

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.06.018

基于光学与雷达遥感的山地油菜分布提取研究

王克晓, 周蕊, 欧毅, 虞豹, 黄祥, 王茜

重庆市农业科学院, 重庆 401329

摘要: 通过对 Sentinel-2 光学影像主成分特征波段、植被指数和多时相 Sentinel-1 SAR 不同极化散射特征波段构建多种地物特征影像集组合, 基于支持向量机分类(SVM)算法对重庆市合川区 2019 年产季冬油菜分布进行识别提取精度分析。结果表明: 植被指数可以大幅度提高油菜作物分布提取的制图精度, 基于红边波段的植被指数要比传统的近红外波段对改善油菜提取的制图精度更加有效, 制图精度提高 4.5%; 在一定程度上, 多时相极化 SAR 数据 VV-VH 特征组合可以替代光学影像用于丘陵山地地块破碎地区油菜种植分布信息的提取, 油菜制图精度提高 15.74%, 融合绿熟期油菜作物光学特征和同期 SAR 散射特征的波段组合因冠层角果含水量增加, 油菜作物雷达散射特征加强, 油菜制图精度由 46.07% 提高到 66.29%, 总体精度提高到 60.40%。在光学影像主成分特征与多时相 SAR 散射特征下, 油菜制图精度提高到 70.79%, 用户精度提高至 85.14%, 总体精度提高 10% 左右。在西南多云雾地区, 以时间序列 SAR 数据为主导, 光学影像为补充的方法用于西南丘陵山地作物种植信息提取是一种较为可靠的方法, 可为我国西南地区农作物信息提取提供参考。

关键词: 雷达; 光学; 油菜; 分布; 山地

中图分类号: P237; S634.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)06-0139-08

油菜是我国第一大油料作物, 准确、及时掌握其种植面积是国家制定粮油和经济计划的重要依据^[1-2]。遥感具有覆盖面积大、重访周期短等特点, 在农作物分布调查中具有比较明显的优势^[3-4]。西南地区是我国冬油菜的主产区, 产季适逢冬春多云多雾季节, 使得较为成熟的基于多时相光学遥感的农作物分布信息提取技术因数据获取问题而较难开展。合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)遥感由于不受云雾影响, 具有全天候、全天时、周期短等特点, 为我国西南多云雾地区农作物分布识别提供了有力的数据支撑^[5-6]。

近年来, 国内外诸多学者对 SAR 和光学影像的结合应用开展了相关研究。Blaes 等^[7]用光学遥感和微波遥感比较了复杂种植结构下作物分类的精度, 探索了光学和微波遥感数据相结合的最佳方式。Haldar 等^[8]融合多时相 Radarsat 雷达数据与 AWIFS 遥感数据实现了水稻与其他作物的分离。Kussul 等^[9]结合 SAR 数据与光学数据有效区分乌克兰地区的玉米、大豆、甜菜等作物。韩可欣等^[10]利用 Sentinel-1 雷达数据在贵州高原山区进行短期土地利用监测研究, 验证了利用 SAR 监测高原山区土地利用变化的有效性。贾坤等^[11]利用资源卫星多光谱数据与 ENVISAT-ASAR 数据结合, 通过光谱信息与雷达 VV 极化数据增强不同地物之间的光谱差异, 提高了作物分类精度。周涛等^[12]以多时相 Sentinel-1 雷达和 Landsat-8 光学影像为数据源, 在南京市高淳区构建了不同的特征向量组合来提取冬小麦种植面积, 证明引入光学影像的

收稿日期: 2020-06-30

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscx-ljysBX0007, cstc2020jscx-ljysAX0012); 重庆市农业科学院农业发展资金项目(NKY-2020AB009)。

作者简介: 王克晓, 硕士, 工程师, 主要从事农业遥感方面研究。

通信作者: 周蕊, 硕士, 副研究员。

多时相 SAR 数据能够有效提高冬小麦识别精度. 郭交等^[13]融合 Sentinel-1 雷达影像和 Sentinel-2 光学影像, 对陕西省渭南市大荔县某农场农作物进行分类提取, 获取了比光学数据较高的分类结果. 陈磊士等^[14]结合 Landsat8 和 Sentinel-1 影像, 在昆明市主城区验证了基于机器学习分类算法的光学与雷达融合数据在土地利用分类信息提取方面的可行性.

上述多项研究表明, 中高分辨率的光学与 SAR 数据结合能够较好地应用于农作物种植面积提取中, 但在种植结构复杂、地块破碎的我国西南丘陵山区冬季作物提取中, 相应研究却相对较少. 本研究以丘陵山区地貌为代表的重庆市合川区为例, 利用 2019 年冬油菜产季的单时相 Sentinel-2 光学数据和多时相 Sentinel-1 SAR 影像为数据源, 构建光学影像主成分特征波段、植被指数和不同极化时间序列后向散射系数特征集等组合, 以支持向量机为分类器, 对研究区冬油菜分布进行识别提取, 探索中高分辨率多时相 SAR 与光学数据对丘陵山区冬油菜种植面积提取的能力, 为我国西南地区农作物信息提取提供参考.

1 研究区和数据源

1.1 研究区概况

本研究区位于重庆市合川区, 地理坐标为东经 $105^{\circ}58'37''$ — $106^{\circ}40'37''$, 北纬 $29^{\circ}51'02''$ — $30^{\circ}22'24''$ 之间, 全区幅员面积 $2\,344.07\text{ km}^2$ (图 1). 合川区地处川中丘陵和重庆平行岭谷的交接地带, 东南边缘的华蓥山区为平行岭谷地形, 西北大部分为平缓丘陵地型. 研究区内地块破碎, 作物种植结构复杂, 大宗作物主要以冬油菜、早稻及春玉米等为主, 其中油菜作物物候期如表 1. 油菜作物开花期和黄熟期冠层光谱特征明显, 绿熟期由于果角含水量增加使得冠层雷达散射特征也较为明显, 因此, 基于光学与雷达遥感协同的油菜识别最佳时期为开花期至黄熟期间.

表 1 研究区油菜作物物候期

月份	1			2			3			4			10			11			12					
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下			
物候期	现蕾			抽薹			开花期			结荚			绿熟 黄熟 成熟			育苗			移栽成活			生长 现蕾		

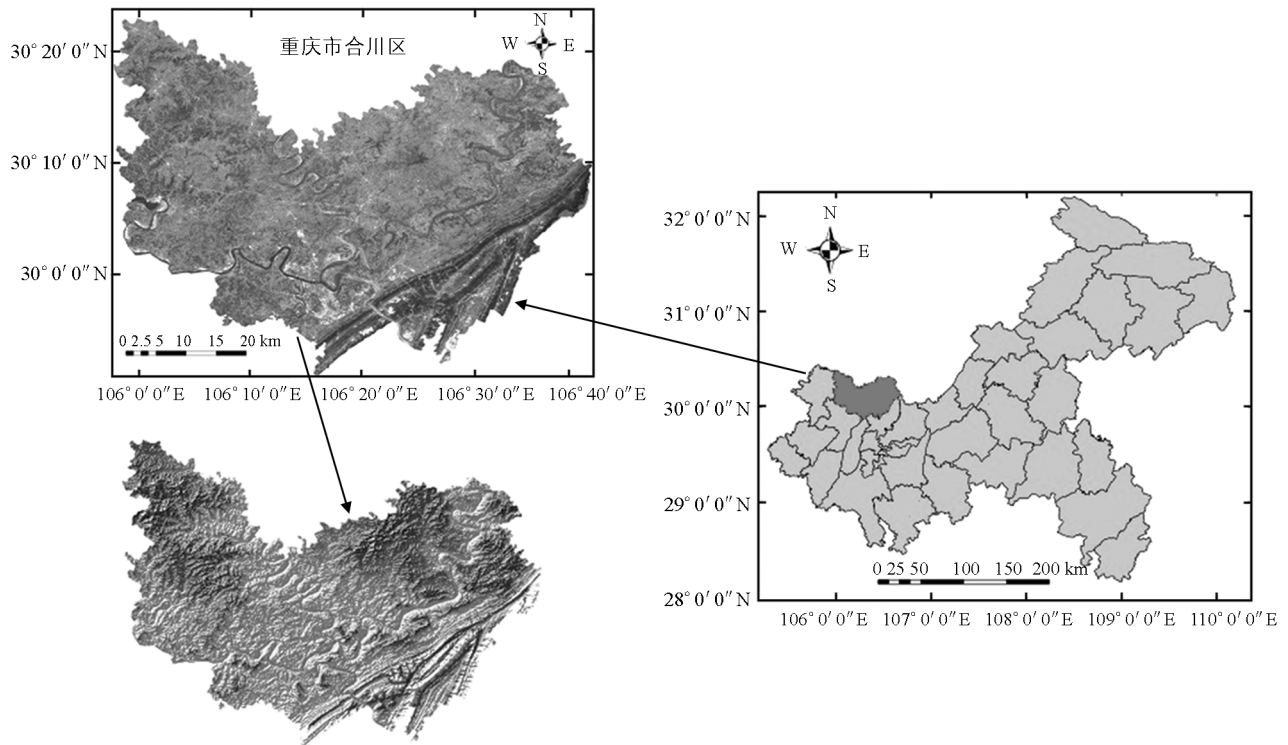


图 1 研究区位置及地貌图

1.2 双极化 SAR 数据

主要采用 Sentinel-1 的干涉宽幅模式(interferometric wide swath, IW)双极化地距影像产品, 像元分辨率为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, 极化方式为同极化(VV 极化)和交叉极化(VH 极化), 坐标采用 UTM/WGS84 投影系统, 其中包括 2018 年 12 月 23 日和 2019 年 1 月 4 日、1 月 16 日、1 月 28 日、2 月 9 日、2 月 21 日、3 月 5 日、3 月 17 日、3 月 29 日、4 月 10 日、4 月 22 日、5 月 4 日等 12 个时间节点, 基本涵盖了研究区油菜生长发育主要过程。

1.3 光学遥感数据

主要采用 Sentinel-2 多光谱数据和 GF-1 影像数据, 参考系为 WGS-84 坐标系, 其中, GF-1 为已经过正射校正的空间分辨率为 2 m 的融合多光谱图像, 成像时间为 2019 年 3 月 29 日。Sentinel-2 数据为 2019 年 4 月 7 日成像的 L1C 级多光谱产品数据, 为正射影像且经过辐射定标、去噪等预处理, 其可见光与近红外波段空间分辨率为 10 m , 红边及短波红外波段空间分辨率为 20 m , Sentinel-2 数据主要多光谱波段信息如表 2。另外, 本研究还获取了研究区局部地区 2019 年 3 月 11 日 Google Earth 卫星影像图, 作为样本选取和制作地物类型剖线的参考底图。

表 2 Sentinel-2 影像主要多光谱波段信息

编号	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
波段	Blue	Green	Red		Red Edge		NIR	Red Edge	SWIR-1	SWIR-2
中心波长/ μm	0.490	0.560	0.665	0.705	0.740	0.783	0.842	0.865	1.610	2.190
空间分辨率/ m	10	10	10	20	20	20	10	20	20	20

2 研究方法

2.1 数据预处理

主要利用 SNAP(Sentinel Application Platform)对 Sentinel-1 双极化 SAR 数据和 Sentinel-2 多光谱影像进行预处理。多时相 SAR 数据的预处理主要包括精密轨道校正、辐射定标、滤波、地形校正以及数据变换等过程, 得到以 dB 为单位的后向散射系数定标结果; 多光谱光学影像预处理主要是在 Sen2Cor 插件工具下大气校正和 Sen2Res 插件下的数据重采样, 得到涵盖可见光—红边—近红外—短波红外等 10 个空间分辨率为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的多光谱波段集。以 GF-1 融合图像为参考对经处理过的 Sentinel-1 SAR 影像和 Sentinel-2 多光谱影像做几何校正, 误差小于 1 个像元。

2.2 特征集获取

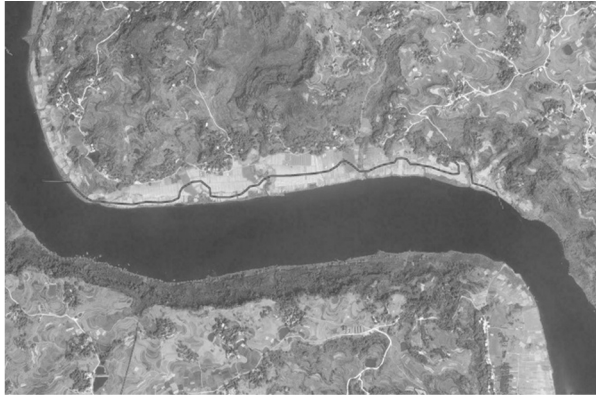
本研究所涉及特征集主要有光学影像主成分波段、植被指数、单时相 SAR 及多时相 SAR 数据集构成。其中, 主成分三波段通过对光学影像进行主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)获得, 不同时相的 SAR 数据集影像为经预处理的 12 期雷达影像后向散射系数定标结果, 植被指数(NDVI)及其改进指数(NDVI-RE)^[15]主要通过红波段 B4、红边波段 B7、近红外波段 B8 等波段提取, 植被指数及改进指数分别用 f_{NDVI} 和 $f_{\text{NDVI-RE}}$ 表示, 公式如下:

$$f_{\text{NDVI}} = (B8 - B4) / (B8 + B4) \quad (1)$$

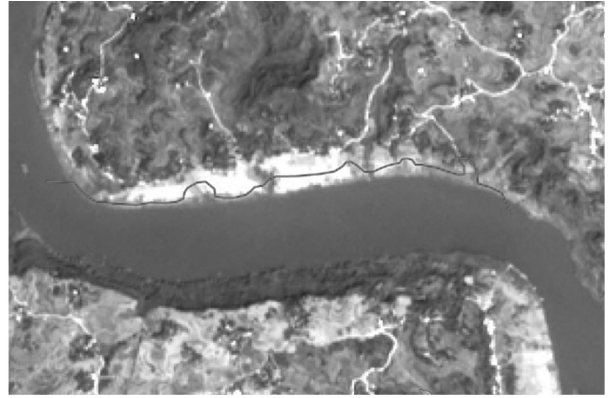
$$f_{\text{NDVI-RE}} = (B7 - B4) / (B7 + B4) \quad (2)$$

2.3 样本数据获取

在油菜开花期, 基于 Google Earth 高清影像建立包含绿色植被、裸地及水体等不同地物类型的剖面如图 2(a), 绿熟期影像剖面路径如图 2(b), 对应剖线路径上 f_{NDVI} 变化趋势如图 3。通过剖线路径定位确定不同地物在多光谱影像上的 f_{NDVI} 值, 初步确定以 $f_{\text{NDVI}} \geq 0.548$ 为研究区绿色植被的分布范围, 并以此为掩膜建立目标作物提取潜在兴趣区。根据油菜物候期内绿色植被的主要类型确定油菜、林地、其他绿色植被等 3 种识别类型, 并从 GF-1 多光谱影像和 Google Earth 影像上目视获取标准样本点集 410 个, 采用分层随机抽样方法选择样本集的 50% 作为训练样本, 剩下的 50% 被用于执行分类精度评定。



(a) Google Earth影像(2019年3月11日)



(b) Sentinel-2影像(2019年4月7日)

图 2 地物剖面走向

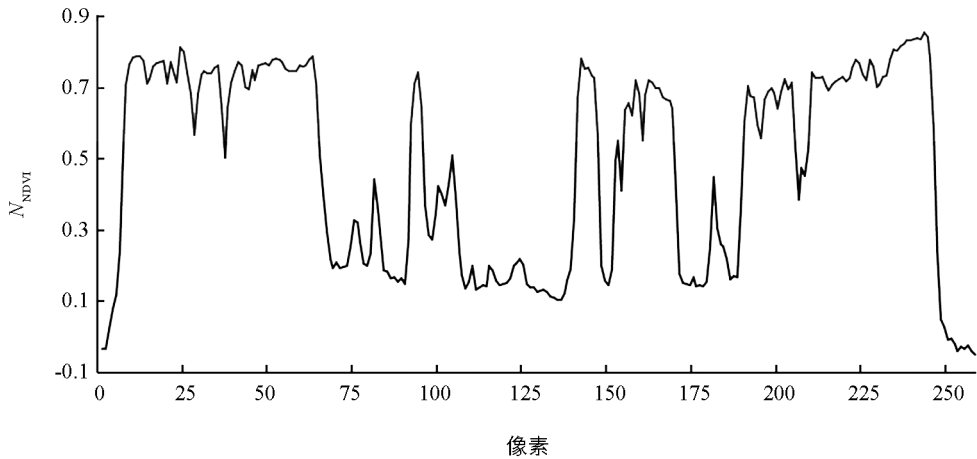


图 3 剖面 NDVI 变化曲线

为了定量评价样本的可分离性用以区分油菜与林地、同期其他绿色植被,分别基于光学影像 PCA 和 SAR 影像及其组合计算了不同特征集组合典型地物的 J-M 距离^[16],计算结果见表 3.可以看出:在光谱主成分特征下,油菜样本特征与林地样本特征 J-M 值为 1.910,同期其他绿色植被 J-M 值仅为 1.385;在 SAR 影像散射特征下,油菜与林地可区分程度值下降至 1.797,而与其他绿色植被间的可区分性特征值提高到 1.722;在融入光学主成分特征波段与多时相 SAR 图像的条件下,油菜样本与林地、同期其他植被的可区分 J-M 值均在 1.9 以上,表明在光学和 SAR 数据的组合下,油菜与林地、同期其他植被的可区分性最高.

表 3 典型地物的 J-M 距离

作物	数据集	波段数	样本 J-M 测度	
			林地	其他绿色植被
油菜	PCA	3	1.910	1.385
	VV+VH	12*2	1.797	1.722
	PCA+VV+VH	3+12*2	1.997	1.981

利用 ENVI 5.3 对 Sentinel-2 多光谱影像进行面向对象分割, Edge 切割算法选择尺度 20, Full Lambda Schedule 合并算法选择尺度 50. 对地物分割对象与样本点集进行相关分析, 获取训练样本与验证样本的对象多边形. 分割对象与预处理的多时相 SAR 及多光谱图像进行相关空间统计分析, 并获取对象内的图像均值, 获取分割对象层次的 SAR 散射系数产品和反射率产品.

2.4 分类器选择

支持向量机分类是在统计学习理论上发展起来的一种新的机器学习方法^[17], 通过引入 VC 维理论能有效控制网络的收敛速度、样本错分的界和风险, 得到小样本条件下的全局最优解, 已广泛应用于遥感

图像分类识别研究中^[18].

3 结果与分析

3.1 典型地物光谱特征

利用 ASD-HH2 手持地物光谱仪采集绿熟期油菜、道路、草地、水田及裸地等典型地物光谱曲线, 如图 4, 油菜与杂草地的绿色植被光谱特征明显, 油菜作物反射率整体高于草地, 反射率在红边波段 B5 位置开始明显区分, 红边 B6 位置达到最大区分, 红边 B7 位置达到稳定.

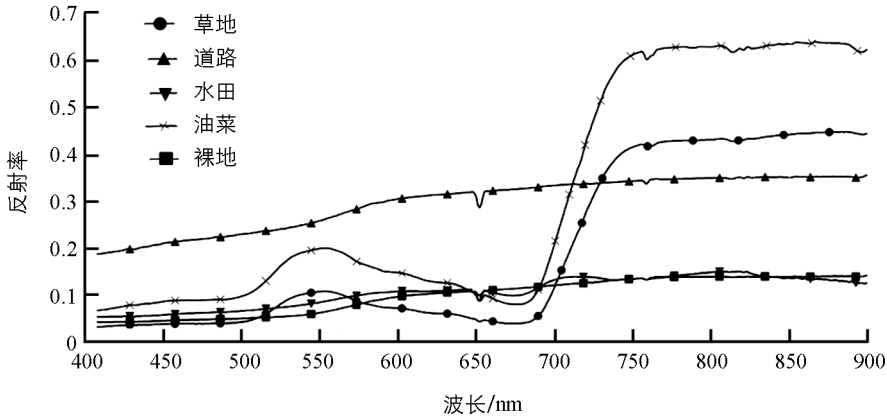


图 4 典型地物光谱曲线

3.2 典型地物后向散射特征

由不同典型地物样本对象的后向散射系数变化如图 5 所示, 绿色植被的 VV 极化 SAR 后向散射系数明显整体高于 VH 极化方式, 其中林地与其他绿色植被散射特征时相变化趋势基本稳定, 油菜在整个生长发育期内散射特征变化较为明显. 从特征变化与物候期关系可以看出: 油菜 VV 极化散射特征在现蕾期基本稳定在 -64.3 dB, 进入开花期后, 散射特征系数有所减小; 绿荚期油菜散射系数较大幅度增加, 在处于绿熟期的 4 月 10 日上升到最高的 -62.6 dB, 之后黄熟期出现下降; 油菜 VH 极化散射特征在现蕾及开花期均保持基本稳定, 绿荚期大幅增加, 绿熟时达到最大值 -67.7 dB, 黄熟期开始下降. 上述后向散射变化特点表明: 抽薹期油菜进入营养与生殖生长两旺阶段, 随着茎秆、叶片等器官水分积累增加, 冠层散射作用较为明显; 开花期油菜各器官水分分配发生较大变化, 茎秆水分所占比例基本维持不变, 叶片所占水分大幅减少, 冠层水分积累速率降低, 导致 VV 极化出现下降趋势, 而 VH 极化对此过程却不敏感; 绿荚期油菜呈现以茎秆、角果为主的垂直冠层结构, 伴随着叶片退化水分转移至角果, VV 极化及 VH 极化均出现上升趋势, 角果成熟过程中, 冠层脱水较为明显, 含水量快速下降, SAR 极化特征均出现下降.

3.3 基于植被指数的油菜识别精度分析

基于图 5 可知, 处于绿熟期的油菜在 VV 及 VH 极化特征上都明显区别于林地和其它绿色植被. 本研究将绿熟期 4 月 10 日成像的 SAR 数据作为最佳单时相 SAR 数据, 与 4 月 7 日成像的光学影像进行 PCA 变换融合处理, 并记作 PCA_SAR. 基于光学影像 PCA 主成分波段与 SAR 后向散射特征集组合的丘陵山区油菜信息提取精度见表 4.

表 4 不同方案组合下提取精度

方案	数据集	制图精度/%	用户精度/%	总体精度/%	Kappa 系数	F1 度量
A	PCA	46.07	87.23	55.50	0.27	0.60
B	PCA+NDVI	85.39	77.55	69.80	0.53	0.81
C	PCA+NDVI-RE	89.89	69.57	69.31	0.52	0.78
D	PCA_SAR	66.29	78.67	60.40	0.40	0.72
E	VV+VH	61.81	71.43	55.45	0.32	0.66
F	PCA+VV+VH	70.79	85.14	65.36	0.48	0.77

注: F1 是制图精度和用户精度的调和平均数.

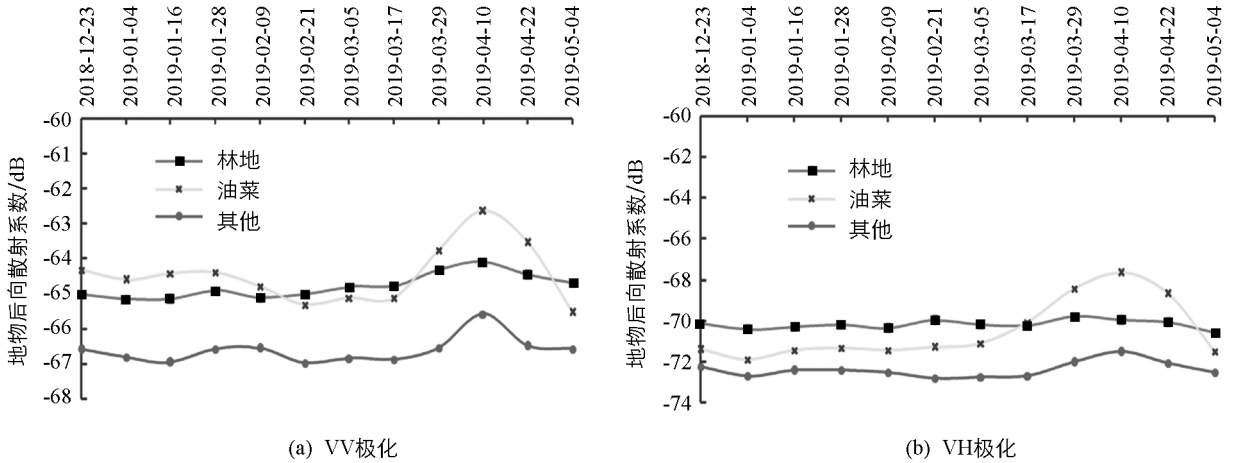


图 5 典型地物多时相下不同极化后向散射系数变化

为探索植被指数及红边波段对丘陵山地复杂地貌地区油菜提取精度的改善效果,本研究引入了植被指数(NDVI)及红边波段改进的植被指数(NDVI-RE)进行精度对比。基于光学影像 PCA 主成分分析前三波段的研究区油菜分布信息遥感识别精度见方案 A,油菜制图精度 46.07%,用户精度 87.23%,总体精度 55.50%,Kappa 系数 0.27,整体精度较低。在引入植被指数后,油菜漏分误差减小,油菜制图精度提高到 85.39%,用户精度下降到 77.55%,制图精度与用户精度的调和值 $F1$ 上升到 0.81,总体精度达到 69.80%,Kappa 系数提升到 0.53。方案 C 为引入 NDVI-RE 指数后油菜提取精度情况,油菜制图精度提高到 89.89%,用户精度为 69.57%, $F1$ 值为 0.78,总体精度达到 69.31%,Kappa 系数 0.52。上述 A、B、C 三方案的精度比较说明:尽管 B4 红波段、B7 红边波段和 B8 近红外波段信息参与了光学影像 PCA 主成分分析提取,但这 3 个通常对绿色植被敏感的波段的作用在油菜信息提取时并没有凸显,可见在绿色作物识别中,NDVI 及 NDVI-RE 能够起到明显改善识别精度的作用;再从方案 B、C 的比较结果看,NDVI-RE 对油菜提取的总体效果影响不大,但对于油菜制图精度影响较大,能够明显减小油菜的漏分误差,对于处于绿熟物候期的油菜信息提取,红边 B7 波段比近红外 B4 波段更加有效。

3.4 融入 SAR 后向散射特征的油菜识别精度分析

在地块破碎、种植结构复杂区域,单一的极化方式和低空间分辨率大大限制了农作物 SAR 分类识别的效果。为进一步探索 SAR 散射特征在丘陵山地油菜分布识别中的作用,本研究进一步利用了单时相多极化和多时相多极化 SAR 数据进行油菜分类提取研究。从表 4 中方案 A 和方案 D 对比可以看出,在引入绿熟期单时相 SAR 数据后,由于油菜冠层角果含水量增加,油菜作物雷达散射特征得到加强,油菜漏分误差减小,制图精度由 46.07% 提高到 66.29%,总体精度达到 60.40%,Kappa 系数也有所提升,表明引入适宜单时相 SAR 数据有助于地块复杂地区的油菜遥感识别制图精度的改善。方案 E 为 12 期多时相多极化 SAR 数据下油菜分布提取结果,可以看出在多时相 SAR 数据 VV+VH 特征组合下,油菜制图精度比光学影像 PCA 特征下高出 15.74%,其它精度指标变化不大,说明多极化 SAR 数据在一定程度上可以替代光学影像用于丘陵山地地块破碎地区油菜种植分布信息的提取,与周涛等^[12]利用多时相 SAR 与光学影像提取南京高淳区冬小麦分布研究结果一致。方案 F 为光学影像 PCA 特征与多时相 SAR 散射特征组合下的研究区油菜提取结果精度情况,可以看出油菜制图精度由 E 方案的 61.81% 提升到 70.79%,用户精度从 71.43% 提高到 85.14%, $F1$ 调和值上升到 0.77,总体精度也提高了 10% 左右,Kappa 系数提高 0.16。上述研究证明:在云雾影响获取油菜物候期内多时相光学数据困难的情况下,以多时相 SAR 数据为主导,光学影像为补充的方法是提高西南丘陵山地地块破碎、种植结构复杂地区油菜作物遥感识别精度的可靠途径。

4 讨论与结论

本研究基于中高空间分辨率的光学影像和 SAR 数据,考虑到尺度和红边波段问题,采用了与 Sentinel-

1 双极化地距影像同尺度的空间分辨率为 10 m 的 Sentinel-2 多光谱影像,利用单时相光学影像和多时相多极化 SAR 数据,构建了光学影像 PCA 主成分特征波段、不同植被指数和不同极化时间序列后向散射系数特征集等组合,对重庆市合川区为代表的西南丘陵山区油菜分布进行提取,得到以下结论:

1) 在丘陵山地复杂地区,植被指数能够有效改善油菜信息提取精度,但不同植被指数改善效果不同. Sentinel-2 影像红边波段 B7 比近红外波段 B8 更有效,引入 B7 红边波段指数 NDVI-RE,油菜制图精度提高 4.5%.

2) 在油菜生长过程中, VV 极化后向散射特征对物候期引起的作物冠层含水率变化较为明显,在 4 月 10 日左右的绿熟期达到最大值; VH 极化后向散射特征在开花期前相对不明显,但对油菜绿荚期反应较为敏感,比 VV 极化提前出现明显变化,且在绿熟期与其他植被后向散射特征差异达到最大.

3) 引入绿熟期单时相 SAR 数据,由于该时期内油菜冠层角果含水量增加,油菜作物雷达散射特征加强,油菜制图精度由 46.07% 提高到 66.29%, F1 调和价值上升到 0.72,总体精度提高到 60.40%, Kappa 系数也有所提升,说明适宜物候期的单时相 SAR 数据特征的引入可以提高地块破碎地区农作物识别精度.

4) 在一定程度上,多时相极化 SAR 数据 VV+VH 特征组合可以替代光学影像用于丘陵山地地块破碎地区油菜种植分布信息的提取. 光学影像 PCA 特征与多时相 SAR 散射特征组合下,油菜制图精度、用户精度均有所提高,总体精度提高了 10% 左右, Kappa 系数提高 0.16,结合光学数据与多时相 SAR 影像能有效提高丘陵山地复杂地区的作物识别精度.

综上所述,在西南多云雾地区,当获取作物关键物候期内多时相光学影像困难时,以时间序列 SAR 数据为主导,光学影像为补充的方法在西南丘陵山地地区作物种植信息提取是一种较为可靠的方法. 今后研究中,选用更高空间分辨率的光学影像及空间尺度匹配的 SAR 等数据进行协同分析,以改善丘陵山区农作物种植信息提取结果,是进一步研究的重点.

参考文献:

- [1] 王汉中. 以新需求为导向的油菜产业发展战略 [J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 613-617.
- [2] 刘成, 冯中朝, 肖唐华, 等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策 [J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489.
- [3] 邢素丽, 张广录. 我国农业遥感的应用现状与展望 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 174-178.
- [4] 史舟, 梁宗正, 杨媛媛, 等. 农业遥感研究现状与展望 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 247-260.
- [5] 何彬彬, 廖展芒, 殷长明, 等. 多云雾山丘地区遥感定量化理论及应用进展 [J]. 电子科技大学学报, 2016, 45(4): 533-550.
- [6] 向海燕, 罗红霞, 刘光鹏, 等. 基于 Sentinel-1A 极化 SAR 数据与面向对象方法的山区地表覆被分类 [J]. 自然资源学报, 2017, 32(12): 2136-2148.
- [7] BLAES X, VANHALLE L, DEFOURNY P. Efficiency of Crop Identification Based on Optical and SAR Image Time Series [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(3-4): 352-365.
- [8] HALDAR D, PATNAIK C. Synergistic Use of Multi-Temporal Radarsat SAR and AWiFS Data for Rabirice Identification [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2010, 38(1): 153-160.
- [9] KUSSUL N, SKAKUN S, SHELESTOV A, et al. Crop Classification in Ukraine Using Satellite Optical and SAR Images [J]. International Journal "Information Models and Analyses", 2013, 2(2): 118-122.
- [10] 韩可欣, 刘绥华, 许璟, 等. Sentinel-1A 数据在高原山区短期土地利用监测中的应用——以贵州省安顺市为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 124-130.
- [11] 贾坤, 李强子, 田亦陈, 等. 微波后向散射数据改进农作物光谱分类精度研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 483-487.
- [12] 周涛, 潘剑君, 韩涛, 等. 基于多时相合成孔径雷达与光学影像的冬小麦种植面积提取 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 215-221.
- [13] 郭交, 朱琳, 靳标. 基于 Sentinel-1 和 Sentinel-2 数据融合的农作物分类 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 192-198.
- [14] 陈磊士, 赵俊三, 李易, 等. 基于机器学习的多源遥感影像融合土地利用分类研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(10): 103-111.

- [15] XIANJU L, GANG C, JINGYI L, et al. Effects of RapidEye Imagery's Red-edge Band and Vegetation Indices on Land Cover Classification in an Arid Region [J]. *Chinese Geographical Science*, 2017, 27(5): 827-835.
- [16] 邓书斌, 陈秋锦, 杜会建. ENVI 遥感图像处理方法 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 135-136.
- [17] 杨 斌, 路 游. 基于统计学习理论的支持向量机的分类方法 [J]. *计算机技术与发展*, 2006, 16(11): 56-58.
- [18] 张燕平, 张 铃. 机器学习理论与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 27.

Research on Extraction of Information About Rape Distribution in Hilly Regions Based on Optical and Radar Images

WANG Ke-xiao, ZHOU Rui, OU Yi,
YU Bao, HUANG Xiang, WANG Qian

Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China

Abstract: A multiple data set of surface feature images was built in this paper with the principal component analysis (PCA) of Sentinel-2 optical image, vegetation index, and multi-temporal different polarization scattering feature of Sentinel-1 SAR, and Support Vector Machines (SVM) was used to analyze the extraction accuracy of winter rapeseed in Hechuan District of Chongqing Municipality. The results showed that the vegetation index greatly improved the accuracy of rape crop mapping. The vegetation index based on the red edge band was more effective than the traditional near-infrared band, with a 4.5% increase of the mapping accuracy of rape extraction. To some extent, the multi-temporal polarization SAR combination of VV-VH could replace the optical image to extract the information of the rape planting distribution in the broken hilly and mountainous areas, with a 15.74% improvement in mapping accuracy. The combination of the optical features and the SAR scattering characteristics of rapeseed in the green maturity period increased the accuracy of rape mapping from 46.07% to 66.29% due to the increase in the water content of the siliques in the rape canopy and the enhancement of the radar scattering characteristics of the rape crops, and the overall accuracy was increased to 60.40%. Under the optical image PCA characteristics and multi-temporal SAR scattering characteristics, the rape mapping accuracy increased to 70.79%, the user accuracy increased to 85.14%, and the overall accuracy increased by about 10%. In conclusion, in the cloudy and foggy areas of southwestern China, the method based on time series SAR and supplemented by optical images is a reliable way to extract crop planting information, and may provide a better reference for crop information extraction.

Key words: synthetic aperture radar; optical; rape; distribution; mountainous areas

责任编辑 汤振金