

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.06.001

基于 Sentinel-2 影像的火烧迹地快速提取方法比较研究

刘逸娴¹, 张军¹, 唐莹², 龙玉兰²

(1. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650504; 2. 云南大学 国际河流与生态安全研究院, 云南 昆明 650504)

摘要:利用 Sentinel 卫星数据,特别是其中对植被敏感的红边波段与短红外波段,针对提取灾后火烧迹地研究不足的问题,选取四川省冕宁县 4 月 20 日森林火灾发生前后的 Sentinel-2 卫星数据,使用不同的提取方法探究识别火烧迹地的潜力,并进行对比研究。实验结果表明,决策树分类法识别火烧迹地的能力最好,提取精度最高,BAI 指数次之;其余方法均受道路、房屋和裸地不同程度的影响;用红边波段替换可见光红波段的效果相比原有指数提取效果并无明显提升。研究证明在各类方法中,采用决策树分类法能快速高精度地将火烧迹地准确提取出来。

关键词:Sentinel-2 影像;火烧迹地;植被指数分析;决策树分类法

中图分类号:TP753;S762 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)06-0001-06

引文格式:刘逸娴,张军,唐莹,等. 基于 Sentinel-2 影像的火烧迹地快速提取方法比较研究[J]. 林业调查规划, 2023,48(6):1-6. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.06.001

LIU Yixian, ZHANG Jun, TANG Ying, et al. Comparative Study of Rapid Extraction Methods of Burned Area Based on Sentinel-2 Images[J]. Forest Inventory and Planning, 2023,48(5):1-6. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.06.001

Comparative Study of Rapid Extraction Methods of Burned Area Based on Sentinel-2 Images

LIU Yixian¹, ZHANG Jun¹, TANG Ying², LONG Yulan²

(1. School of Geosciences, Yunnan University, Kunming 650504, China;

2. Institute of International Rivers and Eco-security, Yunnan University, Kunming 650504, China)

Abstract: Aiming at the problem of insufficient research on extraction of burned area, Sentinel satellite data were used, especially the red-edge band and short-infrared band that were sensitive to vegetation, and Sentinel-2 satellite data in Mianning County, Sichuan Province before and after the forest fire on April 20 were selected to explore the potential for identifying burned areas using different extraction methods, and a comparative study was conducted. The experimental results showed that the decision tree method had the best ability to identify burned areas, with the highest extraction accuracy, followed by the BAI index; the other methods were influenced to varying degrees by roads, houses, and bare land; the effect of replacing the visible light red band with the red-edge band was not significantly improved compared to the original index extraction effect. This study proved that the decision tree method could meet the requirements of high-precision and rapid extraction of burned areas.

Key words: Sentinel-2 image; burned area; vegetation index analysis; decision tree method

收稿日期:2022-05-13.

基金项目:云南省研究生导师团队建设项目(C176230200);云南大学一流学科——地理学学科建设项目(C176210215).

第一作者:刘逸娴(1999-),女,湖北武汉人,硕士. 主要研究 GIS 应用与遥感信息提取. Email:yixianliu123@126.com

责任作者:张军(1972-),男,重庆人,博士,副研究员. 主要研究遥感应用与 GIS 开发. Email:zhjun@ynu.edu.cn

森林火灾是指失去人为控制,对森林、森林生态系统以及人类带来一定危害和损失的林火行为,是一种突发性强、破坏性大、处置救助较为困难的自然灾害。森林火灾不仅会直接大量减少森林面积,对生物环境产生巨大危害,还严重破坏森林结构,导致生态系统失衡,甚至造成多人伤亡,产生社会经济损失。高强度森林火灾后,土壤性质改变,土壤湿度和渗透能力减弱,加速水土流失,致使火烧迹地干燥。森林生长受到严重破坏,不利于森林更新与更替,甚至无法恢复森林原貌。在过去几十年中,由于全球变暖、土地利用变化以及各种人为因素,森林火灾发生频率以及过火面积均明显增加。

利用遥感影像提取火烧迹地的方法研究较多,主要基于火灾发生前后波段反射率的变化特征或者火烧迹地与其他区域波段反射率的差异。对植被敏感的波段包括可见光波段 (red、green、blue)、红边波段 (red-edge)、近红外波段 (NIR)、短波红外波段 (SWIR) 等。此外,不同波段相互组合产生的指数在火灾后可产生显著变化,如 NDVI、NDMI、EVI、GEMI、NBR、BAI 与 SAVI 等。因此通过设定指数的阈值,便可从影像中提取出火烧迹地的信息。

对火烧迹地的提取探究了多种方法,并且已经有了显著成果。孙桂芬等^[1]研究 5 种植被指数,用分离指数定量评价提取火烧迹地的精度。祖笑锋等^[2]采用决策树模型进行火烧迹地的提取,并对比分析传统的最大似然监督分类法和非监督分类方法提取后的结果。陈本清等^[3]采用最佳波段监督分类法、主成分分析法和 IHS 变换法,对森林灾后火烧迹地的提取精度进行比较研究。饶月明等^[4]联合多源遥感数据数据进行四川木里县森林火灾的监测,其中用 Sentinel-2 数据提取火烧迹地,采用基于最大类间方差算法,分步骤确定不同程度火烧迹地与面积。李莹等^[5]融合红边波段,采用主成分分析法与 NDVI 指数,探究高精度快速提取的方法。但是其中 Sentinel-2 遥感数据用于森林火灾典型植被指数提取缺少详尽的比较研究,并且其新增的红边波段和短波红外波段用于提取火烧迹地研究较少。鉴于此问题,选取火灾发生前后的哨兵遥感卫星影像,融合红边波段,利用短波红外波段,采用不同的方法分别提取火烧迹地,探求高精度的快速提取火烧迹地的方法。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

西南林区是我国火情十分严峻的地区之一。四

川冕宁县位于西南林区内,凉山彝族自治州之北,坐标为东经 101°38'~102°25',北纬 28°05'~29°02',总面积达 4 420 km²。冕宁处于较低纬度、高海拔地区,境内地势差异大,地形环境复杂,地貌类型丰富。气候特征明显,属亚热带季风气候。因地形特色,气候有明显的立体变化,冬暖夏凉,四季不甚分明。据资料统计,冕宁县树木丛生,百草丰茂,植被类型多样,其中有 140 科、341 属、608 种。四川省冕宁县火烧迹地影像见图 1。

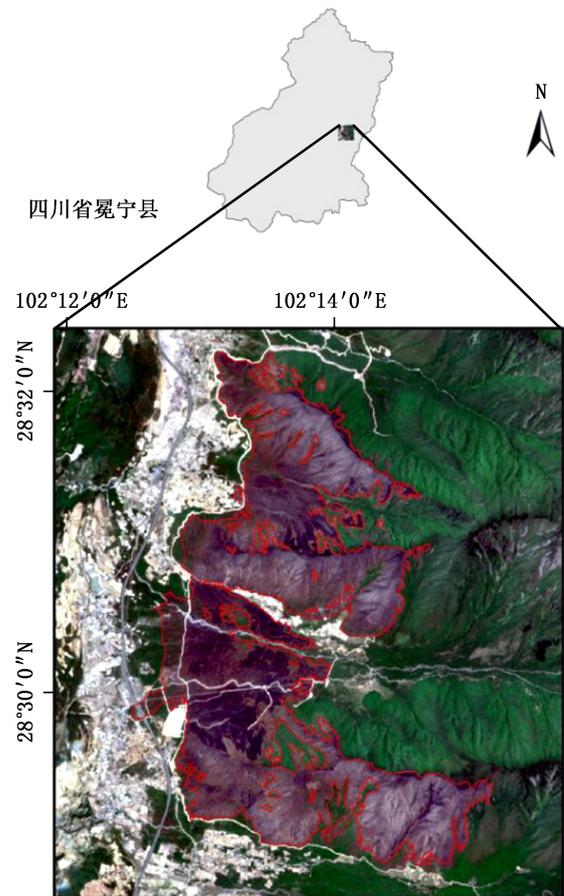


图 1 研究区影像

Fig. 1 Image of study area

1.2 数据来源

研究遥感数据源采用 Sentinel-2 数据,可在欧洲航天局官方网站下载。基于卫星数据的空间分辨率较高和重访周期短等特点,研究人员可以较好监测火灾的严重程度、受灾范围以及灾后恢复状况。两颗哨兵遥感卫星皆携带有高分辨率多光谱成像仪 (MSI),且卫星的运行周期短达 5 d。利用森林火灾发生前后研究区域的遥感影像资料,其遥感卫星数据信息如表 1 所示。

表 1 Sentinel-2 数据信息
Tab. 1 Sentinel-2 data

名称	日期	产品级别
灾前影像	2021-04-04	L2A
灾后影像	2021-05-14	L2A

从欧洲航天局 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) 直接下载获取的影像为 L2A 级产品,影像数据已经过大气校正和辐射校正。获取的数据一共 13 个波段,其中有 3 个红边波段和新增 1 个近红外窄波段,不同的波段空间分辨率略有差异,具体参数见表 2。为获取分辨率统一的数据以便后续处理,采用影像重采样处理为 10 m 分辨率。

表 2 Sentinel-2 数据参数
Tab. 2 Main parameters of Sentinel-2

波段	中心波长 /nm	光谱宽度 /nm	分辨率 /m
B1-Violet	443	20	60
B2-Blue	490	65	10
B3-Green	560	35	10
B4-Red	665	30	10
B5-Red-edge1	705	15	20
B6-Red-edge2	740	15	20
B7-Red-edge3	783	20	20
B8-NIR	842	115	10
B8a-NIR narrow	865	20	20
B9-Water vapor	945	20	60
B10-SWIR-Cirrus	1375	30	60
B11-SWIR1	1610	90	20
B12-SWIR2	2190	180	20

2 研究方法

从遥感图像中识别灾后火烧迹地的方法较多,提取方法主要基于灾情发生前后波段反射率的变化特征和受灾区与其他区域波段反射率的差异。采用多时相影像前后指数的差值,能提高识别的准确度。

经过火灾燃烧后的区域,其植被叶绿素含量相比健康植被会明显减少,而叶绿素减少则会引起相应波段波长的显著变化。遥感数据的红波段、NIR 以及 SWIR 波段已被广泛使用于森林火烧迹地的研究中,然而红边波段的参与较少。在此探讨典型植被指数、主成分分析法、决策树以及融合红边波

段改进的典型植被指数、随机森林分类方法提取火烧迹地。本研究采取数种方法,探讨和对比不同方法对火烧迹地识别提取的潜力,以便得到快速又准确地提取火烧迹地的最优办法,以供火灾后的辅助决策。

2.1 典型植被指数

植被指数依赖影像中不同地物的波谱特征,对不同的波段进行线性组合,从而有利于增强识别地物信息的能力,以便更好区分各类地物。基于可见光和近红外波段构建的对火烧迹地敏感的多种指数如表 3 所示。

表 3 对火烧迹地敏感的指数

Tab. 3 Index of sensitivity to burned areas

指数名称	公式
归一化植被指数 ^[6]	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$
增强型植被指数 ^[7]	$EVI = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + 6\rho_R + 7.5\rho_B + 1}$
全球环境检测指数 ^[8]	$\eta = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_R^2) + 1.5\rho_{NIR} + 0.5\rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R + 0.5}$
	$GEMI = \eta(1 - 0.25\eta) - \frac{\rho_R - 0.125}{1 - \rho_R}$
火烧迹地识别指数 ^[9]	$BAI = \frac{1}{(0.1 - \rho_R)^2 + (0.06 - \rho_{NIR})^2}$
归一化火烧指数 ^[10]	$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR2}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR2}}$
归一化火烧指数 2 ^[11]	$NBR2 = \frac{\rho_{SWIR1} - \rho_{SWIR2}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{SWIR2}}$
中红外燃烧指数 ^[12]	$MIRBI = 10\rho_{SWIR2} - 0.98\rho_{SWIR1} + 2$
土壤调整植被指数 ^[13]	$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{NIR} - \rho_R)}{\rho_{NIR} + 6\rho_R + 7.5\rho_B + 1}, L = 0.5$
归一化差分湿润指数 ^[14]	$NDMI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}}$

NDVI 是被最常使用的典型植被因子,随着植被覆盖度增加,NDVI 数值也会随之增加,其可以用于研究植被的健康状况,因此火烧后的植被 NDVI 指数会显著下降。BAI 指数是根据地物像元值与参考光谱值的距离计算,其中近红外波段的参考值是 0.06,而红光波段反射率的参考值为 0.1,可用于表明火烧迹地木炭信号的强弱。利用灾后影像火烧迹地的光谱反射率会在近红外波段下降和短波红外波段上升的特点,基于近红外和短波红外波段构建的

典型植被指数 NBR、NBR2 与 NDMI 可以较好地区别火烧迹地与其他地物。

分别采用 9 种植被指数对火灾前后的图像进行提取分析,对前后影像植被指数进行差值运算,最后对所得影像进行直方图阈值法,多次实验选择最佳的分割阈值提取火烧迹地。

2.2 主成分分析法

主成分变换(PCA),也被称为 K-L 变换,在遥感图像中是在统计特征对多波段进行的正交线性变换。主成分分析保证均方误差最小,常用于凸显遥感图像中的某些特征。通过变换对原始影像的 10 个波段(B2~B8a、B11 和 B12 波段)做主成分分析,将其中重要信息集中表现在前几个主成分中,发现产生的第一主成分图像具有识别火烧迹地的高潜力,其像元在影像上显示最亮。利用图像分割结合影像直方图多次实验,选择主成分变换后第一主成分图像的最佳分割阈值 0.16。

2.3 决策树分类法

决策树分类法采用自上而下的方法,具有便于理解、实现容易、运行迅速等特点。其基本原理是构建多个节点对分类特征评价并生成二叉树。针对火烧迹地,本研究基于影像光谱特征,分析灾后火烧迹地和其他地物光谱特征之间的差异,运用 ENVI5.6 软件并基于专家知识建立分层分类树并逐层进行分类提取火烧迹地(图 2)。

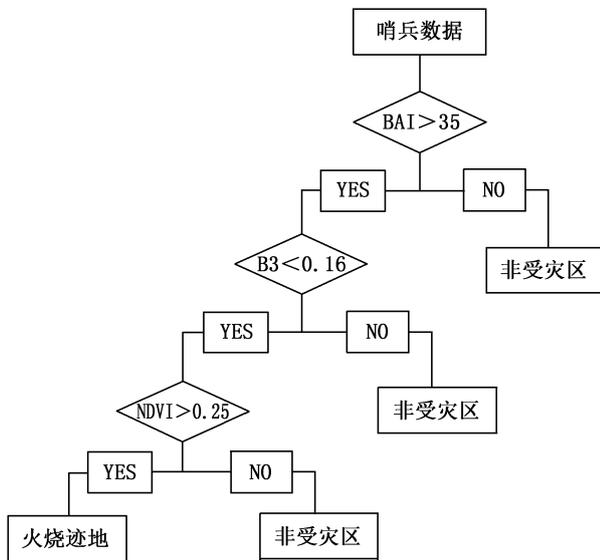


图 2 决策树分类

Fig. 2 Decision tree

由于 BAI 小于 35,能较好区分出建筑物来;B3

大于 0.16 时,可以较好地区分出植被;剩下的阴影像元可以通过受灾前后的 NDVI 差值小于 0.25 区分出来。

2.4 改进的植被指数

Sentinel-2 影像中增加了其他影像没有的 3 种红边波段以及近红外窄波段。其中有 NDVI、EVI、GEMI、BAI、SAVI 5 种典型植被指数用到红边波段,分别用 3 个红边波段替换可见光红波段进行植被指数分析,发现其中 Red-edge1 波段替换可见光红波段的效果比其他两个波段的提取效果好。以 Red-edge2 与 Red-edge3 波段改进的植被指数提取效果模糊且破碎,无法有效提取火烧迹地。故对用 Red-edge1 改进替换的指数进行受灾区的提取分析。

3 结果分析

3.1 最佳阈值的选择

当前研究中,最佳阈值的选取方法有多种,例如直方图阈值法、迭代阈值法以及 OTSU 算法(最大类间方差法)。由于直方图阈值法由人为观察直方图进行阈值判断,难免受主观因素影响,且误差较大。迭代阈值法与 OTSU 算法均有自动获取阈值的特点,但前者的噪声较大。OTSU 利用直方图积累区间来划分阈值。因为 OTSU 算法的原理是产生每个类别间最大的方差,所以可以降低类别之间错分概率,因此常用于进行图像分割中阈值的选取。各种方法的最佳阈值设置见表 4。

表 4 最佳阈值设置

Tab. 4 Optimal threshold setting

方法	最佳阈值	方法	最佳阈值	方法	最佳阈值
NDVI	0.31	NBR2	0.12	NDVI _{red1}	0.18
EVI	0.18	MIRBI	0.63	EVI _{red1}	0.10
GEMI	0.11	SAVI	0.19	GEMI _{red1}	0.14
BAI	22.00	NDMI	0.33	BAI _{red1}	10.00
NBR	0.35	PCA	0.16	SAVI _{red1}	0.14

本研究希望快速提取火烧迹地,因此将火烧迹地分为一类,其余云、房屋、耕地、林地、道路等归为非受灾区。但其中云、道路、房屋容易与受灾区混淆,因此 OTSU 算法会有明显误差。因此,在 OTSU 算法之后,结合各火烧迹地提取方法的影像直方图经过多次实验选择最佳分割阈值。火烧迹地的结果提取如图 3 所示。

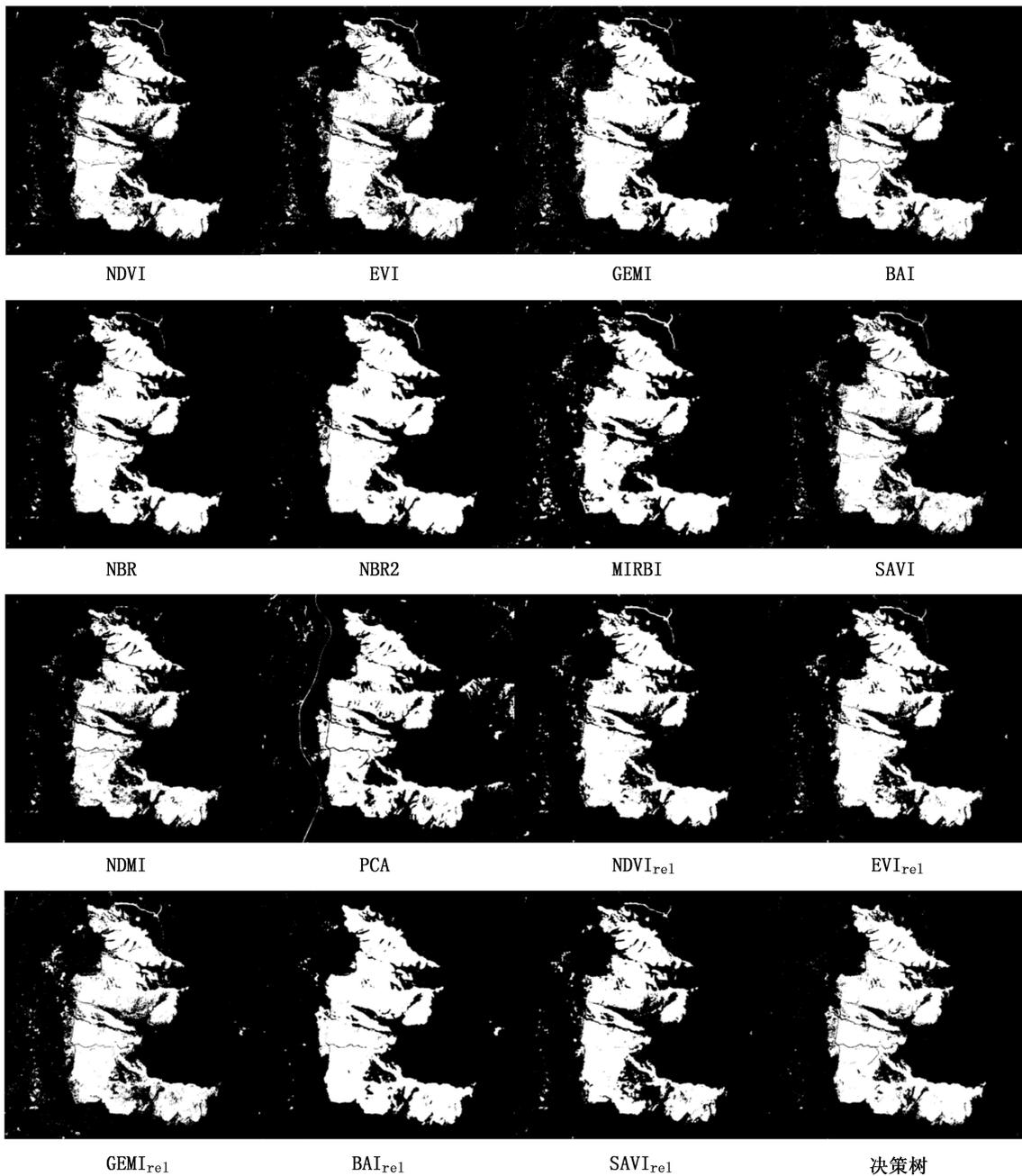


图 3 火烧迹地提取分类结果
 Fig. 3 Extraction and classification results of burned areas

3.2 实验结果评价

实验中主要将研究区分为火烧迹地与非受灾区。图 3 中白色部分表示火烧迹地,黑色部分表示非受灾区。火烧迹地提取实验主要受道路、房屋和裸地影响。其中由于展开灾后救援的过程中开辟了新的道路,而本研究主要以火灾前后波段反射率变化为依据提取火灾发生后的过火区域,故受灾后新增道路影响较大。但是 BAI 强调过火区的木炭信息,因此能够规避新增道路的影响。图中可看出 BAI、

BAI_{rel} 与决策树可以较好将道路和房屋与火烧迹地区分出来,提取效果较好。MIRBI 提取的区域较为破碎,是效果最差的一种方法。NDMI 虽然也能一定程度上避免房屋和道路的影响,但是提取的效果也较为破碎。PCA 是基于火烧迹地与其他区域波段反射率的差异,因此能够区分新增道路,其受裸地影响较大。其余指数提取效果不能较好区分道路。

除定性研究之外,采用精度检验评价本研究选择的提取方法,结合同一时期高分辨率的遥感图像。

其中选择均匀分布于整个区域内的各 200 个火烧迹地与非受灾区的样本点,用 ENVI 进行混淆矩阵的精度验证。各精度评价的结果如表 5 所示。

表 5 不同提取方法精度评价

Tab. 5 Accuracy evaluation of different extraction methods

方法	总体精度/%	Kappa 系数	方法	总体精度/%	Kappa 系数
NDVI	92.51	0.8234	NDMI	90.10	0.7546
EVI	92.89	0.8322	PCA	89.05	0.7399
GEMI	90.44	0.7783	NDVI _{rel}	89.80	0.7566
BAI	94.22	0.8631	EVI _{rel}	90.12	0.7633
NBR	92.89	0.8315	GEMI _{rel}	90.44	0.7740
NBR2	91.56	0.8024	BAI _{rel}	93.25	0.8399
MIRBI	86.14	0.6630	SAVI _{rel}	88.89	0.7268
SAVI	92.27	0.8155	决策树	94.72	0.8981

从表 5 可知,精度高达 94% 以上,最佳提取方法是决策树分类法与 BAI 指数,佐证了前面定性分析的结果。此外,用 Red-edge1 波段替换可见光红波段的效果相比原有指数提取效果并无提升,除了 GEMI 指数的总体精度,其余指数均有略微下降。

4 结 论

Sentinel-2 数据容易获取,重访周期短,空间分辨率较高,而且具备对植被敏感的 3 个红边波段。四川省冕宁县森林火灾附近有大量道路、居民区,林区中有部分裸地。快速提取火烧迹地需要将其区分出来。针对这些特点,根据本实验,得出如下结论:(1)经定性分析与精度检验可知,决策树法可以利用波段与指数对不同类别波段反射率的差异,以最高精度快速提取出火烧迹地,同时可以避免灾后新建道路的影响;(2)BAI 强调火灾过后火炭信息,故对此次大型火灾具有较好识别功能,整体提取效果良好,且提取区域完整,仅次于决策树法;(3)与红波段参与的植被指数提取精度相比,其中以 Red-edge2、Red-edge3 融合的指数提取效果十分破碎,而用 Red-edge1 替换之后的指数提取效果无明显提高。

实验中也存在一些不足的地方:(1)在火烧迹地与道路联通区域,出现了较多的漏检现象;(2)研究中冕宁县 Sentinel-2 数据的获取时间与实际火灾

结束时间有超过 20 d 时间间隔,期间部分受灾程度较小的区域会有些许植被恢复的可能,对研究结果的准确性造成一定的影响。

参考文献:

- [1] 孙桂芬,覃先林,刘树超,等. 典型植被指数识别火烧迹地潜力分析[J]. 国土资源遥感,2019,31(1):204-211.
- [2] 祖笑锋,覃先林,尹凌宇,等. 基于高分一号影像光谱指数识别火烧迹地的决策树方法[J]. 林业资源管理,2015(4):73-78,83.
- [3] 陈本清,徐涵秋. 遥感技术在森林火灾信息提取中的应用[J]. 福州大学学报(自然科学版),2001(2):23-26.
- [4] 饶月明,王川,黄华国. 联合多源遥感数据监测四川木里县森林火灾[J]. 遥感学报,2020,24(5):559-570.
- [5] 李莹,于海洋,王燕,等. 融合红边波段的森林火烧迹地提取方法[J]. 遥感信息,2019,34(5):63-68.
- [6] STROPPIANA D, BOSCHETTI M, ZAFFARONI P, et al. Analysis and interpretation of spectral indices for soft multicriteria burned-area mapping in Mediterranean regions[J]. IEEE Geoscience Remote Sensing Letters, 2009(6):499-503.
- [7] HUETE A, DIDAN K, MIURA T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1):195-213.
- [8] PINTY B, VERSTRAETE M M. GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites[J]. Vegetatio, 1992(101):15-20.
- [9] MARTÍN M. Cartografía e inventario de incendios forestales en la península ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR[D]. Universidad de Alcalá; Madrid, Spain, 1998.
- [10] KEY C H, BENSON N C. The normalized burn ratio (NBR): A landsat TM radiometric measure of burn severity[R]. Bozeman, MT: United States Geological Survey, Northern Rocky Mountain Science Center, 1999.
- [11] LUTES D C, KEANE R E, CARATTI J F, et al. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system[R]. Colorado: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006.
- [12] TRIGG S, FLASSE S. An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22:2641-2647.
- [13] HUETE A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI)[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25:295-309.
- [14] WILSON E H, SADER S A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80:385-396.