引文格式：张翠峰,欧阳晖,杨碧蕊. 基于多源数据的长沙市水稻种植遥感监测研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(5): 99-102. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.05.019

# 基于多源数据的长沙市水稻种植遥感监测研究

张翠峰，欧阳晖，杨碧蕊
（长沙市规划勘测设计研究院（长沙市卫星应用技术中心），湖南 长沙 417000）

**摘　要：**为响应农业农村相关工作要求，针对长沙市等典型南方丘陵地貌区域的耕地种植情况，特别是早稻、中稻、晚稻种植面积情况，开展了多源遥感监测技术研究。通过集成高分辨率光学卫星影像、雷达卫星影像、无人机航拍数据等多源遥感信息和国土变更调查、地形图等矢量数据，利用机器学习分类算法精准识别了长沙市水稻种植情况。通过详细的外业核实与验证，遥感监测成果准确度约为87%。该技术体系能高效、准确地监测耕地非粮化和抛荒状况，为长沙市农业资源优化配置、粮食安全保障以及其他地区开展类似研究提供重要参考。

**关键词：**水稻种植；遥感监测；物候特征；卫星影像；多源数据
**中图分类号：**P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）05-0099-04

# Research on Remote Sensing Monitoring of Rice Cultivation in Changsha City, Hunan Province, China Based on Multi-source Data

ZHANG Cuifeng, OUYANG Hui, YANG Birui
(Changsha Planning, Survey, Design and Research Institute (Changsha Satellite Application Technology Center), Changsha 417000, China)

**Abstract:** To address the requirements of agricultural and rural work, we investigated the cultivation of cropland, particularly the cultivated areas of early, medium, and late rice, in Changsha City, Hunan Province, a typical southern hilly region. We integrated high-resolution optical satellite images, radar satellite images, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial photography data, and other multi-source remote sensing information, along with vector data such as territorial change survey and topographic maps, and used machine learning classification algorithms to achieve accurate identification of rice cultivation patterns in the Changsha City. After detailed field verification and validation, the accuracy of remote sensing monitoring results was found to be approximately 87%. This technical system can efficiently and accurately monitor the conversion of cropland to non-grain crops and abandonment, providing important insights for optimizing the allocation of agricultural resources and ensuring food security in Changsha City, and valuable experiences for similar research in other regions.

**Key words:** rice cultivation, remote sensing monitoring, phenological characteristic, satellite image, multi-source data

农业是我国的基础产业，农业的持续稳定发展是国家粮食安全和农产品供给的保障，也是社会稳定和建立现代化强国的基石。2022年中央一号文指出：要牢牢守住保障国家粮食安全和不发生规模性返贫两条底线，首先就要求稳定全年粮食播种面积和产量，并落实“长牙齿”的耕地保护措施[1-2]。然而，随着我国城市化的推进，耕地资源面临巨大压力，耕地非粮化现象已成为影响粮食安全和农业可持续发展的重要因素，因此开展水稻种植遥感监测研究，对于优化农业资源配置、保障粮食安全具有重要的现实意义。长沙市作为湖南省重要的粮食生产基地，与北方大片统一粮食种植情况完全不同，属于典型的丘陵地貌，耕地较分散。遥感技术因覆盖范围广、获取周期短、数据更新快等优势，在耕地监测中得到了广泛应用[3-5]，但单一数据源往往难以满足高精度监测需求，尤其是在南方丘陵地区。本文通过多源数据收集、处理和定制监测等方式，研究针对丘陵地貌耕地的时效性高、覆盖范围广的方法，同时配合无人机航飞和实地调查等数据，形成天、空、地一体的多源遥感监测体系，可实现对耕地全生命周期的科学精准监测。利用多源遥感监测技术对耕地种植信息进行科学监测管理，不仅是实现精准农业、智慧农业的重要基础，而且是做好粮食安全保障工作，全面推进乡村振兴新局面的必然要求。

目前国内外研究主要集中在利用遥感影像的光谱特征、时序物候特征[6-8]和机器学习算法进行耕地非粮化监测。基于机器学习的监测方法在提高监测精度、自动化程度和适应性方面具有显著优势[9-11]，但存在高

第一作者简介：张翠峰（1988—），硕士研究生，高级工程师，从事遥感技术研究与应用工作，E-mail：317822738@qq.com。

度依赖样本数量和质量、部分算法运算复杂度高、模型泛化能力有待提升等局限。在综合多源数据协同研究方面，已开展了一些具有价值的探索[12-13]，但相关方法在不同地区、不同种植结构条件下的适应性仍缺乏系统性研究。本文利用光学、雷达两类影像以及地形图、变更调查等矢量数据，结合水稻时序物候特征，对丘陵地貌特征区域开展了水稻种植监测研究，并通过混淆矩阵法进行了精度验证。

## 1 技术路线

遥感技术能通过遥感卫星、飞机、无人机等平台获取地球表面信息，提供大范围、高时效的数据，对于动态监测耕地变化具有重要作用。本文结合高分辨率光学卫星影像、雷达卫星影像和无人机航拍数据，利用支持向量机、随机森林等机器学习算法监测长沙市的水稻种植情况。主要技术路线见图1。

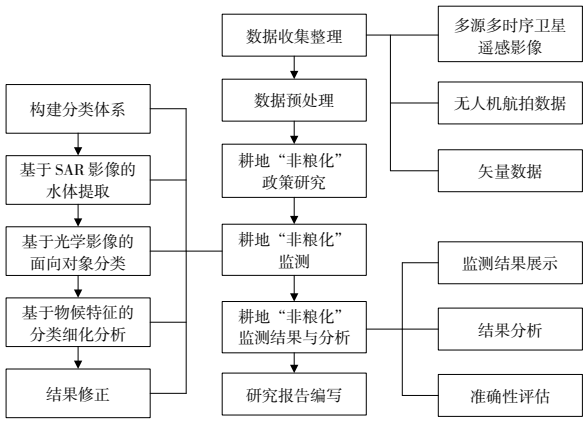



图1 水稻种植监测技术路线图

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

本文选取长沙市全域作为研究区，包括湘江新区、芙蓉区、天心区、开福区、雨花区、望城区、长沙县、浏阳市和宁乡市9个区县（市），总面积约为1.18万 $km^2$；区内路网纵横交错，河网密布；地势南高北低，湘江两岸形成地势低平的冲积平原，东西两侧和东南面为地势较高的低山、丘陵，最高点位于浏阳大围山主峰七星岭，海拔为1 607.9 m。根据三调公报数据，长沙市域内分布的耕地面积约为303.6万亩，其中水田面积约为283.54万亩，占比为93.39%。

### 2.2 数据来源

研究区具有典型的南方丘陵地貌特征，田块较破碎，水稻种植类型主要为早、中、晚稻。本文利用多源多时序卫星遥感影像对早、中、晚稻的关键生长期进行监测，并通过无人机航拍数据制作解译样本，再利用国土变更调查和大比例尺地形图等矢量数据进一步精确田块数据，提高解译精度。

1）多源多时序卫星遥感影像。本文采集并处理的多期遥感卫星影像见表1，总覆盖面积约为7.09万 $km^2$，其中光学卫星影像53景，主要为高分一号、资源三号01星、资源三号02星等，分辨率为2 m；雷达卫星影像4景，主要为Sentinel-1A IW GRD影像，分辨率为5 m×20 m。

表1 多源多时序卫星遥感影像清单

| 影像批次 | 时间 | 主要用途 | 数据类型 |
|---|---|---|---|
| 1 | 3月下旬—4月底 | 识别抛荒、早稻 | 光学 |
| 2 | 4月底 | 识别早稻种植灌水区 | 雷达 |
| 3 | 5月中旬—6月中旬 | 识别早稻、中稻 | 光学 |
| 4 | 7月下旬—8月上旬 | 识别早稻、中稻、晚稻 | 光学 |
| 5 | 9月 | 识别中稻、晚稻、抛荒 | 光学 |
| 6 | 10月 | 识别晚稻、抛荒 | 光学 |

2）无人机航拍数据。本文获取了5月、7月和9月（水稻生长关键期）长沙市范围内23个样方的6 175张无人机低空航摄影像，制作了64张分辨率优于0.1 m的正射影像，并拍摄1 584张实地核查照片，主要用于制作解译样本。

3）矢量数据。收集整理已有长沙市范围国土变更调查的耕地数据以及1∶2 000大比例尺地形图数据，经坐标转换、冗余去除等处理，用于影像精度检查、局部配准以及精确遥感解译田块数据。

### 2.3 遥感数据预处理方法

综合考虑卫星遥感影像处理效率、精度以及光学卫星影像的多源多尺度特性，本文采用PIE软件对光学卫星遥感影像进行处理，包括辐射定标、大气校正、几何精校正和影像融合等步骤；采用SNAP软件对Sentinel-1雷达卫星影像进行处理，包括影像裁剪、轨道校正、热红外噪声去除、辐射定标、斑点去除、地形校正和分贝化处理等步骤。

## 3 水稻种植遥感监测方法

基于物候特征，利用二分法构建分类体系；再基于多源多时序卫星遥感影像，结合样方成果数据，采用专业遥感解译系统初步提取早稻、中稻和晚稻范

围；然后基于物候特征进行分类细化分析；最后参照最新卫星遥感影像和大比例尺地形图数据，对图斑进行核实和边界修正。

1）分类体系建立。本文基于水稻的物候特征，采用二分法构建分类系统（图2）。

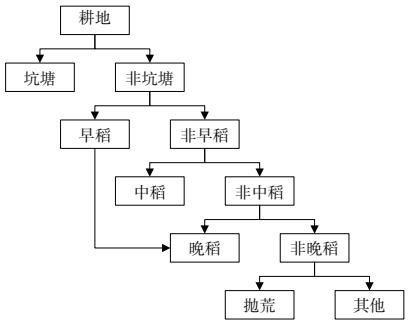



图2　分类体系图

2）基于SAR影像的水体提取。基于SAR影像，本文利用阈值分割法提取水体信息。根据水体在SAR影像中散射值低的特点，设定相应阈值（由水体样本统计分析得到，–1.310 748），将图像中小于阈值和大于阈值部分分别标记为水体和背景，形成二值图；再利用影像转矢量工具输出二值图中的水体部分，得到基于SAR影像的水体范围矢量数据[14]。

3）基于光学影像的面向对象分类。本文采用面向对象的方法提取早、中、晚稻信息。核心分割算法采用基于影像光谱信息、纹理特征、形状特征、边缘特征等多特征融合的算法，比传统分割算法更加准确清晰[15]。其主要步骤包括：①影像分割，本文采用图论分割算法进行影像分割，经过反复测试，筛选出耕地的最优分割尺度为80，最优紧致度因子和形状因子均为0.4；②样本训练，本文开展了23个样方3个批次和100个点位3个批次的遥感解译工作，共制作15 260个样本图斑，总面积约为3.8万亩，在遥感解译样本数据库中分别导出早、中、晚稻样本数据，再基于7月、8月和10月的光学遥感影像，分别导入早、中、晚稻样本矢量数据，最后通过人工目视解译的方式添加植被、水体、建（构）筑物等样本，作为影像分类的样本数据；③影像分类，主要参考要素包括光谱特征（直方图、均值、标准差等）、纹理特征（同质性、对比度、不相似性、相关性等）、指数特征（NDVI、NDWI），分类算法采用支持向量机；④对初步分类结果进行要素合并、平滑处理等分类后处理，输出shapefile格式的分类成果。

4）基于物候特征的分类细化分析。坑塘水面一般用来蓄水、养殖，具有常年积水的物候特征。因此，本文基于4月SAR影像数据和7月、8月和9月光学卫星影像数据提取水体信息，再结合最新国土变更调查成果中的耕地数据，对二者进行求交分析，得到坑塘水面违占耕地的范围。根据湖南省早稻种植物候信息，长沙市早稻种植一般在4月下旬进入插秧期，种植早稻的水田此时也进入灌水期；5月进入分蘖期；6月进入拔节、孕穗、抽穗期；7月进入扬花、灌浆期；7月底—8月初成熟，进入收割期。本文基于4月的SAR影像提取水体，识别灌水期水田范围；基于7月的光学卫星影像提取疑似种植早稻的水田范围；在水田范围内排除已识别的坑塘水面占用耕地范围，再与识别的灌水期水田、疑似种植早稻的水田范围进行叠置分析，取三者交集，即为早稻种植范围。长沙市中稻种植一般比早稻晚近1个月，即5月中下旬进入插秧期；6月进入分蘖期；7月进入拔节、孕穗、抽穗期；8月进入扬花、灌浆期；9月中下旬成熟，进入收割期。本文基于5月、8月、9月的光学卫星影像提取疑似种植中稻的水田范围；在水田范围内排除已识别的坑塘水面占用耕地范围、早稻种植范围，再与疑似种植中稻的水田范围进行叠置分析，取二者交集，即为中稻种植范围。长沙市晚稻种植一般在7月底—8月初进入插秧期；8月中下旬进入分蘖期；9月上中旬进入拔节、孕穗、抽穗期；9月下旬—10月上旬进入扬花、灌浆期；10月中下旬成熟，进入收割期。本文基于8月、9月、10月的光学卫星影像提取疑似种植晚稻的水田范围；在水田范围内排除已识别的坑塘水面占用耕地范围、中稻种植范围，再与疑似种植晚稻的水田范围进行叠置分析，取二者交集，即为晚稻种植范围。

5）结果修正。收集整理监测范围内的最新地形图数据，提取地形图中的耕地面，套合最新遥感影像，采用空间分析方法对分类细化分析后的成果进行修正。

## 4　监测结果与精度评估

监测结果表明，在长沙市2024年水稻种植总量中，早稻种植面积占比约为11%；中稻种植面积占比约为59.4%；晚稻种植占比约为29.6%，主要集中在宁乡市、长沙县、浏阳市和望城区4个区县。

在5月、7月和9月水稻生长关键期开展外业核实工作。采用无人机航飞的方式获取长沙市范围内20个分散地块的正射影像图，地面分辨率为0.1 m，经外

业拍照和内业解译，共制作7 980个检验图斑，图斑总面积约为28 473亩。各地类检验图斑的实际解译结果见表2。

表2 精度检验地块各地类占比分布

| 解译结果 | 图斑数量/个 | 图斑面积/亩 | 占比/% |
|---|---|---|---|
| 早稻 | 84 | 445 | 1.56 |
| 早稻/晚稻 | 362 | 2 959 | 10.30 |
| 晚稻 | 592 | 3 811 | 13.38 |
| 中稻 | 1 616 | 13 410 | 47.10 |
| 撂荒 | 792 | 1 314 | 4.62 |
| 其他 | 4 534 | 6 534 | 22.95 |

本文提取2 035个水稻解译样本，利用混淆矩阵来评估分类的准确性，计算得到总体准确度为93%，Kappa系数为0.86（表3），说明遥感监测结果与实际情况一致，为评估监测技术的有效性提供了量化依据。

表3 分类结果的混淆矩阵

| | 早稻 | 中稻 | 晚稻 | 早稻/晚稻 | 合计 | 用户精度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 早稻 | 43 | 3 | 2 | 5 | 53 | 0.81 |
| 中稻 | 4 | 1 398 | 21 | 11 | 1 434 | 0.97 |
| 晚稻 | 2 | 27 | 221 | 17 | 267 | 0.83 |
| 早稻/晚稻 | 3 | 17 | 21 | 240 | 281 | 0.85 |
| 合计 | 52 | 1 445 | 265 | 273 | 2 035 | 0.00 |
| 制图精度 | 0.83 | 0.97 | 0.83 | 0.88 | | |

利用地块解译结果，根据面状地物特征，本文分别计算了早、中、晚稻地块的准确度。以检验地块的解译结果与相应遥感监测成果的交集为分子，以检验地块内早、中、晚稻面积为分母，计算得到遥感监测早、中、晚稻成果的准确率分别为86.25%、88.89%和86.41%；求均值后总体准确率为87.18%。

## 5 结 语

本文构建了一个基于多源空间数据和机器学习算法的水稻种植监测技术体系。长沙市的应用结果表明，该技术体系能高效、准确地监测耕地水稻种植状况，监测成果准确度约为87%。通过定期监测，长沙市能及时掌握耕地水稻种植的动态变化，为制定相应的农业资源优化配置和粮食安全保障政策和措施提供数据支持。该技术体系具有良好的普适性和可移植性，可为其他南方丘陵地区提供借鉴。

本文还存在一些不足之处：①受数据获取条件限制，光学影像数据的时间分辨率和空间分辨率仍有待提高，雷达数据的配合使用效果还需再验证；②本文算法模型主要针对长沙市进行训练和优化，在其他地区的适用性需要进一步验证和调整。未来将对以下方面进行深入探讨：①数据源扩展，探索更多类型的遥感数据，提高监测的时空分辨率；②算法优化和自动化，研究更先进的机器学习算法，提高模型的泛化能力和自动化水平；③多学科融合，结合农业科学、环境科学等多学科知识，提高监测结果的科学性和决策支持能力；④开发实时监测系统，实现对耕地非粮化现象的动态监控和预警。

## 参考文献

[1] 甘黎黎,赵雪婷. 耕地“非粮化”的法律规制研究[J]. 资源与人居环境,2022(6):34-39

[2] 苏越. 耕地非粮化时空演变与管控研究[D]. 杭州:浙江大学,2020

[3] 石婷婷,戴腾,厉芳婷,等. 基于深度学习的耕地“非农化”遥感监测初探[J]. 地理空间信息,2022,20(3):34-37

[4] 陈志杰,汪权方,王新生,等. 基于GF-1的冬小麦遥感监测区域适用性分析[J]. 地理空间信息,2017,15(1):66-68

[5] 王谦,元昌安,王新生,等. 基于3S技术的水稻播种面积变化遥感监测[J]. 地理空间信息,2014,12(1):98-100

[6] 姚永胜. 基于GF6遥感的水稻生长监测与估产方法研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2024

[7] 林荣福,张楠,周艳,等. 基于GF-5高光谱遥感的农作物种植结构监测研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(增刊1):224-226

[8] 刘道芳,许志辉,卢欣. 基于国产数据及物候特征的水稻面积精细遥感监测方法研究[J]. 河南科技,2021,40(21):23-26

[9] 杨志文. 基于深度学习的耕地信息提取方法与变化监测分析[D]. 焦作:河南理工大学,2023

[10] 杨悦,杨贵军,龙慧灵,等. 基于遥感时序物候特征的耕地非粮化多模式监测方法[J]. 农业工程学报,2024,40(2):283-294

[11] 庄琳,段文凤,魏小城,等.现代化技术在耕地种植作物监测中的运用[J]. 地矿测绘,2024,40(1):8-12

[12] 黄海量. 遥感技术在村域尺度耕地种植动态监测中的应用[J]. 南方农机,2023,54(22):89-92

[13] 任德旺. 天空地一体化的耕地“非粮化”监测技术研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(2):141-144

[14] 陈玲艳,刘智,张红. 基于水体散射特性的SAR图像水体检测[J]. 遥感技术与应用,2014,29(6):963-969

[15] 张杲. 面向对象的光学遥感影像特征提取与分类研究[D]. 郑州:河南大学,2020