

# 风云卫星数据在中国农业监测中的应用进展

许淇<sup>1, 2</sup> 李启亮<sup>1, 2</sup> 张吴平<sup>2</sup> 张晔萍<sup>1</sup> 张明伟<sup>1</sup> 高浩<sup>1</sup> 范锦龙<sup>1</sup>

(1 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2 山西农业大学资源与环境学院, 晋中 030800)

**摘要:** 我国风云卫星数据很早就已经在农业遥感中得到了应用, 第二代卫星发射之后的十年, 随着卫星技术水平、卫星数据处理和分发能力的提升, 风云卫星的农业遥感应用得到了快速的发展。目前我国学者利用风云卫星在作物长势监测、作物分类与面积统计和产量估算、农业气象灾害监测、草原生态监测以及数据精细化处理等方面开展了大量的研究工作, 取得了一系列新的成果。未来还应充分发挥风云卫星数据的巨大的潜力, 利用最新的云计算数据处理技术、基于互联网的信息技术服务技术, 面向全球农业监测, 及时、高效、准确地提供全球作物生产信息, 以支撑国家的粮食安全战略和联合国的可持续发展目标。

**关键词:** 风云卫星, 农业遥感, 作物长势, 作物分类, 农业气象灾害

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.004

## Overview of Agricultural Application of China's FY Satellite Data

Xu Qi<sup>1, 2</sup>, Li Qiliang<sup>1, 2</sup>, Zhang Wuping<sup>2</sup>, Zhang Yeping<sup>1</sup>, Zhang Mingwei<sup>1</sup>, Gao Hao<sup>1</sup>, Fan Jinlong<sup>1</sup>

(1 National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Resources and Environment College, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030800)

**Abstract:** China's FY satellite data have been applied in agricultural remote sensing for a long time. With the improvement of satellite technology, satellite data processing and distribution capabilities, the agricultural application of FY satellite data has been rapidly developed after the launch of the second generation of polar orbiting satellite. Chinese researchers have carried out a great deal of research work on crop growth monitoring, crop classification, crop planted area statistics and yield estimation, agricultural meteorological disaster monitoring, grassland ecological monitoring as well as the data processing, and achieved a lots. In near future, the tremendous potential of FY satellite data should be brought into the reality. The latest cloud computing of data processing and Internet-based information service technology will be used to provide timely, efficient and accurate global crop production information for global agricultural monitoring in order to support the national food security strategy and the sustainable development goals of the United Nations.

**Keywords:** FY, agricultural remote sensing, crop growth, crop classification, agrometeorological disasters

### 0 引言

我国是农业大国, 及时准确的农情信息对农业生产管理、国家粮食安全政策制订、农业可持续发展战略规划具有极其重要的意义。依靠人工定点观测或抽样调查获取农情信息的方法具有一定的滞后性和片面性, 难以满足大范围、宏观和及时的基本需求, 此外还需要大量的人力、物力和财力的投入。遥感技术凭借其观测范围大、重复观测周期短、数据可比性较强等特点, 在快速获取作物长势信息、作物空间分布、

产量估测及作物灾害调查等方面得到了广泛应用。我国农业遥感技术的研究与应用经历了从20世纪70年代末的技术引进、80年代到90年代中期的关键技术攻关、90年代中后期到现在的快速发展、业务应用几个阶段<sup>[1]</sup>。近年来, 随着我国风云气象卫星第二代极轨卫星的发展, 其上搭载的中低分辨率传感器的数据质量得到了大幅提升, 并可以近实时获取全球数据, 在全球农业监测中逐渐发挥着重要的作用。

我国第一代极轨卫星风云一号A、B、C和D星分别于1988年、1990年、1999年和2002年发射。风云三号第二代极轨卫星系列目前有4颗卫星(A星、B星、C星和D星, 简称FY-3A、FY-3B、FY-3C、FY-3D)在轨运行, 分别于2008年5月7日、2010年11月5日、2013年9月23日和2017年11月15日成功发射, 星上主要搭载有中分辨率成像光谱仪(MERSI)和FY-3

收稿日期: 2018年11月1日; 修回日期: 2019年1月3日  
第一作者: 许淇(1995—), E-mail: 18235431730@163.com  
通信作者: 范锦龙(1975—), E-mail: fanjl@cma.gov.cn  
资助信息: 国家自然科学基金项目(41271429); 欧盟FP7 SIGMA603719; 中欧龙计划 32194

微波成像仪<sup>[2]</sup>, MERSI数据具有全球性、全天候、三维、定量、多光谱遥感的特点, 并可免费下载使用, 具有监测全球性自然灾害和生态环境变化的能力, MERSI数据还拥有包括蓝、绿、红、近红和热红外在内的5个250 m分辨率的波段(表1)<sup>[2]</sup>, 进一步加强

了对地表精细地物的观测能力, 为大面积农业遥感提供了新的遥感数据源<sup>[3]</sup>。此外, FY-3微波成像仪(表2)以其在监测土壤水分方面的明显优势可为农情遥感提供监测数据。

我国在20世纪90年代就开始推动风云卫星数据在

表1 MERSI 250米分辨率通道特性  
Table 1 MERSI 250m resolution channel characteristics

通道设置	通道号	中心波长	波段范围	噪声等效反射率A (%) 或噪声等效温差 (300 K)	动态范围 (A或K)
分辨率为250 m的宽波段 (主要用于云、植被和地表温度)	1	0.47 $\mu\text{m}$	0.445~0.495 $\mu\text{m}$	0.45	100%
	2	0.55 $\mu\text{m}$	0.525~0.575 $\mu\text{m}$	0.40	100%
	3	0.65 $\mu\text{m}$	0.625~0.675 $\mu\text{m}$	0.40	100%
	4	0.865 $\mu\text{m}$	0.840~0.890 $\mu\text{m}$	0.45	100%
	5	11.25 $\mu\text{m}$	10.0~12.5 $\mu\text{m}$	0.50 K	300 K

注: 在第5-6栏中, 第1-4通道的数据为反射率, 第5通道的数据为温差或最大温度。

表2 FY-3微波成像仪主要系统参数

Table 2 main system parameters of FY-3 microwave imager

频率/GHz	10.65	18.7	23.8	36.5	89
极化	V/H	V/H	V/H	V/H	V/H
带宽/MHz	180	200	400	900	4600
灵敏度/K	0.5	0.5	0.8	0.5	1.0
定标误差/K	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
地面分辨率/ km $\times$ km $\leq$	51 $\times$ 85	30 $\times$ 50	27 $\times$ 45	18 $\times$ 30	9 $\times$ 15
扫描方式	圆锥扫描				
天线视角/ $^{\circ}$	45 $\pm$ 0.1				
幅宽/km	1400				

农业遥感中的应用工作<sup>[4]</sup>, 随着卫星技术水平、卫星数据处理和分发能力的提升, 2008年发射第二代卫星之后, 风云气象卫星的农业遥感应用得到了快速的发展, 本文将重点对我国学者利用风云卫星在作物长势监测、作物分类与面积估计、农业气象灾害监测、草原生态监测以及数据精细化处理等方面的最新应用进行概述和总结。

## 1 风云卫星数据的处理方法研究

遥感数据处理是数据应用前的关键一环。遥感数据的处理方法比较成熟, 但由于FY-3/MERSI是新的卫星数据源, 随卫星工程开发的卫星监测分析与遥感应用系统(SMART)有所滞后且该系统不是专门针对数据处理的, 在一定程度上影响了FY-3/MERSI L1数据的广泛应用。遥感数据应用前的处理方法主要包括HDF5格式的数据读取、辐射转换、太阳高度角订正、几何投影变换以及大气纠正等关键图像处理步骤<sup>[3]</sup>。

为了方便使用FY-3/MERSI数据开展农业应用研究, 在数据的读取与图像合成方面, 张茂鑫等<sup>[5]</sup>针对HDF5文件格式的MERSI影像数据的读取、图像合成方法进行了研究, 王卫东等<sup>[6]</sup>基于C++开发了风云三号卫星实时遥感数据提取和中分辨率真彩色图像合成

的方法; 在数据的校正转换方面, 邓书斌等<sup>[7]</sup>提出了将地理位置查照表(GLT)几何校正法应用于VIRR的几何校正, 杨何群等<sup>[8]</sup>采用基于三角网的几何校正算法实现了对研究区的全部20个通道的几何校正, 并在此基础上利用后向映射重采样输出各通道图像纠正后像元的数字值, 对其进行辐射定标、太阳高度角订正等预处理, 提高了FY-3/MERSI数据的处理效率。

在数据反演方面, 李聪等<sup>[9]</sup>批量处理了FY-3A/MERSI数据, 生成整个新疆的植被指数图, 节省了数据处理时间并为监测植物长势等后续应用作好了准备, 胡博等<sup>[10]</sup>利用IDL编程语言自动批量对全国数据进行处理并按旬生成NDVI和EVI两种植被指数, 提高了工作效率并方便了全国植被类型分布研究、植被长势监测以及推动了国产数据在林业中的应用等。然而, 在FY-3/MERSI的数据处理过程中发现MERSI数据的几何定位精度还存在数个像元的误差<sup>[11]</sup>, 在开展农业遥感应用前还需要进一步进行几何地理定位精度订正, 以保证时间序列遥感影像应用的质量。

在FY-3微波数据的处理及反演方面, 杨虎等<sup>[12]</sup>根据FY-3微波成像仪传感器参数特性借助微波地表辐射传输方程在10.65、18.7 GHz频段上模拟了地表微波辐射特性并建立了地表参数反演算法, 同时可以得到地表土壤水分和地表温度参数。权维俊等<sup>[13]</sup>提出了一个适用于NOAA AVHRR和FY-3A VIRR数据的改进型Becker和Li分裂窗地表温度反演算法, 为作物的干旱监测做好了准备。

遥感影像往往会由于天气、电磁干扰、数据传输故障等因素导致影像出现云遮盖、缺值、无数据的现象, 在研究使用中无法获取覆盖完整研究区、晴空、长时间序列、逐旬的影像以及数据处理流程不成熟、不精准而带来较大误差, 如何应用现有的数据融合得

到所需数据以及进行精细化的数据处理成为了研究难点。众多学者针对Landsat、Sentinel、MODIS、资源一号数据的精细化处理进行了研究<sup>[14-24]</sup>。我国风云卫星精细化处理方面目前鲜有人研究，吴荣华等<sup>[25]</sup>针对FY-3A/MERSI数据进行了高精度交叉定标，洪毅等<sup>[26]</sup>通过对数据组合处理获取云图组合产品资料等方法，对FY-2静止气象卫星云图进行了高分辨率精细化处理，以上学者均针对风云卫星数据精准处理的部分环节进行了探讨，对数据的填补与融合方面还未开展。

## 2 风云卫星数据的农业应用

### 2.1 作物长势监测

作物的生长状况与作物的光谱反射特征密切相关，万宗义<sup>[27]</sup>观察发现FY-1号卫星两个探测通道的资料合成处理后的图像的色调差异反映了作物的长势差异。利用FY-3卫星影像数据不同波段的组合生成的归一化植被指数（NDVI）和增强植被指数（EVI），根据当年的植被指数与上一年或历史多年的平均，即可判断作物在该生育期内的长势，也可对同一区域的植被指数进行聚合，根据多年植被指数的对比来判断当前作物的长势情况。很多应用研究使用的就是这个技术方法<sup>[28-29]</sup>，祝必琴等<sup>[30]</sup>、梁凤超等<sup>[31]</sup>分别基于FY3B/MERSI数据计算所得的NDVI对水稻和棉花进行长势监测并得到了可观的结果，于成龙等<sup>[32]</sup>则利用EVI对水稻的关键生育期进行识别为长势监测提供了方法参考。国家卫星气象中心利用风云三号卫星的中分辨率数据构建了全球植被指数，并利用前后两年的植被指数差异对比，实现了全球作物的长势监测，但是作物长势监测信息发布还是利用常规技术。未来发展趋势是开发基于网络平台的系统，以便于更多的用户及时了解和掌握关注区域的作物长势。

### 2.2 作物分类与产量估算

作物的空间分布和面积统计对粮食安全、农业的可持续发展以及政府的宏观调控有着重要意义。作物的产量与其前期的生长状况和作物的种植面积有关，在获取当季作物空间分布的基础上可以由前期的植被指数及其变化与后期产量建立关系，进而对总产量进行估算。一些学者利用我国的气象卫星数据对大宗作物和经济作物进行了作物分类以及总产量研究，张文智<sup>[33]</sup>基于风云气象卫星MERSI数据和作物生长模型，采用数据同化方法，在我国华北地区开展了冬小麦估产的方法研究，表明FY-3/MERSI在作物产量估算中有较大的应用潜力，王馨凝等<sup>[34]</sup>研究发现基于250 m分辨率的MERSI数据采用最小距离法和最大似然法分类效果都要好于MODIS数据。武永利等<sup>[35]</sup>基于单时

相FY-3A/MERSI采用监督分类方法对山西南部冬小麦提取得到了可靠的结果。陈兴娟等<sup>[36]</sup>采用决策树模型自动提取江西水稻总体精度达90%以上，基本满足水稻生育期面积遥感监测与产量的需求，祝必琴等<sup>[30]</sup>研究发现FY3B/MERSI遥感影像可用于水稻苗情监测分类。李峰等<sup>[37]</sup>在菏泽市进行玉米面积提取，认为FY3等低分辨率卫星影像可以作为地面调查资料的有效补充，减少野外调查人力和物力的投入，特别是方便于进行大区域作物种植面积提取，樊香所等<sup>[38-39]</sup>利用冬季和春季早期获取的MERSI数据，采用分层提取的方法构建决策树，提取的华北平原冬小麦种植区精度可达90.8%；在基于MERSI NDVI旬产品建立作物提取模型对华北平原春玉米、夏玉米及棉花进行提取研究中，总体精度也达84%以上。我国的气象卫星数据在作物分类方面与面积估算中展现了较大的应用潜力，但多数研究还是针对大宗作物开展的研究，要进一步满足针对不同种植模式和复杂多样的作物进行遥感分类和面积提取的需求，还须进行更深入的研究。另外，开展业务化的作物分类工作，还需要利用部门力量加强地面样方数据的及时获取与处理，然后引入最新的遥感分类算法，如随机森林，构建一套遥感影像分类技术平台来支撑此项工作。

### 2.3 农业气象灾害调查

干旱是影响社会发展和农业生产的主要气象灾害之一。与地面观测相比，借助遥感技术进行大范围旱情动态监测具有一定的优势<sup>[40]</sup>。MERSI数据具有5个250 m分辨率通道，可以得到250 m分辨率的干旱监测结果，有比MODIS更为优越的应用潜力，利用FY-3/MERSI数据对中国大面积干旱连续监测对确保干旱监测的及时性和准确性有十分重要的意义。向大亨等<sup>[41]</sup>通过对比TVDI发现FY-3A MERSI具有与MODIS数据一样强的干旱监测能力，且在空间分辨率及光谱分辨率方面有较大的提高，武鹏飞等<sup>[42]</sup>对同一区域不同时次的FY-3A/MERSI与MODIS的归一化植被指数（NDVI）和比值植被指数（RVI）进行计算，并针对地面光谱和影像数据方面分析发现FY-3A/MERSI比MODIS数据更敏感。朱琳等<sup>[43]</sup>和李峰等<sup>[44]</sup>利用FY-3A MERSI数据基于垂直干旱指数进行干旱情况监测，发现基于FY-3A MERSI 250 m分辨率卫星资料计算的PDI能够客观反映研究区旱情的空间分布和动态发展过程，说明利用FY-3A MERSI卫星资料进行干旱监测可行。王颖等<sup>[32]</sup>基于FY-3A/MERSI数据建立了运用耦合干旱指数（VSWIC）评价干旱的方法，比运用VSWI指数评价干旱效果更理想。王卫东等<sup>[45]</sup>基于两

个红外通道的FY-3 VIRR一级(L1)数据,采用地表温度分裂窗反演算法反演得到的TDVI能较好的反映研究区干旱分布情况,改善了向大亨<sup>[41]</sup>、王颖<sup>[45]</sup>、李爽<sup>[47]</sup>、李峰<sup>[44]</sup>等基于MERSI单一红外通道反演精度不足的问题。刘凯等<sup>[48]</sup>建立了2015—2016年冬小麦生育期内月尺度的FY-3C/SM TVDI模型,初步实现冬小麦主要种植区内微波遥感监测10~20 cm土层旱情模型。现有的干旱监测研究大多是基于遥感指数开展的,未来应充分利用风云三号卫星的全球观测能力,在现有数据处理的基础上,直接生成相应的干旱指数,同时利用基于云平台的技术,直接服务于用户。

霜冻灾害通常发生在作物的幼苗期与花期(春季)和晚熟作物灌浆成熟期(秋季),作物每个物候期的生长状况均与其最终产量的形成密切相关<sup>[49]</sup>,幼苗期与花期、灌浆成熟期遭受霜冻灾害均可能直接造成作物的减产,甚至绝产,及时准确的获取霜情信息迫在眉睫。而依靠气象站插值得出的霜冻灾害和依靠霜冻实地调查分别具有不确定性与滞后性。刘晨晨<sup>[50]</sup>和牛新赞<sup>[51]</sup>探讨了风云卫星数据在宁夏自治区霜冻灾害监测的可行性和可靠性,为业务化霜冻监测提供理论和技术支持。以上学者的研究均未考虑云对监测结果的影响,并且针对试验点的研究普适性不强。未来为了更好地满足全国性准确的农业霜冻灾害监测的需求,应充分考虑并降低遥感数据处理环节带来的误差并且将更多的霜冻指标与卫星数据纳入监测系统。

## 2.4 草原生态监测

风云三号极轨气象卫星数据的快速、覆盖面广、不受地面条件限制的优点为草原监测提供了可能,并且植被指数空间分辨率为250 m,比以往研究常用的1.1 km分辨率的AVHRR能更详尽地反映草地的空间差异。裴浩等<sup>[52]</sup>利用第1代极轨气象卫星资料对内蒙古乌拉盖地区草地生产力的遥感估测研究表明运用极轨气象卫星遥感资料可以省时省力地实现大面积草地生产力的估测任务,同时保证其时效性、动态性、客观性和实用性。李云鹏等<sup>[53]</sup>建立了基于MERSI NDVI估测内蒙古草原牧草产量的估测模型,并证明了将其用于遥感估测天然草地牧草产量的可行性,其精度可以满足宏观测产的要求,不仅适合大面积监测估产,还可用于局部地域牧草产量的定点估产。基于我国气象卫星的草原生态监测处于初步发展阶段,未来需要建立产草量估测模型和草原承载力模型,快速、准确、实时的监测草原生产力变化,对草原生态系统给予及时的健康诊断。

随着我国气象卫星的快速发展,未来我们将面

临的是海量的卫星数据,如何处理、管理、应用、服务将成为研究难题。云平台已成为目前解决海量数据计算、存储、应用、发布等问题的重要途径。杨如军等<sup>[54]</sup>提出了基于“混合云”架构的国土资源运输局中心建设方案,极大地提高了数据处理和发布方面的工作效率;张树凡等<sup>[55]</sup>设计了基于云计算的多元遥感数据服务系统,在保护源数据安全、降低数据使用成本的前提下提高了数据的共享率及用户使用率;沈盛或<sup>[56]</sup>针对适用于云计算的高分辨率遥感影像存储组织结果进行了研究。未来应构建针对我国风云卫星的云平台系统,便捷高效的方便用户使用,推动我国风云卫星数据发挥最大效用。

## 3 结论与展望

农业领域是遥感技术最早开始应用和产生显著效益的领域。与欧美同类卫星相比,我国的卫星发展较晚,其应用的广度和深度还有限,可喜的是2008年以来在第二代极轨气象卫星数据的支持下,在农业领域的应用得到了一定程度的促进,在大面积作物分类与估产、作物的干旱和霜冻监测、草原生态系统监测等方面开展了系列性的工作,但风云卫星遥感数据的处理、应用及方法中仍存在不足和问题。

1) 完善、成熟、精准的数据处理平台是保证数据应用研究的基础。当前我国风云卫星数据处理的平台还不够成熟,在几何订正方面还存在较大的偏差,今后需要加强数据处理平台的建设,提升遥感数据处理的质量,以发挥我国卫星数据的最大效用。

2) 我国风云卫星数据在农业监测应用方面表现出巨大的潜力,完全实现业务化应用还需要调动各方资源继续推动科研向业务的转化。在农业应用方面不仅要开展针对研究区大宗作物分类、干旱、霜冻灾害监测、草原生产力等研究,还应进行更广泛的农业应用研究,寻求更有效的研究方法和思路以满足我国地形复杂、气候多样、作物类型繁多的现实需求。

在遥感参数反演方面,应积极开展除了现有的植被指数、干旱指数之外的叶片含水量、叶片生化组分、土壤有机质含量等方面的研究;在作物分类方面应建立样本数据库,动员公众志愿者采集和上传样本,降低样本获取的时间和费用,并在海量样本库的基础上尝试多类作物同步提取识别研究;在农业灾害监测方面,在现有干旱、霜冻灾害监测研究的基础上开展洪涝、农业病虫害研究。在此基础上我国风云卫星数据将更全面的服务于农业领域,同时将为农业政策制订与施用效果评估提供更完善的基础数据。

3) 未来应充分挖掘风云卫星数据的巨大的潜

力,利用最新的云计算数据处理技术、基于互联网的信息服务技术,建设风云卫星农业应用综合平台,面向全球农业监测,及时、高效、准确地提供全球作物生产信息,以支撑国家的粮食安全战略和联合国的可持续发展目标,同时,推动我国气象卫星在农业遥感领域发挥更大的效益。

### 参考文献

- [1] 陈仲新,任建强,唐华俊,等.农业遥感研究应用进展与展望.遥感学报,2016,20(5):748-767.
- [2] 杨军,董超华,卢乃猛,等.中国新一代极轨气象卫星——风云三号.气象学报,2009,67(4):501-509.
- [3] Fan J L, Pierre D. Crop monitoring using European and Chinese medium resolution satellite data. Symposium on the Dragon Program 3, 2016
- [4] 方宗义,江吉喜.风云一号气象卫星在气象和农业遥感中的应用.红外研究,1990(2):156-161.
- [5] 张茂鑫,李国春.基于HDF5文件格式的MERSI影像数据提取的研究与实现.现代农业科学,2009,16(3):189-191+222.
- [6] 王卫东,王钊,李登科.基于VC++的风云三号卫星实时遥感数据提取方法.陕西气象,2011(3):38-40.
- [7] 邓书斌,于强,骆知萌,等.ENVISAT下基于GLT的风云三号气象卫星几何校正研究.遥感信息,2009(2):98-99.
- [8] 杨何群,周红妹,尹球,等.FY-3气象卫星MERSI数据快速预处理IDL实现.遥感技术与应用,2012,27(4):566-574.
- [9] 李聪,张旭,石玉,等.基于多时相FY-3A/MERSI的新疆地区植被指数提取及变化分析.现代农业科技,2016(8):199-200,208.
- [10] 胡博,覃先林,杨飞,等.基于MERSI数据的处理及旬植被指数生成方法.中国农学通报,2012,28(10):63-68.
- [11] 范锦龙,张晔萍,李昌宝,等.风云卫星中分辨率遥感数据几何定位误差分析.遥感技术与应用,2018,33(4):621-627
- [12] 杨虎,施建成.FY-3微波成像仪地表参数反演研究.遥感技术与应用,2005(1):194-200.
- [13] 权维俊,韩秀珍,陈洪滨.基于AVHRR和VIRR数据的改进型Becker“分裂窗”地表温度反演算法.气象学报,2012,70(6):1356-1366.
- [14] 孙家柄,卢健,马吉莘.TM影像数据精处理和多重数据数字复合.武汉测绘科技大学学报,1989(4):1-7.
- [15] 彭检贵,罗为检,宁小斌,等.基于STARFM模型的遥感影像融合.中南林业调查规划,2018,37(3):32-37.
- [16] 姜晓晨,邓正栋,武国瑛,等.Landsat 8 OLI多光谱与全色影像融合算法的比较.信息技术与网络安全,2018,37(8):31-35.
- [17] 阳雄伟,陈春花.基于融合时间特征Landsat影像的水稻面积提取.地理空间信息,2018,16(6):87-89+96+9.
- [18] 凯楠.基于时空分辨率融合的延河流域植被季节变化分析.西北大学,2018.
- [19] 关韵桐,李金平.基于Sentinel-1A与Sentinel-2A融合的土地利用/覆盖分类研究——以昆明市呈贡区为例.测绘与空间地理信息,2018,41(7):95-98.
- [20] 郭交,朱琳,靳标.基于Sentinel-1和Sentinel-2数据融合的农作物分类.农业机械学报,2018,49(4):192-198.
- [21] 高书鹏.基于时空数据融合技术的云南省橡胶林识别方法研究.云南师范大学,2018.
- [22] 孙锐,荣媛,苏红波,等.MODIS和HJ-1CCD数据时空融合重构NDVI时间序列.遥感学报,2016,20(3):361-373.
- [23] 陈燕丽,何立,莫建飞,等.融合HJ-1 CCD和MODIS数据生成高分辨率影像方法对比.科学技术与工程,2018,18(32):1-6.
- [24] 袁如金,张敏,李世伟.基于华浩超算平台遥感影像几何校正研究——以资源一号02C数据为例.测绘与空间地理信息,2017,40(1):159-161.
- [25] 吴荣华,杨军,杨忠东,等.光谱响应差异对高精度交叉定标的影响——以FY-3A/MERSI与EOS/MODIS为研究实例.遥感信息,2011(2):51-57.
- [26] 洪毅,李玉柱,陈智源,等.FY-2卫星数字云图的细网格定量处理.浙江气象,2008(1):3-6,42.
- [27] 杨邦杰,裴志远.农作物长势的定义与遥感监测.农业工程学报,1999,15(3):214-218.
- [28] 吴炳方,张峰,刘成林,等.农作物长势综合遥感监测方法.遥感学报,2004,8(6):498-514.
- [29] 陈仲新.欧盟合作项目——“华北平原农作物长势监测与产量预测”正式启动.中国农业资源与区划,2005(2):F003.
- [30] 祝必琴,黄淑娥,陈兴鹏,等.基于FY3B/MERSI水稻长势监测及其与AQUA/MODIS数据对比分析.江西农业大学学报,2014,36(5):1009-1015.
- [31] 梁凤超,程红霞,胡列群,等.基于FY-3/MERSI数据监测棉花完整生长季长势的计算方法.新疆农业科学,2014,51(8):1381-1387.
- [32] 于成龙,刘丹,张志国.基于FY-3的黑龙省水稻关键发育期识别.中国农学通报,2014,30(9):55-60.
- [33] 张文智.国产气象卫星数据与作物生长模型同化的冬小麦估产方法研究.电子科技大学,2014.
- [34] 王馨凝,李国春.基于MERSI和MODIS数据的2种监督分类方法比较研究.现代农业科技,2009(7):266-268.
- [35] 武永利,赵永强,靳宁.单时相MERSI数据在冬小麦种植面积监测中的应用.中国农学通报,2011,27(14):127-131.
- [36] 陈兴鹏,黄淑娥,祝必琴,等.FY-3C/MERSI卫星影像水稻信息自动提取的决策树方法研究.江西农业学报,2016,28(2):85-89.
- [37] 李峰,王昊,秦泉,等.基于HJ-1 CCD影像的玉米种植面积估算研究.山东农业科学,2016,48(2):138-142.
- [38] 樊香所,许文波,范锦龙.FY-3250m分辨率数据的华北平原冬小麦提取.遥感学报,2015,19(4):586-593.
- [39] 樊香所.基于风云卫星中分辨率数据的农业种植区信息提取方法研究.电子科技大学,2015.
- [40] 郑有飞,徐芳,詹习武,等.基于AMSR-E数据的被动微波遥感干旱指数研究.南京气象学院学报,2009,32(2):189-195.
- [41] 向大享,刘良明,韩涛.FY-3A MERSI数据干旱监测能力评价.武汉大学学报(信息科学版),2010,35(3):334-338.
- [42] 武鹏飞,胡列群,李贵才,等.基于棉田光谱的FY-3A/MERSI与MODIS植被指数关系研究.沙漠与绿洲气象,2011,5(4):49-52.
- [43] 朱琳,刘健,张晔萍,等.FY-3A/MERSI数据在中国北方干旱监测中的应用.遥感学报,2010,14(5):1004-1016.
- [44] 李峰,赵玉金,赵红,等.FY-3A/MERSI数据在山东省农田干旱监测中的应用.干旱气象,2014,32(1):17-22.
- [45] 王颖,李国春,高阳华,等.FY-3A/MERSI数据在重庆市伏旱监测中的应用.现代农业科技,2011(10):271-273+278.
- [46] 王卫东,赵青兰,权文婷.FY-3 VIRR数据在陕西省干旱监测中的应用.陕西气象,2015(2):15-18.
- [47] 李爽,李国春.应用FY-3A/MERSI数据反演土壤水分的研究.现代农业科技,2011(10):261-264.
- [48] 刘凯,孙丽,孙海玥,等.基于风云微波数据的中国冬小麦区干旱监测研究.干旱气象,2017,35(6):918-925.
- [49] 任建强,陈仲新,唐华俊,等.长时间序列NOAA-NDVI数据在冬小麦区域估产中的应用.遥感技术与应用,2007(3):326-332.
- [50] 刘晨晨.风云卫星地表温度反演及其在霜冻监测中的应用.电子科技大学,2013.
- [51] 牛新赞.基于风云系列卫星的果树霜冻监测系统的设计与实现.电子科技大学,2013.
- [52] 裴浩,敖艳红.利用极轨气象卫星遥感监测草地生产力的研究——以内蒙古乌拉盖地区为例.干旱区资源与环境,1999(4):56-64.
- [53] 李云鹏,格根图,娜日苏,等.MERSI资料在内蒙古草原草产量估测中的应用研究.干旱区资源与环境,2012,26(9):154-159.
- [54] 杨如军,马骁驰,朱剑,等.基于混合云架构的广西国土资源云应用实践与探讨.国土资源信息化,2016(6):25-29.
- [55] 张树凡,吴新桥,曹宇,等.基于云计算的多源遥感数据服务系统研究.现代电子技术,2015,38(3):90-94.
- [56] 沈盛斌,刘哲,张平仓,等.一种适用于云计算可扩展高分辨率遥感影像存储组织结构.长江科学院院报,2014,31(12):107-112.