

引用格式: 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[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(1): 1-12.]  
doi: 10.11873/j.issn.1004-0323.2020.1.0001

## 遥感科学数据应用态势分析 ——以《Remote Sensing of Environment》期刊为例

李宜展<sup>1</sup>, 李泽霞<sup>1,2</sup>, 刘细文<sup>1,2</sup>, 魏 韧<sup>1</sup>, 郭世杰<sup>1,2</sup>, 董 璐<sup>1</sup>

(1. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190;

2. 中国科学院大学图书情报与档案管理系, 北京 100190)

**摘要:** 遥感数据是影响遥感科学研究方法、实验思路、解决方案的重要因素之一。以探索面向遥感科学数据的学科情报分析框架为目标, 以《Remote Sensing of Environment》期刊1999~2018年发表的学术论文为例, 利用文献计量和知识图谱分析方法, 展现遥感科学数据的利用情况。结果表明: 满足特定专业领域需求的遥感科学数据日益丰富, 光学遥感、微波遥感和激光雷达数据的应用结构已发生明显变化, 从20世纪90年代的8:1:1发展为5:3:2, 多角度观测、机载观测平台等新型观测方式展现出独特的优势。遥感科学数据和相关研究分析方法的发展和完善, 不断推动对复杂地理生态过程以及人类活动对环境影响的系统化、综合性理解。

**关键词:** 遥感科学数据; 文献计量; 知识图谱; 共现分析

**中图分类号:** G350; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)01-0001-12

### 1 引言

遥感技术是人类监测、管理、调控地球自然环境和资源的重要空间技术手段<sup>[1-4]</sup>, 一直受到欧美发达国家和我国的高度重视。伴随着航空航天技术和天空地一体化观测平台的不断发展完善<sup>[5]</sup>, 遥感科学数据日益丰富, 如何更好地利用以加深对自然过程的理解, 满足资源、国土、气象、水文、灾害等领域的应用需求, 解决人类共同面临的环境问题和人地资源矛盾是遥感领域科研工作者关注的问题<sup>[6-7]</sup>。同时, 遥感科学数据是对地观测平台设施的直接产出, 其应用情况是平台载荷效用的直接反映<sup>[8]</sup>, 也是影响空间观测平台建设顶层设计、统筹不同类型观测需求、提高应用满足度的必要考量<sup>[9]</sup>。

文献计量学利用数学和统计学方法定量分析科技文献外部表征, 进而揭示学术研究活动特征,

已被广泛地应用于多学科领域的发展现状和规律探索中。在相关学科和遥感技术的宏观态势分析中, Li等<sup>[10-13]</sup>利用文献计量学方法分别分析了全球气候变化研究、生物地理学研究、作物生长模型研究的发展趋势, 识别并评价了遥感技术和相关数据在丰富研究资料与分析方法方面发挥的重要作用。Wang等<sup>[14]</sup>采用传统的文献计量分析框架揭示了GPS数据的研究应用情况。冷疏影等<sup>[15]</sup>以宏观的视角, 科学、客观、定量地总结近30 a地理学发展历程和研究进展及中国地理学的发展特点, 揭示遥感技术在地理信息科学、地理学中的重要地位。冯筠等<sup>[16]</sup>从学术论文和专利两个角度入手, 通过多维计量指标分析国际大背景下中国遥感学科研究的现状和存在的问题。张熠天等<sup>[17]</sup>以SCI论文为基础对比中外遥感科学的发展状况, 分析和评价了我国遥感领域的科学创新主体的规模、国际影响力和竞争

收稿日期: 2019-01-28; 修订日期: 2020-01-02

作者简介: 李宜展(1988—), 女, 山东菏泽人, 博士, 副研究员, 主要从事重大科技基础设施情报及遥感科学数据应用研究。

E-mail: liyz@mail.las.ac.cn。

通讯作者: 李泽霞(1977—), 女, 甘肃兰州人, 博士, 研究员, 主要从事大科技基础设施战略研究。E-mail: Lizexia@mail.las.ac.cn。

力。陈晓惠等<sup>[18-21]</sup>学者分别对遥感影像分类、水遥感、草地遥感、遥感技术在灾害领域中的应用等相关主题文献进行计量分析,描述和探讨几个方向的技术发展现状和趋势。李栎等<sup>[22]</sup>利用共词分析方法,探讨了遥感传感器硬件设施的相关研究发展趋势。从总体来看,这些研究均沿用学科文献情报分析的传统思路与框架,以遥感科学或某一子领域、研究方向为分析对象,分析维度主要为发文趋势、国别、机构及合作关系等。

遥感科学数据是遥感领域研究的基础资源,也是影响研究方法、实验设计、解决方案等的重要因素。绝大多数的论文在标题、关键词或者摘要中明确指出实验所用的遥感科学数据,而且在这些自由文本中提到的数据也往往是核心基础数据。虽然并不存在固定的表达方式,但为利用文献计量方法分析遥感科学数据的应用现状和发展趋势提供可能。Bielecka 等<sup>[23]</sup>利用共现分析方法,分析了以 CORINE 土地覆盖数据为基础的典型研究,展现了科研用户对该数据的应用和认知结构。从现有研究来看,鲜有对遥感科学数据开展系统的文献计量分析的框架研究。

鉴于此,本文以具有代表性的领域顶级学术期刊论文数据为例,根据摘要、标题等信息进行遥感科学数据和应用方向标引,结合结构化题录信息,开展特定研究方向的遥感科学数据的应用情况分析,测试该分析框架和分析角度的可行性,探讨遥感科学数据在特定研究主题发展历程中的变化和

作用,以期从更丰富的维度揭示不同时期的遥感研究活动和数据应用热点以及对数据需求的变化,为使用遥感科学数据的研究人员提供数据选择的参考,也帮助遥感传感器的设计人员掌握数据需求和使用倾向。

## 2 数据集的构建

### 2.1 基础数据

《环境遥感》(*Remote Sensing of Environment*, 以下简称 RSE)于 1969 年创刊,经过 50 a 的发展,已成为遥感领域普遍认可的最重要的学科顶级期刊之一,在 RSE 创刊 50 周年之际,更加需要对其发展历程和热点变化进行分析。在 2018 年 SCI 索引数据库中收录的 30 余种遥感期刊中影响因子居首位,在中国科学院 JCR 分区中被称为环境科学与生态学领域 TOP 级期刊。该期刊主要刊发对地观测研究理论、科学技术和应用研究成果,关注的领域包括农业、林业、生物物理光谱模型、生态、地理信息系统、地质与地球科学、水文和水资源、大气和气象学、海洋、灾害、图像处理与分析等<sup>[24]</sup>。近 20 a 来期刊影响因子不断提高(图 1),与其他遥感科学期刊的施引和被引关系也证明其具有广泛的学术影响力和学科代表性。本研究利用 Web of Science 收录的 RSE 1999~2018 年发表的 5699 篇学术论文构建基础数据集,数据下载时间为 2019 年 2 月,文献类型包括 RSE 上刊出的研究论文、综述和短文章等在内的所有论文类型。

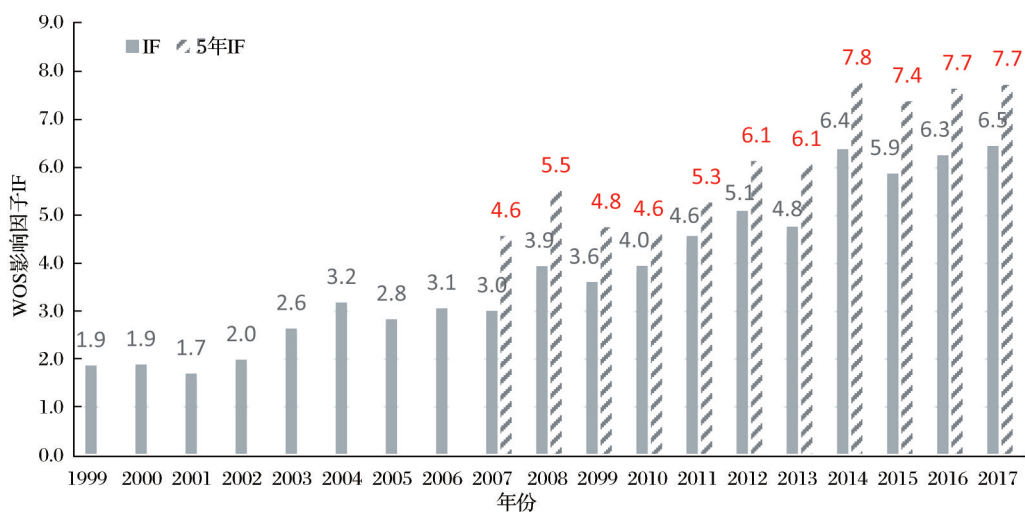


图 1 近 20 a RSE 期刊影响因子变化趋势

Fig.1 Trend of impact factor of RSE during last 20 years

### 2.2 文献标引

文献标引是针对文献的特征赋予文献标识的

过程。为了更好地分析遥感科学数据本身的发展以及在研究主题演化过程中的作用,根据 Web of

Science数据库提供的摘要、标题、关键词等信息,通过专家人工判读的方式标记文献所使用的遥感科学数据和应用领域。

当前全球发射了数以千计的对地观测卫星,航空摄影与测量技术也得到广泛的应用,星载、机载传感器每天获取海量的遥感数据,以满足各行业、领域的科研应用和业务使命<sup>[25-26]</sup>。为节省发射和观测成本,一颗卫星上常常搭载多种类型传感器,例如Aqua卫星上既有中分辨率成像光谱仪MODIS,同时也搭载着先进微波扫描辐射计AMSR-E。当然,执行长期对地观测任务的卫星系列也常常搭载同类或改进型传感器,例如陆地观测卫星Landsat系列上搭载的传感器经历了从MSS、TM、ETM+到OLI、TIRS的发展历程,空间分辨率、光谱分辨率等技术指标和核心参数不断提高。根据论文的标题、关键词和摘要文本,标引核心遥感科学数据,标引内容以传感器为主,当卫星/星座上搭载同类传感器且观测主题具有一致性时则标记卫星/星座名称。值得注意的是,标引时未区分原始遥感科学数据和衍生产品,但由多种遥感科学数据同化产生的综合数据产品除外。

此外,本研究还标引了研究和应用领域,主要分为以下8类<sup>[27]</sup>:植被、生态环境、水文、土地覆盖/利用与土壤、大气、地质、灾害、基础理论、模型与方法。每篇论文至少归属于上述8类中的1个类别,最多从属于3个类别。此项工作由具有农业遥感、生态遥感、水文遥感、土地覆盖与利用等领域研究与工作经验的专业人员共同完成。

### 3 科学计量分析与知识图谱分析方法

科学计量分析运用数学方法对科学活动的整体状态和各个方面进行量化分析,解释科学活动的发展规律。它以文献计量为基础,同时也将科研机构、科学家团体等视为研究对象<sup>[28]</sup>。

本研究通过以下3类指标实现对科学活动的测度和计量,从不同维度反映领域特征:①论文数量指标,直接测度科研生产力和合作程度,包括在不同时间、机构、国家等的发文数量、合作论文数量等;以及衍生指标,如近3a活跃度(近3a发文量在发文总量中的占比);②引用类指标,测度学科领域、国家、科研机构等的影响力,包括被引频次、平均被引频次等;③内容型分析指标,主要包括共词

分析、文本聚类等。

知识图谱是一种利用可视化技术将隐藏的信息以网络或其他图形展示出来的方法,可以直观、形象地表达研究对象之间的关系<sup>[29]</sup>。在内容型分析指标中,利用VosViewer软件绘制不同阶段的关键词共现网络,分析论文的主题特征、聚类特征和演化特征,揭示遥感科学数据应用的热点和研究主题的变迁。

## 4 分析与讨论

### 4.1 总体态势

#### 4.1.1 总体发文趋势

1999~2018年,RSE刊文数量从每年100余篇上升到超过500篇(图2)。其中,美国的研究成果2880篇,占论文总量的50.5%,远超排名第二位的法国(11.6%)。中国以623篇发文位列第三,占发文总量的10.9%。从时间趋势分析,自2009年起我国年度发文量增长迅速,并在2014年超过法国,年发文量跃居第二位,但与美国的年度发文量相比,仍有较大的差距。

#### 4.1.2 国际合作和影响力

根据来源国分析合作情况,利用E-Chart工具绘制发文量排名前10位的国家以及各国之间的互动关系(图3),图中括号内的3个数字分别代表发文量(篇)、篇均被引量(次)与合作发文的比例。无论从发文量,还是合作数量,美国都表现出绝对优势。与他国合作发文的比例最低(43%),平均被引频次为62,是其他9国最主要的合作对象,表现出美国具备很强的独立研究能力和广泛的国际影响力。聚焦到我国,中国的论文63%是合作研究,篇均被引34次,合作地位和影响力与美国存在一定的差距。另外,除美国外,发文量排名前10位的国家产出合作比例均超过60%,国家之间的研究合作表现出较明显的区域倾向。以法国为例,除美国外,与欧洲的英国、意大利、西班牙、德国和荷兰存在大量的合作研究,这与欧洲地区科技一体化发展和良好的科技合作模式密不可分。

#### 4.1.3 重点发文机构

表1列出发文量排名前20位的机构,其中美国12家,中国2家,法国、澳大利亚、加拿大、西班牙各1家,国际机构2家。美国航空航天局发文548篇,以明显的数量优势位居榜首。马里兰大学和加州大学组成第二梯队,发文量超过350篇。中国科学院和北京

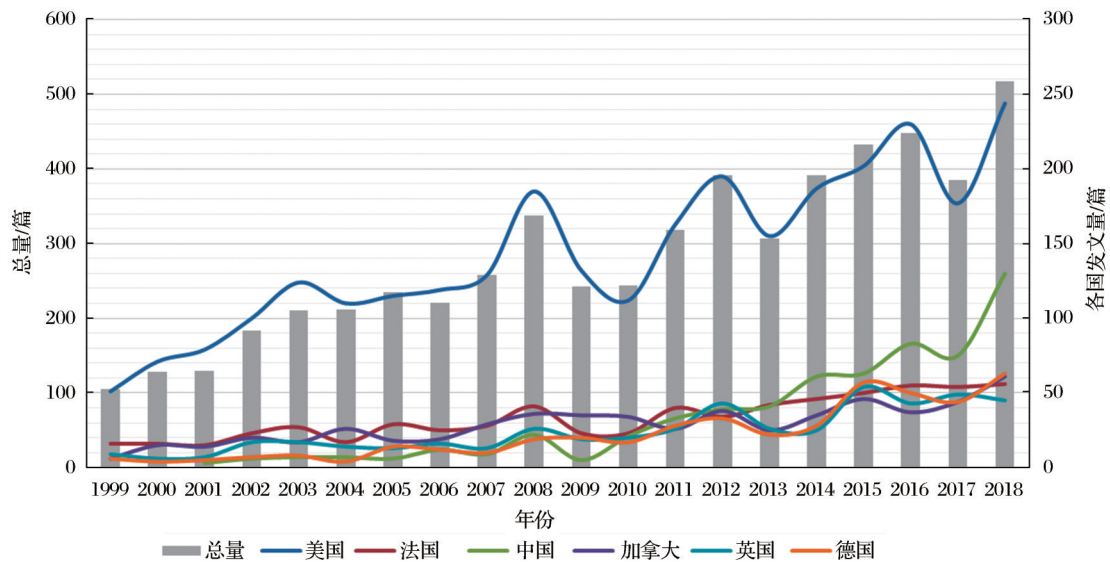


图 2 论文刊出数量变化趋势与主要国家发文趋势

Fig.2 Quantity trend of papers published on RSE

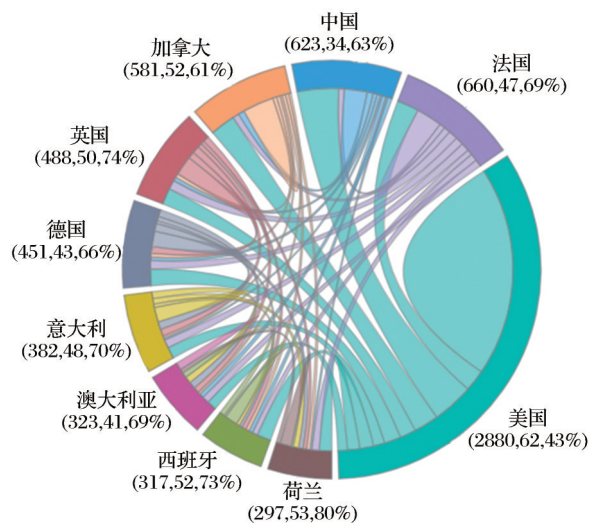


图 3 主要国家发文量、篇均被引与合作发文的比例

Fig.3 The quantity, citation and cooperation on country level

师范大学排名第 4 位和第 14 位,发文量为 287 篇和 122 篇,二者也是近 3 a 活跃度最高的两个机构。

## 4.2 遥感科学数据的应用情况

### 4.2.1 应用现状

有 5 332 篇论文在摘要、标题或关键词中明确提及所使用的遥感数据,其中主要使用光学遥感数据的有 3 635 篇,占 68.2%,主要使用微波遥感数据和激光雷达遥感数据的论文分别为 1 088 和 609 篇。可见在过去的 20 a 间,光学遥感数的应用最频繁。从传感器/卫星角度分析(图 4),1972 年以来<sup>[30]</sup>源源不断传回的 Landsat 数据和自 2000 年 2 月<sup>[31]</sup>开始获

表 1 TOP20 发文机构

Table 1 TOP20 Affiliations

序号	机构	国别	发文量	近 3 a 活跃度
1	美国航空航天局	美国	548	21.7%
2	马里兰大学	美国	379	19.8%
3	加州大学	美国	353	19.5%
4	中国科学院	中国	287	40.4%
5	美国农业部农业研究组织	美国	235	21.3%
6	加州理工学院	美国	213	32.9%
7	法国国家科学研究中心	法国	183	20.2%
8	美国林业局	美国	158	27.2%
9	波士顿大学	美国	139	14.4%
10	美国地质调查局	美国	138	21.7%
11	美国国家海洋和大气管理局	美国	126	15.1%
12	北京师范大学	中国	122	32.8%
13	威斯康辛大学	美国	114	16.7%
14	联邦科学与工业研究组织 CSIRO	澳大利亚	105	11.4%
15	俄勒冈州立大学	美国	98	14.3%
15	不列颠哥伦比亚大学	加拿大	98	30.6%
15	非洲自然资源研究所 INRA	——	98	22.4%
18	欧盟委员会	——	97	23.7%
19	科罗拉多大学	美国	88	23.9%
19	瓦伦西亚大学	西班牙	88	18.2%

取的 MODIS 数据得到学者的广泛认可,使用频次最高,远远超过其他遥感科学数据。一方面得益于长期稳定的对地观测服务能力,长时间序列数据资源和科学合理的波段设计为全球、区域等多尺度研究提供有力的数据支撑<sup>[32-33]</sup>,另一方面也得益于二

者所实行的全球免费接收政策。作为新型主动式航空遥感装置,机载激光雷达凭借机动灵活的优势,在快速获取高精度测距中受到众多研究的青睐<sup>[34]</sup>。L波段合成孔径雷达 ALOS PALSAR(2006年)、先进微波辐射计 AMSR(2002年)等主、被动微

波遥感数据在海洋、冰雪、大气、洪水、土壤监测中得到广泛的应用<sup>[35]</sup>。IKONOS(1999年)、QuickBird(2001年)等甚高空间分辨率遥感数据,HyMap(1997年)、Hyperion(2000年)等高光谱数据也是多源化遥感科学数据的重要组成部分。

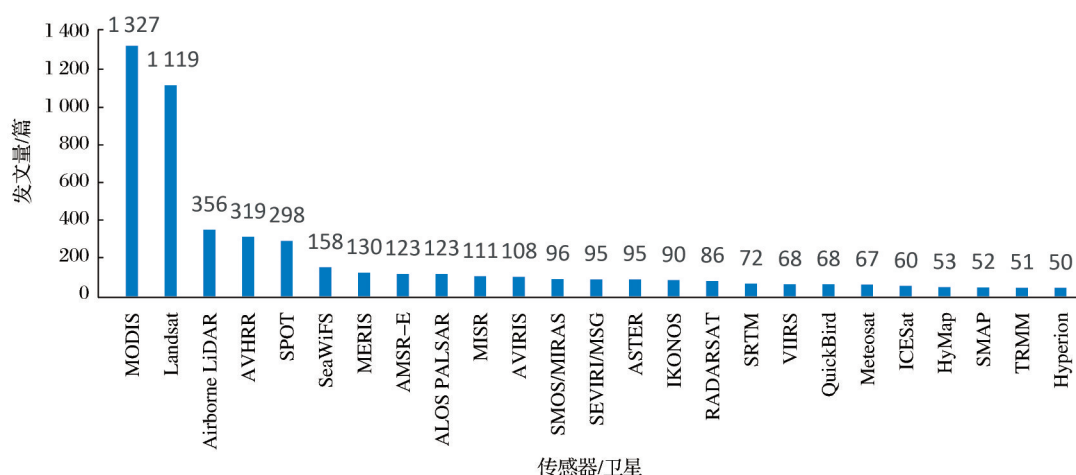


图 4 遥感科学数据的使用情况

Fig.4 Utilization of remote sensing data

#### 4.2.2 应用发展趋势

从各类遥感数据的应用趋势分析(图 5),自 2010 年后,使用微波遥感数据的研究数量明显增长,年平均增长率为 31.1%,激光雷达数据的应用增

长速度虽不及前者,但也有显著提升。以合成孔径雷达为代表的微波遥感和激光雷达遥感快速发展,光学遥感、微波遥感和激光雷达遥感数据的利用结构从上世纪 90 年代的 8:1:1 发展为 5:3:2。

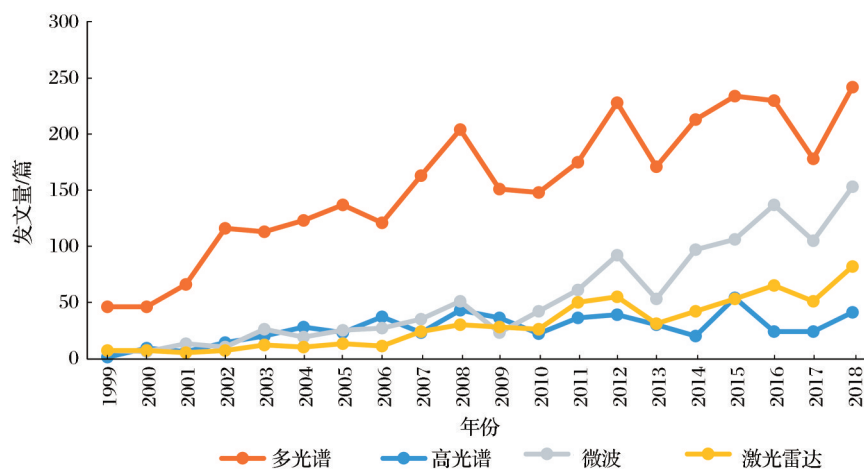


图 5 各类遥感数据的利用变化趋势

Fig.5 Quantity trend of various remote sensing data

同时,我们发现利用多种遥感数据开展研究的比例不断上升(图 6)。这种现象不仅存在于同类型的遥感数据中,不同类型的遥感数据间,即光学遥感数据与微波遥感数据、光学遥感数据与激光雷达数据等的复合、融合应用大量涌现。这也反映出随着观测手段的不断丰富,遥感科学数据的问题从如何获得适宜的数据或利用有限的数据开展研究,转

变为如何选择数据或如何综合利用数据。

#### 4.2.3 服务的学科领域

将 20 a 间发表的所有论文划分为植被、数据、模型与制图、生态、水文、土地覆盖/利用与土壤、大气、地质和灾害 8 类,发文量如图 7 所示。可以看出 RSE 尤为关注植被遥感、生态以及相关模型等方向的应用。从各应用领域的发文趋势来看(图 8),植

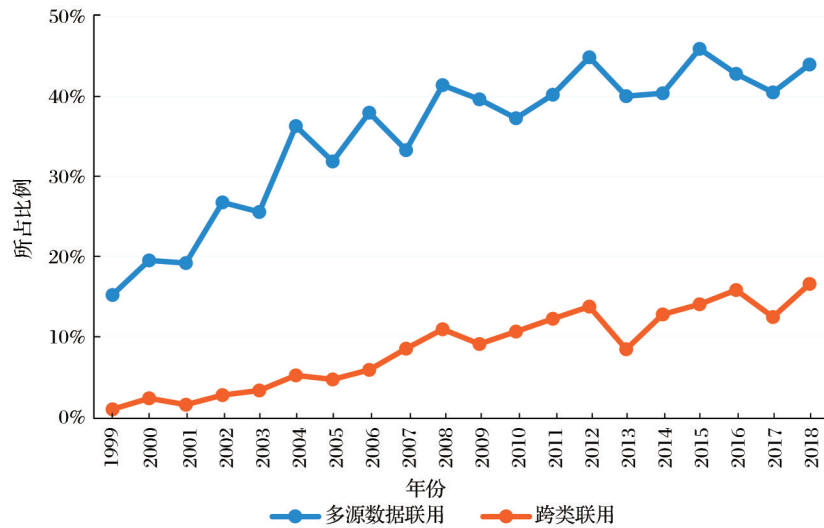


图6 多源数据应用趋势

Fig.6 Utilization and quantity trend of multi-source remote sensing data

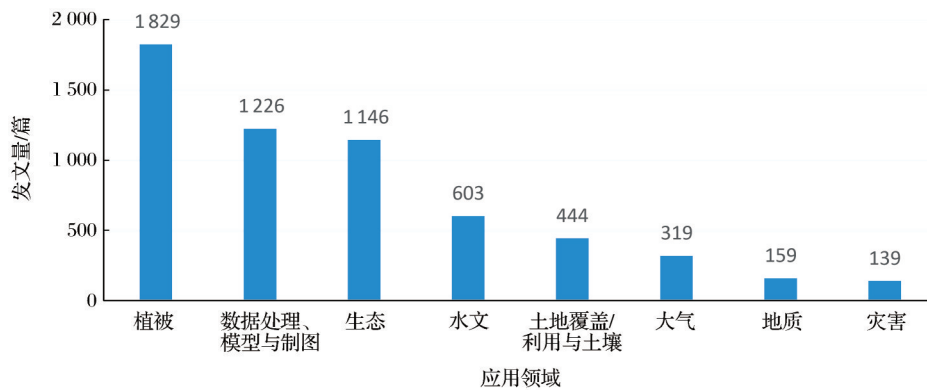


图7 应用领域分布

Fig.7 Main application fields

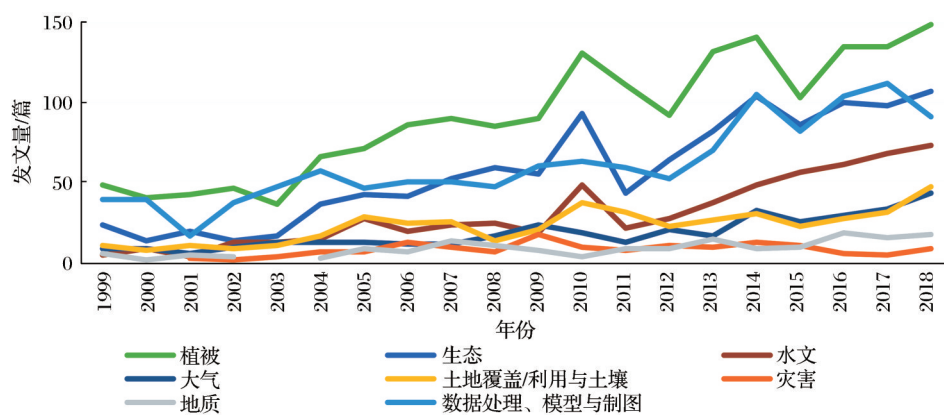


图8 数据应用发展趋势

Fig.8 Quantity trend of various application fields

被、生态领域一直保持高速增长。大气污染问题日益突出、极端气候事件频发<sup>[36-37]</sup>,利用遥感科学数据开展大范围的大气、水文环境研究的数量呈现上升趋势。

#### 4.3 遥感科学数据与研究热点的变迁

将1999~2018年这一时间窗口等分为4个时间切片,利用VosViewer分析每个时期作者关键词的共现关系,图中每个圆点代表一个关键词,圆点的

大小表示关键词出现的频次,圆点的颜色代表聚类的类别,连线的粗细代表共现频次的高低<sup>[29]</sup>。通过以上信息可以分析出某一时间段内主流遥感科学数据的应用特点与研究热点。

#### 4.3.1 1999~2003 年

MODIS 传感器的发射迅速引起关注和讨论,与 Landsat(TM、ETM)、IKONOS 为代表的中、高光谱数据两两组合或三者联用,空间分辨率较低的遥感数据提供综合的、全局的信息,空间分辨率较高的遥感数据则提供精确的、局部的“真值”信息,用于提取、分类、模拟结果的检验(accuracy),围绕土地利用/覆盖(land use/cover)以及土地覆盖变化(land cover change)、农业用地监测(agricultural、precision agriculture)等方向以及亚马逊热带雨林退化(Amazon、tropical forest、deforestation)、城市环境(urbanization、impervious surface、urban growth)热点问题开展分析。利用中、低空间分辨率数据进行像元级分析,势必遇到混合像元问题,混合光谱分解技术(spectral mixture analysis)、端元选择(end-member selection)等方法成为自然资源监测、植被物候特征变化(vegetation phenology)分析流行的技术手段。AVHRR 数据则主要用于国家、洲甚至全球大尺度监测(Pan-Europe、Africa 等)或其他分辨

率数据的对照实验。专为水色遥感设计的 SeaWiFS 在监测中国南海(South China sea)、阿拉伯海(Arabian sea)等水域的表层叶绿素(chlorophyll、phytoplankton)、富营养物质(nitrogen)研究中发挥着重要的作用,同时也发展了水色大气校正方法,精确去除大气和海平面的影响,推导离水辐射亮度<sup>[38]</sup>。对机载可见光/红外成像光谱仪(AVIRIS)获取的高光谱数据(hyperspectral)的应用处于探求各类地物的成像特点和分类制图(mapping、monitoring)的阶段。激光雷达(LiDAR)与 DEM 数据相结合可以准确的反演森林冠层结构信息(tree height、forest structure),但在树种识别方面的能力范围较狭窄<sup>[39]</sup>。图中出现了利用美国 DMSP 卫星上搭载的 SSM/I 辐射计基于地球物理模式函数反演风场(wind vector),这种方法后被证实同样适用于雷达数据(RADARSAT)<sup>[40]</sup>。另外,以辐射传输模型(radiative transfer models)、蒙特卡洛模拟(Monte Carlo modelling)、地表冠层模型(land surface temperature)为核心的基础模型与方法词簇,以及以植被指数(vegetation indices)为核心的生物量(biomass)反演和火灾检测(fire detection)为核心的热点研究问题,并未在使用的数据上表现出明显的倾向(见图9)。

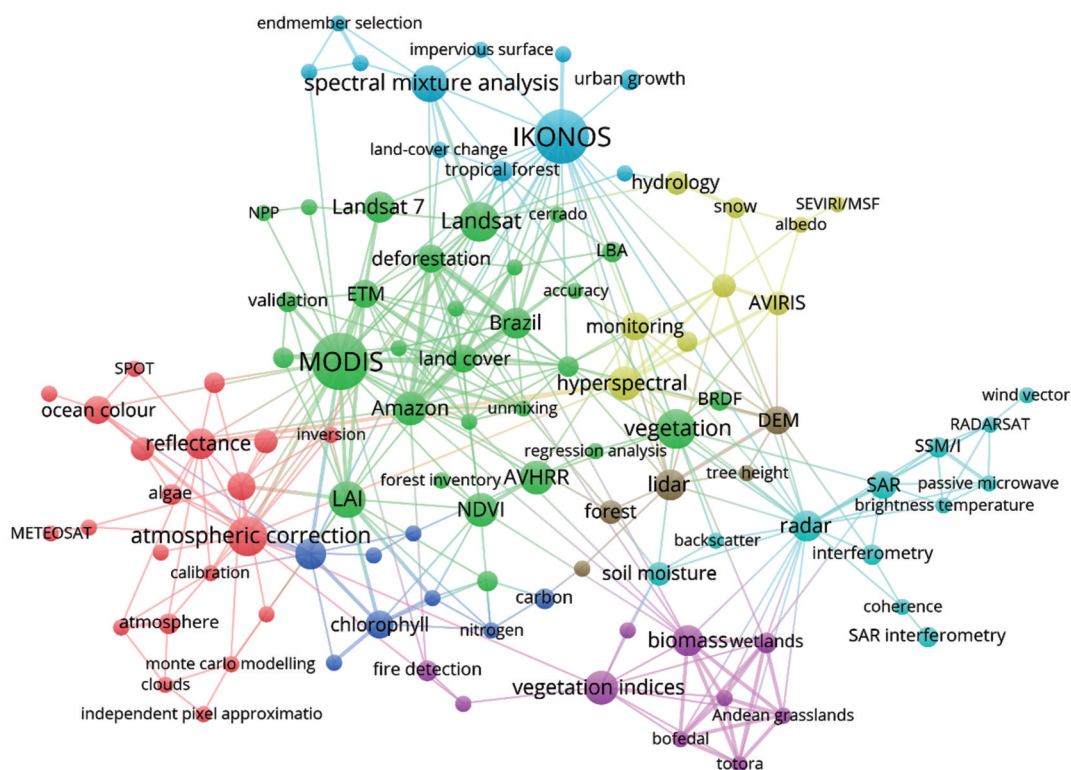


图9 1999~2003年主流遥感科学数据与研究主题

Fig.9 Mainstream remote sensing data and research hotspot during 1999~2003

#### 4.3.2 2004~2008 年

这一时期关键词的数量和种类出现较大幅度增长。MODIS 数据取代 AVHRR 数据,成为低分辨率遥感数据的主流与代表,以 Landsat (TM、ETM)、SPOT 为代表的中分辨率数据和以 IKONOS、QuickBird 为代表的高分辨率数据各具优势,多尺度、各级空间分辨率的数据联用和跨尺度研究成为热点。在多时相、长时间序列数据的支撑下,决策树(decision tree)、时间序列分析(time series analysis)、Logistic 回归等一批方法在土地利用/覆盖、森林退化、制图等研究中得到广泛应用。直接利用 LAI、NDVI 数据产品的应用研究数量增加,密切关注诸如森林病虫害(mountain pine beetle)、珊瑚礁退化(coral reef)、林火严重程度(burned severity)的识别与评估等突发性和热点问题。合成孔径雷达(SAR)、激光雷达(LiDAR)数据在森林调查(forest inventory)、地形探测(laser altimetry、topography)以及生物量估算(biomass)方向的应用快速拓

展,除星载雷达数据(ICESat 等)外,航空测量(SRTM、airborne laser scanning)也凭借机动性高的优势占据重要的地位。

Hyperion、HyMap 等新型高光谱数据用于反演植被生理反射指数(PRI)、冠层结构(canopy structure)等基础生物物理参数,识别物种入侵(invasive species),了解全球碳循环过程(eddy covariance、photosynthesis、light use efficiency、PROSPECT)。AMSR-E、SMOS、TRMM 等微波遥感数据成为土壤水分反演、积雪深度反演、海冰密集度、降水测量的主要数据源。QuikSCAT 数据模拟海洋表面风场,利用星载热量散发和反辐射仪 ASTER 开展的热红外研究(thermal infrared、TES)在城市热岛(urban heat island、land surface temperature),使用多角度遥感数据 MISR 与其他数据联合进行气溶胶光学厚度反演(AOT)、云检测(cloud detection)和植被冠层反射模型,空气污染对健康影响的研究受到关注(见图 10)。

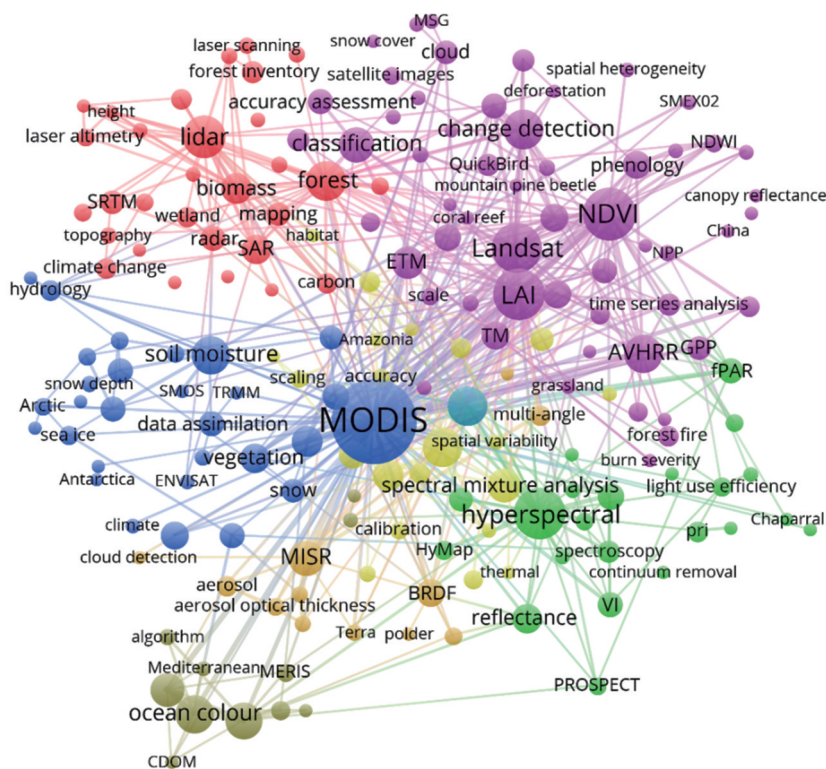


图 10 2004~2008 年主流遥感科学数据与研究主题

Fig.10 Mainstream remote sensing data and research hotspot during 2004~2008

#### 4.3.3 2009~2013 年

这一时期关键词之间的关联更加复杂。多样化的遥感科学数据衍生出丰富的数据产品,利用不同尺度(高、中、低时空分辨率)、不同平台(星载、机

载、地面站)、不同算法开展各数据和产品之间的相互验证(validation)、融合(data fusion)和同化(data assimilation)成为热点。多角度遥感科学数据受到多个研究方向的青睐,如研究 AATSR、ATSR、AR-

STER多角度热红外数据反演海洋表面温度(sea surface temperature)的算法设计以及相关产品可用性分析,探讨全球气候变化过程;利用CHRIS/PROBA多角度高光谱数据分析冠层生物物理和生化参数(clumping index等),进而驱动作物生长模型或生态学模型<sup>[41-42]</sup>,实现农、林等行业应用的辅助决策等。雷达数据应用进一步拓展,通过激光雷达测深(bathymetry)开展海岸带(coastal、coral reef ecosystems)、内陆河湖(Poyang Lake)生态系统的变化以及海冰(sea ice)的识别研究,利用合成孔径雷达、合成孔径干涉雷达(SAR、InSAR、ALOS PAL-

SAR)等进行滑坡、冻土的变形监测也受到研究者的关注。LVIS和GLAS在植被冠层参数与森林结构反演等问题中的成功应用,展现了基于全波形技术的激光遥感的良好效果和潜力。解决中、低空间分辨率数据混合像元问题的多端元混合像元分解(MESMA)方法,适用于高空间分辨率数据的面向对象分类(object-based)技术,海量数据支撑下的机器学习(machine learning)、随机森林(random forest)分类,以及面向业务需求的基于设计的推断(design-based inference)技术在分类识别、大范围土地资源调查的应用中进一步发展和完善(见图11)。

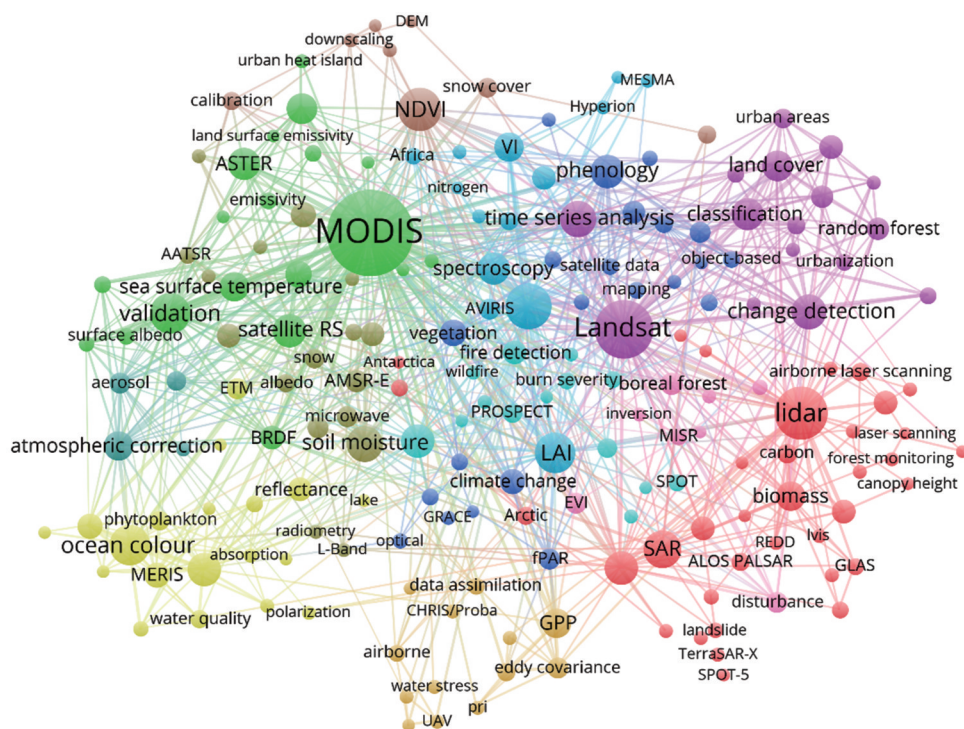


图11 2009~2013年主流遥感科学数据与研究主题

Fig.11 Mainstream remote sensing data and research hotspot during 2009~2013

#### 4.3.4 2014~2018年

叶绿素荧光(chlorophyll fluorescence)作为植物光合作用受损的早期表征,是反映植物环境胁迫的重要指示,成为植被高光谱遥感研究的热点。大气污染日益凸显,大气环境监测和治理问题也得到重点关注,利用Calipso星载激光雷达数据、多尺度光学遥感数据开展气溶胶探测、PM<sub>2.5</sub>反演等的研究激增。利用雷达数据围绕冰冻圈(cryosphere)开展的海冰(sea ice)监测、冰川形变(glacier)检测,基于Aquarius卫星L波段辐射计监测海水盐度(sea surface salinity),基于GOCI反演水体悬浮泥沙、富营养物质等方法研究逐步发展。应对恶性环境事件

如石油泄漏(oil spill)、水华爆发(harmful algal bloom)等的应急响应分析研究数量上升,利用夜间灯光数据进行城市监测以及与经济指标的关联,深入探讨复杂地理生态过程机理、耦合协同(synergy)、不确定性分析(uncertainty analysis)的研究趋势显著(见图12)。

## 5 结 语

作为遥感科学发展的基础资源,遥感科学数据日益多样化、科学化、专业化、系统化,质量和服务能力不断提升。总地看,满足特定专业领域需求的遥感科学数据越来越丰富。前期AVHRR、MO-

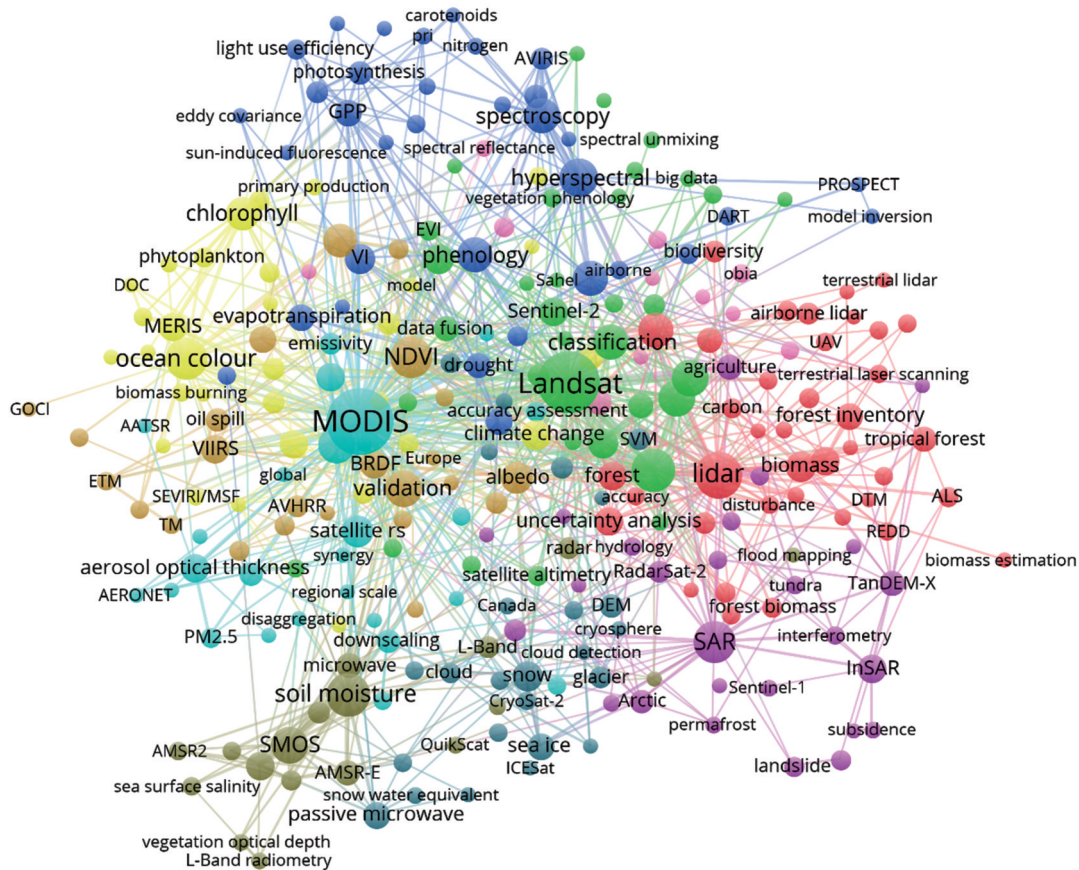


图 12 2014~2018 主流遥感科学数据与研究主题

Fig.12 Mainstream remote sensing data and research hotspot during 2014~2018

DIS、Landsat 等为代表的的光学遥感数据应用研究占据绝对优势,近年来 SMOS、GRACE、ICESat、SCIAMACHY 等面向土壤湿度、重力场、高度、大气痕量气体监测应用的数据资源增多,传统遥感数据也衍生出多样化、多等级产品,遥感科学数据的问题从如何获得适宜的数据或利用有限的数据开展研究,转变为如何选择数据或如何综合利用数据问题。其次,以合成孔径雷达为代表的微波遥感和激光雷达遥感发展迅速。从发文数量上来看,其使用频次几乎与光学遥感数据平分秋色。多角度观测、机载观测平台等新型观测方式也在多个领域展现出独特的优势,为深入探讨复杂生态过程机制、分析人类活动对环境的影响提供更加多样化的分析视角。

本研究以 RSE 期刊发表的文献为分析数据源,在一定程度上会受到期刊遴选范围和倾向的影响,仅从一个较聚焦的视角反映和揭示遥感科学数据应用的变化。下一步开发面向遥感科学数据本体的自动标引方法将有助于在遥感领域开展全面数据利用情况分析,以弥补单一期刊带来的局限。

#### 参考文献 (References):

- [1] White J C, Coops N C, Wulder M A, *et al.* Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2016, 42(5): 619-641.
- [2] Pettorelli N, Laurance W F, O'Brien T G, *et al.* Satellite Remote Sensing for Applied Ecologists: Opportunities and Challenges [J]. Journal of Applied Ecology, 2014, 51 (4) : 839-848.
- [3] Cristina G, White J C, Wulder M A. Optical Remotely Sensed Time Series Data for Land Cover Classification: A Review [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 116:55-72.
- [4] Olofsson P, Foody G M, Herold M, *et al.* Good Practices for Estimating Area and Assessing Accuracy of Land Change[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 148:42-57.
- [5] Toth C, Grzegorz J. Remote Sensing Platforms and Sensors: A Survey[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 115:22-36.
- [6] Ochsner T E, Cosh M H, Cuenca R H, *et al.* State of the Art in Large-scale Soil Moisture Monitoring[J]. Soil Science Society of America Journal, 2013, 77(6):1888-1919.
- [7] Atzberger C. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Sys-

- tems and Major Information Needs [J]. Remote Sensing, 2013, 5(2):949-981.
- [8] Gillis D B, Bowles J H, Montes M J, *et al.* Propagation of Sensor Noise in Oceanic Hyperspectral Remote Sensing [J]. Optics Express, 2018, 26(18):A818-A831.
- [9] Gu Xingfa, Yu Tao, Gao Jun, *et al.* Application-oriented Scientific Demonstration Research for Spaceborne Remote Sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 807-826. [顾行发, 余涛, 高军, 等. 面向应用的航天遥感科学论证研究[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 807-826.]
- [10] Li J F, Wang M H, Ho Y S. Trends in Research on Global Climate Change: A Science Citation Index Expanded-based analysis [J]. Global and Planetary Change, 2011, 77(1-2): 13-20.
- [11] Posadas P, Grossi M A, Ortiz-Jaureguizar E. Where is Historical Biogeography Going? The Evolution of the Discipline in the First Decade of the 21st Century [J]. Progress in Physical Geography, 2013, 37(3): 377-396.
- [12] 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): 1-11.
- [13] Zhang Y Y, Thenkabail P S, Wang P. A Bibliometric Profile of the Remote Sensing Open Access Journal Published by MDPI between 2009 and 2018 [J]. Remote Sensing, 2019, 11(1): 1-34.
- [14] Wang H J, Liu M Y, Hong S, *et al.* A Historical Review and Bibliometric Analysis of GPS Research from 1991~2010 [J]. Scientometric, 2013, 95(1):35-44.
- [15] Leng ShuYing, *et al.* The Geographical Sciences during 1986~2015: From the Classics to the Frontiers [M]. Beijing: The Commercial Press. 2016. [冷疏影, 等. 地理科学三十年: 从经典到前沿 [M]. 北京: 商务印书馆, 2016.]
- [16] Feng Jun, Zheng JunWei. An Analysis of Status and Trends of the International Remote Sensing Science on Bibliometrics [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2005, 20(5): 526-530. [冯筠, 郑军卫. 基于文献计量学的国际遥感学科发展态势分析[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(5): 526-530.]
- [17] Zhang Yitian, Wang Yu, Song XiaoLong. Comparison between the Science Development of Remote Sensing Satellite based on Bibliometrics. China Soft Science Research Association. Proceedings of the 10th China Soft Science Academic Conference [C] // China Soft Science Research Association, 2015. [张熠天, 王宇, 宋小龙. 基于文献计量的中外遥感卫星科学发展比较分析. 中国软科学研究会. 第十届中国软科学学术年会论文集 [C] // 中国软科学研究会, 2015.]
- [18] Chen Xiaohui. A Bibliometrical Analysis on Classification of Remote Sensing Image based on SCI Papers [J]. Science New Ground, 2015(2): 82-85. [陈晓惠. 基于SCI发文的遥感影像分类研究态势分析[J]. 创新科技, 2015(2): 82-85.]
- [19] Ma Hanqing, Gao Feng, Huang Xinyu, *et al.* Development Trend of Water Remote Sensing Research based on Bibliometrics [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.]
- [20] Zheng Haipeng, Yan Jianzhong, Liu Linshan, *et al.* Research Advances in Grassland Remote Sensing based on Bibliometrics [J]. Chinese Journal of Grassland, 2017, 39(4): 101-110+115. [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+115.]
- [21] Guo Xiaoning, Pei Huijuan, Wang Jinping, *et al.* Development Status of International Remote Sensing in Natural Disaster Research [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(6): 124-131. [郭晓宁, 裴惠娟, 王金平, 等. 国际遥感技术在自然灾害领域中的发展态势分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(6): 124-131.]
- [22] Li Li, Zhang Zhiqiang, An Peijun. Development 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, 安培俊. 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.]
- [23] Bielecka E, Jenerowicz A. Intellectual Structure of CORINE Land Cover Research Applications in Web of Science: A Europe-wide Review [J]. Remote Sensing, 2019, 11(17):1-24.
- [24] Remote Sensing of Environment Official Website [EB/OL]. [2018-05-20]. <https://www.journals.elsevier.com/remote-sensing-of-environment/>.
- [25] Zhao YingShi, *et al.* Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2003. [赵英时, 等. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [26] Mei Anxin, Peng Wanglu, Qin Qiming, *et al.* Introduction to Remote Sensing [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. [梅安新, 彭望录, 秦其明, 等. 遥感导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.]
- [27] Chen Liangfu, Yan Jun, Fan Wenjie, *et al.* Twentieth Anniversary of the Journal of Remote Sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 794-806. [陈良富, 闫珺, 范闻捷, 等. 《遥感学报》20年: 从热点到前沿 [J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 794-806.]
- [28] Liu Xiwen, Li Ning, *et al.* Scientometrics Methods of Science and Technology Policies Research [M]. Beijing: Science Press, 2017. [刘细文, 李宁, 等. 科技政策研究方法之科学计量学方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.]
- [29] Li Jie. Principles and Application of Mapping Knowledge Domains a Beginner's Guide to VOSviewer and CitNet Explorer [M]. Beijing: Higher Education Press, 2018. [李杰. 科学知识图谱原理及应用: VOSviewer 和 CitNet Explorer 初学者指南 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.]
- [30] USGS. Landsat Mission Home [EB/OL]. [2019-05-19].

- <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>.
- [31] NASA. MODIS Images [EB/OL]. [2019-05-19]. <https://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/>.
- [32] NASA. Components [EB/OL]. [2019-03-04]. <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php>.
- [33] USGS. Landsat Satellite Missions [EB/OL]. [2019-03-04]. [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?\\_qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=2#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?_qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con).
- [34] Eitel J U H, Hofle B, Vierling L A, *et al.* Beyond 3-D: The New Spectrum of Lidar Applications for Earth and Ecological Sciences [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 186: 372-392.
- [35] Sabaghy S, Walker J P, Renzullo L J, *et al.* Spatially Enhanced Passive Microwave Derived Soil Moisture: Capabilities and Opportunities [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 209: 551-580.
- [36] Dubovik O, Li Z, Mishchenko D, *et al.* Polarimetric Remote Sensing of Atmospheric Aerosols: Instruments, Methodologies, Results, and Perspectives [J]. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2019, 224: 474-511.
- [37] IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [38] Hu C, Carder K L, Muller-Karger F E. Atmospheric Correction of SeaWiFS Imagery over Turbid Coastal Waters: A Practical Method [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74(2): 195-206.
- [39] He Xingyuan, Ren Chunying, Chen Lin, *et al.* The Progress of Forest Ecosystems Monitoring with Remote Sensing Techniques [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 997-1011. [何兴元, 任春颖, 陈琳, 等. 森林生态系统遥感监测技术研究进展 [J]. *地理科学*, 2018, 38(7): 997-1011.]
- [40] Zhao Yuan. A Study of Ocean Winds from Spaceborne Synthetic Aperture Radar Imagery [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Application Chinese Academy of Science), 2017. [赵媛. 星载合成孔径雷达海洋风场探测研究 [D]. 北京: 中国科学院大学 (中国科学院遥感与数字地球研究所), 2017.]
- [41] Stagakis S, Markos N, Sykioti O, *et al.* Monitoring Canopy Biophysical and Biochemical Parameters in Ecosystem Scale Using Satellite Hyperspectral Imagery: An Application on a *Phlomis fruticosa* Mediterranean Ecosystem Using Multiangular CHRIS/PROBA Observations [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(5): 977-994.
- [42] Verger A, Frédéric B, Camacho F. Optimal Modalities for Radiative Transfer-neural Network Estimation of Canopy Biophysical Characteristics: Evaluation over an Agricultural Area with CHRIS/PROBA Observations [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(2): 415-426.

## Application Analysis of Remote Sensing Data based on *Remote Sensing of Environment*

Li Yizhan<sup>1,2</sup>, Li Zexia<sup>1,2</sup>, Liu Xiwen<sup>1,2</sup>, Wei Ren<sup>1</sup>, Guo Shijie<sup>1,2</sup>, Dong Lu<sup>1</sup>

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Remote sensing data is one of main factors affecting remote sensing research methods, experimental design and solutions, etc. In this study, the articles published on the Journal *Remote Sensing of Environment* during 1999~2018 were collected to quantitatively analyze the utilization situation of remote sensing data and research hotspots using bibliometrics and knowledge graph methods. The results showed that more and more specific professional sensors, remote sensing data, derived data emerged rapidly. Meanwhile, microwave remote sensing and LiDAR were burgeoning, and the structure of application of optical, microwave and LiDAR remote sensing data had changed significantly, from 8:1:1 to 5:3:2 during the past decades, multi-angle and airborne observation platform get favors of scientists. The improvement of remote sensing data and analytical methods were continuously promoting a systematic and comprehensive understanding of complex geo-ecological processes and impact of human activities on environment.

**Key words:** Remote sensing data; Bibliometrics; Knowledge graph; Co-occurrence analysis