学术信息与动态

DOI: 10.20103/j.stxb.202306071205
赵金羽,萨娜,田野,郑拴宁,付晓,吴钢,桑卫国.基于文献计量的人地系统耦合研究动态及热点.生态学报,2024,44(6):2660-2671.

基于文献计量的人地系统耦合研究动态及热点

赵金羽[1],萨 娜[1],田 野[2],郑拴宁[2],付 晓[3],吴 钢[3],桑卫国[1,*]

1 中央民族大学生命与环境科学学院,北京 100081

2 中国科学院城市环境研究所,厦门 361021

3 中国科学院生态环境研究中心,北京 100085

摘要:为深入探究人地系统的研究动态及热点,借助 VOSviewer 可视化软件,基于 Web of Science Core collection (WoSCC) 数据库,对 1994—2023 年国际上人地系统耦合相关文献的逐年发表数量、主要研究力量、关键词共现情况及突现词等进行可视化分析,并运用活力指数(activity index, *AI*)和吸引力指数(attraction index, AAI)评价不同国家在该领域的研究效率和学术影响力。研究发现:(1)人地耦合研究分为三个阶段:起步阶段(1994—1999 年)、波动增长阶段(2000—2008 年)、快速发展阶段(2009—2023 年),研究数量、尺度及方法都在不断提升。(2)中国在人地耦合领域的研究强度呈现迅猛增加的趋势,但学术影响力及国际合作仍有待加强。(3)城镇化背景下的生态系统保护、修复及管理是当前人地耦合领域的研究重点,未来应尤其注意中、大尺度的多要素、多系统耦合分析方法、框架及模型的研发,同时以要素间、系统间的耦合机制为科学基础,构建以自然保护为根本、社会高质量发展为目标、政策制度为重要手段的自然-经济-社会系统一体化管理模式。此外,应加强耦合理论、方法的实践应用,结合实例对耦合相关理论进行验证、优化与总结。结果将为人与自然协调发展的相关战略、规划和政策的制定提供参考。

关键词:文献计量;人与自然耦合系统;可视化分析;VOSviewer;研究热点

“耦合”是来源于物理学的名词,指两个(或两个以上)性质相近的系统或运动形式通过各种相互作用而产生互相亲和趋势的现象[1]。此概念随后也被引入生态学、地理学与环境科学等自然学科,如人类与自然在特定的时空内彼此联系、相互作用形成了具有一定结构和功能的整体——人类与环境耦合系统(CHES)[2],类似的表述还包括人地耦合系统(CHANS)[3]和社会-生态系统(SES)[4],这些概念都强调人类社会与自然环境间的整体性与协调性。虽然对于“人地关系”的思考自古便存在:如中国古典哲学中的“天人合一”思想、“地球母亲”概念、南美的“盖亚”、印度的“梵”等[5],但其真正被作为科学问题来研究源于 20 世纪 70 年代,如 Brook 于 1978 年提出的“整体社会生态系统”、马世骏于 1981 年提出的“社会-经济-自然复合生态系统”[6]、Brown 1997 年提出的 “经济-环境体系”等[7],体现出人类对经济社会与自然生态系统协调统一的不断追求。然而,随着由人类活动驱动的世代——人类世[8]的到来,人类活动对自然生态系统的影响与日俱增,加上全球环境快速变化使得生物栖息地、自然资源都面临极大的挑战,严重阻碍了区域生态环境健康与人类可持续发展进程。对此明晰人地系统间的内在联系、响应机制及反馈过程对加深理解全球环境变化、维持复杂世界各组成系统的稳定发展、实现自然生态和人类社会可持续发展与制定区域协调发展政策具有重要的理论和现实意义。

目前相关领域的研究发展迅速,大量国内外研究成果也不断涌现,但由于人地系统耦合研究涉及自然、经

基金项目:重点研发项目 (2022YFF1303202)资助

收稿日期:2023-06-07; **网络出版日期**:2023-12-22

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: swg@ muc.edu.cn

济、社会、科技等多个领域,知识体系较为分散,使得全面总结该领域的现有研究、发现尚未解决的科学问题较为困难。目前的相关综合分析多是对人地系统耦合的概念、研究趋势、重点研究内容进行定性总结[9—11],缺少科学的定量判断。鉴于此,本文借助 R 语言(version 4.0.2)中的“bibliometrix”包[12]、可视化知识图谱绘制软件 VOSviewer(version 1.6.19)[13]以及活力指数(*AI*)和吸引力指数(AAI)[14]对 Web of Science Core collection (WoSCC) 数据库中 1994—2023 年间关于人类社会发展与陆地生态系统耦合协调关系的文献进行可视化分析,并尝试解决以下问题:(1)“人地耦合”相关研究的演化特点及发展趋势是怎样的?(2)该领域的主要研究力量及其合作情况如何?(3)该领域的研究热点及前沿动态?进而有针对地对分析结果进行梳理,为我国在人地耦合领域的学术研究提供借鉴。

1　研究方法

1.1　数据收集

由于 WoSCC 数据库是目前大多数文献计量学分析的主要来源之一[15],因此使用该数据库作为文献检索平台,选择的时间跨度为 1994 至 2023 年,检索时间为 2023 年 4 月 30 日。考虑到文献的集中度与精确度,检索策略设定为 TS = (“coupled human and natural systems” OR “social-ecological system” OR“ social-economic-natural ecosystem” OR “CHANS” OR “SES”) AND TI = (“develop * ” OR “relation * ”) AND 语种:(English) AND 文献类型:(Article)。经筛选去重后选定 6088 篇文献。选择格式“全记录和引用的参考文献(Full Record and Cited References)”,将选定的文献下载保存为纯文本文件,并将其作为本研究分析数据的样本。

1.2　研究方法

1.2.1　文献统计分析法

文献统计分析法是指利用统计学的方法对某一领域的文献进行定量化的统计分析,以数量的特征来描述和刻画文献的数量特征和变化规律,从而达到一定研究目的的一种研究方法。该方法是在统计学原理的指导下于长期的文献统计实践中逐步发展起来的[16]。本研究以 6088 篇文献的纯文本文件为数据源,利用 R 语言(version 4.0.2)中的“bibliometrix”包对研究热点(关键词)的演变趋势进行可视化。

1.2.2　知识图谱分析法

“知识图谱”是用以显示科学知识发展进程及结构关系的一种图形,这一概念由美国国家科学院于 2003 年提出[17]。绘制知识图谱的软件目前有很多种,本文主要采用由 Nees Janvan Eck 和 Ludo Waltamn 联合开发的 VOSviewer (version 1.6.19)软件[18]对作者、机构与国家合作情况以及关键词聚类等进行可视化。

1.2.3　活力指数(*AI*)及吸引力指数(AAI)

为探究不同国家在人地耦合领域的研究强度与学术影响力随时间的变化情况,本文参考先前的研究[19—20],采用活力指数(*AI*)及吸引力指数(AAI)进行评估。其中,活力指数能够用来计算一个国家在某一研究领域相对努力的程度,计算公式如下:

$$AAI_i^t = \frac{P_i^t / \sum P}{TP^t / \sum TP} \tag{1}$$

吸引力指数则是根据一个国家的发文被引情况来计算其在某一研究领域的影响,计算公式如下:

$$AAI_i^t = \frac{C_i^t / \sum C}{TC^t / \sum TC} \tag{2}$$

式中,AI_i^t 与 AAI_i^t 分别代表国家 i 在 t 年的活力指数和吸引力指数;P_i^t 与 C_i^t 分别代表国家 i 在 t 年在人地耦合领域的发文量及被引量;$\sum P$ 与 $\sum C$ 分别代表国家 i 在一段时间内在人地耦合领域的发文总量及被引总量;TP^t 与 TC^t 分别代表全球在 t 年的发文总量及被引总量;$\sum TP$ 与 $\sum TC$ 分别代表全球范围内和 $\sum P$ 与

$\sum C$，相同时间段内的发文总量及被引总量。

$AI_i^t = 1$ 代表国家 i 在 t 年的研究强度等于全球平均水平，而$AI_i^t>1$ 或 $AI_i^t<1$ 则代表国家 i 在 t 年的研究强度大于或小于全球平均水平。同理$AAI_i^t = 1$，代表国家 i 在 t 年的学术影响等于全球平均水平，而$AAI_i^t>1$ 或 $AAI_i^t<1$ 则代表国家 i 在 t 年的学术影响高于或低于全球平均水平。

2 结果与分析

2.1 人地耦合研究概况

2.1.1 文献发表趋势分析

为了更加直观地展示出人地耦合相关研究在全球的变化趋势，本研究绘制了人地耦合领域全球年发文量及篇均被引量变化趋势图（图 1）。从图 1 可以看出，1994—2022 年该领域的发文量呈现总体上升的趋势，表明该领域受到学者的广泛关注，具有较强的发展潜力。从发文量上可将人地耦合领域的研究发展分为三个阶段：（1）起步阶段（1994—1999 年），本阶段的全球年均发文量较低，仅有 22 篇，随后的 2000 年是研究发展的一个转折点，该年度的发文量首次达到 40 篇。（2）波动增长阶段（2000—2008 年），虽然本阶段的发文量有一定波动，但从总体上看，全球年均发文量得到明显提高，达到 69 篇，且 2007 年发文量首次突破 100 篇（107 篇），说明有更多的学者关注并着手研究人类社会发展与陆地生态系统间的相互作用关系。（3）快速发展阶段（2009 年—今），2009 年之后，该领域发表的文章数量陡增，全球年均发文量达到 367 篇，年均增长率为 18.37%。这表明该主题正成为学者们研究的重点，相关研究工作的开展也愈发丰富。

1994—2022 年该领域的文章总被引量为 196888 次，篇均引用量为 33.56 次。此外，篇均引用量在 1999 年达到最高，为 110.84 次，随后整体便呈现下降趋势：一方面，文章的发表时间与引用时间之间通常会存在滞后效应，另一方面学者们更倾向于引用高影响力的文章[21—22]，从而使得逐年篇均被引量呈总体下降的趋势。

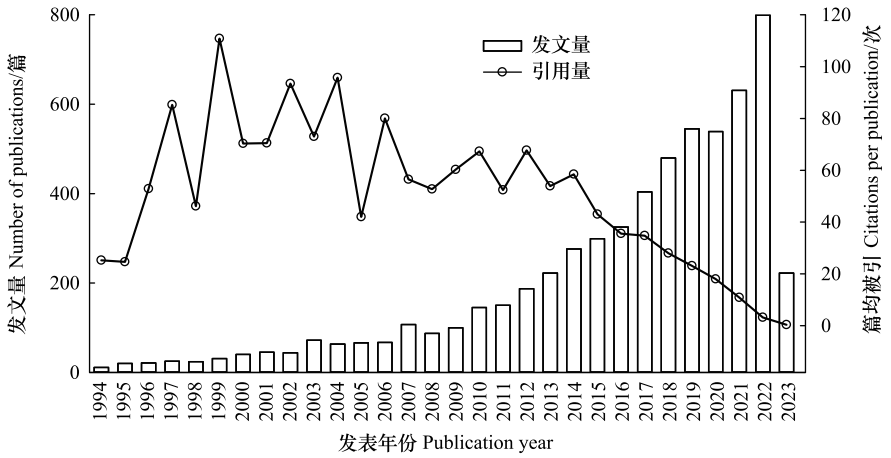

图 1 1994—2023 年 Web of Science 核心合集数据库中人地耦合领域全球年发文量及篇均被引量

Fig.1 Publication trends and citations per publication in the Web of Science core collection database in the field of coupled human and natural systems from 1994 to 2023

2.1.2 高发文期刊

1994—2023 年间 Web of Science 核心合集数据库中收录的人地耦合领域的相关文献来源期刊共有 408 种，表 2 列出了载文量排名前十的期刊，其中 Sustainability 载文量最高（495 篇），占总文献的 8.13%，是该领域的主要来源期刊；Ecological Indicators 总被引次数（8253 次）最高，而 Science of the Total Environment 篇均被引次数（28.07 次）最高，两个期刊的 H 指数分别排名第二和第一，说明两个期刊在该领域中的相对重要性较高[23]；Journal of Cleaner Production 影响因子（IF = 11.07）最高，但在人地耦合研究领域发文量并不突出，仅占

总文献的 2.37%。

2.2　主要研究力量及合作情况

2.2.1　研究国家分析

(1)发文量及被引量

1994—2023 年间的人地耦合文献来自全球 124 个国家,表 3 列出了发文量排名前 10 的国家,图 2 直观展示了这些国家发文量及篇均被引量的差异。中国的发文量(2020 篇)排名第一,总被引排名第二,说明我国对该领域投入的研究力度较大,但篇均被引量与中介中心性并不高,说明发文的原创性及世界影响力仍有待提高。虽然美国总发文量(1308 篇)不及中国,但其总被引及中介中心性都排名第一,说明该国在人地耦合领域的文章影响力较大,对该领域的发展起着关键作用。另外,荷兰(249 篇)、西班牙(199 篇)、法国(182 篇)的发文量虽然不高,但篇均被引量均超过 30 次,说明这些国家的发文质量较高,在该领域的学术影响力较大。

表 2　人地耦合领域载文量排名前 10 的外文期刊

Table 2　Top 10 most active foreign journals in the field of coupled human and natural systems

排名 Rank	期刊名称 Journal	文献数量 Number of publications	占文献总数比例/% Percentage of total publications	总被引频次 Total cited times	篇均被引频次 Average cited times per paper	影响因子 Impact factor
1	Sustainability	495	8.13	2641	5.34	3.89
2	Ecological Indicators	352	5.78	8253	23.45	6.26
3	Science of the Total Environment	280	4.6	7860	28.07	10.75
4	Ecosystem Services	252	4.14	6443	25.57	6.91
5	Journal of Environmental Management	162	2.66	3733	23.04	8.91
6	Landscape and Urban Planning	154	2.53	5483	35.6	8.12
7	Journal of Cleaner Production	144	2.37	2808	19.5	10.07
8	Landscape Ecology	138	2.27	3708	26.87	5.04
9	International Journal of Environmental Research and Public Health	133	2.19	825	6.2	4.61
10	Remote Sensing	110	1.81	1560	14.18	5.35

影响因子来源于中国科学院 2022 年 12 月 20 日发布的期刊分区表基础版(3 年平均 IF)

表 3　人地耦合研究排名前 10 的国家

Table 3　Top 10 countries of coupled human and natural systems

排名 Rank	国家 Country	发文数量 Number of publications	总被引频次 Total cited times	篇均被引频次 Average cited times per paper	中心性 Centrality
1	中国	2020	39319	19.46	0.03
2	美国	1308	43255	33.07	0.21
3	德国	588	12184	20.72	0.11
4	英国	405	10678	26.37	0.19
5	澳大利亚	353	10401	29.46	0.02
6	加拿大	261	4122	15.79	0.01
7	意大利	253	4724	18.67	0.01
8	荷兰	249	8964	36	0.04
9	西班牙	199	6775	34.05	0.01
10	法国	182	5770	31.7	0.08

(2)合作网络分析

借助 VOSviewer (version 1.6.19)软件对发文量排名前 50 的国家进行共现网络分析,得到共 842 条连接线、3 个聚类的国家合作网络图谱(图 3)。图中的各个节点代表国家,节点越大表示该国在人地耦合领域发文量越多,节点间的连接线条越粗则表示两国之间合作发文数量越多,即合作关系越密切。由图 3 可以看出中美两国间的连接线条最粗,还依次是最大的两个节点,说明两国是全球人地耦合研究中最大的合作关系体。

除美国外,中国与澳大利亚、德国、英国、加拿大、荷兰等国的合作也较为密切,这与中国“请进来,走出去”的科研战略有很大关系[24],有利于我国明确人地耦合研究领域的重点与热点问题。此外,国家间广泛的合作与研究主题也有一定关联:随着全球化的发展,人类与陆地生态系统间的耦合研究不能局限于某个特定地点,而应该注重大尺度下多个地点之间的远程相互作用[25]。

(3)主要国家的研究强度及影响力变化

借助活力指数(*AI*)和吸引力指数(AAI)对发文量排名前 10 的国家在人地耦合研究领域的研究强度及影响力进行评估,结果用象限图(图 4)表示。第Ⅰ象限的点表示该国 *AI* 和 AAI 指数均高于全球平均水平的年份;第Ⅱ象限的点表示该国 AAI 指数高于全球平均水平但 *AI* 指数低于全球平均水平的年份;第Ⅲ象限的点表示该国 *AI* 和 AAI 指数均低于全球平均水平的年份;第Ⅳ象限的点表示该国 *AI* 指数高于全球平均水平但 AAI 指数低于全球平均水平的年份[26]。

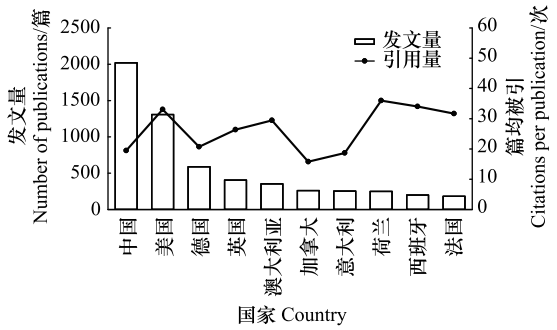

图 2 1994—2023 年人地耦合研究发文量排名前 10 的国家及其篇均被引量

Fig.2 Publications and citations per publication of top 10 most productive countries in the field of coupled human and natural systems from 1994 to 2023

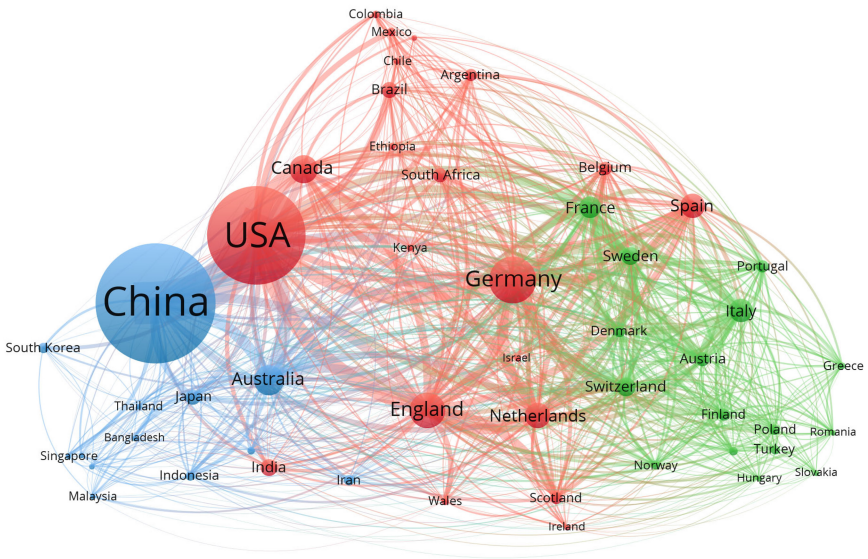

图 3 国家合作网络图谱

Fig.3 The cooperation network of countries

除美国外,其他国家的 *AI* 和 AAI 指数在研究期间均呈上升趋势。图 4 可以看出,虽然早期中国在人地耦合领域的研究强度及学术影响力均低于全球平均,但自 2017 年后中国的在该领域的研究强度都高于全球平均水平,说明习近平于党的十九大首次提出的“人与自然生命共同体”理念愈发深入人心,促使学者投入更多力量来探索人类社会发展与自然生态系统间的耦合机制[27],但需要注意的是其学术影响力仍低于全球平均水平,说明研究的创新性还有待提高。相比之下,虽然近年来美国的研究强度低于全球平均水平,且学术影响力略有下降,但由图 4 可见美国两个指数均高于全球平均水平的年份是最多的,即该国在全球人地耦合研究领域中占据重要地位。此外,虽然意大利、荷兰、西班牙及法国对人地耦合的研究起步较晚,但自从步入 21 世纪,这几个国家的两个指数均高于全球平均水平的年份都较多,说明这些国家在该领域的研究实力都较强。最后,从各个点到参考线的距离可以看出,除中国和意大利以外,其他国家的折现波动都较为剧烈,说明两国

的研究强度与学术影响力在大多数年份是平衡的。

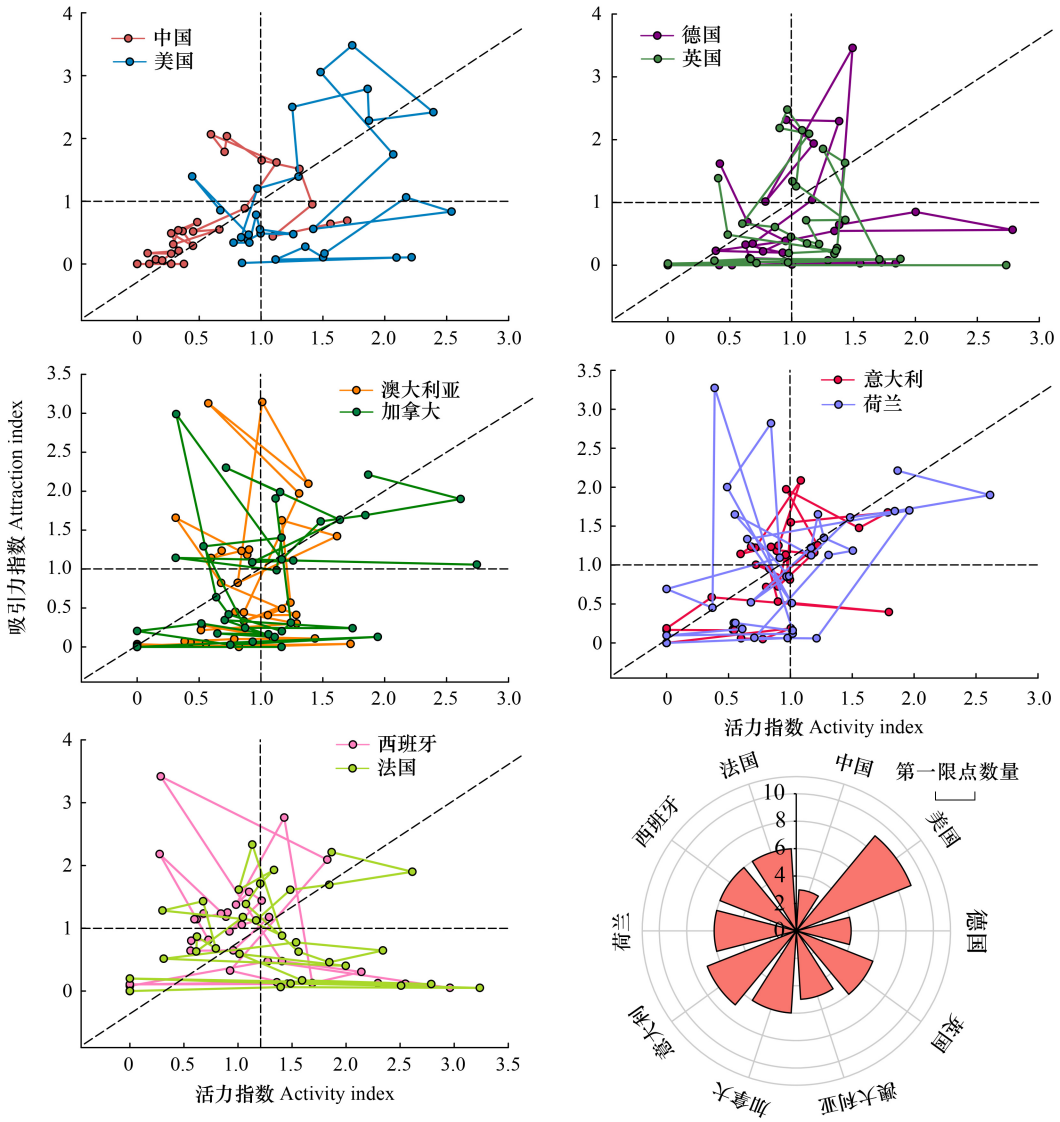

图 4　前 10 名国家的 *AI* 与 AAI 关系图:中国和美国;德国和英国;澳大利亚和加拿大;意大利和荷兰;西班牙和法国;第一象限点数图

Fig.4　Relational chart of *AI* and AAI for top 10 countries: China and USA; Germany and England; Australia and Canada; Italy and Netherlands; Spain and France; Number of points in quadrant Ⅰ

参考线 $x=y$ 表示一个国家人地耦合研究的强度与影响力的平衡状态

2.2.2　研究机构分析

(1)国际主要研究机构

1994—2023 年间,人地耦合领域发文量排名前 10 的机构包括:中国科学院、北京师范大学、美国地质调查局、北京大学、中国地质大学、美国林业部等(表 4),发文量在 52—586 篇之间,总被引次数在 1447—17463 之间,权重链接总强度在 31—278 之间。发文量排名前 10 的研究机构中有 4 个来自中国,其中中国科学院发文量(586 篇)、总被引次数(17463 次)及权重链接总强度(278)均位列第一,可见该机构在人地耦合领域投入的科研力量较多,与其他机构的合作开展较广泛,但需要注意的是其篇均被引量并不高,说明文章在国际中的影响力仍有待提高。相比之下,阿姆斯特丹自由大学、亥姆霍兹环境研究中心、威斯康星大学虽然发文量不高,但篇均被引量较高,分别为 86.17、56.73、48.16 次,说明这些机构的发文质量较高,学术影响力较大。

表 4 人地耦合领域发文量排名前 10 的研究机构

Table 4 Top 10 most productive institutions in the field of coupled human and natural systems

排名 Rank	研究机构 Institution	国家 Country	发文数量 Number of publications	总被引频次 Total cited times	篇均被引频次 Average cited times per paper	权重链接总强度 Total link strength
1	中国科学院	中国	586	17463	29.8	278
2	北京师范大学	中国	207	5716	27.61	110
3	美国地质调查局	美国	83	3751	45.19	44
4	北京大学	中国	77	3262	42.36	54
5	中国地质大学	中国	75	1447	19.29	40
6	美国林业部	美国	74	2207	29.82	40
7	亥姆霍兹环境研究中心	德国	67	3801	56.73	47
8	瓦赫宁根大学	荷兰	60	1777	29.62	31
9	威斯康星大学	美国	55	2649	48.16	31
10	阿姆斯特丹自由大学	荷兰	52	4481	86.17	119

(2)合作网络分析

图 5 展示了人地耦合领域发文量前 50 机构的合作网络图谱,各节点大小代表机构发文量的数量多少,节点间连接线的粗细表示机构间合作的密切程度,而节点及连接线的颜色则代表机构合作发文的年份,颜色越深说明合作越早。从总体来看,最早开展人地耦合研究的国家是美国,其次是欧洲国家,即欧美各国在早期就开展了较为广泛的合作,而中国则是近 5 年才开始较多的国际合作。

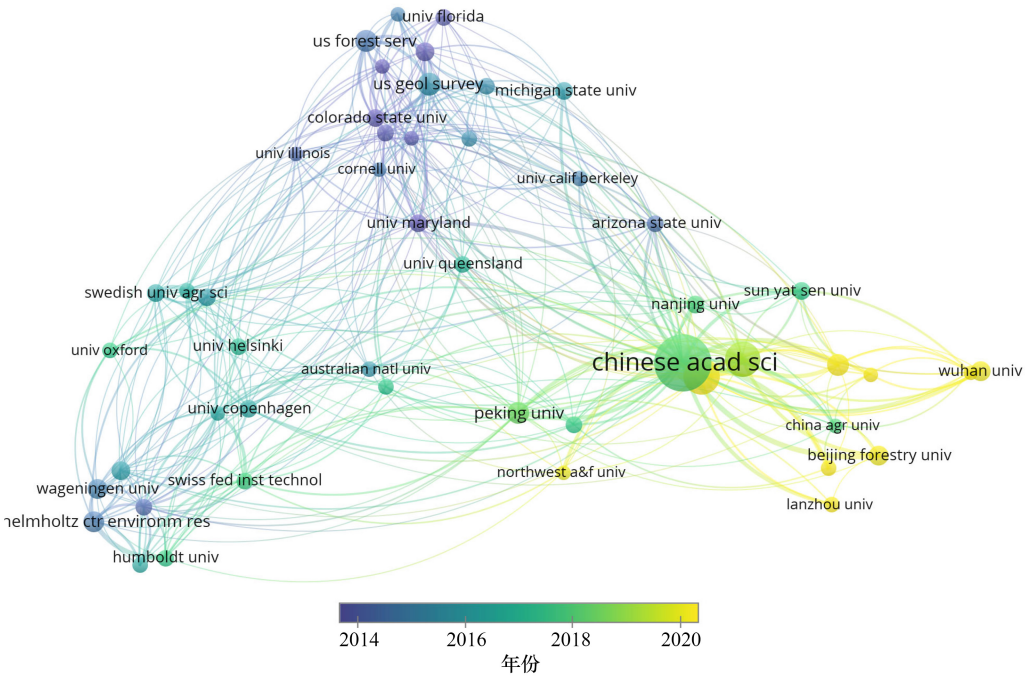

图 5 人地耦合领域文献来源机构及其合作网络图谱

Fig.5 Distribution of publications source institutions in the field of coupled human and natural systems and their cooperation network

2.2.3 主要作者分析

(1)发文量及被引量

表 5 展示了 1994—2023 年人地耦合领域发文量前 10 的作者,其中有 4 位作者来自中国: Peng J,发文量 21 篇,被引量 1423 次、Fu BJ,发文量 20 篇,被引量 1359 次、Liu YX,发文量 17 篇,被引量 1392 次、Ouyang ZY,发文量 17 篇,被引量 526 次,是国内人地耦合研究领域的核心作者,其他高发文作者均来自欧洲,说明欧洲学者对人类社会发展与自然生态系统间的相互作用关注度较高。

表 5　人地耦合领域发文量排名前 10 的作者

Table 5　Top 10 most productive authors in the field of coupled human and natural systems

排名 Rank	作者 Author	发文数量 Number of publications	总被引频次 Total cited times	所在国家 Country	排名 Rank	作者 Author	发文数量 Number of publications	总被引频次 Total cited times	所在国家 Country
1	Verburg PH	23	1278	荷兰	6	Liu YX	17	1392	中国
2	Tappeiner U	21	1485	奥地利	7	Schirpke U	17	917	奥地利
3	Peng J	21	1423	中国	8	Ouyang ZY	17	526	中国
4	Fu BJ	20	1359	中国	9	Lavorel S	16	2453	法国
5	Tasser E	18	1102	意大利	10	Martín-López B	16	1696	西班牙

(2)协作关系分析

图 6 展示了 1994—2023 年间在人地耦合领域发文量高于 5 篇的 326 位作者及其合作关系(作者总数为 22442 人),与机构共现图类似,节点越大,代表该作者发文数量越多;节点间连接线越粗,代表作者间的合作越密切;在不同的作者集群(即不同颜色的聚类簇)中,最大的节点即为该集群中的核心作者,他们对拓宽研究领域、推进研究发展起着重要作用。从图中可以看出该领域出现了 5 个合作密切的作者集群,核心作者包括 Verburg PH(发文量 23,被引频次 1278,篇均被引频次 55.57,权重链接总强度 30)、彭建(Peng J,发文量 21,被引频次 1423,篇均被引频次 67.76,权重链接总强度 24)、傅伯杰(Fu BJ,发文量 20,被引频次 1359,篇均被引频次 67.95,权重链接总强度 32)、欧阳志云(Ouyang ZY,发文量 17,被引频次 526,篇均被引频次 30.94,权重链接总强度 36)、以白杨(Bai Y,发文量 13,被引频次 608,篇均被引频次 46.77,权重链接总强度 39)。

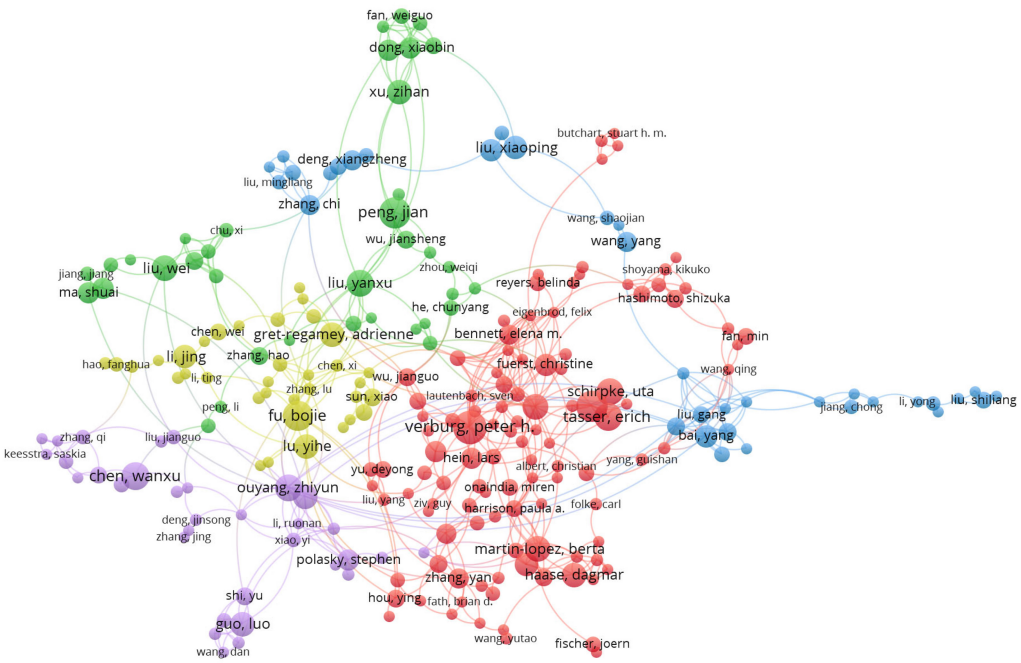

图 6　人地耦合领域文章主要作者及其合作网络图谱

Fig.6　Main authors in the field of coupled human and natural systems and their cooperation network

2.3　研究热点与前沿分析

2.3.1　关键词共现分析

借助 VOSviewer (version 1.6.19)软件对出现频次不低于 30 次的关键词进行共现网络图谱绘制,图谱中共出现 314 个关键词节点,其中出现频率位于前 5 的关键词包括:ecosystem services(生态系统服务,1030 次)、conservation(保护,810 次)、management(管理,804 次)、land-use change(土地利用变化,650 次)、

urbanization(城镇化,614 次)。可见,由于人类生产生活对自然生态系统的影响愈发强烈,学者们愈发关注城镇化对自然环境的影响,并尝试生态系统管理、土地利用优化等方式对自然生态系统进行保护,保证可持续的生态系统服务,做到人与自然的和谐共生。

由于关键词是对研究内容的高度概括[28],图 7 中共出现的 4 个关键词聚类能够帮助我们明晰人地耦合领域的研究热点:蓝色聚类主要是对各种生态系统服务的评估及定价,同时考虑社会发展需求,重点探究社会-生态系统同步发展的最优模式;黄色聚类主要关注人类活动与生物多样性间的关联,尤其是放牧利用对草地生态系统的影响;红色聚类主要通过模型模拟及预测的方法探究城镇化、城市扩张等土地利用变化与自然生态系统间的影响与相互作用;绿色聚类主要是对小尺度下生态要素间的耦合进行研究,如在流域尺度下,探究基于物质交换(碳、氮、磷等)的水体与陆地植被的耦合关系。

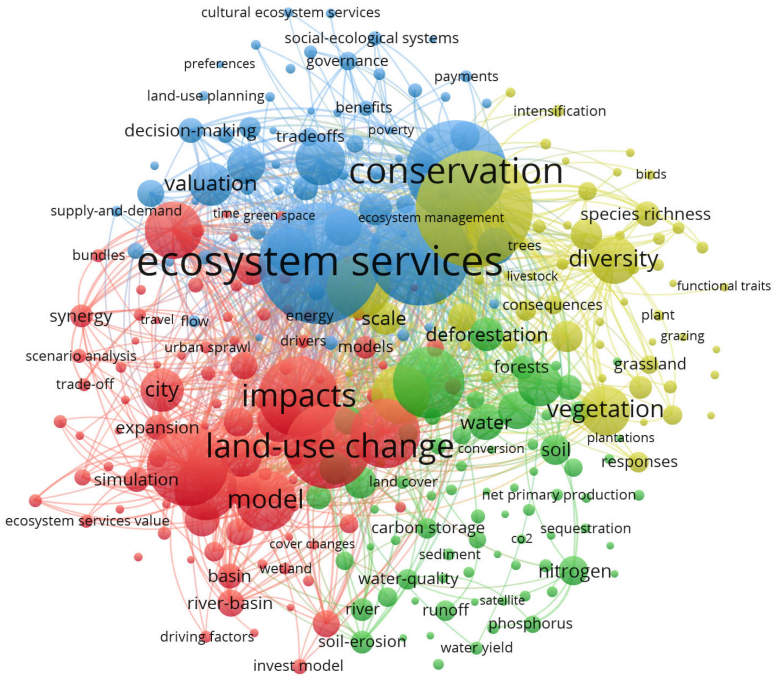

图 7 关键词共现网络图谱

Fig.7 Keywords co-occurrence network

2.3.2 突现词分析

突现词检测能够以量化的方式追踪特定时间尺度下的研究前沿[29]。图 8 展示了 1994—2023 年人地耦合研究领域的突现词情况,其中的柱形的长度表示该关键词出现的时间段,颜色深浅则表示爆发强度的高低。基于突现词出现的时间,本研究划分出三个时期:(1)1994—1997 年,人地耦合研究多聚焦在全球气候变化背景下“社会生产”与自然环境间的相互作用,如农业生产对生态系统水质、水量的影响[30];以可持续发展为目标,探究与当地环境保护相协调的林业生产模式[31];放牧活动对土壤微生物生物量的影响以及对土壤、植被等的溢出效应[32]等;(2)1998—2002 年,探究人类生产活动与自然环境间的耦合机制依旧是本时期的重点,同时,生物多样性、群落、水质、氮、模型的相关研究也成为该时期的研究热点。从突现强度来看,生物多样性(突现强度:43.18)受到的关注较高,相关研究包括:探究无脊椎动物 α 多样性如何通过养分循环、微气候、水文调节等与粮食作物生长过程相耦合[33];利用新兴的生态经济学中的分析方法对生物多样性价值进行评估,进而推出恢复生物多样性、增强生态系统功能的政策与方法[34]。此外还有学者利用社会和环境生命周期评估法(Social and Environmental Life Cycle Assessment, SELCA)对水、气体、能量等在社会-生态系统中的循环流动进行分析[35],进而明确维持和改变生命周期的关键因子。但受限于当时的技术水平,在较大时空尺度下获取各类生态要素的观测数据十分困难[36],因此该时期多为针对单一要素的小尺度研究。(3)2003—2023 年,

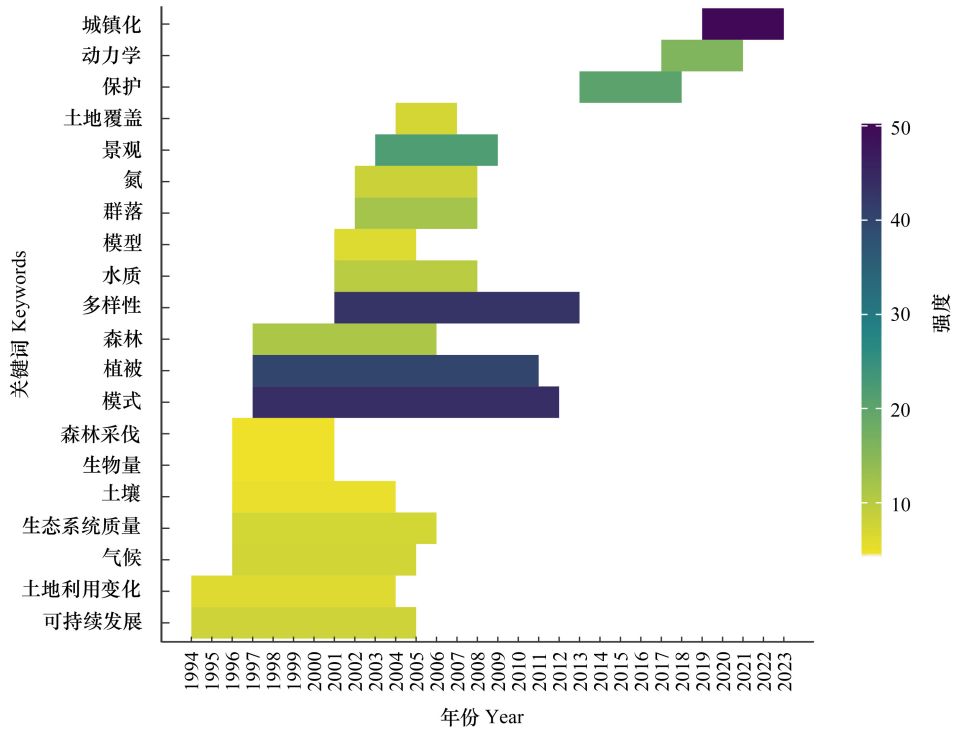

图 8　突现词分析

Fig.8　Burst word detection analysis

随着 3S 技术的不断发展以及城镇化进程逐渐加快,景观、区域等较大尺度下的人地耦合研究已成为该领域的前沿。如利用耦合协调度模型(Coupling Coordination Degree Model, CCDM)探究城市与环境子系统间耦合协调度的变化,同时分析影响系统间协调发展的关键因素[37];基于水分平衡模型、环境响应模型、城市化模型等构建耦合模型,探究城市与自然系统间水-能-环境(water, energy, and environment, W-E-E)的纽带关系[38];由于流域是包含了水、土、气、生、人的“自然-社会-经济”复杂系统,是研究人地耦合机制的关键尺度,有学者利用社会-生态系统框架(social-ecological system framework)对影响流域生态环境的潜在因素进行诊断分析,并兼顾区域的社会经济发展,提出流域治理的最优路径[39]。

3　结论与展望

3.1　结论

本文基于文献计量方法,借助 VOSviewer、R 语言等软件,对 1994—2023 年人地耦合领域的研究动态及热点进行了可视化分析,并使用 *AI* 和 AAI 指数对主要国家的研究效率和学术影响力进行了评价,得出的结论如下:

(1) 从发文量来看,人地耦合研究可分为三个阶段:起步阶段(1994—1999 年)、波动增长阶段(2000—2008 年)、快速发展阶段(2009—2023 年),可见 1994—2023 年的相关发文量不断增加,研究数量、尺度及方法都在不断提升,说明该领域受到各国学者的广泛关注。

(2)从主要研究力量来看,中国在近 5 年的发文量远超其他国家,研究强度较高,但从总被引量及 AAI 指数可以看出学术影响力仍是欧美国家占主导地位,其中美国的学术影响力最高。此外,欧美国家在上世纪便开展了较为广泛的合作,而中国的国际合作开展较晚,国际合作及作者合作仍有待加强。

(3)从关键词聚类情况来看,人地耦合领域的研究主题包括:基于生态系统服务评估探究社会-生态系统同步发展的最优模式;人类生活生产与生物多样性的耦合关系;基于模型模拟及预测方法,探究城镇化与自然

生态系统间的影响与相互作用;小尺度下生态要素间的耦合机制研究。

(4)从突现词演变情况来看,人地耦合研究从起初的小尺度下基于单一生态要素的社会-生态系统耦合关系探究逐渐转变为大尺度下多要素、多系统耦合机制的研究,研究框架及模型也愈发多样。研究目标也从起初仅强调自然生态系统服务的供需平衡到制定出能够促进人类社会经济与自然生态系统和谐共生、同步发展的宏观调控政策。

3.2 展望

随着中国步入生态文明建设新时代,我国愈发重视人与自然的内在联系与耦合机制研究,相关发文量迅速增加,可见中国在人地耦合研究领域正努力赶超国际先进水平。然而,与欧美国家相比,我国在人地耦合理论方法的创新性及工程实践案例方面仍有待提高。未来该领域的研究应重点关注以下几个方面:

(1)着重开发应用于中、大尺度,耦合多要素、多系统的分析方法、框架及模型。虽然目前已有学者基于多种生态过程构建出探究多要素间相互作用关系的耦合模型[40],但仅适用于特定的生态系统类型,适用于景观、区域等较大尺度的,兼顾自然要素以及社会、经济要素的耦合模型仍十分缺乏。此外,亟需将文化、科创、生态政策作为可量化的重要指标纳入分析框架,并进一步探究这些指标对自然-经济-社会系统耦合机制的影响。

(2)构建以自然保护为根本、社会高质量发展为目标、政策制度为重要手段的自然-经济-社会系统一体化管理模式。从本研究的热点分析可以看出,生态系统服务始终是人地耦合领域的重点话题,它是人类生活、生产的基础,但随着人口增加、城镇化、工农业发展,人类对生态系统的干扰也愈发频繁,对生态系统产品及服务的需求也与日俱增。对此,以多尺度下要素间、系统间的耦合机制为科学基础,通过政策、法律、教育等手段在社会-经济端调节人口、鼓励可持续生产模式、倡导绿色生活方式,在自然生态系统端对受损生态系统进行修复、对良性生态系统进行优化、对优质生态系统进行保护,做到生态系统服务供需两端相匹配是人与自然和谐共生的核心。

(3)开展更多人地耦合研究合作,建立国际交流平台。近年来,我国在人地耦合方面的研究力量不断壮大,但与他国的交流合作依旧较少。对此,开展国际合作不仅能够丰富人地耦合理论、方法、技术等知识库,还能将耦合理论应用于更多国家的实践中,如将“山水林田湖草”生态保护与修复工程应用到具有类似水热等自然环境条件的区域,以此丰富领域的实践案例,不仅有利于耦合理论方法的调整优化、实践经验的积累,还有利于得出普适性的研究成果,帮助各国的保护修复工作朝向全球目标的方向发展。

参考文献(References):

[1] Vefie L. The Penguin Directionary of Physics. Beijing: Foreign Language Press, 1996.

[2] Turner B L 2nd, Kasperson R E, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Kasperson J X, Luers A, Martello M L, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8074-8079.

[3] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, Alberti M, Folke C, Moran E, Pell A N, Deadman P, Kratz T, Lubchenco J, Ostrom E, Ouyang Z Y, Provencher W, Redman C L, Schneider S H, Taylor W W. Complexity of coupled human and natural systems. Science, 2007, 317(5844): 1513-1516.

[4] Ostrom E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, 2009, 325(5939): 419-422.

[5] 胡翌霖, 唐兴华. 取代上帝视角——环境伦理视域下的拉图尔盖亚观. 自然辩证法通讯, 2021, 43(7): 43-49.

[6] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.

[7] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. Ecological Engineering, 1997, 9(1/2): 51-69.

[8] Ochoa-Hueso R, Delgado-Baquerizo M, Risch A C, Schrama M, Morriën E, Barmentlo S H, Geisen S, Hannula S E, Resch M C, Snoek B L, van der Putten W H. Ecosystem coupling: a unifying framework to understand the functioning and recovery of ecosystems. One Earth, 2021, 4(7): 951-966.

[9] Schlüter M, McAllister R R J, Arlinghaus R, Bunnefeld N, Eisenack K, Hölker F, Milner-Gulland E J, Müller B, Nicholson E, Quaas M, Stöven M. New horizons for managing the environment: a review of coupled social-ecological systems modeling. Natural Resource Modeling, 2012,

25(1): 219-272.
[10] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, Folke C, Alberti M, Redman C L, Schneider S H, Ostrom E, Pell A N, Lubchenco J, Taylor W W, Ouyang Z Y, Deadman P, Kratz T, Provencher W. Coupled human and natural systems. Ambio, 2007, 36(8): 639-649.
[11] Turner B L 2nd, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Hovelsrud-Broda G K, Kasperson J X, Kasperson R E, Luers A, Martello M L, Mathiesen S, Naylor R, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A, Selin H, Tyler N. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8080-8085.
[12] Aria M, Cuccurullo C. *bibliometrix*: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics, 2017, 11(4): 959-975.
[13] van Eck N J, Waltman L, Dekker R, van den Berg J. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2010, 61(12): 2405-2416.
[14] Liu Y Z, Li C D, Liu W, Dong Q M. Trends in global research on seed dispersal: a bibliometric analysis. Sustainability, 2022, 14(24): 16577.
[15] Mongeon P, Paul-Hus A. The journal coverage of Web of Science and *Scopus*: a comparative analysis. Scientometrics, 2016, 106(1): 213-228.
[16] 宋巧枝, 方曙. 基于文献统计分析法的专利计量分析研究. 现代情报, 2008, 28(2): 125-126, 129.
[17] Zins C. Knowledge map of information science: research Articles. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2007, 58(4): 526-535.
[18] van Eck N J, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.
[19] Shen S, Cheng C X, Yang J, Yang S L. Visualized analysis of developing trends and hot topics in natural disaster research. PLoS One, 2018, 13(1): e0191250.
[20] Schubert A, Braun T. Relative indicators and relational charts for comparative assessment of publication output and citation impact. Scientometrics, 1986, 9(5): 281-291.
[21] Wang B J, Zhang Q, Cui F Q. Scientific research on ecosystem services and human well-being: a bibliometric analysis. Ecological Indicators, 2021, 125: 107449.
[22] Qiu H, Chen Y F. Bibliometric analysis of biological invasions research during the period of 1991 to 2007. Scientometrics, 2009, 81(3): 601-610.
[23] Harzing A W, van der Wal R. A Google Scholar h-index for journals: an alternative metric to measure journal impact in economics and business. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2009, 60(1): 41-46.
[24] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 刘宏斌, 王立刚, 逄焕成. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1140-1150.
[25] Hull V, Liu J G. Telecoupling: a new frontier for global sustainability. Ecology and Society, 2018, 23(4): art41.
[26] 黄利, 周密. 国际生态系统服务研究动态与地域差异评价. 资源科学, 2020, 42(4): 607-620.
[27] 黄志锋, 朱巧红. 习近平“人与自然是生命共同体”的马克思主义哲学思考. 沈阳工业大学学报: 社会科学版, 2020, 13(3): 284-288.
[28] 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.
[29] 孙然好, 魏琳沅, 张海萍, 陈利顶. 河流生态系统健康研究现状与展望——基于文献计量研究. 生态学报, 2020, 40(10): 3526-3536.
[30] Pimentel D, Houser J, Preiss E, White O, Fang H, Mesnick L, Barsky T, Tariche S, Schreck J, Alpert S. Water resources: agriculture, the environment, and society. BioScience, 1997, 47(2): 97-106.
[31] Korovin G. Problems of forest management in *Russia*. Water, Air, and Soil Pollution, 1995, 82(1): 13-23.
[32] Holt J A. Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzyme activities in semi-arid northeastern Australia. Applied Soil Ecology, 1997, 5(2): 143-149.
[33] Bambaradeniya C N B, Edirisinghe J P. The ecological role of spiders in the Rice fields of Sri *Lanka*. Biodiversity, 2001, 2(4): 3-10.
[34] Edwards P J, Abivardi C. The value of biodiversity: where ecology and economy blend. Biological Conservation, 1998, 83(3): 239-246.
[35] Tukker A. Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. Environmental Impact Assessment Review, 2000, 20(4): 435-456.
[36] 丁锐, 谢骏锴. 3S 技术应用现状与发展趋势. 科技创新与应用, 2019(14): 174-175.
[37] Li Y F, Li Y, Zhou Y, Shi Y L, Zhu X D. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. Journal of Environmental Management, 2012, 98: 127-133.
[38] Zhao Y, Zhang X, Xu J, Smith J S, Xia J, Jia H F. Water-energy-environment nexus under different urbanization patterns: a sensitivity-based framework for identifying key feedbacks. Journal of Cleaner Production, 2023, 408: 137243.
[39] Zhao Y H, Hou P, Jiang J B, Zhai J, Chen Y, Wang Y C, Bai J J, Zhang B, Xu H T. Coordination study on ecological and economic coupling of the Yellow River Basin. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(20): 10664.
[40] 杨阳, 刘良旭, 张萍萍, 吴凡, 周媛媛, 宋怡, 王云强, 安韶山. 黄土高原土壤水分-有机碳-微生物耦合作用研究进展. 生态学报, 2023, 43(4): 1714-1725.