

高分六号宽幅数据识别火烧迹地的光谱及指数分析

刘倩, 覃先林*, 胡心雨, 李增元

中国林业科学研究院资源信息研究所, 国家林业和草原局林业遥感与信息技术重点实验室, 北京 100091

摘要 为探究利用高分六号卫星宽幅(GF-6 WFV)数据识别火烧迹地的适宜光谱波段和指数, 选取2019年发生在我国内蒙古大兴安岭林区的三处雷击火形成的火烧迹地作为研究区, 结合GF-6 WFV波段组成, 选取归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、全球环境监测指数(global environment monitoring index, GEMI)、增强植被指数(enhanced vegetation index, EVI)、燃烧面积指数(burned area index, BAI)、土壤调节植被指数(soil-adjusted vegetation index, SAVI)、改进型土壤调节植被指数(modified soil-adjusted vegetation index, MSAVI)和归一化差异水体指数(normalized difference water index, NDWI)等7个光谱指数及地面叶绿素指数(MERIS terrestrial chlorophyll index, MTCI)、归一化差值红边指数(normalized difference red edge index 1, NDRE1)、改进的叶绿素吸收指数(modified chlorophyll absorption ratio index 2, MCARI2)和改进的归一化土壤指数(modified normalized difference soil index, MNDSI)等4个改进指数, 基于同期影像和前后两期影像进行火烧迹地和其他典型类别的区分度计算, 并利用上述11个指数及指数差值进行火烧迹地的识别, 定量评价了GF-6 WFV各波段、所选光谱指数及改进指数识别火烧迹地的能力。结果表明:(1)GF-6 WFV的近红外波段和新增的两个红边波段区分度较高, 反映火烧迹地特征的能力较强。(2)在区分火烧迹地和火烧前正常植被上, NDVI, GEMI, EVI, BAI, SAVI, MSAVI和NDWI 7个光谱指数等的区分能力较强, 4个改进指数中, NDRE1和MCARI2的区分能力较好, MNDSI和MTCI的区分效果较差。(3)在区分同期影像火烧迹地和其余典型类别上, BAI, NDVI, MCARI2和NDWI区分效果较优, 其次为NDRE1, GEMI, EVI, SAVI和MSAVI, 而MNDSI, MTCI的区分能力较差。(4)在利用所选指数和指数差值识别火烧迹地中, GEMI, EVI, BAI, SAVI和MSAVI的识别精度均较优, 其次是MCARI2, NDVI和NDWI, 做差后提取精度显著上升, Kappa系数均提升到0.80以上, MTCI, MNDSI和NDRE1提取效果较差。综合比较, BAI和GEMI识别效果最好, NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, NDWI和MCARI2的识别能力中等, 而MNDSI, NDRE1和MTCI等3个改进指数识别火烧迹地的能力较差。

关键词 高分六号宽幅数据; 光谱指数; 改进指数; 区分度 M; 火烧迹地

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)08-2536-07

引言

森林扰动通过改变森林冠层生物量和结构, 对地表能量平衡、碳动态、野生动植物栖息地和人类活动等产生级联影响^[1]。林火干扰作为一种重要的森林扰动因子, 研究其光谱特征变化规律并准确提取出扰动区域, 对于森林生态环境保护和可持续发展具有重要意义^[2]。植被指数法是基于卫星遥感数据进行火烧迹地识别的一种常用方法^[2], Veraverbeke等^[3]评估了MODIS/ASTER构建的各种植被指数对于火烧

迹地的分离能力; 吴立叶等^[4]基于Landsat TM影像分析了7个波段及18个遥感指数对火烧迹地的提取能力; 李莹等^[5]基于Sentinel-2A的3个红边波段和1个近红外窄波段, 构建主成分分析法(principal component analysis, PCA)和新型植被指数法进行火烧迹地提取, 研究发现利用红边波段的第三主成分分析法能较好、较快提取火烧迹地; 朱曦等^[6]基于HJ-1评估了NDVI, GEMI, BAI和EVI对过火区的分离能力, 孙桂芬^[2]、武晋雯等^[7]利用高分一号宽幅(GF-1 WFV)数据, 基于NDVI, GEMI, EVI, BAI和NDWI等开展火烧迹地识别研究, 精度达80%以上。2018年6月升空的高分六

收稿日期: 2020-12-15, 修订日期: 2021-04-04

基金项目: 国家高分重大科技专项项目(21-Y30B02-9001-19/22-6)和民用航天预研项目(D040402)资助

作者简介: 刘倩, 女, 1996年生, 中国林业科学研究院资源信息研究所硕士研究生 e-mail: olivia250864095@163.com

* 通讯作者 e-mail: noaags@ifrit.ac.cn

号(GF-6)卫星因具有中高时间、中空间分辨率和宽幅成像等特点,已逐渐被应用于森林扰动及其恢复研究中^[8]。

为探讨 GF-6 WFV 数据识别火烧迹地的适宜光谱波段和指数,选取 2019 年发生在内蒙古大兴安岭林区的 3 处雷击火形成的火烧迹地为研究区,利用 2018 年和 2019 年的 GF-6 WFV 数据,分析研究区火灾发生前后的光谱特征变化,探讨不同指数区分火烧迹地和其他典型类别的能力,并选择 2019 年 6 月 19 日发生在金河林业局的雷击火为例,系统评估这些指数及指数差值识别火烧迹地的能力,以期该数据应用于我国的森林资源监管工作。

1 实验部分

1.1 研究区概况

选择内蒙古大兴安岭林区 3 处火烧迹地作为研究区[见图 1(a,b,c)],火烧迹地具体信息见表 1。阿龙山林业局

位于内蒙古大兴安岭西坡北部,生态功能区地跨根河市和额尔古纳市,地势东高西低,海拔 506~1 520 m,年平均降水量 437.4 mm,森林覆盖率 95.3%;莫尔道嘎林业局位于额尔古纳市境内,地形属于低山丘陵,海拔 417~1 404.7 m,林区地处寒温带,属大陆性季风气候区,年均降水量 369.6 mm,森林覆盖率 94.6%;金河林业局位于根河市境内,海拔 540~1 466 m,年均降水量 400~500 mm,年平均气温约为-5℃,冬长夏短,四季昼夜温差大,属于寒温带大陆性季风气候,森林覆盖率 89.7%,主要树种包括兴安落叶松、樟子松、白桦和山杨等。

1.2 卫星数据及预处理

选用 2018 年 9 月 17 日和 2019 年 9 月 22 日覆盖研究区的 GF-6 WFV L1 级数据产品(来源:中国资源卫星应用中心),GF-6 WFV 数据空间分辨率 16 m,传感器技术指标见表 2。

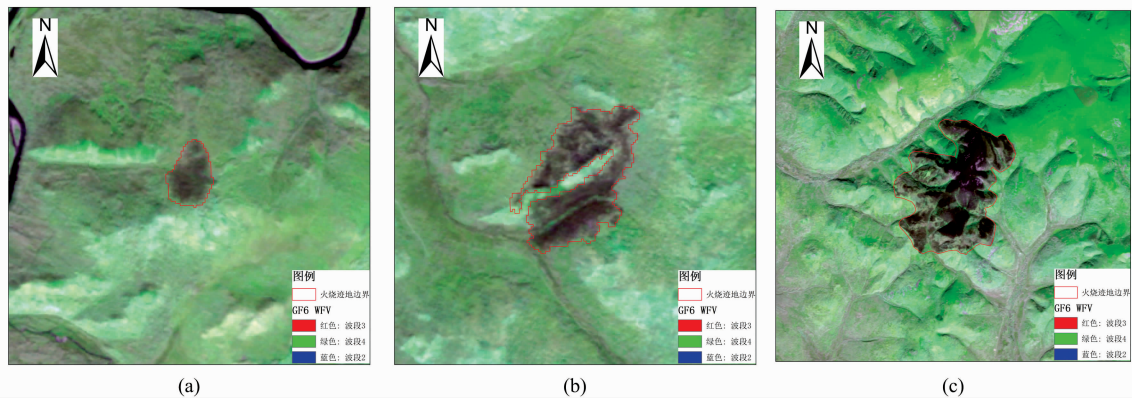


图 1 研究区

(a): 阿龙山林业局火烧迹地; (b): 莫尔道嘎林业局火烧迹地; (c): 金河林业局秀山林场火烧迹地

Fig. 1 Study area

(a): Burned area of Alongshan Forestry Bureau; (b): Burned area of Mordaga Forestry Bureau;

(c): Burned area of Xiushan Forest Farm of Jinhe Forestry Bureau

表 1 研究区的森林火灾信息

Table 1 Forest fire information of the study area

编号	研究区	火灾发生日期	火场中心经纬度	过火面积/hm ²
1	阿龙山林业局火烧迹地	2019 年 6 月 19 日	121°17'24"E, 51°53'24"N	39
2	莫尔道嘎林业局火烧迹地	2019 年 6 月 19 日	121°16'57"E, 51°47'51"N	182
3	金河林业局秀山林场火烧迹地	2019 年 6 月 19 日	122°20'38"E, 51°31'10"N	1 883

表 2 GF-6 WFV 数据基本参数

Table 2 General parameters of GF-6 WFV data

波段	波段范围/μm
蓝波段(B1)	0.45~0.52
绿波段(B2)	0.52~0.59
红波段(B3)	0.63~0.69
近红外波段(B4)	0.77~0.89
红边 1 波段(B5)	0.69~0.73
红边 2 波段(B6)	0.73~0.77
紫波段(B7)	0.40~0.45
黄波段(B8)	0.59~0.63

对选用的 GF-6 WFV 数据进行辐射定标、大气校正、正射校正、几何配准等预处理。其中:大气校正分别利用基于 6S 模型的 RSD (Remote Sensing Desktop) 软件与基于 MODTRAN 模型的 FLAASH 大气校正模块的 ENVI 软件,结果均发现大气校正后得到的 2019 年影像中第 7 波段(B7)绝大部分像元的地表反射率为负值,故剔除 B7 波段,并选择用 6S 模型的大气校正结果进行后续实验分析。正射校正选择 30 m ASTER GDEM V2 数据,几何配准采用相对配准的方法,以 2019 年 9 月 22 日火后的 GF-6 WFV 影像为基准,对另一景影像进行配准处理,几何配准总误差(RMSE)

控制在 1 个像元以内。

1.3 研究方法

1.3.1 指数计算

依据 GF-6 WFV 的波段组成并考虑到实际应用中易混淆类别的影响,选取能较好反映火烧迹地、植被、土壤和水体等类别的 11 个指数进行比较分析。将 11 个指数分为光谱指数和改进指数两类,改进指数包括 MTCI, NDRE1,

MCARI2 和 MNDSI,其中 MTCI, NDRE1 和 MCARI2 依照 MERIS 数据提出,后被用于 Sentinel-2A 数据中^[9],根据 GF-6 WFV 的波段范围选择最临近的波段反射率来代替^[10]; MNDSI 指数参考应用在 Worldview-2 卫星的一种改进型土壤特征指数^[11]。所选择的 11 个指数具体名称及其计算公式等信息见表 3。

表 3 指数公式

Table 3 The formulas of indices

名称	缩写	公式	使用的 GF-6 WFV 波段
归一化植被指数	NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$	B3, B4
全球环境监测指数	GEMI	$GEMI = \eta(1 - 0.25\eta) - \frac{\rho_{RED} - 0.125}{1 - \rho_{RED}}$ $\eta = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_{RED}^2) + 1.5\rho_{NIR} + 0.5\rho_{RED}}{\rho_{RED} + \rho_{NIR} + 0.5}$	B3, B4
增强植被指数	EVI	$EVI = \frac{2.5(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1}$	B1, B3, B4
燃烧面积指数	BAI	$BAI = \frac{1}{(\rho_{NIR} - 0.06)^2 + (\rho_{RED} - 0.1)^2}$	B3, B4
土壤调节植被指数	SAVI	$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L}, L = 0.5$	B3, B4
改进型土壤调节植被指数	MSAVI	$MSAVI = \frac{2\rho_{NIR} + 1 - \sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}}{2}$	B3, B4
归一化差异水体指数	NDWI	$NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}}$	B2, B4
地面叶绿素指数	MTCI	$MTCI = \frac{\rho_{RE2} - \rho_{RE1}}{\rho_{RE1} - \rho_{RED}}$	B3, B5, B6
归一化差值红边指数	NDRE1	$NDRE1 = \frac{\rho_{RE2} - \rho_{RE1}}{\rho_{RE2} + \rho_{RE1}}$	B5, B6
改进的叶绿素吸收指数	MCARI2	$MCARI2 = [(\rho_{RE2} - \rho_{RE1}) - 0.2(\rho_{RE2} - \rho_{GREEN})] \frac{\rho_{RE2}}{\rho_{RE1}}$	B2, B5, B6
改进的归一化土壤指数	MNDSI	$MNDSI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{YELLOW}}{\rho_{GREEN} + \rho_{YELLOW}}$	B2, B8

注: ρ_{BLUE} , ρ_{GREEN} , ρ_{RED} , ρ_{NIR} , ρ_{RE1} , ρ_{RE2} 和 ρ_{YELLOW} 依次表示 GF-6 WFV 的 B1—B6, B8 波段的地表反射率

Note: ρ_{BLUE} , ρ_{GREEN} , ρ_{RED} , ρ_{NIR} , ρ_{RE1} , ρ_{RE2} and ρ_{YELLOW} indicate the surface reflectance of B1 to B6 and B8 of GF-6 WFV in turn

1.3.2 区分度计算

区分度(M)是定量评价波段和指数分离性的常用统计量^[12],计算公式如式(1)

$$M = \frac{|\mu_b - \mu_o|}{\sigma_b + \sigma_o} \quad (1)$$

式(1)中, μ_b 和 μ_o 分别为火烧迹地和其他的类别样本平均值; σ_b 和 σ_o 分别为他们对应的标准差。

通常, M 越大表示火烧迹地和其他的类别分离性越好, $M < 1$ 代表分离性较差, $M \geq 1$ 代表分离性良好。

2 结果与讨论

2.1 火烧迹地及典型类别光谱分析

利用预处理后的 2019 年 9 月 22 日 GF-6 WFV 影像,选取火烧迹地、正常植被、建筑物、裸地、水体、农田、云和云阴影等 8 种典型类别,每一类别选择 30~50 个样本,分别统计得出各类样本在 7 个波段(B1—B6, B8)上的反射率均值,得到如图 2 的光谱曲线。

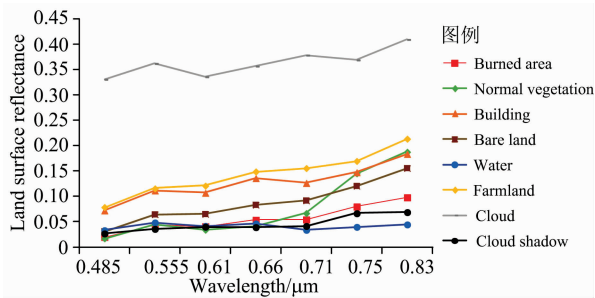


图 2 GF-6 WFV 提取典型类别光谱曲线
Fig. 2 Spectral curves of typical categories extracted by GF-6 WFV

由图 2 可知,云在可见光和近红外波段的反射率比火烧迹地和其他的类别反射率都高,较易区分,其次是农田、建筑物和裸地;火烧迹地在可见光各个波段的反射率与正常植被、水体、云阴影等的反射率相近,较难区分;而在近红外波段,水体的反射率最低,正常植被由于叶片细胞结构的多重反射^[13],其反射率急剧上升,易与火烧迹地进行区分。

2.2 基于两期影像的火烧迹地不同波段及指数区分度分析

为进一步了解 GF-6 WFV 的 7 个波段对火烧迹地的响应程度,利用 2019 年 9 月 22 日的火烧迹地样本和 2018 年 9 月 17 日火烧前相同位置正常植被样本,分别计算 7 个波段对应地表反射率的均值、标准差(图 3),并求得各波段火烧迹地和火烧前正常植被区分度,结果见表 4。

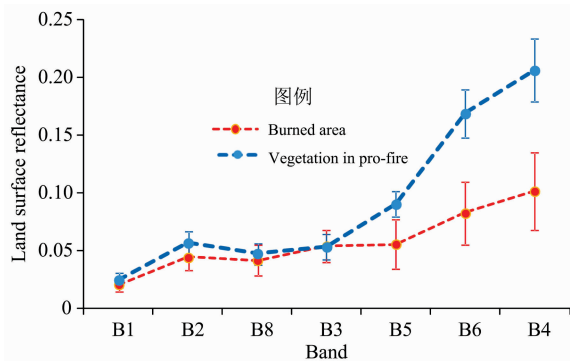


图 3 不同波段中火烧迹地和燃烧前植被地表反射率的平均值和标准差

Fig. 3 Means and standard deviations of land surface reflectance of burned areas and unburned vegetation in different bands

由于现有指数中未有一个指数能在所有环境或火烧程度下较好地识别出燃烧区域^[14],故本研究在波段区分度分析基础上,选取了覆盖 GF-6 WFV 波段的 11 个指数进行火烧迹地和火烧前正常植被区分度计算,结果见表 5。

由图 3 结合表 4 可知:GF-6 WFV 波段 1—6 和波段 8 中,近红外波段(B4)和两个新增的红边波段(B5 和 B6)的区分度均大于 1,火烧后的森林植被反射率大幅下降,其中 B6 波段对火烧迹地的响应程度最大,区分度高达 1.80;其次是 B4 波段,区分度略低于 B6 波段;B5 波段也具备能较好反映

火烧迹地特征的能力;而在可见光波段区间内,植被发生燃烧后反射率略有下降,其余波段变化较小,响应能力较差。火烧迹地表面沉积有木炭,灰尘和燃料等,整体来看,燃烧过的区域反射率值基本随波长增加而升高,燃烧后反射率降低且对应标准误差随着波长增加而变大,但在 B2 波段范围正常植被和火烧迹地的反射率都比 B8 波段范围略高一点,而在 B3 波段燃烧前植被反射率略低于火烧迹地反射率。

表 4 GF-6 WFV 不同波段的火烧迹地与火烧前正常植被区分度

Table 4 Separability value of GF-6 WFV different bands between burned areas and vegetation in pro-fire

波段	区分度
B1	0.25
B2	0.51
B3	0.16
B4	1.68
B5	1.09
B6	1.80
B8	0.18

表 5 GF-6 WFV 不同指数的火烧迹地与火烧前正常植被区分度

Table 5 Separability value of GF-6 WFV different indices between burned areas and vegetation in pro-fire

光谱指数	区分度	改进指数	区分度
NDVI	3.11	MTCI	0.06
GEMI	2.08	NDRE1	1.33
EVI	2.71	MCARI2	2.19
BAI	2.05	MNDSI	0.83
SAVI	2.62		
MSAVI	2.53		
NDWI	2.57		

由表 5 可知:NDVI, GEMI, EVI, BAI, SAVI, MSAVI 和 NDWI 等 7 个光谱指数的火烧迹地和火烧前正常植被区分度均大于 2,其中 NDVI 的区分度最高,为 3.11;在 4 个改进指数中,NDRE1 和 MCARI2 的区分度均大于 1,其中 MCARI2 区分度大于 2,区分效果要优于 NDRE1,而 MNDSI 和 MTCI 的区分度小于 1,表现较差。

2.3 基于同期影像的不同指数火烧迹地与其余典型类别区分度分析

统计 2019 年 9 月 22 日的 GF-6 WFV 研究区各类样本,计算不同指数的均值和标准差,得到区分度 M,分析同期影像中火烧迹地与其余 7 类典型类别的不同指数分离性,结果如图 4 所示。

由图 4 可知,BAI, NDVI, MCARI2 和 NDWI 对 GF-6 WFV 数据的火烧迹地与其余 7 类典型类别的区分度较好,其中 BAI 对正常植被、农田和云的区分度 $M > 1.9$,对水体的区分度 $M > 1.2$,区分十分显著,但水体和云阴影容易和火烧迹地混淆,而 NDVI, MCARI2 和 NDWI 三个指数的区

分效果类似,对于正常植被、水体、农田和云的区分度 $M > 1$,易与火烧迹地进行区分;其次是 GEMI 和 NDRE1,其中 GEMI 能对火烧迹地和正常植被、裸地、水体进行较好区分,NDRE1 能较好分离火烧迹地和正常植被、农田、云;至于 EVI, SAVI 和 MSAVI,仅有正常植被和水体的区分度 $M > 1$,对于其他的类别区分能力较差;MNDSI 和 MTCI 的区分效果最差, MNDSI 仅有农田的区分度 $M > 1$,而 MTCI 对各类别的区分度值均低于 1,并不能区分出火烧迹地和其余 7 种典型类别。

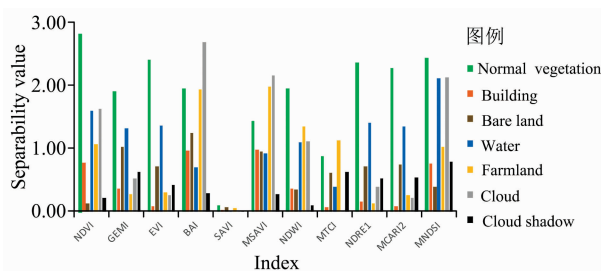


图 4 火烧迹地与其余 7 类的不同指数区分度

Fig. 4 Separability value of different indices between burned areas and the seven categories

2.4 不同指数识别火烧迹地的精度评价

选择发生在金河林业局秀山林场的一处火烧迹地来进一步分析所选 11 个指数识别火烧迹地的能力,将这些指数分为两类,一类为火后影像计算的指数,另一类为火灾前后两期影像的指数差值;将所选指数进行归一化处理,使其取值范围为 $[0, 1]$,以 0.01 为步长进行阈值搜索。由于与总体精度相比, Kappa 系数在燃烧区和非燃烧区的分类问题中具有更好的准确性^[15],故选择 Kappa 系数最高时的阈值作为该指数识别火烧迹地的最佳阈值。比较在最佳阈值下每个指数提取火烧迹地的结果,并利用目视解译结果作为参考,对自动识别的火烧迹地结果进行精度验证,对比分析两类指数提取的 Kappa 系数,结果见表 6。

表 6 不同指数识别金河林业局秀山林场火烧迹地精度

Table 6 Accuracy of burned area identification of Xiushan Forest Farm of Jinhe Forestry Bureau using different indices

指数	Kappa 系数	指数差值	Kappa 系数
NDVI	0.70	dNDVI	0.89
GEMI	0.82	dGEMI	0.92
EVI	0.85	dEVI	0.93
BAI	0.82	dBAI	0.87
SAVI	0.85	dSAVI	0.93
MSAVI	0.85	dMSAVI	0.93
NDWI	0.57	dNDWI	0.80
MTCI	0.52	dMTCI	0.52
NDRE1	0.23	dNDRE1	0.61
MCARI2	0.74	dMCARI2	0.82
MNDSI	0.51	dMNDSI	0.61

由表 6 可知,在同期影像火烧迹地的识别中, GEMI, EVI, BAI, SAVI 和 MSAVI 等 5 个指数识别火烧迹地的能力较强, Kappa 系数达 0.80 以上,其中 EVI, SAVI 和 MSAVI 的 Kappa 系数达 0.85,相对更优; MCARI2 和 NDVI 识别火烧迹地的 Kappa 系数 0.70~0.74,相对识别效果中等; NDWI, MTCI, NDRE1 和 MNDSI 的 Kappa 系数均低于 0.70,提取效果不佳。在前后两期影像火烧迹地的识别中, dGEMI, dEVI, dSAVI, dMSAVI, dNDVI 和 dBAI 等 6 个指数差值识别火烧迹地的能力较强, Kappa 系数 0.85 以上,其中 dGEMI, dEVI, dSAVI 和 dMSAVI 的 Kappa 系数达 0.90 以上,相对更优; dNDWI 和 dMCARI2 识别火烧迹地的 Kappa 系数 0.80~0.82,相对识别效果中等; dMTCI, dNDRE1 和 dMNDSI 的 Kappa 系数均低于 0.70,提取效果不佳。通过比较这些指数及指数差值,还可发现指数差值能明显提高火烧迹地识别精度,其中 NDVI, NDWI 和 MCARI2 做差后火烧迹地的提取精度有显著提升。

在所选的 11 个指数中, BAI 和 GEMI 提取火烧迹地的效果最好,一是在火烧迹地和火烧前植被区分度、同期影像上火烧迹地和其余 7 种典型类别的区分度分析中表现都较优,二是在同期影像和前后两期影像提取火烧迹地中, Kappa 系数均高于 0.80,优于其他大部分指数。其次是 NDVI, EVI, SAVI 和 MSAVI,其中 NDVI 在同期影像上提取火烧迹地的效果比 BAI 和 GEMI 差一些,而 EVI, SAVI 和 MSAVI 在区分火烧迹地和其余 7 种典型类别的能力方面要略次于 BAI 和 GEMI,提取火烧迹地的能力中等; NDWI 和 MCARI2 在同期影像上提取火烧迹地效果不佳,做差后提取精度有所上升, Kappa 系数提升至 0.80 左右; MNDSI, NDRE1 和 MTCI 提取火烧迹地的能力较差, MNDSI 和 MTCI 无论是在两期影像上区分火烧迹地和火烧前植被还是同期影像上区分火烧迹地和其余 7 种典型类别,其区分能力都很差,同时这 3 个指数也无法在同期和前后两期影像中提取出火烧迹地,其中 MNDSI 由区分度较低的 B2 和 B8 波段构建,而 NDRE1 和 MTCI 尽管加入了区分度较高的 B5 和 B6 波段,但表现都较差,可能原因是这些红边指数是基于实测高光谱数据建立的,与 GF-6 WFV 波段并不完全对应,故而提取结果不理想。

3 结 论

基于内蒙古大兴安岭林区的 GF-6 WFV 数据,通过分析森林火灾发生前后地物光谱变化,定量评价了 NDVI, GEMI, EVI, BAI, SAVI, MSAVI 和 NDWI 等 7 个光谱指数,以及 MTCI, NDRE1, MCARI2 和 MNDSI 等 4 个改进指数提取火烧迹地的能力。得到如下结论:

(1)由所选 8 类样本光谱曲线分析可知,在 GF-6 WFV 的可见光与近红外波段,云的反射率最高,可见光各波段的火烧迹地反射率与其余地物比较接近,而在近红外波段和红外波段更易于区分火烧迹地与其他地物。

(2)根据火烧迹地和火烧前正常植被各波段的区分度分析结果可知, GF-6 WFV 的近红外波段(B4)和两个新增的红

边波段(B5, B6)对火烧迹地和火烧前正常植被区分度较高,反映火烧迹地特征的能力较强;整体来看,燃烧过的区域反射率基本保持随波长增加而上升的趋势,燃烧后反射率会有小幅下降且对应标准误差随波长而呈递增趋势,这与 Long 等^[16]制作全球 30 m 火烧迹地产品时分析一致,但在本研究区,正常植被和火烧迹地在 B2 波段的反射率都比 B8 波段略高,而在 B3 波段,燃烧前植被的反射率与火烧迹地的反射率相近甚至略低一点;出现这种情况可能与大兴安岭区域植被类型和生长状况以及燃烧程度的不同有关^[17],这些差异也表明火烧后植被反射率随波段变化是有区域特性的,不同区域会有少许差异。

(3)在利用 GF-6 WFV 数据识别火烧迹地的光谱及 11 个指数比较分析中,BAI 和 GEMI 识别效果最好,NDVI,

EVI, SAVI, MSAVI, NDWI 和 MCARI2 的识别能力中等,而 MNDISI, NDRE1 和 MTCI 等 3 个改进指数提取火烧迹地的能力均较差。结果表明以指数及指数差值进行火烧迹地识别的精度不仅与指数构造的波段相关,构造形式也很重要。

在 GF-6 WFV 新增波段组成的改进指数中,只有 MCARI2 提取火烧迹地的能力相对较好,表明新增波段对于火烧迹地的提取有一定帮助;今后可进一步探究利用红边波段构建新的识别指数,以提升 GF-6 WFV 数据识别火烧迹地的精度,深入挖掘 GF-6 WFV 影像两个红边波段在火烧迹地识别中的应用潜力。本方法只在一个时相进行了探讨,可能会带来一定影响,未来将选取不同时相的火烧迹地,并尝试综合多种指标进行下一步研究,以深入挖掘 GF-6 WFV 数据新增波段在火烧迹地识别方面的应用潜力。

References

- [1] Liang S L. Comprehensive Remote Sensing. Amsterdam; Elsevier, 2018; 13.
- [2] SUN Gui-fen, QIN Xian-lin, LIU Shu-chao, et al(孙桂芬,覃先林,刘树超,等). Remote Sensing For Land & Resources(国土资源遥感), 2019, 31(1): 204.
- [3] Veraverbeke S, Harris S, Hook S. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(10): 2702.
- [4] WU Li-ye, SHEN Run-ping, LI Xin-hui, et al(吴立叶,沈润平,李鑫慧,等). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2014, 29(4): 567.
- [5] LI Ying, YU Hai-yang, WANG Yan, et al(李莹,于海洋,王燕,等). Remote Sensing Information(遥感信息), 2019, 34(5): 63.
- [6] ZHU Xi, QIN Xian-lin(朱曦,覃先林). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2013, 28(1): 72.
- [7] WU Jin-wen, FENG Rui, SUN Long-yu, et al(武晋雯,冯锐,孙龙彧,等). Journal of Catastrophology(灾害学), 2018, 33(4): 53.
- [8] QIN Xian-lin, LI Xiao-tong, LIU Shu-chao, et al(覃先林,李晓彤,刘树超,等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2020, 24(5): 511.
- [9] FANG Can-ying, WANG Lin, XU Han-qiu(方灿莹,王琳,徐涵秋). Journal of Geo-information Science(地球信息科学学报), 2017, 19(10): 1382.
- [10] ZHANG Qin-yu, LI Zhe, XIA Chao-zong, et al(张沁雨,李哲,夏朝宗,等). Journal of Geo-Information Science(地球信息科学学报), 2019, 21(10): 1619.
- [11] LING Cheng-xing, JU Hong-bo, ZHANG Huai-qing, et al(凌成星,鞠洪波,张怀清,等). Forest Research(林业科学研究), 2014, 27(5): 639.
- [12] Smith A M S, Drake N A, Wooster M J, et al. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(12): 2753.
- [13] ZHAO Ying-shi, et al(赵英时,等). Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis(遥感应用分析原理与方法). 2nd ed (第2版). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 2013. 23.
- [14] Boschetti M, Stroppiana D, Brivio P A. Earth Interactions, 2010, 14(17): 1.
- [15] Dennison P E, Roberts D A. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(8): 1646.
- [16] Long T, Zhang Z, He G, et al. Remote Sensing, 2019, 11(5): 489.
- [17] Bastarrika A, Alvarado M, Artano K, et al. Remote Sensing, 2014, 6(12): 12360.

Spectral and Index Analysis for Burned Areas Identification Using GF-6 WFV Data

LIU Qian, QIN Xian-lin*, HU Xin-yu, LI Zeng-yuan

Research Institute of Forest Resource Information Technique, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forestry Remote Sensing and Information System, NFGA, Beijing 100091, China

Abstract This study aims to explore the appropriate spectral bands and indices of GF-6 WFV data in identifying burned areas. The study area is located in three burned areas in the Greater Khingan Mountains forest region of Inner Mongolia of China. 11 indexes, including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Global Environment Monitoring Index (GEMI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Burned Area Index (BAI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI), Normalized Difference Red Edge Index 1 (NDRE1), Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index 2 (MCARI2) and Modified Normalized Difference Soil Index (MNDSI) were selected according to the channels of GF-6 WFV data. To quantitatively evaluate the ability of selected spectral indexes and modified indexes to identify burned areas, the separability M was calculated between burned areas and other typical categories based on single-temporal and bi-temporal images. Then these 11 indexes and their differenced indexes were used to identify the burned areas. The results show that (1) the near-infrared band of GF-6 WFV and the two newly added red-edge bands provided better spectral separation, indicating an ability to reflect the characteristics of burned areas. (2) In terms of distinguishing between the same area before and after burned, NDVI, GEMI, EVI, BAI, SAVI, MSAVI and NDWI improved performance. Among four modified indexes, NDRE1 and MCARI2 performed better than MNDSI and MTCI. (3) As for distinguishing burned areas from other typical categories, BAI, NDVI, MCARI2 and NDWI performed better, followed by NDRE1, GEMI, EVI, SAVI and MSAVI, while MNDSI and MTCI performing poorly. (4) In extracting burned areas using indexes and differenced indexes, GEMI, EVI, BAI, SAVI and MSAVI performed better, followed by MCARI2, NDVI and NDWI with medium performance, while MTCI, MNDSI and NDRE1 performing poorly. In summary, BAI and GEMI had the best performance in identifying burned areas, followed by NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, NDWI and MCARI2 with medium identification ability, while three modified indices MNDSI, NDRE1 and MTCI performing poorly.

Keywords GF-6 WFV data; Spectral index; Modified index; Separability index M; Burned area

(Received Dec. 15, 2020; accepted Apr. 4, 2021)

* Corresponding author