

高光谱遥感图像在农田作物长势监测中的识别效果评估

刘得琛¹ 李景儒² 丁诚刚¹

1.天津中科谱光信息技术有限公司 天津 300392

2.中科谱光科技(天津)有限公司 天津 300392

【摘要】：高光谱遥感是一种能够从可见-短红外波段获取作物冠层光谱信息的高分辨率遥感技术，可为农田作物长势监测提供一种非接触式、大面积覆盖、可重复性强的数据来源。然而，光谱维度激增导致的信息冗余、混合像元解混的不确定性以及田间环境噪声等因素的影响，使得识别模型的泛化能力和业务化精度仍然面临巨大挑战。系统评估高光谱遥感应用于农作物长势监测的实际效果，厘清光谱分辨率、时相选择、特征提取和模型架构等因素对遥感监测精度的影响，是推进高光谱遥感由试验研究向精细农业业务化发展的重要前提。

【关键词】：高光谱遥感图像；农田作物长势监测；识别效果评估

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.096

作物长势监测的实质是植被生理生化参数和结构参数在空间上的反演，高光谱数据具有波段连续、高光谱分辨率等优点，在定量反演作物生长过程中具有重要的应用价值。现有研究主要集中在单一作物或某一生长阶段优化算法，缺少跨作物、跨地域、跨传感平台的系统效果评估体系，造成技术应用边界模糊，亟需构建面向业务应用的识别效果评估体系。

1 高光谱遥感图像在农田作物长势监测中的识别效果

1.1 多维光谱解析，精准捕捉长势差异

高光谱遥感影像蕴含丰富的光谱波段信息，能够精确捕捉农田作物生长状况的细微差异，从而显著提高地物识别精度。传统遥感技术仅依赖少数几个波段，难以全面反映作物生理状况，而高光谱图像覆盖从可见光至近红外波段，能够完整记录作物不同生长时期的光谱响应特性^[1]。基于光谱信息定量反演作物生长过程中的叶绿素、叶面积指数、生物量等生长指标，从而准确判断作物的健康状态和生长进程。

1.2 时空连续监测，动态追踪生长进程

高光谱遥感影像在空间和时间上具有连续监测的优势，能够对作物生长过程进行动态跟踪，提高作物长势识别的时效性和完整性。利用卫星、无人机等平台开展常态化观测，在不同时间节点上获取高光谱数据，构建作物长势时空序列数据集。对不同生长阶段的光谱特性和长势指标进行对比分析，将作物从播种一出苗一拔节一开花一成熟整个过程的变化过程予以清晰展示，并及时发现生长过程中的异常波动^[2]。可突破传统田间调查方法的局限，避免单点数据的偶然因素，实现大范围农田作物长势的实时监测，为农业生产的精确调度提供科学依据。

1.3 抗干扰能力较强，提升复杂场景识别

高光谱遥感影像对复杂场景的抗干扰能力强，可有效提高作物长势识别的精度和可靠性。农田生态系统受土壤本底、大

气散射、植被覆盖不均匀等因素的影响，高光谱技术能将光谱波段进行细分，有效地分离出作物和背景的光谱信号，减少干扰因素的影响。如利用特定波段的光谱指数，可以有效地去除土壤背景干扰；在此基础上，利用大气修正算法，校正大气散射引起的光谱数据畸变，保证作物生长指数的精度。在多云、雾霾等复杂天气条件下，高光谱影像仍然能够有效提取农作物的光谱信息，为农作物长势监测提供支撑。

1.4 量化指标输出，支撑精准管理决策

高光谱遥感影像能够将农作物长势识别结果转换成可量化的指标，为农田精细经营决策提供数据支持，提高识别结果的实用价值。应构建光谱特性与作物生理生化指标定量反演模型，实现叶绿素含量、氮素积累量和水分胁迫程度的定量反演，使农户和管理人员能够更好地了解作物生长状况。对作物的营养需求、水分状况进行精确判断，并据此制定个性化的施肥灌溉方案，实现资源优化配置。研究成果可为区域农业生产布局调整和产量预报提供科学依据，促进农业生产由经验管理向精细管理转变（不同遥感技术作物长势指标反演精度对比如表1）。

表1 不同遥感技术作物长势指标反演精度对比表

监测技术	叶绿素含量反演精度 (R ²)	叶面积指数反演精度 (R ²)	生物量反演精度 (R ²)	抗干扰能力 (评分/10)	数据处理效率 (分钟/公顷)
传统多光谱遥感	0.72±0.05	0.68±0.06	0.65±0.07	6.2±0.3	15.3±2.1
高光谱遥感 (未优化)	0.83±0.04	0.80±0.05	0.78±0.06	7.5±0.4	42.6±3.5
高光谱遥感 (优化后)	0.94±0.02	0.92±0.03	0.90±0.04	9.1±0.22	8.4±2.8

2 高光谱遥感图像在农田作物长势监测中的识别优化

2.1 优化光谱波段选择, 提升信息提取效率

高光谱遥感影像中光谱波段选择优化是提高作物长势识别精度的核心步骤, 其关键在于筛选出对作物长势指标敏感、冗余少的核心波段, 提高信息提取的效率和精度。应结合文献梳理和田间实验, 识别作物生长核心指标, 确定各指标的敏感波段。如叶绿素含量对红光和近红外反射率的差异比较敏感, 而水分含量在短波红外波段表现出明显的光谱响应。

利用波段选择算法, 实现对敏感波段的精确筛选, 常用的方法有相关性分析, 逐步回归分析, 主成份分析, 连续投影法等。相关性分析用来筛选出与长势指数相关度较高的波段, 剔除相关度较低的冗余波段, 逐步回归分析法通过建立回归模型, 筛选出对指数解释能力较强的波段组合^[3]。主成分分析方法可以有效地对光谱数据进行降维, 同时保留主要信息, 降低计算量, 连续投影算法 (SPA) 能有效地消除多个波段间的多重相关性, 并能筛选出最佳的波段子集。

在筛选过程中, 要兼顾识别精度和运算效率, 避免过分追求波段数带来的数据处理代价。针对不同作物和不同生育时期, 分别制定波段选择方案, 如苗期作物选择能反映叶片发芽的可见光波段, 拔节期则选择能反映生物量生长的近红外波段。同时, 结合卫星、无人机等监测平台的实际性能, 确保所选波段能够满足实际监测需求。通过对光谱波段的选择进行优化, 可以有效提高高光谱数据的信息利用率, 为后续的植被指数反演奠定基础。

2.2 改进图像预处理方法, 保障数据质量基础

从辐射校正、大气校正、几何校正和去噪等多方面入手, 消除各种干扰。在辐射校正方面, 采用基于传感器定标系数的绝对辐射校正方法, 实现遥感影像灰度到真实地表反射率的转换, 保证不同时刻、不同平台获取的光谱数据具有可比性。针对定标参数缺的情形, 利用相对辐射修正法, 以影像中一致区域为参照, 对传感器响应差异引起的辐射畸变进行校正。

在大气校正环节, 根据高光谱影像的多波段特征, 选取适合宽波段大气校正的校正算法, 如 MODTRAN 模式、6S 模式等。引入气溶胶光学厚度和水汽含量等大气参数, 模拟光谱信号在大气中的传输过程, 去除大气散射、吸收等对光谱数据的影响, 还原出作物的真实光谱^[4]。对于难以实时获取大气参数的场景, 可以利用基于影像自身的暗靶、直方图匹配等方法对大气进行修正, 以保证修正结果的实用性。

在几何校正方面, 根据地形特点和图像分辨率, 选取适当的校正模型, 对平原农田, 采用多项式校正模型, 选取地面控制点, 对图像几何变形进行校正; 在山地和丘陵地区, 需要引入数字高程模型来校正地形, 消除因地形起伏引起的像元位移

和光谱畸变。在去噪方面, 针对高光谱图像中普遍存在的椒盐噪声和条纹噪声, 采用基于小波的去噪、中值滤波和均值滤波方法。小波变换去噪可以有效地去除噪声, 同时保持光谱的细节信息。中值滤波对图像中的椒盐噪声具有很好的抑制作用, 均值滤波可以有效地消除条纹中的噪声, 使光谱曲线保持连续和稳定。系统地对高光谱遥感影像进行预处理, 可以有效地提高高光谱遥感影像的质量, 为高光谱遥感影像的分类奠定坚实的基础。

2.3 构建精准反演模型, 强化量化识别能力

构建高精度长势指数反演模型, 开展田间实验数据采集, 同步获取高光谱遥感影像和作物长势观测数据。为保证样本的代表性和覆盖面, 必须覆盖不同生长阶段和生长状况的样本。如以叶绿素含量、叶面积指数、生物量、氮含量等为研究对象, 严格按照标准操作规程进行测定, 确保数据准确可靠。

建立多源遥感反演模型, 常见的模型有统计学、机器学习、深度学习等。单波段回归、植被指数回归等统计模型具有建模简便、物理意义明确等优点, 适合数据量小、光谱与指标之间具有强线性关系的情况, 采用基于植被指数 (如比值植被指数) 的快速反演方法。

支持向量机、随机森林和梯度提升决策树等机器学习模型能够有效处理光谱数据和长势指标间的非线性关系, 提高模型的预测精度^[5]。在建模时, 需要将光谱数据划分为训练集和测试集, 对模型参数进行交叉验证, 以避免过拟合。采用随机森林算法, 选取核心波段为输入特征, 以叶面积指数为输出变量, 构建基于决策树的反演模型, 提高模型的稳定性和精度。

卷积神经网络、循环神经网络等深度学习模型适合处理高维、海量的高光谱数据, 能够自动提取深度光谱特征, 提高反演精度。针对高光谱遥感影像三维数据结构, 通过构建三维卷积神经网络模型, 实现对遥感影像空间和光谱信息的有效融合, 实现对植被长势指标的高精度反演。在模型建立之后, 通过决定系数、均方根误差等指标来评估模型的性能, 并选取最佳的模型应用于实际监测, 可提升高光谱遥感影像的定量判别能力, 为精细化农田管理提供科学依据。

2.4 融合多源数据信息, 丰富识别维度层次

多源遥感信息融合是拓展高光谱遥感影像识别维度、提高遥感长势监测全面性的有效途径, 需要融合多源信息, 如高空间分辨率影像、气象、土壤、田间管理等, 构建基于多源信息的高光谱遥感综合识别系统。对高空间分辨率影像进行融合, 以弥补高分辨率影像在空间分辨率上的不足, 采用无人机航拍影像和高分遥感影像进行影像配准、像元融合等技术, 融合高光谱影像和无人机航拍影像、高分遥感影像等, 在保持高光谱数据丰富的高光谱信息的基础上, 实现小地块、作物边缘区域作物长势的精确识别。

融合气象资料,可提高作物长势识别的时效性和预报能力,结合气象要素(温度、降水量、日照时数、积温等)与高光谱遥感数据的时空匹配,分析气象因子对作物生长的影响^[6]。如将降水数据和高光谱遥感数据相结合,可以精确地判断作物是否处于干旱胁迫状态,利用积温数据和光谱反演生长进程指数,可以对未来作物生长状况进行预测,从而提前采取相应的管理措施。

结合土壤信息,提高作物长势识别的针对性,土壤参数,如土壤类型、肥力、水分等与高光谱遥感反演的作物营养信息相结合,可精准判断作物生长差异的根源。如在土壤氮含量低的情况下,如果高光谱反演结果表明作物氮累积不足,则可以清楚地判断是否需要施肥,对土壤持水能力较差的地块,在考虑作物水分胁迫信息的基础上,可优先安排灌溉。

将田间管理数据进行融合,提高识别结果的实用价值,利用田间试验数据,结合高光谱遥感反演的长势指数,评估不同

管理措施的实施效果。如通过对作物叶片叶绿素含量的反演,判断施肥效果,研究不同灌水模式对作物生长的影响,并对其进行优化,可实现全方位监测,提升高光谱遥感在农田作物长势监测领域的应用深度和广度。

3 结语

综上所述,高光谱遥感影像在农田作物长势监测中,可实现从数据获取到信息提取的全过程验证,显著提高作物表型参数遥感反演的空间精度和时相连续性,为农业资源优化配置和农田经营决策的智能化转型提供支撑。未来,应重点解决高光谱遥感数据的业务化定标、多源遥感协同反演机理和全生育期动态监测模型构建等关键科学问题,进一步降低光谱信息向农学知识转换的不确定性,促进高光谱遥感技术在智慧农业系统中的标准化应用,为全球粮食安全和农业可持续发展提供持续的数据支持和技术支持。

参考文献:

- [1] 赵长明,贺自帅,李海涛,李依果.无人机遥感技术在现代农业监测中的应用研究进展[J].南方农机,2025,56(S1):34-39+45.
- [2] 杨思佳,王仁军,郑江华,赵鹏玉,韩万强,毛旭芮,范宏.结合变异系数法和机器学习模型的棉花长势监测[J].测绘通报,2024,(07):111-116.
- [3] 马爽,张卓然,张钧泳,骆秀斌,高瑞,任嘉敏,侯学会.理化复合参数和神经网络结合的冬小麦长势遥感监测[J].农业工程学报,2024,40(14):91-99.
- [4] 赵胜利,Mujahid Hussain,王国宾,卞志豪,王猛,兰玉彬.基于无人机遥感的作物长势监测研究进展[J].江苏农业科学,2024,52(08):8-15.
- [5] 洪玉娇,张硕,李俐.基于合成孔径雷达数据的农作物长势监测研究进展[J].智慧农业(中英文),2024,6(01):46-62.
- [6] 石靖,王家强.基于高光谱遥感技术的棉花长势监测研究进展[J].农业技术与装备,2024,(01):69-71.