

风云气象卫星在农业遥感中的应用

张晔萍, 张明伟, 孙瑞静, 张元元, 张里阳

国家卫星气象中心, 北京 10081

摘要 总结了农业定量遥感、作物分类与种植面积估算、作物长势监测与产量预报、农业灾害监测等几方面的技术现状, 介绍了风云气象卫星与农业相关的定量监测产品, 展示了利用风云气象卫星数据开展的冬小麦面积提取、作物长势监测、物候监测及农业干旱等方面的业务应用, 提出了今后风云卫星农业遥感应用发展的思路。

关键词 风云气象卫星; 农业遥感; 作物识别; 作物长势; 干旱

农业遥感监测是指应用遥感技术, 采集并分析耕地或草地的数量、质量、利用状况, 以及主要农作物的面积、长势、灾害和产量等农情信息, 为相关政府部门、生产者、消费者提供信息支持。传统的农情监测依靠农情监测站点人工进行, 监测人员按照规范要求, 定期收集信息并逐级上报汇总, 数据准确可靠, 但存在周期长、时效性差、点上数据难以反映宏观情况、成本高等问题。卫星遥感具有观测范围大、周期短、效率高、反映宏观整体情况的优势, 逐渐成为农情监测的主要方式, 风云气象卫星在农业遥感应用中也日益发挥重要的作用。

1 农业遥感技术现状

中国农业遥感技术的研究与应用经历了从 20 世纪 70 年末的技术引进、80 年代到 90 年代中期的关键技术攻关到现在的快速发展、业务应用几个阶段^[1]。随着遥感技术的不断发展, 农业遥感的应用主

要包括农业定量遥感、作物分类与种植面积提取、作物长势监测与产量估算、农业灾害监测等几个方面。

农业定量遥感是利用遥感数据定量获取有关农作物生长的关键生物理化参数, 为作物生长模型、数据同化系统以及作物估产等研究提供可靠的输入参数。叶面积指数、土壤含水量是定量遥感的关键参数, 其反演技术在数据源选择、方法研究及作物定量应用方面都有进步。其他农田环境参数如叶片含水量、光合有效辐射、氮磷等营养元素以及生物量等重要植被生化组分遥感反演也取得了明显进展^[2]。但农业遥感定量反演多集中在经验统计方法的应用和改进上, 物理模型方法的研究相对缺乏, 如作物叶面积指数的辐射传输模型和适用于田间尺度的土壤水分反演模型等仍需要加强创新^[3]。

农作物遥感识别方法可概括为单时相法、多时相法和空间抽样法等^[4]。单时相法面向高空间分辨率遥感数据, 适于种植结构简单的区域, 选取作物关键物候期的单幅影像, 主要采用像元尺度的监督

收稿日期: 2020-12-18; 修订日期: 2021-04-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1506500)

作者简介: 张晔萍, 高级工程师, 研究方向为卫星遥感环境与生态监测, 电子信箱: zhangyeping@cma.gov.cn

引用格式: 张晔萍, 张明伟, 孙瑞静, 等. 风云气象卫星在农业遥感中的应用[J]. 科技导报, 2021, 39(15): 39-45; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.15.004

分类、非监督分类以及面向对象的图像分类技术。该方法受影像时相限制,对于大区域以及条件复杂的地区分类精度有待进一步提高。对于大尺度作物分类和面积遥感监测,可使用风云三号气象卫星(FY-3)和地球观测系统(earth observing system, EOS)中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectrometer, MODIS)等低分辨率的遥感数据,构建多时相特征阈值判别模型,该方法通常采用阈值法,实现阈值的自动化是实现作物遥感快速识别作物的关键^[5]。随着机器学习和数据挖掘技术的广泛应用,如回归决策树、随机森林等也广泛应用到农作物分类遥感提取中,可挖掘不同作物识别的最佳特征量及阈值,有效克服阈值法中特征量及阈值选取的主观性^[6]。空间抽样法是遥感与传统统计调查方法相结合的农作物面积提取方法,在统计抽样框架下,通过遥感技术获取抽样区的作物面积,进而推算目标区域范围的农作物面积。

在全国或大尺度作物长势监测和产量估测中,低空间分辨率EOS/MODIS、风云卫星以及诺阿(NOAA)气象卫星搭载的甚高分辨率辐射计(advanced very high resolution radiometer, AVHRR)遥感数据应用较为普及,业务化应用较为成熟。农作物长势遥感监测方法主要包括统计监测方法、年际比较法和长势过程监测法^[7]。国内大面积作物产量遥感估算模型主要包括经验模型、半机理模型和机理模型。经验模型是简单地建立作物单产与光谱植被指数或遥感反演作物冠层参数等之间的相关关系;半机理模型是定量反演单产形成的各种限制因子或生物物理参数,实现作物生物量的动态模拟,建立单产模型;机理模型对作物生理生化过程进行数学描述,动态模拟作物生长全过程的模型,输入参数多,一定程度上限制了作物生长模型在大范围作物估产中的广泛应用^[8]。近年来,随着作物生长模型的发展,利用机理模型进行长势监测和作物估产取得进展,一定程度上提高了作物长势监测和产量估测的准确性。

与农业密切相关的自然灾害包括干旱、洪涝、低温冻害和病虫害等,农业灾害遥感监测技术得到了不同程度的发展。在农业干旱遥感监测方面,近年来,面向光学传感器建立了多种监测指标,如利

用可见光-近红外波段数据监测受干旱影响的植被长势变化;利用热红外波段获取地表温度日变化幅度和热模型结合估测土壤湿度;依据特征光谱空间原理,利用植被指数、地表温度等参数构建干旱指数;此外微波土壤水分监测在干旱监测中也得到了很好的应用。风云气象卫星数据在遥感干旱监测中的应用也逐步业务化。但是,由于利用遥感指数进行农业干旱遥感监测机理性不足,在精度方面还有待进一步提高。

2 风云气象卫星农业遥感定量产品

FY-3气象卫星是我国第二代极地轨道太阳同步气象卫星。FY-3A/B/C星均搭载了可见光红外扫描辐射计(visible and infrared radiometer, VIRR)和中分辨率光谱成像仪(medium resolution spectral imager, MERSI),VIRR包括10个波段,空间分辨率为1 km,其中通道1(0.58~0.68 μm)和通道2(0.84~0.89 μm)可用于植被和作物监测。MERSI有20个波段,其中波段3和4为红光和近红外波段,空间分辨率为250 m,是植被和农业监测的基本波段。风云三号D星(FY-3D)搭载的第二代中分辨率光谱成像仪MERSI-II与前几颗星相比有较大的改进,通道数从原来的20个增加到25个。250 m分辨率的通道增加至6个,包括2个250 m红外分裂窗通道。基于FY-3/VIRR和MERSI生成的植被指数产品以及风云三号微波成像仪(microwave radiation imager, MWRI)土壤水分产品在农情遥感监测中发挥着重要作用。

2.1 FY-3植被指数

植被指数是指2个或多个波段反射率进行线性或非线性组合,构成对植被有一定指示意义的各种数值,是对地表植被状况的简单、有效和经验的度量。其中以红光和近红外波段组合的归一化差植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)应用最广泛,可用于诊断植被或作物生长状态、反演作物生物物理参数(如叶面积指数、植被覆盖度)、植被与环境相互作用要素(如光能利用率、光合有效辐射吸收比例、净初级生产力等),是农业遥感应用的基础产品。

基于FY-3/VIRR和MERSI,国家卫星气象中心提供全球旬、月归一化差植被指数产品,其中包括1 km和250 m 2种空间分辨率,10°×10°分幅,投影方式为Hammer等面积投影。其中FY-3B卫星植被指数时间序列最长,自2012年6月至今。

2.2 FY-3/MWRI土壤水分产品

FY-3极轨气象卫星搭载的微波成像仪MWRI为高灵敏度全功率微波辐射计,在10.65~89 GHz频段内设置5个频点,每个频点包括垂直和水平2种极化方式,其中低频10.65 GHz通道具有穿透云雨的能力,对地表粗糙度和介电常数比较敏感,可用于获取全球土壤水分。

FY-3微波成像仪土壤水分采用单频率双通道反演算法。基于植被水云模型,模拟了多种植被和地表参数条件下的微波辐射特性。结合光学植被指数产品估算植被含水量,进而改善微波植被光学厚度估算精度,校正植被的影响,分离出地表辐射信号。依据电磁理论模型的模拟结果,采用基于参数化地表辐射(Q_p)模型的裸土土壤水分反演技术,从垂直极化和水平极化亮温中去除地表粗糙度的影响,获取光滑地表反射率,反演土壤水分含量。目前FY-3/MWRI土壤水分产品空间分辨率为25 km,有日、旬、月3种时间频次的全球产品。该产品在干旱/半干旱及中低植被覆盖下具备良好的适用性,可有效监测全球和区域土壤水分动态。

3 风云气象卫星农业遥感应应用

近几年,国家卫星气象中心利用风云气象卫星数据和产品开展了冬小麦作物面积提取、全国作物长势监测、物候遥感监测和农业干旱监测等方面的业务化应用,为相关部门提供了定常服务和数据支撑。

3.1 冬小麦面积遥感提取

根据统计学原理,结合调查已有的野外抽样地块,建立样方数据集。根据所要识别的作物类型,针对FY-3数据选取特征波段和生成特征参量,特征波段选择主要考虑以下因素:通道信息含量的多少,各通道数据间的相关性强弱,研究区内拟识别作物的光谱特征。为进一步提高地物之间的可分性,利用特征波段构造不同特征指数用于作物类型遥感识别。将作物物候历和历史作物资料相结合,确定FY-3数据的时间序列,估计混种作物的可分信息。以华北黄淮地区的冬小麦为例,使用的时间序列为上年10~12月和翌年的2~4月数据。在作物时间光谱特征数据、野外样方数据、典型样区高分辨率遥感影像、DEM数据等支持下,对典型类型数据进行综合分析。在业务应用中,使用监督分类方法进行冬小麦面积提取。FY-3气象卫星2019年和2018年2年冬小麦面积遥感监测结果(图1)对比可见,河南、山东、河北种植面积持平;安徽、湖北2019年种植面积较上年增加。

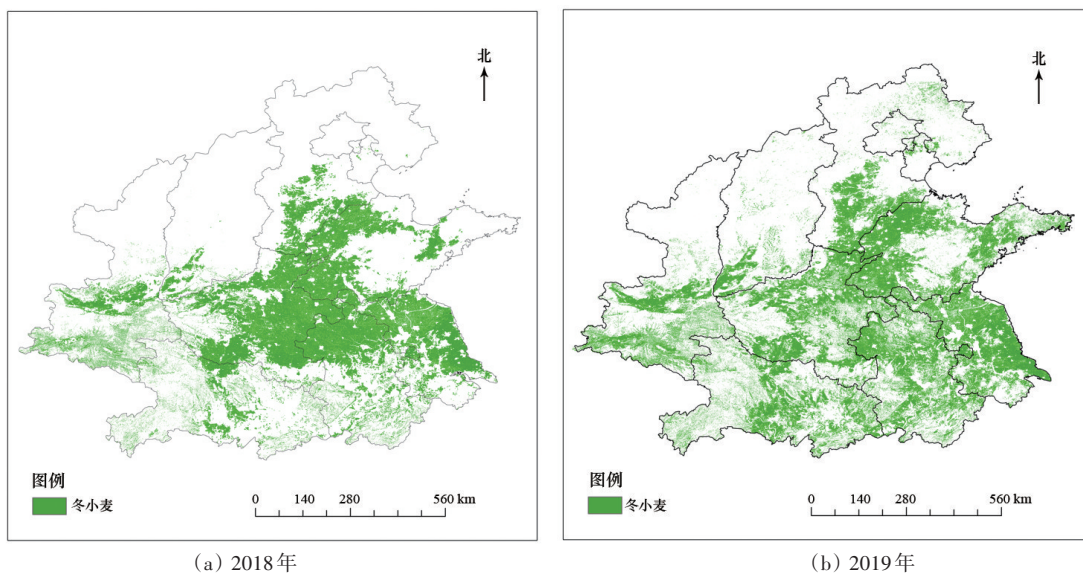


图1 FY-3卫星华北黄淮冬小麦分布

3.2 作物长势监测

植被指数、叶面积指数是公认的能够反映作物长势的遥感监测指标,此外条件植被指数(vegetation condition index, VCI)和条件温度指数(temperature condition index, TCI)等指标也可用于作物长势监测。而在遥感监测中通常使用NDVI,采用的方法多为年际类方法,将监测周期内的植被指数与上一年度同期相比,或与多年同期均值相比即距平,根据植被指数差值或距平将作物长势划分为5个等级:偏差、持平偏差、持平、持平偏好、偏好。

使用上述方法,利用FY-3数据和产品,可对我国主产区冬小麦长势进行分析。一般10~12月作为越冬前分析时段,2月份作为返青分析时段。将10~12逐月NDVI进行最大值合成得到越冬前NDVI,分别统计冬小麦主产区耕地区域2015年以来的越冬

前和返青期的NDVI距平以及与上年同期NDVI的差值。统计结果显示:越冬前,与上一年相比,河北南部、河南、山东、江苏等地大部区域作物长势偏差,与常年同期持平或持平偏差(图2~图4)。2月份(返青期)统计结果显示,河北、河南、山东、安徽、江苏和湖北主产区冬小麦长势偏好(图5~图7)。

3.3 植物物候期遥感监测

近几年,国家卫星气象中心利用FY-3数据开展了冬小麦物候遥感监测以及北方草原牧草物候遥感监测。以冬小麦物候遥感监测为例,首先,建立FY-3旬植被指数序列,数据的时间范围是上年10月~次年6月;其次,采用Savitzky-Golay时间序列平滑方法去除植被指数数据中云和噪声影响,重构高质量的FY-3旬植被指数时间序列;其三,基于像元尺度建立冬小麦生长曲线;最后,采用滑动窗

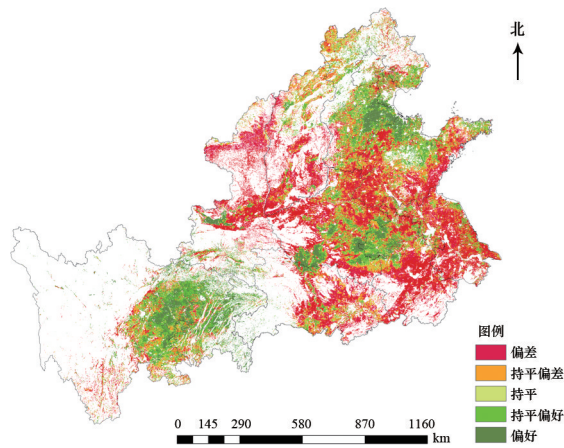


图2 FY-3卫星冬小麦主要种植省份耕地区域植被长势(2019—2020年度越冬前与2018—2019年度越冬前比较)

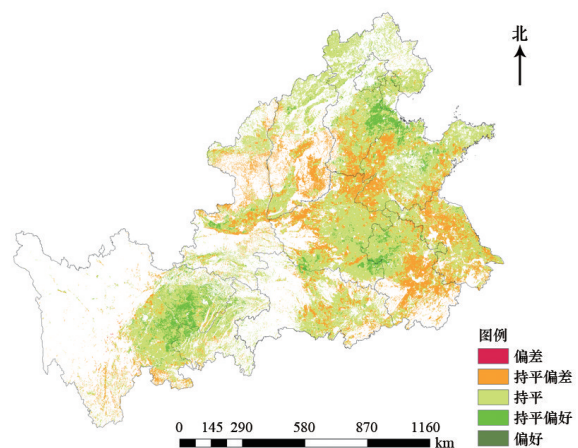


图3 冬小麦主要种植省份耕地区域植被长势(2019—2020年度越冬前与2015年以来同期平均值比较)

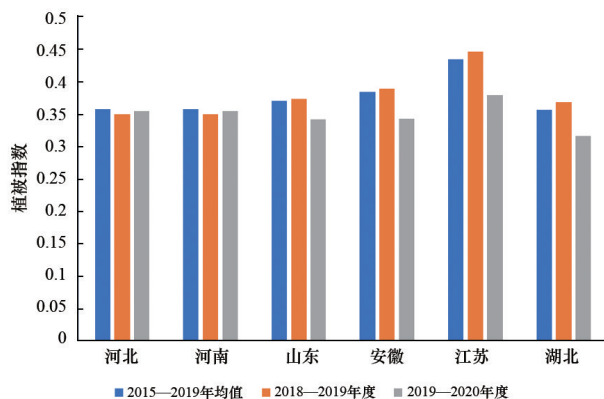


图4 冬小麦主要种植省份耕地区域平均植被指数统计(越冬前)

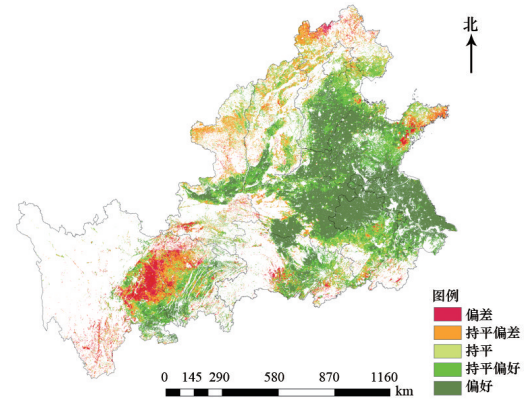


图5 冬小麦主要种植省份耕地区域植被长势(2020年2月与2019年2月比较)

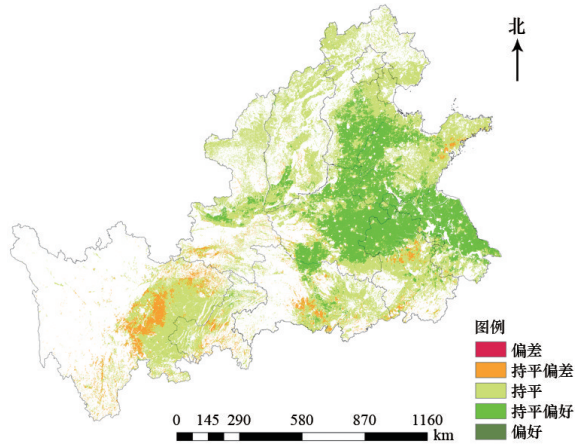


图6 冬小麦主要种植省份耕地区域植被长势 (2020年2月与2015—2019年同期平均值比较)

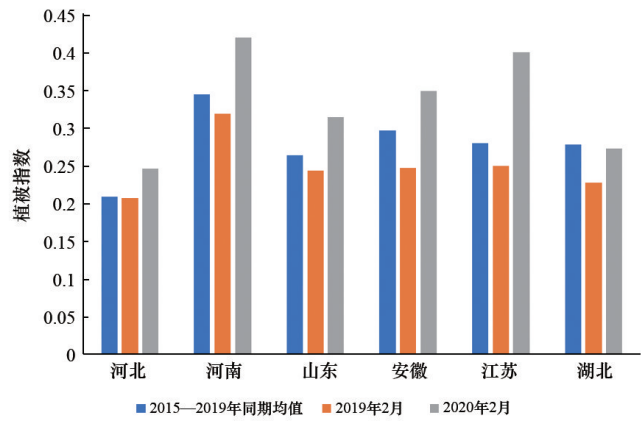


图7 冬小麦主要种植省份耕地区域平均植被指数统计 (越冬后返青期)

口,对窗口内 NDVI 数据进行线性回归,使用最大斜率法逐像元确定物候期。冬小麦物候期包括返青期(NDVI 快速上升)、抽穗期(NDVI 最大值)和收获期(NDVI 快速下降阶段)。采用类似方法,可以提取草原的返青期和枯黄期。

利用FY-3B/VIRR 2018年和2019年1月上旬至5月中旬NDVI数据对我国西部和北部草地植被返青期进行监测(图8、图9)。结果显示:2019年新疆北部草地植被返青期主要集中在3月上旬和中旬,伊犁河谷牧草2月下旬开始返青,天山南麓牧草返青时间多为4月上、中旬;青藏高原草地植被返青期主要集中在3月中下旬,局部在4月上、中旬;甘南牧草的返青在2月下旬至3月中旬;内蒙古中部和宁夏牧草返青期集中在4月上旬,内蒙古东北部牧草返青期主要集中在4月中旬和下旬;陕

西、山西和河北牧草的返青期集中在2月下旬和3月上旬。与2018年相比,青藏高原草地植被返青期普遍提前了大约2旬;内蒙古中部推迟大约1旬;其他区域返青期大致相同。

3.4 干旱监测

国家卫星气象中心采用热惯量方法发布旬干旱监测产品,此外基于能量平衡模型,研发了风云二号(FY-2)和风云四号(FY-4)静止气象卫星地表相对蒸散产品。地表蒸散直接描述了由于地表蒸发和植物蒸腾作用而导致的实际失水量,因此基于地表蒸散的干旱监测指标具有明确的生物学含义,且相对于热惯量方法,它在高植被覆盖区有更好的适用性。利用FY-2/4卫星地表蒸散时间序列数据集,构建了相对蒸散距平百分率的干旱指数,消除了季节和地域气候类型等因素对干旱等级划

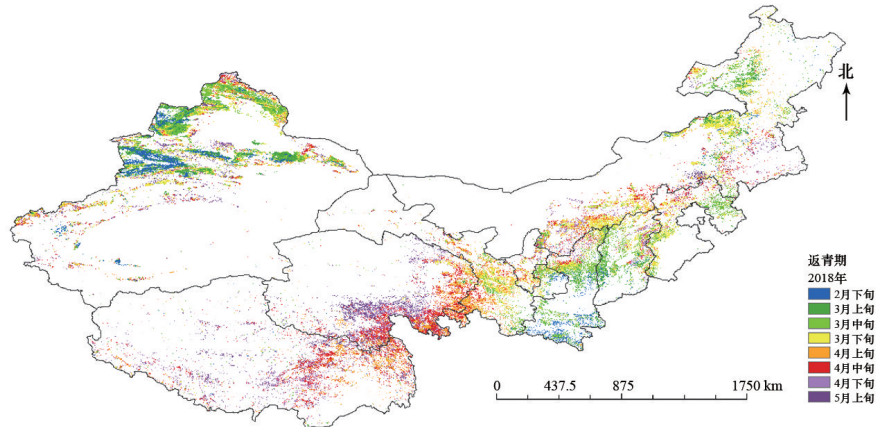


图8 FY-3B气象卫星2018年我国西部及北部草地返青期监测

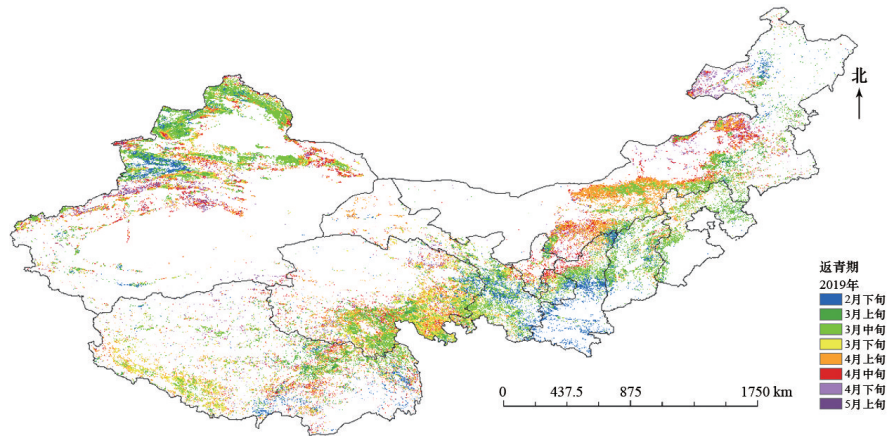


图9 FY-3B气象卫星2019年我国西部及北部草地返青期监测

分的影响^[9],该方法在全国和区域尺度的旱情监测中显示出良好的监测能力。

将FY-3/MWRI土壤水分产品应用于干旱监测,发挥了微波遥感全天候观测的优势,弥补了光学数据有云条件下无法监测旱情的不足。基于可见光至热红外波段的干旱指数间接地反映旱情,而基于微波土壤水分的监测指标直接反映旱情,具有更好的普适性。自FY-3B星发射以来,已积累了近10年的土壤水分监测数据,利用FY-3时间序列土壤水分距平、距平百分率以及归一化土壤水分指数开展干旱监测,提高了对全球重大干旱事件的响应和服务能力。

2019年夏秋,长江中下游地区发生了60年一遇的严重干旱。2019年10月12—21日的地表相对蒸散距平百分率监测结果(图10)显示,江南大部、江淮中西部、江汉东部地表相对蒸散值较常年偏低,存在不同程度旱情。江西、福建、安徽、浙江、湖南分别约有8%、5.7%、5.2%、5%、3.7%面积的地表相对蒸散距平百分率在-20%以下,旱情较为明显。利用2019年10月11—20日FY-3数据制作的土壤水分距平图(图11)显示,与近年相比,江淮西部、江南中东部等地土壤水分偏低,其中,安徽大部、江西东部和南部、湖南东南部、福建西部和浙江的部分地区土壤水分显著偏低,旱情较为明显。

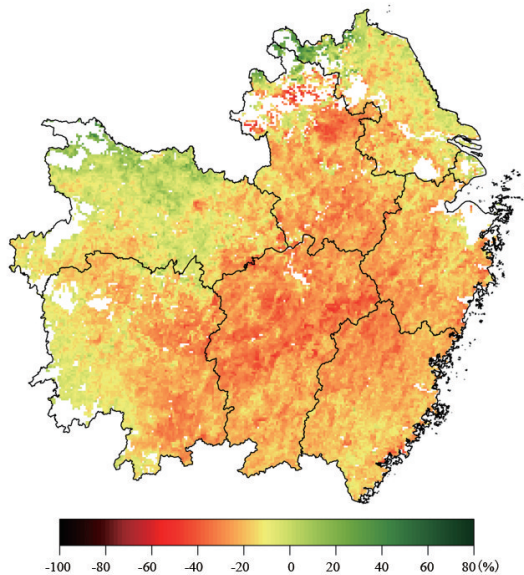


图10 FY-4A卫星地表相对蒸散距平百分率监测
(2019年10月12—21日)

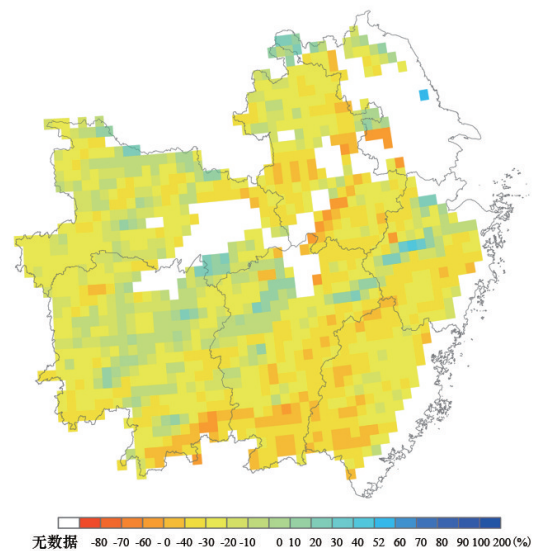


图11 FY-3/MWRI土壤水分距平百分率监测
(2019年10月11—10月20日)

4 展望

风云气象卫星在农业遥感中的应用已形成基本的业务框架。国家卫星气象中心建立了以冬小麦为主的大宗作物面积提取和植物物候期遥感监测技术流程,开展了全国干旱和作物长势定常监测,具备了全球的重大干旱事件及作物长势监测能力。但是,与国际先进水平和服务需求相比,服务产品和应用水平尚存在一些不足,未来还需要不断提高农业遥感应用水平,更好地满足农业生产的需求。

1) FY-3 气象卫星微波成像仪土壤水分产品算法采用的是基于正向模型的反演方法,此类方法的反演误差主要源于前向模型的过度简化及辅助数据的不确定性。通过对原有算法理论分析的基础上,综合考虑频段间的关联与不同,采用机器学习的技术弥补仪器低频段观测缺失的劣势,进一步提高土壤水分的反演精度。

2) 建立多指标的作物长势监测方法,引入多参数如 VCI、TCI、土壤水分、太阳辐射等,结合物候的实际变化,提高作物长势监测的有效性。

3) 持续开展各类遥感干旱监测方法的时空适宜性分析,改善单指标的监测精度,构建多指标的综合遥感干旱指标,提高监测产品时效性和有效性,形成全球农业干旱遥感监测的服务能力。

4) 开展风云卫星和国产高分辨率卫星的综合

应用,引进机器学习和数据挖掘技术,建立大尺度作物分布与区域精细化面积监测相结合的产品服务模式,更为精准地进行作物分类和面积提取,不断满足农业气象服务需求。

参考文献 (References)

- [1] 唐华俊. 农业遥感进展与展望[J]. 中国农业文摘, 2018, 5: 5-8.
- [2] 陈仲新, 任建强, 唐华俊, 等. 农业遥感研究应用进展与展望[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 748-767.
- [3] 屈泉西, 安萌, 梁德印, 等. 中国遥感卫星在农业领域的应用现状与未来发展[J]. 卫星应用, 2018, (3): 28-31
- [4] 王利民, 刘佳, 杨玲波, 等. 基于 NDVI 加权指数的冬小麦种植面积遥感监测[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 127-135.
- [5] 罗明, 陆洲, 徐飞飞, 等. 基于快速设定决策阈值的大范围作物种植分布的遥感监测研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(6): 27-33.
- [6] 胡琼. 基于时间序列的 MODIS 影像的农作物遥识别方法研究[D]. 北京: 农业资源与农业区划研究所, 2018.
- [7] 陈怀亮, 李颖, 张红卫. 农作物长势遥感监测业务化应用与研究进展[J]. 气象与环境科学, 2015, 38(1): 95-102.
- [8] 杨鹏, 吴文斌, 周清波, 等. 基于光谱反射信息的作物单产估测模型研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 262-268.
- [9] 张元元. 应用 FY-2 地表蒸散产品监测西南特大干旱[J]. 气象, 2011, 37(8): 999-1005.

Agricultural application using FY meteorological satellite

ZHANG Yeping, ZHANG Mingwei, SUN Ruijing, ZHANG Yuanyuan, ZHANG Liyang

National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China

Abstract The technological status of agricultural quantitative remote sensing, crop classification and planting area estimation, crop growth monitoring and agricultural disaster monitoring are summarized. Some quantitative products of FY meteorological satellites relevant to agriculture are introduced. Some application cases of FY satellite data for identification of winter wheat area, crop growth monitoring, phenological monitoring and agricultural drought are presented, and some ideas about agricultural remote sensing application of FY satellites are put forward.

Keywords FY meteorological satellites; agricultural remote sensing; crop identification; crop growth; drought ●



(责任编辑 祝叶华)