

◆地球科学◆

融合物候及纹理特征的茉莉花种植区提取研究^{*}杨坤士¹,卢远^{1,2*},汤传勇^{1,2},翁月梅¹,韦丽珍¹

(1. 南宁师范大学地理科学与规划学院,广西南宁 530001;2. 南宁师范大学,北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室,广西南宁 530001)

摘要:为充分挖掘图像时序物候信息、几何空间、纹理特征在农作物监测提取研究上的优势,本研究通过构建物候参数与纹理特征的方法对广西横州市茉莉花(*Jasminum sambac*)种植区进行提取,该方法通过增强型时空自适应反射率融合模型(ESTARFM)融合年度内“高空间-低时间”“高时间-低空间”的遥感图像,重建生成年度中低尺度的卫星影像,获取研究区内不同植被的物候信息参数,并结合地物光谱信息提取地物纹理特征。选取物候参数、纹理特征作为茉莉花种植区分类提取信息,对不同的参数特征进行组合,开展分类对比和综合精度量评价。结果表明,重建时序归一化植被指数(NDVI)数据结合物候参数及纹理特征的茉莉花种植区提取方法,总体分类精度达到88.36%,Kappa系数为0.8633,在中低尺度多光谱影像遥感数据“时空信息”的缺失下对茉莉花种植区提取具有良好的效果。

关键词:Landsat 图像;时空自适应反射率融合模型;物候参数;纹理特征;随机森林

中图分类号:P237 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2023)03-0304-10

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyb.20230829.010

茉莉花(*Jasminum sambac*)最早源于古罗马帝国,在汉代通过海上丝绸之路传入古波斯和天竺,从印度随佛教传入中国已有2200多年的栽培历史^[1]。茉莉花得益于独特的香气成为了重要的香精原料,同时也是花茶窰制的重要原材料。经过长达几千年的栽培和生产发展,茉莉花已成为我国南方山地丘陵区农业经济发展中不可或缺的经济来源^[2]。

如何有效提取茉莉花的种植范围,巩固提升当前的乡村振兴成果,为地区产业发展规划、精准政策布局提供参考,成为当下首要解决的难题。随着近年来遥感技术的不断发展,具有覆盖面积广、时效性强、获取成本低及数据来源广等优势卫星图像数据已被广泛应用于“三农”领域^[3-5]。如何充分利用不同遥感影像数据集之间的优势,实现对茉莉花种植区的遥感

收稿日期:2023-01-16

修回日期:2023-03-31

^{*} 国家自然科学基金项目(41661043),广西自然科学基金项目(2015GXNSFAA139234),广西科技重点研发计划(AB16380318),广西研究生教育创新计划项目(YCSW2020192,YCSW2021287)和广西壮族自治区八桂学者工程专项经费资助项目资助。

【第一作者简介】

杨坤士(1994-),男,在读硕士研究生,主要从事资源与环境遥感研究,E-mail:251215314@qq.com。

【**通信作者】

卢远(1971-),男,教授,主要从事GIS环境遥感研究,E-mail:luyuan_gx@qq.com。

【引用本文】

杨坤士,卢远,汤传勇,等.融合物候及纹理特征的茉莉花种植区提取研究[J].广西科学院学报,2023,39(3):304-313.

YANG K S,LU Y,TANG C Y,et al. Study on Extraction of *Jasminum sambac* Planting Areas by Combing Phenological and Texture Features [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences,2023,39(3):304-313.

识别提取成为当前研究的主要方向^[6]。徐伟燕等^[7]基于资源三号卫星数据,使用归一化植被指数(NDVI)时像差异及光谱特征,结合决策树及神经网络分类方法对平原地区茶树种植区进行提取;马超等^[8]运用 MODIS 数据及 Landsat 数据,在考虑光谱、物候、植被指数特征下,采用决策树分类方法对南方丘陵区茶园进行提取;Akar 等^[9]考虑到茶园和榛子园与周围植被的光谱反射率值相似的特性,使用 NDVI 结合灰度共生矩阵(GLCM)和 Gabor 滤波器的方法对土耳其黑海东部的茶园和榛子园进行范围提取;王斌等^[10]基于 Landsat 8 OLI 影像获取不同季节影像数据的光谱、纹理、物候三大特征参数,分析优选不同季节影像特征对浙江省安吉县茶园进行提取。当前茶园提取研究已由单一遥感数据源扩展到多源遥感数据源相融合的发展趋势,进一步发挥了不同遥感数据图像信息的优势,但是如何充分发挥当前遥感图像信息对茉莉花种植区进行时空信息提取的优势仍是当前急需解决的问题^[11,12]。

遥感时空数据融合技术是对“高空间-低时间”与“高时间-低空间”分辨率的遥感卫星影像进行融合运算及处理,综合两者高空间、高时间的优势,解决遥感卫星数据“时-空矛盾”问题的研究技术^[13]。针对 Landsat 数据与 MODIS 数据相互融合的问题,Gao 等^[14]在 2006 年提出时空自适应反射率融合模型(STARFM),这也是当前影响最大、运用最为广泛的时空数据融合模型;随后 Zhu 等^[15]于 2010 年在原有 STARFM 的基础上提出增强型时空自适应反射率融合模型(ESTARFM),有效提升了时空数据融合的精度,并且在农作物监测、土地利用/覆盖、植被分析等领域中得到广泛应用。Chen 等^[16]基于 ESTARFM 得到高空间分辨率的涡度通量数据,提高了区域景观尺度下的常绿针叶林生物量估算精度;柳文杰等^[17]通过 ESTARFM 融合环境星数据与 MODIS 数据结合物候特征参数对洞庭湖水稻种植区域进行提取;赵亚杰等^[18]基于 ESTARFM 融合 Landsat 8 数据与 MODIS 数据,构建 NDVI 时序数据及水稻物候特征参数,对江汉平原地区水稻种植区域进行提取研究。遥感时空数据融合技术能够有效提高图像数据质量,提升图像信息提取精度^[19]。

为此,本研究以广西横州市为研究区,基于 Landsat 和 MODIS 遥感数据对横州市茉莉花种植区进行提取,充分挖掘其图像时序物候信息、几何空间、纹理特征,为解决遥感数据时空信息的缺失、无法有

效监测农作物生长的关键物候信息以及遥感图像地表空间异质性问题提供切实可行的技术方法,同时也为地区特色农业作物种植区提取提供参考方案,为促进地区乡村产业振兴发展、制定农业产业规划提供科学支持和技术支撑。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

横州市位于广西壮族自治区东南部,南宁市东部,享有“中国茉莉花之乡”“世界茉莉花都”的美誉,地处东经 $108^{\circ}48' - 109^{\circ}37'$,北纬 $22^{\circ}08' - 23^{\circ}30'$,东临广西贵港市,南接广西钦州市灵山县,北部与南宁市宾阳县接壤,辖区土地总面积 $3\,464\text{ km}^2$ (图 1)。土地类型主要以丘陵、平原为主,地势四周高、中部低,形似一个广阔的盆地。受地形及地质构造的影响,土壤多以沉积、冲积形成,尤其在中部广阔平缓地带,土层厚度大,土壤熟化程度高,且多年平均气温稳定在 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量稳定在 $1\,600 - 1\,700\text{ mm}$,气候舒适宜人,日照充足,良好的气候条件孕育着丰富的农业资源,是南宁乃至广西的农产品种植基地。横州市种植的农作物主要有甘蔗、水稻、玉米、茉莉花等,其中茉莉花是横州市最负盛名的经济作物,茉莉花种植产量占全国总产量的 80% ,占世界总产量的 60% ,是中国最大的茉莉花生产和茉莉花茶加工基地^[2]。

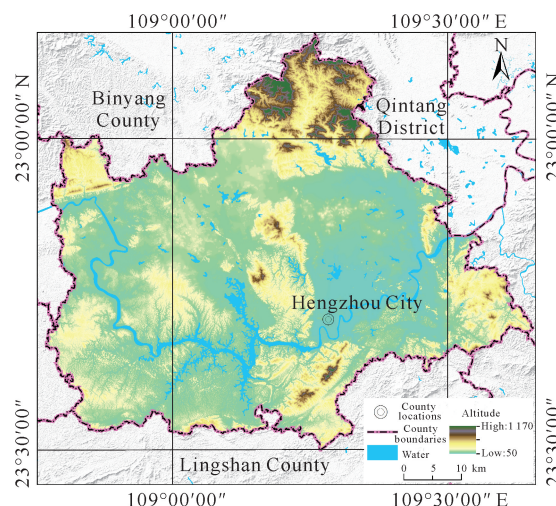


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 研究数据与预处理

研究区使用的遥感数据为 Landsat 8 OLI 数据和中分辨率成像光谱仪数据产品 MOD13Q1(16d_NDVI)。其中,覆盖研究区 Landsat 8 数据的行列号为 125/44,研究选取了时间跨度在 2019 年 12 月 1

日-2021年4月1日内图像质量最好、少云的7景影像,空间分辨率为30 m,包含红、绿、蓝及近红外等波段;MOD13Q1数据的行列号为h28v06,遥感数据时间跨度为2019年12月1日-2021年4月1日,空间分辨率为250 m,数据经过16 d的最大值合成,共计23处影像,MODIS数据主要利用时间采集上的优

表1 遥感数据获取日期及类型

Table 1 Date and type of remote sensing data acquisition

Landsat 数据时间 Landsat data time	配对的 MOD13Q1 时间 Matched MOD13Q1 time	融合的 MOD13Q1 时间 Fused MOD13Q1 time	Landsat 数据时间 Landsat data time	配对的 MOD13Q1 时间 Matched MOD13Q1 time	融合的 MOD13Q1 时间 Fused MOD13Q1 time
2019-12-05	2019-12-01	2020-01-01	2020-07-06	2020-07-11	2020-07-27
		2020-01-17			2020-08-12
		2020-02-02			
2020-02-23	2020-02-18		2020-09-02	2020-08-28	2020-09-13
		2020-03-05			2020-09-29
		2020-03-21			2020-10-15
		2020-04-06			2020-10-31
2020-04-27	2020-04-22		2020-12-07	2020-12-02	2020-11-16
		2020-05-08			
		2020-05-24			2020-12-18
		2020-06-09			
		2020-06-25			
			2021-03-13	2021-03-20	

对获取得到的 Landsat 8 多光谱数据在 ENVI5.3 软件平台上分别进行辐射校正(Radiometric calibration)和大气校正(FLAASH),去除大气、土壤、传感器角度等对影像的影响,然后裁剪研究区范围,并进行波段计算得到 NDVI 数据。MOD13Q1 数据处理则使用 ENVI5.3 平台拓展工具 MTCK 插件进行格式转换和重投影,投影坐标系与 Landsat 8 数据一致,随后以 Landsat 8 数据为基准对 MOD13Q1 数据进行几何精校正。最后,提取出 MOD13Q1 数据中的 16d_NDVI 波段,并重采样使其空间分辨率与 Landsat 8 数据一致(30 m),以便在后续的 ESTARFM 中进行时空数据融合,重建年度 NDVI 数据。

2 研究方法

本研究主要分为以下步骤:首先采用 ESTARFM 重建具有完整年度时间序列的 ESTARFM-NDVI 数据;其次对重建得到的 ESTARFM-NDVI 数据

势与 Landsat 数据进行融合,构建年度内 16 d/景 30 m×30 m 的 NDVI 数据,用于提取主要作物物候信息。本研究所获取的数据来源于美国地质调查局(USGS)、美国航空航天局(NASA),遥感图像数据成像时间及配对信息如表 1 所示。

进行精度评价,再引入 Savitzky-Golay (S-G)滤波对时序 NDVI 数据进行平滑重构,消除数据噪声的影响,进而获取物候特征信息,基于 GLCM 获取研究区遥感影像的 8 个纹理特征参数;最后结合不同数据集构建分类方案,采用随机森林(Random Forest, RF)分类方法对横州市茉莉花种植区进行提取,并以 2020 年横州市野外实地采样数据结合天地图高分辨率影像数据作为精度检验样本。本研究的技术路线如图 2 所示。

2.1 时空数据融合模型

本研究使用 ESTARFM 对 Landsat 和 MODIS 数据进行融合,实现年度内长时间序列 NDVI 数据重建。

ESTARFM 的主要思路与 STARFM 相似,该算法是在 Gao 等^[14]提出的 STARFM 的基础上进行改进,考虑到地表地物类型的复杂性,且低分辨率图像数据像元覆盖面积大,往往存在大量的混合像元,因此需要考虑邻近像元之间的相似反射率信息。为此,

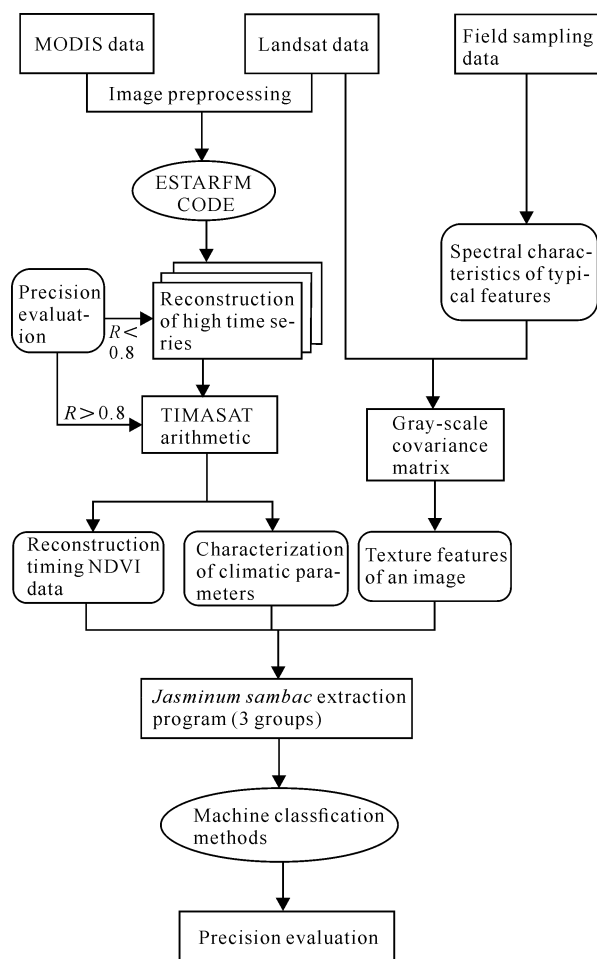


图 2 技术流程图

Fig. 2 Technical flowchart

本研究使用 Gao 等^[14]提出的移动窗口法对相邻像元的反射率信息进行预测,在充分考虑地表地物复杂性的情况下实现对高分辨率影像反射率的计算,计算公式如式(1)所示。

$$h(x_{\frac{w}{2}}, y_{\frac{w}{2}}, T_p, P) = h(x_{\frac{w}{2}}, y_{\frac{w}{2}}, T_0, P) + \sum_{i=1}^n W_i \times V_i \times (l(x_i, y_i, T_p, P) - l(x_i, y_i, T_0, P)), \quad (1)$$

其中, h 为高分辨率影像数据; x, y 为影像像元在图像中的位置; l 为低分辨率影像数据; T_0, T_p 表示像元反射率变化的时刻; P 表示相似像元; w 表示移动窗口的大小; n 表示相似像元的个数; W_i 为第 i 相似像元的权重; V_i 表示为第 i 相似像元的转换系数^[15]。

2.2 年度 NDVI 数据重构

卫星传感器在接收遥感数据的过程中,受传感器自身性能、角度及大气云层、水汽等因素的影响,导致 NDVI 时间序列数据易受到噪声的影响,从而干扰识别植被物候信息。因此,在利用 NDVI 时间序列数

据获取植被物候信息前,需要对其进行拟合去噪,重构 NDVI 时间序列数据^[20]。本研究采用 TIMESAT 软件中的 S-G 滤波算法对 ESTARFM-NDVI 时间序列数据进行拟合重构。S-G 滤波算法在对长时序数据进行滤波平滑处理的同时,能够有效保留数据变化的信息,适用于植被物候观测变化研究^[21]。其表达式为

$$N^* = \frac{\sum_{i=-n}^{i=n} Z_b N_{a+b}}{M}, \quad (2)$$

其中, N^* 为 NDVI 拟合值; i 为参与平滑去噪的影像数量; N_{a+b} 为 NDVI 像元原始值 a 到第 b 个的累加值; Z_b 为第 b 个 NDVI 值进行滤波的系数; n 为 $1/2$ 个滤波器窗口的宽度; M 为滤波器长度,等于滑动数组的宽度的 $2m+1$ ^[22]。

植被物候通常会经历从生长开始到结束的生长规律,而平滑后的 Landsat-NDVI 时间序列曲线能够有效反映研究区植被物候的动态变化特征。因此,本文基于重构后的 Landsat-NDVI 数据,采用 TIMESAT 软件提取植被物候参数特征^[23],选取生长季开始期(SOS, a)、生长季结束期(EOS, b)、生长季持续时期(LOS, c)、生长季拟合最大值(BOS, d)、生长季振幅(AOS, e)、生长季最大值积分(MOS, f)共 6 个物候参数特征,具体植被物候参数阶段及特征定义如图 3 所示。

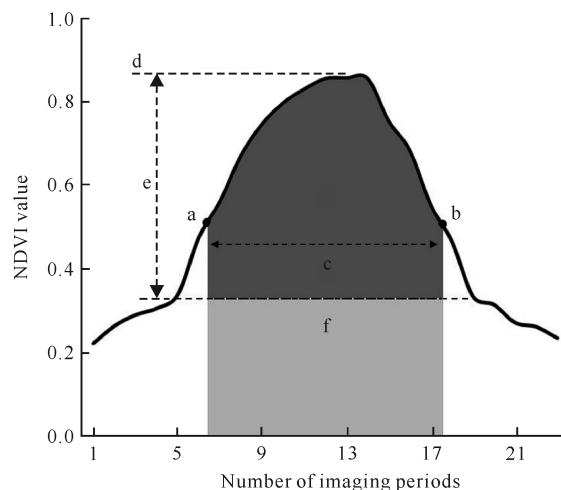


图 3 物候参数阶段图

Fig. 3 Phase diagram of phenological parameters

2.3 遥感图像纹理特征获取

纹理是复杂的视觉实体或子像元的组合,具有亮度、颜色、陡度、大小等特征。卫星影像的混合像元辨识主要通过纹理特征对其进行区分,考虑到遥感图像“异物同谱、同物异谱”的现象,利用 GLCM 的纹理提

取方法,筛选分化程度较高的波段和图像纹理方法作为图像纹理特性。因此,本研究将遥感图像纹理特征作为分类信息特征变量,选取 Landsat 8 红光、绿光、蓝光及近红外波段为数据源,采用基于 GLCM 获取研究区 8 个纹理特征,包括均值 (Average)、方差

表 2 灰度共生矩阵获取纹理特征类型

Table 2 GLCM to obtain texture feature types

纹理特征 Texture characteristics	计算公式 Calculation formula	序号 Number
Average	$\sum_{x=1}^i \sum_{y=1}^j l(x,y) \cdot x$	(3)
Variance	$\sum_x \sum_y (x-y)^2 l(x,y)$	(4)
Homogeneity	$\sum_x \sum_y \frac{1}{1+(x-y)^2} l(x,y)$	(5)
Contrast	$\sum_x \sum_y (x-y)^2 l(x,y d,\theta)$	(6)
Dissimilarity	$\sum_x \sum_y l(x,y) x-y $	(7)
Entropy	$-\sum_x \sum_y p(x,y) \lg(l(x,y))$	(8)
Angular second moment	$\sum_x \sum_y l((x,y c,\theta)^2)$	(9)
Correlation	$\sum_x \sum_y (x-\mu_x)(y-\mu_y) l(x,y d,\theta) / \sigma_p \sigma_q$	(10)

2.4 分类方案与精度分析

随机森林是基于集成学习的思想将多棵决策树集成的一种算法。通过在原始训练样本中随机有放回地抽取多个训练样本,以不同训练样本集来构造决策树,并对多个决策树的结果进行整合投票,最终解决数据的分类及回归问题。随机森林分类通过随机有放回地构建训练样本,预测特征变量集,进而构建决策树的算法思路,具有稳定性高、学习过程迅速、抗噪能力强等优势,适合于复杂环境下的植被信息分类提取^[25,26]。为此,本研究采用随机森林分类算法对横州市茉莉花种植区进行提取,并设计了 3 种分类方案:①使用时序 NDVI 数据、物候特征组合分类;②使用时序 NDVI 数据、纹理特征组合分类;③使用时序 NDVI 数据、物候特征、纹理特征组合分类。

结合研究区野外监测实际状况,将研究区主要的土地利用类型分为林地、水体、建设用地、甘蔗地、水稻地、茉莉花地、玉米地等 7 类。以实地调查数据为基准,实地采集的样本均为大范围连片区域,平均采样面积大于 30 m²。结合天地图、横州市土地利用现状图选取地类样本(表 3),其中 70% 的样本为分类训练样本,30% 的样本为分类精度检验样本,生成混淆

(Variance)、同质性 (Homogeneity)、对比度 (Contrast)、非相似性 (Dissimilarity)、熵 (Entropy)、角二阶矩 (Angular second moment) 和相关性 (Correlation)^[24],计算公式 (3) - (10) 如表 2 所示。

矩阵,检验分类后的数据的总体分类精度、生产者精度、用户精度及 Kappa 系数,并进行定量分析评价。

表 3 研究区样本信息

Table 3 Sample information of the study area

土地利用类型 Land-use type	训练样本 Training samples		检验样本 Verification samples	
	个数 Number	像元数 Number of pixels	个数 Number	像元数 Number of pixels
Forest	67	1 445	33	415
Water	48	1 009	24	391
Construction land	57	1 226	29	364
Sugarcane	63	951	31	377
Rice	65	947	32	380
<i>J. sambac</i>	73	898	37	358
Corn	58	906	30	309
Count	431	7 382	216	2 594

3 结果与分析

3.1 融合时序 NDVI 数据重构

图 4 为研究区典型地物重构 NDVI 后的曲线与原始 NDVI 曲线。从图 4 可以明显看出,经过 S-G

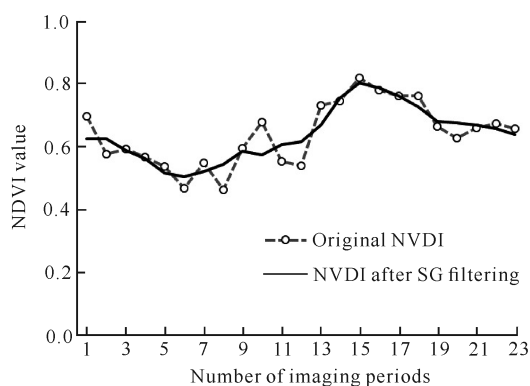


图 4 融合时序 NDVI 数据重构结果

Fig. 4 Reconstruction results of fused time-series NDVI data 滤波拟合重构后的时序 NDVI 数据能够很好地消除外界因素引起的突变,能够更好地区分不同地物类型的物候特征。茉莉花经过 2-3 月的剪枝后,4 月份起逐渐抽枝、出芽、长叶,6 月份茉莉花生长最为茂

盛,随后开始进入花期,花期可持续到 10 月中旬。其中在 2-3 月剪枝期、4 月抽枝出芽期与其他地物时序 NDVI 曲线差异显著。因此,选择影像期数为 4-10 (对应第 64-160 天)内的数据作为茉莉花种植区提取的最佳时序 NDVI 数据。

通过时空数据融合模型得到横州市 23 期时序 NDVI 数据集,为验证影像数据融合效果,本研究对 2020 年 4 月 22 日 MOD13Q1 数据融合生成的 ESTARFM-NDVI 影像与 2020 年 4 月 27 日卫星获取的 Landsat-NDVI 影像进行对比分析,并在此基础上对真实 NDVI 与预测 NDVI 数据两处局部细节进行对比。从目视判别分析上来看,两者整体在空间上差异性不大,空间上具有高度相似性(图 5)。对研究区整体与局部细节进行相关系数 R 检验(图 5)可知,整体和局部区域的真实 NDVI 与融合 NDVI 的相关系

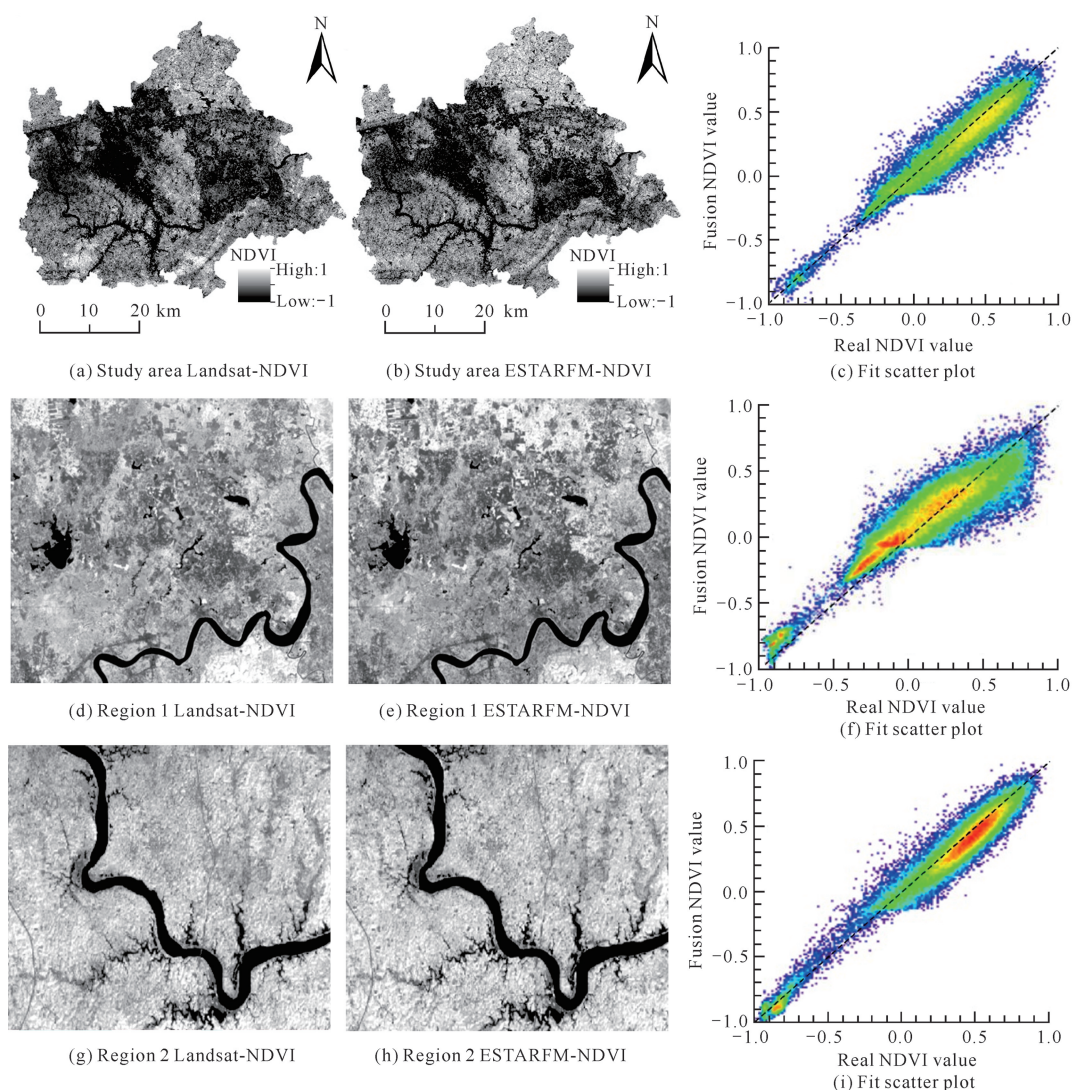


图 5 研究区真实 NDVI 与融合 NDVI 对比拟合图

Fig. 5 Comparison fit of real NDVI and fused NDVI in the study area

数能达到 0.83 以上, 表明真实 NDVI 与融合 NDVI 具有较高的相关性。因此, 基于时空数据融合得到的 ESTARFM-NDVI 数据能够较好地预测真实植被的 NDVI 信息, 可以满足研究区茉莉花种植区的信息提取。

3.2 茉莉花物候参数及纹理特征

通过对比研究区(剔除林地、水体、玉米地、建设用地)内地物类型的物候参数(图 6、表 4)可知, 生长季开始期, 茉莉花 SOS 参数值略高于甘蔗; 生长季结束期, 茉莉花 EOS 参数值仅高于水稻; 生长季持续时期, 茉莉花 LOS 参数值仅高于水稻; 在基准值中, 茉莉花 BOS 参数值最高; 在生长季最大值积分中, 茉莉花 MOS 参数值是所有地物类型中最高的; 在生长季振幅中, 茉莉花 AOS 参数值最低。因此, 研究所选用的 6 类物候参数中, 茉莉花物候参数与其他地物类型存在明显的差异, 表明物候参数能够有效区分出茉莉花种植区与其他地物类型。

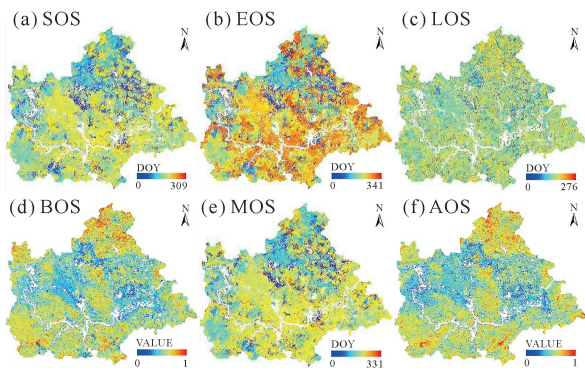


图 6 研究区不同地物类型的物候参数

Fig. 6 Phenological parameters of different surface features types in the study area

表 4 主要地物类型的物候参数值

Table 4 Phenological parameter values of main surface features types

地物类型 Surface features type	SOS	EOS	LOS	BOS	MOS	AOS
Rice	103	278	175	0.513 9	16.76	0.335 6
Sugarcane	91	316	225	0.501 9	16.71	0.235 8
<i>J. sambac</i>	96	292	196	0.637 8	16.99	0.195 5

3.3 茉莉花种植区提取结果及精度分析

3 种随机森林分类方案的提取结果如图 7 所示。方案 1 的空间分布特征基本与研究区的分布概况吻合, 但是在细节上表现出明显的漏分、少分现象, 分布

不均匀, 部分玉米、甘蔗等地物被错分为茉莉花, 存在较多孔隙, 空间不连续、完整[图 7(a)]; 方案 2 在空间上表现出明显的连续性, 表明纹理特征能更好地表征图像在概率统计下的信息值, 在分类程度上, 混淆程度大, 部分林地被分类为茉莉花种植区, 错误程度明显高于方案 1[图 7(b)]; 方案 3 充分考虑了物候和纹理的优势信息, 在空间分布上与实际情况较为吻合, 局部细节上能够较好地将易混淆的地物分类出来, 错分及漏分现象明显减少[图 7(c)]。结合实地调查、资料收集及天地图高清影像分析发现, 茉莉花主要种植在横州市中东部的平原地带, 其中校椅镇、云表镇等地种植范围最为广阔, 西部乡镇则少有种植, 分布特征不明显。综上可知, 3 种分类方案对识别提取横州市茉莉花种植区的分布特征各具优势, 基本能够表述横州市茉莉花种植区的空间分布特征。

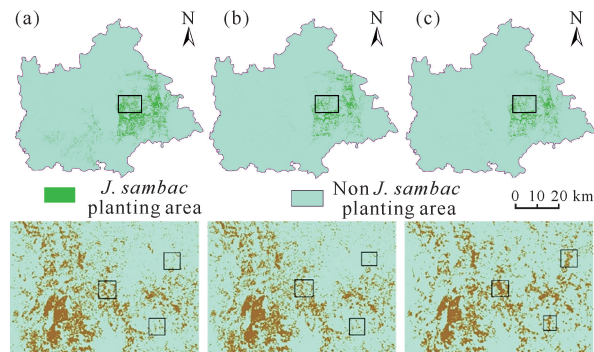


图 7 不同分类方案结果对比及局部细节图

Fig. 7 Comparison of classification results and local details of different experimental schemes

为对比探究不同分类方案下的分类精度, 本研究通过混淆矩阵对 3 种分类方案进行评价, 分类精度评价结果如表 5 所示。由表 5 可知, 方案 3 的分类精度明显优于方案 1 和方案 2, 其总体分类精度达到 88.36%, Kappa 系数为 0.863 3, 表明该方案精度能够达到分离茉莉花种植区的效果。

综合而言, 物候参数能够修正 NDVI 时序数据在茉莉花分类过程中引起的错分、漏分现象; 纹理特征能够对无物候地物进行有效识别区分, 并消除提取过程中的孔隙及孔洞现象, 达到提高分类精度的目的。为此, 将本研究得到的结果与 2020 年横州市茉莉花种植的统计年鉴面积进行对比分析(表 6), 结果显示, 本研究采用的方案对横州市茉莉花种植区提取的结果与实际分布结果基本相符, 总面积统计相差约 1.02 万亩(1 亩 $\approx$ 666.67 m²)。

表 5 茉莉花种植区分类提取精度对比

Table 5 Comparison of classification extraction accuracy in *J. sambac* growing areas

方案 Option	生产者精度/% Producer's accuracy/%	用户精度/% User accuracy/%	总体分类精度/% Overall classification accuracy/%	Kappa 系数 Kappa coefficient
Option 1	73.37	77.02	81.15	0.778 5
Option 2	77.58	79.50	84.69	0.820 1
Option 3	81.55	85.09	88.36	0.863 3

表 6 横州市各乡镇茉莉花种植区提取面积统计数据

Table 6 Extraction area statistical data of *J. sambac* planting area in each township of Hengzhou CityUnit: $\times 10^4$ mu

面积统计 Area statistic	横州市 Hengzhou Town	百合镇 Baihe Town	那阳镇 Nayang Town	莲塘镇 Liantang Town	校椅镇 Xiaoyi Town	云表镇 Yunbiao Town	马岭镇 Maling Town	总面积 Total area
Statistical yearbook	3.71	0.65	1.00	0.87	2.62	1.53	1.42	11.80
This article	4.46	0.80	1.20	0.66	2.75	1.30	1.65	12.82
Errors	+0.75	+0.15	+0.20	-0.21	+0.13	-0.23	+0.23	+1.02

Note: one mu is approximately 666.67 square meters.

4 讨论

本研究提出一种结合 3 种不同特征数据集的茉莉花种植区遥感识别方法,针对中低纬度地区遥感影像数据受云、雨等因素影响的问题,引入时空数据融合 ESTARFM 算法重建年度 NDVI 时序数据,构建研究区物候特征和纹理特征数据集,并结合拟合重构后的 NDVI 时序数据集,对比探究不同数据集对茉莉花种植区遥感识别提取的精度,充分发挥不同遥感数据集在茉莉花种植区提取的优势,拓展遥感数据在农业领域的应用研究价值。本研究表明物候参数与纹理特征可以有效提高复杂环境下的茉莉花种植区提取精度,其中物候参数能够将茉莉花种植区与不同作物种植区加以识别区分,更好地减少数据错分、漏分等问题;纹理特征则依据遥感图像上反映同种类型地物的同质化特征信息,在参与分类过程中能够使茉莉花种植区提取结果更加平滑、连片且无孔隙,空间表达上凸显了连续性。

虽然本研究通过时序 NDVI 数据、物候参数和纹理特征开展茉莉花种植区提取可以有效获取其空间分布特征,但是仍存在局限性:一是时空数据重建所使用的 30 m 分辨率数据较少,后期研究可以考虑异源遥感数据(如 HJ-1A/1B)进行插补或者考虑更高分辨率的图像(如 Sentinel-1/2、GF 系列)进行数据融合重建;二是在分类方法上,本研究仅采用一种机器学习分类方法对茉莉花种植区进行提取,单一的机器学习分类方法可能会使结果存在一定的局限性。

综上所述,本研究采取的重建时序 NDVI 数据结合物候参数及纹理特征的茉莉花种植区提取方法,取得了良好的提取效果,同时也对未来的研究方向提供了思路,今后的研究可以考虑对多类型特征参数进行重要性优先分析,引入不同分类方法模型进行对比分析,进一步提高茉莉花及其他作物的分类提取精度,以满足土地利用及生态产业调控等要求。

5 结论

本研究以 Landsat 和 MODIS 数据为基础,利用 ESTARFM 重建年度 NDVI 时序数据,采用 S-G 滤波进行平滑去噪并提取研究区物候参数,采用随机森林分类方法结合时序 NDVI、物候参数以及纹理特征对横州市茉莉花种植区进行提取,得到以下结论。

① ESTARFM 重建得到的 ESATRFM-NDVI 与真实影像获取的 NDVI 拟合性较高。通过对研究区真实 NDVI 与融合 NDVI 拟合对比可知,相关系数达到 0.83 以上,进一步验证了采用 ESTARFM 能够较好地重建南方多云雨山地丘陵区的缺失影像数据。

② 重建生成的 NDVI 数据集难免会受到外界各类噪声的干扰,本研究利用 S-G 滤波对出现的异常值进行平滑重构,消除噪声的同时还能更好地展现不同地物类型的时序 NDVI 变化,进一步提高物候特征参数提取的准确性。

③ 本研究采用的方案在茉莉种植区提取中引入物候参数和纹理特征,与仅使用时间序列 NDVI 数

据集的分类方案相比,有效提高了提取精度,提取精度达到 85.09%,总体分类精度达到 88.36%,Kappa 系数为 0.863 3,表明物候参数与纹理特征可以有效提高南方山地丘陵地区茉莉花种植区的分类效果。

参考文献

- [1] 陈殷,赵勇,焦世霞,等.全国主要茉莉花茶产区概览[J].中国茶叶,2017,39(6):37.
- [2] 董文斌,黄雪群,黄志君,等.广西横县茉莉花种植现状与建议[J].中国热带农业,2019(3):14-16.
- [3] BRUZZONE L,CARLIN L. A multilevel context-based system for classification of very high spatial resolution images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2006,44(9):2587-2600.
- [4] 王莺,巩垠熙.遥感光谱技术在农作物估产中的应用研究进展[J].中国农学通报,2019,35(3):69-75.
- [5] 张荣群,王盛安,高万林,等.基于时序植被指数的县域作物遥感分类方法研究[J].农业机械学报,2015,46(S1):246-252.
- [6] BELGIU M,STEIN A. Spatiotemporal image fusion in remote sensing [J]. Remote Sensing,2019,11(7):818.
- [7] 徐伟燕,孙睿,金志凤.基于资源三号卫星影像的茶树种植区提取[J].农业工程学报,2016,32(S1):161-168.
- [8] 马超,杨飞,王学成.基于中尺度光谱和时序物候特征提取南方丘陵山区茶园[J].国土资源遥感,2019,31(1):141-148.
- [9] AKAR Ö,GÜNGÖR O. Integrating multiple texture methods and NDVI to the random forest classification algorithm to detect tea and hazelnut plantation areas in northeast Turkey [J]. International Journal of Remote Sensing,2015,36(2):442-464.
- [10] 王斌,何丙辉,林娜,等.基于随机森林特征选择的茶园遥感提取[J].吉林大学学报(工学版),2022,52(7):1719-1732.
- [11] 刘建波,马勇,武易天,等.遥感高时空融合方法的研究进展及应用现状[J].遥感学报,2016,20(5):1038-1049.
- [12] 蔡德文,牛铮,王力.遥感数据时空融合技术在农作物监测中的适应性研究[J].遥感技术与应用,2012,27(6):927-932.
- [13] 李树涛,李聪好,康旭东.多源遥感图像融合发展现状与未来展望[J].遥感学报,2021,25(1):148-166.
- [14] GAO F,MASEK J,SCHWALLER M,et al. On the blending of the landsat and MODIS surface reflectance; predicting daily landsat surface reflectance [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2006,44(8):2207-2218.
- [15] ZHU X L,CHEN J,GAO F,et al. An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions [J]. Remote Sensing of Environment,2010,114(11):2610-2623.
- [16] CHEN T T,YI G H,ZHANG T B,et al. A method for determining vegetation growth process using remote sensing data: a case study in the Three-River headwaters region, China [J]. Journal of Mountain Science,2019,16(9):2001-2014.
- [17] 柳文杰,曾永年,张猛.融合时间序列环境卫星数据与物候特征的水稻种植区提取[J].遥感学报,2018,22(3):381-391.
- [18] 赵亚杰,黄进良,王立辉,等.基于时空融合 NDVI 及物候特征的江汉平原水稻种植区提取研究[J].长江流域资源与环境,2020,29(2):424-433.
- [19] 柏佳,孙睿,张赫林,等.基于 GF-1 和 Sentinel-2 时序数据的茶园识别[J].农业工程学报,2021,37(14):179-185.
- [20] 李儒,张霞,刘波,等.遥感时间序列数据滤波重建算法发展综述[J].遥感学报,2009,13(2):335-341.
- [21] CHEN J,JÖNSSON P,TAMURA M,et al. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter [J]. Remote Sensing of Environment,2004,91(3/4):332-344.
- [22] 李明,沈润平,王迪,等.基于像元质量分析的 S-G 滤波重建 MODIS-NDVI[J].生态与农村环境学报,2015,31(3):425-431.
- [23] BECK P S A,ATZBERGER C,HÖGDA K A,et al. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI [J]. Remote Sensing of Environment,2006,100(3):321-334.
- [24] 张玉沙.基于主动集成学习和不确定性分析的遥感影像变化检测[D].徐州:中国矿业大学,2019.
- [25] BREIMAN L. Random forests [J]. Machine Learning,2001,45:5-32.
- [26] 宋荣杰,宁纪锋,常庆瑞,等.基于小波纹理和随机森林的猕猴桃果园遥感提取[J].农业机械学报,2018,49(4):222-231.

Study on Extraction of *Jasminum sambac* Planting Areas by Combing Phenological and Texture Features

YANG Kunshi¹, LU Yuan^{1,2* * *}, TANG Chuanyong^{1,2}, WENG Yuemei¹, WEI Lizhen¹

(1. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

Abstract: In order to fully exploit the advantages of image timing phenological information, geometric space and texture features in crop monitoring and extraction research, this study extracts *Jasminum sambac* planting area in Hengzhou City, Guangxi by constructing phenological parameters and texture features. In this study, the Enhanced Spatio-Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model (ESTARFM) was used to fuse the annual "high space-low time" and "high time-low space" remote sensing images, and reconstructed to generate the annual medium and low-scale satellite imagery to obtain the parameters of phenological information of different vegetation in the study area. The phenological information parameters of different vegetation in the study area are obtained, and the texture features of the ground objects are extracted combined with the spectral information of the ground objects. The phenological parameters and texture features were selected as the classification and extraction information of *J. sambac* planting areas, and different parameter features were combined to carry out classification comparison and quantitative evaluation of the comprehensive accuracy. The results show that the overall classification accuracy of *J. sambac* planting areas extraction method based on the reconstruction of time-series Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data combined with phenological parameters and texture features reaches 88.36%, and the Kappa coefficient was 0.863 3. The extraction of *J. sambac* planting area has a good effect under the lack of "spatio-temporal information" of medium and low-scale multi-spectral image remote sensing data.

Key words: Landsat images; ESTARFM; phenological parameters; texture features; random forest

责任编辑:唐淑芬



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>