

doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021142

引用格式: 陈艳英,马鑫程,徐彦平,等. 地形及 NDVI 在林火遥感监测二次识别中应用的方法探讨[J]. 自然资源遥感,2022, 34(3):88-96. (Chen Y Y, Ma X C, Xu Y P, et al. Methods for the application of topography and NDVI in re-identification of remote sensing-based monitoring of forest fires[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(3):88-96.)

地形及 NDVI 在林火遥感监测二次识别中应用的方法探讨

陈艳英¹, 马鑫程², 徐彦平³, 王 颖⁴, 汪艳波⁵

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100010; 3. 重庆市开州区突发事件预警信息发布中心, 重庆 405400; 4. 重庆市江津现代农业气象试验站, 重庆 402260; 5. 朝阳师范高等专科学校, 朝阳 122000)

摘要: 挖掘归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)及地形因素在地表分类中具有指示意义, 其结果可很好地应用于特定场景。利用 2002—2020 年 AQUA/MODIS NDVI 及地形指数(高程及坡度)提取重庆地表分类信息, 将重庆地表分为林地、草地、果园、旱地、水田、水体和建筑用地 7 类。基于重庆地形破碎致使农、林、草用地交错分布的特征及防火需求, 将林地、草地、果园、旱地划分为林火关注区, 水田、水体、建筑用地划分为非林火关注区。利用林火关注区分级结果对 2002—2020 年 AQUA/MODIS 监测热点、2014—2020 年 FY3-C/VIRR 监测热点、2019—2020 年 FY3-D/MERSI 监测热点进行二次识别。结果表明, 单项地类提取结果, 除旱地和果园等经济林区外, 其余各地类提取精度在 64% 以上; 林火关注分区精度在 86% 以上。利用林火关注分区结果对遥感监测林火点进行二次识别, 发现 AQUA/MODIS 监测的林火点中, 46.27% 的点在非林火关注区, FY3-C/VIRR 和 FY3-D/MERSI 监测的林火点中, 分别有 26.47% 和 11.76% 的点在非林火关注区。对 2021 年 5 月 1—2 日林火遥感监测结果进行二次识别, AQUA/MODIS 和 TERRA/MODIS 监测结果中, 有 81.08% 的点落在非林火关注区, FY3-C/VIRR 监测结果有 71.4% 落在非林火关注区。利用 NDVI 及地形指数提取复杂地形区域地表分类信息并应用于林火遥感监测二次识别, 可有效降低复杂地形区域林火监测干扰信息, 降低热点核实人力物力投入。

关键词: 归一化植被指数(NDVI); 地形指数; 林火; 遥感监测; 二次识别

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)03-0088-09

0 引言

林火监测、预警是森林防火工作的重要环节。及时、准确地发现着火点, 并将林火消灭在发生初期, 是实现林火“打早、打小、打了”目标的关键支撑^[1]。目前卫星监测、航空监测、地面巡护和瞭望台监测这 4 种^[2]林火监测措施中, 卫星监测有诸多优势, 能够实现大范围实时监测, 且随着气象静止卫星分辨率的提高, 卫星林火监测基本实现了全天候、大范围的准无缝监测。在林火监测的应用中, 遥感能够对潜在危险区域进行实时监测和持续跟踪, 因

此可以及时发现火情, 实现林火的早发现早处理, 降低灭火成本, 减少潜在损失, 弥补了基于瞭望塔等传统监测方法的不足, 已成为当前林火实时监测的重要手段之一。

林火遥感监测的算法主要包括指数法^[3-4]、亮温结合阈值法^[5-6]、多通道彩色合成法^[7]、绝对火点识别法^[8-9]和上下文法等。基于众多林火监测方法, 可用于林火监测的波段也不断被挖掘, 除了传统的中心波段在 4 μm 和 11 μm 的中红外及远红外波段外, 可见光等波段在林火监测中也发挥着不同的作用。在实际监测过程中, 有大部分被判定为林火的像元点并无林火发生, 称之为空报; 而被判定为

收稿日期: 2021-05-11; 修订日期: 2022-05-07

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项“基于多源遥感的林火监测方法研究”(编号: cstc2019jscx-msxmX0289)、重庆市气象部门业务技术攻关项目“基于多源卫星数据的重庆林火遥感监测方法探究”(编号: YWJSGG-202102)、重庆市气象局 2022 年业务技术攻关项目“应用遥感产品改进重庆市森林火险气象条件预报技术研究”(编号: YWJSGG-202204)和中国气象局省所科技创新发展专项“重庆丘陵山地多源卫星遥感数据应用关键技术研究”(编号: SSCX2020CQ)共同资助。

第一作者: 陈艳英(1974-), 女, 硕士, 主要从事遥感及地理信息系统在地表监测及反演中的应用研究。Email: chenyaning1618@163.com。

通信作者: 马鑫程(1986-), 男, 硕士, 主要从事工程测量研究。Email: maxincheng@hpd.com.cn。

非林火的像元可能包含有温度低、面积小的林火,称之为漏报。无论是空报还是漏报,都大大降低了卫星监测林火的可信度。空报和漏报之间,及其与监测准确度之间是矛盾的,降低空报率,漏报率会升高,反之亦然;但无论空报率或漏报率升高都会降低监测准确度。

卫星探测到的林火是地表热异常的一种,地表热异常现象通常包括:火山喷发、森林燃烧、草原燃烧、溢出油气燃烧、人工目标燃烧、农业秸秆焚烧、垃圾焚烧处理、工业热排放、高温作业工矿场地等^[10],森林草原火是遥感热异常监测中的一部分点源^[11],在卫星林火监测工作中,其余地表热源点是干扰源,会影响监测精度。此外,水体、沙漠、云、大型建筑或建筑群等非热源区,由于高反射或高能源利用的影响,在卫星检测地表热源点的过程中容易被误判为异常高温点。因此,在林火遥感监测过程中,这些非林区的异常高温点及高反射(高能源利用区)点便是干扰点,降低了林火遥感监测的准确度。

为了提高林火遥感监测的准确度,需要对监测的异常高温点进行筛查,以便去掉非林火关注区热点,提高监测的准确度。对高温点进行筛查的方法和手段较多,但都存在一定的局限性,如用高分辨率数据检验低分辨率数据,缺点是与检测热点同步的高分辨率卫星数据不能随时获取;现场调查及无人机巡航,缺点是成本较高,且反馈时间较长。

在重庆应用卫星监测林火还存在以下问题:在卫星红外通道易出现高温点的地物如工矿区、工业热源、建筑群、水体等区域与林区交叉分布,这些非林火高温点不仅降低了林火监测的精度,还增加了排查的难度;重庆地形破碎,林地与农用地交错分布,农耕用火不仅难以与林火区分,还经常引发森林火灾,因此对农耕地用火需要加以关注或进行管控。针对以上问题,本文基于归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)及地形指数提取用于林火筛查的地表分类数据,利用该地表分类数据,对卫星监测的地表高温点进行二次识别,从而剔除林火非关注区的异常高温点,提高林火监测的准确度。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

重庆地处中国内陆之西南,年平均温度为 17.8℃,常年降水量为 1 000~1 450 mm,气候的地带性和垂直方向变化明显,导致各地地表温度差异显著。地带性植被属亚热带常绿阔叶林,属于西南林区范畴,

林地分布于高程较高、坡度大于 15°的中低山区或高程较高的山区。地形起伏大,地表覆盖破碎,林区与旅游景区、度假避暑区、高山风电场、高山高压输电线路、居民点、农耕地交错分布^[12-13],导致居民农耕及生活、祭祖等活动极易引发森林火灾,地表非林火热源多且与林火不易区分,在利用遥感数据进行林火监测时会出现大量的非林区高温点,这容易使森林防火和监测出现纰漏。

1.2 数据源

1.2.1 AQUA/MODIS 地面高温点数据及 NDVI 数据

整理了 2002—2020 年 AQUA/MODIS 1 km 地面高温点数据集 MYD14A1 及 250 m NDVI 数据集 MYD13Q1,数据范围为 H27V05 和 H27V06 2 个区域,数据来源于美国国家航空航天局官网。

1.2.2 FY3 - C/VIRR 和 FY3 - D/MERSI 地面高温点数据

整理了 2014—2020 年 FY3 - C/VIRR 和 2019—2020 年 FY3 - D/MERSI 1 km 地面高温热点数据集,数据来源于中国气象局风云卫星遥感数据服务网。

1.2.3 其他辅助数据

通过 91 卫图助手桌面端采集了重庆市 2 m 空间分辨率土地类型样地数据,样地类型包括林地、草地、果园、旱地、水田、水体、建筑用地 7 类;收集了空间分辨率 12.5 m 数字高程模型(digital elevation model,DEM)数据,来源于日本宇宙航空研究所的高级陆地观测卫星-1(Advanced Land Observing Satellite-1,ALOS)。

1.3 数据处理

1.3.1 重庆森林火监测点数据集

选取 2002—2020 年 AQUA/MODIS 监测热点数据 MYD14A1、2014—2020 年 FY3 - C/VIRR 监测热点数据和 2019—2020 年 FY3 - D/MERSI 作为遥感监测高温热点源。各卫星热点数量见表 1。

表 1 不同来源热点数量			
Tab. 1 Number of hotspots from different sources			
数据来源	AQUA/MODIS	FY3 - C/VIRR	FY3 - D/MERSI
热点数量/个	2 159	34	28

从表 1 可见,FY3 - C/VIRR 和 FY3 - D/MERSI 卫星由于监测年限较短,因此监测热点样例较少,共 62 个热点;AQUA/MODIS 卫星监测年限较长,监测热点较多,共 2 159 个热点,其中标注 9 的高可信度热点最少,为 182 个,标注为 8 的中可信度热点多达 1 618 个,标注 7 的低可信度热点 359 个。

1.3.2 植被指数数据集

选取 2002—2020 年 AQUA/MODIS 250 m 分辨

率 NDVI 数据,通过重投影、格式转换、裁剪后,获取重庆区域的 NDVI。为了降低云的影响,将 AQUA/MODIS 监测的 NDVI 采用最大值合成法合成逐月 NDVI,基于此计算多年月平均 NDVI。如果单月 NDVI 较多年月平均 NDVI 降低超过 0.1,则视为无效值,以当月前后 2 a 的均值替补。如 2018 年 1 月 NDVI 较 2000—2020 年 1 月月平均 NDVI 小 0.15,则以 2017 年和 2019 年的均值替代,以此类推。以此方法计算了 2013—2017 年月平均 NDVI,用来辅助完成土地分类。

1.3.3 土地分类数据样本点数据集

林火遥感监测的主要关注对象是天然林区及草地,结合重庆的区域特性,农业用地中的旱地及果园也是林火防范的关注区域,而建筑用地、水体属于林火防范的非关注区域,因此本文将土地类型分为林地、草地、果园、旱地、水田、水体及建筑用地 7 类。结合高分辨率遥感图像及 2015 年土地利用数据,对

本文 7 类型土地利用数据取样,样地数见表 2。

表 2 不同土地类型采集的样区数
Tab.2 Number of plots collected by different land types

土地类型	林地	果园	草地	旱地	水田	建筑用地	水体
样地数/个	206	272	243	233	295	149	196

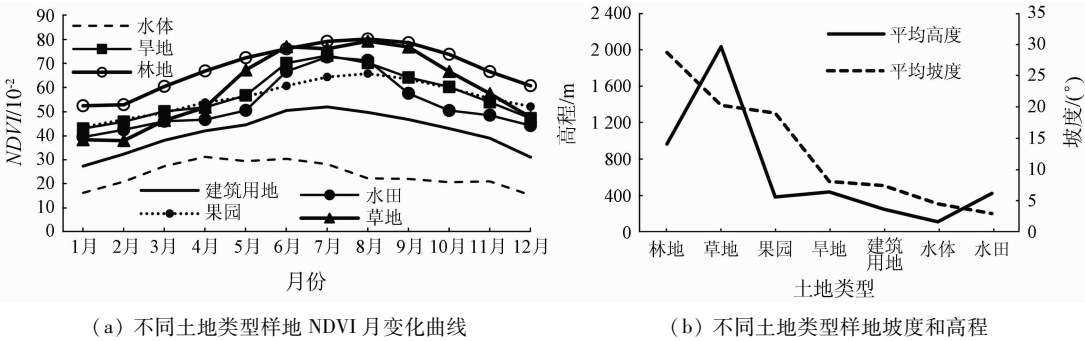
1.3.4 其他辅助数据的处理

利用地理信息系数软件,将空间分辨率为 12.5 m 的数字高程模型(digital elevation model,DEM)数据重采样为 50 m,并基于 DEM 生成了坡度数据。

2 土地覆盖分类

2.1 样点植被指数及地形分析

结合重庆地表破碎的特点,将 NDVI 数据重采样为 50 m 分辨率,与 DEM 及坡度对应。提取样地月平均 NDVI、坡度及高程,见图 1。



(a) 不同土地类型样地 NDVI 月变化曲线 (b) 不同土地类型样地坡度和高程

图 1 不同土地类型样地 NDVI 月趋势线及对应坡度/高程值

Fig.1 Monthly NDVI trend lines and slope/height values of different land types

分析发现,各样地 NDVI 均值较最大、最小值具有区别度,因此采用月平均 NDVI 作为分类指标,而表征地形的坡度和高程 2 个要素,在不同地类中也有很明显的分异性,因此也作为分类的重要参数。由图可见,除水体外,各种土地类型的 NDVI 峰值均出现在 7—8 月份,9 月开始减小,谷值基本出现在 1 月份,1—8 月,NDVI 逐渐增加。各土地类型中,林地 NDVI 最大,其次是草地,水体 NDVI 最小,建筑用地 NDVI 次小。在农田中,4—5 月份旱地 NDVI 高于水田,其余月份水田 NDVI 高于旱田 NDVI,果园 NDVI 月际变化平缓,1—2 月份及 11—12 月份 NDVI 较早地、草地 NDVI 偏大,在 6—8 月的生长旺季,果园 NDVI 较其余植被覆盖区 NDVI 偏低,其余月份 NDVI 较水田、旱地、草地、林地 NDVI 低。各类土地类型中,坡度和高程值变化明显,可以结合 NDVI 进行区分。

2.2 分类方法及结果

2.2.1 人类活动用地与林草地的分离

跟据李伶俐等^[14]的研究及第三次国土调查技

术规范^[15],从地形坡度要素来看,重庆耕地集中分布在坡度 25°以下的区域;从地形高程要素来看,重庆耕地集中分布在 200 ~ 1 500 m 之间的区域。结合本文研究,从图 1 样地的坡度、高程分析结果及文献研究成果发现,坡度过大、高程过高的区域不适合人类活动,因此本文将坡度 ≤ 15°且高程在 [0, 1 500] m 之间的区域及坡度在 (15°, 25°] 之间且高程 ≤ 800 m 的区域定为可能出现水体、建筑用地及农业用地的区域,占总面积的 59.15%;其余区域为林地、草地,占总面积的 40.85%。

2.2.2 非植被用地与农用地的分离

水体及建筑用地的 NDVI 整体偏低,在 7—8 月份水体和建筑用地的 NDVI 与植被覆盖区的地表 NDVI 相差最大,综合考虑日照条件及建筑用地周边、街道绿化生长状况,选取 8 月份 NDVI 作为参考指标。分析 NDVI 可知,在结合前文识别的水体、建筑用地及农业用地区域的基础上,水体 NDVI ≤ 0.4 或高程 ≤ 150 m 且坡度 ≤ 10°的区域,建筑用地的

NDVI 在 (0.4,0.6] 之间,水体占地 1.4%,建筑用地占 4.3%,见图 2。

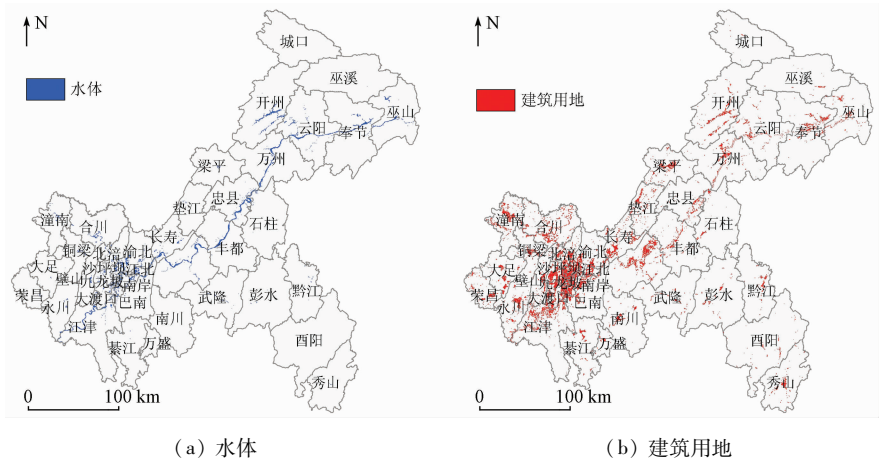


图 2 水体和建筑用地提取结果

Fig. 2 Water and building extraction results

2.2.3 水田、旱地、果园的分离

分析样地 NDVI 发现,果园区域 NDVI 在 6—8 月较水田、旱地区域 NDVI 偏小,但在 11—12 月份 NDVI 较水田、旱地偏大,其中 7 月和 12 月差异明显,利用这个特点分离农用地中的果园;水田和旱地的 NDVI 季节性突出,在 6—8 月份,水田和旱地

的 NDVI 基本相当,但在 4—5 月及 9—12 月,水田 NDVI 较早地 NDVI 明显偏低,利用这个特点,分离出农耕地中的水田;在 8 月份旱地 NDVI 较水田 NDVI 偏小,其余月份 NDVI 较水田偏大,其中 10 月份偏大最多,利用该特点提取旱地区域,提取结果表明,农用地占重庆土地面积的 48.9%,见图 3。

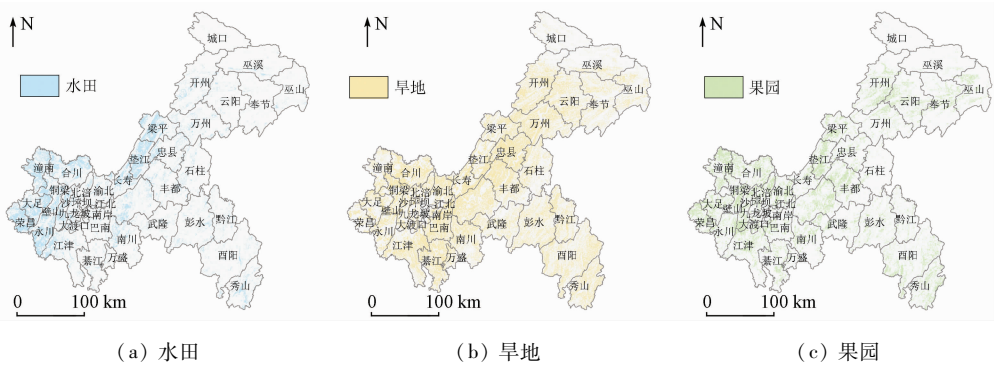


图 3 农用地提取结果

Fig. 3 Agricultural land extraction results

2.2.4 草地与林地的分离

分析地形及 NDVI 发现,草地 NDVI 在 3—4 月份及 10—12 月份较林区 NDVI 偏小明显,其中 4 月份和 12 月份差异较大,分别为 0.15 和 0.13,基于该特点,在 2.2.1 节提取的林地和草地结果中提取草地(图 4(a)),在林地和草地结果中去除草地的其余区域均为林地。在建筑用地、水体及农用地结果中,如果坡度在 16°以上且 8 月 NDVI 超过 0.86 或 10 月 NDVI 超过 0.74 的区域,视为耕地边缘林地,因此,林地在这二者的合并区域(图 4(b))。林地和草地共占 45.7%,见图 4。基于重庆地表覆盖类型破碎的特点,重庆林火遥感监测关注的区域除天然林草地外,旱地和果园等经济林地也是林火监

测的关注区域,因此将土地分类结果按照林火监测需求分成林火非关注区(包含建筑用地、水体、水田)、林火监测关注区(包括天然林地、草地、旱地和果园),如图 4(c)。从图 2—4 的提取结果看,提取的水体在中心城区范围偏大,包含了部分建筑用地,另外,受数据分辨率的限制,境内的小河流不能全部识别。建筑用地在中心城区、西部较集中,在东北部、东南部山区较稀疏。水田集中在中西部地势低平的区域,旱地除山区、城区外,分散在各区县,与水田、林地、果园等交叉分布;草地主要分布在东北、东南地势较高的山区,林地在渝东北、渝东南占地较多、分布广,另外在中、西部山地也有零星分布。

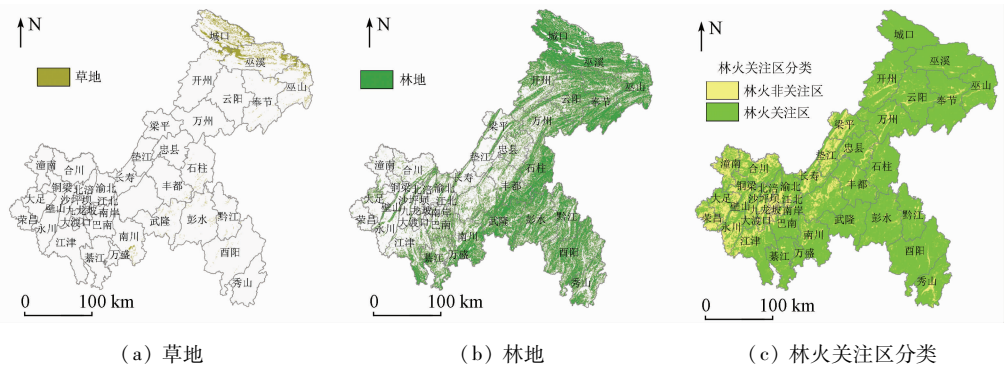


图 4 草地、林地提取结果及林火关注区分类

Fig. 4 Grassland and forestland extraction results and classification of forest fire concern areas

2.3 分类结果检验

对分类的结果进行准确度检验,计算样地类型中,提取的该类土地类型面积占该类样地总面积的比例代表提取的准确度,比例越大,表明准确度越高。一是进行单个地类提取检验,即提取结果的单个地类与该类样地面积进行对比;二是进

行林火关注区提取检验,即分别检验建筑用地、水体、水田样例区内,该 3 类分类结果占林火非关注区面积的比例,旱地、果园、林地、草地样地内,该 4 类分类结果占林火关注区面积的比例。据此计算了单类样地的准确度(表 3)和林火关注区分类的准确度(表 4)。

表 3 单个地类准确度检验结果

Tab. 3 Accuracy test results of a single land type (%)

分类结果	样地类型及各类型所占比例						
	建筑用地	水体	水田	旱地	果园	草地	林地
建筑用地	65.90	19.18	8.93	5.36	26.45	0.00	0.18
水体	26.22	76.32	0.20	0.00	0.11	0.00	0.01
水田	1.87	0.85	80.53	36.65	1.26	0.00	0.17
旱地	1.44	0.87	7.04	47.22	7.61	2.87	15.80
果园	1.22	0.30	3.06	8.55	40.61	0.28	0.59
草地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.16	3.31
林地	3.34	2.48	0.24	2.23	23.95	32.69	79.96

表 4 林火关注区分类准确度检验结果

Tab. 4 Classification accuracy test results of forest fire concern areas (%)

关注区	建筑用地、水体、水田面积比	旱地、果园、草地、林地面积比
林火非关注区	94.59	13.99
林火关注区	5.41	86.01

从表 3 和表 4 可见,建筑用地、水体、水田的分类准确度分别为 65.90%、76.32% 和 80.53%,其中建筑用地误判的 34.10% 区域中,绝大部分误判为水体,水体误判的 23.68% 区域中,绝大部分误判为建筑用地,水田误判区域在建筑用地及旱地占比较大,分别为 8.93% 和 7.04%,三者作为林火非关注区,识别的准确度达到 94.59%。旱地、果园、草地、林地的识别准确度差异较大,旱地和果园的识别准确度分别为 47.22% 和 40.61%,旱地误差主要误判为水田,占 36.65%,果园误差主要误判为建筑用地和林地,分别占 26.45% 和 23.95%,草地和林地的识别准确度分别为 64.16% 和 79.96%,草地误差主要误判为林地,占 32.69%,林地误差主要误判为旱

地,占 15.80%,四者作为林火关注区,识别的准确度达到 86.01%。

林火遥感监测时出现的高温干扰热点来源于林火非关注区,结合地表分类信息,对监测高温点进行二次识别,可以剔除林火非关注区的异常高温点,提升林火监测的准确度。本文地表分类的方法对识别林火非关注区的准确度高达 94.59%,能够满足林火遥感监测需要。

3 高温热点二次识别分析

3.1 利用林火关注区对监测热点二次识别

将 FY3 - C/VIRR, FY3 - D/MERSI 及 AQUA/MODIS 监测热点与提取的林火关注区分类数据进行叠加,剔除落在林火非关注区的热点,从而提高监测准确度。由热点分布(图 5)可见, FY - 3 监测热点在空间上分布较均匀, MODIS 监测热点第一个集中区域在西部、中心城区,第二个集中区在东南部酉阳、秀山,在东部偏北区域及中部相对均匀分布。

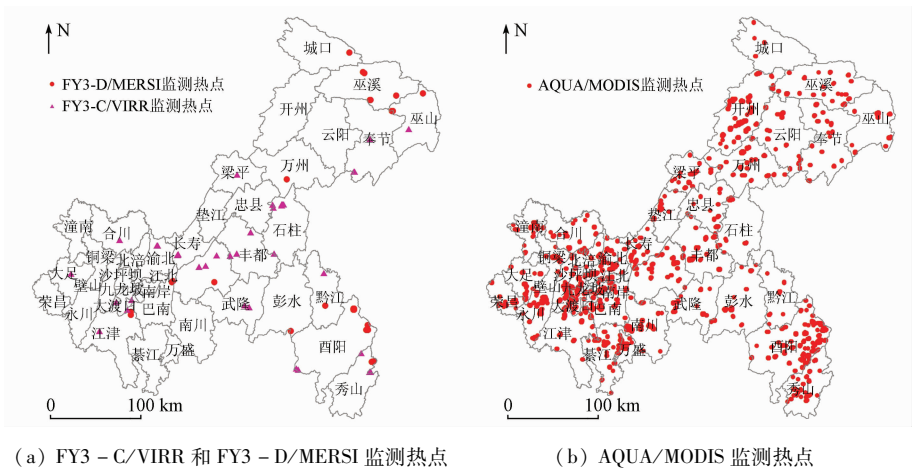


图 5 FY3 - C/VIRR, FY3 - D/MERSI 及 AQUA/MODIS 监测高温点分布
Fig 5 High temperature point distribution of FY3 - C/VIRR, FY3 - D/MERSI and AQUA/MODIS

二次识别后热点分布统计见表 5,统计了不同卫星监测热点在 2 类林火监测分区中的数量及比例。

表 5 监测高温点在 2 类林火关注区内的热点统计

Tab.5 High temperature statistics in the two types of forest fire concern areas			
热点种类	FY3 - C/VIRR	FY3 - D/MERSI	AQUA/MODIS
林火非关注区 热点占比/%	26.47	11.76	46.27
林火关注区热 点占比/%	73.53	70.59	53.73

从表 5 可见, FY3 - C/VIRR, FY3 - D/MERSI 及 AQUA/MODIS 在林火非关注区的热点分别为 26.47%, 11.76% 和 46.27%, 其中 AQUA/MODIS 监测热点剔除比例较高, 在林火关注区的热点占 53.73%, FY3 - C/VIRR 和 FY3 - D/MERSI 卫星监

测热点在林火关注区的占比较高, 达 70% 以上。

图 6 给出了进行二次识别后热点分布。从图 6 可见, 经过二次识别后, FY3 - C/VIRR 和 FY3 - D/MERSI 热点主要分布在渝东北、渝东南及中部山区, 在中心城区周边及渝西地区分布较少; AQUA/MODIS 监测热点在中心城区及周边减少明显, 经过二次识别后, AQUA/MODIS 监测热点在各地基本均匀分布, 中心城区及西部热点占总数的 25.3%, 渝东北和渝东南热点分别占 26.6% 和 31.2%。二次识别后, 林火关注区内 AQUA/MODIS 监测热点剩余 1 160 个, 其中判识为林火中 - 高可信度的热点有 1 024 个, 占判识为林火总数的 88.3%; FY3 - C/VIRR 判识为林火的 25 个热点中, 23 个高可信度林火点, 占 93%; FY3 - D/MERSI 判识为林火的热点有 19 个, 6 个高可信度林火点。

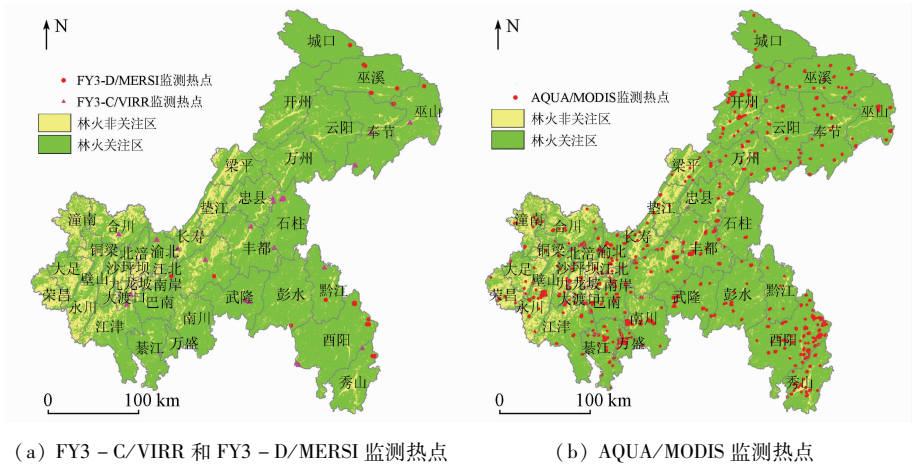


图 6 FY3 - C/VIRR, FY3 - D/MERSI 和 AQUA/MODIS 监测高温点二次识别后分布
Fig.6 Distribution of high temperature points by FY3 - C/VIRR, FY3 - D/MERSI, AQUA/MODIS after re - identification

3.2 林火关注分区在业务中的验证及应用

2021 年 5 月 1—2 日, 利用 TERRA/MODIS 和

AQUA/MODIS 数据与 FY3 - C/VIRR (FY3 - D/MERSI 数据出现故障) 数据分别进行林火实时监

测,TERRA/MODIS 和 AQUA/MODIS 上下午 2 颗卫星共监测高温热点 37 个,FY3 - C/VIRR 共监测高温

热点 14 个,见图 7。

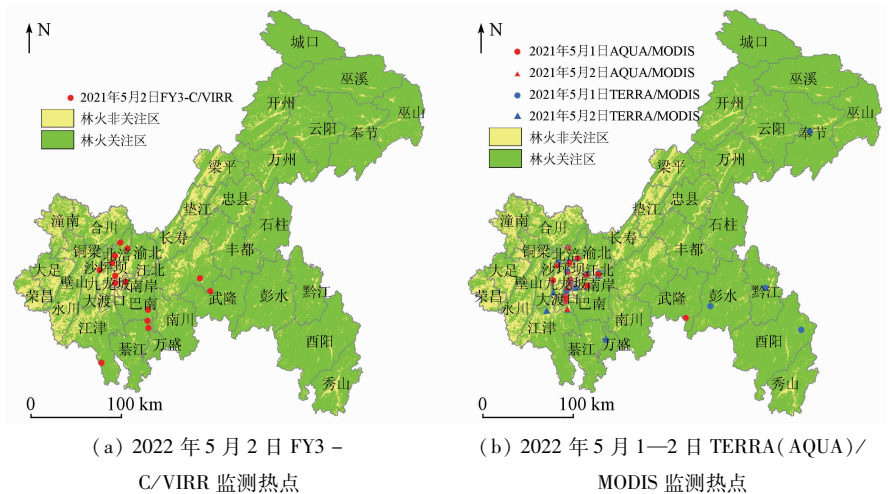


图 7 2021 年 5 月 1—2 日 TERRA(AQUA)/MODIS,FY3 - C/VIRR 卫星高温热点监测结果

Fig.7 High temperature spots by TERRA(AQUA)/MODIS, FY3 - C/VIRR during May 1—2, 2021

利用林火关注区分区结果对监测热点进行二次识别,MODIS 卫星监测热点判识为林火的共 7 个,排除非林火关注区热点 81.08%,见图 8,其中 5 月 1 日得到反馈,有一处为林火,位于酉阳土家族苗族自治县酉酬镇,其余判识为林火点的高温点中,3 个点反馈无林火,3 个点无校验反馈,其中江津区同一地

点上午星 TERRA/MODIS 和下午星 AQUA/MODIS 均发现热点,但没有收到校验反馈。二次识别后,5 月 2 日 FY3 - C/VIRR 监测的热点判识为林火的点有 4 个,见图 8,没有收到反馈,非林火关注区热点排除率达71.4%。

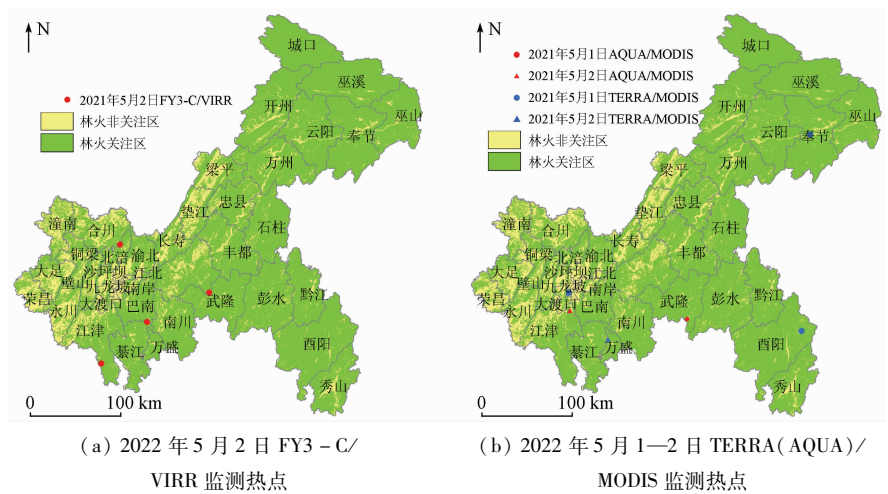


图 8 2021 年 5 月 1—2 日 TERRA(AQUA)/MODIS 和 FY3 - C/VIRR 卫星高温热点二次识别后结果

Fig.8 High temperature spots of re - identification by TERRA(AQUA)/MODIS and FY3 - C/VIRR during May 1—2, 2021

4 结论与展望

NDVI 及地形因素对地表分类具有一定的指示意义,将其用于提取复杂地形区域地表分类信息并具有一定的准确度,可将结果应用于特定场景,如用于林火遥感监测的二次识别,可有效降低复杂地形区域林火监测的干扰信息,提升卫星监测林火的准确度,同时降低热点核实人力物力投入。尽管本文

在地表分类及林火二次识别的应用场景中已经做了部分研究及示范,仍存在问题,主要包括以下几点:

- 1)提升地表分类遥感数据的空间分辨率。较高分辨率的遥感数据反演的 NDVI 不仅能够精细地刻画地物 NDVI 的时间变化特征,也能更好地分辨出地物 NDVI 的空间差异,有利于区分破碎的地表覆盖,提高地表分类的准确度。
- 2)增加辅助信息进行地表分类。可增加地物

的光谱信息,结合智能识别方法进行分类,会提高分类精度。

3)增加核实数据对二次识别结果进行检验。应用遥感手段进行林火监测需对大量高温热点进行核实,在实施过程中存在监测与管理分离的现象,致使大部分监测热点得不到核实,限制了对监测结果的检验。因此落实核实机制、收集核实结果及真实火情、开展二次识别前后的对比检验等工作,是提升遥感林火监测、检验工作的重要环节。

参考文献 (References) :

[1] 张 剑. 林火监测与预警在森林防灭火中的运用[J]. 林业科技,2021(2):165-166.
Zhang J. Application of forest fire monitoring and early warning in forest fire prevention[J]. Forestry Technology, 2021(2):165-166.

[2] 覃先林,李晓彤,刘树超,等. 中国林火卫星遥感预警监测技术研究进展[J]. 遥感学报,2020,24(5):511-520.
Qin X L, Li X T, Liu S C, et al. Forest fire early warning and monitoring techniques using satellite remote sensing in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2020, 24(5):511-520.

[3] 周利霞,高光明,邱冬生. 基于 MODIS 数据的火点监测指数方法研究[J]. 火灾科学,2008,17(2):77-82.
Zhou L X, Gao G M, Qiu D S. Fire-monitoring method of FPI-NDVI based on MODIS data[J]. Fire Safety Science, 2008, 17(2):77-82.

[4] 马 芮,孙 林,袁广辉,等. 可见光红外成像辐射仪数据林火识别算法研究[J]. 遥感信息,2015,30(4):37-42.
Ma R, Sun L, Yuan G H, et al. Technology and method of forest fire monitoring using NPP VIIRS data[J]. Remote Sensing Information, 2015, 30(4):37-42.

[5] 覃先林,易浩若. 基于 MODIS 数据的林火识别方法研究[J]. 火灾科学,2004,13(2):83-89.
Qin X L, Yi H R. A method to identify forest fire based on MODIS data[J]. Fire Safety Science, 2004, 13(2):83-89.

[6] 张 婕,张文煜,冯建东,等. 基于亮温-植被指数-气溶胶光学厚度的 MODIS 火点监测算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2016,31(5):886-892.
Zhang J, Zhang W Y, Feng J D, et al. An improved algorithm for forest fire detection: A study based on brightness temperature, vegetation index and AOD[J]. Remote Sensing Technology and Appli-

cation, 2016, 31(5):886-892.

[7] 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.
Rao Y M, Wang H, Huang H G. Forest fire monitoring based on multisensor remote sensing techniques in Muli County, Sichuan Province[J]. Journal of Remote Sensing, 2020, 24(5):559-570.

[8] Kaufman Y J, Tucker Q, Fung L. Remote sensing of biomass burning in the tropics[J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95: 9927-9939.

[9] Giglio L, Descloites J, Justice C, et al. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(2/3):273-282.

[10] 陈兴峰,刘 李,李家国,等. 卫星遥感火点监测应用和研究进展[J]. 遥感学报,2020,24(5):531-542.
Chen X F, Liu L, Li J G, et al. Application and research progress of fire monitoring using satellite remote sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 2020, 24(5):531-542.

[11] 胡 梅,齐述华,舒晓波,等. 华北平原秸秆焚烧火点的 MODIS 影像识别监测[J]. 地球信息科学,2008,10(6):802-807.
Hu M, Qi S H, Shu X B, et al. Monitoring fire from crop residues burning with MODIS data in north China plain[J]. Geo-Information Science, 2008, 10(6):802-807.

[12] 陈艳英,游扬声,何正明,等. 重庆市森林火灾时空分布特征分析[J]. 中国农学通报,2014,30(13):51-58.
Chen Y Y, You Y S, He Z M, et al. Analysis on temporal-spatial feature of forest fires in Chongqing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(13):51-58.

[13] 陈艳英,游扬声,唐云辉. 局地地形和林火数量对区划方法的影响规律研究[J]. 自然灾害学报,2015,24(2):228-234.
Chen Y Y, You Y S, Tang Y H. Research of forest fire zoning based on local topography and fire numbers[J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(2):228-234.

[14] 李伶俐,李江文,钟守琴,等. 基于地形复杂度的重庆市耕地“宜机化”改造适宜性评价[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022,30(2):302-313.
Li L L, Li J W, Zhong S Q, et al. Suitability evaluation of suitable-for-mechanization transformation of cultivated land based on topographic complexity in Chongqing, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(2):302-313.

[15] 毛玉龙. 第三次全国国土调查对耕地的调查和认定[J]. 西部资源, 2021(6):166-168.
Mao Y L. Investigation and identification of cultivated land in the third national land survey[J]. Western Resources, 2021(6):166-168.

Methods for the application of topography and NDVI in re-identification of remote sensing-based monitoring of forest fires

CHEN Yanying¹, MA Xincheng², XU Yanping³, WANG Ying⁴, WANG Yanbo⁵
(1. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China; 2. CCCC Highway Consultants Co., Ltd., Beijing 100010, China; 3. Kaizhou District Release Center of Emergency and Early Warning Information in Chongqing, Chongqing 405400, China; 4. Jiangjin Modern Agricultural Meteorological Trial Station in Chongqing City, Chongqing 402260, China; 5. Chaoyang Teachers College, Chaoyang 122000, China)

Abstract: The indicative significance of normalized vegetation index (NDVI) and terrain factors in land

classification can be applied to specific scenarios. This study extracted the land classification information of Chongqing using the AQUA/MODIS NDVI and terrain indices (height and slope) of 2002—2020 and accordingly divided the land in Chongqing into seven types, i. e. , forest land, grassland, orchard, dry fields, paddy fields, waters, and residential and building land, with the former three types being economic forest land. Based on the characteristics of broken terrain caused by the staggered distribution of agricultural, forest, and grassland, as well as the need for fire prevention in Chongqing, this study categorized the economic forest land and dry fields as concern areas of forest fires and categorized paddy fields, waters, and residential and building land as unconcerned areas of forest fires. The hotspots monitored using AQUA/MODIS in 2002—2020, FY3 - C/VIRR in 2014—2020, and FY3 - D/MERSI in 2019—2020 individually were re - identified based on the classification results of the concern areas of forest fires. The results are as follows. The extraction accuracy of individual land types (except for orchard and dry fields) was over 64% , and that of the concern areas of forest fires was over 86% . Based on the classification results of concern areas of forest fires, the forest fire points monitored using the remote sensing techniques were re - identified. The re - identification results showed that the 46.27% , 26.47% , and 11.76% of forest fire points monitored using AQUA/MODIS, FY3 - C/VIRR, and FY3 - D/MERSI, respectively were in unconcerned areas of forest fires. The forest fires monitored using remote sensing techniques on May 1 - 2, 2021 were re - identified, and 71.4% and 81.08% of forest fire points monitored using FY3 - C/VIRR and both AQUA/MODIS and TERRA/MODIS, respectively were in unconcerned areas of forest fires. Therefore, extracting land classification information in complex terrain areas using NDVI and terrain indices and applying the extraction results to the re - identification of forest fires monitored using remote sensing techniques can effectively reduce the interference to forest fire monitoring in complex terrain areas, thereby minimizing the input of manpower and properties for the verification of hotspots.

Keywords: NDVI; terrain index; forest fire; remote sensing and monitoring; re - identification

(责任编辑: 陈 理)