



Identification of Typical Grassland Fire Areas in the Northern Border Based on Sentinel-2 Dead Fuel Index (DFI)

Lumen Chao^{1,2}, Yulong Bao^{1,3*}, Jiquan Zhang^{4,5}, Yuhai Bao^{1,3}

1. College of Geographic Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

2. College of Resources and Environment, Baotou Normal College, Science and Technology University of Inner Mongolia, Baotou 014030, China

3. Inner Mongolia Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

4. School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

5. Key Laboratory for Vegetation Ecology, Ministry of Education, Changchun 130024, China

*Corresponding author. Yulong Bao Email: baoyulong@imnu.edu.cn

Abstract

Fire has a great impact on the production function, carbon storage, habitat, biodiversity, vegetation replacement pattern, and the nutrient cycle of terrestrial ecosystems, causing great losses to the local social and economic, life, and ecological environment. In this paper, the Dead Fuel Index (DFI) fire range was preliminarily explored by applying the typical grassland fires that occurred on March 29, 2016, and April 17, 2019, on the northern border of Inner Mongolia. The results show that the DFI range between 11 and 24 is more likely to cause a fire.

Keywords: Dead Fuel Index (DFI), Fire, Sentinel-2A, Typical grassland

基于 Sentinel-2 干枯燃料指数 (DFI) 的北方边境典型草原火灾发生区域识别

朝鲁门^{1, 2}, 包玉龙^{1, 3*}, 张继权^{4, 5}, 包玉海^{1, 3}

¹ 内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022;

² 内蒙古科技大学包头师范学院资源与环境学院, 包头 014030;

³ 内蒙古师范大学内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 呼和浩特 010022;

⁴ 东北师范大学环境学院, 长春 130024

⁵ 植被生态科学教育部重点实验室, 长春 130024

*通讯作者: 包玉龙邮箱 *baoyulong@imnu.edu.cn*

摘要

火灾对陆地生态系统的生产功能、碳储量、生境和生物多样性、植被的更替格局、营养循环影响较大,对当地的社会和经济、生命和生态环境造成巨大损失。本文应用 2016 年 3 月 29 日和 2019 年 4 月 17 日发生在内蒙古北方边境典型草原火灾,初步探索干枯燃料指数 (Dead Fuel Index, DFI) 发生火灾范围。结果表明,DFI 范围在 11~24 之间发生火灾可能性较强。

关键字: 干枯燃料指数 (DFI), 火灾, *Sentinel-2A*, 典型草原

1. 引言

草原是世界上分布最广泛的陆地生态系统之一,我国草地总面积约 400 万平方公里,是重要的战略资源与生态屏障^[1]。火灾对陆地生态系统的生产功能、碳储量、生境和生物多样性、植被的更替格局、营养循环影响较大,对当地的社会和经济、生命和生态环境造成巨大损失。火灾发生的主要自然因素有气象因素,可燃物和地形。其中可燃物特性更为复杂。可燃物负荷,可燃物含水率,可燃物连续度,可燃物覆盖度等都影响着火灾的发生概率,大小及范围。可燃物的研究指数较多,有 NDI、NDTI、NDSVI、STI、SWIR32、DFI、NDVI-CAI^[4-5]等。可燃物还分为活可燃物和死可燃物,活可燃物也叫光合作用植物,死可燃物也叫非光和作用植物。Cao 等基于多波段中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 数据提出亚洲典型草原被分为光合植被、裸土和非光和植被,并指出干枯燃料指数 (Dead Fuel Index, DFI) 能很好表示非光和作用植被^[3]。DFI 能表达非光合植被或植物凋落物,包括干燥、枯死的草,枯叶和枯枝。

近几十年来,遥感技术在可燃物研究方面获得许多的进展。Guerschman 基于 MODIS 数据开发了短波红外比指数 (SWIR32),准确估算了澳大利亚草原的非光和作用植被覆盖度^[6]。Cao 利用多光谱

MODIS 数据估算干枯燃料指数 (DFI)^[12]。考虑到对光谱仪器的改进以及对时间和空间分辨率的要求,*Sentinel-2* 卫星数据是很好的选择,特别是星载的多光谱成像仪 (MSI) 可以提供空间分辨率 10m 的 5 天重访周期的多光谱数据。Guo 使用具有高空间和高时间分辨率的 *Sentinel-2* 数据估计塔里木河下游的非光和作用植被覆盖度,使用的指数有 NDI、NDTI、NDSVI、STI、SWIR32、DFI,其中 DFI 最能表现出非光合植被^[7]。DFI 的很多研究都在稀疏干旱草原进行,在边境地区火灾发生地区的草原地区研究较少,值得试着去研究。草甸和典型草原的可燃物的连续性和燃点低等特点满足了可燃物的发生火灾的要求^[8]。因此,本研究选择北方边境地区的典型草原作为研究区,基于 *Sentinel-2* 遥感数据反演内蒙古典型草原的干枯燃料指数 (DFI),并初步探究火灾发生的 DFI 范围并进行了案例验证,这对于北方边境火灾频繁发区火灾管理提供科学依据。

2. 数据与方法

2.1 研究区数据

2.1.1 研究区概况

选取内蒙古典型草原,典型草原建群种由典型旱生植物组成,以丛生禾草为主,伴有中旱生杂类

草及根茎苔草，有时还混生旱生灌木或小半灌木。分布典型草原的地区属于温带半干旱大陆性气候，降水量约为 250~450 mm。典型草原主要由针茅、羊草、隐子草等禾草，伴生中旱生杂草、灌木及半灌木组成，草丛一般高 30~50cm。典型草原主要分布在呼伦贝尔草原西部、锡林郭勒草原大部分地区。本文使用典型草原区的北方中蒙边境锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗的萨麦苏木火灾发生区和北方中俄边境呼伦贝尔草原陈巴尔虎旗胡列也吐地区的火灾区，如下图 1。

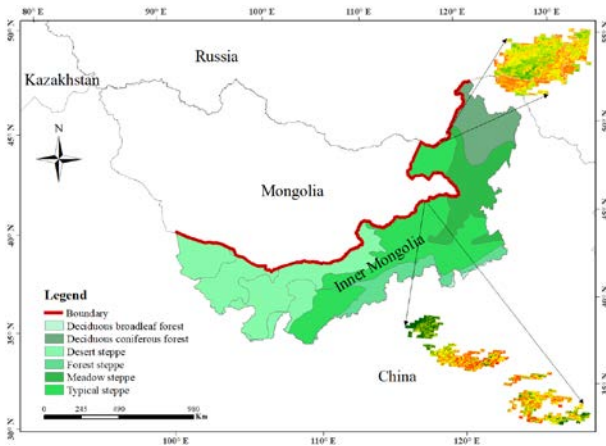


图 1 研究区位置图

2.1.2 数据及预处理

本研究采用 Sentinel-2A 数据，Google earth engine (Gee) 里使用代码下载计算 DFI 所使用的 band4, band8, band11, band12, 按研究区矢量拼接下载.tif 格式的影像。掩膜水体计算所需指数的波段，也按研究区拼接下载。下载于欧洲航天局网站 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)，影像数据是进行过辐射校正和几何校正。采用改进的归一化水体指数 (MNDWI= (Green-MIR) / (Green+MIR)) 掩膜水体，式中 Green 为绿光波段，Sentinel-2A 的 band3, MIR 为中红外波段，Sentinel-2A 的 band12。结合阈值法 (阈值为小于 0.08) 对水体特征进行掩膜。植被区划图来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn>)。

表 1 数据介绍

Sensor	Area	Data	Product	Date Format
Sentinel	Samai	2016-03-01-2016-03-25-		'2016-03-01', '2016-03-25'-12.tif
Sentinel	Chenb aerhu	2019-03-25-2019-04-15		nmg-0000000000-0000000000.tif nmg-0000000000-0000016384.tif
MODIS	Samai	89	MCD64 A1	MCD64A1.A2016061.h25v04.006.2017015015525.hdf
MODIS	Chenb aerhu	107	MCD64 A1	MCD64A1.A2019091.h25v04.006.2019155030657.hdf

2.2 方法

2.2.1 干枯燃料指数

干枯燃料指数 (DFI)^[9]是根据波段范围及 PV、DF 和 soil 的光谱特征总结出的，公式如：

$$DFI = 100 \times (1 - \frac{SWIR2}{SWIR1}) \times \frac{Red}{NIR} \quad (1)$$

式中 SWIR1, SWIR2, Red 和 NIR 分别代表 sentinel-2 MSI 的波段 11, 12, 4 和 8, DFI 在估算草原地区的死可燃物 (Dead Fuel) 覆盖率方面具有良好的潜力。

2.2.2 精度验证

二分类数据精度验证,是将实例分成正类 (P) 和负类 (N) 两种,细分为真阳性 (True Positive, TP), 假阳性 (False Positive, FP), 真阴性 (True Negative, TN), 假阴性 (False Negative, FN)。选择 Precision, Accuracy, Recall, F1, OPR, UPR, MCC, Sensitivity, Specificity 验证数据精度[10]。

精确度又叫正确率，就是分类正确的占总数的比例：

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

准确率：

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

召回率是真正的正例与所有的正例的比例：

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

F1 是精确度和召回率的调和均值：

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (5)$$

OPR 是错误分类的比例：

$$\text{OPR} = \frac{FP}{TP+FP} = 1 - \text{Precision} \quad (6)$$

UPR 是错误分类的比例：

$$\text{UPR} = \frac{FN}{TP+FN} = 1 - \text{Recall} \quad (7)$$

及马修斯相关系数 MCC：

$$\text{MCC} = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP+FP)(TP+FN)(TN+FP)(TN+FN)}} \quad (8)$$

3. 结果分析

3.1 DFI 的反演

为研究草原火灾，使用 2016 年 3 月 29 日中蒙边境地区内蒙古东乌珠穆沁旗的萨麦苏木发生的火灾，首先使用 MCD64A1 火灾面积数据获取火灾发生的面积，如下图 2。基于此火灾面积，应用 Sentinel-2A 反演出 DFI，本地区属于典型草原，DFI 能说明可燃物的覆盖度，可燃物是火灾发生的重要因素，看如下图 3，经过统计有 2208079 像素，DFI 值范围为 1.411~28.097。水体掩膜后发生火灾 DFI 值范围初步确定为 11~24。

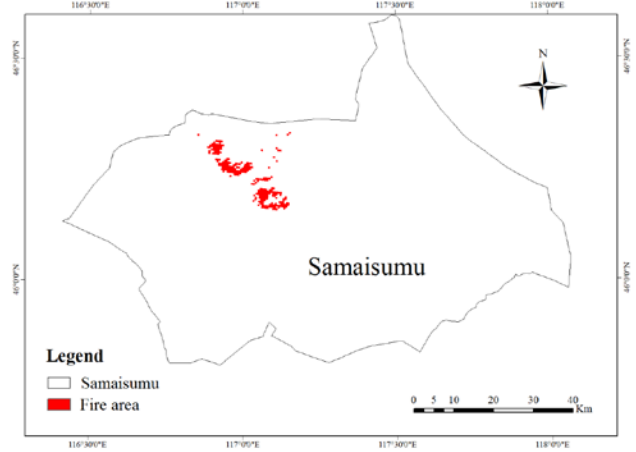


图 2 2016 年 3 月 29 日萨麦苏木 MODIS 火灾面积图

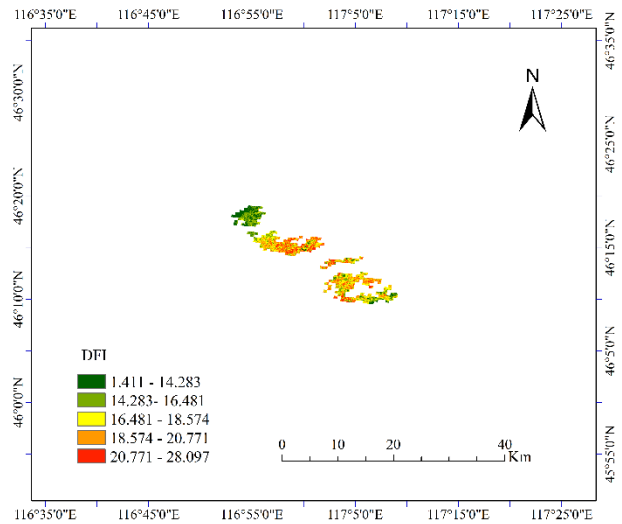


图 3 2016 年 3 月 25 日 Sentinel-2A 萨麦苏木 DFI 分布图

3.2 案例验证

为了验证确定的 DFI 值范围，选取同是边境地区的典型草原的 2019 年 4 月 17 日发生的内蒙古呼伦贝尔市陈巴尔虎旗胡列也吐地区的火灾为例，应用 Sentinel-2A 反演 DFI，用 DFI 的 11~24 值识别火面积，如图 4，再用对应 2019 年的第 107 天的 MCD64A1 来验证，如图 5，使用二分类数据验证如表 2，Precision 为 0.953，Recall 为 0.503，F1 为 0.659，Accuracy 为 0.779，OPR 为 0.172，UPR 为 0.497，MCC 为 0.512。

FN 403744 MCC 0.512

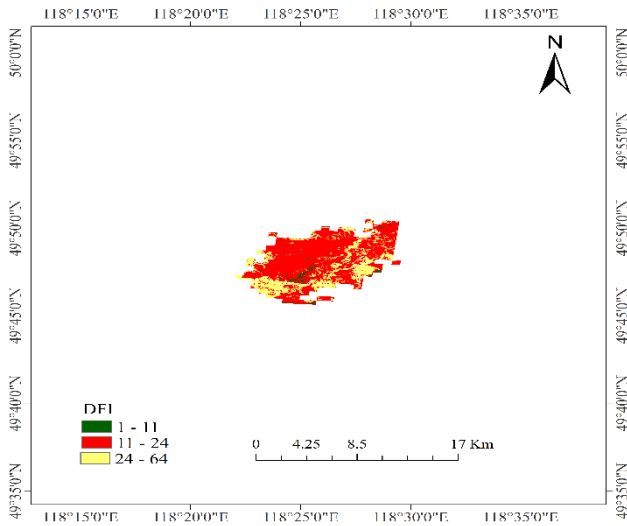


图4 2019年4月15日 Sentinel-2A 西乌珠日苏木 DFI 分布图

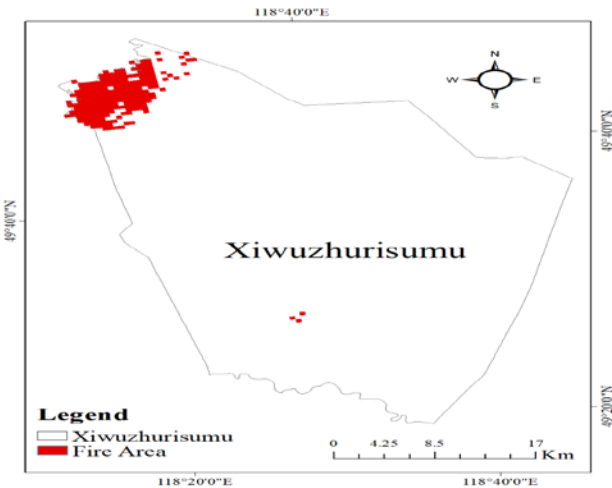


图5 2019年4月17日西乌珠日苏木 MODIS 火灾面积图

表2 二分类数据的案例验证

二分类类型	像素数	验证参数	结果
TP	409139	Precision	0.953
		Recall	0.503
TN	1310487	F1	0.659
		Accuracy	0.779
FP	84709	OPR	0.172
		UPR	0.497

4. 讨论

DFI 值的分布受影响因素较多。水体和流域周围的土壤湿度引起 DFI 的高值，水体对 DFI 反演有一定的影响。指数计算选的波段不同反演出来的精度不同。未来后期实地实验数据和 sentinel-2 的红边波段（705，740，783）来提高植被可燃物的估算精度^[1]。DFI 还会受气象要素，人口和牲畜密度，地形等因素影响。国家政策也会对干枯燃料指数分布影响较大。DFI 可以对火灾模型提供参考参数。

5. 结论

本论文应用 2016 年 3 月 29 日边境地区内蒙古东乌珠穆沁旗的萨麦苏木发生的火灾和 2019 年 4 月 17 日发生的内蒙古呼伦贝尔市陈巴尔虎旗胡列也吐地区的火灾，初步探索北方边境地区典型草原的 DFI 发生火灾范围，而 DFI 范围为 11~24 之间发生火灾可能性较强。以后研究中要增加火灾发生样本数来验证 DFI 范围。

参考文献

- [1] WANG G, WANG J, ZOU X, et al. Estimating the fractional cover of photosynthetic vegetation, non-photosynthetic vegetation and bare soil from MODIS data: Assessing the applicability of the NDVI-DFI model in the typical Xilingol grasslands [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 76(154-66.
- [2] JI C, LI X, WEI H, et al. Comparison of Different Multispectral Sensors for Photosynthetic and Non-Photosynthetic Vegetation-Fraction Retrieval [J]. Remote Sensing, 2020, 12(1): 1-17.
- [3] CHAI G, WANG J, WU M, et al. Mapping the fractional cover of non-photosynthetic vegetation

- and its spatiotemporal variations in the Xilingol grassland using MODIS imagery (2000–2019) [J]. *Geocarto International*, 2020, 1-17.
- [4] ELVIDGE C D. Visible and near infrared reflectance characteristics of dry plant materials [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(10): 1775-95.
- [5] NAGLER P L, INOUE Y, GLENN E P, et al. Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil–plant litter scenes [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 87(2-3): 310-25.
- [6] GUERSCHMAN J P, HILL M J, RENZULLO L J, et al. Estimating fractional cover of photosynthetic vegetation, non-photosynthetic vegetation and bare soil in the Australian tropical savanna region upscaling the EO-1 Hyperion and MODIS sensors [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(5): 928-45.
- [7] GUO Z, KURBAN A, ABLEKIM A, et al. Estimation of Photosynthetic and Non-Photosynthetic Vegetation Coverage in the Lower Reaches of Tarim River Based on Sentinel-2A Data [J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(8): 1458.
- [8] NA L, ZHANG J, BAO Y, et al. Himawari-8 Satellite Based Dynamic Monitoring of Grassland Fire in China-Mongolia Border Regions [J]. *Sensors*, 2018, 18(1): 1-15.
- [9] YUE J, TIAN Q. Estimating fractional cover of crop, crop residue, and soil in cropland using broadband remote sensing data and machine learning [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, 89, 1-15.
- [10] RONG G, ALU S, LI K, et al. Rainfall Induced Landslide Susceptibility Mapping Based on Bayesian Optimized Random Forest and Gradient Boosting Decision Tree Models—A Case Study of Shuicheng County, China [J]. *Water*, 2020, 12(11): 3066.
- [11] SESNIE S, EAGLESTON H, JOHNSON L, et al. In-Situ and Remote Sensing Platforms for Mapping Fine-Fuels and Fuel-Types in Sonoran Semi-Desert Grasslands [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(9): 1357-87.
- [12] Cao, X., Chen, J., Matsushita, B., Imura, H., 2010. Developing a MODIS-based index to discriminate dead fuel from photosynthetic vegetation and soil background in the Asian steppe area. *International Journal of Remote Sensing* 31, 1589-1604.

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

