

引用格式: Wang Hongyan, Wang Xiaofan, Gao Liang, *et al.* Study on Extraction Method of Abandoned Farmland based on the Seasonal Variation Characteristics of Remotely Sensed Images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(3): 596-605. [王红岩, 汪晓帆, 高亮, 等. 基于季相变化特征的撂荒地遥感提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(3): 596-605.]  
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2020.3.0596

## 基于季相变化特征的撂荒地遥感提取方法研究

王红岩<sup>1,2</sup>, 汪晓帆<sup>1</sup>, 高亮<sup>2</sup>, 李强子<sup>2\*</sup>, 赵龙才<sup>2</sup>, 杜鑫<sup>2</sup>, 张源<sup>2</sup>

(1. 中国国土勘测规划院自然资源部土地利用重点实验室, 北京 100035;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

**摘要:**在我国西南地区耕种条件差, 地块比较破碎, 地块类型比较复杂, 中低分辨率遥感数据难以满足撂荒地提取的需要。选取贵州修文县为试验区, 基于高分辨率卫星遥感数据(哨兵2号), 探索单期或多期影像在中国西南地区的撂荒地检测能力, 构建撂荒地遥感监测方法, 为今后我国西南地区撂荒地统计调查提供参考。结合野外调查数据, 在划分不同撂荒地类型基础上, 综合遥感影像的光谱特征、植被指数特征以及多时相植被指数变化特征分析, 优选不同类别撂荒地遥感提取敏感特征集, 利用CART决策树分类方法, 提取不同类型的撂荒地。结果表明:①单个时相不同种类的撂荒地识别能力差异显著, 基于单时相影像, 难以开展撂荒地高精度遥感监测提取;②不同时相的植被指数变化特征对撂荒地的识别能力较强, 其中比值植被指数优于差值植被指数和归一化植被指数;③以贵州修文县为例, 开展了撂荒地空间分布制图及撂荒面积统计分析, 修文县撂荒地面积约为6 460 hm<sup>2</sup>, 占修文县耕地面积的13%;④基于多时相高分辨率遥感数据, 通过季相变化特征构建的撂荒地检测方法, 能够满足我国西南地区撂荒地高精度遥感监测提取, 为大范围撂荒地遥感调查和制图提供技术参考。

**关键词:** 撂荒地; CART; 多时相差值植被指数; 哨兵2号

**中图分类号:** TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)03-0596-10

### 1 引言

我国土地面积广大, 但人口众多, 人均占有耕地水平较低, 保持耕地质量、面积不降低是维护我国粮食安全的基础和保障。随着工业化发展和城镇化水平的日益提高, 农村人口持续减少已经成为21世纪中国社会的典型特征, 加之人口老龄化、种粮收益率低等多方面因素影响, 中国农村的耕地撂荒现象越来越突出, 有学者研究, 重庆市、宁夏回族自治区、湖北省、江西省等全国21个省市自治区耕地撂荒现象均较明显<sup>[1-4]</sup>, 尤其是在我国的丘陵和高

原地区, 坡耕地面积较大、耕地质量较低、地形崎岖、农业机械化水平低, 耕地撂荒现象更加明显<sup>[5-7]</sup>。大面积耕地撂荒加剧了我国的人地矛盾, 使国家粮食安全问题更加突出, 更对中国农村的生物多样性、土地质量、碳循环和生态环境, 甚至社会经济结构都产生影响<sup>[8-14]</sup>。因此, 开展撂荒地数量、分布和影响的调查对于中国自然资源和生态环境保护以及经济社会发展都至关重要。

依靠传统的调查手段进行撂荒现象的调查, 工具落后、耗时长、效率低, 且很难获得某个区域的完整调查资料, 因而我国关于耕地撂荒的研究多局限

收稿日期: 2019-03-18; 修订日期: 2020-05-15

基金项目: 国土资源部土地利用重点实验室开放基金项目(KLLU201804), 国家重点研发计划课题(2016YFB0501505), 国家自然科学基金青年基金项目(41501467)。

作者简介: 王红岩(1986—), 女, 助理研究员, 主要从事生态遥感、农业遥感、土地退化遥感监测方面的研究。E-mail: wanghy@radi.ac.cn

通讯作者: 李强子(1970—), 男, 研究员, 主要从事农业、生态、公共安全遥感应用方面的研究。Email: liqz@radi.ac.cn

在宏观的理论层面,如耕地撂荒的现象、机制和对策等,缺少各地区的耕地撂荒详细资料分析。近年来遥感技术在时间、空间、光谱分辨率方面均有大幅提升,更高的时空分辨率遥感数据可以为撂荒地的规模、数量调查和估算提供更为快捷、有效的技术手段。在利用遥感技术提取撂荒地的工作中,最常用的方法是利用时间序列的中低分辨率影像辨识撂荒耕地的光谱序列变化和正常耕地的差异来识别撂荒耕地。例如,Estel等<sup>[15]</sup>利用随机森林算法对MODIS时间序列数据进行分类,提取了欧洲地区2001~2012年的撂荒地,撂荒率约为24.4%。Alcantara等<sup>[16]</sup>同样利用MODIS时间序列数据进行了2004~2006年中欧和东欧的撂荒地分布制图,并估算了撂荒地面积。程维芳<sup>[17]</sup>在广东省惠东、海丰和陆丰3个县,通过分析比较认为基于NDVI时间序列特征的撂荒耕地提取方法效果最优。虽然时间序列影像特征对撂荒地的识别具有较好优势,但往往更适用于耕地地块相对较大的地区。而在撂荒地地块相对破碎且分散的情况下,中高分辨率遥感影像则经常被考虑使用。如Yusoff等<sup>[18]</sup>利用撂荒后的单期遥感影像,分析并对比历史耕地本底数据提取油棕榈撂荒地面积。Baumann等<sup>[19]</sup>利用支持向量机分类模型对1986~2008年的Landsat数据进行分类,提取了乌克兰西部的土地撂荒耕地。Kuemmerle等<sup>[20]</sup>则利用Landsat TM/ETM+影像进行罗马尼亚南部的土地利用覆盖图,提取1990~2005年撂荒地的空间分布范围,发现撂荒率为21.1%。牛继强等<sup>[21]</sup>利用2013年和2015年两年春秋两季共4景的Landsat-8 OLI遥感影像,提取了河南省罗山县子路镇的撂荒耕地及其时空分布信息。肖国峰等<sup>[22]</sup>采用CART决策分类树,基于Landsat数据和HJ1A数据进行了1990~2017年山东省庆云县和无棣县的土地利用制图,提取了研究区撂荒地空间分布。丁锐等<sup>[23]</sup>基于30 m分辨率的Landsat数据,通过可见光、近红外、中红外波段及多项归一化指数等多波段组合,运用CART决策分类方法提取了冀鲁豫省际边界区域撂荒地分布。马尚杰等<sup>[24]</sup>基于GF-1影像开展了沿淮地区冬季耕地撂荒的遥感调查分析。杨通等<sup>[25]</sup>利用多源高分遥感数据(哨兵二号、资源三号、高分一号),基于多源数据的联合变化检测方法提取了撂荒地。

李升发等<sup>[26]</sup>研究发现,2014~2015年全国山区各县的撂荒率约为14.32%,并表现出南高北低的分

布格局,其中重庆市、江西省、广西壮族自治区、四川省等长江流域表现最为突出,达到20%以上,重庆市等甚至超过了30%。因此,利用遥感技术进行中国南方地区的撂荒地调查更为重要。国内关于撂荒地的研究对于基于时间序列MODIS NDVI的检测方法和单时相中高分辨率遥感数据(Landsat数据、HJ1A数据等)检测的方法均有使用,但主要应用在平原区或者耕地地块相对较大的区域。我国西南地区耕种条件差,地块比较破碎,地块类型比较复杂。加上云雨天气较多,很难获取到时间序列的高分辨遥感数据,撂荒地遥感检测只能选择利用单期或多期中高分辨率遥感影像的方式来解决。因此,该研究的目标是探索单期或多期影像在中国西南地区的撂荒地检测能力,并分解为3个子目标:①研究高分辨率遥感影像对中国西南地区撂荒地地块的识别能力;②建立适宜于撂荒地检测的可行性识别算法;③进行区县级的识别实验,确定遥感技术在中国西南地区的区域制图能力,为进一步大范围撂荒地遥感调查和制图提供技术参考。

## 2 研究区和数据源

### 2.1 研究区概况

选择撂荒现象较为严重的西南地区为目标研究区,并以修文县作为实验区进行方法研究。修文县位于贵州中部(图1),地理位置为26°45′~27°12′ N, 106°21′~106°53′ E。县域总面积1 075.70 km<sup>2</sup>,属亚热带季风湿润区,多年平均气温约为13.6℃,多年平均降水量约为1 152 mm,年平均日照数约为1 324.9 h,年平均蒸发量为700~800 mm,无霜期298.4 d,主要作物包括玉米、水稻、蔬菜、猕猴桃等。由于地处云贵高原的中东部地区,大部分地区海拔超过1 200 m,为典型的喀斯特地区(约占有全县面积的82.5%),因而地形相对崎岖,农业机械化程度低,加之外出务工人员较多,撂荒现象较为明显。

### 2.2 数据源

共收集到覆盖研究区4景高分辨率Sentinel-2A卫星影像(<https://scihub.copernicus.eu>), Sentinel-2A数据共有13个波段,其中第2、3、4波段为3个可见光波段,空间分辨率为10 m;第5、6、7波段为红边波段,空间分辨率为20 m;第8波段为近红外波段,空间分辨率为10 m,具体见表1。影像时间分别为2017年10月31日和12月25日,2018年3月10日和6月8日,基本具备了春夏秋冬4个季节的多时相

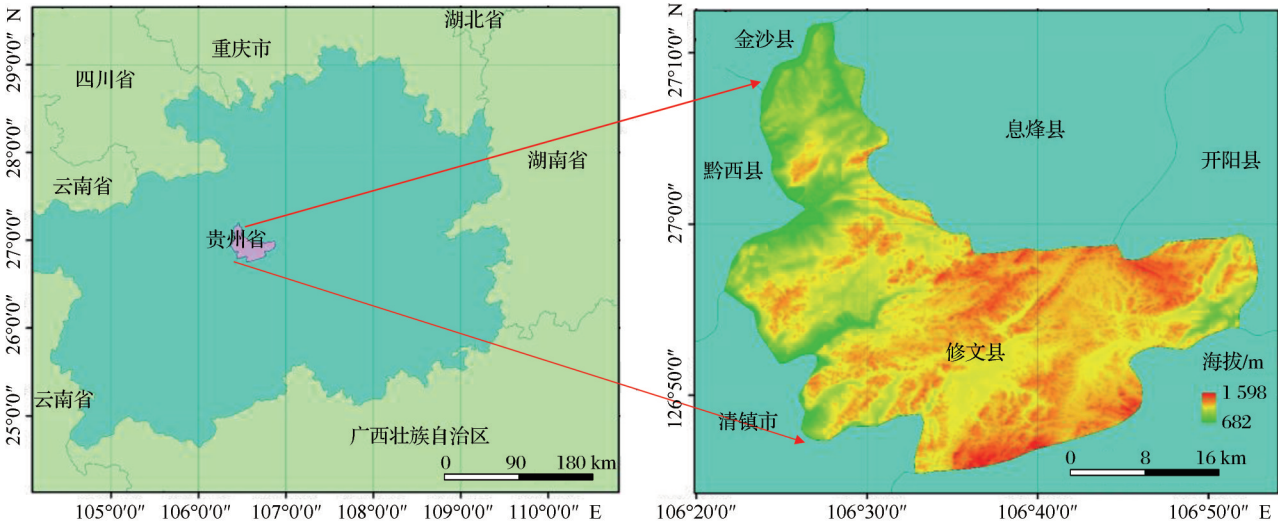


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Location of the study area

表 1 Sentinel-2A 卫星数据波段

Table 1 The bands of Sentinel-2A satellite

波段	中心波长/ $\mu\text{m}$	空间分辨率/m	波段	中心波长/ $\mu\text{m}$	空间分辨率/m
B1-Coastal aerosol	0.443	60	B8-NIR	0.842	10
B2-Blue	0.490	10	B8A- Vegetation Red Edge	0.865	20
B3-Green	0.560	10	B9-Water vapour	0.945	60
B4-Red	0.665	10	B10-SWIR-Cirrus	1.375	60
B5-Vegetation Red Edge	0.705	20	B11-SWIR	1.610	20
B6- Vegetation Red Edge	0.740	20	B12-SWIR	2.190	20
B7- Vegetation Red Edge	0.783	20			

遥感影像,能够反映撂荒耕地和正常耕地在不同季节的光谱特征差异。

遥感影像的预处理包括辐射定标、大气校正和图像裁剪等工作。辐射定标是将图像的数字量化值(DN值)转化为辐射亮度值或者反射率等,基于 SNAP 处理工具,根据 Sentinel-2 卫星数据源文件中辐射定标参数完成了多时相 Sentinel-2 数据的辐射定标。大气校正旨在消除大气和光照等因素对地物反射的影响,得到地物真实反射率。该文通过调用 Sen2cor 插件,完成了多时相 Sentinel-2 数据的大气校正预处理。

同时收集了来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)30 m 分辨率的 DEM 数字高程数据以及来自中国自然资源部自然资源勘测规划设计院的第二次土地利用调查数据,作为修文县耕地数据的本底使用。

该研究的地面调查工作在 2018 年 8 月 9 日至 8 月 15 日完成,采用线路调查和定点实地调查相结合方法,共获取了修文县典型农作物野外调查样本点

数据共 490 个(图 2),包括玉米、水稻、蔬菜、猕猴桃、撂荒地等,其中包含撂荒地样本点 67 个。根据贵州修文县作物种植物候特点,8 月是玉米、水稻、蔬菜等作物生长季节,各地物类型调查样本的可靠性高,野外调查样本为后续撂荒地分类提取和验证提供了可靠数据。

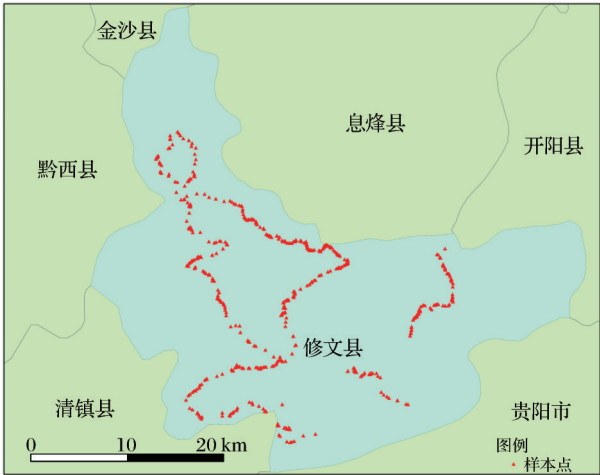


图 2 野外调查样本点分布图

Fig. 2 The distribution map of field survey sample point



根据贵州修文县野外调查情况和样本分析,该研究对修文县的撂荒地进行了类别划分。通过撂荒地的植被覆盖差异(实地观测),结合撂荒地在卫星

影像上的光谱特征差异,将撂荒地划分为撂荒地1(植被密集型)、撂荒地2(植被覆盖中等)、撂荒地3(植被稀疏型),对应不同的撂荒年限。如图3所示。



图3 不同撂荒类型野外调查照片

Fig. 3 Field survey photos of different types of abandoned farmland

### 3 研究方法

在撂荒地分类基础上,利用多时相卫星数据进行典型地物的影像特征综合分析,主要包括各波段反射率、植被指数、各时相差值指数等分析,优选具有撂荒地指示能力的遥感影像特征,并分析其时间变化规律。建立不同类别撂荒地遥感提取敏感特征集,最后利用CART决策树分类方法,提取不同类型的撂荒地。

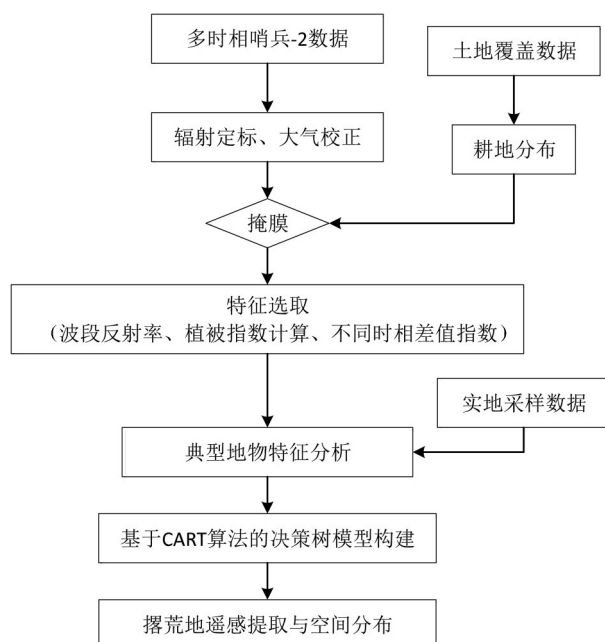


图4 技术路线图

Fig. 4 Technical roadmap

#### 3.1 特征选择与分析

该文考虑的撂荒地遥感提取特征主要包括:各波段反射率、常用的植被指数(归一化植被指数

NDVI、比值植被指数 RVI、差值植被指数 DVI)以及各时相的差值指数等。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

$$RVI = \frac{NIR}{R} \quad (2)$$

$$DVI = NIR - R \quad (3)$$

其中:NIR为近红外波段发射率,R为红光反射率。

该研究利用4个时相的Sentinel-2A数据,进行3种不同撂荒地类型和典型农作物遥感影像特征数据的箱型图分析。箱型图是一种用作显示一组数据分散情况的统计图,主要用于反映原始数据分布的特征,同时还可以进行多组数据分布特征比较。其中,下边缘为特征样本数据的最小值;下四分位数为特征样本所有数值由小到大排列后第25%的数值;中位数为特征样本所有数值由小到大排列后第50%的数值;上四分位数为特征样本所有数值由小到大排列后第75%的数值;上边缘为特征样本数据的最大值(图5)。最后,通过不同指标的箱型图统计值及其差异的统计对比,优选了不同撂荒地类型遥感提取特征集。

#### 3.2 CART决策树算法

目前常用的遥感影像分类模型包括最大似然分类、神经网络、支持向量机、随机森林和决策树等多种方法。其中,决策树分类方法能充分利用影像的光谱特征信息,有利于建立不同地面目标的识别规则,更加有利于地面目标的识别问题,且能在一定程度上解决遥感影像“同物异谱”、“异物同谱”的问题。决策树常用算法包括ID3、C4.5、CART等;其中,CART决策树由于模型简单,且具有自动根

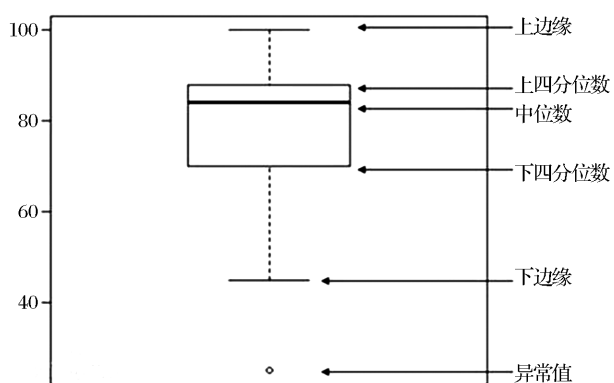


图5 箱型图的结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of box plot

据训练样本确定分类阈值,自动建立决策树,不受其他因素影响等优势,分类精度相对较高<sup>[27-28]</sup>。

CART算法是沿用Breiman等<sup>[29]</sup>1984年提出的决策树算法,同样采用二分递归分割技术,将样本按照测试变量与目标变量特征进行循环迭代划分为两个子样本集,并将生成的每个非叶子结点都进行两分支划分,最终得到二叉树形式的决策树。CART算法采用基尼系数(Gini index)为最佳测试

变量选择准则,选择标准即每个子节点所能达到最高纯度,并选取GINI系数最小的属性作为根节点的分裂属性。假定数据集S中的因变量有n个要素类别,则数据集S的基尼系数表示为:

$$\text{Gini}(S) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (4)$$

其中: $p_i$ 是S中元组属于 $C_i$ 类的概率,并用 $|C_{i,S}|/|D|$ 估计。 $\sum_{i=1}^n p_i^2$ 是对n个类别计算求和。

该研究利用CART决策树进行不同类型撂荒地的识别,以方便建立有效的识别规则,提高撂荒地识别能力。

## 4 结果分析

### 4.1 特征分析

该研究根据实地样本考察,基于获取的4期单时相Sentinel-2A影像数据,对主要地物的特征进行了统计分析(图6),根据光谱特征曲线分析不同地物之间的光谱差异,发现单个时相对不同类型的撂荒地识别能力差异显著,夏季影像中(2018年6月8日)撂荒地光谱特征与其他地物差异较为明显,其

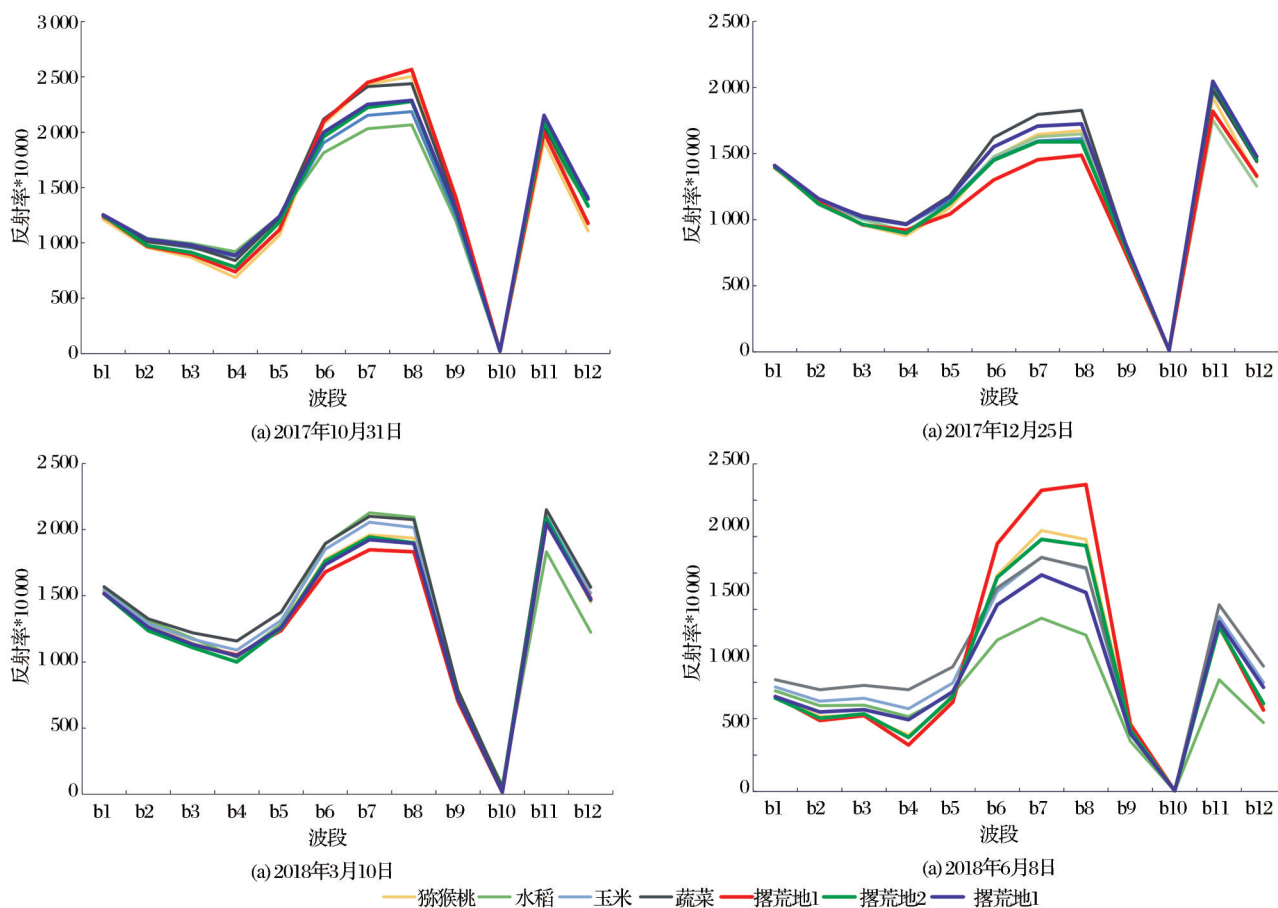


图6 典型地物单时相光谱曲线(2018-6-8)

Fig. 6 Single phase spectrum curve of typical feature (2018-6-8)

次为冬季影像(2017年12月25日),在春季影像(2018年3月10日)和秋季影像(2017年10月31日)中,撂荒地与其他作物光谱差异较小,难于区分。以夏季影像中(2018年6月8日)不同撂荒地类型分析结果具体来说。

撂荒地1(高覆盖草地或撂荒时间很长的地块)在红边及近红外波段(波段6、7、8)较其他作物具有更高的反射率,具有明显的区分能力,这主要因为撂荒后植被恢复较好,具有更高的植被覆盖度和生长特性。

撂荒地2(中等草覆盖或撂荒时间较长的地块)与撂荒地3(植被覆盖较低或刚撂荒时间较短的地块)与其他作物光谱差异较小,这主要是因为撂荒

时间短,植被未完全恢复,其他作物因具有各自不同的覆盖水平而与它们容易混杂。尤其是撂荒地2与猕猴桃的光谱曲线极其相似。

因此,在单时相影像上,撂荒地与其他地物存在较为相似的光谱特征,难以开展撂荒地高精度遥感监测提取。根据程维芳等<sup>[17]</sup>的研究,这种地块应该采用具有多个时相的影像,利用其时间变化特征来进一步识别。

该研究进一步分析不同撂荒地类型和其他作物的多时相植被指数的变化特征,发现不同时相之间的植被指数变化特征对撂荒地的识别能力较强,其中比值植被指数优于差值植被指数和归一化植被指数,图7给出了具有典型识别能力的部分多时

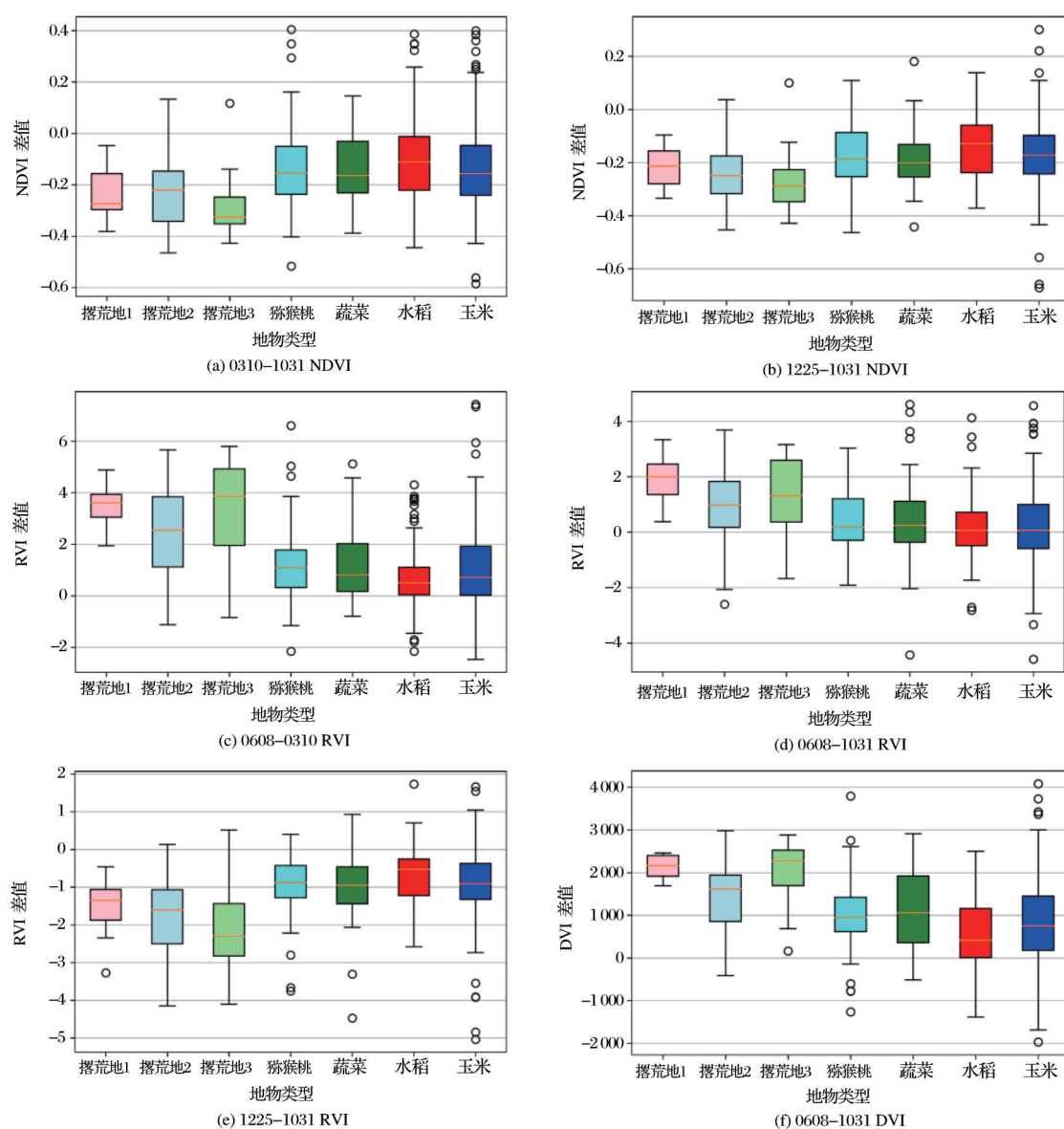


图7 主要典型地物特征箱型图

Fig. 7 The box plots of main typical class feature

相植被指数变化特征的箱型图结果,具体如下。

(1)春夏季节的比值植被指数变化特征对于撂荒地的区分能力较强(图 7(c)),撂荒地 1 在 0608-0310 RVI 特征上明显高于其他地物。

(2)秋冬季节之间的比值植被指数变化特征同样具有较强的区分能力(图 7(e)),撂荒地 3 在 1225-1031 RVI 特征上明显低于其他地物

(3)差值植被指数春夏季节变化对高植被覆盖和低植被覆盖的撂荒地具有较强的指示能力,但对于中等程度植被覆盖的撂荒地难以有效区分(图 7(f))。

4.2 撂荒地遥感识别

根据上述分析结果,该研究利用多时相 Sentinel-2A 卫星数据的多个植被指数季节变化特征进行撂荒地识别,具体包括春—夏比值植被指数变化、春—夏差值植被指数变化、夏—秋比值植被指数变化、春—秋归一化植被指数变化、秋—冬比值植被指数变化等。

基于地面调查样本,并选取其中的 60% 作为训练样本,利用 CART 决策树分类算法自动建立分类决策树(图 8),并利用该分类决策树,获取了不同撂荒类型分类结果,通过类型合并获取了贵州修文县撂荒地空间分布图(图 9)。

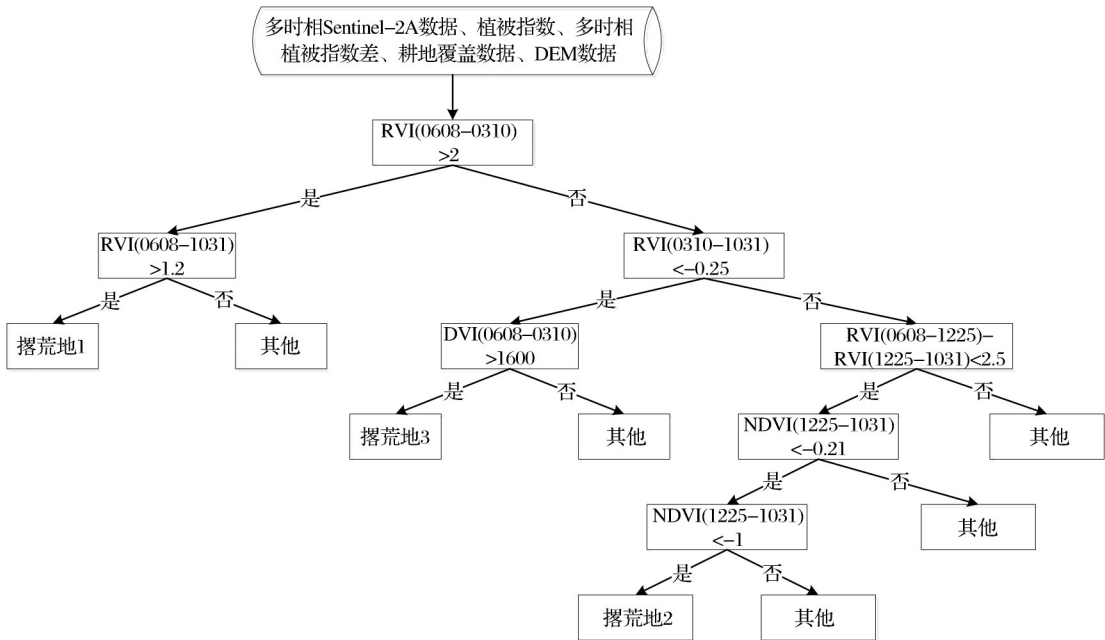


图 8 撂荒地检测决策树模型

Fig. 8 Decision tree model for abandoned farmland extraction

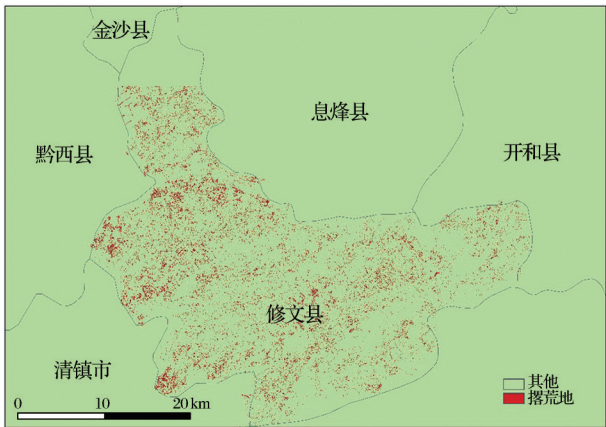


图 9 贵州修文县撂荒地空间分布图

Fig. 9 The distribution map of abandoned farmland in Xiuwen county, Guizhou province

基于修文县撂荒地空间分布图,结合野外调查样本对修文撂荒地提取精度进行了验证,精度验证的混淆矩阵见表 2,其中撂荒地制图精度为 86.8%,用户精度为 84.1%;同时对撂荒地面积进行了统计分析,修文县撂荒地面积约为 6 460 hm<sup>2</sup>,占修文县耕地面积的 13%。

表 2 精度验证混淆矩阵表

Table 2 The confusion matrix of precision verification			
类别	撂荒地	其他	总计
撂荒地	132	20	152
其他	25	152	177
总计	157	172	329



## 4 结 语

该研究以贵州修文县为例,基于多时相高分辨率遥感数据(哨兵2号 Sentinel-2A),综合遥感影像的光谱特征、植被指数与多时相差值植被指数等,通过典型地物的多特征综合分析,在分不同撂荒类型基础上,提出了撂荒地遥感监测方法,为今后我国西南地区撂荒地统计调查提供了参考。

在我国西南地区,基于单时相高分辨遥感影像难以开展撂荒地高精度遥感监测提取,多时相的植被指数变化特征对撂荒地的识别能力较强,其中比值植被指数优于差值植被指数和归一化植被指数。

基于贵州修文县撂荒地空间分布图,利用GIS对撂荒地面积进行了统计分析,修文县撂荒地面积约为6 460 hm<sup>2</sup>,占修文县耕地面积的13%。修文县撂荒地一般都分布在坡度比较大的地区。坡度较大的耕地交通不够便捷,地块较小,不易使用农业机械耕种,撂荒率比较高;距离城镇较远,交通不便的地区土地更容易撂荒。总体来说,该地区撂荒率比较低,这可能与修文县的各种产业扶贫政策有关,政府鼓励农民种植猕猴桃等经济作物,各类果林的种植已经成了该县的特色产业。

该研究方法在贵州修文县撂荒地检测提取的效果较好,但在我国西南地区开展大范围的撂荒地检测提取还需进一步验证研究;由于遥感数据搜集获取的限制,在我国西南地区,地块破碎,基于哨兵2号遥感数据的撂荒地提取中,撂荒耕地存在部分混合像元情况,对于撂荒耕地提取精度有一定的影响。在后续研究中,需结合混合像元分解模型,提高撂荒耕地遥感监测精度。

## 参考文献(References):

- [1] Xie H, Wang P, Yao G. Exploring the Dynamic Mechanisms of Cropland Abandonment based on a Spatially Explicit Economic Model for Environmental Sustainability: A Case Study in Jiangxi Province China [J]. Sustainability, 2014, 6(3): 1260-1282.
- [2] Ding Guangping, Liu Chengwu, Huang Limin. A Theoretical Analysis and Empirical Research of Marginalization of Agriculture Land in Hilly-mountainous Area under Farmer-benefiting Policy: A Case Study of Tongcheng County in Hubei Province [J]. Geographical Research, 2009, 28(1): 109-117. [定光平, 刘成武, 黄利民. 惠农政策下丘陵山区农地边际化的理论分析与实证—以湖北省通城县为例[J]. 地理研究, 2009, 28(1): 109-117.]
- [3] Shao Jingan, Zhang Shichao, Li Xiubin. Farmland Marginalization in the Mountainous Areas: Characteristics, Influencing Factors and Policy Implications [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(2): 227-242. [邵景安, 张仕超, 李秀彬. 山区耕地边际化特征及其动因与政策含义[J]. 地理学报, 2014, 69(2): 227-242.]
- [4] Liu Chengwu, Li Xiubin. Regional Differences in the Changes of the Agricultural Land Use in China during 1980~2002 [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(2): 139-145. [刘成武, 李秀彬. 1980年以来中国农地利用变化的区域差异[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 139-145.]
- [5] Shi Tiechou. Research on Farmland Abandonment Scale and Influencing Factors in Chongqing Mountain Area [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015. [史铁丑. 重庆山区耕地撂荒的规模及影响因素研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.]
- [6] Zhang Y, Li X, Song W. Determinants of Cropland Abandoned at the Parcel, Household and Village Levels in Mountain Areas of China: A Multi-level Analysis [J]. Land Use Policy, 2014, 41(4): 186-192.
- [7] Shi Tiechou, Xu Xiaohong. Extraction and Validation of Abandoned Farmland Parcel in Typical Counties of Chongqing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(24): 261-267. [史铁丑, 徐晓红. 重庆市典型县撂荒耕地图斑的提取与验证[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 261-267.]
- [8] Queiroz C, Beilin R, Folke C, *et al.* Farmland Abandoned: Threat or Opportunity for Biodiversity Conservation? A Global Review [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(5): 288-296.
- [9] Molinillo M, Lasanta T, Garcia-Ruiz J M. Research: Managing Mountainous Degraded Landscapes after Farmland Abandonment in the Central Spanish Pyrenees [J]. Environmental Management, 1997, 21(4): 587-598.
- [10] Bakker M M, Govers G, Doorn A V, *et al.* The Response of Soil Erosion and Sediment Export to Land-use Change in Four Areas of Europe: The Importance of Landscape Pattern [J]. Geomorphology, 2008, 98(3/4): 213-226.
- [11] Batllebayer L, Batjes N H, Bindraban P S. Changes in Organic Carbon Stocks Upon Land Use Conversion in the Brazilian Cerrado: A Review [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 137(1): 47-58.
- [12] Vuichard N, Ciais P, Beletti L, *et al.* Carbon Sequestration due to the Abandonment of Agriculture in the Former USSR Since 1990 [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2008, 22(4): 1417-1430.



- [13] Macdonald D, Crabtree J R, Wiesinger G, *et al.* Agricultural Abandonment in Mountain Areas of Europe: Environmental Consequences and Policy Response [J]. *Journal of Environmental Management*, 2000, 59(1): 47-69.
- [14] Peng Yang, Bai Yanfeng, Jiang Chunqian, *et al.* Carbon Storage Differences for Farmland with Two Rehabilitation Approaches [J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2018, 35(2): 235-242. [彭阳, 白彦锋, 姜春前, 等. 耕地造林和撂荒2种植被恢复方式碳储量差异 [J]. *浙江农林大学学报*, 2018, 35(2): 235-242.]
- [15] Estel S, Kuemmerle T, Alcántara C, *et al.* Mapping Farmland Abandonment and Recultivation Across Europe Using MODIS NDVI Time Series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 163: 312-325.
- [16] Alcantara C, Kuemmerle T, Baumann M, *et al.* Mapping the Extent of Abandoned Farmland in Central and Eastern Europe Using MODIS Time Series Satellite Data [J]. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(3): 1345-1346.
- [17] Cheng Weifang. Study on Remote Sensing Survey Method of Abandoned Farmland in South China [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2011. [程维芳. 南方撂荒地遥感调查方法研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.]
- [18] Yusoff N M, Muharam F M, Khairunniza-Bejo S. Towards the Use of Remote-sensing Data for Monitoring of Abandoned Oil Palm Lands in Malaysia: A Semi-automatic Approach [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(2): 432-449.
- [19] Baumann M, Kuemmerle T, Elbakidze M, *et al.* Patterns and Drivers of Post-socialist Farmland Abandonment in Western Ukraine [J]. *Land Use Policy*, 2011, 28(3): 552-562.
- [20] Kuemmerle T, Müller D, Griffiths P, *et al.* Land Use Change in Southern Romania after the Collapse of Socialism [J]. *Regional Environmental Change*, 2009, 9(1): 1-12.
- [21] Niu Jiqiang, Lin Hao, Niu Yingnan, *et al.* Analysis of Spatial Pattern and Driving Factors for Abandoned Arable Lands in Underdevelopment Region [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(2): 141-149. [牛继强, 林昊, 牛樱楠, 等. 经济欠发达地区撂荒耕地空间格局与驱动因素分析 [J]. *农业机械学报*, 2017, 48(2): 141-149.]
- [22] Xiao Guofeng, Zhu Xiufang, Hou Chenyao, *et al.* Extraction and Analysis of Abandoned Farmland: A Case Study of Qingyun and Wudi Counties in Shandong Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1658-1673. [肖国峰, 朱秀芳, 侯陈瑶, 等. 撂荒耕地的提取与分析——以山东省庆云县和无棣县为例 [J]. *地理学报*, 2018, 73(9): 1658-1673.]
- [23] Ding Rui, Zhang Ermei, Xie zijing, *et al.* Extraction and Analysis of Abandoned Farmland in the Boundary Region of Hebei, Shandong and Henan Province [J]. *Hubei Agriculture Sciences*, 2019, 58(13): 122-128. [丁锐, 张二梅, 谢紫菁, 等. 冀鲁豫省际边界区域撂荒地提取与分析 [J]. *湖北农业科学*, 2019, 58(13): 122-128.]
- [24] Ma Shangjie, Pei Zhiyuan, Wang Fei, *et al.* Application on Remote Sensing Survey of Abandoned Farmlands in Winter Along the Huaihe River based on GF-1 Image [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(1): 235-241. [马尚杰, 裴志远, 王飞, 等. 基于GF-1影像的沿淮地区冬季耕地撂荒遥感调查应用 [J]. *农业工程学报*, 2019, 35(1): 235-241.]
- [25] Yang Tong, Guo Xudong, Yue Dengpeng, *et al.* Information Extraction and Driving Factor Assessment of Farmland Abandonment based on Joint Change Detection [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agriculture Machinery*, 2019, 50(6): 201-208. [杨通, 郭旭东, 岳德鹏, 等. 基于联合变化检测的耕地撂荒信息提取与驱动因素分析 [J]. *农业机械学报*, 2019, 50(6): 201-208.]
- [26] Li Shengfa, Li Xiubin, Xin Liangjie, *et al.* Extent and Distribution of Cropland Abandonment in Chinese Mountainous Areas [J]. *Resources Science*, 2017, 39(10): 1801-1811. [李升发, 李秀彬, 辛良杰, 等. 中国山区耕地撂荒程度及空间分布——基于全国山区抽样调查结果 [J]. *资源科学*, 2017, 39(10): 1801-1811.]
- [27] Chen Yun, Dai Jinfang, Li Junjie. CART-based Decision Tree Classifier Using Multi-feature of Image and Its Application [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2008, 24(2): 33-36. [陈云, 戴锦芳, 李俊杰. 基于影像多种特征的CART决策树分类方法及其应用 [J]. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(2): 33-36.]
- [28] Ma Xin, Wang Xiyuan, Hu Bo. The Cart Automatic Decision Tree to Multi-source Remote Sensing Image Classification based on ENVI: Taking Beijing as An Example [J]. *Ningxia Engineering Technology*, 2017, 16(1): 63-66. [马鑫, 汪西原, 胡博. 基于ENVI的CART自动决策树多源遥感影像分类: 以北京市为例 [J]. *宁夏工程技术*, 2017, 16(1): 63-66.]
- [29] Breiman L, Friedman J H, Stone C J, *et al.* Classification and Regression Trees [M]. UK: Chapman and Hall/CRC, 1984.

## Study on Extraction Method of Abandoned Farmland based on the Seasonal Variation Characteristics of Remotely Sensed Images

Wang Hongyan<sup>1,2</sup>, Wang Xiaofan<sup>1</sup>, Gao Liang<sup>2</sup>, Li Qiangzi<sup>2</sup>, Zhao Longcai<sup>2</sup>,  
Du Xin<sup>2</sup>, Zhang Yuan<sup>2</sup>

(1.China Land Surveying and Planning Institute, Key Laboratory of Land Use, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China;

2.Institute of Remote Sensing and Digital Earth Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In southwestern China, the cultivation conditions are poor, the plots are relatively fragmented, and the types of plots are complex. Therefore, the use of low and medium resolution remote sensing data is not able to satisfy the needs of abandoned farmland extraction. This paper explored the ability of single or multi-phased high resolution remotely sensed images in detecting abandoned farmland in southwest China, using Xiuwen County, Guizhou Province, China as a case study area. Remote sensing based monitoring methods for abandoned farmland were developed, providing a reference for the statistical survey of abandoned farmland in southwest China. The extraction method of abandoned farmland was proposed based on the field survey data, considering different types of abandoned farmland. Sensitive feature sets of different types of abandoned farmland were identified from a series of features including the spectral characteristics, vegetation indices and multi-temporal difference vegetation indices. The CART decision tree classification method was applied on the selected sensitive features to extract abandoned farmland. The results showed that: (1) There was a significant difference in the recognition ability of single-phase image in extracting different types of abandoned farmland, so it was difficult to use only single-phase image to extract abandoned farmland with high accuracy; (2) The vegetation index change characteristics of different time phases had strong recognition ability for abandoned farmland, and the ratio vegetation index was better than the difference vegetation index and normalized vegetation index; (3) The spatial distribution map of abandoned farmland and the statistical analysis of abandoned farmland area were carried out in Xiuwen County, Guizhou Province. The area of abandoned farmland in Xiuwen County was about 6,460 hectares, accounting for 13% of the cultivated land area. (4) Based on multi-temporal high-resolution remote sensing data, the method of detecting abandoned farmland using seasonal variation characteristics can meet the requirements of high-precision extraction of abandoned farmland in southwest China, and the results provided technical reference for remote sensing survey and mapping of abandoned farmland in large-scale.

**Key words:** Abandoned Farmland; CART; Multi-temporal difference vegetation index; Sentinel-2A