

基于全生命周期综合监测法提取水稻种植面积关键技术研究

潘栋

湖南玖玖城市地理信息技术有限公司

DOI:10.32629/as.v9i6.4053

[摘要] 随着自然环境与人文环境的快速变化,水稻监测已成为重要且紧急的议题。本文应用卫星遥感影像,进行早稻、中稻、晚稻全生命周期的多期卫星影像比对,形成长时间序列的NDVI和后向散射系数生长曲线,结合无人机与实地调查成果,在耕地范围内自动识别提取水稻种植范围,结合种植区地形地貌特征,对水稻种植类型进行精准分类,并通过抽样进行实地验证,最终确定水稻种植类型、区域及面积。基于实地调查样方,采用混淆矩阵分析法,检验评价分类精度,满足水稻监测需求。本文为综合使用光学卫星影像、雷达卫星影像、高光谱卫星影像的方法,解决光学卫星影像在水稻某个生长关键期缺失的问题,拓展了水稻监测手段,进一步提升了水稻面积监测监管现代化水平。

[关键词] 水稻监测; 卫星影像; 作物分类

中图分类号: S435.111.2 **文献标识码:** A

Research on key technologies of extracting rice planting area based on the full life cycle comprehensive monitoring method

Dong Pan

Hunan Jiujiu Urban Geographic Information Technology Co., Ltd

[Abstract] With the rapid changes in both natural and human environments, rice monitoring has become a critical and urgent issue. This study employs satellite remote sensing imagery to conduct multi-temporal comparisons of early, mid, and late rice throughout their entire life cycles, forming long-term NDVI and backscattering coefficient growth curves. By integrating drone and field survey results, it automatically identifies and extracts rice planting areas within cultivated land. Combining terrain and topographic features of the planting zones, the study accurately classifies rice planting types through sampling for field validation, ultimately determining the types, regions, and areas of rice cultivation. Based on field survey plots, the confusion matrix analysis method is used to evaluate classification accuracy, meeting the requirements of rice monitoring. The study comprehensively utilizes optical satellite imagery, radar satellite imagery, and hyperspectral satellite imagery to address the issue of missing optical satellite data during critical growth stages of rice, expanding monitoring methods and further enhancing the modernization of rice area monitoring and regulation.

[Key words] Rice monitoring; Satellite imagery; Crop classification

1 引言

水稻是全世界最重要的粮食作物之一,种植区域约占全球耕地面积的十分之一^[1]。近年来,由于气候变迁、全球变暖等影响,各地区温度与降雨的特征在不断改变^[2],环境与粮食安全问题进一步凸显^[3-5]。随着自然环境与人文环境的快速变化,水稻监测已成为重要且紧急的议题^[6]。传统的监测方式需要大量的人力、物力和时间,该方法工作强度大、效率低、易出错,还导致粮食安全规划信息滞后,已无法适应当前政府部门对“大规模、快节奏”的水稻常态化监测监管需求^[7]。随着遥感技术快速发展,结合水稻生长的物候特征,可实现全域覆盖、高效监测,

为水稻监测监管提供了必要的技术支撑和保障条件。研究水稻种植面积关键技术,对于降低人工核查成本,提升监管与服务效率,全面压实粮食考核安全责任,保障社会安定和国家安全具有非常深远的意义。

2 总体设计

2.1 水稻分类

水稻根据生长期特征分为早稻、中稻、晚稻三种类型。

2.2 水稻种植生育期

水稻生育期分为翻耕移栽期(苗期)、分蘖拔节期、抽穗扬花期、成熟期。对应物候特征如表1所示。

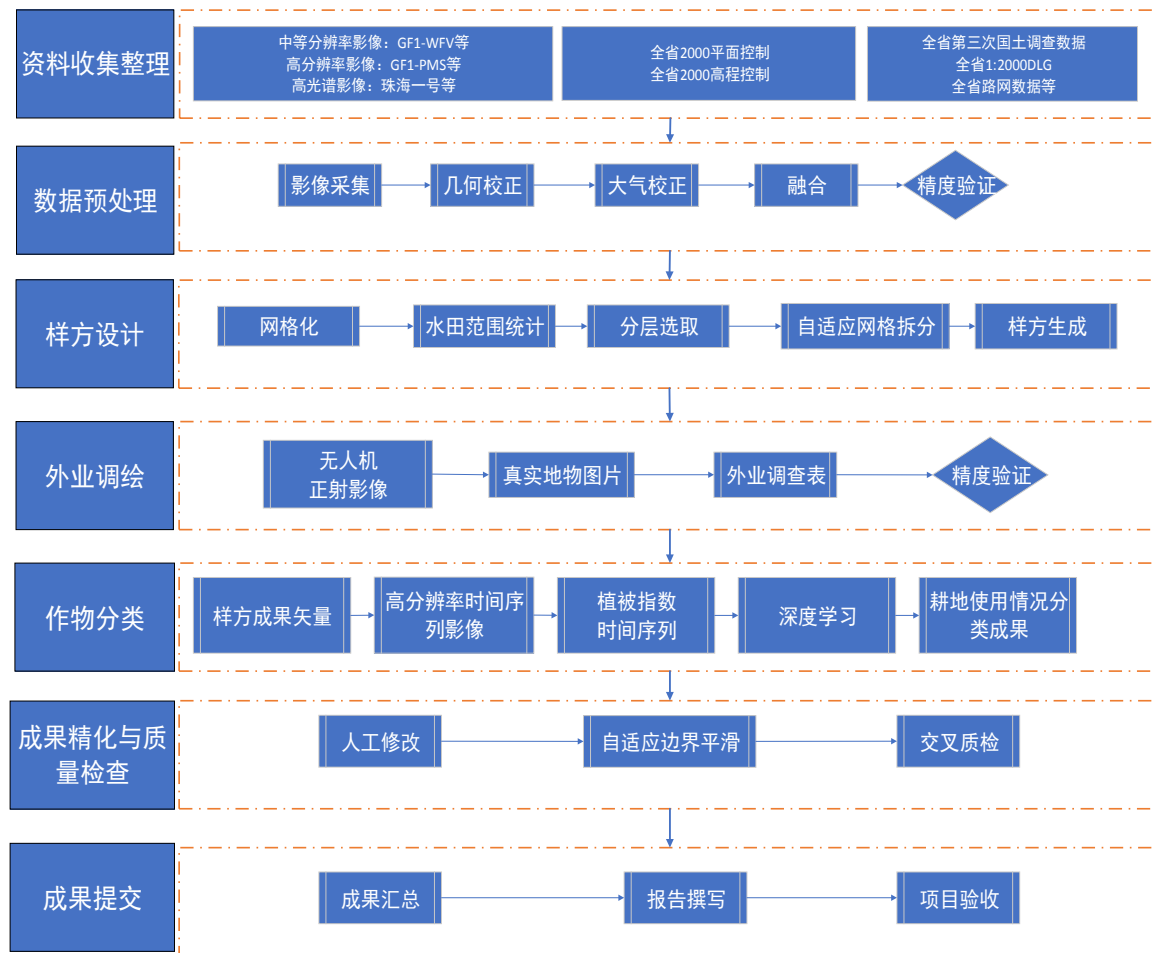


图1 水稻全生命周期监测总体技术流程

表1 水稻生育期物候特征

生育期	早稻	中稻	晚稻
翻耕移栽	4月下旬-5月上旬	6月中旬-7月上旬	7月中下旬-8月上旬
分蘖拔节	5月	7月	8月
抽穗扬花	6月	8月	9月
成熟	7月	9月下旬-10月中旬	10月下旬-11月中旬

2.3 生育期遥感特征

表2 水稻生育期遥感特征

生育期	遥感特征
翻耕移栽	水稻幼苗从苗床移栽到稻田遥感影像上水体特征明显, 真彩色影像上表现为蓝色
分蘖拔节	水稻茎基部节上腋芽长出分枝遥感影像上开始显示植被特征, 真彩色影像上表现为淡绿色
抽穗扬花	水稻圆锥花序伸出, 颖花绽放, 50%的花序伸出可认定为抽穗遥感影像上植被特征明显, 真彩色影像上表现为亮绿色
成熟	水稻进入灌浆后期, 谷粒形成 遥感影像仍为植被特征, 真彩色影像上表现为黄绿色

2.4 常用卫星遥感影像

(1) 高分1号 (GF1-PMS): 高分一号卫星是中国高分辨率对地

观测系统的第一颗卫星, 本项目主要使用其PMS传感器数据 (由于新型B/C/D星的加入, 重返周期大大加强, 且不同星传感器类型几乎一致), 其搭载2米全色、8米多光谱PMS相机, 具有多模式同时工作的能力。水稻监测中主要采用高分1号融合后的2米多光谱影像的近红外与红波段。

(2) 高分1号 (GF1-WFV): 高分一号WFV传感器空间分辨率16米, 数据具有幅宽大、重返周期短等优点, 适合于水稻等农作物监测。

(3) Landsat 8影像: Landsat8卫星包含OLI (Operational Land Imager 陆地成像仪) 和TIRS (Thermal Infrared Sensor 热红外传感器) 两种传感器。OLI陆地成像仪包括9个波段, 空间分辨率为30米, 其中包括一个15米的全色波段, 成像宽幅为185 x 185km。OLI包括了ETM+传感器所有的波段, 为了避免大气吸收特征, OLI对波段进行了重新调整, 比较大的调整是OLI Band5 (0.845 - 0.885 μm), 排除了0.825 μm 处水汽吸收特征; OLI全色波段Band8波段范围较窄, 这种方式可以在全色图像上更好地区分植被和无植被特征。此外, 还有两个新增的波段: 蓝色波段 (band 1; 0.433-0.453 μm) 主要应用海岸带观测, 短波红外波段 (b

and 9; 1.360–1.390 μm) 包括水汽强吸收特征可用于云检测; 近红外band5和短波红外band9与MODIS对应的波段接近。水稻监测中应用融合后15米多光谱影像, 在空间分辨率上与GF1-WFV较为一致。

(4) 哨兵2A/2B影像: 哨兵2A (Sentinel2A) 数据是欧空局于2015年6月23日发射的多光谱光学推扫式成像卫星 (其中Sentinel2B于2017年3月7日发射成功), 其光谱波段达到13个, 幅宽达到290km, 两星组网重访周期为3天, 空间分辨率最高达到10米, 其具体波段参数如下表所示, 该卫星在粮食安全监测、应急救援等相关领域得到了极大的应用。水稻监测中主要利用哨兵2A/2B卫星影像的可见光波段与近红外波段, 空间分辨率为10米, 主要波段数据为近红外与红波段数据。

(5) 珠海一号影像: 珠海一号影像是民用的一颗高光谱卫星, 该高光谱卫星影像总共有32个波段, 包含了可见光到近红外、短波红外等植被敏感波段, 对于区分不同植被类型具有重要的作用。

2.5 技术流程

应用卫星遥感影像, 进行早稻、中稻、晚稻全生命周期的多期卫星影像比对, 形成长时间序列的NDVI和后向散射系数生长曲线, 结合无人机与实地调查成果, 在三调耕地范围内自动识别提取农作物种植范围, 套合1:2000 DLG耕地数据, 结合种植区地形地貌特征, 对农作物种植进行精准分类, 并通过抽样实地验证, 最终确定水稻种植类型、区域及面积。

3 工程应用—以A县2025年为例

3.1 区域概况

A县区域总面积1279平方公里, 辖6个街道、10个镇、1个乡。区境西南为雪峰山余脉, 最高点海拔为502米; 中部地面起伏平缓, 丘岗与平原相间; 东北部为滨湖平原, 平坦开阔, 耕地连片, 土壤肥沃, 是主要的农产品基地。

3.2 基础资料收集利用情况

(1) 基础地理信息数据。包括1:2000数字正射影像图、1:2000数字线划图、1:10000数字高程模型。

(2) 国土三调成果以及各年度成果变更成果。

(3) 路网数据。

主要包括各级道路网络, 如国道、省道、高速公路等, 用于外业调查、样方设计等步骤。

(4) 影像资料收集。考虑到该区域云雨天气较多, 其中春夏之交梅雨期多暴雨或长时间降雨, 4–6月降水占全年降水量的40%, 在使用遥感影像统筹项目成果基础上, 补充采用了GF1-WFV、Landsat8、Sentinel2A/2B、珠海一号、ZY1E等影像数据源作为基础影像数据, 其中GF1-WFV、北京二号等国产卫星影像主要从中国资源卫星应用中心下载, Landsat、Sentinel2A/2B等遥感影像主要从美国地质调查局和欧空局官方网站下载。

3.3 遥感影像预处理

利用ENVI、SNAP等软件完成影像预处理, 如辐射定标、大气校正、波段计算、裁剪等标准化预处理。

3.4 样方设计与样本采集

综合考虑空间分布均匀性、样方内部作物均匀性等特点, 采用分层随机抽样方法进行样方布设, 应用区域布设300个样方。采用无人机航摄和人工地面调查相结合的方式, 按照“星地同步”原则, 在卫星过境期间进行样方调查, 调查样方内的实际种植情况, 采集典型农作物光谱信息, 拍摄典型农作物照片。

3.5 作物识别提取

从多时相、多源遥感影像上提取各类光谱特征和纹理特征, 结合实地采集样方和各类种植作物的物候特性, 定义粮食作物、非粮食作物和未耕地等分类规则, 采用多种分类方法相结合的方式, 分类提取水稻种植情况信息。水稻种植面积综合应用长时间序列光学影像提取法和长时间时序雷达影像提取法。

(1) 基于长时间序列光学影像提取水稻种植面积。根据提取的植被指数, 增强型植被指数等特征波段, 构建特征时间序列, 选取典型区域的双季稻和一季稻样点, 进行时间序列分析, 结果如下图所示:

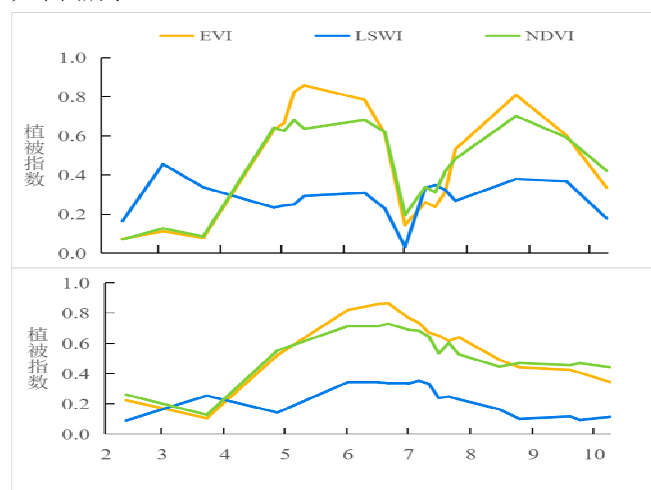
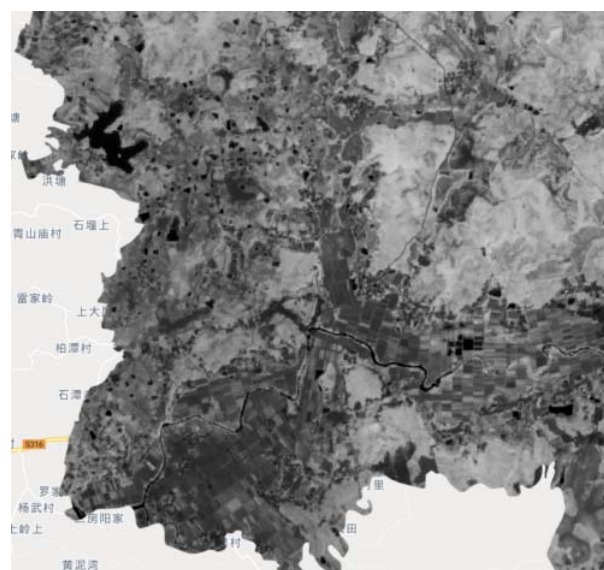


图2 双季稻与一季稻光谱特征分析

下图为不同水稻生长时期NDVI特征:



(a) 水稻种植期



图4 水稻生长假彩色合成影像

为了更好地对比分析,选择假彩色影像进行对比,选取局部区域进行说明:

从上图可以看出,双季稻呈现明显的双波峰特征,而一季稻则是单波峰。双波峰处于5月底、9月上旬两个时间段,与双季水稻种植时间节点吻合。从水体指数特征来看,双季稻在7月底呈现明显的下降,则是由于早稻收割完毕,农田处于灌水区,因此水体特征同样明显。

总体而言,从植被指数与水体指数时间序列特征来说,两者具有较高的可区分性。

(2)基于长时间时序雷达影像提取水稻种植面积。雷达遥感对地物的几何特性以及对由含水量决定的介电常数较为敏感,而不同物候期水稻几何结构以及稻田灌排水量变化较大,使水稻具有特殊的后向散射系数时间变化特征(时域散射特征)。因此,可利用高时间分辨率的合成孔径雷达(SAR)影像对水稻进行观测,根据水稻在不同物候期的后向散射系数特征差异,提取水稻的种植面积。

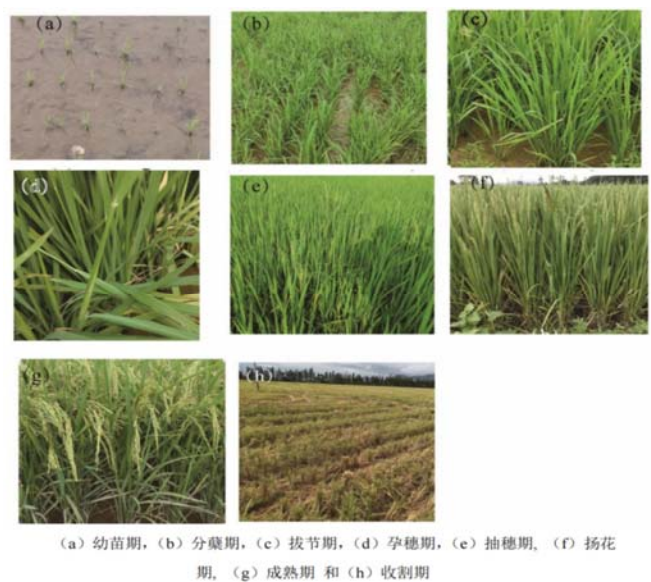


图5 水稻不同生长期照片

在水稻插秧期前后(四月中下旬、七月中下旬),田块被平整并灌水,以促使秧苗生根。此时,稻田呈现平坦光滑的几何特征,在雷达信号上呈现极低的、与水体相似的雷达后向散射系数特征;在水稻生长旺期(六月中下旬、十月上旬),水稻表面结构复杂,叶片和稻穗混杂,呈现复杂的几何特征。此时,稻田呈现与植被(森林、草地等)相似的雷达后向散射系数特征。根据这两大雷达后向散射系数特征,分别在四月中下旬、七月中下旬、六月中下旬、十月上旬这四个时间节点,获取观测区域的雷达影像,计算对应的雷达后向散射系数特征,分别提取在四月中下旬和七月中下旬被分为水体、在六月中下旬和十月上旬被分为植被的区域,进行掩膜叠加,重合的区域即为水稻种植区域。

3.6分类结果修正与精度评价

结合影像特征信息,采用人机交互模式,对分类结果进行修

正,消除碎小图斑和明显错误分类,得到最终的优化成果。基于实地调查样方,采用混淆矩阵分析法,检验评价分类精度。为检验监测成果的科学性与精确性,进行了监测精度实地验证。

(1)混淆矩阵分析法。利用误差混淆矩阵评理解译精度,评价指标包括总体精度、Kappa系数和F1 Score,计算方式及说明具体见表2。

表3 混淆矩阵精度评价指标、公式、取值及含义

精度指标	公式	取值及含义
总体精度Overall Accuracy	$OA = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r x_{ij}}$	取值: 0 到 1 之间含义: 值越接近 1 表示解译结果正确率越高
Kappa 系数Kappa Coefficient	$kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i.} x_{.i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i.} x_{.i}}$	取值: -1 到 1 之间,通常大于 0 含义: 值越接近 1 表示解译结果与验证样本一致性越高
F1 值 F1 Score	$F_1 = 1/r \times \sum_{i=1}^r 2 \times \frac{\frac{x_{ii}}{\sum_{j=1}^r x_{ij}} \times \frac{x_{ii}}{\sum_{i=1}^r x_{i.}}}{\frac{x_{ii}}{\sum_{j=1}^r x_{ij}} + \frac{x_{ii}}{\sum_{i=1}^r x_{i.}}}$	取值: 0 到 1 之间含义: 值越接近 1 表示综合分类效果越好

说明: i 为验证样本的类别序数, j 为分类结果中的类别序数, r 为类别总数, x_{ii} 为验证样本 i 类别在分类结果中也是 i 类别的计数值, x_{ij} 为验证样本 i 类别在分类结果中是 j 类别的计数值, $x_{i.}$ 为验证样本 i 类别的总计数, $x_{.j}$ 为分类结果中 j 类别的总计数, N 为验证样本总数。

(2)解译精度验证。①早稻。样本与分类结果的混淆矩阵。

解译结果\实际类型	早稻(实际)	其它(实际)	实际样本总数
早稻(解译)	367(正确)	13(错误)	380
非早稻(解译)	19(错误)	99(正确)	118
解译结果总数	386	112	498(总样本 N)

精度匹配计算

正确匹配的样本数(混淆矩阵对角线 x_{ii}):

早稻正确数(x_{11}) + 其它正确数(x_{22}) = 367 + 99 = 466

总样本数: 498 总体精度: $OA = 466 \div 498 = 93.57\%$

②中稻。样本与分类结果的混淆矩阵。

解译结果\实际类型	中稻(实际)	其它(实际)	实际样本总数
中稻(解译)	349(正确)	8(错误)	357
非中稻(解译)	12(错误)	105(正确)	117
解译结果总数	361	113	474(总样本 N)

精度匹配计算

正确匹配的样本数(混淆矩阵对角线 x_{ii}):

中稻正确数(x_{11}) + 其它正确数(x_{22}) = 349 + 105 = 454

总样本数: 474 总体精度: $OA = 454 \div 474 = 95.78\%$

③晚稻。样本与分类结果的混淆矩阵。

解译结果\实际类型	晚稻(实际)	其它(实际)	实际样本总数
晚稻(解译)	358(正确)	13(错误)	371
非晚稻(解译)	18(错误)	116(正确)	134
解译结果总数	376	129	505(总样本 N)

精度匹配计算

正确匹配的样本数(混淆矩阵对角线 X_{ii}):

晚稻正确数(X_{11})+其它正确数(X_{22})=358+116=474

总样本数: 505 总体精度: $OA=474 \div 505=93.86\%$

3. 7汇总统计分析与专题图件制作

根据水稻遥感监测结果,结合行政界线及往年成果等相关数据,就水稻面积、类型、种植趋势等方面进行统计分析,制作相关专题表和专题图。为提高统计精度,利用实地调查成果对基于卫星遥感影像提取出的水稻进行修正后,套合1:2000 DLG数据,叠加1m级季度影像成果进行逐地块、逐图斑核查,剔除误分类图斑,最终确定精确的水稻的边界范围及种植面积。

4 小结

4.1 雷达、高光谱等新型遥感数据能够辅助开展水稻监测

为解决光学卫星影像在水稻某个生长关键期缺失的问题,综合使用光学卫星影像、雷达卫星影像、高光谱卫星影像的方法,在基于光学数据形成的长时间序列植被指数成果的基础上,对于水稻移栽期采用雷达数据提取水田灌水面积,对于水稻分蘖期采用高光谱数据提取水稻种植面积。本文主要使用国产中分辨率卫星(高分一号WFV、高分六号WFV卫星)为主,国外Landsat8、Sentinel卫星为辅,覆盖3月下旬-4月底(早稻翻耕移栽期)、5月15日-6月15日(早稻分蘖抽穗期、中稻翻耕移栽期)、7月20日-8月10日(早稻成熟收割期、中稻分蘖抽穗期、晚稻翻耕移栽期)、9月5日-9月25日(中稻成熟收割期、晚稻分蘖抽穗期)、10月5日-10月20日(晚稻成熟收割期)。并采集了3-4月、5-6月、7-8月、9-10月四次全覆盖的高光谱影像,探索了高光谱卫星影像在水稻精准分类中的应用,提升了监测结果的可靠性。

4.2 对三调水田进行地形差异化分区监测有利于保障精度

后期研究可以根据湖南省的1:10000 DEM、地形地貌、坡度等数据,将三调水田数据进行差异化分类,一类区为海拔低、地势平坦、水田集中连片程度高的区域,双季稻种植较多;二类区为海拔中等、坡度较缓的区域,双季稻、一季稻混种较多;三类区为海拔较高且坡度较大的区域,主要种植一季稻。对于一类区、二类区优先使用高分辨率卫星影像数据,三类区保障中分辨率卫星影像全覆盖。通过分类分区的方法,保障了重点水稻(早、

中、晚稻)种植区域的分类精度。

4.3 确定了常用卫星遥感数据在农作物种植监测中波段优选方案

(1) 高分1号(GF1-PMS)主要采用了高分1号融合后的2米多光谱影像的近红外与红波段;

(2) 高分1号(GF1-WFV)数据具有幅宽大、重返周期短等优点,适合于水稻等农作物监测;

(3) Landsat 8影像应用融合后的15米多光谱影像,在空间分辨率上与GF1-WFV较为一致;

(4) 哨兵2A/2B影像主要利用可见光波段与近红外波段,空间分辨率为10米;

(5) 珠海一号影像为高光谱卫星影像,包含了可见光到近红外、短波红外等植被敏感波段,对于区分不同植被类型具有重要的作用。

[参考文献]

[1] 刘爽.浅析世界及我国水稻生产状况[J].新农业,2020(20):14-16.

[2] Solomon S D, Qin D, Manning M, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013.

[3] Furuya J, Kobayashi S. Impact of global warming on agricultural product markets: stochastic world food model analysis[J]. Sustainability Science, 2009, 4(1): 71-79.

[4] 《2021年世界粮食安全和营养状况》中文版全文发布: 疫情肆虐,全球饥饿人数激增[J].粮油食品科技, 2021, 29(06): 70.

[5] 李建平, 王佳佳, 李俊杰. “后疫情时代”我国水稻产业发展的思考[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42, 282(06): 1-5.

[6] 董心君. 基于Sentinel-1 SAR时序影像的水稻种植面积监测研究[D]. 东南大学, 2023.

[7] 陶超, 阴紫薇, 朱庆, 等. 遥感影像智能解译: 从监督学习到自监督学习[J]. 测绘报, 2021, 50(8): 1122-1134.

作者简介:

潘栋(1990—),男,汉族,湖南益阳人,研究生,工程师,主要研究方向为:摄影测量与遥感、自然资源调查监测。