

张代维, 马友华, 吴 雷, 等. 基于文献计量的农作物种植结构遥感提取发展态势分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(4): 1026-1035.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.04.012

基于文献计量的农作物种植结构遥感提取发展态势分析

张代维^{1,2}, 马友华^{1,2}, 吴 雷^{1,2}, 王 强^{1,2}, 王肖飞^{1,2}

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036; 2. 安徽省北斗精准农业信息工程实验室, 安徽 合肥 230036)

摘要: 及时获取农作物种植结构对粮食安全及农业可持续发展具有重要意义。为了解当前农作物种植结构遥感提取研究前沿和进展, 利用文献计量法探究了该领域近 20 年的研究现状及热点。利用 Vosviewer 软件和 Bibliometrix 程序包, 分析了 Web of Science 核心合集和中国知网中 2000–2022 年农作物种植结构遥感提取领域的 867 篇文献, 从发文量、发文国家、国内发文机构、载文期刊、关键词共现及关键词时序等角度进行可视化分析。农作物种植结构遥感提取研究领域整体发文量呈指数上升; 英文发文量最多的国家是中国, 为 197 篇, 国际合作最多的也是中国, 中文发文量较多的机构是中国科学院(89 篇)、中国农业科学院(38 篇); 研究主要集中于如何选择遥感影像、提取方法以及特征; 通过对热点关键词进行时序变化分析发现, 当前和未来的研究热点数据是基于时间序列的多源数据融合, 热门分类方法主要是以面向对象并结合随机森林、卷积神经网络进行提取, 热门特征指数还是以归一化植被指数(NDVI)为主并结合其他特征选择最优特征组合。农作物种植结构遥感提取研究未来将聚焦在如何向低成本、高效率、高精度提取发展。

关键词: 农作物; 种植结构; 遥感; 文献计量; Vosviewer

中图分类号: TP75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)04-1026-10

Development situation analysis of remote sensing extraction of crop planting structure based on bibliometrics

ZHANG Dai-wei^{1,2}, MA You-hua^{1,2}, WU Lei^{1,2}, WANG Qiang^{1,2}, WANG Xiao-fei^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Anhui Provincial Engineering Laboratory for Beidou Precision Agriculture Information, Hefei 230036, China)

Abstract: It is of great significance to acquire crop planting structure timely for food security and sustainable agricultural development. The research status and focuses in the field in recent 20 years were explored by bibliometric analysis to learn about the research frontier and progress on crop planting structure mapping by remote sensing extraction. Literatures with a number of 867 in the field of crop planting structure mapping by remote sensing extraction in the core collection of Web of Science and CNKI from 2000 to 2022 were analyzed. Visualized analysis was made by Vosviewer software and Bibliometrix program package, from the perspectives of published articles number, countries of publication, domestic institutions of publication, journals of publication, keywords co-occurrence and keywords timing sequence. The total publication number in re-

search field of crop planting structure mapping by remote sensing extraction had increased exponentially. China was the country with the largest number of articles published in English, which was 197. Besides, China was the country with the greatest contribution to international cooperation. The institutions with large number of articles published in Chinese were Chinese Academy of Sciences and Chinese A-

收稿日期: 2022-10-26

基金项目: 安徽省科技重大专项(202003a06020002); 安徽农业大学
稳定和引进人才科研项目(rc522013)

作者简介: 张代维(1998-), 男, 四川达州人, 硕士研究生, 研究方向
为农业遥感。(E-mail) zhangdw129@qq.com

通讯作者: 吴 雷, (E-mail) wulei@ahau.edu.cn

cademy of Agricultural Sciences, with articles number of 89 and 38, respectively. The articles mainly focused on selection of remote sensing images, extraction methods and features. It was found through analysis on time sequence changes of hot keywords that, the hot data of current and future researches were multi-source data fusion based on time series, the hot classification method was mainly led by the object-oriented mapping in combination with random forest and convolutional neural networks, and the hot feature indexes were still dominated by the normalized difference vegetation index (NDVI) combined with other features to select the optimal combination of the features. In conclusion, the research on the crop planting structure mapping by remote sensing extraction will focus on extraction with low-cost, high-efficiency and high-precision.

Key words: crop; planting structure; remote sensing; bibliometrics; Vosviewer

农业是社会经济发展的基础,农业生产对粮食安全、土地资源管理和社会稳定有至关重要的作用^[1-3]。农作物种植结构是农业生产活动对土地利用的具体体现形式,其主要包括3个方面的内容:一是作物的种植类型和空间分布;二是种植的规模;三是农作物的种植模式,包括连作、轮作、间作和套种等模式^[4-6]。高精度且快速地提取农作物种植结构不仅可以为农作物生长监测、产量预测、农田灌溉和灾害评价等农业应用提供基础,也是整体把握粮食储备、评估人口承载能力和农产品价格调控等决策的重要依据,对增强区域农业竞争力、优化农业资源利用、保障粮食安全、促进可持续发展都具有重要的意义^[2,7]。

获取农作物种植结构信息的方法主要包括调查统计和遥感提取。中国农作物种植结构具有范围广、面积大的特点,传统的调查统计方式存在着主观性强、调查周期长、数据更新缓慢、缺乏空间信息的问题,且调查过程中需要大量的人力财力,无法及时、有效、经济地获取种植结构信息^[8-9]。遥感技术具有时效性强、监测范围广、成本低的优点,随着空间信息技术的发展和卫星及传感器的不断更新,具有更高空间分辨率和时间分辨率的遥感数据被广泛应用于农作物种植结构遥感提取领域,为农作物种植提供了科学、准确的信息^[10-12]。

已有综述对农作物种植结构遥感提取的研究进展进行了总结^[4-6],但利用文献计量学方法对农作物种植结构遥感提取领域进行全面系统总结的鲜有报道。本文采用文献计量学方法,以Web of Science核心合集和中国知网(CNKI)为数据源,利用Vosviewer软件和R语言程序包Bibliometrix对农作物种植结构遥感提取领域近20年的发文量、发文国家、发文机构、载文期刊、关键词进行分析,系统地总结了农作物种植结构遥感提取领域的发展态势及热点问题,并对具体的数据源及方法的特点和应用现状进行总结分析。

1 数据来源与研究方法

研究的文献数据来源于Web of Science核心数据集和中国知网,具体文献检索规则如表1所示,获得初步检索结果后,对文献类型进行精炼,剔除会议通知、书评、新闻报道、政策文件、领导讲话等非学术性文章;然后,利用文献计量学方法对国内外现有农作物种植结构遥感提取领域的文献数据进行分析。文献计量学是一套注重量化分析的综合性知识体系,有利于帮助学者从海量文献中高效挖掘出其中隐藏的有价值的信息,预测出研究领域未来的发展趋势^[13]。本文主要利用Vosviewer软件和R语言程序包Bibliometrix,对所检索到的文献进行文章数量、发文国家和国内发文机构、主要发表期刊、研究内容与发展态势的计量和可视化分析。

2 文献现状分析

2.1 文献时序分布

发文量是科学界对某一领域关注程度的总体表征,可在一定程度上反映该领域的发展动态,并对判断研究趋势有重要意义^[12]。根据检索结果,绘制了2000年1月1日至2022年5月31日的中英文发文量图(图1),英文总发文量465篇,中文总发文量402篇。农作物种植结构遥感提取的研究整体分为初步探索和快速发展2个阶段。其中,2000-2010年为该研究领域的初步探索阶段,年均发文量为3.77篇,研究成果较少;2011-2022年为该研究领域的快速发展阶段,年发文量由2011年的20篇增长至2021年的139篇,年均发文量为32.67篇,是前一阶段的8.67倍。其原因可能是随着遥感技术的快速发展,能获取到更高时间、空间分辨率和更多光谱波段的遥感数据,推动了农作物种植结构遥感提取研究的发展。2000-2014年中英文文献年发文量明显增长;2019年至今该领域的英文文献发文量

增长迅速,高于中文文献发文量。从图 1 的中英文累计发文量可以看出农作物种植结构遥感提取研究的发展是稳步上升的,整体呈现指数增长的趋势,其拟合曲线 R^2 为 0.973 4,拟合优度较高。

表 1 文献检索规则及结果

Table 1 Literature search rules and results

类别	英文文献检索规则和结果	中文文献检索规则和结果
数据库	Web of Science 核心数据库	中国知网
检索式	TS=[(" Crop planting structure" or" Type of planting" or" Crop classification")and(" remote sensing")]	主题=("种植结构"+"种植类型"+"农作物分类") * "遥感"
文献类型	论文	期刊论文、学位论文
时间跨度	2000 年 1 月 1 日-2022 年 5 月 31 日	2000 年 1 月 1 日-2022 年 5 月 31 日
检索时间	2022 年 6 月 3 日	2022 年 6 月 3 日
检索结果	465 篇	402 篇

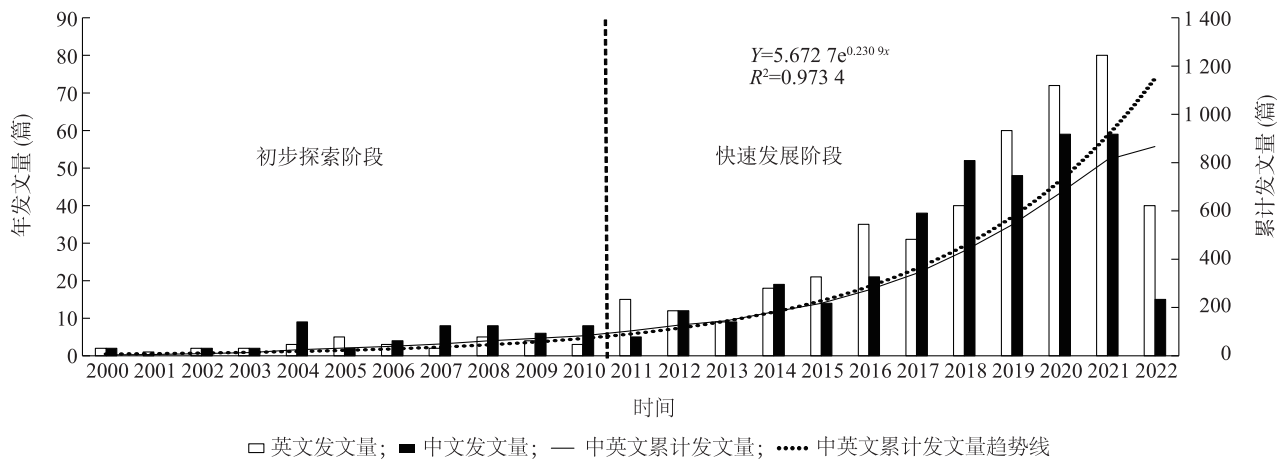


图 1 中、英文文献发文量变化趋势
Fig.1 Trend of publication number of Chinese and English literatures

2.2 国家及国内机构的发文量和合作分析

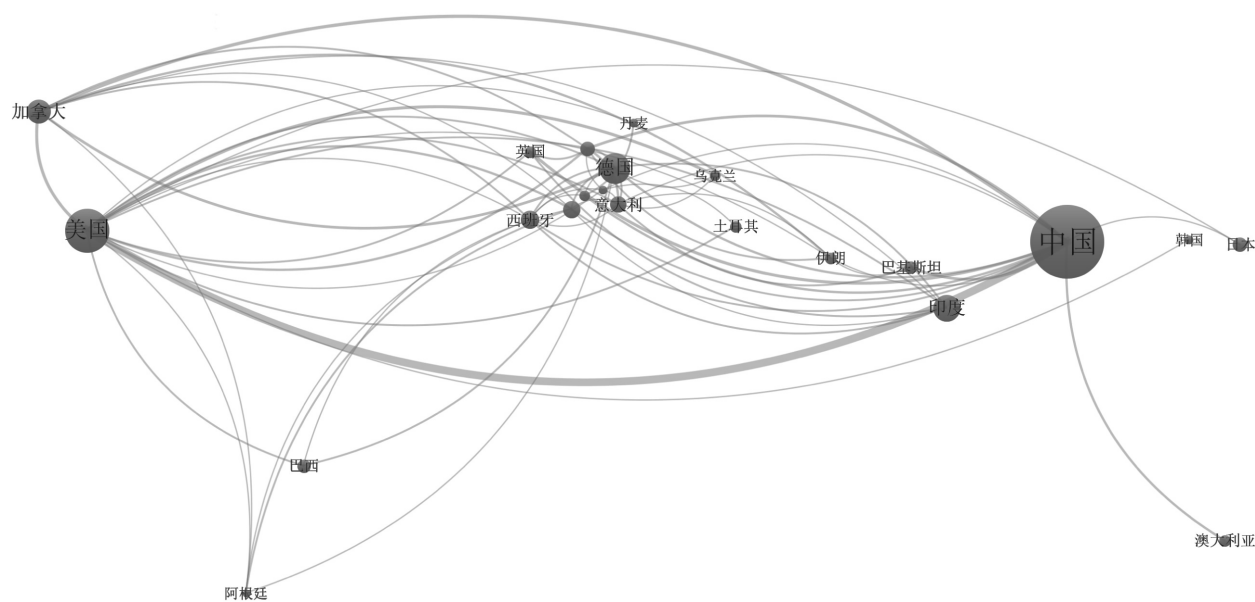
分别对发文量前 10 的英文文献的发文国家和中文文献的发文机构进行统计分析,结果如表 2 所示。农作物种植结构遥感提取领域英文文献发文量前三的国家分别是中国(197 篇)、美国(87 篇)、德国(46 篇);中文文献发文量前三的国内研究机构分别是中国科学院(89 篇)、中国农业科学院(38 篇)、北京师范大学(19 篇)。再利用 Vosviewer 分别对英文文献中的发文国家和中文文献中的发文机构进行网络共现图谱分析,结果如图 2 所示。

2.2.1 论文产出国家间合作网络分析 对 Web of Science 中的英文文献进行发文国家网络共现分析,其发文量、合作关系和大致的地理空间分布如图 2a 所示。中国、美国、德国、印度和加拿大是农作物种植结构遥感提取研究领域与其他国家合作较丰富的

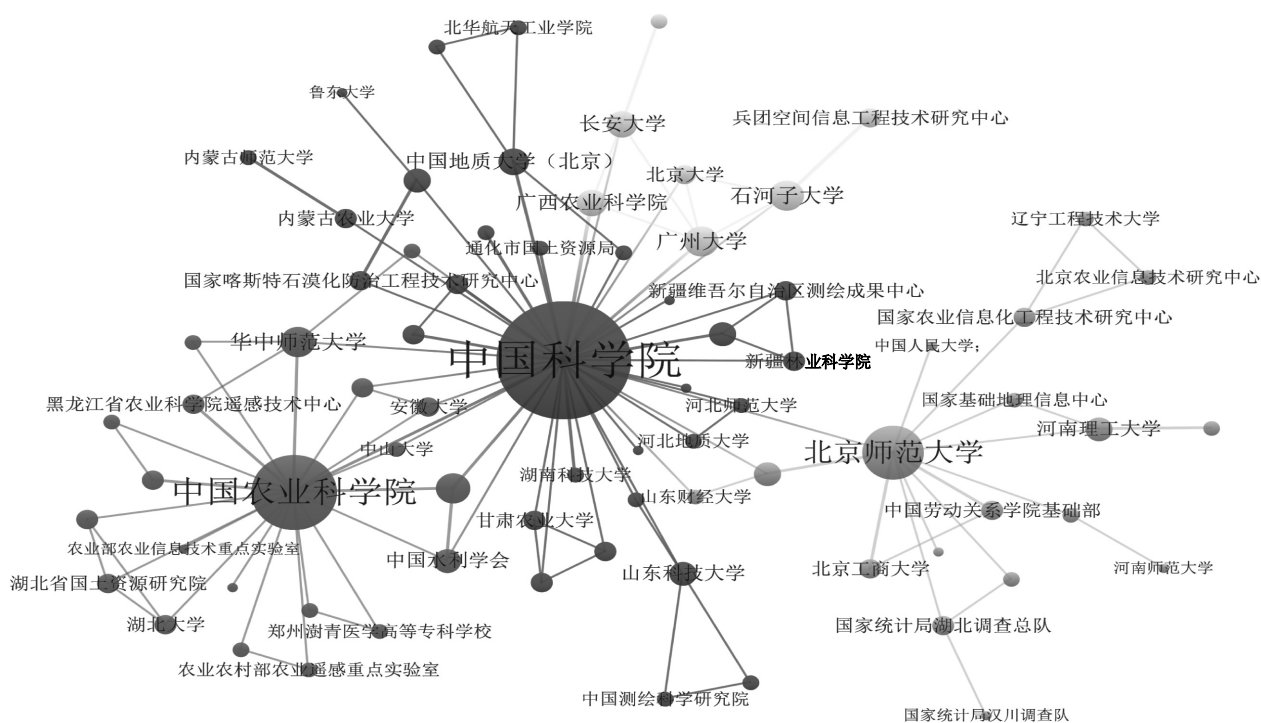
表 2 英文文献、中文文献发文量前 10 名的国家与国内机构
Table 2 Top ten countries and domestic institutions in terms of publication number of English and Chinese literatures

发文国家 (英文文献)	发文数量 (篇)	发文机构(中文文献)	发文数量 (篇)
中国	197	中国科学院	89
美国	87	中国农业科学院	38
德国	46	北京师范大学	19
印度	37	西北农林科技大学	17
加拿大	31	东北农业大学	15
西班牙	20	中国水利水电科学研究院	15
法国	18	内蒙古农业大学	14
意大利	17	武汉大学	13
荷兰	14	河北工程大学	13
日本	13	吉林大学	10

5 个国家。在所有发文国家中中国发文量最多,与



(a) 国家间合作



(b) 国内机构间合作

图2 国家间及国内机构间研究合作网络图谱

Fig.2 Research cooperation network map between nations and domestic agencies

美国、德国、加拿大、西班牙等 14 个国家有合作关系,中国与印度等 7 个国家没有合作关系,其中中国和美国是在整个国家合作关系网中合作最密切的 2

个国家。

2.2.2 中国学术机构间的科研合作 图 2b 是利用 Vosviewer 对知网文献的发文机构进行网络共现分

析,并对各二级机构进行合并,得到的机构合作网络图。在农作物种植结构遥感提取研究领域中主要研究机构是中国科学院和中国农业科学院。在整个机构合作共现网络中主要形成了以中国科学院、中国农业科学院、北京师范大学和广州大学为合作中心的 4 个聚类,中国科学院和其他 3 个合作中心都有紧密的合作关系。中国科学院作为国内自然科学研究领域重要的学术机构,在农作物种植结构遥感提取研究领域也是和其他机构合作交流最频繁的研究机构。

2.3 来源期刊分析

学术期刊是研究者发表成果的主要载体,对文献的来源期刊进行分析,有利于研究农作物种植结

构遥感提取的研究人员进行相关文献的查询和投稿^[14]。本文筛选出的 465 篇英文文献分布于 91 种期刊上,402 篇中文文献分布于 108 种期刊和硕士、博士学位论文中。表 3 展示了国内外关于农作物种植结构遥感提取研究载文量排名前 10 的期刊。其中,英文期刊载文数量最多的期刊是《Remote Sensing》,载文量为 110 篇,2021 年影响因子为 5.349,而影响因子最高的是《Remote Sensing of Environment》,其影响因子高达 13.850,载文量为 25 篇;中文期刊中发文量最多的是《农业工程学报》,载文量 27 篇,影响因子 3.446,而影响因子最高的是《地球信息科学学报》,影响因子为 3.455,载文量为 5 篇。

表 3 国内外农作物种植结构遥感提取研究载文量排名前 10 的期刊分布

Table 3 Distribution of top ten domestic and foreign journals ranked by paper number on remote sensing extraction of crop planting structures

期刊名称(英文)	载文数量 (篇)	影响因子 (2021 年)	期刊名称(中文)	载文数量 (篇)	影响因子 (2021 年)
Remote Sensing	110	5.349	农业工程学报	27	3.446
International Journal of Remote Sensing	40	3.531	中国农业资源与区划	12	3.214
Remote Sensing of Environment	25	13.850	遥感技术与应用	11	2.105
Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	24	4.715	遥感学报	10	3.171
International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	21	7.672	中国农业信息	10	1.250
Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	20	11.774	农业机械学报	8	3.327
Journal of Applied Remote Sensing	18	1.568	中国农业科学	6	3.191
Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing	16	8.125	测绘与空间地理信息	6	0.810
Computers and Electronics in Agriculture	13	6.757	地球信息科学学报	5	3.455
European Journal of Remote Sensing	11	3.168	灌溉排水学报	5	2.374

3 农作物种植结构遥感提取研究热点分析

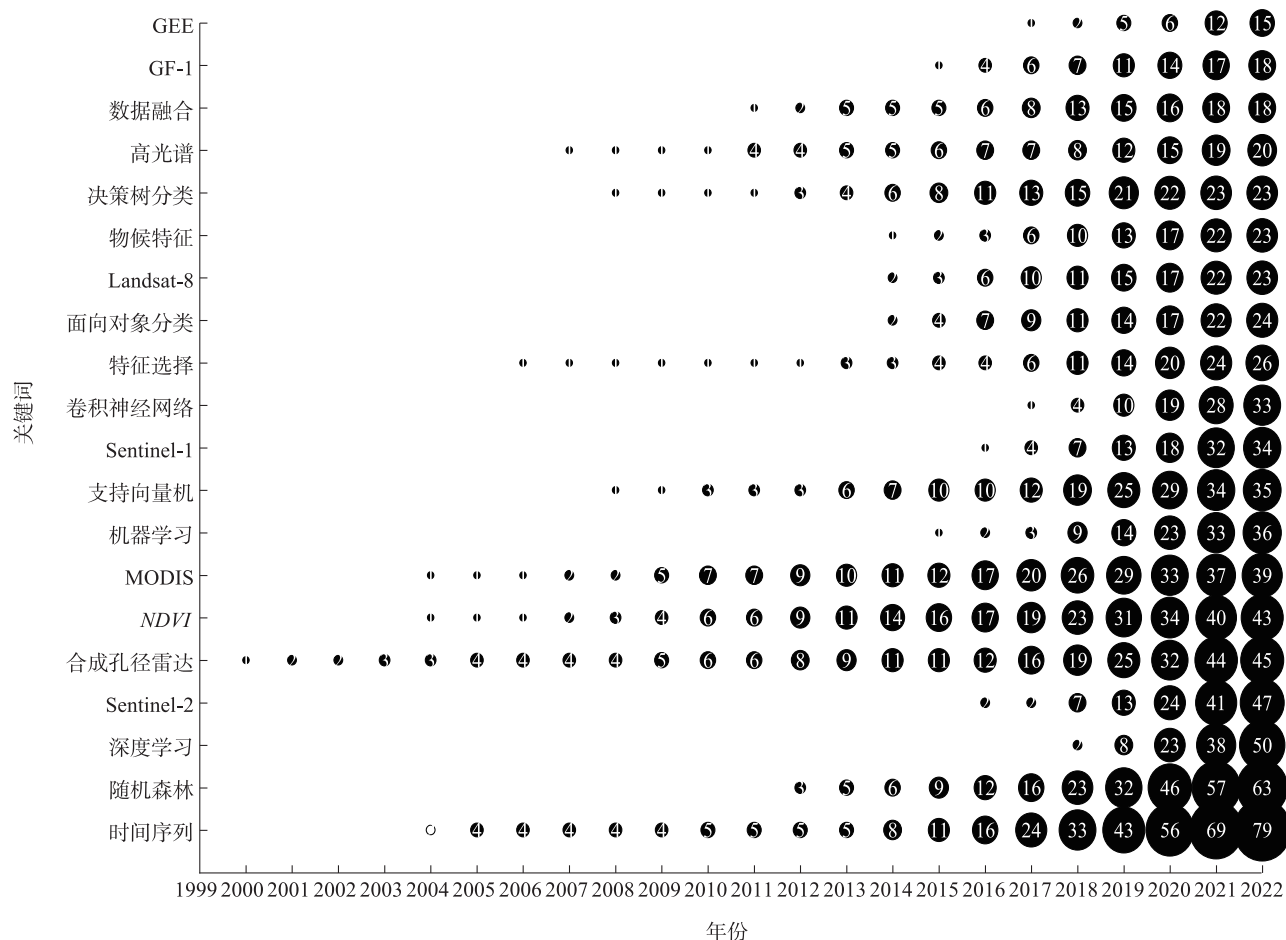
关键词是期刊论文和学位论文中内容或研究方法的高度概括,在一定程度上可以反映该领域研究方向的热点问题^[12-13]。使用 Vosviewer 分别对英文文献和中文文献进行关键词可视化分析,删掉遥感、种植结构、农作物这 3 个本体核心词,将部分同义关键词进行合并处理(例如:Landsat8 和 Landsat-8 合并为 Landsat-8),得到如图 3 所示的中文文献、英文文献的农作物种植结构遥感提取研究热点的密度视图,在密度视图中,关键词越接近黑色表示其共现的

频次越高,研究主题的热度越高。利用 Bibliometrix 程序包对中英文文献出现频次排名前 20 的关键词进行时间序列演变分析,结果如图 4 所示,图中圆的大小和数字表示 2000 年至当前年份该关键词出现的频次。结合文献分析对图中热门数据源和提取方法进行整理和总结,表 4 展示了热门数据的基本参数、适用性及挑战性,表 5 展示了热门提取方法的原理及特点。

由图 3 可知,英文文献中的热点关键词为 Random forest(随机森林)、Time-series(时间序列)、Sentinel-1、Sentinel-2、Deep learning(深度学习)、Phenology(物候学)、Machine learning(机器学习);中文文

发展速度一直稳定增大,至今已经拥有了较高的关注度。谷歌地球引擎 (Google earth engine, GEE) 是在遥感大数据时代背景下发展起来的遥感云计算平

台^[21],在 2017 年开始运用到农作物种植结构遥感提取中,近年来其关注度较高。



圆和数字的大小表示 2000 年至 2022 年该关键词出现的频次高低。NDVI:归一化植被指数;GEE:谷歌地球引擎;MODIS:中分辨率成像光谱仪。

图 4 农作物种植结构遥感提取研究热点关键词时间序列变化

Fig.4 Time series changes of hot keywords in research on remote sensing extraction of crop planting structures

3.3 特征选择

自 2018 年起多特征组合和特征优选就成为了农作物种植结构遥感提取研究领域的热点之一,其中归一化植被指数是应用最广泛的特征指数,在此之前已经有学者选择除光谱特征、时相特征和空间特征之外的物候特征作为提取特征。多特征量的集成可以有效地解决作物交界处和内部的光谱混合现象,在农作物种植结构复杂的区域有较好的表现^[4]。如何选择特征是农作物种植结构遥感提取研究面临的主要问题之一,若特征选择不合理不仅不能提高精度,反而会因为特征量的增加降低数据处理和运算效率造成数据冗余,同时还会带来误差

积累从而降低提取精度^[22]。最优的多特征量组合应该具有特征和目标相关性强、特征之间冗余小和不同作物种类间可分性强的特点,提取农作物种植结构才可以有效地提高运算速度和提取精度。

4 结论与展望

本文以 Web of Science 核心合集和中国知网的农作物种植结构遥感提取领域的 867 篇文献为数据源,利用文献计量法、Vosviewer 软件和 R 语言程序包 Bibliometrix,对发文量、发文国家、国内发文单位、载文期刊、关键词等关键信息进行统计分析和知识图谱可视化,分析作物种植结构遥感提取领域的研

究发展态势,得出以下主要结论:

表 4 农作物种植结构遥感提取研究采用的热点数据源信息

Table 4 Hotspot data source information used in remote sensing extraction of crop planting structure

名称	基本参数	适用性及挑战性
MODIS	覆盖 36 个波段,重访周期 1 d,最高分辨率 250 m	大测绘带宽,植被指数产品数据成熟 ^[23] ,在大尺度区域提取应用上优势明显
Landsat-8	OLI 陆地成像仪有 9 个波段,重访周期 16 d,最高分辨率 30 m	易获取、易处理、时间分辨率高及成本较低 ^[9] 。地块面积小于 900 m ² 时,会产生混合像元的问题 ^[24]
GF-1	PMS(高分相机)可获取 2 m 的全色影像和 8 m 的多光谱影像,不侧摆时重访周期 41 d	PMS 传感器影像可以满足对更精确的乡镇尺度的种植结构提取需求,但重访周期较长、幅宽较窄 ^[25]
	WFV(宽幅相机)可获取 16 m 的多光谱数据,重访周期 4 d	WFV 影像仅利用单一数据源就能构建具有高空间分辨率的时间序列遥感影像 ^[26]
Sentinel-2	覆盖 13 个光谱波段,2 颗卫星互补,重访周期 5 d,最高分辨率 10 m	在县级尺度的农作物种植结构提取效果较好,在更大尺度上的提取也有巨大的潜力 ^[27]
Sentinel-1	重访周期 6 d,最高分辨率 5 m	影像在种植结构提取过程中会产生斑点噪声,缺乏可充分利用的分类特征 ^[28]
雷达数据	GF-3 卫星影像、Sentinel-1、RADSAT-2	受天气影响小,全天候作业,为多云地区提供了良好数据源 ^[29] ;存在提取类型单一、算法机理性研究不足等缺点 ^[30]
高光谱数据	HJ-1A、GF-5 卫星影像、Hyperion	丰富的波段信息和高分辨率的光谱信息 ^[31] ,有高维度和高冗余的特点,易造成 Hughes 现象 ^[32]

MODIS:中分辨率成像光谱仪。

表 5 农作物种植结构遥感提取研究常用方法

Table 5 Common methods for remote sensing extraction of crop planting structures

提取方法	原理	特点
随机森林	利用训练建立多个决策树并选择投票次数最多的类别作为最后的输出结果 ^[33]	训练速度快、分类精度高、抗噪声能力强、客观性强 ^[34-35]
卷积神经网络	一种多层前馈神经网络,它是通过考虑局部和全局的平稳特性,为处理多阵列形式的大规模图像或传感数据而设计的 ^[36]	对特征的层次化表示、高效率运算以及端到端的自动化学习 ^[37]
决策树	是一种结合先验知识并自上而下进行机器学习的分类方法 ^[38]	具有快速、高效、易实现的特点,阈值设置具有一定的主观性 ^[39]
支持向量机	一种集数据分析、分类和回归于一体的算法,并引入风险最小化原理,在小样本信息空间中寻找最优超平面 ^[40]	样本需求量少,鲁棒性较好,执行效率高 ^[41]
面向对象分类	首先对影像进行了分割,得到同质区域的分类单位后再提取光谱、空间、时间等特征参数进行分类 ^[40]	提高了提取精度,抑制了“椒盐现象”

(1)世界范围内对农作物种植结构遥感提取的关注度在持续升高,2000–2022 年该领域的中英文累计发文量整体呈指数增长。中国是英文文献发文量最多(197 篇)的国家,也是与其他国家合作交流最丰富的国家,尤其与美国的合作最为密切;中文文献中主要的研究机构是中国科学院和中国农业科学院,在该领域和其他研究机构合作交流最频繁的研究机构是中国科学院。

(2)《农业工程学报》和《Remote Sensing》分别是国内、国外发表农作物种植结构遥感提取相关文章数量最多的期刊,而《Remote Sensing of Environment》是该领域影响因子最高的期刊,学者可以通过

关注这些具有高影响力、高载文量的期刊了解该领域的研究动态。

(3)通过对关键词进行可视化分析发现,中文文献中的研究热点为时间序列、面向对象分类、随机森林法、决策树分类、无人机遥感、GF-1、NDVI、MODIS,英文文献中的研究热点为 Random forest、Time-series、Sentinel-1、Sentinel-2、Deep learning、Phenology、Machine learning;对其进行时序变化分析发现,未来基于时间序列的多源数据更受学者的青睐,提取方法也向着基于 GEE 等云计算平台利用随机森林、卷积神经网络进行提取的方向发展,热门特征指数还是以 NDVI 为主并结合其他特征进行多特征量

的集成。

基于以上分析,笔者认为以下方面是农作物种植结构遥感提取研究未来关注的几个方面:①对种植结构复杂、地块破碎区域的种植结构进行精细化提取。过去对中国农作物种植结构遥感提取区域主要在种植结构单一、耕地地块较大、耕地资源分布集中的东北三省、河南省和新疆维吾尔自治区,但对种植结构复杂区域的遥感提取也是实际生产的需求。②避免数据冗余、对特征进行优选。丰富的高光谱数据和多源数据融合都为农作物种植结构提取提供了丰富的特征量,但随之也会造成一定的数据冗余,如何进行特征优选并得到最佳特征组合是当前和将来的一个热点话题。③利用遥感云计算平台对农作物种植结构进行高效率提取。当涉及大范围、长时间序列、多源遥感影像时,利用云计算平台可以节约大量的数据下载、预处理、影像分析的时间,大大提高提取速度。

参考文献:

- [1] CHANG Y L, TAN T H, CHEN T H, et al. Spatial-temporal neural network for rice field classification from SAR images[J]. Remote Sensing, 2022, 14(8): 1929.
- [2] SONG X P, POTAPOV P V, KRYLOV A, et al. National-scale soybean mapping and area estimation in the United States using medium resolution satellite imagery and field survey[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 190: 383-395.
- [3] LIU Y Q, WANG J Y. Revealing annual crop type distribution and spatiotemporal changes in Northeast China based on Google Earth Engine[J]. Remote Sensing, 2022, 14(16): 4056.
- [4] 胡琼, 吴文斌, 宋茜, 等. 农作物种植结构遥感提取研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1900-1914.
- [5] ORYNBAIKYZY A, GESSNER U, CONRAD C. Crop type classification using a combination of optical and radar remote sensing data: a review[J]. International Journal of Remote Sensing, 2019, 40(17): 6553-6595.
- [6] 宋茜, 胡琼, 陆苗, 等. 农作物空间分布遥感制图发展方向探讨[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(6): 57-65.
- [7] 刘俊伟, 陈鹏飞, 张东彦, 等. 基于时序 Sentinel-2 影像的梨树县作物种植结构[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1428-1436.
- [8] 张馨予, 蔡志文, 杨靖雅, 等. 时序滤波对农作物遥感识别的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(4): 215-224.
- [9] 刘吉凯, 钟仕全, 梁云海. 基于多时相 Landsat8 OLI 影像的作物种植结构提取[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(4): 775-783.
- [10] 陈诗扬, 刘佳. 基于 GF-6 时序数据的农作物识别深度学习算法评估[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 161-168.
- [11] BLICKENS DÖRFER L, SCHWIEDER M, PFLUGMACHER D, et al. Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany[J]. Remote Sensing of Environment, 2022, 269: 112831.
- [12] XIAO P N, QIAN P, XU J, et al. A bibliometric analysis of the application of remote sensing in crop spatial patterns: current status, progress and future directions[J]. Sustainability, 2022, 14(7): 4104.
- [13] 林湘岷, 沈宗专, 李荣, 等. 基于 Web of Science 的抑病型土壤文献计量分析[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 821-829.
- [14] 崔峰, 尚久杨. 中国农业文化遗产研究的文献计量与知识图谱分析——基于中国知网(CNKI)和 Web of Science 数据库[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(9): 1294-1304.
- [15] PAN L, XIA H M, ZHAO X Y, et al. Mapping winter crops using a phenology algorithm, time-series Sentinel-2 and Landsat-7/8 images, and google earth engine[J]. Remote Sensing, 2021, 13(13): 2510.
- [16] ZENG L, WARDLOW B D, XIANG D, et al. A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 237: 111511.
- [17] 王镭, 赵红莉, 蒋云钟, 等. 月尺度农作物提取中 GF-1 WVF 纹理特征的应用及分析[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(3): 72-79.
- [18] 杨同君, 占玉林, 田庆久, 等. 基于 GF-1/WFVNDVI 时间序列数据的作物分类[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 155-161.
- [19] 张良培, 何江, 杨倩倩, 等. 数据驱动的多源遥感信息融合研究进展[J]. 测绘学报, 2022, 51(7): 1317-1337.
- [20] 张立福, 彭明媛, 孙雪剑, 等. 遥感数据融合研究进展与文献定量分析(1992-2018)[J]. 遥感学报, 2019, 23(4): 603-619.
- [21] 牛乾坤, 刘浏, 黄冠华, 等. 基于 GEE 和机器学习的河套灌区复杂种植结构识别[J]. 农业工程学报, 2022, 38(6): 165-174.
- [22] 朱梦豪, 李国清, 彭壮壮. 特征优选下的农作物遥感分类研究[J]. 测绘科学, 2022, 47(3): 122-128.
- [23] 刘闯, 葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000, 15(3): 45-48.
- [24] 李晓慧, 王宏, 李晓兵, 等. 基于多时相 Landsat 8 OLI 影像的农作物遥感分类研究[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(2): 389-397.
- [25] 李冰, 梁燕华, 李丹丹, 等. 多时相 GF-1 卫星 PMS 影像提取农作物种植结构[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 56-62.
- [26] 杨同君, 占玉林, 田庆久, 等. 基于 GF-1/WFVNDVI 时间序列数据的作物分类[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 155-161.
- [27] 刘昊. 基于 Sentinel-2 影像的河套灌区作物种植结构提取[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(2): 88-95.
- [28] 钱丽沙, 姜浩, 陈水森, 等. 基于时空滤波 Sentinel-1 时序数据的田块尺度岭南作物分布提取[J]. 农业工程学报, 2022,

- 38(5): 158-166.
- [29] HALDAR D, PATNAIK C. Synergistic use of multi-temporal Radarsat SAR and AWiFS data for Rabi rice identification[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2010, 38(1): 153-160.
- [30] 王 迪,周清波,陈仲新,等. 基于合成孔径雷达的农作物识别研究进展[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 203-212.
- [31] 张 影,赵小娟,王 迪. 基于高光谱遥感的农作物分类研究进展[J]. 中国农业信息, 2019, 31(5): 1-12.
- [32] 郭 交,李仪邦,董思意,等. 融合栈式自编码与 CNN 的高光谱影像作物分类方法[J]. 农业机械学报, 2021, 52(12): 225-232.
- [33] ROY D P, KOVALSKYY V, ZHANG H K, et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 185: 57-70.
- [34] TATSUMI K, YAMASHIKI Y, TORRES M A C, et al. Crop classification of upland fields using random forest of time-series Landsat 7 ETM+ data[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 115: 171-179.
- [35] CHEN Y S, HOU J L, HUANG C L, et al. Mapping maize area in heterogeneous agricultural landscape with Multi-Temporal Sentinel-1 and Sentinel-2 images based on random forest[J]. Remote Sensing, 2021, 13(15): 2988.
- [36] ZHONG L H, HU L N, ZHOU H. Deep learning based multi-temporal crop classification [J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 221: 430-443.
- [37] 赵红伟,陈仲新,刘 佳. 深度学习方法在作物遥感分类中的应用和挑战[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(2): 35-49.
- [38] 杜保佳,张 晶,王宗明,等. 应用 Sentinel-2A NDVI 时间序列和面向对象决策树方法的农作物分类[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(5): 740-751.
- [39] 王连喜,徐胜男,李 琪,等. 基于决策树和混合像元分解的江苏省冬小麦种植面积提取[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 182-187.
- [40] 单治彬,孔金玲,张永庭,等. 面向对象的特色农作物种植遥感调查方法研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(10): 1509-1519.
- [41] 黄健熙,侯裔焯,武洪峰,等. 基于时间序列 MODIS 的农作物类型空间制图方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(10): 142-147,285.

(责任编辑:陈海霞)