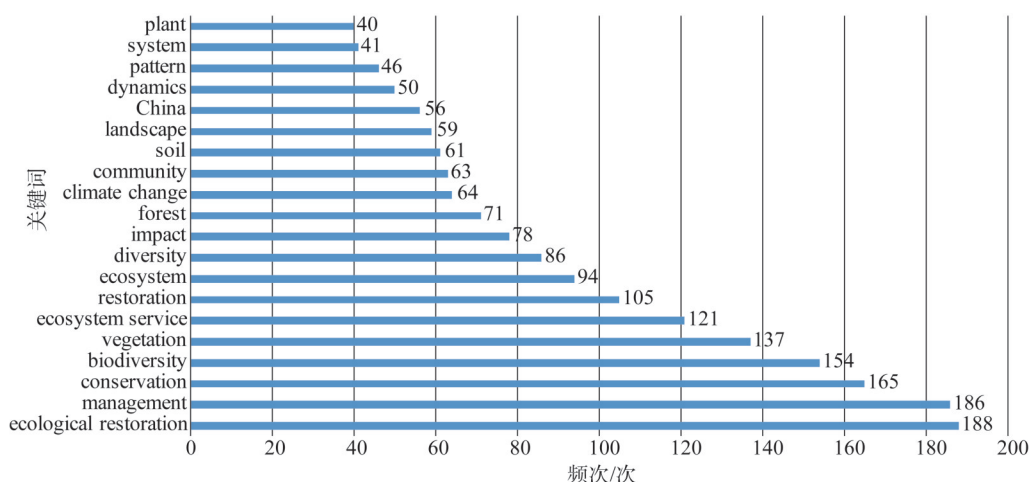


图7 国土生态修复领域频次排在前20位的关键词

Fig. 7 Top 20 keywords in the field of land ecological restoration research

随着人们对国土生态环境重视程度的不断提高,开展国土生态修复已逐渐成为各个国家的共识,生态修复(ecological restoration)、保护(conservation)和恢复(restoration)成为研究的焦点;国土生态修复的过程涉及到国土生态环境的有效管理(management)和合理规划等方方面面的内容,涉及到森林(forest)、植被(vegetation)、土壤(soil)和生物多样性(biodiversity)等多个环节。因此,国土生态修复是一个系统性工作,是在当前全球严峻生态破坏情况下的必要措施。要想维持世界可持续发展,必须利用国土生态修复的手段对当前环境进行积极修复,恢复生物多样性。

关键词网络以生态修复为核心,关键词之间联系紧密。同时,为了研究关键词之间的相互联系,本文运用CiteSpace对关键词进行了共现分析^⑧(图8)。在国土生态修复领

^⑧ 考虑到关键词数量较多会令网络过于繁杂的问题,软件参数设定时间切片为2,阈值选择“Top 10% per slice, up to 15”。

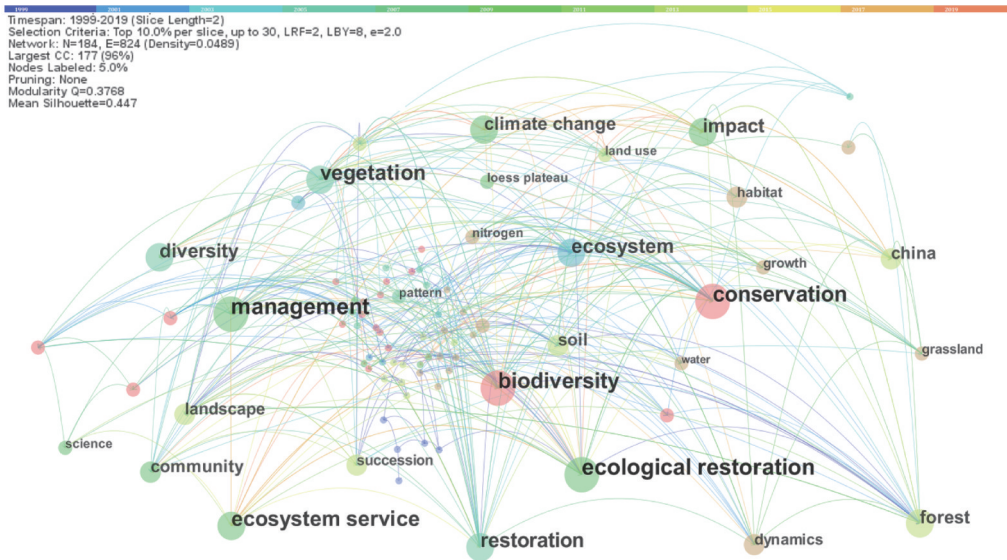


图 8 关键词共现网络

Fig. 8 The occurrence network map of keywords

域关键词的共线网络中, Q 值=0.354 \geq 0.3, S 值=0.5818 \geq 0.5, 说明该网络结构显著且结果合理; 在共现网络图中, 圆圈直径越大且连线越多, 代表该关键词在网络中的地位越重要。生态修复 (ecological restoration)、管理 (management)、保护 (conservation)、生物多样性 (biodiversity) 和植被 (vegetation) 在网络中占据了核心地位, 核心关键词之间联系密切。

(2) 关键词分类

关键词浓缩了文献中的精华, 能够帮助我们快速了解特定领域的研究对象、方法和目的等。为了更加便捷且可靠地了解生态修复领域关键词的情况, 本文统计了文献中关键词的频次, 根据内在逻辑将所有关键词中频次大于 3 的手动分为三个大类, 即对象 (Objects)、目的 (Purposes) 和研究地区 (Study Regions), 并由此划分了 17 个具体类别和其所占比例 (图 9)。

国土生态修复研究文献中四分之三的关键词与研究对象 (Objects) 有关。通过将关键词分为二级子类别, 研究对象可进一步划分为生态 (Ecology)、植物 (Plant)、空气 (Air)、人口/种群 (Population)、水 (Water) 和土地 (Land) 等。同时由于国土生态修复属于生态学的一个分支, 所以大多数的研究对象被纳入到生态学, 但是考虑到国土生态修复领域涉及

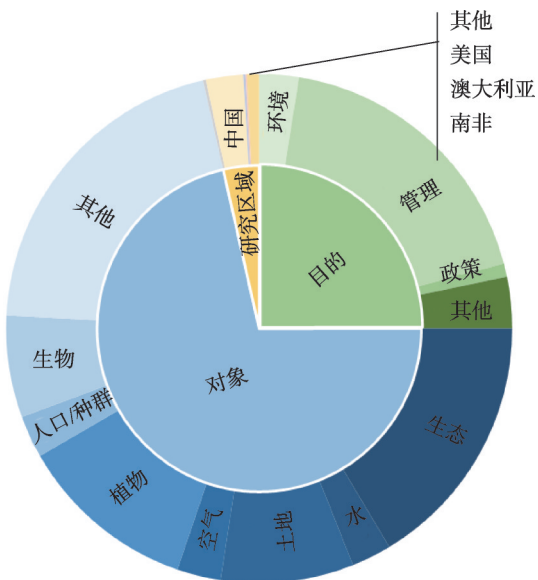


图 9 主要关键词的分类

Fig. 9 The classification of main keywords

的研究对象较多, 因此更多的关键词被划分至子类别其他 (Others) 中。生态 (Ecology) 作为国土生态修复研究文献中的首要研究对象, 其相关关键词包括生态修复 (40.0%)、生态系统服务 (25.7%) 和生态系统 (20.0%) 等。与生态息息相关, 植物 (Plant) 在研究对象的子类别中排名第二, 这是全球植被严重破坏特别是热带雨林被严重破坏背景下的反映^[41], 植被的破坏导致了許多地区的水土污染和水土流失^[42], 同时破坏了种群 (Population) 结构^[43], 而这些与人口的扩张密不可分^[44]。因此人口/种群 (Population)、水 (Water) 和土地 (Land) 等受到了国土生态修复领域学者的大量关注。

国土生态修复研究文献的研究目的 (Purposes) 是第二大关键词类别, 将近四分之一的关键词与研究目的相关, 主要包括环境 (Environment)、管理 (Management)、政策 (Policy) 和其他 (Others) 四个子类别。从图9可以看出, 管理 (Management) 是学者们的第一研究目的, 与其相关的关键词包括管理 (35.4%)、保护 (31.4%) 和修复 (20.0%) 等。在国土生态破坏严峻的情况下, 如何对企业和个人行为进行有效的管理, 约束其破坏行为已经引起了学者们的极大关注^[45], 同时对于管理者而言, 制定何种政策来促进国土生态修复则显得尤为必要^[46], 受到了很多文献的关注。

国土生态修复研究文献的研究地区 (Study Regions) 仅占总关键词的4.8%, 说明现有文献对研究对象的地理差异关注较少。在研究地区方面, 中国是被提到最多的国家。原因一方面研究该领域的学者有近20%来自中国, 另一方面则是中国长期高耗能、高污染和低质量的经济发展模式对国土生态环境造成了严重破坏, 开展全国性的国土生态修复刻不容缓。为了维持经济长期健康稳定发展, 实现人与环境和谐相处, 中国政府采取了各项措施进行国土生态修复^[47,48]。

2.3.2 国土生态修复的研究前沿分析

基于关键词分析, 得到了国土生态修复领域的研究热点。为了更清晰地了解各关键词随时间的演变趋势以及彼此之间的联系, 了解国土生态修复研究领域的前沿变迁, 本文利用CiteSpace绘制出了突显关键词时区分布图 (图10)。

从1999-2019年的演化过程中可以发现: 在研究初期集中爆发了多个关键词, 例如管理 (management)、植被 (vegetation)、保护 (conservation)、生态修复 (ecological restoration) 和生态系统 (ecosystem) 等, 且这些关键词的热度一直较高, 是该领域最基本的关注点。在2005年时, 由于前期国土生态破坏问题, 中国 (China) 逐渐成为热点; 在2011年, 生态系统服务^⑨ (ecosystem service) 成为研究的新热点, 其源于全球人口增加和消费变化对生态系统服务造成巨大影响的大背景^[49], 生态系统服务对实现资源的可持续利用有着重要的理论和现实意义^[50], 1997年Costanza等^[51]学者测算了全球生态服务的经济价值, 从而引起了生态学界越来越多学者的广泛关注^[52,53], 在2011年左右成为该领域研究的爆炸点; 气候变化 (climate change) 受“最强厄尔尼诺年”和第21届联合国气候变化大会等事件的助推, 成为2015年该领域的热议话题^[54,55]; 近两年没有出现特别的热点话题, 但森林修复 (forest restoration) 和项目/方案/工程 (program) 正逐渐成为生态修复领域的研究热点^[56]。

从研究热点的发展情况来看, 在未来国土生态修复的研究过程中, 人文社科 (经

^⑨ 生态系统服务理论是指人类直接或间接从生态系统得到利益的过程, 主要包括向经济社会系统输入有用物质和能量、接受和转化来自经济社会系统的废弃物以及直接向人类社会成员提供服务。

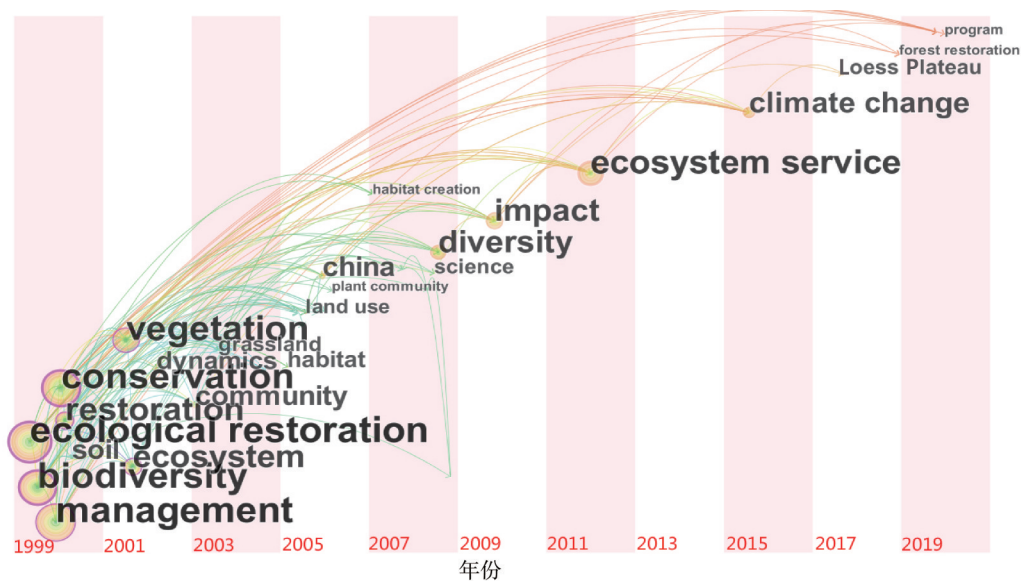


图10 突显关键词时区分布

Fig. 10 The time zone layout of burst terms in the land ecological restoration research

济、管理和社会学等)和自然科学(生态学、工程学和环境学等)交叉下的系统性统筹将成为发展趋势。在国土生态破坏的大背景下,如何修复破坏的国土生态环境成为大家最关心的问题。与其他行业不同的是,国土生态修复绝大部分都是公共物品和准公共物品,无法通过市场进行解决,加上国土生态修复的正外部性决定了其投资主体多为政府等公共部门,如何降低国土生态修复成本^[57]、如何处理国土生态修复与文化习俗矛盾^[58]以及如何将技术运用到国土生态修复领域^[59]等,都不是单个学科能够解决的问题,需要系统统筹。所以在未来的研究中,融合自然科学和社会科学的系统性统筹管理将在国土生态修复领域大放异彩。

3 讨论

国土生态修复与工业革命相伴而生,虽有几百年的历史,但学术界对其的关注不过是最近几十年的事情。整体而言,国土生态修复的学术研究经历了从“漠视”到逐渐“兴起”以及现在不断“重视”的过程,但其背后隐藏的是人口暴增、污染加剧和气候突变等现实性问题。所以,实施国土生态修复对于世界可持续发展有着重要的意义。

国土生态修复领域中的研究热点一直都围绕着“国土修复”和“生态修复”两个主要方面展开,但缺乏系统性统筹。国土生态修复是系统性工作,各个子系统之间需要协同发展才能推动国土生态修复研究的深入,国土生态修复“生命共同体”理念亟需得到落实。所以,融合自然科学和人文科学的系统性统筹将是国土生态修复领域未来的发展趋势。跨学科的交流将是国土生态修复领域不断发展的源头活水,国土生态修复作为一项系统性工程,需要集百家之长,汲取并结合经济学和管理学分析管理方法、社会学和民俗学等人文关怀精神、工学和理学等技术支持,融合多个学科力量进行系统性统筹管理才能促进该领域的不断发展。

上述的分析表明,进一步从学术研究和政策实施方面提出更具创新力的政策显得至关重要。在学术研究领域,进一步完善国土生态修复研究亟需加强该领域研究的学术力量和学术交流。首先,发达国家在该领域具有垄断地位,与发展中国家交流甚少,不利于研究成果在发展中国家的实施;其次,从事该领域研究的机构和学者数量少,国家、机构和作者小团体过度“集聚”不利于国土生态修复研究的交流和深入发展;然后,不同学科间交流过少,主要集中在环境和生态学领域,可能导致研究视野受限等问题。所以,学者间跨国、跨机构和跨学科的交流就显得尤为必要。在政策实施方面,融合百家之长,全面统筹,构建国土生态修复“命运共同体”。首先,汲取各学科研究方法,提升国土生态修复方法的科学性和创新性,同时需要考虑经济性,也需要结合人文精神,更需要可靠的技术和装备的支撑,三者缺一不可;其次,国土生态修复是一个系统性工程,在根据不同区域、类型及破坏情况进行修复的同时,需要考虑到国土生态系统的破碎性,防止出现国土生态修复的孤岛现象。

4 结论

本文以 Web of Science 数据库中整理出的 1196 篇文献为研究对象,采用文献计量法首次系统地对国际上国土生态修复研究的起源、发展脉络和特征进行了梳理和分析。研究发现,国土生态修复发文量逐年增加,越来越受到国际社会关注;美国学者在该领域影响力较大, Aronson J 和 Covington W W 等在国土修复领域处于核心地位,他们在热带雨林修复和黄松林修复上贡献突出;此外,中国学者也不落后,以中国科学院傅伯杰院士为代表的诸多学者为该领域的研究贡献了重要力量。机构方面,中科院在该领域担任领头羊的角色,且北京师范大学等中国科研机构也同样表现不俗,中外机构间合作密切。国家方面,美国是该领域核心,中国逐渐向核心靠拢,逐渐形成了“中国—美国”和“意大利—巴西—法国—西班牙—加拿大”两大新兴合作团体。此外,在热点和前沿分析上,以国土生态为中心而展开的水、土壤和人口/种群问题等都是该领域的研究对象,采用何种政策和如何管理环境是该领域研究的主要目的,中国、美国和澳大利亚是目前该领域研究中最关心的国家。

参考文献(References):

- [1] 卢森贝. 资本论注释第一卷. 上海: 三联书店, 1963: 1-392. [LU S B. Capital Notes Volume I. Shanghai: SDX Joint Publishing Company, 1963: 1-392.]
- [2] 约翰·R·麦克尼尔, 格非. 能源帝国: 化石燃料与 1580 年以来的地缘政治. 学术研究, 2008, (6): 108-114. [MCNEILL W H, GE F. Energy empire: Fossil fuels and geopolitics since 1580. Academic Research, 2008, (6): 108-114.]
- [3] 梅雪芹. 工业革命以来西方主要国家环境污染与治理的历史考察. 世界历史, 2000, (6): 20-28. [MEI X Q. A Historical study on the environmental pollution and prevention of the western countries since the industrial revolution. World History, 2000, (6): 20-28.]
- [4] BARKER J. Clean Air around the World: The Law and Practice of Air Pollution Control in 14 Countries in 5 Continents. Brighton: International Union of Air Pollution Prevention Associations, 1988.
- [5] KOLLE S R, THYAVANAHALLI S H. Global research on air pollution between 2005 and 2014: A bibliometric study. Collection Building, 2016, 35(3): 84-92.
- [6] ANI I J, AKPAN U G, OLUTOYE M A, et al. Photocatalytic degradation of pollutants in petroleum refinery wastewater by TiO₂ and ZnO-based photocatalysts: Recent development. Journal of Cleaner Production, 2018, 205: 930-954.
- [7] BURGER J, GOCHFELD M, POWERS C W. Integrating long-term stewardship goals into the remediation process: Natural resource damages and the Department of Energy. Journal of Environmental Management, 2007, 82(2): 189-199.

- [8] CAIRNS J. The recovery process in damaged ecosystems. *Journal of Ecology*, 1980, 69(3): 1062.
- [9] SHARPLES F E, DUNFORD R W, BASCIETTO J J, et al. Integrating natural resource damage assessment and environmental restoration at federal facilities. *Federal Facilities Environmental Journal*, 1993, 4(3): 295-318.
- [10] BURGER J. Incorporating ecology and ecological risk into long-term stewardship on contaminated sites. *Remediation Journal*, 2002, 13(1): 107-119.
- [11] BURGER J. Environmental management: Integrating ecological evaluation, remediation, restoration, natural resource damage assessment and long-term stewardship on contaminated lands. *Science of the Total Environment*, 2008, 400(1-3): 6-19.
- [12] WANG X M, ZHANG C X, HASI E, et al. Has the three norths forest shelterbelt program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiarid China?. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(1): 13-22.
- [13] GROSJEAN P, ANDREAS K. How sustainable are sustainable development programs?: The case of the sloping land conversion program in China. *World Development*, 2009, 37(1): 268-285.
- [14] CAI X, LU Y, WU M, et al. Does environmental regulation drive away inbound foreign direct investment?: Evidence from a quasi-natural experiment in China. *Journal of Development Economics*, 2016, 123: 73-85.
- [15] DE BAKKER F G A, GROENEWEGEN P, DEN HOND F. A bibliometric analysis of 30 years of research and theory on corporate social responsibility and corporate social performance. *Business & Society*, 2005, 44(3): 283-317.
- [16] HIRSCH J E. An index to quantify an individual's scientific research output. *PNAS*, 2005, 102(46): 16569-16572.
- [17] 李彬彬, 许明祥, 巩晨, 等. 国际土壤质量研究热点与趋势: 基于大数据的CiteSpace可视化分析. *自然资源学报*, 2017, 32(11): 1983-1998. [LI B B, XU M X, GONG C, et al. Hotspots and trends in international soil quality research. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(11): 1983-1998.]
- [18] WU F, GENG Y, TIAN X, et al. Responding climate change: A bibliometric review on urban environmental governance. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 204: 344-354.
- [19] 孙艳芝, 沈镭. 关于我国四大足迹理论变化研究的文献计量分析. *自然资源学报*, 2016, 31(9): 1463-1473. [SUN Y Z, SHEN L. Bibliometric analysis on research progress of four footprint methodologies in China. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(9): 1463-1473.]
- [20] 邱均平, 王曰芬. 文献计量内容分析法. 北京: 国家图书馆出版社, 2008: 1-405. [QIU J P, WANG Y F. *Bibliometric Analysis*. Beijing: National Library of China Publishing House, 2008: 1-405.]
- [21] 魏志华, 林亚清, 吴育辉, 等. 家族企业研究: 一个文献计量分析. *经济学季刊*, 2014, 13(1): 27-56. [WEI Z H, LIN Y Q, WU Y H, et al. Family business research: A bibliometric analysis. *China Economic Quarterly*, 2014, 13(1): 27-56.]
- [22] DU H, LI B, BROWN M A, et al. Expanding and shifting trends in carbon market research: A quantitative bibliometric study. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 104-111.
- [23] CHEN C M. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. *PNAS*, 2004, 101(s1): 5303-5310.
- [24] PERSSON O, DANELL R, SCHNEIDER J W. How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis. In: ÅSTRÖM F, DANELL R, LARSEN B, et al. *Celebrating Scholarly Communication Studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday*, ed. Leuven, Belgium: International Society for Scientometrics and Informetrics, 2009: 9-24.
- [25] ARONSON J, BLIGNAUT J N, ARONSON T B. Conceptual frameworks and references for landscape-scale restoration: Reflecting back and looking forward. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 2017, 102(2): 188-201.
- [26] 孙泽祥, 刘志锋, 何春阳, 等. 中国北方干燥地城市扩展过程对生态系统服务的影响: 以呼和浩特—包头—鄂尔多斯城市群地区为例. *自然资源学报*, 2017, 32(10): 1691-1704. [SUN Z X, LIU Z F, HE C Y, et al. Impacts of urban expansion on ecosystem services in the drylands of Northern China: A case study in the Hohhot-Baotou-Ordos Urban Agglomeration region. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(10): 1691-1704.]
- [27] WENNING R J, SORENSEN M, MAGAR V S. Importance of implementation and residual risk analyses in sediment remediation. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2006, 2(1): 59-65.
- [28] 鲍超, 方创琳, 柳文华. 生态环境约束下的干旱区域用水联动模式: 以河西走廊张掖市为例. *自然资源学报*, 2010, 25(11): 1949-1959. [BAO C, FANG C L, LIU W H. Water utilization modes linked with urban and rural arid areas restricted by eco-environments: A case study of Zhangye city in the Hexi Corridor. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(11): 1949-1959.]
- [29] 方创琳, 王振波, 刘海猛. 美丽中国建设的理论基础与评估方案探索. *地理学报*, 2019, 74(4): 619-632. [FANG C L, WANG Z B, LIU H M. Exploration on the theoretical basis and evaluation plan of beautiful China construction. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 619-632.]

- [30] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550. [FANG C L, ZHOU C H, GU C L, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 531-550.]
- [31] STEWART A. Who could best complement a team of family business researchers-scholars down the hall or in another building?. *Family Business Review*, 2008, 21(4): 279-293.
- [32] CALMON M, BRANCALION P H S, PAESE A, et al. Emerging threats and opportunities for large-scale ecological restoration in the Atlantic Forest of Brazil. *Restoration Ecology*, 2011, 19(2): 154-158.
- [33] RODRIGUES R R, GANDOLFI S, NAVE A G, et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(10): 1605-1613.
- [34] HARRIS J A, HOBBS R J, HIGGS E, et al. Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, 2006, 14(2): 170-176.
- [35] ARONSON J, CLEWELL A F, BLIGNAUT J N, et al. Ecological restoration: A new frontier for nature conservation and economics. *Journal for Nature Conservation*, 2006, 14(3-4): 135-139.
- [36] BAILEY J D, COVINGTON W W. Evaluating ponderosa pine regeneration rates following ecological restoration treatments in Northern Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155(1-3): 271-278.
- [37] COVINGTON W W, MOORE M M. Postsettlement changes in natural fire regimes and forest structure: Ecological restoration of old-growth ponderosa pine forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 1994, 2(1-2): 153-181.
- [38] MAST J N, FULE P Z, MOORE M M, et al. Restoration of presettlement age structure of an Arizona ponderosa pine forest. *Ecological Applications*, 1999, 9(1): 228-239.
- [39] XU J Y, CHEN L D, LU Y H, et al. Sustainability evaluation of the Grain for Green Project: From local people's responses to ecological effectiveness in Wolong Nature Reserve. *Environmental Management*, 2007, 40(1): 113-122.
- [40] FU B J, WU B F, LYU Y H, et al. Three Gorges Project: Efforts and challenges for the environment. *Progress in Physical Geography*, 2010, 34(6): 741-754.
- [41] PACIFICO F, FOLBERTH G A, SITCH S, et al. Biomass burning related ozone damage on vegetation over the Amazon forest: A model sensitivity study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, 15(5): 2791-2804.
- [42] ZHANG L, WANG J, BAI Z, et al. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena*, 2015, 128: 44-53.
- [43] PALMER M A, MARGARET A, JOY B, et al. "Ecological Theory and Restoration Ecology." *Foundations of Restoration Ecology*. Washington DC: Island Press, 2016: 3-26.
- [44] CAIRNS JR J. *Rehabilitating Damaged Ecosystems*. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [45] BUTLER W H, MONROE A, MCCAFFREY S. Collaborative implementation for ecological restoration on US public lands: Implications for legal context, accountability, and adaptive management. *Environmental Management*, 2015, 55(3): 564-577.
- [46] BORGSTRÖM S, ZACHRISSON A, ECKERBERG K. Funding ecological restoration policy in practice-patterns of short-termism and regional biases. *Land Use Policy*, 2016, 52: 439-453.
- [47] LU C, ZHAO T, SHI X, et al. Ecological restoration by afforestation may increase groundwater depth and create potentially large ecological and water opportunity costs in arid and semiarid China. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 176: 1213-1222.
- [48] TONG X, WANG K, YUE Y, et al. Quantifying the effectiveness of ecological restoration projects on long-term vegetation dynamics in the karst regions of Southwest China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, 54: 105-113.
- [49] VITOUSEK P M, MOONEY H A, LUBCHENCO J, et al. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(5325): 494-499.
- [50] ASSESSMENT M E. *Ecosystems and Human Well-being*. Washington DC: Island Press, 2005.
- [51] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [52] RAUDSEPP-HEARNE C, PETERSON G D, BENNETT E M. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *PNAS*, 2010, 107(11): 5242-5247.
- [53] BURKHARD B, KROLL F, NEDKOV S, et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.

- [54] GLYNN P W, ENOCHS I C, AFFLERBACH J A, et al. Eastern pacific reef fish responses to coral recovery following El Niño disturbances. *Marine Ecology Progress Series*, 2014, 495: 233-247.
- [55] SASAKI T, FURUKAWA T, IWASAKI Y, et al. Perspectives for ecosystem management based on ecosystem resilience and ecological thresholds against multiple and stochastic disturbances. *Ecological Indicators*, 2015, 57: 395-408.
- [56] REID J L, FAGAN M E, ZAHAWI R A. Positive site selection bias in meta-analyses comparing natural regeneration to active forest restoration. *Science Advances*, 2018, 4(5): eaas9143, Doi: 10.1126/sciadv.aas9143.
- [57] GRIMA N, SINGH S J, SMETSCHKA B, et al. Payment for Ecosystem Services (PES) in Latin America: Analysing the performance of 40 case studies. *Ecosystem Services*, 2016, 17: 24-32.
- [58] WEHI P M, LORD J M. Importance of including cultural practices in ecological restoration. *Conservation Biology*, 2017, 31(5): 1109-1118.
- [59] MADSEN M D, DAVIES K W, BOYD C S, et al. Emerging seed enhancement technologies for overcoming barriers to restoration. *Restoration Ecology*, 2016, 24: S77-S84.

The evolution and frontier development of land ecological restoration research

YI Xing¹, BAI Cai-quan¹, LIANG Long-wu², ZHAO Zi-cong³,
SONG Wei-xuan⁴, ZHANG Yan⁵

(1. The Center for Economic Research, Shandong University, Jinan 250100, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. Nanjing Institute of Geography & Limnology, CAS, Nanjing 210008, China; 5. School of Economics & Management, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Ecological restoration of the land is a major measure to promote ecological protection and restoration, serve the construction of ecological civilization and accelerate the development of modernization. It is of great significance to human survival and social progress. This paper uses the bibliometrics and network analysis methods, takes 1196 articles in the Web of Science database as the research object, deeply analyzes the dynamic trends, cooperation and research hotspots of the land ecological restoration research, further discriminates the evolution process and explores the progress of the frontier. The research shows that: (1) The land ecological restoration has been increasingly concerned by academic circles at home and abroad, and the research literature mainly concentrates on the fields of ecology and environment. (2) Scholars and research institutions in developed countries such as the United States have prominent influence in this field. China has shown strong development potential and is a core member of the emerging cooperative group, and the Chinese Academy of Sciences has become one of the most influential institutions in the world. (3) The elements of water, soil and population with ecology as the core are the main research objects in this field, and the comprehensive research under the intersection of humanities and natural sciences is the future development trend of this field.

Keywords: land ecological restoration; bibliometrics; network analysis; evolution process; frontier progress