

## 决策树分类在铁路沿线桉树提取及滑坡隐患识别中的应用

马明明, 伍尚前, 谢 猛, 童 鹏, 袁晓波

### Extraction of eucalyptus trees along railway lines based on decision tree classification and identification of potential landslides: A case study along Guangxi section of the Guizhou—Guangxi Railway

MA Mingming, WU Shangqian, XIE Meng, TONG Peng, and YUAN Xiaobo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202305047>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 基于贡献率权重模型的川藏铁路沿线大型滑坡危险性区划

Hazard zonation of large-scale landslides along Sichuan—Tibet Railway based on contributing weights model

边江豪, 李秀珍, 徐瑞池, 王栋 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 84–93

#### 泥岩地基中黏土矿物含量对高速铁路无砟轨道膨胀潜势的影响

Expansive potential of ballastless track on high speed railway mudstone foundation with low clay mineral content

丁小刚, 马丽娜, 张戎令, 李佳敏, 张唐瑜, 王斌文 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(1): 108–116

#### 基于遥感影像多尺度分割与地质因子评价的滑坡易发性区划

Landslide susceptibility assessment based on multi-scale segmentation of remote sensing and geological factor evaluation

李文娟, 邵海 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 94–99

#### 基于不同模型的赣南地区小型削方滑坡易发性评价对比分析

Comparative analyses on susceptibility of cutting slope landslides in southern Jiangxi using different models

郭飞, 王秀娟, 陈玺, 王力, 谢明娟, 李玉, 谭建民 中国地质灾害与防治学报. 2022, 33(6): 125–133

#### 基于光学遥感与InSAR技术的潜在滑坡与老滑坡综合识别

Comprehensive identification of potential and old landslides based on optical remote sensing and InSAR technologies: A case study in northwestern Yunnan Province

吴明轵, 罗明, 刘岁海 中国地质灾害与防治学报. 2022, 33(3): 84–93

#### 基于CF-AHP耦合模型的高速公路沿线崩塌地质灾害易发性评价

Assessment of rockfall susceptibility along the expressway based on the CF-AHP coupling model: A case study of the Tucheng–Wanglong section of the Rongzun expressway

陈建国, 钟连祥 中国地质灾害与防治学报. 2023, 34(6): 105–115



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202305047

马明明, 伍尚前, 谢猛, 等. 决策树分类在铁路沿线桉树提取及滑坡隐患识别中的应用——以贵广高铁广西段为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2025, 36(1): 37-45.

MA Mingming, WU Shangqian, XIE Meng, et al. Extraction of eucalyptus trees along railway lines based on decision tree classification and identification of potential landslides: A case study along Guangxi section of the Guizhou—Guangxi Railway[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2025, 36(1): 37-45.

## 决策树分类在铁路沿线桉树提取及滑坡隐患识别中的应用 ——以贵广高铁广西段为例

马明明<sup>1</sup>, 伍尚前<sup>2</sup>, 谢猛<sup>1</sup>, 童鹏<sup>1</sup>, 袁晓波<sup>1</sup>

(1. 中铁工程设计咨询集团有限公司地质路基勘察设计院, 北京 100055;

2. 云桂铁路广西有限责任公司, 广西南宁 610059)

**摘要:** 桉树因生长习性特殊, 会导致土壤的肥料和养分流失, 引发土地退化, 造成滑坡等地质灾害。广西地区气候条件适宜, 区域内铁路沿线种植有大量桉树, 致使铁路沿线存在滑坡隐患。为了对铁路沿线的滑坡隐患进行超前识别, 文章以贵南高铁广西段为例, 基于 Landsat9 OLI、GF-7 影像和 DEM 数据, 使用决策树分类算法提取铁路沿线 1 km 缓冲区内桉树种植范围, 再综合地形地貌等因素进行分析, 识别出滑坡隐患。研究结果表明: (1) 文章构建的决策树分类算法较其他方法来说, 分类精度有所提升, 总体分类精度平均值达到 87.19%, Kappa 系数平均值达到 0.80, 表明该方法在研究区内能有效提取桉树的范围; (2) 贵南高铁广西段沿线大量种植桉树, 桉树林呈片状分布在山丘地区, 铁路沿线 1 km 缓冲区内桉树种植面积约为 14.48 km<sup>2</sup>; (3) 研究区内桉树的种植对铁路的桥梁、路基和隧道口存在一定影响, 文章识别出的滑坡隐患共 33 处, 经过现场核查准确率达到 86.84%。通过以上方法可有效地对铁路沿线桉树种植范围进行提取, 综合地质因素后可做到滑坡隐患的超前识别, 提高了铁路的行车安全。

**关键词:** 高速铁路; 滑坡隐患; 决策树分类; 桉树; 混淆矩阵

中图分类号: P694; TP79

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2025)01-0037-09

## Extraction of eucalyptus trees along railway lines based on decision tree classification and identification of potential landslides: A case study along Guangxi section of the Guizhou—Guangxi Railway

MA Mingming<sup>1</sup>, WU Shangqian<sup>2</sup>, XIE Meng<sup>1</sup>, TONG Peng<sup>1</sup>, YUAN Xiaobo<sup>1</sup>

(1. China Railway Engineering Consulting Group Co. Ltd., Geological Survey and Subgrade Design Institute, Beijing

100055, China; 2. Yunnan-Guangxi Railway Guangxi Co. Ltd., Nanning, Guangxi 610059, China)

**Abstract:** The unique growth characteristics of eucalyptus can result in the depletion of soil nutrient and fertilizers, leading to land degradation and geological hazards like landslides. The Guangxi region in China has suitable climatic conditions, and numerous eucalyptus are strategically planted along railway lines, posing the risk of potential landslides. To proactively identify potential landslides along railway lines, this study takes the Guangxi section of the Guizhou-Guangxi high-speed railway as a

收稿日期: 2023-05-20; 修订日期: 2023-07-21

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 中国铁路南宁局科技研究开发计划项目 (贵南[2023]14-7 号)

第一作者: 马明明(1995—), 男, 安徽蚌埠人, 地图学与地理信息系统专业, 硕士, 工程师, 主要从事工程地质遥感工作。

E-mail: 1322765049@qq.com

case study. Based on Landsat 9 OLI, GF-7 imagery, and DEM data, a decision tree classification algorithm is employed to extract the planting areas of eucalyptus within a 1 km buffer zone along the railway. Then, comprehensive analysis incorporating terrain and landforms factors is conducted to identify potential landslides hazards. The research findings show that: 1) compared to other methods, the decision tree classification algorithm conducted in this study improves the classification accuracy, with an overall average classification accuracy of 87.19% and an average Kappa coefficient of 0.80, indicating that this method can effectively extract the range of eucalyptus in the study area; 2) A large number of eucalyptus are planted along the Guangxi section of the Guinan high-speed railway, with eucalyptus distributed in patches in hilly areas. The eucalyptus planting area within the 1 km buffer zone along the railway is approximately 14.48 km<sup>2</sup>; 3) The planting of eucalyptus in the study area has a certain impact on the bridges, embankments, and tunnel entrances of the railway. A total of 33 potential landslides were identified in this study, with an accuracy rate of 86.84% through field verification. The above method can effectively extract the planting range of eucalyptus along the railway line, and combined with geological factors, it can proactively identify potential landslides, enhancing the safety of railway operation.

**Keywords:** high-speed railway; potential landslides; decision tree classification; eucalyptus; confusion matrix

## 0 引言

广西地区种植的桉树原产于澳洲,是一种适应力强、周期短、高耸挺立的速生树<sup>[1]</sup>。但桉树生长过程中根系深入地下,大量地消耗土壤养分和地下水,导致土地退化,水土保持情况恶化,砍伐后很难再种植植物<sup>[2]</sup>。铁路沿线大量种植桉树区域,砍伐过后易形成滑坡等地质灾害,从而存在威胁铁路的风险,严重危害行车安全。众多学者对桉树的危害也进行了论证,舒成博等<sup>[3]</sup>证明了桉树人工林种植对原始自然植被的破坏是引发土壤侵蚀的首要原因,坡度大于 25°的桉树更易收到侵蚀。韦向向等<sup>[4]</sup>表明桉树的大量种植会使得土壤营养大量流失、地力衰退,砍伐后很难再种植其他植物,长期易造成滑坡、泥石流等灾害。综合现有的研究发现,目前桉树的研究主要集中在生长机理和对环境直接影响方面,缺少因桉树种植而引起的滑坡等次生灾害的研究方法。遥感技术具有大范围快速提取地物信息的能力,可提前发现铁路沿线的地质灾害,在铁路工程安全巡查方面发挥了越来越大的作用<sup>[5]</sup>。本文通过遥感技术,综合利用多源遥感数据,高效、快捷地对桉树范围进行了提取,从而对桉树种植可能引起的滑坡隐患进行识别提取。

本文研究的重点在于桉树范围的准确提取和滑坡地形的综合分析。现阶段利用遥感技术提取桉树范围主要依靠监督分类的方法。根据分类算法的不同,监督分类的方法主要为:决策树分类算法<sup>[6]</sup>、支持向量机算法<sup>[7]</sup>、神经网络算法<sup>[8]</sup>等。卢献健等<sup>[9]</sup>基于遥感影像云计算平台,使用多种方法对 Landsat8 OLI 影像进行桉树提取,结果表明决策树分类方法有最好的桉树提取效

果;王子彦等<sup>[10]</sup>采用面向对象多尺度分割方法,对不同尺度层分别构建隶属度函数和 CART 决策树模型以进行分类提取桉树人工林信息,有效提高了 CART 决策树提取桉树人工林的分类精度。现有研究表明,决策树分类算法提取桉树范围在 Landsat 影像中应用效果较好。

本文以 Landsat9 OLI 影像为数据源,利用特征提取的方法构建决策树,对贵南高铁广西段沿线 1 km 缓冲区内的桉树范围进行提取。同时,结合线路走向、坡度和坡向等因素,提取出因桉树种植而存在的滑坡隐患,实现铁路沿线滑坡隐患的超前识别,降低行车安全隐患,保障车辆和人员安全。

## 1 研究概况

### 1.1 研究区概况

本文的研究区域为贵南高铁广西段南宁市马山县至南宁东站范围内 1 km 的缓冲区,研究区域所属广西盆地,地形相对平缓,高程 30 ~ 600 m,地形北高南低,气候温暖,降水充沛,干湿分明,夏长冬短,夏季炎热,冬季干暖,适应桉树生长<sup>[11]</sup>。

### 1.2 数据概况

研究区与影像分布如图 1 所示, Landsat9 OLI 影像 1 景,获取时间为 2022 年 4 月 9 日,空间分辨率为 30 m,研究使用的 Landsat9 OLI 影像属于 C2L2 级别,已经过辐射定标和大气校正,无需再进行预处理;高分辨率 GF-7 影像 7 景,获取时间为 2022 年 4 月 9 日,空间分辨率为亚米级。为了提高分类精度、消除误差,对 GF-7 影像先进行预处理操作,预处理包含正射校正、图像镶嵌和图像裁剪。DEM 选取 ASTER GDEM v3.0 数据,空间分辨率为 30 m。

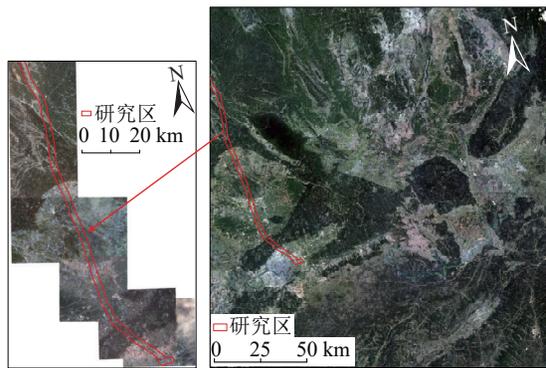


图1 研究区与影像分布图

Fig. 1 Distribution map of the study area and images

## 2 研究方法

### 2.1 决策树分类算法

#### 2.1.1 基于 CART 的决策树分类算法

决策树分类算法是一种多级分类器,由多个二叉决策树组成。基于 CART 决策树的分类算法也是标准的专家分类器,决策树的节点是在桉树样本数据的基础上

通过专家经验总结和数据统计与归纳获得的。再通过 CART 算法建立起各个节点之间的规则,以此形成决策树<sup>[12]</sup>。基于 CART 的决策树分类算法具有较好的分类效果,且处理复杂多变的数据时效果更佳。本研究使用基于 CART 的决策树分类算法对 Landsat9 OLI 影像中的每个对象进行逐层识别和归类,可准确高效的提取出桉树的种植范围。

#### 2.1.2 决策树特征节点的选取

构建决策树需要先根据目标地物的特性选择合适的节点,合适的节点可大大提高决策树的分类能力。根据已有资料可知,桉树在 Landsat9 OLI 影像近红外波段和可见光红光波段分别表现了较强的反射特性和吸收特性。通过对波段组合计算可以得到反映不同植被情况的遥感指数,以此分析桉树的生长状况和其他因素<sup>[13]</sup>。本文在现有研究和大量的试验基础上的,综合使用了 8 种遥感指数作为决策树的节点构建决策树<sup>[14]</sup>,决策树的结构见图 2。

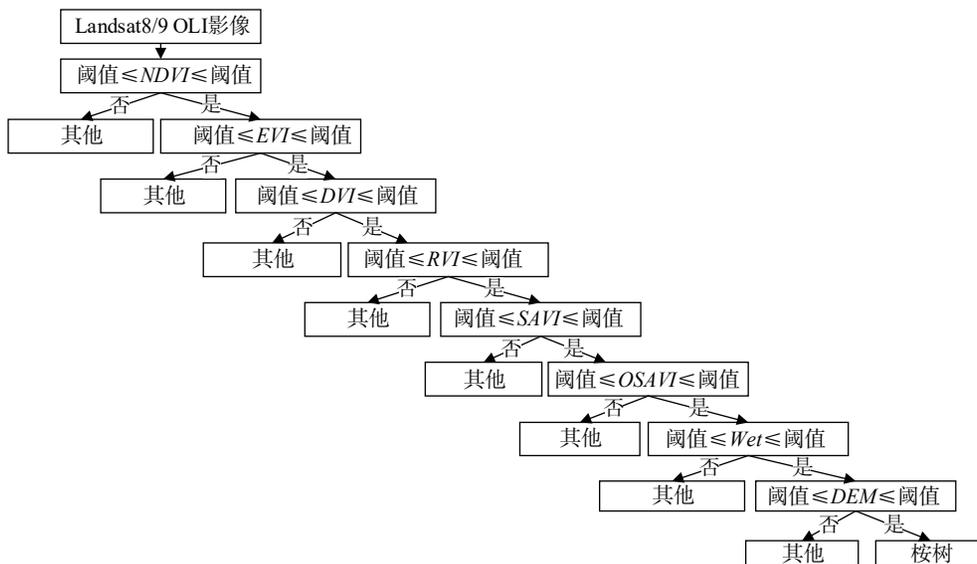


图2 决策树示意图

Fig. 2 Decision tree diagram

8 种指数的相关信息见表 1, 分别为: 归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)作为敏感的植被检测因子, 应用率最高的植被指数, 通过指数反映的植被绿色度变化可区分桉树与其他植被<sup>[15]</sup>; 植被增强指数(enhanced vegetation index, EVI)是对 NDVI 的改进, 能够有效降低土壤噪音与气溶胶散射的影响, 提高桉树监测能力<sup>[16]</sup>; 比值植被指数(ratio vegetation index, RVI)是广泛用于估算和监测绿色植物的生物量, 适用

于植被覆盖度高的桉树<sup>[17]</sup>; 垂直植被指数(perpendicular vegetation index, PVI)能进一步降低土壤噪音的影响和大气的噪音干扰<sup>[18]</sup>; 差值植被指数(difference vegetation index, DVI)可敏锐发掘出土壤背景的变化<sup>[19]</sup>, 与土壤调节植被指数(soil-adjusted vegetation index, SAVI)和优化型土壤调节植被指数(optimized soil-adjusted vegetation Index, OSAVI)结合使用, 可以较好地降低土壤噪音对桉树提取结果的影响<sup>[20-21]</sup>; 湿度指标(WET)是监测地表

环境的重要指标, 土壤湿度的高低能够很好地反映区域的生态环境质量状况, 作为环境因子参与分类计算<sup>[22]</sup>。

表 1 决策树各类指数信息表  
Table 1 Information table of various indices in the decision tree

指数类型	计算公式
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
EVI	$EVI = \frac{2.5(NIR - RED)}{NIR + 6RED - 7.5BLUE + 1}$
DVI	$DVI = NIR - RED$
RVI	$RVI = \frac{NIR}{RED}$
PVI	$PVI = 0.939NIR - 0.344RED + 0.09$
SAVI	$SAVI = \frac{(1 + 0.5)(NIR - RED)}{NIR + RED + 0.5}$
OSAVI	$OSAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + 0.16}$
WET	$WET = 0.151 1BLUE + 0.197 3GREEN + 0.328 3RED + 0.340 7NIR - 0.711 7S SWIR1 - 0.455 9S SWIR2$

注: BLUE为蓝光波段, GREEN为绿光波段, RED为红光波段, NIR为近红外波段, SWIR1为短波近红1, SWIR2为短波近红2。

### 2.1.3 决策树节点最佳阈值的确定

决策树节点阈值的确定直接关系到决策树提取桉树范围的效果, 为了使决策树分类的效果达到最佳, 需要确定 8 种遥感指数的阈值范围, 即决策树节点的最佳阈值。决策树节点的最佳阈值确定的主要步骤如下所示:

(1) 计算 8 种遥感指数的值域。计算 Landsat9 OLI 影像的 8 种遥感指数, 提取桉树样本区内的遥感指数, 对 8 种遥感指数数值分布情况进行统计与分析。根据数据分布结果发现, 8 种遥感指数分布具有一定的规律性, 基本符合高斯分布。

(2) 统计 8 种遥感指数分布规律。虽然遥感指数受到多种因素的影响, 但其总体分布可以近似看作符合

中心极限定理, 即呈现高斯分布的形态。计算公式见式(1)。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中:  $x$ ——遥感指数的数值;

$\sigma$ ——遥感指数分布的标准差;

$\mu$ ——遥感指数的均值。

(3) 节点阈值确定。统计学中, 一个概率样本的置信区间(confidence interval)表示该置信区间内包含总体参数真实值的概率<sup>[23]</sup>。本文排除 5% 的数值干扰, 选取 8 种遥感指数 95% 的置信水平作为决策树节点的阈值。

(4) 节点阈值优化。根据决策树分类精度、与 GF-7 影像中桉树范围的差异程度, 筛选出分类结果中错分、漏分区域, 构建错分样本区与漏分样本区, 统计错分样本区与漏分样本区内 8 种遥感指数值域范围, 用于修正现有决策树节点阈值。然后, 重新分类并计算分类精度, 直至达到设定的分类精度或修正次数上限为止。本文将提取的初始阈值进行了 2 次优化, 最终的遥感指数阈值见表 2, 3 次桉树分类局部结果见图 3。

表 2 决策树各类指数阈值  
Table 2 Threshold values of various indices in the decision tree

指数类型	初始阈值	中间阈值	最终阈值
NDVI	[0.71, 0.84]	[0.52, 0.85]	[0.64, 0.85]
EVI	[0.42, 0.61]	[0.31, 0.73]	[0.38, 0.65]
DVI	[0.21, 0.34]	[0.14, 0.41]	[0.19, 0.36]
RVI	[6.06, 11.33]	[3.21, 12.69]	[4.58, 12.08]
PVI	[0.31, 0.43]	[0.25, 0.51]	[0.29, 0.47]
SAVI	[0.41, 0.56]	[0.28, 0.62]	[0.36, 0.58]
OSAVI	[0.47, 0.59]	[0.33, 0.62]	[0.43, 0.61]
WET	[-0.027, 0.015]	[-0.072, 0.023]	[-0.045, 0.019]

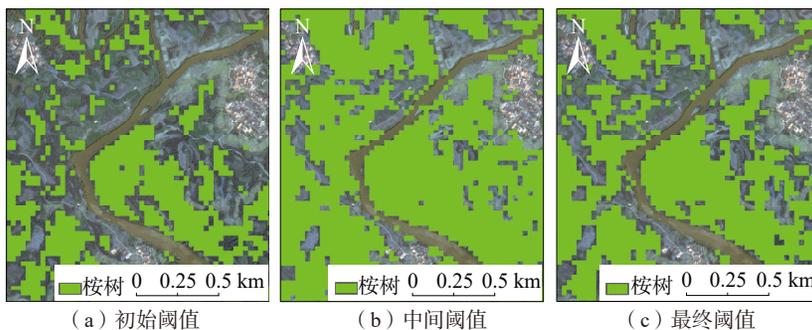


图 3 阈值优化过程中局部范围分类结果

Fig. 3 Local area classification results during threshold optimization process

## 2.2 滑坡隐患的提取总体流程

桉树种植区域分类的总体流程见图 4。

首先, 结合 Landsat9 OLI 影像对高分辨率 GF-7 影像进行目视解译, 提取 GF-7 影像中桉树的范围, 将其作为

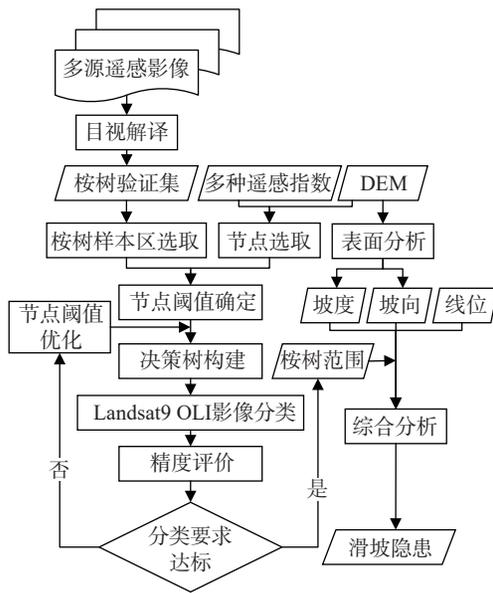


图 4 总体流程图

Fig. 4 Overall flow chart

验证数据集。如图 5 所示, 在 GF-7 影像中桉树表现出纹理规律、排列整齐和颜色较深的特征, 目视解译易得出桉树范围。在验证数据集中选取特征明显的区域构建桉树样本区。其次, 选取能够表现出桉树植被特征的遥感指数作为决策树的节点, 结合桉树样本区的各种遥感指数的值域确定决策树节点的阈值, 以此构建分类决策树。再者, 对 Landsat9 OLI 影像进行决策树分类和精度评价, 并利用分类结果中的错分区域和漏分区域的各种遥感指数的值域反向修正现有决策树节点的阈值。然后, 利用修正后的决策树重新进行分类和精度评价, 重复以上操作, 直至分类次数或分类精度达到要求, 即可得到准确的桉树种植范围。最后, 对研究区的 DEM 进行表面分析, 得到研究区的地形坡度与坡向, 结合上

一步得到桉树种植范围与线位走向综合分析, 确定铁路沿线 1 km 缓冲区内因桉树种植而存在的滑坡隐患位置。



图 5 GF-7 影像中桉树特征图

Fig. 5 Feature map of eucalyptus in GF-7 image

### 3 铁路沿线桉树范围提取

#### 3.1 研究区桉树总体分类结果

使用构建好的决策树对收集的 2022 年 4 月 9 日研究区内 Landsat9 OLI 影像进行分类, 提取其中桉树范围。作为对比组, 再使用支持向量机算法和神经网络算法进行对比实验。3 种不同算法在铁路 1 km 缓冲区内得到的桉树种植情况如下: 决策树分类算法(classification and regression tree, CART)得到桉树种植面积约为 14.48 km<sup>2</sup>, 支持向量机算法(support vector machine, SVM)得到桉树种植面积约为 10.87 km<sup>2</sup>, 神经网络算法(neural network, NN)得到桉树种植面积约为 15.86 km<sup>2</sup>。结果可知, 决策树分类算法与支持向量机算法得到的结果大致相同, 都有较好的分类效果; 与神经网络算法得到的结果相差较大。

如图 6 所示, 从决策树分类算法得到的桉树分布情

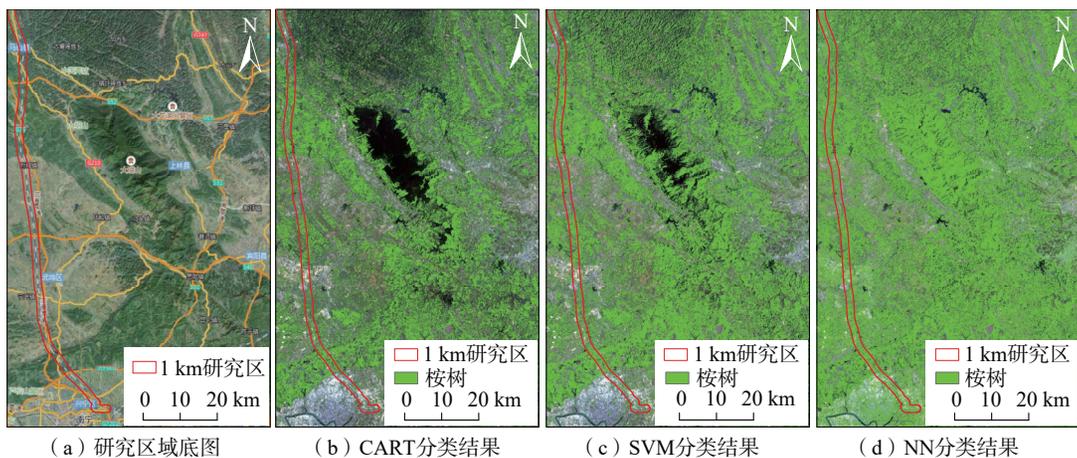


图 6 3 种方法在 2022 年 4 月 9 日 Landsat9 OLI 影像中的分类结果

Fig. 6 Classification results of three methods in Landsat9 OLI image on April 9, 2022

况来看,桉树种植较为集中,远离居民区,大规模呈片状分布在丘陵地区,在城市范围内零星分布,铁路沿线范围内桉树种植多存在隧道之上,符合贵南高铁沿线桉树种植情况;支持向量机算法得到的桉树范围与之类似,但稍差于决策树分类算法;神经网络算法得到的桉树分布规律较不明显,与实际存在较大区别。

### 3.2 局部区域分类精度评价

决策树分类完成后,需要使用具有代表性的指标对分类结果进行检验与评估,混淆矩阵是较为常用遥感分类的评价方法,它可以以定量化的方式衡量地物分类结果与实际地物的匹配程度,其中包括:①总体分类精度:全部地物被正确分类的与样本总数的比值;②Kappa系数:检验分类结果与实际地物是否一致的指标;③生产者精度:目标地物被正确分类的与该地物样本总数的比值;④用户精度:实际属于该目标地物的与被分类为该地物样本总数的比例<sup>[24]</sup>。

为了对决策树分类的精度进行有效评价,本文将支持向量机算法和神经网络算法作为对比组,与决策树分类算法一同对 2022 年 4 月 9 日的 Landsat9 OLI 影像进行桉树提取操作。再从之前目视解译得到的验证数据集集中选取 3 个验证区作为精度评价区域,再利用混淆矩阵计算在 3 个验证区内 3 种方法的分类精度。

本文选取了总体分类精度和 Kappa 系数来定量评估 3 种方法分类结果的精度。3 种方法的具体分类精度见表 3。

利用总体分类精度与 Kappa 系数对 3 种方法的分类结果进行评定可知。在 3 个验证区内,决策树分类都有较好的表现,总体分类精度分别为: 87.12%、87.27%、87.17%,平均值为 87.19%; Kappa 系数分别为 0.80、0.80、0.80,平均值为 0.80。决策树分类算法的效果与支持向量机算法的结果相近,都有较好的表现,决策树分类的效果稍好于支持向量机算法。神经网络算法相比其他 2 种分类算法,分类效果略差。可见本文构建的决策树在研究区内具有一定的实用性,较常规的支持向量机算法和神经网络算法得到总体分类精度有所提高,精度提高约为 2.5% 和 4.3%,具有较好的分类效果。

## 4 铁路沿线滑坡隐患的提取

### 4.1 因桉树种植滑坡隐患的提取流程

铁路沿线种植桉树会导致水土流失,土壤沙化,当桉树种植林被砍伐后,短时间内无法种植其他植物形成裸土。根据滑坡形成的地形地貌条件可知,坡度小于 10° 的地面近似水平斜坡,稳定性较好,大于 45° 的为极

表 3 混淆矩阵

Table 3 Summary table of the confusion matrix

分类模型	评价指标	验证区			平均值
		1	2	3	
CART	总体分类精度/%	87.12	87.27	87.17	87.19
	Kappa	0.80	0.80	0.80	0.80
SVM	总体分类精度/%	84.90	85.77	83.52	84.73
	Kappa	0.76	0.77	0.74	0.76
NN	总体分类精度/%	84.36	83.15	81.24	82.92
	Kappa	0.75	0.73	0.71	0.73

陡坡面,容易形成崩塌。在 10° ~ 45° 之间,上下部陡峭且中部平缓是易形成滑坡的地区<sup>[25]</sup>。因此,桉树林在砍伐后坡度在 10° ~ 45° 之间的地带将会是潜在的滑坡点<sup>[26]</sup>。其中,将易形成滑坡的坡面坡度分为 3 级:较缓坡面、中等陡峭坡面和陡峭坡面(表 4)。

表 4 坡度等级表

Table 4 The grade table of slope

等级	类型	坡度/(°)	特性
1	较缓坡面	10 ~ 15	较稳定,极端天气下可能形成滑坡
2	中等陡峭坡面	15 ~ 25	一般稳定,极端天气下易形成滑坡
3	陡峭坡面	25 ~ 45	不稳定,易形成滑坡

根据上述提取的桉树范围,结合线路走向、坡面坡度分级和坡向等因素<sup>[27]</sup>,本文对铁路沿线 1 km 缓冲区内滑坡隐患进行了提取。提取流程见图 7 所示。首先,结合线路 1 km 缓冲区和桉树分布图提取出线路 1 km 缓冲区内桉树的分布;然后,结合坡面坡度分级图筛选出其中坡度在 10° ~ 45° 的桉树区域,按照坡面等级分为 3 级;再者,利用坡面坡向示意图提取出与线位夹角小于 90° 的斜坡,此类斜坡滑塌以后可能侵入线路。最后,结合三维地形图剔除误判区域,即可得到最终的因桉树种植而存在的滑坡隐患。

### 4.2 滑坡隐患的提取结果与验证

根据图 7 的提取流程,共筛选出滑坡隐患 38 处。根据奥维三维地图与现场调查的照片,核实得到的 38 处滑坡隐患是否正确。标准为以下 3 点:①是否为桉树区域;②坡面坡度等级是否正确;③核实时地形是否未变<sup>[28]</sup>。经核实后得滑坡隐患详情见表 5。

结果表明本文提取的滑坡隐患与现场情况基本相符,现场核查出 5 处错分区域,其中 4 处是因为区域内存在零星桉树,导致错判为桉树区域,1 处是因为影像获取时间后,防护措施改变了原始地形。正确提取的滑坡隐患有 33 处,总体准确率达到 86.84%。按照风险等级划分:一级风险 13 处,二级风险 17 处,三级风险 3 处。

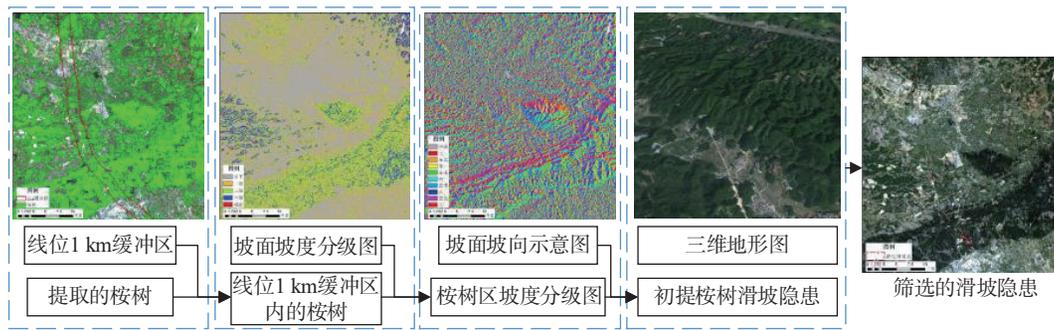


图 7 滑坡隐患的提取流程

Fig. 7 Extraction process of potential landslides

表 5 滑坡隐患详情表

Table 5 The detailed table of potential landslides

序号	类型	等级	是否正确	说明	序号	类型	等级	是否正确	说明	序号	类型	等级	是否正确	说明
1	桥梁	1	是		14	隧道	1	是		27	隧道	2	否	零星桉树干扰
2	桥梁	1	是		15	隧道	2	是		28	隧道	2	否	零星桉树干扰
3	隧道	3	是		16	桥梁	2	是		29	桥梁	1	是	
4	隧道	2	是		17	路基	2	是		30	隧道	1	是	
5	桥梁	1	是		18	路基	1	是		31	隧道	1	是	
6	隧道	2	是		19	隧道	2	是		32	路基	2	是	
7	隧道	2	是		20	隧道	2	是		33	隧道	2	是	
8	隧道	2	否	零星桉树干扰	21	路基	2	是		34	隧道	2	是	
9	隧道	2	否	零星桉树干扰	22	路基	1	是		35	路基	3	是	
10	隧道	2	是		23	路基	1	是		36	路基	3	是	
11	桥梁	2	是		24	路基	1	是		37	隧道	2	是	
12	隧道	3	否	地形改变	25	桥梁	1	是		38	隧道	2	是	
13	路基	2	是		26	路基	1	是						

按照影响位置划分: 桥梁范围 7 处, 路基范围 11 处, 隧道口范围 15 处。其中, 影响桥梁的 7 处滑坡隐患风险等级较低, 对桥梁的影响较小; 影响隧道和路基的滑坡隐患风险等级较高, 这些滑坡隐患坡度较大且坡向倾向线位, 如无相应的防护措施, 发生滑塌后将侵入道路, 危害行车安全。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

(1) 本文以贵南高铁广西南宁段为研究区, 利用 CART 算法, 对该研究区的桉树采用自建的决策树分类算法、支持向量机算法和神经网络算法 3 种分类算法进行分类。结果表明: 3 种方法中本文自建的决策树, 较其他分类方法精度有所提升, 总体分类精度平均达到 87.19%, Kappa 系数平均达到 0.80, 是最适合在该研究区内提取桉树提取范围的方法, 在研究区内具有一定的实用性。

(2) 根据决策树分类算法提取的桉树范围, 结合线路走向、坡度和坡向等因素, 本文对铁路沿线 1 km 缓冲区内因桉树种植而存在的滑坡隐患进行了提取。结

果表明, 贵南高铁广西南宁段沿线大量种植桉树, 研究区内种植桉树面积约为 14.87 km<sup>2</sup>, 大规模成片分布在丘陵地区。

(3) 因桉树种植可能对铁路沿线产生影响, 存在滑坡隐患共有 33 处。按照风险等级划分: 一级风险 13 处, 二级风险 17 处, 三级风险 3 处。按照影响位置划分: 桥梁范围 7 处, 路基范围 11 处, 隧道口范围 15 处。其中, 滑坡隐患对路基和隧道口的影响较大, 如无相应的防护措施, 发生滑塌后, 可能会危害行车安全。

### 5.2 展望

基于 CART 的决策树分类算法较支持向量机和神经网络算法得到的总体分类精度有所提高。但是桉树种植周期较短, 短时间内植被变化较大, 1 景影像无法表达桉树的变化情况。后期可考虑采用多时相遥感影像处理技术, 分析不同时期桉树种植的变化情况, 以此可更好地研究桉树种植对铁路沿线造成的潜在危害。现阶段对滑坡隐患的风险等级划分标准较粗略, 后期可深入研究影响滑坡生成的各种因素, 制定更加全面的滑坡隐患的等级划分标准。

## 参考文献(References):

- [1] 杨晓燕,熊场,宫雪,等.亚热带地区主要阔叶用材树种的非生物胁迫研究进展[J].西南林业大学学报(自然科学),2023,43(3):191-204. [YANG Xiaoyan, XIONG Yang, GONG Xue, et al. Advances in abiotic stress of main broad-leaved timber species in subtropical regions [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2023, 43(3): 191-204. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 王会利,吴秦展,兰文明,等.多代连栽桉树人工林林下植被和土壤物理性状的变化[J].中南林业科技大学学报,2023,43(2):1-9. [WANG Huili, WU Qinshan, LAN Wenming, et al. Dynamics of understory vegetation and soil physical properties in eucalyptus plantations of different generations [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2023, 43(2): 1-9. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 舒成博,沈影利,刘刚,等.南方山区典型小流域桉树人工林种植对水土流失的影响[J].应用生态学报,2023,34(4):1015-1023. [SHU Chengbo, SHEN Yingli, LIU Gang, et al. Impacts of Eucalyptus plantation on soil and water losses in a typical small watershed in mountainous area of southern China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(4): 1015-1023. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 韦向向,王晟强,唐健,等.桂南红壤区多代连栽桉树对土壤肥力的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2023,43(4):81-88. [WEI Xiangxiang, WANG Shengqiang, TANG Jian, et al. Effects of multi-generation continuous planting on soil fertility quality of eucalyptus plantation in red soil area of southern Guangxi [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2023, 43(4): 81-88. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 苏轶君.基于高分遥感影像的泥石流潜在形成区识别方法探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(5):22-31. [SU Yijun. Probing into the techniques recognizing potential debris flow formation regions [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(5): 22-31. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 李天驰,王道儒,赵亮,等.基于Landsat8遥感数据的西沙群岛永乐环礁底质分类与变化分析[J].自然资源遥感,2023,35(2):70-79. [LI Tianchi, WANG Daoru, ZHAO Liang, et al. Classification and change analysis of the substrate of the Yongle Atoll in the Xisha Islands based on Landsat8 remote sensing data [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 70-79. (in Chinese with English abstract)]
- [7] HOLTGRAVE A K, LOBERT F, ERASMI S, et al. Grassland mowing event detection using combined optical, SAR, and weather time series [J]. Remote Sensing of Environment, 2023, 295: 113680.
- [8] 闫涵,张毅.利用GF-6影像结合国土“三调”开展西部地区县域自然资源调查[J].自然资源遥感,2023,35(2):277-286. [YAN Han, ZHANG Yi. County-level natural resource survey in western China based on both GF-6 images and the third national land resource survey results [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 277-286. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 卢献健,黄俞惠,晏红波,等.基于GEE平台广西桉树快速提取研究[J].林业资源管理,2019(5):52-60. [LU Xianjian, HUANG Yuhui, YAN Hongbo, et al. Study on rapid extraction of eucalyptus vegetation information in Guangxi based on GEE [J]. Forest Resources Management, 2019(5): 52-60. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 王子彦,任超,梁月吉,等.基于高分六号红边特征的面向对象桉树人工林信息提取[J].测绘通报,2021(6):6-11. [WANG Ziyang, REN Chao, LIANG Yueji, et al. Object-oriented eucalyptus plantation forest information extraction based on the red-edge feature of GF-6 [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(6): 6-11. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 陈瑞波,朱宁宁,梅树红,等.广西桉树和马尾松单木胸径/冠幅-树高模型构建[J].测绘与空间地理信息,2022,45(7):70-73. [CHEN Ruibo, ZHU Ningning, MEI Shuhong, et al. Individual diameter-height and crown-height prediction models for pinus massoniana and eucalyptus in Guangxi [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2022, 45(7): 70-73. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 白仙富,杨志全,罗伟东,等.基于GIS和多变量决策树的地震滑坡道路中断风险应急评估模型[J].地震研究,2023,46(3):343-353. [BAI Xianfu, YANG Zhiquan, LUO Weidong, et al. An emergency evaluation approach to road disruption risk influenced by earthquake-induced landslide using GIS and multivariate decision tree [J]. Journal of Seismological Research, 2023, 46(3): 343-353. (in Chinese with English abstract)]
- [13] SIMS D A, GAMON J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(2/3): 337-354.
- [14] 敖登,杨佳慧,丁维婷,等.54种植被指数研究进展综述[J].安徽农业科学,2023,51(1):13-21. [AO Deng, YANG Jiahui, DING Weiting, et al. Review of 54 vegetation indices [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(1): 13-21. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 周智勇.基于Landsat遥感影像的围场县植被覆盖时空格局变化[J].水文地质工程地质,2020,47(6):81-

90. [ ZHOU Zhiyong. Change in temporal-spatial pattern of vegetation coverage in Weichang County based on Landsat remote sensing image [ J ] . Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(6): 81 - 90. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 16 ] 戴强玉, 徐勇, 赵纯, 等. 四川盆地植被 EVI 动态变化及其驱动机制 [ J ] . 中国环境科学, 2023, 43(8): 4292 - 4304. [ DAI Qiangyu, XU Yong, ZHAO Chun, et al. Dynamic variation of vegetation EVI and its driving mechanism in the Sichuan Basin [ J ] . China Environmental Science, 2023, 43(8): 4292 - 4304. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 17 ] 梁博明, 刘新, 郝媛媛, 等. 基于 5 种植被指数的荒漠区植被生物量提取研究 [ J ] . 干旱区研究, 2023, 40(4): 647 - 654. [ LIANG Boming, LIU Xin, HAO Yuanyuan, et al. Extraction of desert vegetation information based on five vegetation indices [ J ] . Arid Zone Research, 2023, 40(4): 647 - 654. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 18 ] 董震, 杨贵军, 孙林, 等. 多层离散各向异性辐射传输模型在玉米叶面积指数垂直分布反演中的应用 [ J ] . 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(4): 439 - 450. [ DONG Zhen, YANG Guijun, SUN Lin, et al. Application of multi-layer discrete anisotropic radiative transfer model in vertical distribution inversion of maize leaf area index [ J ] . Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2021, 47(4): 439 - 450. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 19 ] 赵威威, 马福义, 吕利娜, 等. 基于 DVI 的像元二分模型反演植被覆盖度研究 [ J ] . 黑龙江科技大学学报, 2020, 30(2): 125 - 128. [ ZHAO Weicheng, MA Fuyi, LYU Lina, et al. Study on inversion of FVC based on DVI pixel dichotomous model [ J ] . Journal of Heilongjiang University of Science and Technology, 2020, 30(2): 125 - 128. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 20 ] 王江伟, 齐虎啸, 余成群, 等. 藏北高原高寒草甸植被生产力对冷暖季放牧的响应 [ J ] . 遥感技术与应用, 2023, 38(1): 90 - 96. [ WANG Jiangwei, QI Huxiao, YU Chengqun, et al. Response of plant production to cold-season and warm-season grazing in alpine grasslands of the northern Tibetan Plateau [ J ] . Remote Sensing Technology and Application, 2023, 38(1): 90 - 96. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 21 ] 曹庆安, 涂梨平, 冷鹏. 改正的盖度-坡度-OSAVI 反演法的江西省草地资源盖度预测 [ J ] . 测绘通报, 2023(1): 141 - 144. [ CAO Qing'an, TU Liping, LENG Peng. Prediction of grassland coverage in Jiangxi Province by corrected coverage-slope-OSAVI inversion method [ J ] . Bulletin of Surveying and Mapping, 2023(1): 141 - 144. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 22 ] 文诗雅, 朱大明, 付志涛, 等. 基于遥感生态指数的城市生态环境质量评价——以贵阳市为例 [ J ] . 国土与自然资源研究, 2023(2): 51 - 54. [ WEN Shiya, ZHU Daming, FU Zhitao, et al. Ecological environment quality evaluation of Guiyang City based on remote sensing ecological index [ J ] . Territory & Natural Resources Study, 2023(2): 51 - 54. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 23 ] MA Yuanli, LI Yang, XU Jianjun. Confidence intervals for high-dimensional multi-task regression [ J ] . JUSTC, 2023, 53(4): 403.
- [ 24 ] 张梦涵, 魏进, 卞海丁. 基于机器学习的边坡稳定性分析方法——以国内 618 个边坡为例 [ J ] . 地球科学与环境学报, 2022, 44(6): 1083 - 1095. [ ZHANG Menghan, WEI Jin, BIAN Haiding. Slope stability analysis method based on machine learning: Taking 618 slopes in China as examples [ J ] . Journal of Earth Sciences and Environment, 2022, 44(6): 1083 - 1095. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 25 ] 郭斌, 贾燕, 梁彧, 等. 四川宝轮服务区降雨型滑坡活动过程分析 [ J ] . 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(4): 45 - 51. [ GUO Bin, JIA Yan, LIANG Yu, et al. Analysis on process of rainfall-induced landslide in Baolun service area, Sichuan Province [ J ] . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(4): 45 - 51. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 26 ] 李文娟, 邵海. 基于遥感影像多尺度分割与地质因子评价的滑坡易发性区划 [ J ] . 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(2): 94 - 99. [ LI Wenjuan, SHAO Hai. Landslide susceptibility assessment based on multi-scale segmentation of remote sensing and geological factor evaluation [ J ] . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(2): 94 - 99. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 27 ] 白光顺, 杨雪梅, 朱杰勇, 等. 基于证据权法的昆明五华区地质灾害易发性评价 [ J ] . 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(5): 128 - 138. [ BAI Guangshun, YANG Xuemei, ZHU Jieyong, et al. Susceptibility assessment of geological hazards in Wuhua District of Kuming, China using the weight evidence method [ J ] . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(5): 128 - 138. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 28 ] 解明礼, 巨能攀, 刘蕴琨, 等. 崩塌滑坡地质灾害风险排序方法研究 [ J ] . 水文地质工程地质, 2021, 48(5): 184 - 192. [ XIE Mingli, JU Nengpan, LIU Yunkun, et al. A study of the risk ranking method of landslides and collapses [ J ] . Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(5): 184 - 192. (in Chinese with English abstract) ]