



DOI: 10.5846/stxb202107272041

管英杰, 刘俊国, 崔文惠, 贾金霖. 基于文献计量的中国生态修复研究进展. 生态学报, 2022, 42(12): 5125-5135.

基于文献计量的中国生态修复研究进展

管英杰, 刘俊国*, 崔文惠, 贾金霖

南方科技大学环境科学与工程学院, 深圳 518055

摘要:生态修复是实现中国生态文明建设的有效途径。然而,我国生态修复研究发展态势尚不明晰。采用文献计量学,从年发文量、期刊分布、科研机构分布、合作研究及研究重点等方面对其进行系统性的分析。结果表明:我国生态修复研究虽起步较晚,但近年来发展速度迅速。我国相关科研成果全球占比呈指数式增长,但国际影响力有待提高。我国科研人员间已经建立了广泛的合作研究关系,国家间合作模式主要为双边合作,近年来机构间合作呈现出向多边合作发展趋势。我国生态修复研究重点关注“生物多样性”、“生态系统服务”和“生态修复理论与技术”等方面,但对生态修复与社会经济议题的结合研究尚显不足。黄土高原地区、喀斯特地貌区、土壤重金属污染地区以及江河湖泊和湿地是我国生态修复研究的重点。未来需进一步加强多类型生态系统协同修复的内在机理和规律、渐进式生态修复理论在实践中的应用、生态修复与社会经济议题的结合等方面的研究。

关键词:生态修复;文献计量;渐进式生态修复;科研合作

生态环境问题是全球热点话题之一^[1]。不合理的人类活动是导致生态环境不断恶化的主要原因^[2]。为解决日益严重的生态环境问题,生态修复逐渐受到重视^[3]。党的十八大把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局,描绘了建设“美丽中国”的蓝图;十八大报告中提出“要实施重大生态修复工程,增强生态产品生产能力,推进荒漠化、石漠化、水土流失综合治理,扩大森林、湖泊、湿地面积,保护生物多样性”。2014年12月28日,北京生态修复学会成立,致力于我国生态修复理论与实践的发展。2021年3月12日,新华社受权发布《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,文中强调“实施重要生态系统保护和修复重大工程”、“完善生态保护和修复用地用海等政策”、“鼓励各类社会资本参与生态保护修复”等。因此,生态修复成为当前及未来政府和科研工作的重点之一。

生态修复是指采取人工措施让受损的生态系统尽可能恢复到某一参照状态的过程^[4-5]。开展生态修复是整治我国生态环境问题的一项重要举措^[6],也是推动我国生态文明建设的一项核心工作^[7],关系到国家生态安全^[8],对推进绿色发展^[9]、推动人与自然和谐共生^[10]十分重要。生态修复研究是推动生态修复工程开展的基础。近年来,世界范围内生态修复研究发展迅速,我国也正积极推进生态修复研究^[11]。然而,我国生态修复研究发展态势如何?主要研究力量如何分布?有哪些研究重点和热点?发展动向是什么?存在哪些不足?以上问题迄今为止还没有明确的答案。系统分析我国生态修复研究发展现状及趋势,是正确认识我国生态修复研究发展规律的基础,可为未来相关研究提供参考和建议,对推动我国生态修复研究健康发展至关重要。

传统文献综述通常为定性描述,不仅包括的文献量相对较少,而且主要基于个人经验和判断。基于以上因素,本文引入文献计量学。文献计量学用于定量研究某领域的发展,其以文献为研究对象,采用数学和统计

基金项目:深圳市可持续发展科技专项(KCXFZ20201221173601003)

收稿日期:2021-07-27; 网络出版日期:2022-02-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: junguo.liu@gmail.com

学方法分析文献各种特征的数量变化规律和潜在信息,并以此描述、分析和评价某领域的过去、现状和未来动向^[12-13]。

1 数据来源和分析策略

文献计量分析时,文献的数量和质量直接影响到结果的真实性和准确性。本研究选择如下文献数据库:

(1)因为生态修复研究不仅涉及自然科学,也涉及社会科学^[14],所以本研究使用 Web of Science(WoS)核心合集数据库中的 Science Citation Index Expanded(SCI-E)数据库和 Social Sciences Citation Index(SSCI)数据库。

(2)由于 WoS 核心合集数据库仅记录了我国生态修复研究部分成果,但更多成果被发表在国内具有良好声誉和影响力的期刊上,所以本研究同时使用中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, CSCD)。于 1989 年创建的 CSCD 是我国第一个引文数据库,收录了多个领域的科技核心期刊及优秀期刊,被称为“中国的 SCI”。

本研究在 WoS 核心合集数据库中的检索策略参照 Guan 等^[11],为:

主题:(“ecological restoration” OR “restoration ecology”)AND 文献类型:(Article)

索引:SCI-E,SSCI

根据前人的研究^[15-17],本研究选择“生态修复”、“生态恢复”和“生态重建”作为中文检索词,在 CSCD 中的检索策略为:

主题:(生态修复 or 生态恢复 or 生态重建)AND 文献类型:(Article)

索引:CSCD

检索语言=自动

检索日期为 2021 年 5 月 7 日,数据库的搜索时间跨度均为 2021 年以前(不含 2021 年)。检索时,WoS 核心合集数据库最新更新日期为 2021 年 5 月 6 日,检索结果为 5892 篇英文文献;提取我国科研机构发表的生态修复文献时,在检索策略中限定地址信息为“中国”,检索结果为 1772 篇文献。CSCD 最新更新日期为 2021 年 4 月 24 日,检索结果为 5173 篇中文文献。除去文献各作者的第一单位均不是中国科研机构、外国科研机构人员在国内科技期刊发表的文献、译文等情况后,WoS 核心合集数据库中符合要求的英文文献为 1767 篇(占全球生态修复研究领域文献量的 30.0%),CSCD 中符合要求的文献为 5158 篇。

2 结果与分析

2.1 年发文量和发文比

我国经济发展和生态文明建设关系在不同阶段表现不同,刘俊国等将其划分为 3 个阶段:1978—2000 年是“经济优先”发展阶段;2000—2012 年,我国从“经济优先”逐步向“生态优先”过渡;2012 年以后,我国进入“生态优先”阶段^[18]。在本研究中,我们把我国在 WoS 核心合集数据库和 CSCD 中的每年相关文献累加,结果如图 1 所示。由图 1 可知,我国生态修复研究发展阶段与刘俊国等的研究一致:2000 年以前,“经济优先”发展阶段期间,年发文量很少且增长缓慢,生态修复方面的研究没有受到足够的重视;2000—2012 年,“经济优先”向“生态优先”过渡阶段期间,年发文量稳定增长且年增长幅度较大;2012 年以后,“生态优先”阶段中,年发文量快速增长,几乎呈指数型增长趋势。

图 2 展示了我国生态修复研究的近况和世界上其他国家的对比。近年来我国生态修复研究的年发文量占全球年发文量的比例逐步增长。同样,2000 年之前,我国年发文量占比很少;2000—2012 年,我国年发文量占比稳定增长,2010 年,占比首次超过 20%;2012 年以后,我国年发文量占比快速增长,2014 年,占比首次超过 30%,2019 年,占比首次超过 40%,2020 年,占比接近 50%;同时,美国的年发文量占比在逐年下降,这表明近年来我国为全球生态修复研究的发展做出了重要贡献。

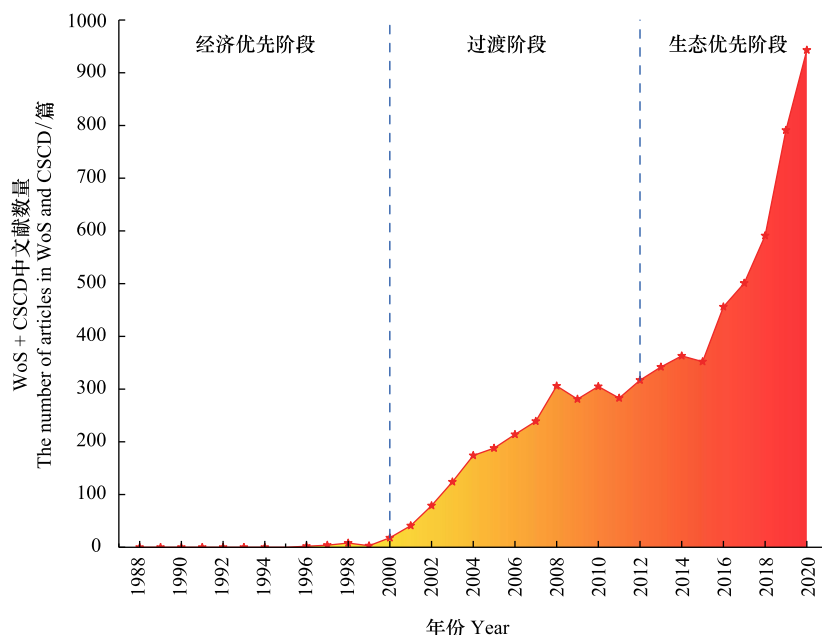


图1 中国生态修复研究领域的年发文量变化趋势(数据源:WoS⁽¹⁾+CSCD⁽²⁾)

Fig.1 The trends of the annual number of papers of the ecological restoration field of China (WoS+CSCD)

(1) WoS: Web of Science; (2) CSCD: 中国科学引文数据库 Chinese Science Citation Database

综上,虽然我国生态修复研究起步较晚,但近年来发展速度迅速,而且发展态势依旧强劲。这与我国对生态环境保护和修复的重视程度紧密联系。改革开放后,我国经济迅猛增长,但最大牺牲品却是我国的生态环境。1998年特大洪水灾害发生后,生态环境保护和修复逐渐受到重视,我国开展了多项生态修复工程,如退耕还林工程、天然林资源保护工程等^[19]。我国生态修复研究也随之逐渐发展。“科学发展观”被提出后,中国更加重视经济、社会与生态环境的全面、协调和可持续发展,把生态环境保护放在与经济建设一样的位置。建设生态文明的重大战略目标在党的十七大报告中首次明确提出;党的十八大把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局;党的十九大作出“实施重要生态系统保护和修复重大工程”重大决策部署,随后《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》于2020年6月公布,以上均体现近年来我国高度重视生态环境保护和修复。工程实践的开展离不开相关科学理论的有力支撑。生态修复工程实践的快速发展,就要求发挥支撑、服务作用的相关科学研究也要同步,甚至优先发展。因此,生态修复研究越来越受到各界的关注和重视。经过长期的积累,我国科研人员在该领域开展的相关研究工作不断扩展和深化,研究成果逐渐发表在国内和国际期刊上。

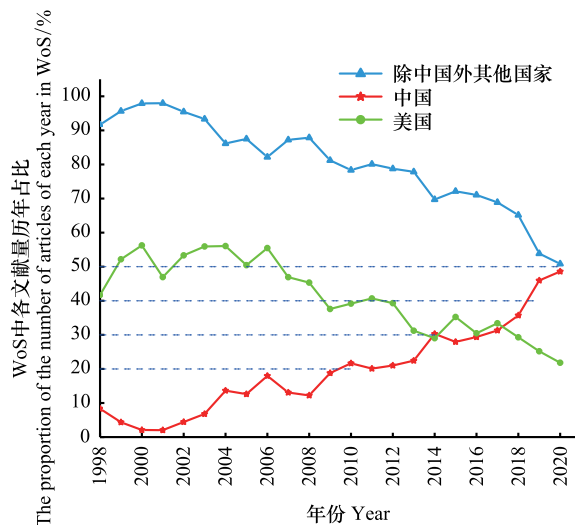


图2 中国与其他国家的历年文献量在总文献量中占比(数据源:WoS)

Fig.2 The proportion of the number of papers of each year of China and other countries in the total number of articles (WoS)

2.2 期刊分布

根据 Guan 等^[11]的研究,在 WoS 核心合集数据库中,全球生态修复领域具有广泛影响力的期刊包括: *Restoration Ecology*, *Ecological Engineering*, *Forest Ecology and Management*, *Journal of Applied Ecology*, *Ecological Applications*, *Environmental Management* 和 *Biological Conservation* 等。由表 1 可知:在以上具有广泛影响力的 7 个期刊中,我国生态修复研究成果主要刊登在 *Ecological Engineering* 上,其他 6 种最具影响力的期刊较少刊登我国生态修复研究成果,尤其在国际恢复生态学学会主办的刊物 *Restoration Ecology* 发文量很小。这在一定程度上说明我国生态修复研究的国际影响力有待提高。

表 1 刊登中国生态修复研究成果前 10 的国际期刊(数据源:WoS⁽¹⁾)

Table 1 The top 10 international journals which published ecological restoration research of China (WoS)

排序 Rank	期刊名称 Journal	发文量及占比 The number of articles (Proportion)	排序 Rank	期刊名称 Journal	发文量及占比 The number of articles (Proportion)
1	Ecological Engineering	129 (7.3%)	7	Plos One	32 (1.8%)
2	Science of The Total Environment	83 (4.7%)	8	Environmental Earth Sciences	29 (1.6%)
3	Sustainability	56 (3.2%)	8	Remote Sensing	29 (1.6%)
4	Ecological Indicators	55 (3.1%)	8	Water	29 (1.6%)
5	Environmental Science and Pollution Research	37 (2.1%)	9	Scientific Reports	26 (1.5%)
5	Land Degradation Development	37 (2.1%)	9	International Journal of Environmental Research and Public Health	26 (1.5%)
6	Catena	34 (1.9%)	10	Environmental Monitoring and Assessment	25 (1.4%)

(1) WoS: Web of Science

CSCD 中,代表我国生态修复研究成果的 5158 篇文献一共分布在 380 多种期刊上,表 2 列出了其中刊文量排在前 10 位的期刊,这些期刊一共刊登了其中的 1643 篇文献,占 5158 篇文献的 31.9%。其中,《生态学报》刊登我国生态修复研究成果最多,达到 408 篇文献,占 5158 篇文献的 7.9%。

表 2 刊登中国生态修复研究成果前 10 的国内期刊(数据源:CSCD⁽¹⁾)

Table 2 The top 10 domestic journals which published ecological restoration research of China (CSCD)

排序 Rank	期刊名称 Journal	发文量及占比 The number of articles (Proportion)	排序 Rank	期刊名称 Journal	发文量及占比 The number of articles (Proportion)
1	生态学报	408 (7.9%)	7	生态环境学报	87 (1.7%)
2	水土保持研究	255 (4.9%)	8	草业科学	85 (1.6%)
3	水土保持通报	206 (4.0%)	8	长江流域资源与环境	85 (1.6%)
4	生态学杂志	135 (2.6%)	9	湖泊科学	84 (1.6%)
5	应用生态学报	112 (2.2%)	10	农业工程学报	83 (1.6%)
6	水土保持学报	103 (2.0%)			

(1) CSCD: 中国科学引文数据库 Chinese Science Citation Database

2.3 科研机构分布

我国有众多科研机构致力于生态修复研究, WoS 核心合集数据库中,统计我国各科研机构发文量,其中发文量超过 50 篇的科研机构名单如表 3 所示; CSCD 中,统计我国各科研机构发文量,其中发文量超过 100 篇的科研机构名单如表 4 所示。

综合表 3、4 可知:虽然我国有众多科研机构开展生态修复研究,但中国科学院、北京师范大学、西北农林科技大学及北京林业大学(按表 3、4 发文量之和和排序)是我国生态修复研究领域的主要研究力量。其中, WoS

核心合集数据库中,中国科学院发文量占我国科研机构总发文量的 41.8%;CSCD 中,中国科学院的发文量占我国科研机构总发文量的 22.0%。因此,中国科学院的生态修复研究大幅领先于国内其他科研机构。中国科学院有众多科研院所和科研人员是重要原因之一。

表 3 WoS 中发文量大于 50 篇的国内科研机构
Table 3 Domestic institutions with more than 50 articles in WoS

排序 Rank	机构名称 Institution	发文量及占比 The number of articles (Proportion)	排序 Rank	机构名称 Institution	发文量及占比 The number of articles (Proportion)
1	Chinese Academy of Sciences	737 (41.7%)	3	Northwest A&F University	136 (7.7%)
2	Beijing Normal University	168 (9.5%)	4	Beijing Forestry University	103 (5.8%)

表 4 CSCD 中发文量大于 100 篇的国内科研机构
Table 4 Domestic institutions with more than 100 articles in CSCD

排序 Rank	机构名称 Institution	发文量及占比 The number of articles (Proportion)	排序 Rank	机构名称 Institution	发文量及占比 The number of articles (Proportion)
1	中国科学院	1128 (21.9%)	3	西北农林科技大学	170 (3.3%)
2	北京林业大学	194 (3.8%)	4	北京师范大学	146 (2.8%)

2.4 各层次合作研究发展趋势

目前,生态修复研究的广度与深度不断发展,呈现高度分化又高度交叉融合的特点。某些研究议题涉及范围广、综合性强或难度较大,由此引起生态修复研究领域科研人员组织形式的变化。合作研究可以扬长避短,了解我国生态修复合作研究情况,可判断我国生态修复研究的交流广度与深度。

判断是否属于合作研究的依据参照 Guan 等^[11]。本研究把我国在 WoS 核心合集数据库和 CSCD 的每年相关文献统一考虑,提取每篇文献的作者及对应的地址信息用于分析作者、科研机构和国家间生态修复研究合作情况。由于目前使用中文写作局限于中国地区,CSCD 中的相关文献不用于分析国家间合作研究发展趋势;此外,由于早期发文量偏少,会导致统计结果波动较大,所以作者间、机构间合作趋势分析以两数据库各年发文量之和大于 200 篇的年份为统计起点(即 2006 年),国家间合作趋势分析的时间段保持一致,结果如图 3 所示。

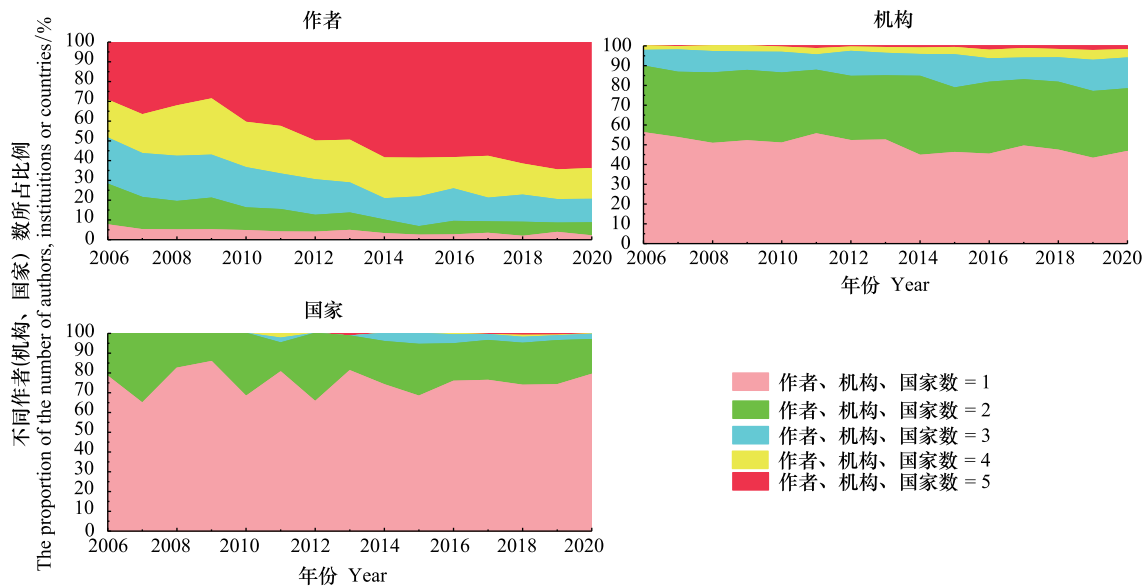


图 3 作者、机构和国家间合作研究发展趋势
Fig.3 The trends of the collaboration among authors, institutions and countries

图3中,每篇学术论文有至少5名作者的趋势愈发明显,其比例于2012年达到50.0%,近3年(2018—2020年)的比例均超过60.0%,说明生态修复合作研究已在科研人员间广泛建立。每篇学术论文主要由不超过2个科研机构的科研人员合作完成,在2006年占比为89.7%,但所占比例在逐年缓慢下降,在2020年占比为78.3%。由此可知:机构间的生态修复合作研究模式主要为双边合作,且合作模式由双边合作向多边合作逐渐发展。加强不同科研机构的科研人员的科研合作,有利于机构间的资源共享。图3中,75%左右的学术论文由我国科研人员独立完成;由我国科研人员和另外1个国家的科研人员合作完成的学术论文的占比在20%左右。因此,我国的生态修复研究国际合作模式主要为双边合作。图4中,圆代表国家,连线代表国家间存在合作关系;连线越宽,代表两个国家间合作次数越多,两个国家对应的圆也越大。由此可知:中国科研人员主要与欧美国家的科研人员开展生态修复研究合作,其中,与美国建立了最为密切的合作关系,与英国、澳大利亚和加拿大建立了较为密切的合作关系。

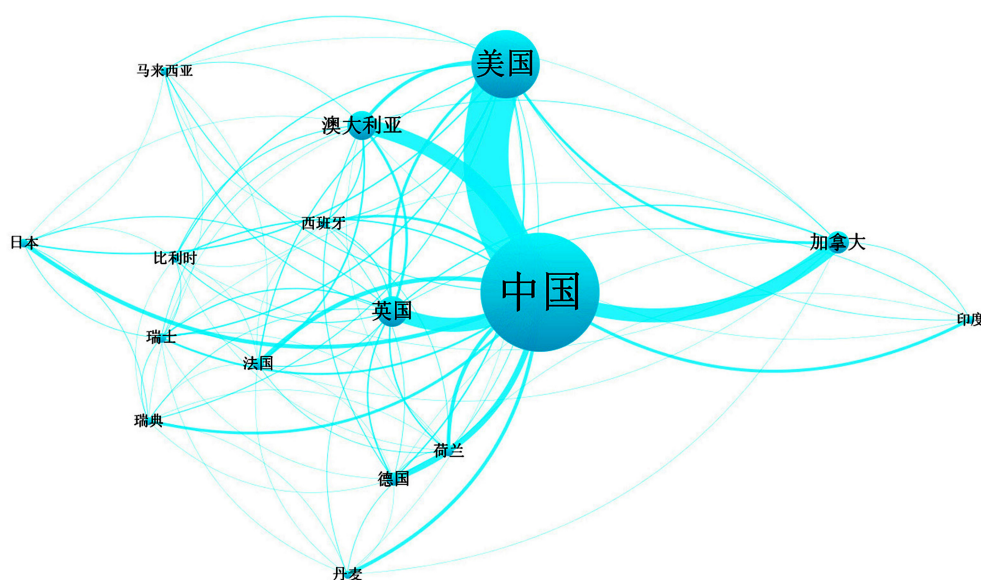


图4 与中国开展生态修复研究合作的15个主要国家

Fig.4 15 major countries that carry out ecological restoration research with China

2.5 研究重点

关键词是表达文献核心内容的词语,是文献核心内容的体现;某研究领域的关键词在规模及使用频率上的变化可在一定程度上反映此领域的发展脉络与今后发展趋势^[11]。本研究根据上文的3阶段划分结论,统计2000年以前、2000—2012年、2012—2020年各阶段文献的关键词,并作词频统计。排除检索关键词后的统计结果如表5、6所示。

由表5、6及对比Guan等^[11]的分析结果可知:我国生态修复研究与全球生态修复研究均重点关注“气候变化”、“生态系统服务”、“生态修复理论与技术”、“生物多样性”、和“生态修复的监测和评价”等研究。不同类型和退化程度不同的生态系统,其适用的修复技术或方法各不相同,生态修复效果也取决于修复方案的科学性。各种生态修复技术具有不同的优缺点,科研人员根据实际情况将物理、化学或生物修复技术进行有机整合,开展复合生态修复技术研究与实践。例如张义等把新型环保陶瓷滤球和沉水植物相结合,最后发现该复合修复技术对沉积物磷的吸附效果优于吸附和沉水植物单独作用之和^[20]。目前,复合修复技术尚处于探索阶段,具有广阔的应用前景。此外,生态修复效果评估方法与可持续管理对生态修复工程也至关重要,也是目前的热点问题,例如航空航天遥感技术在生态修复工程评估与后续管理发挥了重要作用。

表 5 各时期的高频关键词 (数据源:WoS)

Table 5 The high frequency keywords in different periods (WoS)

2000 年前 Before 2000		2000—2012 年		2013—2020 年		整个阶段 Whole time period	
关键词 Keywords	词频 Frequency	关键词 Keywords	词频 Frequency	关键词 Keywords	词频 Frequency	关键词 Keywords	词频 Frequency
Eco-engineering	1	Loess Plateau	10	Climate Change	83	Climate Change	86
Open-pit Mine	1	Biodiversity	7	Loess Plateau	65	Loess Plateau	75
History	1	Tarim River	7	Vegetation Restoration	46	Vegetation Restoration	49
Reservoir	1	Eutrophication	6	Ecosystem Services	44	Ecosystem Services	46
Mineland Restoration	1	Remote Sensing	6	NDVI	33	Restoration	35
Pinus Massoniana	1	Restoration	6	Restoration	28	NDVI	34
Agroforestry System	1	Desertification	5	Soil Erosion	27	Remote Sensing	32
Plantations	1	Soil Erosion	5	Remote Sensing	26	Soil Erosion	32
Restoration	1	Sustainable Development	5	Land Use Change	25	Eutrophication	30
		Wetland	5	Afforestation	24	Afforestation	27
		Genetic Diversity	4	Eutrophication	24	Land Use Change	26
		Reforestation	4	Land Use	24	Biodiversity	25
		Soil Properties	4	Water Quality	24	Land Use	25
		Species Diversity	4	Land Degradation	22	Water Quality	25
		Species Richness	4	Soil Organic Carbon	21	Desertification	24
		Vegetation	4	Soil Moisture	20	Sustainable Development	24

我国生态修复研究与全球生态修复研究均对生态修复与社会科学结合的研究不足,有待深入和完善,如生态修复配套机制,包括政策机制、法律机制、管理机制、补偿机制和市场化责任机制等,因为开展生态修复不仅涉及科学层面,还涉及社会层面^[21]。同时,虽然新型生态系统的理论与实践已成为全球生态修复研究热点议题之一,但是我国目前在这方面开展的研究较少。

由表 5、6 可知,“黄土高原(Loess Plateau)”在表 5 的总时间段中累计出现 75 次,且其出现次数均排在各阶段前 3 位,在表 6 的总时间段中累计出现 88 次;黄土高原地区不仅是世界上水土流失十分严重、生态环境十分脆弱的地区之一,同时也是我国重要的能源和化工基地;所以针对黄土高原水土保持、生态恢复的研究尤为受到关注。“喀斯特”在表 6 的总时间段中累计出现 71 次,因此针对喀斯特地貌区石漠化的防治对策和措施研究也尤为受到关注。长期以来,在矿产资源(如铜矿、煤矿等)丰富地区粗放的资源开采模式,导致土壤重金属污染问题十分突出,因此相关土壤生态修复、植被恢复的研究等也会持续开展,如利用重金属超富集植物的植物修复技术研究,所以“重金属”在表 6 的总时间段中累计出现 73 次。表 5 中,“富营养化(Eutrophication)”在总时间段中累计出现 30 次,“水质(Water Quality)”在总时间段中累计出现 25 次;表 6 中,“富营养化(Eutrophication)”在总时间段中累计出现 120 次,排第 2 位,且其出现次数均排在各阶段前 3 位,反映出针对江河湖泊富营养化的修复是各阶段的重点议题,受到科研人员广泛关注。2016 年 12 月,《湿地保护修复制度方案》发布;《贯彻落实〈湿地保护修复制度方案〉的实施意见》随即发布。随着十九大报告中提出“强化湿地保护和恢复”以及部分代表委员提出应加快国家层面的湿地保护立法,湿地生态修复研究会继续成为生态修复研究的重点。综上,我国对黄土高原地区、喀斯特地貌区、土壤重金属污染、江河湖泊和湿地的修复研究仍是研究的重点。

表 6 各时期的高频关键词 (数据源:CSCD)

Table 6 The high frequency keywords in different periods (CSCD)

2000 年前 Before 2000		2000—2012 年		2013—2020 年		整个阶段 Whole time period	
关键词 Keywords	词频 Frequency	关键词 Keywords	词频 Frequency	关键词 Keywords	词频 Frequency	关键词 Keywords	词频 Frequency
第二代杉木人工林	2	水土保持	62	植被恢复	67	植被恢复	126
富营养化浅水湖泊	2	富营养化	59	富营养化	61	富营养化	120
黄土区	2	植被恢复	59	群落结构	55	黄土高原	88
环境退化	1	可持续发展	48	黄土高原	50	水土保持	84
恢复生态学	1	生态环境	47	土壤养分	50	物种多样性	80
石灰土山地	1	黄土高原	38	重金属	50	重金属	73
景观生态学	1	黄土丘陵区	37	物种多样性	49	喀斯特	71
煤炭城市	1	水土流失	37	土壤	47	土壤	71
矿山	1	喀斯特	33	沉水植物	39	生态环境	68
示范工程	1	生物多样性	33	喀斯特	38	群落结构	67
温度	1	湿地	33	生态系统服务	37	土壤养分	66
径流	1	石漠化	33	时空变化	36	石漠化	65
沉水植物	1	土地利用	31	遥感	35	土地利用	65
水生植被	1	物种多样性	31	土地利用	34	可持续发展	64
生态恢复理论	1	植被	29	环境因子	32	遥感	63
大型露天煤矿	1	遥感	28	石漠化	32	生物多样性	59
露天煤矿	1	生态系统	25	土地复垦	32	沉水植物	56
生态结构	1	评价	24	水生植物	30	黄土丘陵区	55
景观生态规划与设计	1	土壤	24	植被覆盖度	29	湿地	53
塌陷土地复垦	1	土壤侵蚀	23	多样性	28	土地复垦	53
土地复垦	1	重金属	23	植物修复	28	植被	53
岩溶石山地区	1	生态退化	22	景观格局	27	水生植物	51
内蒙古准格尔煤矿	1	对策	21	气候变化	27	水土流失	51
恢复技术	1	水生植物	21	土壤理化性质	27	植物修复	48
采矿废弃地	1	土地复垦	20	植物群落	27	水质	44
扰动土地	1	小流域	20	生物多样性	26	生态系统	43
适生性	1	植物修复	20	生物量	26	土壤水分	43
生态林业	1	湖泊	19	水质	25	植物群落	43
岩溶学	1	水环境	19	土壤水分	24	时空变化	42
排土场复垦	1	水质	19	土壤有机碳	24	景观格局	41
生物操纵	1	太湖	19	植被	24	生态系统服务	41
北亚热带	1	土壤水分	19	黑臭水体	22	评价	40
矿区废弃地	1	退化生态系统	19	群落特征	22	生物量	40
生态农业	1	湖滨带	17	水土保持	22	植被覆盖度	40
专家系统	1	人工湿地	17	土壤酶活性	22	多样性	39
生态渔业	1	退耕还林	17	植被类型	22	气候变化	37

3 研究不足与展望

首先,针对森林、草原、水土流失及荒漠化地区、江河湖泊及湿地、海洋的生态修复理论与技术一直是研究的重点,但随着“山水林田湖草一体化保护和修复”、“自然恢复为主、人工修复为辅”、渐进式生态修复^[18]等理念的提出,构建生态修复研究新格局,探讨更大空间尺度的多类型生态系统系统修复的内在机理和规律,为生态修复工程提供理论支撑,而不再局限于某单一类型或小尺度范围内的生态系统修复研究。同时,由于人

类活动的干扰,许多自然生态系统已经转变为与原来完全不同的状态,并且几乎不可能恢复到以前的状态。在此背景下,Hobbs 等提出了新型生态系统,并将其定义为该生态系统具有与原来状态不同的生物组成和生态系统功能^[22];后来,Hobbs 等将其重新定义由生物要素、非生物要素和社会要素组成的生态系统;由于人类活动的干扰,该生态系统已经转变为与原来完全不同的状态,并且具有自我组织和显现新特性的趋势^[23]。“新型生态系统”的研究已成为国际生态修复研究的热点议题,但也存在不少争论或质疑^[24]。目前,我国在新型生态系统方面开展的研究较少。

“山水林田湖草是生命共同体”被提出后,我国生态文明建设随之步入新阶段。为统筹山水林田湖草的系统保护、整体修复、综合治理,我国组建自然资源部^[25],生态修复新格局体系也随之不断发展和完善。实施山水林田湖草系统修复工程是整治我国生态环境问题的重要途径,也是推动生态文明建设的必然要求。山水林田湖草系统治理强调打破单要素治理,要求实施生态保护及修复时需兼顾整体性和系统性,其中系统治理是山水林田湖草生态保护及修复的主旨,也即要求科研人员和工程人员要解决生态保护修复工程在实施过程中存在整体性不够、系统性不足、连续性较差、持续性不强等问题^[26-27]。未来,开展生态修复研究要充分考虑国土空间的系统性、空间各组分的关联性,探讨更大空间尺度的多类型生态系统协同修复的内在机理和规律,构建生态修复研究新格局,为山水林田湖生态保护修复工作提供指导。相关研究成果的实践与总结是未来全面落实这一理念的关键步骤。生态系统理念没能执行、自然恢复策略有待施行、监测与评价管理体系有待建立、区域全面发展尚需提升、工程宏观布局不尽完善等是目前亟需解决的问题^[28]。“山水林田湖草一体化保护和修复”与“基于自然的解决方案”在核心理念上十分契合,“基于自然的解决方案”颠覆了过往片面依赖技术手段开展生态修复的方式,可对“山水林田湖草一体化保护与修复”的发展与实践应用起到一定推动作用^[25]。

刘俊国等认为生态修复应该面向未来,而不是修复至生态系统退化前的状态,并提出渐进式生态修复理论^[18]。渐进式生态修复理论以生态学原理为基础,结合区域内生态退化的历史条件和现实情况,考虑社会投资和技术水平的限制,包括环境治理、生态修复、自然恢复三阶段生态修复治理模式,从而对受损生态系统进行循环而进的综合治理、系统修复与恢复;深圳市河流治理工程是渐进式生态修复理论的具体体现之一^[18]。渐进式生态修复理论的提出,为中国“生态修复”研究提供了重要理论基础和新思路。在未来的河流生态修复中,基于渐进式生态修复理论,针对不同的环境问题,精准实施环境治理、生态修复、自然恢复等措施,开展水源涵养、生态湿地建设、河流生态修复、生态系统保护与修复,提升流域生态服务功能;要充分考虑生态用水需求以及水环境质量稳定达标,进一步优化水资源配置,加快河湖水系连通工程的建设,创立保障河流生态流量的机制。

其次,开展生态修复会对当地居民的利益产生影响。如生态移民、长江流域重点水域“十年禁渔”等会对当地居民、渔民的生计产生影响。此外,目前我国的生态修复工程仍以政府投入为主,资金投资渠道较为单一;因此,有需要学习其他国家有效引入社会资本的政策和措施。生态修复不仅是科学议题,也是社会议题、经济议题,所以生态修复研究的一个重要方向是生态修复与社会学科、经济学科的交叉研究,如生态修复配套机制,包括政策机制、法律机制、管理机制、补偿机制和市场化责任机制等。

再者,根据 Guan 等^[11]的研究,国家间的生态修复研究合作趋势日益明显;欧美国家位于生态修复研究领域的最前列,不仅因为它们最早开展此研究,也因为这些国家之间建立了广泛密切的合作关系。目前我国在生态修复研究方面和国际上发达国家还存在一定差距,加强国际间合作有利于未来我国生态修复事业的健康发展。一方面,欧美发达国家很早开展了生态修复方面的研究和实践,比如英国以产权制度为基础推进湿地保护,美国从二十世纪九十年代开始便启动了海洋生态修复计划^[29]。本文研究结果表明,目前我国大多数生态修复研究还多处于国内不同机构间合作的状态,在未来的合作中,重视和国际先进研究机构的合作,并汲取前沿生态修复理论和经验,实现优势互补,提升研究能力,将会进一步提升我国未来生态修复研究实力。另一方面,随着“一带一路”建设不断推进、“人类命运共同体”理念日益深入人心,如何加强生态修复南南合作,基

于我国生态修复实践,同时考虑不同国家或地区的生态系统的破坏情况和退化状态存在明显差异这一实际,为其他国家提供宝贵经验,服务“一带一路”沿线生态系统的修复,亟待破局,这也有助于提升我国生态修复研究的世界影响力^[30]。

最后,生态修复研究涉及多个方面,分支议题数量庞大,将来有必要对重要分支议题(如黄河重点生态区生态修复研究)发展态势进行分析。作为中华文明主要发祥地的黄河流域,是我国重要的经济地带和主要生态屏障密集区;但是区域内长期的强人类活动引发了一系列生态环境问题,如河流断流、水土流失严重、生物多样性下降等。面对“一带一路建设”、“黄河流域生态保护与高质量发展”、“黄河重点生态区(含黄土高原生态屏障)生态保护和修复重大工程”等国家重大战略需求,对黄河重点生态区生态修复研究提出了更大的挑战,其更强调修复的系统性、整体性和综合性。对此议题发展态势进行分析,可指导在气候变化大背景下黄河重点生态区生态修复技术研究与实践。依据《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》,以重大生态工程项目为牵引,加大河湖湿地综合治理与生态修复力度,全面对接黄河重点生态区的生态保护及修复重大工程,进一步提升全省水环境质量、生态系统服务功能和生物多样性。同时,黄河流域社会经济发展整体滞后,生态修复如何与区域经济社会发展、生态移民与生态补偿、脱贫攻坚等社会经济议题有机结合值得研究。需要强调的是,针对黄河流域的生态修复指导文件、工作方案涉及国家多个部门和多个省份,如何打破各个区域“各自为战”的修复模式,统筹出台相关指导文件,进而建立有效的沟通协调机制、搭建黄河重点生态区生态大数据共享平台,达到避免黄河流域生态修复出现割裂情形的目的,值得探究。

需要指出的是,虽然本研究只选择了“Ecological Restoration”和“Restoration Ecology”作为英文检索词,也只选择了“生态修复”、“生态恢复”和“生态重建”作为中文检索词,但是其他关键词,例如“Ecological Rehabilitation”、“土地复垦”、“矿山生态修复”、“国土综合治理”等,也与生态修复领域有关但并未考虑在内。因此,被检索出的文献数量可能被低估。然而,本研究为系统地定量分析中国生态恢复研究发展历程提供了一个起点。

此外,Cui等以“Ecological Engineering in China”、“Rehabilitation in China”、“Ecological Restoration in China”、“Afforestation in China”、“Revegetation in China”为关键词聚焦我国陆地生态系统修复,以1978年为时间起点,筛选出符合要求的文献为962篇^[31]。两者对比可知,本研究的文献数量集的数量较为合理。

参考文献(References):

- [1] 何海珊,赵宇豪,吴健生. 低碳导向下土地覆被演变模拟——以深圳市为例. 生态学报, 2021, 41(21): 8352-8363.
- [2] 黄小平,张景平,江志坚. 人类活动引起的营养物质输入对海湾生态环境的影响机理与调控原理. 地球科学进展, 2015, 30(9): 961-969.
- [3] 李淑娟,郑鑫,隋玉正. 国内外生态修复效果评价研究进展. 生态学报, 2021, 41(10): 4240-4249.
- [4] Liu J G, Clewell A. Management of Ecological Rehabilitation Projects. Beijing: Science Press, 2017.
- [5] 刘俊国,安德鲁·克莱尔. 生态修复学导论. 北京: 科学出版社, 2017.
- [6] 王聪,伍星,傅伯杰,韩兴国,陈亚宁,王克林,周华坤,冯晓明,李宗善. 重点脆弱生态区生态恢复模式现状与发展方向. 生态学报, 2019, 39(20): 7333-7343.
- [7] 韩逸,赵文武,郑博福. 推进生态文明建设,促进区域可持续发展——中国生态文明与可持续发展2020年学术论坛述评. 生态学报, 2021, 41(3): 1259-1265.
- [8] 高吉喜,张小华,邹长新,李广宇,张琨,叶鑫. 筑牢生态屏障 建设美丽中国. 环境保护, 2021, 49(6): 17-20.
- [9] 李百炼,伍业钢. 谈“十四五”生态保护与绿色发展的生态关系. 科技导报, 2021, 39(3): 88-101.
- [10] 宫清华,张虹鸥,叶玉瑶,袁少雄. 人地系统耦合框架下国土空间生态修复规划策略——以粤港澳大湾区为例. 地理研究, 2020, 39(9): 2176-2188.
- [11] Guan Y J, Kang R P, Liu J G. Evolution of the field of ecological restoration over the last three decades: a bibliometric analysis. Restoration Ecology, 2019, 27(3): 647-660.
- [12] 邢颖,孔红梅,刘天星. 基于SCI发文的中国生态学研究态势文献计量分析. 生态环境学报, 2010, 19(2): 447-452.
- [13] 罗斌圣,龙春林. 民族生态学研究的文献计量学可视化分析. 生态学报, 2018, 38(4): 1510-1519.

- [14] Egan D, Hjerpe E E, Abrams J. *Human Dimensions of Ecological Restoration: Integrating Science, Nature, and Culture*. Washington: Island Press, 2011.
- [15] 张新时. 关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 112-118.
- [16] 章异平, 王国义, 王宇航. 浅议 Ecological Restoration 一词的中文翻译. *生态学杂志*, 2015, 34(2): 541-549.
- [17] 孟伟庆, 李洪远. 再议 Ecological Restoration 一词的中文翻译与内涵. *生态学杂志*, 2016, 35(10): 2824-2830.
- [18] 刘俊国, 崔文惠, 田展, 贾金霖. 渐进式生态修复理论. *科学通报*, 2021, 66(9): 1014-1025.
- [19] Liu J G, Diamond J. China's environment in a globalizing world. *Nature*, 2005, 435(7046): 1179-1186.
- [20] 张义, 刘子森, 张垚磊, 贺锋, 刘碧云, 曾磊, 吴振斌. 多孔陶瓷滤球与沉水植物联合作用处理杭州西湖沉积物中的磷. *环境工程学报*, 2017, 11(7): 4085-4090.
- [21] Baker S, Eckerberg K. A policy analysis perspective on ecological restoration. *Ecology and Society*, 2013, 18(2): 17.
- [22] Hobbs R J, Arico S, Aronson J, Baron J S, Bridgewater P, Cramer V A, Epstein P R, Ewel J J, Klink C A, Lugo A E, Norton D, Ojima D, Richardson D M, Sanderson E W, Valladares F, Vilà M, Zamora R, Zobel M. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, 2006, 15(1): 1-7.
- [23] Hobbs R J, Higgs E S, Hall C M. Defining novel ecosystems//Hobbs R J, Higgs E S, Hall C M, eds. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013: 58-60.
- [24] 张绍良, 杨永均, 侯湖平. 新型生态系统理论及其争议综述. *生态学报*, 2016, 36(17): 5307-5314.
- [25] 杨崇曜, 周妍, 陈妍, 王立威. 基于 NbS 的山水林田湖草生态保护修复实践探索. *地学前缘*, 2021, 28(4): 25-34.
- [26] 彭建, 吕丹娜, 张甜, 刘前媛, 林坚. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知. *生态学报*, 2019, 39(23): 8755-8762.
- [27] 吴钢, 赵萌, 王辰星. 山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究. *生态学报*, 2019, 39(23): 8685-8691.
- [28] 罗明, 于恩逸, 周妍, 应凌霄, 王军, 吴钢. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略. *生态学报*, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [29] 俞炜炜, 马志远, 张爱梅, 胡文佳, 陈光程, 刘云鹏, 陈彬. 海洋生态修复研究进展与热点分析. *应用海洋学学报*, 2021, 40(1): 100-110.
- [30] Liu J G, Calmon M, Clewell A, Liu J G, Denjean B, Engel V L, Aronson J. South-south cooperation for large-scale ecological restoration. *Restoration Ecology*, 2017, 25(1): 27-32.
- [31] Cui W H, Liu J G, Jia J L, Wang P F. Terrestrial ecological restoration in China: identifying advances and gaps. *Environmental Sciences Europe*, 2021, 33: 123.