

基于无人机遥感的农作物病虫害精准监测技术研究

张丽

巨野县凤凰街道办事处农业财经综合服务中心

DOI:10.32629/as.v9i8.4196

[摘要] 农作物病虫害的发生是隐蔽的,传播速度很快,而且分布很不均匀。本文主要研究在无人机遥感条件下病虫害精准监测的问题,对病虫害胁迫的光谱和影像表现进行了整理,确定了无人机平台配置、飞行参数、数据采集的要求,并且提出了影像预处理、多源数据融合、敏感特征提取、发生程度分级等方面的技术流程。从结果可以看出,采用多种遥感技术结合的方法可以提高病虫害识别的准确度,减小空间定位误差,得到以变量施肥为对象的分层处方图,给作物病虫害早期检测、精确控制以及植保作业决策给予支持。

[关键词] 无人机遥感; 农作物病虫害; 精准监测; 多源数据融合

中图分类号: S4435 文献标识码: A

Precision Monitoring of Crop Diseases and Pests Based on UAV Remote Sensing

Li Zhang

Agricultural and Financial Comprehensive Service Center, Phoenix Subdistrict Office, Juye County

[Abstract] Crop diseases and pest were hard to tell at first due to hidden growth, quick spread and not even spread. Precision monitoring is researched by the UAV remote sensing in this study. It identifies spectral and image features of crop stress, sets up needs for platform setup, flight parameters, and information collection, and creates a procedure for image prior treatment, various origin data fusion, feature extraction, and intensity division. The result is that using many sources of Remote Sensing increased the recognition rate and decreased location errors and also helped in making graduated Prescription maps so it will be easy to do the early detection and precision crop care.

[Key words] UAV remote sensing; crop diseases and pests; precision monitoring; multisource data fusion

引言

农作物病虫害会破坏叶片组织、改变冠层结构,并影响植株光合作用、水分运输和干物质积累。无人机遥感具有机动性强、空间分辨率高和数据获取灵活等优势,可利用可见光、多光谱与热红外影像捕捉叶色、反射率、纹理和冠层温度变化。病虫害遥感监测仍受到光照波动、作物遮挡、背景干扰和样本差异等因素影响,需要在飞行作业、影像校正、特征构建和模型识别之间形成稳定衔接,才能提高监测结果的可靠性与应用价值。

1 无人机遥感农作物病虫害监测的技术基础

1.1 农作物病虫害的光谱与影像表现特征

农作物被病原菌或者害虫侵害之后,叶绿素含量、细胞构造、含水量以及冠层温度都会产生改变,在可见光、多光谱以及热红外影像当中也会表现出差别。健康的叶片在近红外波段的反射率较高,在红光波段的吸收比较明显;病害出现以后,红光反射率变高,近红外反射率变低,归一化植被指数一般会随着胁迫的程度减小而增大。虫害引起的缺刻、卷叶、失绿、冠

层稀疏都会影响到叶面积指数、纹理的均匀程度以及阴影的比例。选择450nm~900nm波段,来获取红光、红边以及近红外的信息,并且依靠冠层温度异常来发现早期的胁迫情况。空间分辨率要控制在1~5cm之内,使斑点、虫孔、局部黄化的区域可以得到稳定的提取。

1.2 无人机遥感监测平台的组成

无人机遥感监测平台包含飞行器、导航系统、遥感传感器、地面控制站以及数据处理终端等部分。多旋翼无人机适用于小面积、地块破碎、低空精细作业,单架次飞行时间一般为25~40min;固定翼无人机适合连片农田,单架次覆盖面积可以达到3~8 km²。可见光相机用来识别叶色、斑点和冠层缺损,多光谱相机应该设置五个波段即蓝、绿、红、红边和近红外,热红外相机温度分辨率为0.1℃以下^[1]。定位系统要使用RTK或者PPK的方式,平面定位误差控制在3cm之内。地面站做航线规划、飞行监控、参数调节,处理终端做影像拼接、辐射校正、特征提取、病虫害等级制图等工作。

2 基于无人机遥感的农作物病虫害精准监测技术

2.1 无人机航线规划与遥感影像采集

根据地块大小、作物的高度、冠层的遮蔽程度以及需要的空间分辨率来决定。多旋翼无人机作业高度一般控制在40~80m, 固定翼平台可以设定为80~120m, 地面分辨率保持在2~5cm。航向重叠率为80%到85%, 旁向重叠率为70%~80%, 复杂的地形可以分别增加5个点。飞行速度控制在4~8m/s, 相机曝光间隔要与航速相适应, 使相邻影像位移不大于画幅长度的20%。航线方向应该与作物行向平行, 在地块边界外扩20~30m处留出缓冲区。作业时间最好选择在上午10时~下午4时之间, 太阳高度角大于35°, 风速小于4级。起飞前要检查电池、云台、RTK、存储设备, 单架次电量余量不少于25%。采集过程中同时记录高度、曝光参数、光照强度和气象情况。为保证不同架次影像的一致性, 飞行过程中还应根据光照和风速变化及时调整曝光及航速参数。若出现明显云影、强反光或机身姿态波动, 应对受影响区域重新补拍。每个架次结束后及时检查影像清晰度、覆盖完整性及定位信息, 发现漏拍、模糊或重叠不足时立即补采, 避免影响后续影像拼接和病虫害特征提取精度。

2.2 遥感影像预处理与多源数据融合

可见光、多光谱影像要完成畸变校正、空三加密、正射校正和影像拼接工作, 控制点数量不应少于5个/km², 平面中误差要小于0.1m。多光谱影像要用标准反射率板做辐射定标, 还要用下行光传感器修正光照变化, 保证同一波段反射率的差异不超过5%。热红外影像要校正传感器漂移以及环境温度的影响, 温度误差最好控制在±0.5℃^[2]。多源数据融合之前要统一坐标系、像元大小和空间范围, 配准误差不能大于一个像元。融合可以采用主成分变换、Gram-Schmidt或者加权叠加的方式, 把RGB纹理、多光谱反射率、热红外温度和地面调查信息组合成多通道的数据。处理之后要去云层、强反光、运动模糊、拼接裂缝等地方。预处理完成后还应对数据质量进行统一检查, 重点核验影像边缘、地块交界和异常区域的配准效果, 并随机抽取样点与地面实测数据进行比对。对于反射率偏差、温度突变或位置错位明显的影像, 应重新校正或删除, 避免异常数据进入特征提取和模型识别环节, 从而保证后续病虫害分类结果的稳定性与空间定位准确性。

2.3 病虫害敏感特征提取与异常区域检测

病虫害敏感特征提取要联系光谱、纹理、形态和温度这些方面来创建多维特征集合。从光谱角度出发可以得到NDVI、GNDVI、NDRE、SAVI等植被指数以及红边斜率、近红外反射率和可见光色差。纹理上用灰度共生矩阵得到对比度、熵、同质性、相关性, 滑动窗口取5×5或者7×7像元。形态学上可以对斑点的大小、边缘的弯曲程度、叶片缺刻的比例以及冠层的空隙度进行描述, 热红外特征主要是提取出冠层温度的异常值和局部温差。特征选择用方差阈值、相关系数和随机森林重要度三者结合的方式进行, 把冗余特征比例控制在20%之内。利用健康样本均值作为基准, 将偏离均值两个标准差以上的像元视为候选区

域, 采用开闭运算和连通域筛选去除非连通的小于20个像素的斑块, 排除裸土、道路、阴影的影响。

2.4 病虫害发生程度分级与空间定位

病虫害发生程度分级要把模型识别结果同地面调查的标准一致起来。系统把受害叶片的比例、病斑覆盖的程度、虫口的数量以及冠层受损的面积分成四个级别, 分别是健康的、轻微的、中等的和严重的^[3]。受害面积小于5%的为轻度, 5%~15%的为中度, 大于15%的为重度。分级要以地块或者网格作为统计单位, 网格大小一般设为5m×5m或者10m×10m, 计算每个网格内病虫害像元所占比例。空间定位依靠RTK或者PPK坐标解算, 使识别斑块中心点误差≤0.2m。系统还要对相邻的异常斑块做聚类合并, 去除孤立的小斑块, 得到病虫害等级分布图、面积统计表和风险清单。监测结果可以转换成矢量处方图, 图层有坐标、等级、面积和建议施药量等字段, 方便和植保无人机、农机终端对接。

3 案例分析

3.1 试验区域与监测方案

试验选取某县86.4 hm²连片水稻种植区, 监测期为拔节至孕穗阶段, 主要病虫害为纹枯病和稻飞虱。作业采用六旋翼无人机, 搭载2000万像素可见光相机、五波段多光谱相机及640×512像元热红外相机。飞行高度设为60m, 航速为5.2m/s, 航向与旁向重叠率分别为85%和78%, 地面分辨率约3.2cm, 采集时间控制在10:30~13:30。监测区布设36个1m×1m样方和8个RTK控制点, 同步记录病斑率、虫口密度与冠层温度^[4]。影像完成辐射校正、正射拼接和坐标统一后, 输入多源融合模型, 并以地面调查结果验证识别精度。

3.2 病虫害识别及空间分布结果

经过影像拼接、几何校正、空间配准之后得到覆盖整个试验小区的正射影像以及病虫害等级分布图。模型共检测出净受害面积14.7hm², 轻度8.3hm², 中度4.4hm², 重度2.0hm², 总体上轻、中度危害占多数, 但是局部地区已经形成了比较明显的重度斑块。纹枯病主要发生在地势低洼、排水不良、田间湿度大处的西部、南部地块上, 识别面积是9.6hm²; 稻飞虱危害区主要是植株郁闭度大的中部田块, 识别面积为6.5hm², 两者的重叠区为1.4hm²。从空间分布特征可知, 病虫害的发生不是随机的, 它同田间的地形、水分情况、种植密度以及冠层结构存在着密切的关系, 一些复合危害区还要在以后的防治过程中做进一步的现场检查并加以处理。

系统用10m×10m的网格来统计受害像元的比例, 一共找到63个连续的异常斑块。重度危害斑块大多分布在排水沟和田埂内侧, 呈带状或者片状分布, 冠层温度比健康区平均高出约1.8℃, NDRE均值降低0.12, 表明病虫害发生之后植株的蒸腾作用、叶绿素含量以及冠层生理状况都有所改变, 温度异常同光谱指数降低的空间位置是一致的。按照病虫害的等级以及空间上的聚集情况来产生分级处方图, 把高风险网格的中心坐标、危害种类和等级信息传送到植保终端上, 可以给重度危害区和复

合危害区的定点复查赋予参照,而且能支撑无人机依照不同的危害程度开展变量施药作业,缩减健康区域的重复喷洒次数,从而加强病虫害防控的精确性和空间精准度。

3.3 监测精度与应用效果分析

为检验监测模型在实际的田间环境中是否稳定,用独立样方调查的结果来作为参照,对不同的监测方式做统一的评价。评价内容包括病虫害识别、受害区域提取、空间定位和单位时间作业能力等各方面,测试样本不参与模型的训练。各方法所使用的地块边界、等级标准一致,识别结果经过植保人员复核之后,再计算出准确率、召回率、F1值、Kappa系数、定位误差以及监测效率,详见表1。

表1 不同监测方式的病虫害识别精度与作业效果

监测方式	准确率/%	召回率/%	F1值/%	Kappa系数	定位误差/m	监测效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)
人工田间抽样监测	82.6	78.9	80.7	0.76	1.84	2.7
无人机RGB影像监测	88.4	86.8	87.5	0.84	0.63	18.6
多源遥感融合监测	94.7	93.1	93.8	0.92	0.21	31.4

多源融合监测准确率为94.7%,比RGB单源监测提高了6.3个百分点,召回率、F1值分别为93.1%、93.8%。其Kappa系数为0.92,说明模型分级结果和地面调查的一致性较好[5]。空间定位误差从人工调查的1.84m降低到现在的0.21m,监测速度也由原来的 $25.2 \text{ hm}^2/\text{h}$ 提高到了现在的 $31.4 \text{ hm}^2/\text{h}$ 。由此可以看出,多光谱、热红外信息可以弥补可见光对于早期胁迫识别的缺陷,也可以使病虫害斑块边界提取和处方图生成更加可靠。

4 结语

无人机遥感能把病虫害监测从有限样的点上扩展成连续的空间识别,依靠多种影像的融合来加强早期胁迫、受害边界的判定以及发生程度的分辨。精准监测有效执行要靠飞行参数、辐射校正、样本品质、识别模型和空间定位这五个方面共同把控,而不能单靠某个设备或者算法的性能改善。后续的工作要创建起涵盖各种作物、生育阶段和生态区的样本库,加强时序遥感同气象数据以及田间考察信息的整合,改进轻量级模型并加强边缘计算的能力。

【参考文献】

- [1]王广鹏.无人机遥感技术在农作物病虫害精准监测与绿色防控中的应用研究[J].河北农机,2026,(6):90-92.
- [2]黄唯.基于无人机与AI图像识别的农作物病虫害智能监测技术[J].中国农机装备,2026,4(4):16-18.
- [3]姚三琴,于谦,柳阳.无人机遥感技术在农田病虫害监测中的应用与精准防控[J].现代园艺,2026,49(19):79-80.85.
- [4]奇宇,龚旭楠,韩欣.基于无人机技术的农作物病虫害精准防治策略分析[J].农家科技,2026,(12):81-83.
- [5]周健,季晓菲.基于无人机遥感与高光谱技术的农业病虫害精准监测与防治策略研究[J].智慧农业导刊,2025,5(15):33-36.

作者简介:

张丽(1984—),女,汉族,山东菏泽人,大学本科,中级(农艺师),研究方向:栽培生长规律和科学栽培方式,病虫害的防治。