

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 02. 004

内蒙古大兴安岭森林火险等级预报模型研究

杨淑香¹, 吴宏伟¹, 董越¹, 李洪峰², 包兴华¹

(1. 呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 海拉尔 020018; 2. 根河市根森公司森调队, 内蒙古 根河 022350)

摘要:为提高森林火险等级预报的准确率和及时率,减少森林资源损失。以内蒙古大兴安岭地区为研究区域,利用遥感 MODIS-NDVI 数据反演可燃物的湿度指数,以气象指数、植被指数、闪电指数、湿度指数共同计算得出森林火险指数,以火险指数作为内蒙古大兴安岭地区森林火险等级预报模型的量化指标,并对火险等级进行分级,获得内蒙古大兴安岭森林火险等级预报方法。该方法结合当地的实际情况,将闪电指数引入到预报模型中,并实现了定量化估测。同时,以近几年发生在该地区重特大森林火灾为例,对该预报模型进行了验证。该方法可较好地对内蒙古大兴安岭地区森林火险等级进行定量化预报。

关键词:森林可燃物;MODIS-NDVI 数据;含水率;火险等级;预报模型;大兴安岭

中图分类号:S762.31;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)02-0019-06

引文格式:杨淑香,吴宏伟,董越,等. 内蒙古大兴安岭森林火险等级预报模型研究[J]. 林业调查规划,2024,49(2):19-24. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 02. 004

YANG Shuxiang, WU Hongwei, DONG Yue, et al. Prediction Model of Forest Fire Risk Level in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(2): 19-24. doi: 10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 02. 004

Prediction Model of Forest Fire Risk Level in Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

YANG Shuxiang¹, WU Hongwei¹, DONG Yue¹, LI Hongfeng², BAO Xinghua¹

(1. Hulunbuir Meteorological Bureau, Hailar, Inner Mongolia 020018, China;
2. Gensen Company Forest Investigation Team, Genhe, Inner Mongolia 022350, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and timeliness of forest fire risk level prediction and reduce forest resource loss, the Greater Khingan Mountains region of Inner Mongolia was researched. The humidity index of combustibles was inverted using MODIS-NDVI remote sensing data, and the forest fire risk index was calculated using meteorological index, vegetation index, lightning index and humidity index. The fire risk index was used as the quantitative indicator of the forest fire risk level prediction model in the Greater Khingan Mountains region of Inner Mongolia, to classify the fire risk level and obtain a forest fire risk level prediction method. This method combined the local actual situation and introduced the lightning index into the prediction model, achieving quantitative estimation. At the same time, the prediction mod-

收稿日期:2022-09-21.

基金项目:内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqxkjc202305);呼伦贝尔市气象局科技创新项目(hlbeqx202017).

第一作者:杨淑香(1980-),女,内蒙古根河人,硕士,高级工程师. 主要从事森林防火气象服务. Email:yangshuxiang0312@163.com

责任作者:包兴华(1981-),男,内蒙古通辽人,高级工程师. 主要从事人工影响天气方面研究.

el was validated using the example of major forest fires occurred in recent years. This method could quantitatively predict the forest fire risk level in the Greater Khingan Mountains region of Inner Mongolia.

Key words: forest combustibles; MODIS-NDVI data; moisture content; fire risk level; prediction model; Greater Khingan Mountains

内蒙古大兴安岭林区位于内蒙古东北部,是我国面积最大的国有林区,在维护生态平衡和生态安全方面,担负着十分艰巨的历史责任。目前,森林火灾的发生严重威胁着森林资源,特别是在内蒙古东北部,干旱时有发生,雷击极易导致重、特大森林火灾的发生。探讨森林火灾的易发程度、发展趋势及变化规律,对森林资源的可持续发展、维护生态平衡和生态安全具有重要意义。

一般来说,林火预报是在天气预报的基础上进行推算,气象要素预报的准确性直接影响森林火险预报的准确性。但林火预报不单只依赖于气象,还与地形、地貌、可燃物的类型和干湿程度以及火源等有关。近年来,随着科学技术的发展,许多国家将 GIS 技术和遥感技术应用于森林火险等级预报中。PALTRIDGE^[1]首先尝试利用 NOAA-AVHRR 图像数据对草原干燥度及潜在火险进行了监测和评估。LOPEZ^[2]利用遥感数据和气象数据建立了潜在火险指数 FPI (fire potential index) 指数,预判森林火险等级。VIEGAS 等^[3]利用卫星红外遥感技术监测森林火灾中林地火烧强度的不同。田晓瑞等^[4]利用 Keetch-Byram 干旱指数预报森林火灾。覃先林^[5]利用遥感与 GIS 技术计算了火险指数,并划分了火险等级。周建国等^[6-10]利用 RS 结合 GIS 技术进行森林火险的预测预报和火灾监测研究。但在定量化预报森林火险等级中鲜有运用闪电指标的,在前人研究的基础上^[11-20],利用实时的 MODIS 数据获取森林可燃物湿度和长势作为背景数据库,结合实时闪电资料对火险指数进行分级,可以提供及时、精准的监测预报预警产品,为森林防扑火工作提供决策参考。

1 研究区概况

研究区域位于内蒙古大兴安岭林区,地处内蒙古东北部,跨呼伦贝尔、兴安盟 9 个盟市,森林覆盖率 78.39%,主要林型有兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 林、白桦 (*Betula platyphylla*) 林、樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 林、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 林。海拔 250~1 745 m。气候特征属于寒温带大陆

性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨。年均温 -3.5°C ,年降水量 300~450 mm。大兴安岭地区是我国森林火灾的高发区,且平均每年受害面积占比 50% 以上。由于内蒙古东部地势平缓,林草相连,春、夏季干旱,大风天气多,可燃物水分迅速降低,极易引燃,加之地处偏远,交通不便,一旦发生火情,发现难、扑救难、反应迟缓,常造成重、特大森林火灾的发生。

2 数据采集及处理

2.1 野外数据采集

分别在大兴安岭林区选取根河、牙克石、图里河、鄂伦春、博克图、小二沟 6 个地点为采样点,在春、夏、秋季各采样 1 次,每次 3 个点。2004—2021 年,采样点数共计 540 个,实验中去除了有云层覆盖样点数,最终用于可燃物湿度指数 (FMC) 反演的样本数为 457 个。采样一般选择晴朗无云或少云的天气进行,每个样本的位置用 GPS 定位。样本包括 1 m^2 内的所有地上生物量,在 80°C 恒温下烘干 3 d。可燃物湿度指数 (FMC) 为水分 (鲜重减去干重) 和鲜重的比值,公式为:

$$\text{FMC} = (\text{FW} - \text{DW}) / \text{FW} \times 100\% \quad (1)$$

式中:FW 为野外测量的鲜重;DW 为烘干后的干重。

2.2 数据来源

用于森林火险预报的数据资料包括闪电分布数据、植被分布数据和气象数据。闪电分布数据由过去 24 h 发生闪电的具体位置构成。植被分布数据来自中国 500 M NDVI 16 天合成产品 MODNDID,即基于中分辨率成像光谱仪的归一化植被指数 (MODIS-NDVI) 数据,时间分辨率为天,空间分辨率为 500 m。本文选取与地面采样时间为同一天且云覆盖率在 10% 以下的遥感产品,每幅影像的反射率数据集中提供了 1~7 波段的反射率、质量评估等级、观测范围、观测数等。气象资料为预报时间段内智能网格预报中的要素预报,包括风速、温度、相对湿度、连续无降水日数。

2.3 卫星数据及其处理

Terra/Aqua MODIS 数据资料较完整,时间序列较长,且每天有两颗星同时覆盖大兴安岭地区,均在

正午时间,便于进行植被监测和可燃物湿度估算。从地理空间数据云网站上获取 MOD/MYD09GA 地表反射率产品。

3 研究方法

目前,内蒙古大兴安岭地区的火险等级预报采用国标森林火险气象等级(GB/T 36743—2018)的指标,包括风速、温度、相对湿度和连续无降水日数,经过常年的监测和对比发现火险等级普遍偏低,与当地的火险形势不符。

对比分析历史森林火灾发生情况,上世纪的重、特大森林火灾一般由人为因素导致,随着宣传和管控力度的加大,近年来发生的森林火灾多半由雷击引发,雷击火灾不仅跟降水等气象条件相关,还与地表可燃物的构成和干湿程度相关。由于地表可燃物的分布状况目前还没有准确的实验数据,因此本研究采用遥感图像反演可燃物湿度。

利用 MODIS-NDVI 数据获取地面可燃物的长势和湿度,并在地理信息系统技术支持下,结合闪电分布、森林分布、气象数据,分别计算可燃物湿度指数和背景综合指数,以及火险指数,最后进行分级处理,获得内蒙古东北部森林火险等级分布。

3.1 可燃物湿度指数(FMC)

可燃物湿度指可燃物的含水率,先下载对应地面采样日期的MYD09GA地表反射率产品,利用 ArcGIS 读取地面采样点对应第2和第7通道的反射率值进行估算^[21]。所得回归方程为:

$$FMC = 19.577 + 0.105 \times \rho_2 - 0.123 \times \rho_7 \quad (2)$$

式中: ρ_2 为第2通道反射率; ρ_7 为第7通道反射率。

3.2 背景综合指数(BCI)

背景综合指数由闪电分布指数、植被分布指数和气象指数构成,公式为:

$$BCI = (LDI + VDI + MI) / 3 \quad (3)$$

式中:LDI 为闪电分布指数;VDI 为植被分布指数;MI 为气象指数。

闪电分布指数由闪电定位仪监测过去 24 h 闪电实时发生情况,当有闪电发生时,以闪电为中心的半径 0.5 km 内赋值为 1,其余地区为 0。植被指数采用 MODIS-NDVI 指数代替。气象指数由未来 24 h 的预报,当日 14:00 的风速、气温、相对湿度,过去 24 h 的降水、雪深数据构成,在 ArcGIS 中分别进行空间定位、插值和归一化处理,最后获取空间分辨率为 1 km² 的气象要素图。

3.3 火险指数(FFDI)

火险指数是火险发生程度的具体衡量指标,是由可燃物湿度指数和背景综合指数构成的函数。火险指数计算公式为:

$$FFDI = \{(1 - FMC) \times FIW + BCI\} / 2 \quad (4)$$

式中:FMC 为可燃物湿度指数;BCI 为背景综合指数;FIW 为权重指数。

3.4 森林火险指数分级

参照林业行业标准及相关研究确定的森林火险指数分级标准^[22],将火险指数由低到高分 5 个等级,并对其危险性和可燃性进行了描述。具体指标见表 1。

表 1 火险指数分级及描述

Tab. 1 Classification and description of fire risk index

火险等级	危险程度	火险指数/%	可燃性	蔓延性
1 级	没有危险	0~25	不能燃烧	不能蔓延
2 级	低度危险	25~50	难以燃烧	难以蔓延
3 级	中度危险	50~75	轻易燃烧	轻易蔓延
4 级	高度危险	75~90	容易燃烧	容易蔓延
5 级	极度危险	>90	极易燃烧	极易蔓延

4 结果与分析

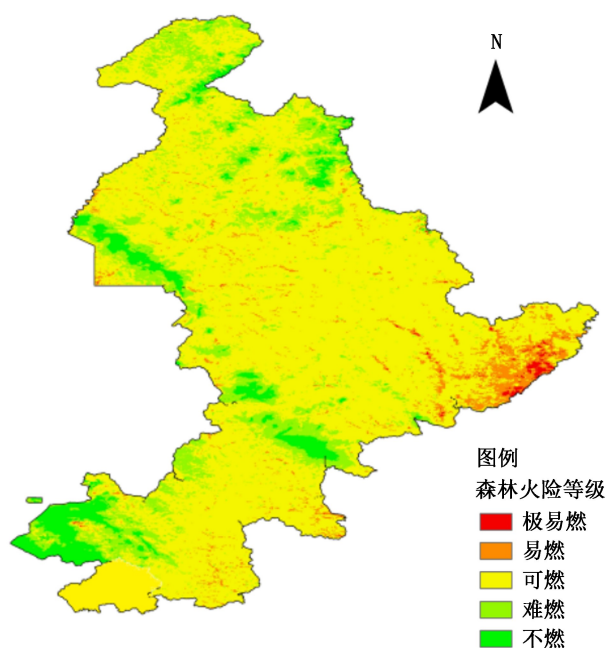
本研究对内蒙古东北部森林火险等级进行预报,2021 年 4 月 15 日和 2021 年 4 月 17 日的森林火险等级预报图如图 1 所示。

由图 1 可知,2021 年入春以来降水偏少,温度偏高,林区大部分地区出现阶段性干旱,进入 4 月份后风力加大,致使林区火险气象等级偏高,4 月 16 日林区普降小到中雨,除林区东部局部地区外,其余绝大部分地区火险等级明显下降。

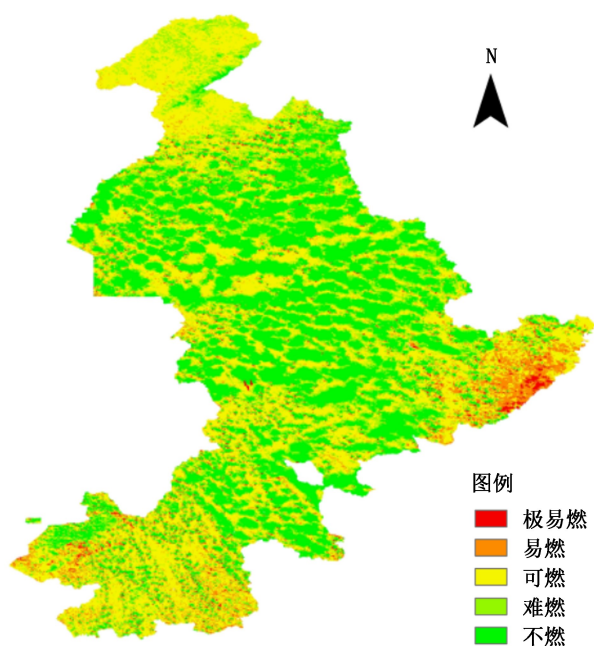
选取近几年发生在内蒙古大兴安岭地区的重、特大森林火灾典型案例,采用典型抽样和火点监测结果相结合的方法,对森林火险指数分级标准及预报结果进行验证。

4.1 多发性雷击火验证

2019 年 6 月下旬内蒙古东北部出现气温异常偏高现象,尤其是额尔古纳市、根河市北部,气温较常年偏高 1.6~2.4℃,降水量较常年偏少 70%~80%,且出现了特大干旱现象,地面可燃物含水率特低,对森林防灭火工作造成非常大的压力。7 月中旬相继出现 10 多起雷击火灾。内蒙古大兴安岭东北部 2019 年 7 月 10 日火险气象等级预报以及 2019 年 7 月 11 日—12 日雷击火点位置见图 2,图 3。



(a)4月15日



(b)4月17日

图 1 内蒙古大兴安岭东北部森林火险气象等级预报

Fig. 1 Meteorological prediction of forest fire risk in the northeast Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia

从图 2 可以看出,林区北部大部分地区以火险等级 2 级为主,局部为火险等级 2~3 级,其中在永安山、满归、阿龙山、汗马出现了火险等级 5 级。对比分析实际的雷击火点位置(图 3),与图 2 森林火险气象等级预报图基本吻合,在预报森林火险气象

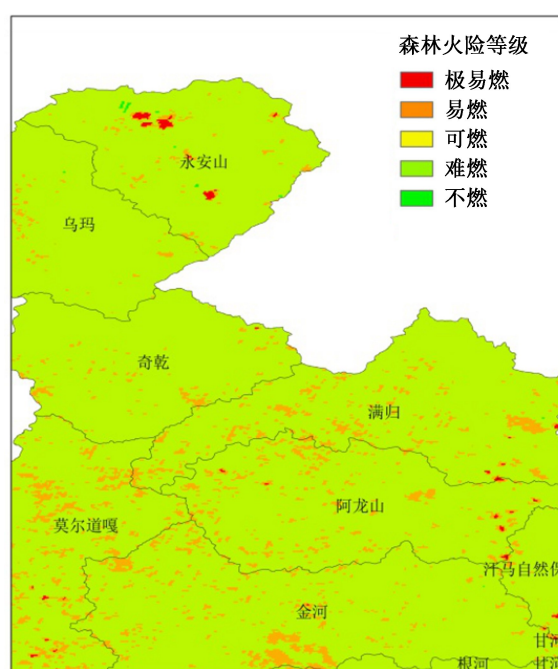


图 2 内蒙古大兴安岭东北部 2019 年 7 月 10 日火险气象等级预报

Fig. 2 Meteorological prediction of forest fire risk in the northeast Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia on July 10, 2019

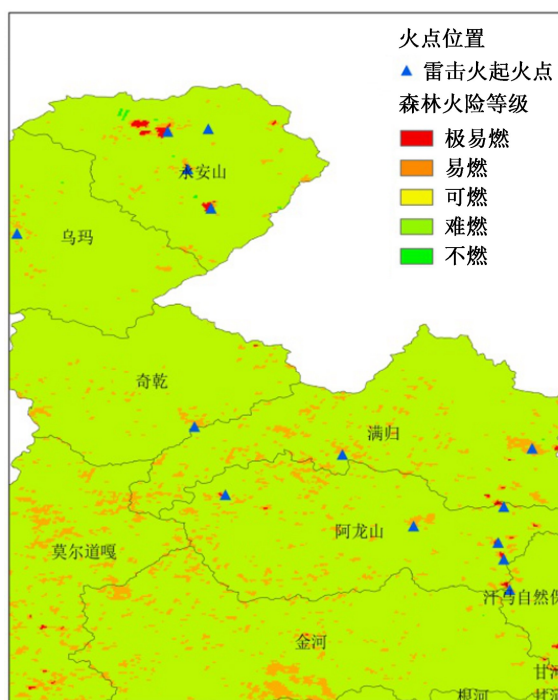


图 3 内蒙古大兴安岭东北部 2019 年 7 月 11—12 日雷击火点位置

Fig. 3 Location of lightning fire in the northeast Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia from July 11 to July 12, 2019

等级为 5 级的位置,出现了雷击火 6 起。结果表明本文采用的森林火险指数计算方法及定量划分指标与实际森林火险等级基本相符。火险指数对于森林火灾的发生意义重大,从而可用该指数作为内蒙古东北部林区森林火险气象等级预报的定量指标。

4.2 典型重、特大火灾验证

选取 2016—2019 年发生在内蒙古大兴安岭地区的重、特大火灾 9 起,对文火险指数进行计算。内蒙古大兴安岭东北部重、特大森林火灾发生前一天的火险指数、可燃物湿度指数、背景综合指数统计见表 2。

表 2 内蒙古大兴安岭东北部典型重特大森林火灾发生前一天的火险指数
Tab. 2 Fire risk index of typical major forest fire in the northeast Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia on the day before the fire occurred

森林火灾 起火地点	起火时间 (年-月-日)	中心经度	中心纬度	可燃物湿度 指数(FMC)	背景综合 指数(BCI)	火险指数 (FFDI)	火险等级
金河	2016-05-18	121°16'52"	51°07'47"	53.60	75.37	64.48	3 级
阿尔山	2016-05-30	119°39'49"	47°07'30"	55.71	62.91	59.30	3 级
毕拉河	2017-05-02	122°58'20"	49°27'49"	37.39	88.49	87.94	4 级
北部原始林	2017-04-30	120°17'09"	52°38'38"	45.70	88.92	77.31	4 级
北部原始林	2017-06-25	120°20'00"	52°53'07"	47.05	61.24	59.14	3 级
满归	2017-07-06	122°40'10"	52°08'56"	31.85	76.91	69.38	3 级
汗马	2018-06-01	122°38'27"	51°40'41"	42.91	67.37	55.14	3 级
北部原始林	2018-06-02	121°25'30"	52°19'48"	36.65	61.27	58.96	3 级
金河秀山	2019-06-19	121°17'35"	51°53'40"	36.25	85.74	75.99	4 级

由表 2 可知,火灾发生区域前一天的火险等级均在 3 级及 3 级以上,尤其是毕拉河火灾发生的前一天,火险指数为 87.94,接近火险等级 5 级,属于极易燃烧、极易蔓延等级,这与事实上发生在毕拉河火灾的真实情况相符。毕拉河火灾是近年来发生在内蒙古大兴安岭地区的一次特别重大森林火灾,损毁森林面积达 1.14 万hm²。同时可燃物湿度指数和背景综合指数两者对总的火险指数具有一定影响力,这也说明了发生森林火灾时,不仅外界的气象条件有一定的决定作用,可燃物本身的湿度也是导致森林火灾发生的重要因素。

5 结 论

利用 MODIS-NDVI 数据产品获取森林可燃物的湿度因子,并在地理信息系统技术的支持下,结合气象指数、植被指数和闪电分布指数,提出了适应于内蒙古东北部的森林火险等级的定量计算方法和分级方法,并依据此火险指数对该区域进行火险等级预报。从近年来发生的重特大森林火灾和多发性雷击火的检验结果可知,森林火险指数等级预报方法与选择的重特大森林火灾实际发生过程基本一致,表明本文的方法切实可行。

森林火灾的预报预警工作是一项非常复杂和漫长的工作,涉及多学科、多因素的综合研判^[23-25]。在本研究的基础上,还需对影响森林火险等级预报的其他因子进行研究,以修正和补充定量化的划分指标和分级标准,以提高森林火险等级的预报准确率和实效性。另外,对于大尺度的火险等级预报结论还需进一步进行探讨。

参考文献:

[1] PALTRIDGE G W, BARBER J. Monitoring grassland dryness and fire potential in Australia with NOAA—AVHRR data [J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25(3): 381-394.

[2] LOPEZ S, GONZALES-ALONSO F, LLOP R, et al. An evaluation of the utility of images for monitoring forest fire risk in Spain[J]. International Journal of Remote Sensin, 1991(12): 1841-1951.

[3] VIEGAS D X, VIEGAS M T, FERREIRA A D. Moisture content of fine forest fuels and fire[J]. International Journal of Wildland Fire, 1992(2): 69-87.

[4] 田晓瑞,舒立福,王明玉,等. 利用 Keetch-Byram 干旱指数预测森林火险[J]. 火灾科学, 2003(12): 151-155.

[5] 覃先林. 遥感和地理信息系统技术相结合的林火预警方法的研究[D]. 北京:中国林业科学院, 2005.

- [6] 周建国. 基于 GS 和 GIS 的森林火险等级预报研究[D]. 长沙:中南大学, 2009.
- [7] 王艳霞, 周汝良, 丁琨, 等. 基于地表有效保水量的森林火险天气等级预报[J]. 东北林业大学学报, 2014(3): 60-64.
- [8] 郭彦茹, 王凯松, 张艳, 等. 基于森林火险指数的森林火险实时预警系统[J]. 中国农业气象, 2014, 35(4): 457-462.
- [9] 张伟, 王峰, 郭艳芬, 等. 基于 Logistic 回归的森林火险天气等级模型[J]. 东北林业大学学报, 2013(12): 121-122, 131.
- [10] 杨建卫, 赵凯, 李晓峰, 等. 林下枯枝落叶层双频段微波辐射衰减特性研究与分析[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(2): 255-261.
- [11] 张增信, 闵俊杰, 闫少锋, 等. 苏南丘陵森林枯落物含水量及其影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 6-10.
- [12] 谢宇希, 胡海清, 杨曦光, 等. 基于实测光谱的大兴安岭地区典型森林枯落物含水率估测模型[J]. 生态学报, 2017, 36(11): 3321-3328.
- [13] 王婕. 安宁地区主要树种死可燃物含水率及火险等级研究[D]. 北京:北京林业大学, 2018.
- [14] 张烨方, 冯真祯, 王颖波, 等. 基于 GIS 的网格化雷电灾害风险评估模型及其应用[J]. 气象科技, 2016, 44(1): 142-147.
- [15] 刘振波, 张丽丽, 葛云健, 等. 基于环境卫星数据的森林叶面积指数遥感反演与验证——以大兴安岭加格达奇林区为例[J]. 林业工程学报, 2015, 29(4): 126-130.
- [16] 杨淑香, 包兴华, 吴宏伟, 等. 雷击火起火原因及预测预报研究综述[J]. 森林防火, 2020(4): 28-31.
- [17] 张恒, 张鑫, 赵鹏武, 等. 内蒙古森林草原雷击火灾时空分布特征[J]. 东北林业大学学报, 2020(12): 46-51.
- [18] 赵鹏武, 武峻毅, 张恒. 基于聚类分析法的我国森林火险等级区划研究[J]. 林业工程学报, 2021, 6(3): 142-148.
- [19] 赵鹏, 刘琳. 基于气象和时空因子的森林火险等级预测[J]. 林业工程学报, 2018, 3(3): 102-110.
- [20] 覃先林, 张子辉, 李增元, 等. 国家级森林火险等级预报方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(5): 500-505.
- [21] 赵鲁强, 杨晓丹, 梁莉, 等. 森林火险气象等级: GB/T 36743—2018[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.
- [22] 王超, 高红真, 程顺, 等. 塞罕坝林区森林可燃物含水率及火险预报[J]. 林业工程学报, 2009, 23(3): 59-61.
- [23] 彭欢, 史明昌, 孙瑜, 等. 基于 Logistic 的大兴安岭雷击火预测模型[J]. 东北林业大学学报, 2014(7): 166-169.
- [24] 陈妮娜, 张玉书, 张硕, 等. 2004—2013 年辽宁省主要气象灾害分布及预警服务分析[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(3): 176-184.

责任编辑: 陈旭

(上接第 18 页)

- [13] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [14] BAILEY R L, WARE K D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2011, 13(4): 563-571.
- [15] SULLIVAN A D, CLUTTER J L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine[J]. Forest Science, 1972, 18(1): 76-86.
- [16] CANDY S G. Growth and yield models for *Pinus radiata* in Tasmania[J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1989, 19(1): 112-133.
- [17] 李江, 邱琼, 朱宏涛, 等. 思茅松中幼龄人工林的生物量碳密度及其动态变化[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(2): 106-111.
- [18] 朱丽梅, 胥辉. 思茅松单木生物量模型研究[J]. 林业科技, 2009, 34(3): 19-23.
- [19] 胥辉, 张会儒. 林木生物量模型研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- [20] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, 18(4): 349-356.
- [21] 杨晓菲, 鲁绍伟, 饶良懿, 等. 中国森林生态系统碳储量及其影响因素研究进展[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(3): 73-78.
- [22] 赵文洁, 李凤日, 庄宸, 等. 大兴安岭地区落叶松林碳密度空间分布[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(6): 1-5.

责任编辑: 许易琦