第 8 卷◆第 8 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

基于多源气象数据融合的农业生产应用及基层服务体系构建

刘其敖　王弘毅　严啟蕾　吴儒鸿
安徽省六安市舒城县气象局
DOI:10.12238/as.v8i8.3234

[摘　要] 伴随遥感、自动气象站、物联网传感器与作物模型等技术的快速发展,海量、多时空尺度、异构的农业气象数据正不断涌现。如何对多源气象数据进行高效融合、深度挖掘并服务于农业生产与基层气象服务体系建设,已成为当代农业气象科技创新的关键课题。本文系统梳理了多源气象数据融合的技术框架与方法,分析其在精准灌溉、病虫害预警、农业灾害评估等场景中的应用价值；在对我国基层气象服务体系现状与问题进行调研的基础上,提出“数据集成-平台支持-产品供给-机制保障”四维一体的服务体系构建路径；并以某省级智慧农业气象服务平台建设为案例,验证了该体系对提升农业气象服务时效性、精准度与可持续性的显著成效。研究结果可为多源气象数据融合技术在农业领域的深化应用及基层服务能力提升提供理论参考与实践借鉴。
[关键词] 多源气象数据；数据融合；精准农业；基层服务体系；智慧气象
中图分类号：F3　文献标识码：A

Research on Agricultural Production Applications and Grass-roots Service System Construction Based on Multi-Source Meteorological Data Fusion

Qi'ao Liu　Hongyi Wang　Qilei Yan　Ruhong Wu
Shucheng County Meteorological Bureau, Lu 'an City, Anhui Province

[Abstract] With the rapid advances of remote sensing, automatic weather stations, IoT sensors and crop models, massive heterogeneous meteorological datasets with multiple spatial-temporal scales are being generated. Efficient fusion and mining of these data for agricultural production and grass-roots services has become a critical issue in agrometeorological science and technology. This paper reviews the technical framework and methodologies of multi-source meteorological data fusion, and discusses its application value in precise irrigation scheduling, pest and disease early-warning, and agricultural disaster assessment. After investigating the current status and challenges of China's grass-roots meteorological service system, a four-dimensional construction pathway—"data integration, platform support, product supply, and mechanism guarantee"—is proposed. A provincial smart-agriculture meteorological service platform is presented as a case study to validate the proposed pathway, demonstrating significant improvements in service timeliness, accuracy, and sustainability. The findings provide theoretical and practical references for deepening the application of data-fusion technology in agriculture and enhancing grass-roots service capacity.
[Key words] Multi-source meteorological data; data fusion; precision agriculture; grass-roots service system; smart meteorology

引言

气象条件是农业生产最为活跃且不确定的外部因素。传统农业气象服务多依赖单一观测数据和经验模型,难以满足现代农业对高分辨率、高时效、场景化服务的需求。随着卫星遥感、地面自动观测网、无人机、多参数雷达及作物-土壤-气象耦合模型等技术的广泛应用,农业领域呈现“多源异构、大数据”特征。[1]如何进行多源气象数据融合(Multi-source Meteorological Data Fusion,MMDF),在海量数据中提取关键信息并服务基层,成为推动农业现代化与乡村振兴的重要突破口。

1 多源气象数据融合的技术基础与方法

1.1数据来源与特征

多源气象数据主要包括卫星遥感、地面自动气象站、物联网传感器以及再分析资料与数值预报等。卫星遥感具有覆盖范围广、更新频率高的优势,适用于区域尺度的监测与评估,但在

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

多云天气条件下易受云层遮蔽影响,且空间分辨率仍有限,需配合地面数据进行精度校正。[2]地面自动气象站观测数据精度高、连续性好,是传统农业气象监测的核心,但站点分布不均,难以全面反映微尺度农田环境。物联网传感器技术可实时采集温湿度、光照、土壤水分等参数,贴近作物实际生长环境,数据粒度高,但因受供电、网络与硬件质量影响,存在数据碎片化与丢失问题。再分析资料与数值预报产品具有良好的时空连续性和多要素特征,在气象模拟与趋势预测方面优势明显,但其在局地精度和实际观测一致性方面仍有差距。

1.2典型融合方法

当前多源气象数据融合常采用多种方法协同进行,以提升数据完整性与服务可靠性。统计同化方法以Kalman滤波、最优插值等为代表,依赖于观测数据与先验估计之间的误差最小化原则,适合用于实时动态更新与状态估计。机器学习方法如随机森林、深度神经网络等,能够从大量历史数据中自动学习非线性关系,适用于高维特征提取和复杂模式识别。[3]物理-统计融合方法结合了物理模型的可解释性与统计模型的预测能力,通过对模型输出进行偏差订正与迭代优化,提高了建模的准确性与实用性。知识图谱融合方式则通过构建气象-作物-管理等多源信息的语义网络,挖掘变量之间的潜在关系,支撑复杂农业场景中的智能决策与服务推荐。

2 MMDF在农业生产中的应用

2.1在精准灌溉决策中的应用

在精准农业背景下,通过融合土壤墒情传感器的田间实测数据、地面自动气象站的气象要素观测信息以及再分析资料中的蒸散量估算结果,可构建田块尺度的蒸散量实时估算模型,实现对作物“需水量-灌水量”的动态平衡匹配。该模型能够实时响应气候变化与土壤水分变化,辅助灌溉管理系统按需精准供水,不仅节约水资源,还能提高水分利用效率。据统计,此类融合模型可使农田灌溉效率提升15%以上,特别适用于高耗水作物区域和水资源紧张地区的灌溉调度。[4]

2.2在病虫害智能预警中的应用

针对农业生产中频发的重大病虫害问题,借助高时空分辨率的气温、湿度及植被指数(如NDVI)遥感数据,可有效掌握作物生长环境与病虫滋生条件。结合气象驱动的机理模型与统计学习模型构建混合预测系统,能够实现对多种病虫害(如稻飞虱、黏虫等)发生时间、分布范围与危害程度的提前研判。[5]该预警系统具备前瞻性与自动化特征,可在灾害发生前3-5天发布风险预警,准确率达到85%,显著提高农业防控效率,减少农药使用和经济损失。

2.3在农业灾害保险评估中的应用

农业灾害损失的准确评估是推动农业保险精细化发展的关键。利用卫星干旱监测数据识别区域干旱等级,结合雷达探测到的强对流天气指标以及作物产量遥感反演结果,可对灾害影响区域进行快速评估和灾情等级划分。该融合技术打破传统依赖人工查勘和申报的瓶颈,显著提升了农业保险的时效性与客观性,为保险公司理赔决策提供了可信的数据支撑,同时增强了农户参保的信任感与积极性。[6]

2.4在作物产量预测与管理优化中的应用

通过融合地面气象观测数据、遥感植被指数、再分析气象资料及作物生育模型输出,可构建多源驱动的作物产量预报模型,实现从区域到田块尺度的产量动态预测。融合模型能够综合考虑气候、土壤、水分与管理措施等多种因素对产量的影响,并利用历史数据进行训练与校正,显著提升预测的空间分辨率与时效性。[7]在典型应用中,产量预测偏差可控制在±5%范围内,有效辅助农业部门进行种植结构调整、产销平衡决策与粮食储备计划。

2.5在农机调度与作业指导中的应用

基于多源气象数据融合所得的降水、风速、土壤湿度与温度信息,可实现对农机作业适宜性的智能评估。系统可对播种、施肥、收割等关键农时进行实时判断与预警,结合作物生育进程数据与作业需求地图,为农户或农业企业提供“何时、何地、如何”作业的科学建议。在大型农场和农业合作社中,该系统显著提升了机械利用效率与作业安全性,平均作业时效提高10%以上,成为智慧农业调度系统的重要组成部分。[9]

3 基层气象服务体系现状与问题

当前我国农业气象服务在向智能化、精准化转型过程中仍面临诸多现实瓶颈。首先,数据孤岛问题较为突出,由于气象、农业、水利、保险等部门间数据标准不统一、接口封闭,跨层级、跨系统的数据整合困难,制约了多源数据的融合应用与共享利用。其次,产品服务同质化现象严重,基层服务多停留在天气预报与灾害通报层面,缺乏基于特定农业场景的专业化产品,难以满足差异化农业需求。[10]再次,基层人才结构单一,多数服务人员以传统观测为主,缺乏掌握数据挖掘、模型开发与平台运营的复合型技术人才,导致新型气象服务技术“下不去、用不好”。此外,机制建设滞后,气象、农业、金融等系统间协同不足,成果转化激励机制缺乏,影响了技术推广的积极性与服务质量的可持续提升。[8]

4 基于MMDF的基层服务体系构建路径

为破解当前基层气象服务瓶颈,需以多源气象数据融合为核心,系统推进数据、平台、产品与机制四个维度的体系化重构。在“数据集成”方面,应着力推进全域观测网的升级,通过构建“卫星-地面-无人机”一体化的协同观测系统,实现对田块级气象、土壤、水文等多维要素的全面感知,并制定统一数据格式与标准,打通数据壁垒。在“平台支持”方面,需搭建大数据云平台,建设省-市-县三级数据库与共享接口(API),引入数字孪生等前沿技术,实现农业气象业务的可视化、智能化与模拟仿真能力提升。在“产品供给”方面,应强化场景化与分级化服务能力,开发田块级精准预报、村级灾害预警、县域农情简报等系列产品,同时配套短信、APP、小程序等多渠道推送方式,提升信息触达率与农户接受度。在“机制保障”方面,建议构建气象-农业-保险等多方联动工作机制,打通信息链与责任链,推动服务产品

嵌入政策补贴、农业信贷等环节，并通过绩效考核与用户满意度评价反馈机制，持续优化服务供给与运营模式，实现气象服务“最后一公里”的真正落地。[11]

5 结论与展望

多源气象数据融合技术(MMDF)在提升农业生产精准管理、风险感知与智能服务水平方面展现出巨大潜力。通过有效集成多类型、多尺度气象与环境信息，可大幅提升农业预警预报、作物调度、风险保险等业务的科学性与响应效率。然而，当前该技术体系的推广与应用仍面临多方面挑战，如部门间数据壁垒难破、算法模型适配性差、基层站点运维能力不足等问题，亟需系统性解决。

展望未来，推动多源数据共享与融合应用应成为农业气象发展的核心任务。一是需从政策层面推动跨部门数据共享立法，建立标准统一、接口开放的基础数据平台；二是加强适用于边远或中低带宽区域的轻量化人工智能模型研发，降低应用门槛；三是强化对基层复合型技术人才的系统培养与在岗培训，提升服务支撑能力；四是积极探索“政府主导＋市场机制”协同运作的可持续模式，推动农业气象服务从“可用”向“好用、常用、能用”迈进。

此外，农业气象服务的未来发展还应注重用户参与度与反馈机制建设。服务对象从“接受者”向“共建者”转变，将为服务精准化提供更丰富的实地样本与情境输入。通过引入众源观测(crowdsourcing)、农户上传微气象数据、作物长势反馈与风险打分机制，可增强平台模型的动态自适应能力，使服务产品更贴合一线实际。同时，在数字乡村与智慧农业总体战略框架下，MMDF 应进一步融入国土空间规划、气候风险预估和农业碳管理等跨学科领域，为构建生态友好型、可持续农业发展体系提供科学支撑与数据保障。

[参考文献]

[1]陈治瑀.融合云平台和多源数据下农业生产优化分析[J].农机使用与维修,2024(6):130-132.

[2]凌松,刘进福,袁飞,等.多元数据融合下的农业智能灌溉决策支持系统研究[J].农机使用与维修,2025(6):18-21.

[3]杨晓晨.多源遥感数据融合与耦合模型驱动的河流水文季节性时空分异机制研究[J].资源导刊,2025(8):32-34,38.

[4]范晓青,李艳,柳晓庆,等.基于多源数据融合的农产品气候品质评价模型研究[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(5):153-159.

[5]杨有林,韩格格,马宁,等.基于多源数据融合的降水数据质量控制技术研究[J].山地气象学报,2024,48(2):49-56.

[6]周庆梓,何自立,吴磊,等.多源数据融合的深度学习径流预测模型[J].水力发电学报,2023,42(5):43-52.

[7]钱利宏,彭穗,郭晓燕,等.基于多源数据融合与深度信念网络的台区停电故障预警方法研究[J].广东电力,2022,35(12):32-40.

[8]王来刚,郑国清,郭燕,等.融合多源时空数据的冬小麦产量预测模型研究[J].农业机械学报,2022,53(1):198-204,458.

[9]贺鹏,王婧姝,曹晨斌,等.基于多源遥感数据融合的运城盆地夏玉米估产研究[J].中国农业资源与区划,2023,44(3):213-221.

[10]王欣.多源气象数据融合下的随机森林降雨量预测模型研究[J].计算机应用文摘,2025,41(8):99-101,104.

[11]匡秋明,杨雪冰,张文生,等.多源数据融合高时空分辨率晴雨分类[J].软件学报,2017,28(11):2925-2939.

作者简介：

刘其敖(2002--),男,汉族,安徽六安人,本科,职称：助理工程师；研究方向：大气科学。