



DOI: 10.5846/stxb201811052393

王俊丽, 张忠华, 胡刚, 付瑞玉, 周元慧, 陶旺兰. 基于文献计量分析的喀斯特植被生态学研究态势. 生态学报, 2020, 40(3): 1113-1124.

基于文献计量分析的喀斯特植被生态学研究态势

王俊丽^{1,2,3}, 张忠华^{1,2}, 胡刚^{1,2,*}, 付瑞玉^{1,2,3}, 周元慧^{1,2,3}, 陶旺兰^{1,2,3}

1 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001

2 南宁师范大学广西西江流域生态环境与一体化发展协同创新中心, 南宁 530001

3 南宁师范大学地理科学与规划学院, 南宁 530001

摘要:喀斯特植被是喀斯特生态系统结构与功能稳定的重要维持者。国内外学者较早关注喀斯特植被的结构、功能和管理等方面研究并发表了诸多成果,但对该领域的发展历程、研究趋势和热点等却鲜有评论。利用 1990—2017 年 Web of Science (WoS) 和 CNKI 数据库中喀斯特植被生态学研究的相关文献信息,运用文献计量统计和可视化方法对年度发文量、引用频次、作者、国家、机构、期刊、关键词等进行分析,解析了 28 年间国内外该领域的研究态势并对未来发展提出了建议。结果表明,1990—2017 年间 WoS 和 CNKI 数据库中分别收录了该领域文献 457 篇和 1256 篇,28 年间发文量呈现波动增长趋势,且在 2006 年后步入快速发展期。WoS 中的文献涉及全球 60 个国家,我国的发文量占发文总量的 50.33%,遥居全球榜首,其次是美国 and 斯洛文尼亚等国。此外,发文量前 10 的作者均来自我国,发文量较多的机构也多来自我国,这充分表明我国学者在喀斯特植被生态学方面的研究非常活跃,是全球该领域前沿动向和发展趋势的引领者。期刊分析结果表明,《Environmental Earth Sciences》和《生态学报》分别是该领域外文和中文文献的主要期刊载体。喀斯特、植被和石漠化等为文献高频度关键词,表明喀斯特石漠化区域的植被恢复是该领域的研究热点和核心内容。为促进喀斯特植被生态学研究的发展,建议国内外学者以及机构间加强合作,建立全球的喀斯特植被监测网络,长期观测并对比分析不同区域或类型喀斯特植被的动态过程和生态功能演变机理。此外,运用大数据、遥感、野外控制实验、数学模型和系统发育等方法构建适用于喀斯特生境的植被格局、过程与动态的生态理论、假说或模型,进一步揭示变化环境下喀斯特植物群落的构建过程、植物多样性的多尺度格局、退化植被的适应性修复等科学问题。

关键词:喀斯特;植被生态学;文献计量分析;研究态势

喀斯特是在一定的地质、气候和水文等条件下,地下水和地表水对可溶性岩石(主要是碳酸盐岩)溶蚀、侵蚀和改造作用下形成的地貌,是由高溶解度的岩石和充分发育的次生孔隙度相结合产生的一类拥有特殊水文和地形的地质景观^[1]。世界喀斯特景观约占陆地总面积的 15%,从热带到寒带的大陆和海岛均有喀斯特地貌发育,主要分布在我国、东南亚国家(如越南、泰国、印度尼西亚等)、地中海沿岸国家(如法国、意大利、斯洛文尼亚等)、美洲国家(如美国、墨西哥、加拿大等)等^[2-4]。我国是世界上喀斯特分布面积最广的国家,达 346.3 万 km², 占国土面积的 35.93%,其中碳酸盐岩出露面积约 90.7 万 km²^[5]。广西、贵州和云南等我国西南区域是世界上喀斯特连片分布面积最大的地区之一,常呈现峰丛洼地、峰丛谷地和峰林平原等地貌类型,面积约 50 万 km², 占我国喀斯特面积的 14.5%^[5]。与非喀斯特地貌相比,喀斯特生境往往表现为岩石裸露、土层浅薄且不连续、成土速率低、土壤蓄水能力弱、植被恢复缓慢等生态系统脆弱特征^[6]。在人为干扰和气候变化的双重作用下,植被退化、土壤侵蚀、干旱等是世界喀斯特地区常面临的生态环境问题,致使喀斯特生态系统出现服务功能退化和生物多样性丧失等生态安全问题^[7]。喀斯特地貌中的“石上”植被具有典型的非地带

基金项目:国家自然科学基金项目(31560132,31760128);广西自然科学基金项目(2017GXNSFDA198003);广西科技重大专项(AA17204087-9)

收稿日期:2018-11-05; **网络出版日期:**2019-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ahhugang@126.com

性特征,其存在对维持脆弱的喀斯特生态系统结构与功能稳定极为重要。因而,开展植被生态学研究有助于揭示喀斯特地区植物多样性的形成与维持机制以及植物的适应机理,推动退化喀斯特生态系统的植被恢复与重建以及石漠化的综合治理。

喀斯特植被生态学主要关注喀斯特地区植被的组成、结构、动态、成因及其与环境的关系,研究对象包括种群、群落、植被类型等多个层面的分支方向。国内外学者长期关注喀斯特植被生态学研究并发表了诸多成果,例如我国学者王献溥^[8]、苏宗明^[9]、朱守谦^[10]、梁畴芬^[11]、周政贤^[12]、刘大济^[13]等较早关注喀斯特植被的分类以及种群学和群落学特征等层面的研究,为该领域研究奠定了重要基础。此后,王克林^[14]、喻理飞^[15]、李先琨等^[16]学者长期从事喀斯特植被结构与动态、植被恢复与重建等研究,在喀斯特森林植被监测和石漠化治理等方面取得可喜成果。国外学者对全球不同喀斯特区域的植被也展开较多生态学研究,例如,Baskin 等^[17]对美国肯塔基州和田纳西州喀斯特森林植被的类型、地理分布与结构特点进行了总结;Estrada-Medina 等^[18]揭示了墨西哥尤卡坦州两种热带喀斯特森林树种的物候、水分吸收和生长特征;Aukema 等^[19]分析了波多黎各喀斯特森林群落的树种组成、群落类型及其与环境因子的关系;Vološćuk 等^[20]分析了斯洛伐克不同生境类型(坡地和平地)中喀斯特植被演替的动态变化规律及其影响因素。虽然诸多国内外学者关注喀斯特植被生态学研究,但对国际和国内该领域研究的整体发展历程、研究现状、热点和趋势等方面至今却未见有总结报道。

文献计量是一种基于数理统计的定量分析方法,以科学文献的外部特征为对象,分析文献的分布结构、数量关系和变化规律,从而客观定量地反映学科或某领域的整体布局、研究热点、前沿动态和发展趋势,广泛应用于学术水平评价、文献规律研究以及研究趋势分析等方面^[21]。有学者通过运用文献计量分析方法对全球生物多样性研究^[22]、生态网络分析^[23]、生态恢复研究^[24]、外来生物入侵的危害与风险评估^[25]等生态学相关领域的研究趋势与热点进行了较为客观的评述。为分析国际和国内喀斯特植被生态学的研究态势,本研究运用文献计量分析方法对 1990—2017 年间 Web of Science (WoS) 和 CNKI 数据库中喀斯特植被生态学相关文献进行较为全面的分析,借助文献的各种数量特征和可视化解析,试图揭示国际和国内该研究领域的发展历程、研究趋势和热点等,以期促进喀斯特植被生态学的深入研究并为相关领域学者凝练研究动向和科学问题等提供参考信息。

1 研究方法

1.1 数据来源

外文文献数据来源于科睿唯安 (Clarivate Analytics) WoS 核心合集集中的 SCI-E (Science Citation Index Expanded) 数据库,中文文献数据来源于中国知网 CNKI 提供的中国学术期刊数据库。采用主题检索 1990—2017 年与喀斯特植被生态学相关的文献, WoS 数据库使用的主题检索词包括“Karst”、“Limestone”、“Vegetation”、“Plant”、“Community”、“Forest”, CNKI 数据库使用的主题检索词包括“喀斯特”、“岩溶”、“石灰岩”、“植被”、“植物”、“群落”、“森林”。为准确获得与喀斯特植被生态学研究相关的文献,查阅每篇检索到的文献标题和摘要,判断是否与该领域的研究方向相符,剔除不相符的文献。

1.2 分析方法

提取经过筛选后的文献题录信息,包括发表年份、作者、期刊名、作者所属国家和机构、关键词等。作者的发文量和被引用次数利用 WoS 和 CNKI 数据库自带的文献计量分析功能获取,期刊的重要性及影响力用载文量、总引用频次和影响因子进行综合衡量,其中 WoS 收录期刊的影响因子来源于科睿唯安 2018 年 6 月发布的《期刊引用报告》(Journal Citation Reports)。采用文献计量可视化分析软件 VOSviewer^[26] 分别对 WoS 和 CNKI 数据库检索的文献进行定量分析,统计每一项信息中各个类别出现的频次,从而获得文献的分布结构、数量关系、变化规律等信息。VOSviewer 软件可基于关联强度或相似度对文献、作者、机构、国家、关键词等进行聚类共现可视化分析,具有很强的图形呈现能力,其图形的颜色、大小,线段的粗细等可展现文献间知识流动和转移,反映的是文献间的相似性、亲密性和引证关系^[27]。将 WoS 检索的文献数据保存为文本格式 (.txt),再导入 VOSviewer 中进行分析;CNKI 检索的文献数据保存为 EndNote 格式 (.enw),再利用 EndNote 转

换成 VOSviewer 可读的 RIS 格式。在 VOSviewer 中绘制作者间、机构间、国家间的合作网络图,图中发文量由节点圆圈大小表示,并用节点间连线的粗细代表不同作者、不同机构、不同国家间合作关系的强弱;利用文献关键词的共现频率绘制关键词网络图,共现网络图中一个节点代表一个关键词,其出现的频次在图中由节点圆圈大小表示,节点之间连线的粗细来表现关键词之间联系的强弱。

2 结果与分析

2.1 年度发文量与被引频次分析

1990—2017 年间 WoS 数据库中属于喀斯特植被生态学研究的文献 457 篇,CNKI 中的文献 1256 篇。由图 1 的年度发文量分析可知,1990—2010 年间 WoS 的发文量变化较小,年均发文量仅 4.3 篇,表明国际喀斯特植被生态学研究仍处于初期发展阶段;2011—2017 年间年均发文量达 52.3 篇,尤其在近 3 年发文量持续迅速增长,2017 年达 111 篇,表明该领域研究进入了快速发展阶段。CNKI 的文献从 1990—2006 年间年均发文量 6.9 篇,2007—2017 年间年均发文迅速增长至 103.5 篇,但近 3 年发文量逐步下降。综合 WoS 和 CNKI 文献总量,表明 28 年间文献数量整体呈现波动增长趋势,2006 年后发文量增长迅速,从年均 10.4 篇增长到 139.7 篇。

分析 WoS 和 CNKI 中被引频次前 5 的文献(表 1),表明 WoS 高被引文献多关注喀斯特植物的适应策略分析,研究内容涉及喀斯特植物的水分生理与适应性以及森林植被恢复,其中被引频次排名第一和第五的文献均出自我国学者,体现了我国学者在该领域较强的影响力。CNKI 文献被引频次高的前 5 篇论文均涉及喀斯特退化植被的恢复研究,成果集中分布在 2000—2007 年间,说明喀斯特生态系统退化与植被修复是国内学者持续关注的核心研究内容。

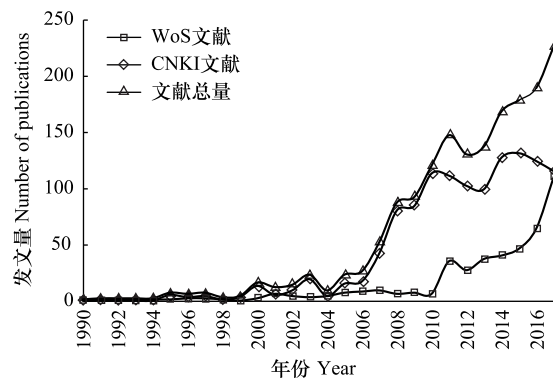


图 1 1990—2017 年喀斯特植被生态学研究文献的年代分布

Fig.1 The number of publications related to karst vegetation ecology published from 1990 to 2017

表 1 WoS 和 CNKI 数据库中被引频次前 5 的文献

Table 1 List of the top 5 cited publications in WoS and CNKI databases

文献名 Title of literatures	第一作者 First author	来源 Source	发表年 Year	被引频次 Citation frequency
Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China	Liu CC	Environmental and Experimental Botany	2011	88
Water source partitioning among trees growing on shallow karst soils in a seasonally dry tropical climate	Querejeta JI	Oecologia	2007	69
Forest recovery in abandoned agricultural lands in a karst region of the Dominican Republic	Rivera LW	Plant Ecology	2000	44
The water relations of two evergreen tree species in a karst savanna	Schwinning S	Oecologia	2008	41
Adaptive and nonadaptive genome size evolution in Karst endemic flora of China	Kang M	New Phytologist	2014	37
退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究	喻理飞	林业科学	2002	249
退化喀斯特森林自然恢复评价研究	喻理飞	林业科学	2000	202
人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究	喻理飞	应用生态学报	2002	153
喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势	王世杰	地球科学进展	2007	137
贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展	万军	地球科学进展	2003	128

2.2 作者及其合作关系

2.2.1 WoS 文献作者及其合作关系

WoS 数据库中 457 篇文献共有作者 1500 位,其中发文量前 10 的作者均为我国学者(表 2)。除来自广西师范学院 Zhang ZH(张忠华)外,Wang KL(王克林)、Wang SJ(王世杰)、Liu YG(刘玉国)、Li DJ(李德军)、Song TQ(宋同清)等学者均来自中国科学院。由作者合作关系(图 2)可知,以学者 Wang KL 为核心的作者群包括 Song TQ、Li DJ、He XY、Zeng FP 等,以学者 Wang SJ 为核心的合作紧密的学者有 Liu YG、Guo K、Liu CC 等,上述结果表明喀斯特植被生态学研究文献的作者形成了较明显的核心作者群,且以我国学者居多,国外学者在该领域的研究力量相对薄弱且合作关系较分散,我国学者与国外学者间的合作关系较少。

表 2 WoS 文献排名前 10 的作者发文情况

Table 2 List of the top 10 authors of publications in WoS

序号 No.	作者 Authors	文献数量 Number of publications	占文献总数比例/% Percentage of total literatures	序号 No.	作者 Authors	文献数量 Number of publications	占文献总数比例/% Percentage of total literatures
1	Wang KL	34	7.440	6	Guo K	10	2.188
2	Wang SJ	13	2.845	7	Liu CC	10	2.188
3	Liu YG	11	2.407	8	Zhang ZH	10	2.188
4	Li DJ	11	2.407	9	He XY	10	2.188
5	Song TQ	11	2.407	10	Zhang W	9	1.969

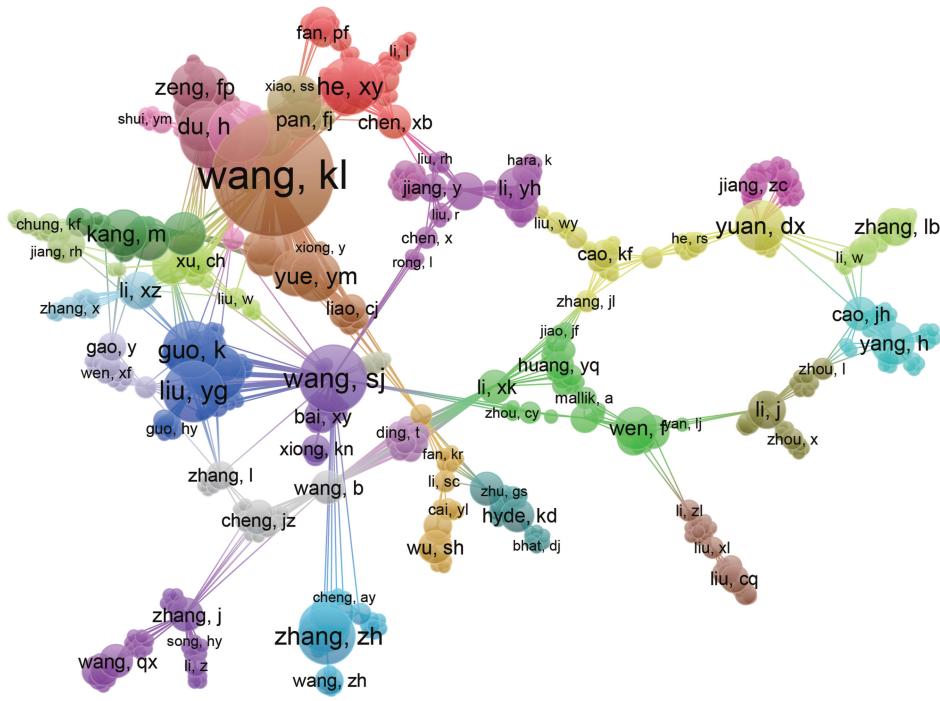


图 2 WoS 文献涉及的作者及其合作关系

Fig.2 The author cooperative relationships of publications in WoS

2.2.2 CNKI 文献作者及其合作关系

CNKI 数据库中的 1256 篇文献共包括 2290 位作者,其中发文量前 10 的作者包括王克林、喻理飞、曾馥平和王世杰等(表 3)。由作者合作关系图(图 3)可知,以王克林、喻理飞、王世杰、熊康宁为中心可将该领域学

者大体分为 4 个核心作者群,不同作者群之间也存在较为密切的合作关系,其中王克林及其与其他作者之间的合作性很强,累计发文量较高。

2.3 研究机构、国家及其合作关系

2.3.1 研究机构及其合作关系

WoS 文献来源于全球 556 所研究机构,其中属于我国的有 114 所。表 4 统计的排名前 10 机构中,中国机构有 7 所,斯洛文尼有 2 所、克罗地亚有 1 所,国际上发文量排名前三的机构分别是中国科学院(167 篇)、中国科学院大学(35 篇)、卢布尔雅那大学(16 篇)。表 5 列出 CNKI 文献发文量最多的前 10 所机构,其中发文量最多的是贵州师范大学(219 篇),其次是贵州大学(155 篇)、中国科学院亚热带农业生态研究所(100 篇)。由 WoS 文献中机构之间合作关系图(图 4)可知,中国科学院与贵州大学、贵州师范大学等合作较密切,但与卢布尔雅那大学、斯洛文尼亚林业研究所等国际发文量较多的机构间合作较少。综合各机构发文量及其合作强度分析可知,我国研究机构在该领域的研究成果和国际影响力十分突出。

表 3 CNKI 文献排名前 10 的作者发文

Table 3 List of the top 10 most productive authors of publications in CNKI

序号 No.	作者 Authors	文献数量 Number of publications	占文献总数比例/% Percentage of total literatures	序号 No.	作者 Authors	文献数量 Number of publications	占文献总数比例/% Percentage of total literatures
1	王克林	78	6.210	6	宋同清	35	2.787
2	喻理飞	74	5.892	7	陈洪松	31	2.468
3	曾馥平	39	3.105	8	彭晚霞	30	2.389
4	王世杰	39	3.105	9	丁访军	28	2.229
5	熊康宁	36	2.866	10	张朝晖	27	2.150

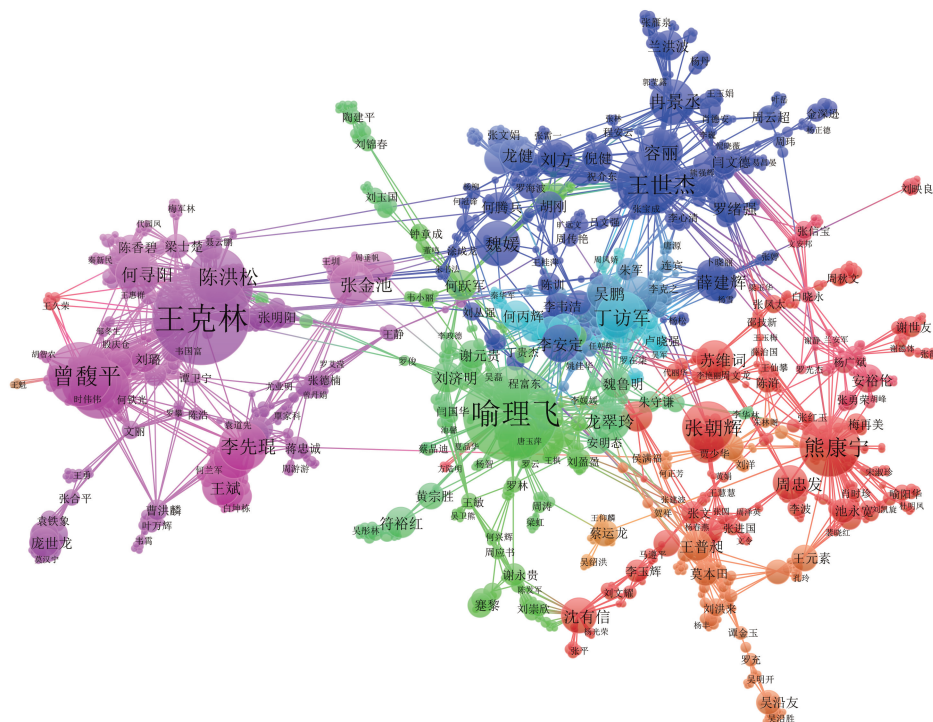


图 3 CNKI 文献涉及的全部作者及其合作关系分布

Fig.3 Distribution of total authors and their cooperative relationships of publications in CNKI

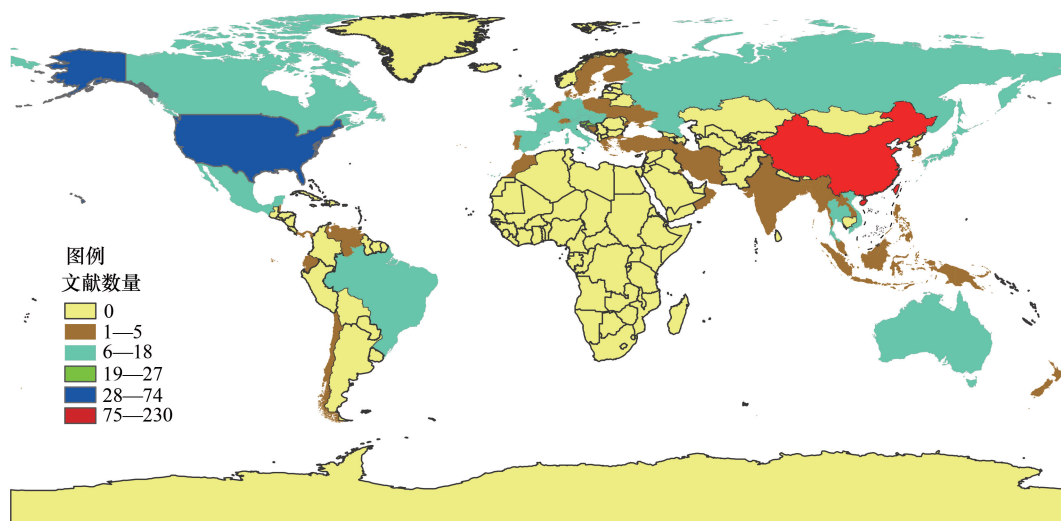


图 5 WoS 文献作者的国家分布

Fig.5 Global geographical distribution of publications in WoS based on authors' countries of affiliations

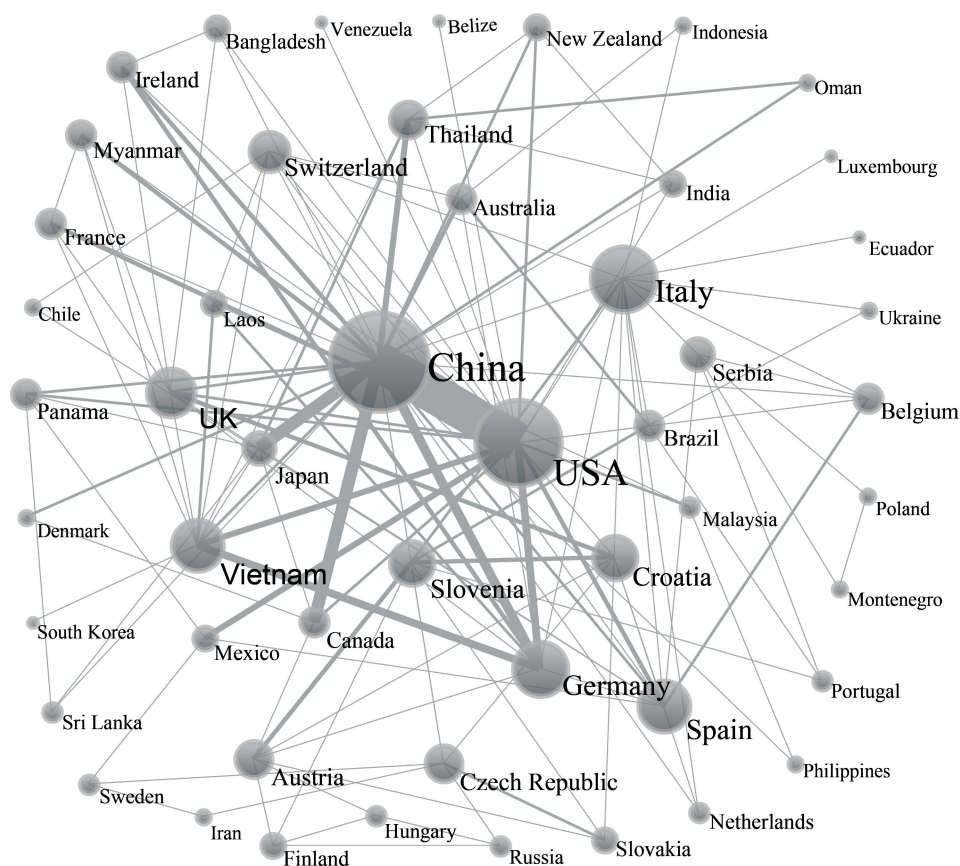


图 6 作者的国家或地区间合作关系网络

Fig.6 Social networks of cooperation between authors' countries or territories

2.4.2 CNKI 文献的期刊分析

CNKI 文献中共涉及 289 种期刊,载文量前 10 的期刊如表 7 所示,共载文献 352 篇,占总文献数量的 28.03%;其中《生态学报》的文献数量和总引用次数均居首位,此外,《中国岩溶》和《贵州农业科学》的载文量

也较高,《中国岩溶》和《南京林业大学学报(自然科学版)》所载文献的总被引用次数分列第二和第三。上述结果表明,《生态学报》在该领域的综合影响力最高,是喀斯特植被生态学研究文献的主要刊发期刊。此外,值得注意的是,部分期刊虽载文量不高,但论文总被引用次数较高,如,《植物生态学报》的载文量只有 19 篇,但总被引达 853 次,仅次于《生态学报》,说明其刊载的文献具有较高的被引价值,在该领域的影响力较大。

表 6 载文量前 10 的外文期刊及其影响因子

Table 6 List of the top 10 most active foreign journals and their influencing factors

序号 No.	期刊 Journals	文献数量 Number of publications	总引用次数 Total citation score	影响因子 Impact Factor
1	Environmental Earth Sciences	21	105	1.435
2	Plant and Soil	10	86	3.306
3	Scientific Reports	8	13	4.122
4	Journal of Hydrology	8	59	3.727
5	Hydrological processes	8	26	3.181
6	Science of the Total Environment	7	60	4.610
7	PLOS One	7	28	2.766
8	Forest Ecology and Management	6	114	3.169
9	Plant Ecology	6	73	1.759
10	Agriculture Ecosystems & Environment	5	38	3.541

表 7 载文量前 10 的中文期刊及其影响因子

Table 7 List of the top 10 most active chinese journals and their influencing factors

序号 No.	期刊 Journals	文献数量 Number of publications	总引用次数 Total global citation score
1	生态学报	61	1578
2	中国岩溶	55	791
3	贵州农业科学	41	197
4	安徽农业科学	31	201
5	应用生态学报	28	371
6	南京林业大学学报(自然科学版)	28	606
7	贵州师范大学学报(自然科学版)	28	581
8	水土保持学报	27	264
9	贵州科学	27	580
10	生态学杂志	26	288

2.5 关键词分析

2.5.1 WoS 文献的关键词分析

WoS 文献共有 616 个关键词,刊载频次居前 3 位的关键词依次是: Karst (72 次)、China (41 次) 和 Vegetation (40 次)。由关键词共现网络图(图 7)可知,出现 3 次以上的关键词被认为 3 个集群,绿色区域是与喀斯特、石漠化、地下水、洞穴、植物、土壤等密切相关的关键词,占关键词总被标引频次的 46.43%;红色、粉色区域是表示与植被生态学、生物多样性、保护等密切相关的关键词,占关键词总被标引频次的 25.27%;蓝色区域是与物种分布、物种进化等研究密切相关的关键词,占关键词总被标引频次的 28.3%。由此可见,在国际喀斯特植被生态学研究领域,核心关键词群相对集中在喀斯特、中国、植被、多样性等方面。

2.5.2 CNKI 文献的关键词分析

CNKI 文献共 2514 个关键词,刊载频次为 5400 次,篇均关键词 4.29 个,刊载频次居前 3 位的关键词依次

是:喀斯特(588 次)、石漠化(108 次)、植被恢复(85 次)。由刊载 3 篇及以上关键词共现网络图(图 8)将关键词分为 4 个集群,红色区域以喀斯特、土壤、小生境等为主要关键词,占关键词总被标引频次 19.18%;蓝色区域集中表示与植被生态、喀斯特森林等关系密切的关键词,占关键词总被标引频次 11.94%;绿色区域以石漠化、贵州、石漠化治理、生态重建为核心的关键词,占关键词总被标引频次 7.69%;粉色区域以土壤有机碳、空间变异等为关键词,占关键词总被标引频次 6.81%。由此可见,CNKI 文献较多关注喀斯特石漠化与植被恢复、喀斯特森林植被等方面研究。

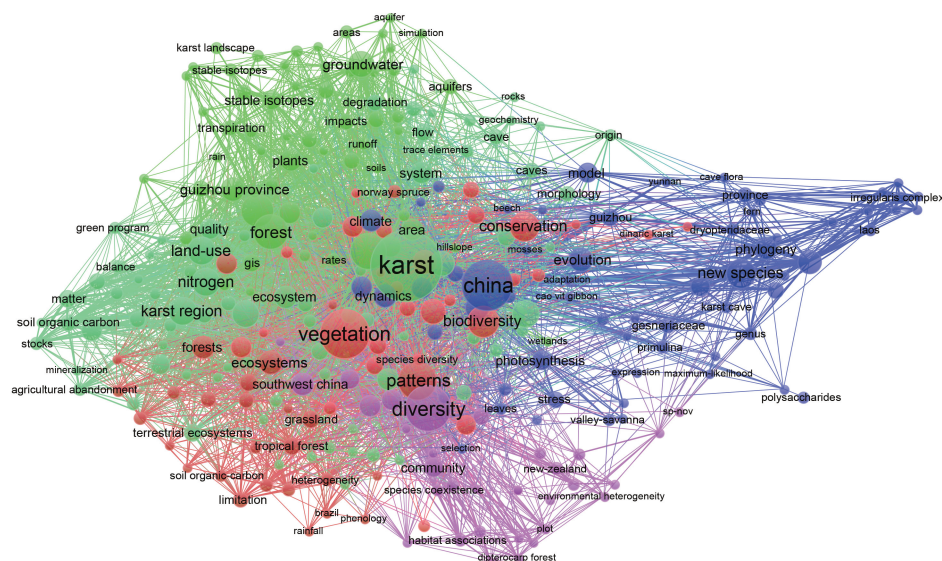


图 7 WoS 文献中出现 3 次以上关键词的共现网络图

Fig.7 The occurrence network map of keywords published more than 3 times of publications in WoS

3 讨论

文献是科研活动主要成果产出形式,某研究领域发文量的年际动态可表征该领域的发展速度和研究规模变化^[28]。由 WoS 和 CNKI 的文献发文总量变化,表明 1990—2017 年间喀斯特植被生态学领域的文献发文量呈现波动增长趋势,且在 2006 年后步入了快速发展阶段。对比 WoS 和 CNKI 的发文量变化,可知 CNKI 文献量在 2006 年前增长缓慢,之后迅速增长;而 WoS 文献量在 2010 年前增长缓慢,2011 年后迅速增长。此外,近 3 年 CNKI 收录的该领域文献量逐步下降,相反 WoS 文献却持续快速增长。上述结果表明,28 年间国内外学者对喀斯特植被生态学相关研究的关注度逐渐增加,特别是近 10 年科研投入的增加致使发文量持续迅速增长。此外,伴随科研实力的增强,我国学者逐步重视科研成果的前沿性和创新性以及在国际同行间展示和交流最新的研究成果,因而近 3 年在 WoS 中被 SCI-E 数据库收录的文献快速增长,相反 CNKI 中的文献量反而逐步减少。依据发文量变化趋势,可以预见喀斯特植被生态学是处于快速发展的研究领域,未来一段时间发文量,特别是被 SCI-E 数据库收录的文献数量会持续较快增长。

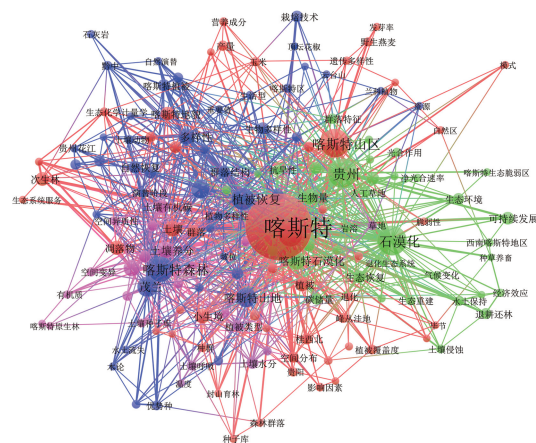


图 8 CNKI 文献中出现 3 以上关键词的共现网络图

Fig.8 The occurrence network map of keywords published more than 3 times of publications in CNKI

由 WoS 数据库检索到的 457 篇关于喀斯特植被生态学的研究文献来自全球 60 个国家 556 所机构 1500 位学者。我国学者在该领域的发文量遥居全球榜首,并且发文量前 10 的作者均为我国学者,发文量前 10 的研究机构也多来自我国。综合 WoS 和 CNKI 文献作者分析结果,表明该领域研究中具有较强影响力的作者包括王克林、王世杰、喻理飞等学者,他们在发文量及其与其他学者的合作强度方面均居领先地位,这也说明我国在该研究领域占有重要地位,在国际上形成具有代表性和突出影响力的多个研究群体。例如,以王克林为核心的作者群围绕我国西南喀斯特退化生态系统适应性修复与生态系统服务功能提升,在喀斯特区域生态恢复评估^[29-30]、植被演替动态及其驱动机制^[31]、喀斯特土壤结构与性质^[14,32]等方面开展了丰富的研究工作并取得大量成果;以王世杰为核心的作者群侧重喀斯特植被系统的碳、水循环^[33-34]、石漠化区域生态修复^[35]等方面的深入研究;以喻理飞为核心的作者群较早开展了喀斯特植被恢复评价和修复技术^[15,36]、群落结构与树木生理^[37]等方面研究工作。国外学者对喀斯特植被也开展了较多研究工作,特别是在波多黎各^[19]、斯洛伐克^[20]、斯洛文尼亚^[38]、多米尼加^[39]、墨西哥^[18]等喀斯特地貌分布相对广泛的国家或地区,而泰国、越南、马来西亚、土耳其等国虽有喀斯特地貌分布,但迄今未见或极少见有与喀斯特植被生态学相关的研究成果。总的来看,受国家间喀斯特地貌分布面积差异以及科研力量强弱等因素影响,国外学者近几年在该领域的成果产出相对较少,且多在群落组成和植被分布格局等层面开展基础性研究工作,作者间未形成明显的合作研究群体。上述结果充分表明我国学者在喀斯特植被生态学方面的研究非常活跃,是全球该领域前沿动向和发展趋势的引领者,这与我国近年来在喀斯特相关研究领域的科研经费投入以及加快人才培养等因素密切相关。

Environmental Earth Sciences、*Plant and Soil*、*Scientific Reports* 等是 WoS 数据库中喀斯特植被生态学领域外文文献的主要载体期刊,而 CNKI 中的文献多发表在《生态学报》、《中国岩溶》、《贵州农业科学》等中文期刊中。值得注意的是,在该领域成果发表的众多学术期刊中,很少有成果发表在我国出版的国际化学术期刊中。建议我国学术期刊加快国际化步伐,重视和鼓励国内外学者,特别是有国际影响力的学者在我国主导的国际学术刊物上发表论文。此外, WoS 数据库中喀斯特植被生态学方面文献较多,但几乎没有成果发表在 *Nature*、*Science*、*Ecology Letters*、*Global Change Biology* 等高影响因子的国际知名学术刊物中。顶级学术刊物对研究成果的原创性、新颖性和突破性要求更高,因而建议国内外学者间加强合作,优势互补,以全球变化研究、重要科学假说等为切入点在局域、区域和全球等尺度上围绕喀斯特植被动态及其预测、植物-动物-微生物间互作关系、喀斯特植物进化与系统发育等开展前瞻性和开创性研究,进一步提升科研成果的“质”。

关键词为高度概括性词组,可直观反映研究主题与内容,揭示某领域研究内容、成果、特征之间的联系,并体现研究进展和热点问题变化^[40]。综合 WoS、CNKI 文献关键词分析结果,出现频度最高的关键词是“喀斯特”、“植被”和“石漠化”,表明喀斯特石漠化的植被恢复与重建一直是该领域研究的核心内容。中国是为数不多以国家名称出现的关键词,充分显示出我国在该领域研究占有重要的地位。除上述 3 个常见关键词外,“物种多样性”、“干扰”、“更新”、“群落结构”等关键词常出现在较早期的文献中^[15-16,38],而近年来“空间分布格局”、“生态化学计量”、“有机碳”、“土壤微生物”、“遥感”等在文献中出现频率逐渐增加^[29,33,41-43],这表明早期的研究侧重喀斯特植物群落物种组成和更新动态的描述,研究内容相对局限,而近些年的研究在多个维度开展,既有关关注微观维度的植物-土壤微生物关系^[43],又有宏观维度的遥感监测植被动态^[29],同时注重生态系统的元素平衡和稳定性关系^[42]以及利用复杂数量分析方法量化群落结构特征^[41],因而,近些年喀斯特植被生态学研究的内容在深度和广度上均有明显扩展。

通过分析 1990—2017 年间 WoS 和 CNKI 数据库中收录的有关喀斯特植被生态学的文献信息,本文从文献计量学视角较全面地揭示了该领域的研究发展历程、研究热点和趋势变化。虽然国内外学者在喀斯特植被生态学领域已取得较多成果,但与全球地带性的热带森林、草地等植被类型相比,对非地带性的“石上”植被的研究关注度和生态规律的掌握程度还甚为滞后,迄今对喀斯特生境下植被结构和动态的过程与机理的理解还知之甚少,诸多基于地带性植被研究所提出的理论、假设或模型,如分析群落构建过程的生态位理论^[44]和中性理论^[45],解释植被地理格局的代谢理论^[46]和多度-适应性假说^[47],预测植被动态的 iLand 模

型^[48]和 LANDIS 模型^[49]等,它们是否适用于解释非地带性的喀斯特植被的分布、结构与动态?对此至今仍然存疑。为促进喀斯特植被生态学研究的发展,建议国内外学者以及机构间加强合作,建立全球的喀斯特植被监测网络,长期观测并对比分析不同区域或类型喀斯特植被的动态过程和生态功能演变机理。此外,未来喀斯特植被生态学应该充分整合从分子生态学到宏生态学的研究手段(如 DNA 条形码、控制实验、稳定同位素、数学模型、遥感、大数据等),注重多尺度的整合与多领域的交叉,构建适用于喀斯特生境的植被格局、过程与动态的生态理论、假说或模型,在喀斯特地区植物多样性的形成及其维持机制、进化过程与群落生态过程及其之间的关系、生态化学计量特征与生态功能的关系、地上与地下生态过程的耦联关系、植被对气候变化的响应与适应、退化植被的适应性修复等方面持续开展深入研究。

参考文献(References):

- [1] 袁道先. 中国岩溶学. 北京:地质出版社, 1994: 89-91.
- [2] Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, Wang J, Zhang C H, Yue Y M, Qi X K. Spatio-temporal variation and impact factors for vegetation carbon sequestration and oxygen production based on rocky desertification control in the karst region of southwest China. *Remote Sensing*, 2016, 8 (2): 102.
- [3] Clements R, Sodhi N S, Schilthuizen M, Ng P K L. Limestone karsts of Southeast Asia: imperiled arks of biodiversity. *BioScience*, 2006, 56(9): 733-743.
- [4] Yuan D X. On the karst ecosystem. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(3): 336-338.
- [5] 苑涛, 贾亚男. 中国西南岩溶生态系统脆弱性研究进展. *中国农学通报*, 2011, 27(32): 175-180.
- [6] Zhu H, Wang H, Li B, Siriruga P. Biogeography and floristic affinities of the limestone flora in southern Yunnan, China. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 2003, 90(3): 444-465.
- [7] Ni J, Luo D H, Xia J, Zhang Z H, Hu G. Vegetation in karst terrain of southwestern China allocates more biomass to roots. *Solid Earth*, 2015, 6 (3): 799-810.
- [8] 王献溥, 胡舜士. 广西石灰岩地区常绿、落叶阔叶混交林的群落学特点. *东北林学院学报*, 1981, (3): 30-47.
- [9] 苏宗明. 广西岩溶石灰岩山森林类型的分类问题. *广西植物*, 1981, 1(2): 7-10.
- [10] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(I). 贵阳:贵州科技出版社, 1993: 11-26.
- [11] 梁畴芬, 王克健, 苏宗明. 广西热带北缘上的一个岩溶森林自然保护区——岩岗. *广西植物*, 1981, 1(2): 1-6.
- [12] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集. 贵阳:贵州人民出版社, 1987.
- [13] 刘大济, 陈训, 袁家谟, 向应海. 贵州荔波南部喀斯特森林植被. *贵州科学*, 1985, (2): 55-89.
- [14] 王克林, 苏以荣, 曾馥平, 陈洪松, 肖润林. 西南喀斯特典型生态系统土壤特征与植被适应性恢复研究. *农业现代化研究*, 2008, 29(6): 641-645.
- [15] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 魏鲁明, 陈正仁. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究. *林业科学*, 2002, 38(1): 1-7.
- [16] 李先琨, 苏宗明, 吕仕洪, 欧祖兰, 向悟生, 区智, 陆树华. 广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义. *山地学报*, 2003, 21(2): 129-139.
- [17] Baskin J M, Chester E W, Baskin C C. Special paper: forest vegetation of the Kentucky Karst Plain (Kentucky and Tennessee): review and synthesis. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 1997, 124(4): 322-335.
- [18] Estrada-Medina H, Santiago L S, Graham R C, Allen M F, Jiménez-Osorio J J. Source water, phenology and growth of two tropical dry forest tree species growing on shallow karst soils. *Trees*, 2013, 27(5): 1297-1307.
- [19] Aukema J E, Carlo T A, Collazo J A. Landscape assessment of tree communities in the northern karst region of Puerto Rico. *Plant Ecology*, 2007, 189(1): 101-115.
- [20] Vološćuk I, Uhliriová E, Sabo P, Škodová M, Švajda J. Succession dynamics of vegetation in the Slovak Karst Biosphere Reserve Landscape (Western Carpathians). *Ekológia*, 2016, 35(1): 13-31.
- [21] 钟赛香, 曲波, 苏香燕, 毛鹏, 游细斌. 从《地理学报》看中国地理学研究的特点与趋势——基于文献计量方法. *地理学报*, 2014, 69(8): 1077-1092.
- [22] Liu X J, Zhang L A, Hong S. Global biodiversity research during 1900-2009: a bibliometric analysis. *Biodiversity and Conservation*, 2011, 20 (4): 807-826.
- [23] Borrett S R, Sheble L, Moody J, Anway E C. Bibliometric review of ecological network analysis: 2010-2016. *Ecological Modelling*, 2018, 382: 63-82.

- [24] Romanelli J P, Fujimoto J T, Ferreira M D, Milanez D H. Assessing ecological restoration as a research topic using bibliometric indicators. *Ecological Engineering*, 2018, 120: 311-320.
- [25] 陈宝明, 彭少麟, 吴秀平, 王鹏龙, 马建霞. 近 20 年外来生物入侵危害与风险评估文献计量分析. *生态学报*, 2016, 36(20): 6677-6685.
- [26] Van Eck N J, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 2010, 84(2): 523-538.
- [27] Van Eck N J, Waltman L. Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 2017, 111(2): 1053-1070.
- [28] 陈晶, 朱元贵, 雍武, 曹河圻, 董尔丹. 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. *科学通报*, 2014, 59(23): 2310-2319.
- [29] Tong X W, Wang K L, Brandt M, Yue Y M, Liao C J, Fensholt R. Assessing future vegetation trends and restoration prospects in the karst regions of southwest China. *Remote Sensing*, 2016, 8(5): 357.
- [30] Zhang C H, Qi X K, Wang K L, Zhang M Y, Yue Y M. The application of geospatial techniques in monitoring karst vegetation recovery in southwest China: a review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 2017, 41(4): 450-477.
- [31] 文丽, 宋同清, 杜虎, 王克林, 彭晚霞, 曾馥平, 曾昭霞, 何铁光. 中国西南喀斯特植物群落演替特征及驱动机制. *生态学报*, 2015, 35(17): 5822-5833.
- [32] Chen H S, Zhang W, Wang K L, Fu W. Soil moisture dynamics under different land uses on karst hillslope in northwest Guangxi, China. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 61(6): 1105-1111.
- [33] Liu Y G, Liu C C, Wang S J, Guo K, Yang J, Zhang X S, Li G Q. Organic carbon storage in four ecosystem types in the karst region of southwestern China. *PLoS One*, 2013, 8(2): e56443.
- [34] Liu W, Wang S J, Luo W J, Dai W W, Bai E. Characteristics of soil water movement in a grass slope in a karst peak-cluster region, China. *Hydrological Processes*, 2017, 31(6): 1331-1348.
- [35] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, landuse, impact and rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 2004, 15(2): 115-121.
- [36] Anding L, Chunyan G, Lifei Y. The composition and structural feature of plant community in different karst stony desertification areas. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2017, 15(4): 1167-1183.
- [37] 肖卫平, 喻理飞. 贵州茅台水源功能区植物叶片形态与持水特征及其功能群划分. *植物研究*, 2012, 32(5): 596-602.
- [38] Rivera L W, Aide T M. Forest recovery in the karst region of Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 1998, 108(1/2): 63-75.
- [39] Rivera L W, Zimmerman J K, Aide T M. Forest recovery in abandoned agricultural lands in a karst region of the Dominican Republic. *Plant Ecology*, 2000, 148(2): 115-125.
- [40] Li W, Zhao Y. Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environmental Impact Assessment Review*, 2015, 50: 158-166.
- [41] Zhang Z H, Hu G, Zhu J D, Ni J. Aggregated spatial distributions of species in a subtropical karst forest, southwestern China. *Journal of Plant Ecology*, 2013, 6(2): 131-140.
- [42] 郭屹立, 李冬兴, 王斌, 白坤栋, 向悟生, 李先琨. 北热带喀斯特季节性雨林土壤和 6 个常见树种凋落物的 C、N、P 化学计量学特征. *生物多样性*, 2017, 25(10): 1085-1094.
- [43] He X Y, Wang K L, Zhang W, Chen Z H, Zhu Y G, Chen H S. Positive correlation between soil bacterial metabolic and plant species diversity and bacterial and fungal diversity in a vegetation succession on karst. *Plant and Soil*, 2008, 307(1/2): 123-134.
- [44] Vandermeer J H. Niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1972, 3: 107-132.
- [45] Abrams P A. A world without competition. *Nature*, 2001, 412(6850): 858-859.
- [46] Brown J H, Gillooly J F, Allen A P, Savage V M, West G B. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 2004, 85(7): 1771-1789.
- [47] Weiser M D, Michaletz S T, Buzzard V, Deng Y, He Z L, Shen L N, Enquist B J, Waide R B, Zhou J Z, Kaspari M. Toward a theory for diversity gradients: the abundance-adaptation hypothesis. *Ecography*, 2018, 41(2): 255-264.
- [48] Seidl R, Rammer W, Scheller R M, Spies T A. An individual-based process model to simulate landscape-scale forest ecosystem dynamics. *Ecological Modelling*, 2012, 231: 87-100.
- [49] Mladenoff D J. LANDIS and forest landscape models. *Ecological Modelling*, 2004, 180(1): 7-19.