

引用格式: Zhang Hongyue, Li Yizhan, Chen Siming, *et al.* Spatio-temporal Pattern Analysis of Global Remote Sensing Research in Recent 10 Years[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(1): 45-60. [张红月, 李宜展, 陈思明, 等. 近10 a全球遥感科学研究的时空动态分析[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(1): 45-60.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.1.0045

近10 a全球遥感科学研究的时空动态分析

张红月¹, 李宜展², 陈思明¹, 黄铭瑞^{3,4}, 孙玉⁵

(1. 闽江学院 地理与海洋学院, 福建 福州 350108;

2. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190;

3. 中国科学院空天信息创新研究院数字地球重点实验室, 北京 100094;

4. 中国科学院大学, 北京 100094;

5. 福州大学 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建 福州 350108)

摘要:以2010~2019年Web of Science核心合集数据库中自然科学引文索引和社会科学引文索引收录的遥感科学相关文献为数据源,采用统计计量、知识图谱以及质心迁移模型等方法,对近10 a遥感科学发文的时空动态、学科分布、主题热点进行深入分析。结果表明:全球遥感科学论文的作者集中于欧洲、北美以及亚洲东部地区,10 a间遥感科学研究的发文量质心呈现显著的东移特征,影响力质心整体呈现东移趋势,但发文量质心迁移距离远大于影响力质心迁移距离。包括中国、美国、德国、意大利和英国在内的5个高产国家遥感科学论文的主要交叉学科差异明显,美国在13个主要学科中发文表现均衡,中国在天文与天体物理、生态学等交叉学科发文量偏低。5个高产国家的主题热点也存在差别,中国学者关注全球变化及青藏高原等方面的研究,美国学者综合遥感技术对火星、月球等开展了探索。近10 a来气候变化、城市化、变化监测等的研究受到关注。未来可以进一步综合多源遥感数据开展交叉学科研究,遥感大数据结合人工智能算法推进智慧地球的建设。

关键词:遥感;文献计量;质心模型;共词分析;关键词集群

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)01-0045-16

1 引言

作为对地观测的主要手段之一,遥感具有及时、准确、覆盖面广、光谱信息丰富等优点,成为科学研究中的重要数据源。随着遥感卫星不断发射升空,用于科学研究的遥感数据源增多,数据类型也日趋丰富。国际开放数据政策也促使遥感数据的获取更加便捷。目前遥感的应用领域极大拓展^[1],涉及资源调查、农业估产、天气与海况预报、防灾减灾和军事侦察等领域。遥感应用领域不断拓

展和深化的同时,相应的遥感科学论文数量迅速增长。科技文献作为研究成果的凝练,汇聚了经典理论和前沿研究成果,作为一个庞大的文本数据集,挖掘其潜在知识具有巨大价值。

文献计量学是采用数学、统计学等计量方法对文献信息的分布特征、数量关系、变化规律和知识结构开展分析的一门学科^[2-3]。传统的文献计量学涉及文献检索、知识单元统计、共现分析以及知识网络分析等,研究内容主要包括文献计量学定律、引文分析以及学科应用。随着文献计量学技术方

收稿日期:2021-08-24;修订日期:2021-12-24

基金项目:福建省自然科学基金项目(2021J011022、2020J01831、2021J011020),国家自然科学基金项目(41801393),福建省教育厅项目(科技类)(JAT190600),闽江学院科研启动项目(MJY19023)。

作者简介:张红月(1987—),女,山东聊城人,讲师,主要从事空间科学计量及GIS建模研究。E-mail:zhanghy@mju.edu.cn

通讯作者:孙玉(1986—),男,山东德州人,副研究员,主要从事地球物理及遥感应用研究。E-mail:jade.yusun@outlook.com

法的不断发展,其应用领域也在不断深化。根据科睿唯安的研究报告^[4],2010年以后使用文献数据发表的研究论文每年达到1 000多篇,超过一半的论文只集中发表在27个学科,主要为面向生物医学和健康的领域,如肿瘤学(2 104篇)、公共卫生(2 020篇),其他发文较多的学科包括情报学(1 378篇)、计算机科学(889篇)和教育科学(476篇)等。由此可以看出,文献计量学应用领域不断拓展的同时,交叉学科的研究成果发文量差异明显。

近年来学者采用文献计量学方法在遥感领域也开展了多维度的分析与研究。通过对中国知网和科睿唯安 Web of Science 平台的双主题(“文献计量”和“遥感”)检索,发现近 5 a 利用文献计量方法开展遥感科学研究的文章就有 100 多篇,以综述类和科研评估类研究为主。研究主题既有宏观视角的全球遥感研究^[5-6],又涉及遥感领域应用的专题分析。其中遥感领域应用的分析涉及考古^[7-8]、夜光遥感^[9-11]、水色遥感^[12-14]、湿地及保护区^[15-17]、环境保护^[18-19]、水质与水环境^[20-21]、减灾^[22-24]、农业及农作物^[25-27]、森林^[28-29]、碳排放^[30]、海岸带^[31]、草地^[32-33]等。另外,已有学者开展了对地球科学大数据^[34]以及遥感数据源的文献计量分析^[35-36]。但以上研究基本都是采用定性分析或传统的文献计量方法对遥感科学研究进行综述,未对空间动态开展深入分析。随着遥感科学论文的发表数量逐年增加,文献计量方法在遥感专题领域的应用会更加深入。

科学论文元数据中的作者地址字段潜藏着科技文献的地理属性信息,因此地理信息是科研论文的固有属性之一,可以通过作者地址进一步提取国家、城市 and 机构信息。地理信息系统(GIS)的空间可视化与空间分析功能可以深化文献计量指标的表达与分析结果。近年来,GIS在文献计量学研究中得到广泛应用。Frenken等^[37]在2009年提出空间科学计量学,自此以后科技文献的时空特征研究不断深化^[38-39]。我国学者Wang等^[41]对文献计量指标的GIS分析提出了系统性的方法^[40],并首次将GIS技术用于青藏高原地区科研文献的知识挖掘与空间分析。艾鑫等^[42]对全球地球科学研究进行了空间可视化分析。杨麦等^[43]首次将质心模型用于图书馆国际发文的空间变化分析。目前,地理信息系统软件比如ArcGIS、QGIS等能有效实现地理信息可视化和空间统计分析功能。

综上,现有的基于文献计量方法开展的遥感文

献分析并没有针对空间尺度的动态特征进行研究,另外现有的分析基本都是从宏观尺度分析整体态势,没有针对高产国家的聚焦剖析。本研究融合文献计量方法和GIS空间分析技术对2010~2019年间全球遥感的发文态势、时空迁移、学科分布和主题动态开展研究,并对5个高产国家的学科布局和研究主题的差异性开展深入分析。该研究成果旨在揭示近十年全球遥感的发展态势,明确我国遥感科学研究相对于其他高产国家而言所具有的发展潜力,为优化我国遥感科学研究的学科布局以及提升影响力提供参考。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

通过WoS核心合集数据库检索全球遥感主题的科技文献。自然科学引文索引(SCI)以及社会科学引文索引(SSCI)是目前国际上影响力最强的两大检索数据库,可以反映特定研究主题的科技水平^[5]。本研究使用的数据集采用高级检索策略,WoS中检索主题标识符为TS,遥感科研论文的文献检索式定为(TS=(Remot*sens*) or WC=(remote sensing));检索语种为英语;索引条件设置为SCI-E和SSCI;时间跨度设置为2010年1月1日至2019年12月31日。

数据库检索日期为2020年2月4日。剔除掉无关记录和重复记录后,最终获取到91 942篇遥感科学论文记录用于进一步的分析研究。

2.2 研究方法

本实验的统计分析结果使用到的软件包括Bibexcel^[44]、VOSViewer^[45]、Excel以及ArcGIS。

为了量化2010~2019年间遥感科学论文空间格局的变化,引入质心模型^[43]。地理要素空间分布的质心变化情况可以反映其在空间上的聚散与迁移随时间变化的过程。质心坐标的计算公式如下:

$$\begin{aligned} X_t &= \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}} \\ Y_t &= \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}} \end{aligned} \quad (1)$$

其中: X_t 、 Y_t 分别表示在 t 年全球遥感发文的质心坐标的经度和纬度; C_{it} 表示在 t 年第 i 个国家的指标

(比如发文数量、被引频次); X_i 、 Y_i 分别表示第*i*个国家的几何中心坐标。

为了对比高产国家综合遥感科学开展交叉学科研究的产出差异,本文引入学科发文相对量指数^[46]。一个国家某学科发文量占该国所有学科发文量比重除以全球该学科发文量比重即为该学科发文相对量指数。计算公式如下:

$$E_i = \frac{\frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}}{\frac{NP_i}{\sum_{i=1}^n NP_i}} \quad (2)$$

其中: E_i 代表一个国家第*i*个学科的学科发文相对量指数; C_i 代表某个国家第*i*个学科的发文量; NP_i 代表全球第*i*个学科总发文量; n 为总的学科发文数量。

3 结果与分析

2010~2019年间共检索到遥感科学研究论文

91 942篇,2010年发文量为5 045篇,2019年发文量达到14 256篇,增加了近10 000篇。10 a间全球遥感发文趋势呈现指数态势($y=4662.5 * e^{0.1139 * x}$),如图1所示。根据普莱斯曲线($F(t)=a * e^{b * t}$)指数增长率的含义, b 为时间常数,表示文献的持续增长率。若文献每年的增长率为 $r\%$,则 $r=100 * (e^b - 1)$,那么文献的年持续增长率 $r=100 * b$,即全球遥感研究论文的持续增长率近似为11.39%,增长趋势明显。

各年度遥感科学论文的发文量和环比增长率见图1所示。10 a间论文发表数增加了近两倍,环比增长率3个小高峰分别出现在2014年、2018年和2011年,增长率分别为20.19%、17.38%和16.04%。其他年份的增长率也均在5%以上。

除了使用文献的增长率来分析文献的增长速度外,还可以依据文献增加一倍所需的时间来衡量文献的增长速度。根据指数增长定律可以得出 $d = \frac{\ln 2}{b}$,遥感科学的文献发表增加一倍所需时间大概为6 a。

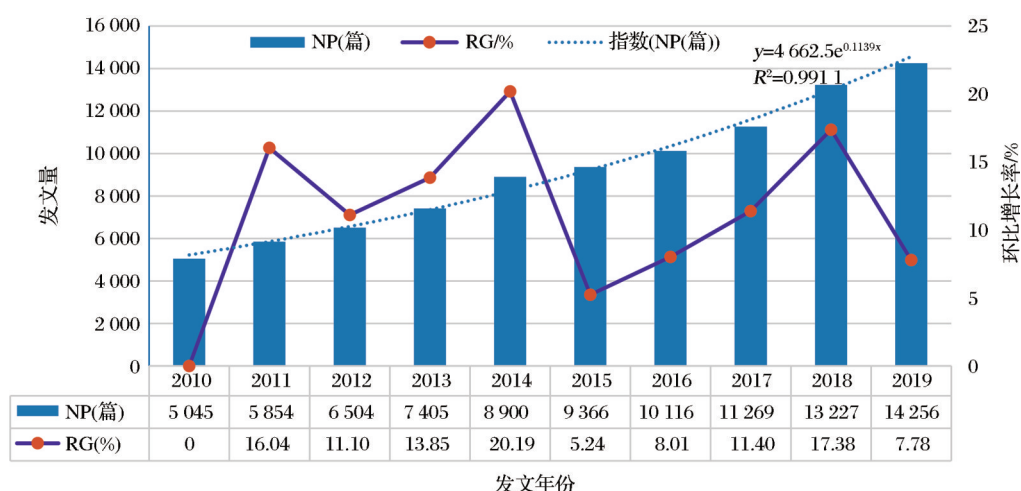


图1 2010~2019年遥感科学论文发文量拟合和环比增长率曲线

Fig.1 Fitting curve of the number of remote sensing papers and the rate of growth from 2010 to 2019

需要注意的是,拟合曲线和增长规律反映的是历史数据,由于科技文献的增长还需要综合考虑社会经济、政策及国际环境等方面的因素,目前的回归曲线和增长趋势不一定与未来的增长趋势一致。

对近10 a全球遥感科学研究的主要发文国家进行发文态势拟合,发文前10位的国家基本符合指数增长态势。为了分析前10位主要发文国家的发文增长态势,分别计算年均增长率和指数增长率。年均增长率是对各年的增长率计算之后加和取平均。各年度发文增长率计算公式为 $G_i = \frac{(NP_{i+1} - NP_i)}{NP_i}$, G_i 代表第*i*年发文增长率, NP_i 代表

第*i*年的发文量。遥感科学发文的指数增长率计算

公式为 $G = \left(\frac{NP_{2019}}{NP_{2010}} \right)^{1/9} - 1$, G 代表指数增长率, NP_{2019}

和 NP_{2010} 分别表示2019年和2010年的发文量。近10 a全球遥感科学研究的前10位主要发文国家的年均增长率、指数增长率以及论文翻番周期计算结果见表所示。

从表1可以看出,年均增长率计算结果略高于指数增长率的计算结果。中国在前10位主要发文国家中发文增长率最高,年均增长率达到24%以上,根据指数增长定律计算论文数量翻番需要3 a。

表 1 近 10 a 全球遥感的前 10 位主要发文国家的增长率表

Table 1 The growth rate table of the top ten major remote sensing countries in the past ten years			
国家	年均增长率/%	指数增长率/%	论文翻番周期/a
中国	25.32	24.90	3.07
美国	8.84	8.76	8.53
澳大利亚	15.59	14.90	4.94
西班牙	14.73	13.84	5.70
印度	10.96	10.74	7.05
英国	13.31	13.17	5.64
德国	10.99	10.82	6.46
法国	9.95	9.74	7.81
加拿大	9.42	8.96	7.56
意大利	11.43	11.19	7.24

澳大利亚近 10 a 的遥感发文年均增长率为 15% 左右,论文翻番大概平均需要 5 a。美国近 10 a 的遥感科学发文年均增长率在 8.8% 左右,论文翻番大概需要 8.5 年。总体来看,近 10 a 全球遥感科学的主要发文国家发文增速在 8%~26% 之间,论文翻番需要 3~9 年的时间,中国学者近 10 a 遥感科学研究的发文量持续增加,增长速度位居主要发文国家之首。

3.1 全球遥感科学研究的空间布局

遥感科学论文的元数据记录中有两个字段包含作者的地址信息:一个是 C1 字段,另外一个为 RP。其中 C1 字段存储的是所有作者的地址,RP 字段存储的是通讯作者地址。为了对比不同国家的发文量和影响力,分别依据全体作者、第一作者和通讯作者计算发文量和篇均被引频次,结果见表 2 所示。

从表 2 结果可以看出,遥感科学研究发文量前 20 位的国家中有 11 个来自欧洲,5 个来自亚洲,2 个来自北美洲,南美洲和大洋洲各有 1 个国家。发文量最多的国家以美国和中国为首,均在 26 000 篇以上。欧洲、亚洲以及北美洲的国家在全球遥感研究中相对活跃,南美洲、大洋洲以及非洲地区的国家则在全球遥感研究中产出相对较少。从表 2 可以看出,根据全体作者的国家类别统计的高产国家发文量与通讯作者统计的高产国家发文量差距不大,第一作者统计的国家发文量数值较小。由于第一作者统计时一篇论文只算作一个国家的成果,因此统计值要小。依据第一作者计算的篇均被引频次要低于全部作者的篇均被引频次和通讯作者的篇均

表 2 2010~2019 年遥感科学论文前 20 个高产国家的发文量及篇均被引频次

Table 2 Number of publications and citations per paper of the top 20 countries in remote sensing research during 2010 and 2019							
国家	地区	全体作者发文量/篇	通讯作者发文量/篇	第一作者发文量/篇	全体作者发文篇均被引频次(排名)/(次/篇)	通讯作者发文篇均被引频次(排名)/(次/篇)	第一作者发文篇均被引频次(排名)/(次/篇)
美国	北美洲	26 661	26 580	13 608	19.05 (9)	19.06 (9)	18.19 (5)
中国	亚洲	26 029	26 013	21 381	11.69 (17)	11.69 (17)	10.79 (16)
德国	欧洲	7 621	7 585	5 461	19.97 (6)	20.01 (6)	17.76 (8)
英国	欧洲	6 336	6 296	2 112	19.13 (8)	19.13 (8)	17.46 (9)
意大利	欧洲	5 776	5 754	3 823	19.36 (7)	19.4 (7)	16.16 (12)
法国	欧洲	5 389	5 371	4 036	21.06 (4)	21.05 (4)	19.08 (3)
加拿大	北美洲	5 254	5 229	4 802	17.71 (13)	17.79 (13)	16.32 (11)
澳大利亚	大洋洲	4 674	4 655	4 618	17.86 (12)	17.84 (12)	17.84 (6)
印度	亚洲	4 594	4 584	4 162	9.65 (20)	9.65 (20)	8.29 (19)
西班牙	欧洲	4 140	4 130	2 008	18.65 (10)	18.64 (10)	15.38 (13)
荷兰	欧洲	3 180	3 168	1 397	23.18 (3)	23.3 (3)	18.3 (4)
日本	亚洲	2 742	2 738	1 996	14.59 (14)	14.63 (14)	11.74 (14)
巴西	南美洲	2 003	2 000	1 860	12 (15)	12.04 (15)	11.41 (15)
瑞士	欧洲	1 959	1 945	540	25.05 (2)	25.1 (2)	17.83 (7)
韩国	亚洲	1 869	1 863	1 310	11.71 (16)	11.75 (16)	9.41 (18)
伊朗	亚洲	1 598	1 596	1 218	9.68 (19)	9.68 (19)	9.42 (17)
比利时	欧洲	1 559	1 552	1 353	20.33 (5)	20.42 (5)	19.63 (2)
芬兰	欧洲	1 290	1 286	987	18.32 (11)	18.28 (11)	16.47 (10)
俄罗斯	欧洲	1 252	1 251	734	10.42 (18)	10.45 (18)	4.84 (20)
奥地利	欧洲	1 226	1 218	1 130	29.3 (1)	29.28 (1)	28.66 (1)

被引频次,且通讯作者的篇均被引频次和全体作者的篇均被引频次相差极小。因此下面以基于通讯作者计算的结果展开分析。

从通讯作者的数据来看,全球遥感科学论文来自 187 个国家或地区。前 20 位高产国家中,发文量超过 5 000 篇的国家共有 7 个,以美国为首(26 580 篇),其次是中国(26 013 篇)、德国(7 585 篇)、英国(6 296 篇)、意大利(5 754 篇)、法国(5 371 篇)以及加拿大(5 229 篇)。

从表中的通讯作者篇均被引频次可以看出,前 20 位高产国家中奥地利的篇均被引频次最高,达 29.28 次/篇,其次是瑞士(25.1 次/篇),篇均被引频次在 20 次/篇以上的国家还包括荷兰(23.3 次/篇)、法国(21.05 次/篇)、比利时(20.42 次/篇)和德国(20.01 次/篇)。除俄罗斯外,欧洲高产国家的篇均被引频次均较高,在 18 次/篇以上。美国和澳大利亚遥感论文的篇均被引频次也均在 15 次/篇以上。亚洲高产国家的篇均被引频次则较低,包括日本(14.63 次/篇)、韩国(11.75 次/篇)、中国(11.69 次/篇)、伊朗(9.68 次/篇)和印度(9.65 次/篇)。从篇均被引频次来看,中国学者发表的遥感科学论文整体影响力有待进一步提升。

进一步分析高产国家之间的合作关系,选择美国、中国、德国、英国和法国这 5 个发文量最多的国家,采用全体作者地址字段统计这 5 个国家与前 20 个高产国家之间的合作发文量,见表 3 所示。表格中的数值表示两个国家的合作发文量。

利用前 20 位高产国家之间的合作发文共现矩阵构建共现网络,并进一步利用 Pajek 软件可视化(图 2)。图 2 中每个圆圈代表一个国家,各国家之间连线代表国家间具有合作关系。

从图 2 可以看出,美国与欧洲、亚洲的高产国家之间合作密切,欧洲国家之间的合作密切。从表 2 的合作发文量中可以看出中国与美国、加拿大、英国以及澳大利亚的合作发文量较大(均在 800 篇以上),其中中美合作发文量高达 4 750 篇。中国是美国的主要合作发文国,与美国合作发文量超过 1 000 篇的国家还包括英国(1 441 篇)、德国(1 299 篇)、加拿大(1 252 篇)以及法国(1 235 篇)。另外亚洲的日本、韩国与美国的合作发文量分别为 532 篇和 429 篇,日本、韩国与中国的合作发文量分别为 475 篇和 164 篇。欧洲国家之间合作频繁与欧洲科技一体化有关,中国未来可以加强与欧洲国家的合作,另外

表 3 2010~2019 年遥感科学论文主要发文国家合作发文量

Table 3 Number of co-published papers from main countries in global remote sensing research during 2010 and 2019

国家	美国	中国	德国	英国	法国
	/篇	/篇	/篇	/篇	/篇
美国	\	4 750	1 299	1 441	1 235
中国	4 750	\	786	848	548
英国	1 441	848	744	\	637
德国	1 299	786	\	744	648
加拿大	1 252	914	372	332	269
法国	1 235	548	648	637	\
意大利	907	346	634	614	616
澳大利亚	888	826	363	472	296
西班牙	667	232	433	398	444
荷兰	627	438	566	445	361
日本	532	475	201	178	177
巴西	452	58	132	178	191
瑞士	442	130	566	255	275
韩国	429	164	76	43	49
印度	373	87	121	138	123
比利时	354	157	264	225	320
奥地利	262	103	376	144	111
芬兰	232	127	157	171	103
俄罗斯	231	76	139	103	137
伊朗	115	53	101	27	33

中国与韩国的合作也有进一步的提升空间。

3.2 全球遥感科学研究的时空迁移

遥感科学论文的时空迁移引入质心模型来进行分析。基于发文量和篇均被引频次分别计算发文量质心和影响力质心,并通过 10 a 间质心坐标的迁移来分析全球遥感科学研究生产力和影响力的迁移特征。

从前面的分析可以看出,第一作者统计的发文量没有重复计入各国,因此在质心迁移模型中,发文量采用第一作者的统计数据。基于全体作者的篇均被引频次与基于通讯作者的篇均被引频次更为接近,且更能够体现国际合作水平,在影响力质心迁移中采用全体作者的篇均被引频次计算 2010~2019 年各年度的质心坐标。2010~2019 年全球遥感发文量的质心迁移如图 3 所示,各年度质心迁移距离见表 4 所示。表中 X-change 表示经度方向的位移距离, Y-change 表示纬度方向的位移距离。Length 表示总的位移距离。

2010~2019 年间遥感科学论文的发文量质心在欧洲和非洲之间,纬度范围在[34.54° N, 35.61° N],

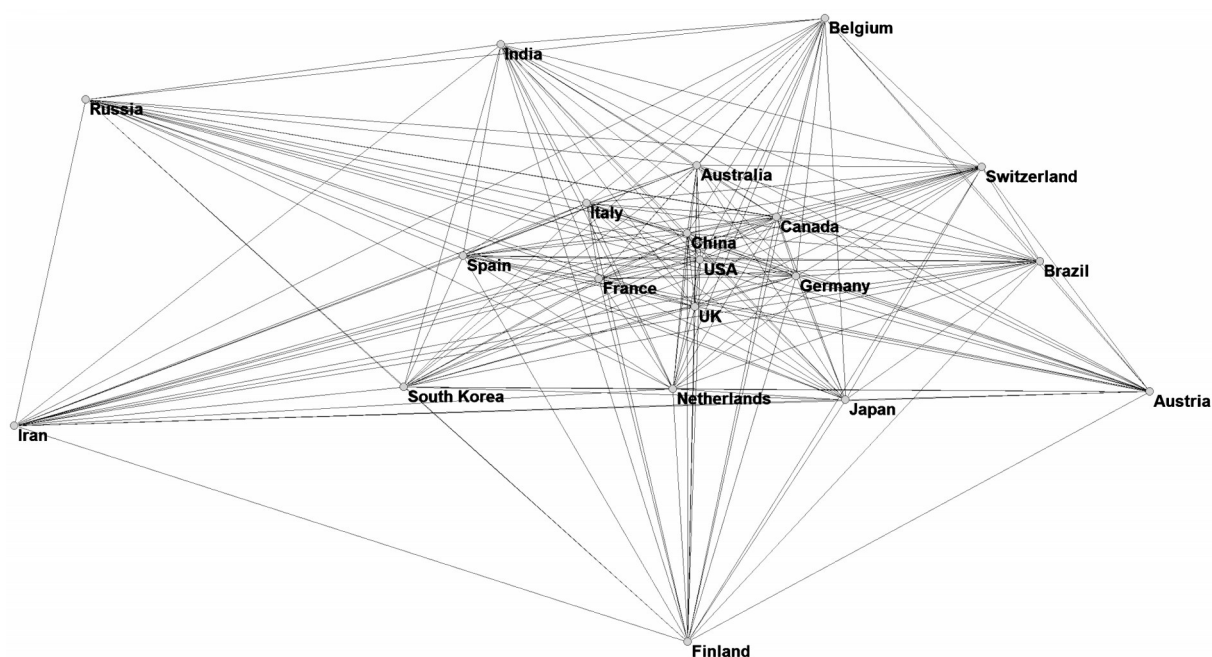


图 2 2010~2019年遥感科学论文主要发文国家合作关系聚类图谱

Fig.2 Cluster map of main countries cooperation in remote sensing papers during 2010 and 2019

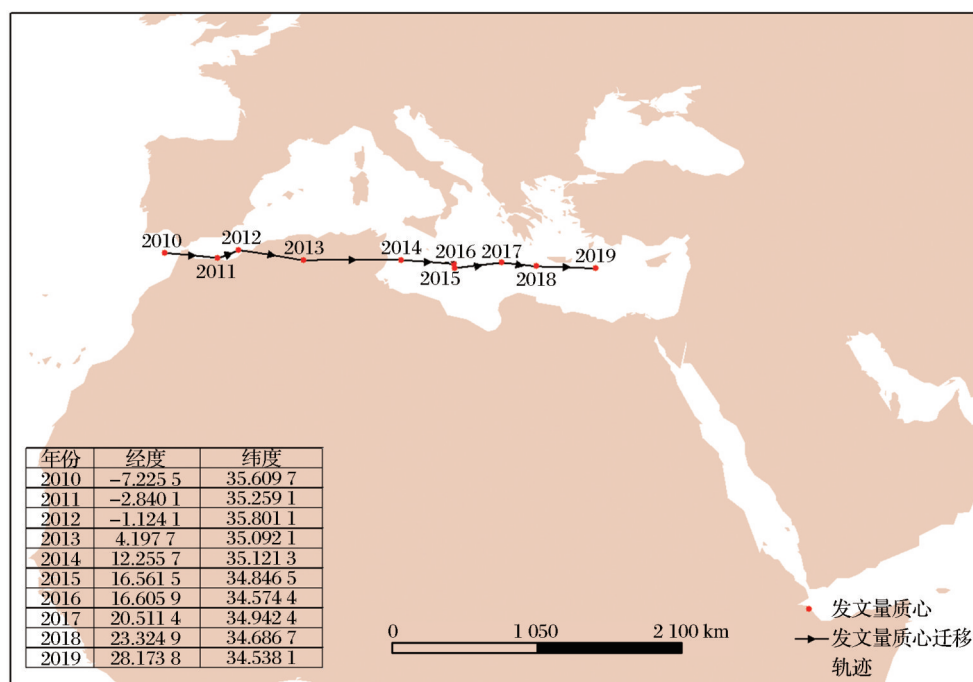


图 3 2010~2019年全球遥感科学论文的发文量质心迁移(基于第一作者)

Fig.3 Centroid migration of the global remote sensing publications from 2010 to 2019 (based on first author)

经度范围在 $[7.23^{\circ} \text{ W}, 28.17^{\circ} \text{ E}]$,发文量质心的迁移速度为纬度方向上为 $0.12^{\circ}/\text{a}$,经度方向上为 $3.93^{\circ}/\text{a}$ 。主要发文区域集中在北半球,南北半球发文量差异巨大。2010~2019年发文量质心由北向南迁移了114.37 km,由西向东迁移了3 152.38 km。全球遥感科学发文量质心10 a间由格林尼治西边 7.23° 度不断向东迁移,表明东部地区的发文量近10 a间出现显

著性增长的趋势。2013~2014年间遥感科学论文的发文量质心迁移距离最大(716.67 km),由西向东迁移716.48 km。其次是2012~2013年间发文量质心由西向东迁移472.97 km。

基于C1字段、TC字段和PY字段分别提取每篇文章的发文国家、被引频次以及发文年份信息,并基于此计算各国各年度总被引频次以及总发文

表 4 2010~2019 年遥感科学论文的发文量的质心迁移距离

Table 4 Centroid migration distance of the global remote sensing publications from 2010 to 2019

年度	X_Change /km	Y_Change /km	Length /km
2010~2011	388.80	-37.39	390.63
2011~2012	152.72	57.80	163.29
2012~2013	472.97	-75.60	479.04
2013~2014	716.48	3.11	716.67
2014~2015	384.53	-29.33	385.68
2015~2016	5.58	-29.08	29.60
2016~2017	345.31	39.31	347.57
2017~2018	252.53	-27.31	254.01
2018~2019	433.45	-15.88	433.78

量,从而计算得到各国各年度篇均被引频次。根据质心模型计算 2010~2019 年间各年的影响力质心坐标并进行地图可视化(图 4),2010~2019 年全球遥感科学论文的影响力质心逐年迁移信息见表 5。表 5 中 X-change 表示经度方向的位移距离,Y-change 表示纬度方向的位移距离,Length 表示总的位移距离。

2010~2019 年间遥感国际发文影响力重心由西向东迁移 655.14 km,由北向南迁移 211.28 km。影响力质心的迁移不同于发文量的质心迁移,影响力的质心迁移更像是拉锯战,曲折绕回,但总体平稳。2010~2013 年间,全球遥感影响力质心由西向

表 5 2010~2019 年遥感科学论文的影响力质心迁移距离

Table 5 Centroid migration distance of the influence of global remote sensing papers from 2010 to 2019

年度	X_Change /km	Y_Change /km	Length /km
2010~2011	230.24	-354.11	422.37
2011~2012	502.80	135.95	520.88
2012~2013	165.22	119.76	204.06
2013~2014	-41.23	-59.42	72.33
2014~2015	-765.22	144.08	778.74
2015~2016	984.05	-298.87	1028.59
2016~2017	-622.99	105.49	631.90
2017~2018	330.52	-172.29	372.74
2018~2019	-128.25	168.13	211.46

东迁移了 898.26 km,但 2013~2015 年又由东向西迁移了 806.45 km,2015~2016 年间影响力质心迁移距离最大,总的迁移距离为 1 028.59 km,由西向东迁移 984.05 km。2016~2017 年影响力质心迁移 631.90 km,其中由东向西迁移了 622.99 km。

从全球遥感科学的发文量质心迁移和影响力质心迁移统计结果可以看出,近 10 a 全球遥感科学发文量质心东移 3 152.38 km,影响力的质心东移 655.14 km,发文量的质心迁移更为显著。影响力质心目前东移趋势不如发文量显著,有可能是文章从发表到引用需要一定周期,也就是近年来发表的高水平论文还没有彰显出影响力,也有可能是论文的

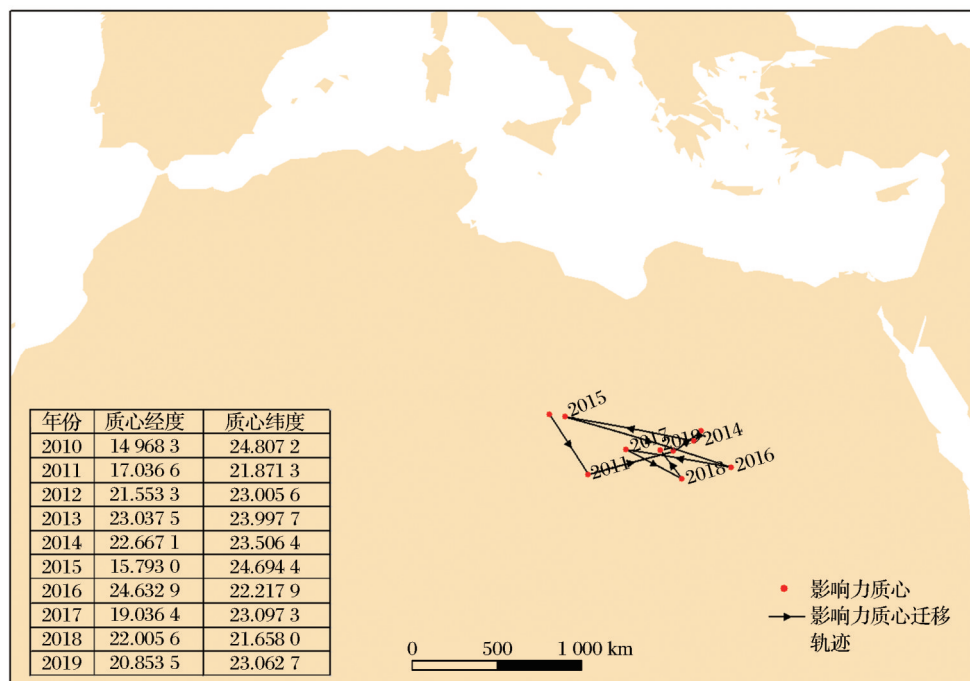


图 4 2010~2019 年全球遥感科学论文的影响力质心迁移

Fig.4 Centroid migration of the influence of global remote sensing papers from 2010 to 2019

水平并不太高。为了分析原因,统计2010~2019年间发表在《自然》、《科学》、《美国科学院院报》以及《环境遥感》的各国遥感领域论文数量,以此来验证或排除影响力的时间滞后效应。

2010~2019年间《自然》及其子刊共发表遥感类论文543篇,其中美国发文量位居第一(135篇),其次是英国(51篇)。《科学》及其子刊共发表遥感类论文89篇,美国位居第一(31篇),其次是英国(8篇)。《环境遥感》期刊共发表遥感类论文6908篇,其中美国位居第一(1881篇),其次是中国(682篇)。4个高影响力期刊发文量前10的国家见表6所示。

表 6 4个高影响力期刊发文量前10的国家
Table 6 Top 10 most productive countries of the four high-impact journals

期刊	国家(发文量) /篇	期刊	国家(发文量) /篇
自然及其子刊	美国(135)	美国科学院院报	美国(117)
	英国(51)		法国(20)
	德国(43)		德国(19)
	法国(31)		英国(18)
	瑞士(30)		加拿大(12)
	中国(27)		中国(12)
	加拿大(26)		荷兰(11)
	澳大利亚(20)		瑞士(10)
	荷兰(18)		西班牙(9)
	意大利(17)		澳大利亚(8)
科学及其子刊		环境遥感	美国(1881)
	美国(31)		中国(682)
	英国(8)		法国(444)
	法国(6)		英国(400)
	德国(5)		德国(392)
	意大利(5)		加拿大(387)
	中国(5)		意大利(314)
	瑞士(4)		澳大利亚(273)
	澳大利亚(2)		荷兰(255)
	比利时(2)		西班牙(250)
	巴西(2)		

从4个国际权威期刊的主流发文国家来看,美国及欧洲国家占据主导地位。综合表2高产国家的篇均被引频次以及表6高影响力期刊的主要发文国家可以看出,中国、日本等亚洲国家的遥感科学研究在发文量增加的同时,影响力水平还有较大的提升空间。

3.3 全球遥感科学研究的学科布局

WoS数据库为每篇文章标注一个或多个学科类别。遥感作为一项应用性较广的学科,在多个学

科均开展了交叉研究与应用。根据遥感科学论文元数据中的WoS学科类别,全球遥感科学研究论文涉及237个WoS定义的学科类别。发文量超过10000篇的有8个学科,包括遥感、影像科学与摄影技术、环境科学、电气与电子工程、地球化学与地球物理学、地球科学及多学科、地理与物理学以及气象与大气科学。另外水利、生态、电信、天文学与天体物理学、海洋学五大学科的发文量也均超过了3500篇。也就是说遥感科学在这13个学科中有广泛应用,这些学科是遥感科学研究的主要交叉学科。

为了分析高产国家遥感科学研究的学科交叉点是否存在显著差异,依据公式(2)计算5个高产国家遥感科学研究的主要学科发文相对量指数,利用雷达图进行对比分析,如图5所示。

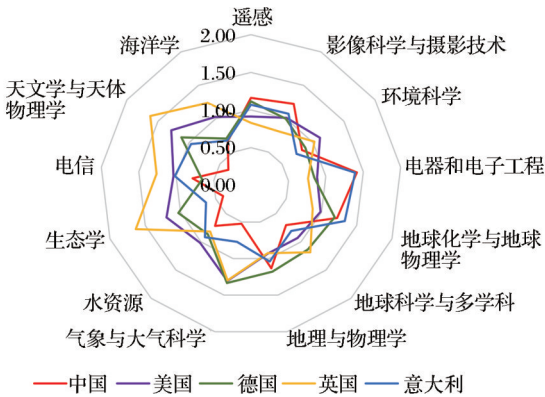


图 5 5个高产国家全球遥感科学论文的主要学科发文相对量指数

Fig.5 Advantage entropy of main subject categories in the five productive countries of global remote sensing papers

根据学科发文相对量指数的定义,发文相对量指数大于1代表学科发文相对量高于平均水平,指数小于1代表学科发文相对量低于平均水平。指数越大表示该学科相对发文量水平越高,指数越小说明该学科相对发文量水平越低。

如图5所示,红色线为中国。中国在天文学与天体物理学、生态学的学科发文相对量指数最低,分别为0.36和0.40,学科发文相对量指数在0.8以下的学科涉及气象与大气科学(0.52)、海洋学(0.66)、地球科学与多学科(0.70)、水资源(0.72)、电信(0.78)。学科相对发文量指数在1以上的学科包括电器和电子工程(1.42)、影像科学与摄影技术(1.22)、地球化学与地球物理学(1.22)、地理与物理学(1.13)。美国在主要交叉学科中表现较为均衡,13个主要学科的发文相对量指数都在[0.88,1.33]之间,其中学科发文相对量指数最高的是气象与大

气科学(1.30)以及生态学(1.20)。德国发文相对量指数最低的学科是电信(0.65)以及海洋学(0.70),其他学科的发文相对量指数均在 $[0.85, 1.33]$ 之间,气象与大气科学的发文相对量指数高达1.33。英国的整体表现也较为均衡,工程、电器与电子学科的发文相对量指数为0.76,其他学科的发文相对量指数均在 $[0.81, 1.63]$ 之间,其中生态学、天文与天体物理学的相对发文量指数分别高达1.63和1.62。意大利在生态学、海洋学相对产出较少,学科发文相对量指数分别为0.64和0.67,发文相对量指数低于0.8的学科还包括环境科学(0.74)、气象与大气科学(0.77)。意大利在工程、电子和电器以及地球化学和地球物理学的交叉研究表现较好,对应的学科发文相对量指数都在1.3以上。

英国、美国和德国在天文与天体物理学、生态学的学科发文相对量高于平均水平,尤其是英国。中国的遥感学者可以与英国学者在这两个学科开展合作交流,提升我国遥感科学论文在天文与天体物理学以及生态学领域的产出及国际影响力。

3.4 全球遥感科学研究的主题热点

关键词是论文的核心和精髓,是对科学论文研究内容的高度精炼和总结。利用关键词的共现分析可以提取文献的研究主题。本研究利用Bibexcel

软件提取作者关键词,得到137 697个关键词,对出现频次最高的100个作者关键词进行共现分析。共现图谱在VOSviewer中可视化,如图6所示。图中每个圆形节点代表一个关键词,节点越大表明关键词的出现频次越高。节点与节点之间的连线代表两个关键词共现,共现次数越高,连线越粗。

由于检索词“remote sensing”不包含额外主题信息,在关键词节点中予以剔除。关键词集群中的主流主题集群可以总结为以下4个。

(1)红色集群:遥感图像分类方法研究,结合表7可以看出,图像分类方法以监督分类方法最为普遍,机器学习方法中的支持向量机等应用广泛,通过不同机器学习方法的对比或者综合可以提高图像分类精度。图像分类关键词集群涵盖深度学习、特征提取、特征选择、图像融合、图像分类、图像处理、图像分割、机器学习、随机森林、支持向量机等。

(2)绿色集群:高光谱数据的处理,在目标检测、图像分类以及冬小麦监测中应用较多。高光谱数据的处理涉及光谱解混、光谱分析、稀疏表达等方法,支持向量机等机器学习方法在高光谱数据中使用广泛。该关键词集群涵盖大气校正、成像光谱、多光谱、辐射传输、光谱学、海洋水色、水质、叶绿素等关键词。

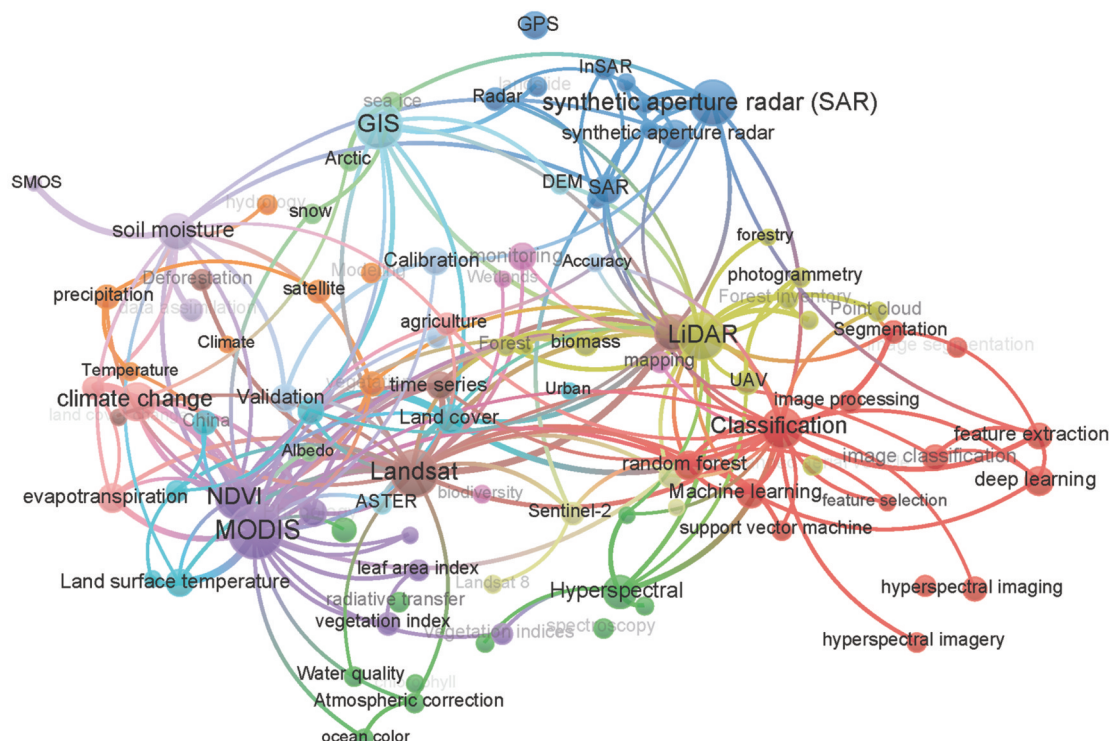


图6 全球遥感科学论文中出现频次最高的100个作者关键词聚类图谱

Fig.6 Cluster map of prevalent author keywords with over 100 frequencies in global remote sensing papers

(3)蓝色集群:雷达数据的处理方法及应用,雷达数据在森林、城市化、湿地以及冬小麦时序变化监测中均有应用, GPS数据、 Sentinel数据以及 Terra-SAR数据使用最为普遍。

(4)黄色集群:航空遥感在林业中的应用,主题涉及利用无人机和摄影测量技术进行航空激光扫描、 LiDAR数据采集以及激光点云成像等,并基于此类数据开展森林清查、生物量监测、碳汇以及林业普查等研究。森林清查的研究主题涵盖的细分主题见表7所示,涉及森林退化、森林火灾、林冠高度、森林生态系统以及地上生物量等的研究。

研究对出现频次大于5的作者关键词进行人工处理,通过词形归并、语义合并等并对主要关键词类别进行了人工归纳整理,提取出现频次超过1 000次的主流主题词及其细化主题见表7所示。从表中可以看出,近十年遥感科学研究主要涉及物候、土地利用/土地覆盖、地表温度、城市化、沙漠化、气候变化、降雨、生物多样性、变化监测等主题。

人工处理后的作者关键词除了可以反映研究主题外,出现频次较高的关键词还涉及多源遥感数据。出现频次超过1 000的作者关键词中,多源遥感数据源类的关键词有 SAR(4 738次)、高光谱(3 139次),作者关键词中出现频次最高的光学传感器是 MODIS(2 805次),另外 Landsat 出现 2 636次。值得指出的是 LiDAR 的出现频次高达 2 335次,说明激光雷达数据在遥感研究中应用较广。 UAV 作为作者关键词,在文档中出现频次也达到 1 482次。由此可以看出遥感领域的主流数据源涉及 SAR、MODIS、Landsat 以及高光谱影像,近年来 LiDAR 和 UAV 成为多源遥感数据的重要获取手段,得到广泛关注和应用。

综合图6和表7可以看出,基于遥感与多学科交叉的全球变化研究发文成果丰富。从关键词的共现频次来看,基于遥感的全球变化研究涉及土地利用、青藏高原、碳循环、物候、干旱、永久冻土、城市化、森林砍伐、湿地、植被、蒸散发等主题, MODIS、Landsat、SAR、LiDAR、GRACE、Sentinel、Worldview、TRMM等多源遥感数据在全球变化研究中应用较多。另外,碳循环动态过程的变化机制也受到全球遥感科学工作者的重视,碳循环研究中以森林碳循环模型的研究最为普遍。此外海洋碳循环、植被碳循环以及湿地碳循环生态系统也均有学者利用遥感技术开展相关探索。遥感的城市化

研究中城市热岛效应和城市扩张是遥感科学研究的关注热点。全球变化研究中植被遥感研究受到关注,植被变化、植被覆盖度、植被生产力、植被生物量以及植被群落等的研究在城市化、地表变化监测、碳循环等研究中意义重大。另外土壤作为地表覆盖的载体,土壤湿度、土壤盐分、土壤侵蚀、土壤肥力、土壤粗糙度以及土壤退化等的土壤特性以及土壤质地研究对于土地变化、城市化以及植被的研究具有重要价值,相关学者综合遥感多学科技术开展了土壤多维度的专题研究。综合遥感和 IT 技术的变化监测在土地利用、森林砍伐、城市化、湿地以及灾害领域应用广泛,支持向量机、随机森林、卷积神经网络等人工智能方法应用广泛。

3.5 5个高产国家的遥感研究主题集群对比

为了对比5个高产国家的遥感科学研究论文的主题差异,对5个高产国家的前100个高频作者关键词进行聚类,识别研究主题。

美国学者的遥感科学论文中作者关键词达 110 969个,中国遥感发文的作者关键词为 107 507个,德国遥感发文的作者关键词为 34 269个,意大利遥感发文的作者关键词为 25 928个,英国学者的遥感科学论文中作者关键词共计 27 525个。美国和中国学者发文量最多,涉及的作者关键词也最多。欧洲3个高产国家作者关键词都在 25 000~35 000之间。关键词聚类中,选取作者关键词出现频次最高的前100个作者关键词构建共现矩阵,并利用 VOSviewer 进行关键词集群图谱可视化。美国、中国、德国、意大利和英国的前100个高频关键词集群图谱及主题集群的解析见表8所示。

从表8中可以看出5个国家相关遥感学者的主要研究主题存在差异。中国侧重于变化监测方法、全球变化及青藏高原的相关主题研究,数据源涉及高分辨率影像、高光谱影像、SAR等,主要的光学影像为 Landsat 和 MODIS。美国学者的主流研究主题涉及火星、月球、北极、阿拉斯加、中国、沙漠化等,相关数据源更为丰富,除 MODIS 和 Landsat 外,还涉及 ASTER、VIIRS、SMAP、GRACE 等多源数据,另外水文数据以及 GEE 平台的数据也多有涉及。德国学者关注的主流研究主题涉及生物多样性、变化监测、农业、物候、森林以及城市等,涉及的数据源丰富且多样。意大利学者的主流主题为文化遗产、林业、农业、海洋水色、物候及滑坡等,数据源也相对丰富。英国学者关注的主流主题涉及卫

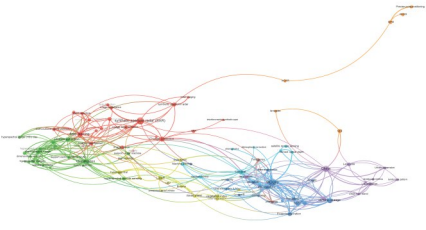
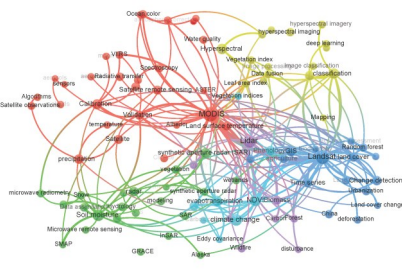
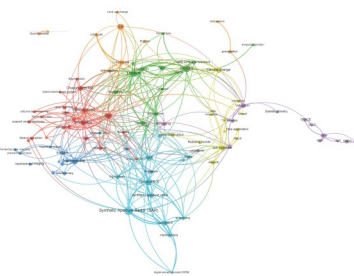
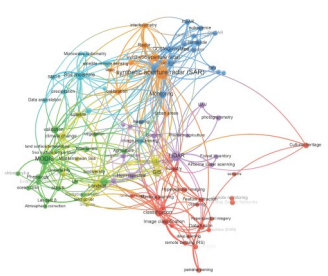
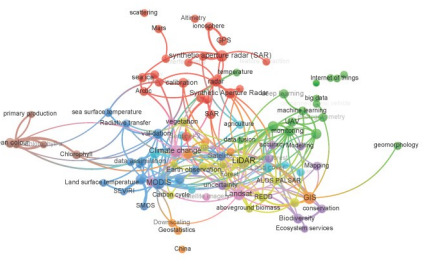
表 7 2010~2019 年遥感科学论文研究主题及作者关键词

Table 7 Author keywords in the main research topics of remote sensing papers during 2010~2019

主流主题 类别	文档频次 /次	细分主题关键词
土地利用 /土地覆盖	2 713	land use, land cover, land use change, land cover change, land cover map, land cover classification, land use classification, urban land cover/land use, land use planning
森林	2 090	forest inventory, forest structure, forest disturbance, forest management, forest degradation, forest fires, forest monitoring, forest biomass, forest cover, forest height, forest health, forest debris, forest carbon, forest mapping, forest cover change, forest dynamics, Forest change, forest canopy, forest classification, forest transition, forest loss, forest restoration, forest ecosystem, forest above-ground biomass, forest protection, forest decline, forest ecology
土壤	2 077	soil moisture, soil erosion, soil salinity, soil properties, soil moisture, soil temperature, soil texture, soil water content, soil moisture retrieval, soil organic matter, soil carbon, soil mapping, soil moisture balance, soil salinization, soil contamination, soil fertility, soil spectroscopy, soil roughness, soil respiration, soil degradation, soil evaporation, soil survey, soil seal, soil reflectance, soil heat flux, soil erodibility, soil pollution, soil erosion risk, soil science, soil quality, soil nutrients, soil map, soil erosion risk, soil classification, soil water storage, soil monitoring, soil water deficit, total soil nitrogen, soil moisture mapping, soil hydraulic properties, soil and water conservation, soil-adjusted vegetation index
城市	2 066	urbanization, urban heat island, urban areas, urban expansion, urban growth, urban planning, urban sprawl, urban remote sensing, urban environment, urban forest, urban ecology, urban climate, urban vegetation, urban morphology, urban development, urban form, urban mapping, urban green space, urban trees, urban landscape, urban agglomeration, urban monitoring, urban sustainability, urban classification, urban agriculture, urban structure, urban pollution, urban impervious surface, urban-rural gradient, urban modeling, urban ecosystems, urban functional zone, urban geography, urban canopy
水和流域	1 782	water quality, water balance, water stress, water vapor, water resources, water level, watershed, water management, water clarity, watermarking, water resources management, water efficiency, water index, water quality monitoring, water area management, water pollution, water depth, water-leaving radiance, water content, water budget, water productivity, water shortage, water cycle, water cloud model, water body, water color, water storage, water consumption, groundwater level, water surface temperature, water state, water potential, water monitoring, water footprint, water composition, water index, water harvesting water erosion, water column correction, watershed prioritization, watershed delineation
气候	1 741	climate change, climate variability, climatology, climate data record, climate models, climate warming, climatic factors, climate sensitivity, climate change adaptation, climate factors, climate change mitigation, climate monitoring, climate extremes, climate change initiative, climate records, climate modelling, climate impacts, climate forcing, climate indices, climate feedback, climate change impact
地表	1 457	land surface albedo, land surface emissivity, land surface model, land surface modeling, land surface phenology, land surface temperature, land surface water index
生物	1 384	biomass, biodiversity, biomass burning, biomass estimation, biophysical parameters, biogeography, bioenergy, biosensor, biodiversity conservation, biosensors, biogeochemistry, biodiversity monitoring, biometrics, bio-optical model, biomedical monitoring, biotelemetry, biological invasion, biophysical parameter retrieval, Biological soil crust, biomass change
分类	1 840	classifiers, classifier fusion, classification accuracy, classifier ensemble, classification uncertainty, classification tree, supervised classification, SVM classification, overall classifier, context classification, fuzzy classification, hierarchical classification, multi-class Classification, multi-signal classification, object-oriented classification, comparison after classification, rule-based classification, wishart classifier
碳	1 245	carbon balance, carbon budget, carbon cycling, carbon dynamics, carbon density, carbon emission, carbon fluxes, carbon loss, carbon mapping, carbon modeling, carbon monitoring, carbon nanotubes, carbon sink, carbon stocks, carbon storage, carbon use efficiency, carbonate rocks
植被	2 002	vegetation abundance, vegetation change, vegetation change tracker, vegetation characteristics, vegetation aggregation index, vegetation community, vegetation coverage, vegetation density, vegetation coverage, vegetation dynamics, vegetation pattern, vegetation phenology, vegetation photosynthesis model, vegetation structure, vegetation restoration, vegetation monitoring, vegetation classification, vegetation height, vegetation fraction, vegetation water content, vegetation type, vegetation productivity, vegetation biomass, vegetation degradation
变化监测	1 021	change detection, change detection analysis, change detection algorithms

表 8 遥感科学论文的 5 个高产国家关键词聚类图谱及主题集群

Table 8 Topic keywords of the five productive countries in remote sensing papers

国家	关键词聚类图谱	主要数据源关键词	研究方法	研究目的/对象
中国		<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 高分辨率影像、SAR、InSAR 及 PolSAR ● 绿色集群: 高光谱影像、高光谱数据 ● 蓝色集群: Landsat8、MODIS、叶面积指数、植被指数 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 卷积神经网络、深度学习图像分类、图像融合、图像注册、图像分割 ● 绿色集群: 波段选择、降维、分类、特征提取、特征选择、稀疏表达、光谱解混 ● 蓝色集群: 数据同化、校准、验证 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 变化监测、对象监测、舰船监测 ● 绿色集群: 异常检测、目标检测 ● 蓝色集群: 全球变化、青藏高原、植被、土壤、降水、干旱、蒸散量、不确定性
美国		<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: ASTER、MODIS、VIIRS、卫星观测数据 ● 绿色集群: GPS、GRACE、InSAR、电离层、微波辐射测量数据、水文数据、微波遥感数据、SAR、SMAP ● 蓝色集群: GEE、Landsat、时间序列数据 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 大气校正、校准、验证、光谱学 ● 绿色集群: 数据同化、建模 ● 蓝色集群: 随机森林、GIS 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 火星、月球、海洋水色、气候、叶绿素、地表温度、降雨、水质、反射率 ● 绿色集群: 阿拉斯加、北极、海冰、雪、土壤湿度、植被、湿地 ● 蓝色集群: 精度评估、农业、生物多样性、变化检测、中国、沙漠化、城市化、土地利用/土地覆盖变化
德国		<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 航空激光扫描、摄影测量、Lidar、UAV、点云 ● 绿色集群: ASTER、Landsat/Landsat8、MODIS、RapidEye、Sentinel-2 ● 蓝色集群: EnMAP、高光谱、成像光谱、遥感图像、光谱仪、地面激光扫描、 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 分类、数据融合、深度学习、特征提取/特征选择、机器学习、面向对象的图像分析、随机森林、图像切割、支持向量机 ● 绿色集群: 时序分析、叶面积指数、植被指数 ● 蓝色集群: 植被指数 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 变化检测、森林清查、城市地区 ● 绿色集群: 生物多样性、中亚、蒸散量、地表温度、物候 ● 蓝色集群: 生物量、森林、草地、精准农业、植被
意大利		<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 高光谱数据、遥感数据、无线传感网络 ● 绿色集群: Landsat8、MODIS、NDVI、Sentinel-2 ● 蓝色集群: Cosmo-Skymed、DInSAR、GNSS、GPS、InSAR、SAR、Sentinel-1、雷达干涉测量、地面激光扫描 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 分类、聚类、数据融合、深度学习、特征提取、图像分类、机器学习、全色锐化、随机森林、图像分割、支持向量机 ● 绿色集群: 大气校正、FAPAR、叶面积指数 ● 蓝色集群: 绘图 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 文化遗产、林业 ● 绿色集群: 农业、叶绿素 a、蒸散量、海洋水色、物候、不确定性、植被、验证 ● 蓝色集群: 滑坡、意大利、监测、下沉
英国		<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: GPS、InSAR、SAR、Sentinel-1、Sentinel-2、干涉测量数据、电离层数据 ● 绿色集群: 大数据、摄影测量数据、UAV、无线传感网、物联网 ● 蓝色集群: 地对观测、MODIS、SEVIRI、SMOS、卫星遥感 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 特征提取、图像分类、图像处理、旋光法、光谱学 ● 绿色集群: 分类、数据融合、深度学习、地貌学、深度学习 ● 蓝色集群: 数据同化、辐射转移、叶面积指数 	<ul style="list-style-type: none"> ● 红色集群: 测高、北极、气候、火星、海冰、雪 ● 绿色集群: 变化监测、远程监控、温度 ● 蓝色集群: 地表温度、海表温度、土壤湿度、验证

星测高、气候变化、火星、海冰、变化监测等。对比可以看出,我国在遥感影像与人工智能方法结合方面关注较高,美国和英国除了地球观测外,对火星也开展了观测研究。从主流数据源来看,我国学者可以探索融入更为新颖的多源数据开展更加前沿的遥感科学研究。

4 结 语

研究的分析结果表明,2010~2019年间全球遥感研究的发展势头良好,整体符合指数增长态势。从空间分布来看,遥感科学研究的作者主要位于北美洲、欧洲和亚洲东部国家。南美洲、大洋洲以及非洲地区的国家则在全球遥感研究中产出相对较少。发文影响力方面,欧洲主要发文国家的篇均被引频次较高,亚洲主要国家的篇均被引频次偏低。国际合作方面,美国与欧洲、亚洲的高产国家之间合作密切。中国遥感科学研究的主要合作国家包括美国、加拿大、英国以及澳大利亚,中国与欧洲各国以及韩国的合作有进一步的提升空间。十年间全球遥感科学研究的发文质心和影响力均呈现由西向东迁移趋势,发文量质心的东移距离显著大于影响力质心东移距离。

从研究主题来看,遥感分类与变化监测方法是近十年遥感科学研究的热点,特别是机器学习及深度学习算法近年来受到关注。另外遥感数据源更加丰富,高光谱数据及哨兵数据、微波数据的应用更加广泛。综合遥感与多学科的全球变化研究发文成果丰富,涉及土地利用、青藏高原、碳循环、物候、干旱、永久冻土、城市化、森林砍伐、湿地、植被、蒸散发等主题。

美国、中国、德国、英国和意大利5个高产国家的学科布局表明美国学者利用遥感科学开展的学科交叉研究较为均衡,在13个主要交叉学科中产出较高。中国学者综合遥感科学在天文与天体物理、生态学、气象与大气科学的研究相对产出较少,我国遥感学者可以加强与英国、美国等学者的交流合作,提升我国遥感科学论文在天文与天体物理学以及生态学领域的产出及国际影响力。

前5位高产国家的学者开展遥感科学研究的主题热点存在差别。中国在全球变化、青藏高原以及变化监测方法等方面取得了较多的研究成果,近年来人工智能方法备受关注,另外高光谱数据的处理也成为中国学者的研究热点。美国利用遥感科学

开展多学科交叉研究,对火星、月球等进行了探索,遥感多学科应用领域研究成果丰富。德国和意大利对遥感深度学习及图像分割等处理方法开展了深入研究,研究领域存在差别。英国学者对卫星测高、北极、火星及海冰监测开展研究,多源遥感数据广泛应用。

随着遥感卫星的不断发射,遥感数据源将更加丰富,未来的遥感科学研究仍然具有较大的发展潜力,可以进一步结合计算机技术推动更加深入的领域研究和应用。中国可以进一步开展国际合作,综合多源遥感数据开展学科交叉研究,在发文量提升的同时重点关注发文质量和国际影响力的提高。

专有名词:

Cosmo-Skymed Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation,地中海盆地观测的雷达小卫星星座

DInSAR Differential SAR Interferometry,差分干涉雷达

EnMAP The Environmental Mapping and Analysis Program,环境测绘和分析计划(德国星载成像光谱仪任务)

FAPAR Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation,吸收光合有效辐射比例

GNSS Global Navigation Satellite System,全球导航卫星系统

GPS Global Positioning System,全球定位系统

GRACE Gravity Recovery and Climate Experiment,重力恢复和气候实验

InSAR Interferometric synthetic aperture radar,合成孔径雷达干涉

Landsat Landsat satellite,美国陆地卫星

LiDAR Light Detection and Ranging,激光探测及测距系统

MODIS Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer,中分辨率成像光谱仪

PolSAR Polarimetric Synthetic Aperture Radar,极化合成孔径雷达

RapidEye RapidEye satellite,德国商用RapidEye卫星

SAR synthetic aperture radar,合成孔径雷达

Sentinel Sentinel satellite,哨兵卫星

SEVIRI Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager,旋转增强型可见光和红外成像仪

SMAP The Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellite,土壤水分主动被动卫星

SMOS Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission,土壤水分和海洋盐度任务

Terra-SAR Terra-SAR 卫星,新型高分辨率星载SAR卫星

TRMM The Tropical Rainfall Measuring Mission,热带

降雨测量任务

UAV Unmanned Aerial Vehicles, 无人驾驶飞机

Worldview worldview 高分辨率商业成像卫星

参考文献 (References):

- [1] Huang Mingrui. Literature analysis of the 34th Asian Conference on remote sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 2014, 18(6):1268-1275.[黄铭瑞.第34届亚洲遥感会议文献分析[J].遥感学报,2014,18(6):1268-1275.]
- [2] Qiu Junping, Duan Yufeng, Chen Jingquan, *et al.* The retrospect and prospect of the development of bibliometrics in China [J]. Studies in Science of Science, 2003(2): 143-148.[邱均平,段宇峰,陈敬全,等.我国文献计量学发展的回顾与展望[J].科学学研究,2003(2):143-148.]
- [3] Ren Hongjuan, Zhang Zhiqiang. The evolution of mapping knowledge domains based on the bibliometrical method [J]. Journal of Intelligence, 2009, 28(12): 86-90.[任红娟,张志强.基于文献计量的科学知识图谱发展研究[J].情报杂志,2009,28(12):86-90.]
- [4] Szomszor M, Pendlebury D, Rogers G. Identifying research fronts in the web of science: from metrics to meaning [R]. Institute for Scientific Information, 2020.
- [5] Zhang H Y, Huang M R, Qing X L, *et al.* Bibliometric analysis of global remote sensing research during 2010-2015[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2017, 6(11): 12-19. DOI: 10.3390/ijgi6110332.
- [6] Zhuang Y, Liu X J, Nguyen T, *et al.* Global remote sensing research trends during 1991-2010: a bibliometric analysis[J]. Scientometrics, 2013, 96 (1) : 203-219. DOI: 10.1007/s11192-012-0918-z.
- [7] Agapiou A, Lysandrou V. Remote sensing archaeology: tracking and mapping evolution in European scientific literature from 1999 to 2015[J]. Journal of Archaeological Science-Reports,2015,4:192-200.DOI:10.1016/j.jasrep.2015.09.010.
- [8] Xiang Anqiang. From the bibliometric analysis of the three major archaeological journals to see the development of Chinese scientific and technological archaeology between 1995 and 2005[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition),2006,4(5):106-116.[向安强.从考古三大刊文献计量分析看中国科技考古十年(1995-2005)发展[J].华南农业大学学报(社会科学版),2006,4(5):106-116.]
- [9] Hu K, Qi K L, Guan Q F, *et al.* A scientometric visualization analysis for night-time light remote sensing research from 1991 to 2016[J]. Remote Sensing,2017,9(8):30. DOI: 10.3390/rs9080802.
- [10] Wang Xuemei, Ma Mingguo. Analysis of the development trend of global papers combining the DMSP-OLS nighttime light data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017,32(6):1093-1099.[王雪梅,马明国.关联DMSP-OLS灯光数据的全球发文量态势分析[J].遥感技术与应用,2017,32(6):1093-1099.]
- [11] Bai Caiquan, Yi Xing, He Chen. Bibliometric analysis of the application of the nighttime light remote sensing data: a case study of defense meteorological satellite program operational linescan system[J]. Science of Surveying and Mapping, 2017, 42(8):116-123.[白彩全,易行,何晨.夜间灯光遥感数据应用研究的文献计量分析——以美国国防气象卫星计划运行线扫描系统为例[J].测绘科学,2017,42(8):116-123.]
- [12] Ma Hanqing, Gao Fen, Huang Xingyu, *et al.* Bibliometric analysis on the development trend of the water remote sensing research [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014,29(6):1089-1094.[马瀚青,高峰,黄新宇,等.基于文献计量的水遥感研究发展态势[J].遥感技术与应用,2014,29(6):1089-1094.]
- [13] Zhang Y L, Giardino C, Li L H. Water optics and water colour remote sensing [J]. Remote Sensing, 2017, 9(8) : 5-20. DOI: 10.3390/rs9080818.
- [14] Tang Min, Chen Lingxia. Bibliometric analysis on the development trend of the water remote sensing research[J]. Qinghai Technology, 2020, 27(2): 59-63.[汤敏,陈玲侠.基于文献计量的水遥感研究发展态势分析[J].青海科技,2020,27(2):59-63.]
- [15] Kandus P, Minotti P G, Morandeira N S, *et al.* Remote sensing of wetlands in South America: status and challenges [J]. International Journal of Remote Sensing, 2018, 39(4) : 993-1016.
- [16] Duan P L, Wang Y Q, Yin P. Remote sensing applications in monitoring of protected areas: a bibliometric analysis[J]. Remote Sensing, 2020, 12(5) : 18. DOI: 10.3390/rs12050772.
- [17] Appolloni L, Buonocore E, Russo G F, *et al.* The use of remote sensing for monitoring *Posidonia oceanica* and Marine protected areas: a systemic review [J]. Ecological Questions, 2020, 31(2) : 7-17. DOI: 10.12775/EQ.2020.009.
- [18] Pricope N G, Mapes K L, Woodward K D. Remote sensing of human-environment interactions in global change research: a review of advances, challenges and future directions[J]. Remote Sensing, 2019, 11(23) : 23. DOI: 10.3390/rs11232783.
- [19] Qi Yaxiao, Zhang Fei, Wang Yishan. Analysis of research hotspots of remote sensing application on PM_{2.5} [J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition in Chinese and English), 2020, 37(2) : 223-233.[齐亚霄,张飞,王一山.PM_{2.5}遥感研究热点分析[J].新疆大学学报(自然科学版)(中英文),2020,37(2):223-233.]
- [20] Topp S N, Pavelsky T M, Jensen D, *et al.* Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: moving towards multidisciplinary applications[J]. Water, 2020, 12(1) : 34-47. DOI: 10.3390/w12010169.
- [21] Cui X T, Guo X Y, Wang Y D, *et al.* Application of remote sensing to water environmental processes under a changing climate [J]. Journal of Hydrology, 2019, 574: 892-902. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.078.
- [22] Zeng Jing. Seeing application of remote sensing in research on landslide disaster from SCI papers[J]. Information Research,

- 2013,(7): 22-25.[曾敬.从SCI文献看遥感在崩滑流灾害研究中的应用[J].情报探索,2013,(7): 22-25.]
- [23] Han Li, Dai Bihui, Wang Qiuhua, *et al.* Research status and development trend of forest fire remote sensing based on bibliometric analysis[J]. Forest Inventory and Planning, 2020, 45(1): 60-66.[韩丽,戴必辉,王秋华,等.基于文献计量分析的林火遥感研究现状及发展趋势[J].林业调查规划,2020,45(1): 60-66.]
- [24] Sebastia-Frasquet M T, Aguilar-Maldonado J A, Herrero-Dura I, *et al.* Advances in the monitoring of algal blooms by remote sensing: a bibliometric analysis[J]. Applied Sciences-Basel, 2020, 10(21): 15-27. DOI: 10.3390/app10217877.
- [25] Jimenez-Lao R, Aguilar F J, Nemmaoui A, *et al.* Remote sensing of agricultural greenhouses and plastic-mulched farmland: An analysis of worldwide research[J]. Remote Sensing, 2020, 12(16): 20-31. DOI: 10.3390/rs12162649.
- [26] Wang L J, Zhang G M, Wang Z Y, *et al.* Bibliometric analysis of remote sensing research trend in crop growth monitoring: A case study in china[J]. Remote Sensing, 2019, 11(7): 11-25. DOI: 10.3390/rs11070809.
- [27] Ren Ni, Zhou Jiannong, Dai Hongjun, *et al.* Bibliometric based analysis of researches on information perception and precision agriculture thome and abroad [J]. Information Research, 2017(11): 104-133.[任妮,周建农,戴红君,等.基于文献计量的国内外信息感知与精细农业研究态势分析[J].情报探索,2017(11):104-113.]
- [28] Abad-Segura E, Gonzalez-Zamar M D, Vazquez-Cano E, *et al.* Remote sensing applied in forest management to optimize ecosystem services: Advances in research[J]. Forests, 2020, 11(9): 28-40. DOI: 10.3390/f11090969
- [29] Wu Xuequn, Li Hua, Cui Wenju. Status analysis of forest inventory based on bibliometrics[J]. Forest Resources Management, 2015(1): 168-172.[吴雪琼,李华,崔文举.基于文献计量的我国森林资源调查现状分析.林业资源管理,2015(1): 168-172.]
- [30] Chen Hao, Xu Hui, Zhang Wei, *et al.* Bibliometrics analysis on carbon emission research in the perspective of remote sensing [J]. Standardization of Surveying and Mapping. 2021, 37(3):48-53.[陈浩,许晖,张伟,等.遥感视角下碳排放文献计量分析[J].测绘标准化,2021,37(3):48-53.]
- [31] Jiang Lu, Yu Jing. Bibliometric analysis of remote sensing research literature of my country's coastal zone based on CiteSpace[C]// Proceedings of the 2020 Science and Technology Annual Meeting of the Chinese Society for Environmental Sciences, Nanjing, Jiangsu, China, 2020, 6.[姜璐,余静.基于CiteSpace的我国海岸带遥感研究文献计量分析[C]//2020中国环境科学学会科学技术年会,中国江苏南京,2020,6.]
- [32] Zheng Haipeng, Yan Jianzhong, Liu Linshan, *et al.* Research advances in grassland remote sensing base on bibliometrology [J]. Chinese Journal of Grassland, 2017, 39(4): 101-110.[郑海朋,阎建忠,刘林山,等.基于文献计量的草地遥感研究进展[J].中国草地学报,2017,39(4):101-110.]
- [33] Yang Dong, Yang Xiuchun, Jin Yunxiang, *et al.* Evaluating the research status quo around remote sensing-mediated monitoring of grassland biomass based on bibliometrology [J]. Pratacultural Science, 2021, 38(9): 1782-1792.[杨东,杨秀春,金云翔,等.基于文献计量的草地生物量遥感监测研究进展[J].草业科学,2021,38(9):1782-1792.]
- [34] An Peijun, Xiao Xiantao, Guo Huadong, *et al.* Big earth data research topic dvolution and influence analysis[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(8): 973-988.[安培浚,肖仙桃,郭华东,等.地球科学大数据研究主题演化与影响力分析[J].中国科学院院刊,2021,36(8):973-988.]
- [35] Li Li, Zhang Zhiqiang, An Peijun. Develop trend of remote sensors based on co-word analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(3): 442-450.[李栎,张志强,安培浚.基于共词分析的国际遥感传感器研究发展态势分析[J].遥感技术与应用,2010,25(3): 442-450.]
- [36] Li Yizhan, Li Zexia, Liu Xiwen, *et al.* Application analysis of remote sensing data based on remote sensing of environment [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(1): 1-12.[李宜展,李泽霞,刘细文,等.遥感科学数据应用态势分析——以《Remote Sensing of Environment》期刊为例[J].遥感技术与应用,2020,35(1):1-12.]
- [37] Frenken, K, Hardeman, S, Hoekman J. Spatial scientometrics: Towards a cumulative research program[J]. Journal of Informetrics, 2009, 3(3): 222-232. DOI: 10.1016/j.joi.2009.03.005.
- [38] Bornmann L, de Moya-Anegon F. Spatial bibliometrics on the city level[J]. Journal of Information Science, 2019, 45(3): 416-425.
- [39] Csomos G. On the challenges ahead of spatial scientometrics focusing on the city level [J]. Aslib Journal of Information Management, 2019, 72(1): 67-87.
- [40] Wang Xuemei, Li Xin, Zhang Zhiqiang, *et al.* Spatial display of bibliometric indicators using geographic information system [J]. Library and Information Service, 2014, 58(3): 72-77.[王雪梅,李新,张志强,等.文献计量指标的GIS空间展现[J].图书情报工作,2014,58(3):72-77.]
- [41] Wang X M, Ma M G, Li X, *et al.* Applications and researches of geographic information system technologies in bibliometrics [J]. Earth Science Informatics, 2014, 3(7): 147-152. DOI: 10.1007/s12145-013-0132-4.
- [42] Ai Xin, Ma Mingguo, Wang Xuemei, *et al.* A visual analysis of global geoscience research[J]. Advances in Earth Science, 2020, 35(12): 1270-1280.[艾鑫,马明国,王雪梅,匡鸿海.全球地球科学研究的可视化分析[J].地球科学进展,2020,35(12):1270-1280.]
- [43] Yang Mai, Wang Xuemei. A bibliometric analysis of world libraries' paper based on GIS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(4): 819-824.[杨麦,王雪梅.基于GIS的图书馆文献计量分析[J].遥感技术与应用,2015,30(4): 819-824.]
- [44] Liu C L, Gui Q C. Mapping intellectual structures and dynamics of transport geography research: A scientometric overview

- from 1982 to 2014[J]. *Scientometrics*, 2016, 109(1):159-184.
- [45] van Eck N J, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping[J]. *Scientometrics*, 2010, 84(2):523-538.
- [46] Hu X, Rousseau R. A comparative study of the difference in research performance in biomedical fields among selected Western and Asian countries[J]. *Scientometrics*, 2009, 81(2):475-491. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11192-008-2202-9>

Spatio-temporal Pattern Analysis of Global Remote Sensing Research in Recent 10 Years

Zhang Hongyue¹, Li Yizhan², Chen Siming¹, Huang Mingrui^{3,4}, Sun Yu⁵

(1. *Geography and Ocean College, Minjiang University, Fuzhou 350108, China;*

2. *National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

3. *Key Laboratory of Digital Earth Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

4. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

5. *Key Laboratory of Data Mining and Sharing of Ministraton of Education, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)*

Abstract: Scientific publications between 2010 and 2019 with remote sensing backgrounds that are indexed by the Science Citation Index and Social Science Citation Index are retrieved from the Web of Science core collection as data sources. With techniques including statistical analysis, co-occurrence matrix and spatial centroid models, the spatial-temporal dynamics, subject distribution and topic hot spots of global remote sensing publications are analyzed. The results show that the authors of global remote sensing research are concentrated in Europe, North America and eastern Asia. During the last decade, the gravity center of both the output and influence of remote sensing publications has a prominent eastward shift. However, the gravity center of publication output show a significantly larger shift distance than the gravity center of publication influence. The top five productive countries including China, the United States, Germany, Italy and the United Kingdom show clear differences in the main interdisciplinary studies. The United States has balanced performance in all the 13 main interdisciplinary categories. China, however, has relatively low output in many interdisciplinary subjects such as astronomy and astrophysics, as well as ecology. There are also differences in the thematic hot spots for the five productive countries. Chinese scholars are concerned about global change and the Qinghai-Tibet Plateau, while American scholars have comprehensively explored the Mars and the Moon with remote sensing technology. In recent years, research on climate change, urbanization and change detection has attracted broad attention. Research on interdisciplinary application can be carried out comprehensively with multi-source remote sensing data. Combining remote sensing big data with artificial intelligence algorithms to promote the construction of a smart earth.

Key words: Remote Sensing; Bibliometric Analysis; Centroid Model; Co-word Analysis; Keywords Cluster