

大兴安岭森林凋落物含水率的季节动态与预测

张恒, 金森*, 邸雪颖

(东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:通过对2010年春、2010年和2011年两个秋季大兴安岭地区盘古林场樟子松、兴安落叶松、白桦林分凋落物含水率的连续观测,研究了其含水率的季节动态变化特征及其与气象因子的关系。结果表明:凋落物含水率与湿度和降水有着密切的关系,特别是和前两天的空气相对湿度和降水量关系最密切,呈现明显的滞后现象,而与温度和风速的关系不密切。春季3种林分凋落物含水率与空气相对湿度具有指数性的关系,与前两日降水量呈现具有渐近线的函数关系;秋季的含水率与两者都呈线性的关系,具有一定的滞后性。本文所揭示的可燃物含水率与湿度和降水的非线性关系形式与现有的一些研究和常用的简单线性回归方程不同,采用非线性形式的春季含水率预测模型要比线性模型精度高,这将有助于改进气象要素回归法预测可燃物含水率的准确性以及提高火险预报的针对性。

关键词:大兴安岭;可燃物含水率;降水;季节;气象

中图分类号:S762.2

文献标识码:A

Seasonal Dynamics and Prediction of Forest Litter Moisture in Daxing'anling Region

ZHANG Heng, JIN Sen¹, DI Xue-ying

(College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: The dynamics of litter moisture under Scots pine, larch and birch stands in Pangu Forest Farm, Daxing'anling Region, Heilongjiang Province, were observed in the spring of 2010 and the autumns of 2010 and 2011. The responses of the litter moisture to weather variables were analyzed. The results showed that the litter moistures of the three stands were closely related to the relative humidity and rainfall, particularly to the humidity and rainfall two days ago, showing a obviously lagging but not related to the air temperature and wind velocity. The litter moistures under the three stands in spring showed an exponential relationship with the air humidity and an asymptotic relationship with rainfall while those for autumn were both linear. The prediction models established in nonlinear form using spring data are more accurate than those of linear form. These relationships are different from those commonly used in current fuel moisture prediction models and could be beneficial for improving the modeling accuracy in the future.

Key words: Daxing'anling region; fuel moisture; rainfall; weather; season

凋落物作为地表死可燃物的重要组成部分,其含水率动态和预测是做好火险天气预报和火行为预报的关键^[1-3]。凋落物含水率受降水、风速和温湿度等气象要素影响,气象要素直接回归法^[4]是重要的可燃物含水率预测方法。早在上世纪20年代就开始

了研究^[5]。Gonzalez等^[6]建立了基于温度和湿度的多元线性含水率预测模型。Matthews^[7]等用温度、湿度、风和太阳辐射来预测桉树可燃物的含水率。我国学者在这方面开展的工作也比较多,建立了若干森林可燃物含水率气象要素回归预测模型^[8-12],

收稿日期:2013-12-28

基金项目:林业公益性行业科研专项(201204508)资助

* 通讯作者

采用了当日和多日的气象要素,但没有考虑季节等方面对模型精度的影响。

黑龙江省大兴安岭地区是我国森林火灾发生最严重的地区^[15-17]。该地区有春秋两个防火期。春季地表可燃物多为以前的凋落物,失水吸水速度快;秋季地表可燃物多为当年凋落物,其水分对环境的响应比春季可燃物慢。发生降水后,可燃物床层之间有大量水分,其失水过程为可燃物表面的水分自由蒸发;无降水时可燃物床层水分散失主要是可燃物内部水分的散失,两种条件下影响水分散失的物理过程不同。因此,不同季节时可燃物含水率对气象因子的响应不同。搞清该地区可燃物含水率的季节动态变化,建立科学的含水率预测模型,具有重要的意义。目前该地区进行了许多含水率预测模型的研究^[10,12,18-19],但对于这种响应的研究还没有开展。因此,本文以我国大兴安岭3种主要林型内的地表可燃物为研究对象,分析可燃物含水率的春秋两季动态变化及其对预报的影响,为提高气象要素法的预测精度,也为更准确的预测森林火险提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于大兴安岭塔河林业局盘古林场(52°41'57.1''N,123°51'56.5''E),地貌为大兴安岭石质中低山山地。属寒温带大陆性季风气候,且山地气候特征明显。冬季寒冷而漫长,年均气温-5℃。年降水量350~500mm,降水集中于7—8月份。相对湿度70%~75%,积雪期达5个月,林内雪深30~50cm。天气变化较剧烈,常出现高温低湿及大风天气。地带性土壤类型为棕色针叶林土。植被类型是以兴安落叶松为优势的寒温带针叶林^[20],主要林分类型为兴安落叶松(*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr.)-樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin)-白桦(*Betula platyphylla* Suk.)混交林,樟子松林、白桦林和山杨(*Populus davidiana* Dode)林,还有少量的红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)林。春季和秋季是森林火灾多发期。

1.2 凋落物含水率和气象因子监测

可燃物含水率监测时间为2010年春季防火期、2010年和2011年两个秋季防火期。其中,2010年5月29日—6月27日(春季森林防火期)、9月23

日—10月13日(秋季森林防火期)。在阳坡选择樟子松林、兴安落叶松林和白桦林3种林分设置样地,记录林分基本情况(表1)。每日14时在各样地内选取10个采样点(无遮荫、林荫下内各取5点),采用破坏性取样采集地表凋落物,每个点装取100g(误差不超过5g),称鲜质量后带回实验室,放入烘箱105℃下烘24h后称干质量。2011年9月14—10月15日(秋季防火期)在兴安落叶林和白桦林进行同样的观测。按下式计算可燃物含水率:

$$M = (W_h - W_d) / W_h \times 100\%$$

式中: M 为可燃物含水率(%); W_h 为可燃物鲜质量(g); W_d 为可燃物干质量(g)。

取10个点含水率的算术平均值作为该林分当时的含水率。

表1 样地信息

林型	坡位	坡向	坡度(°)	郁闭度	海拔/m
樟子松	坡上	南坡	30	0.3	534
兴安落叶松	坡中	南坡	38	0.6	491
白桦林	坡中	南坡	25	0.7	506

气象数据来自塔河林业局盘古气象站,包括每小时气温(T)、相对湿度(H)、降水量(R)、风速(W)等。以每个实验日含水率数据为准,计算前期气象要素:前 n ($n=1\sim5$)天气象因子、 n 天前当日气象因子、前24 m ($m=1\sim3$)小时降水量之和等,其中前 n 天气象因子以采样当日0点为基准,前24 m 小时以采样当日14:00为基准。春季数据共30组,秋季数据52组。

1.3 数据分析

1.3.1 可燃物含水率春秋两季动态 以采样时间为横轴,以可燃物含水率为纵轴,绘制春秋两季3种林分凋落物含水率的动态图,分析其动态变化规律。

1.3.2 可燃物含水率对不同气象时长的响应分析和预测 计算3种林分地表凋落物含水率与前5天的温度、湿度、风、降水之间的相关系数,并绘制含水率与这些气象要素的时间动态折线图,以此考察3种凋落物含水率对不同气象时长的响应。对其中相关显著的气象要素,绘制可燃物含水率与这些要素之间的散点图,分析它们之间的具体关系形式。确定最优拟合方式,建立预测模型并比较精度。精度用平均绝对误差(MAE)表示,按下式计算:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |M_i - M_j|$$

式中: M_i 为含水率实测值(%); M_j 为可燃物含水率

预测值(%)。

采用 SPSS18.0 和 Sigmaplot12.5 软件进行数据整理、统计分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 3 种林分地表凋落物含水率动态

图1给出了樟子松、落叶松和白桦3种林分春秋两季凋落物含水率的动态。春季无降雨时,3种林分凋落物含水率差异不大,雨后差别增加。进入防火紧要期后凋落物的含水率降到20%左右,一般可燃物的熄灭含水率在30%左右,因此,进入了可以燃烧的阶段,到6月15日防火期结束前,凋落物含水率基本在20%左右波动,最低时可达10%,此时着火,火行为就比较激烈。如果降到7%以下,火

势就难以控制。间或降水使含水率升高到40%以上,不能燃烧。其后,降水显著增加,凋落物含水率随之增加,最大含水率可达150%。但是当较长时间没有降雨或连续干旱时,可燃物含水率也能降到20%左右,如图中时间序列点25到29即2010年春季6月22日到26日之间的时段,防火期已结束,但仍具备着火条件。

秋季的降水比春季少。凋落物的含水率与春季相差不多。发生降水的时候显著增加,最大含水率超过春季,高达250%,这与秋季地表凋落物数量增加、凋落物层持水能力增加有关。

不同林分凋落物含水率春季差异不大,秋季无降雨时差异不明显,对降雨的响应有一定差异。

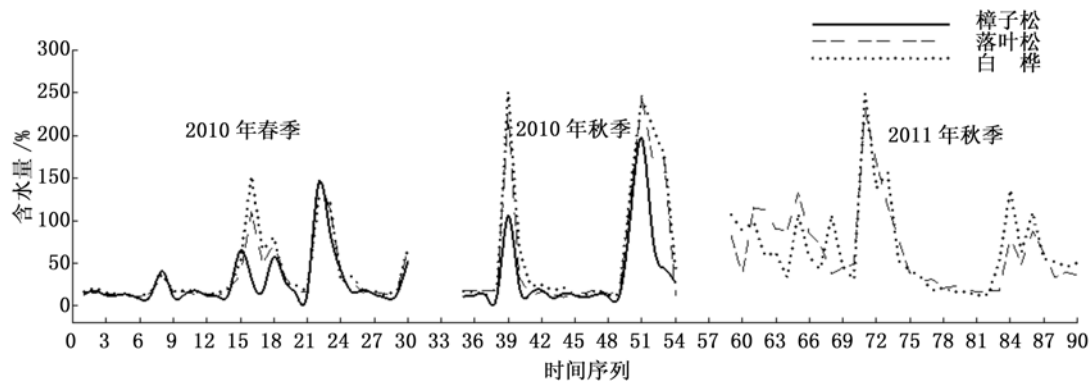


图1 3种林分地表凋落物含水率动态图

2.2 3种林分凋落物含水率对气象时长的响应和预测模型

表2给出了气象因子与凋落物含水率之间的 Pearson 相关系数。不同林型凋落物含水率的影响因子不同。从相关系数大小上看,对于春季和秋季,凋落物含水率与湿度和降水有着密切的关系,而且与前2天的平均相对湿度和前48小时的降水量关系最密切。这种与前2天的降水和空气湿度的密切关系表明可燃物含水率对这些气象要素的响应具有明显的滞后现象。前24 m ($m=1\sim3$)降水量、前 n ($n=1\sim5$)降水量之和、前 n 天平均相对湿度与含水率相关性较强, n 天前当日平均湿度和连旱天数对可燃物含水率也有影响,但不如前3类因子更普遍,而气温和风速与含水率相关性较差。

可燃物含水率对气象因子的响应有一个滞后过程,主要是对温湿度变化的响应,对于降水,因为本文缺乏具体的降水开始时间和持续时间,无法判断其时滞情况,降水能够迅速改变可燃物床层的含水

率,其导致可燃物含水率的增加具有一定的持续性,在一定天气条件下,可燃物含水率不会马上降到降水前水平,因此,可燃物含水率与降水具有明显的时滞性,对于本文的3种林分,与前2天的降水关系更密切,即一般条件下,降水对可燃物含水率的影响可持续两天。

图2和图3给出了春秋两季3种凋落物含水率与当日湿度和前两天降水量的散点图,以分析含水率与这些要素间关系的数学形式。从中可见,春季,凋落物含水率与相对湿度的关系更符合指数函数形式,与降水量的关系呈具有渐近线的曲线形式,反映了含水率对降水的响应具有饱和效应。秋季,含水率与相对湿度和降水都呈现线性关系,这是因为秋季降水少,没有呈现出饱和效应。这说明,在建立气象要素可燃物含水率预测模型时,对春季数据,空气相对湿度可采取指数项,而不是常用的线性项。对于降水量,春季可采取有渐近线的函数来逼近,秋季,则可采用线性形式来拟合。

表2 死可燃物含水率与气象因子的 Pearson 相关系数

气象因子	樟子松	落叶松	白桦
日最高气温	-0.329 *	-0.353 *	-0.372 **
日最低气温	-0.089	-0.17	-0.183
日降水量	0.582 **	0.295 **	0.257 *
前24小时降水量和	0.548 **	0.455 **	0.413 **
前48小时降水量和	0.637 **	0.599 **	0.561 **
前72小时降水量和	0.558 **	0.515 **	0.484 **
前1天降水量和	0.536 **	0.353 **	0.358 **
前1天平均相对湿度	0.681 **	0.566 **	0.535 **
前1天平均气温	-0.164	-0.253 *	-0.259 *
前1天平均风速	-0.207	-0.212	-0.155
前2天降水量和	0.481 **	0.319 **	0.319 **
前2天平均相对湿度	0.753 **	0.598 **	0.590 **
前2天平均气温	-0.161	-0.255 *	-0.261 *
前2天平均风速	-0.288 *	-0.246 *	-0.187
前3天降水量和	0.380 **	0.223 *	0.216
前3天平均相对湿度	0.530 **	0.468 **	0.442 **
前3天平均气温	-0.106	-0.216	-0.216
前3天平均风速	-0.296 *	-0.262 *	-0.224 *
前4天降水量和	0.289 *	0.159	0.159
前4天平均相对湿度	0.564 **	0.429 **	0.412 **
前4天平均气温	-0.12	-0.223	-0.228 *
前4天平均风速	-0.335 *	-0.235 *	-0.201
前5天降水量和	0.22	0.201	0.18
前5天平均相对湿度	0.459 **	0.517 **	0.521 **
前5天平均气温	-0.088	-0.201	-0.229
前5天平均风速	-0.183	-0.177	-0.182
2天前当日平均温度	-0.058	-0.175	-0.192
2天前当日平均湿度	0.376 **	0.453 **	0.454 **
2天前当日平均风速	-0.083	-0.031	-0.045
2天前当日降水量	0.187	0.25	0.21
3天前当日平均温度	-0.082	-0.172	-0.186
3天前当日平均湿度	0.268	0.402 **	0.392 **
3天前当日平均风速	-0.051	0.028	0.035
3天前当日降水量	0.012	0.022	0.048
4天前当日平均温度	-0.03	-0.159	-0.197
4天前当日平均湿度	0.013	0.101	0.113
4天前当日平均风速	-0.207	-0.273	-0.255
4天前当日降水量	-0.071	-0.001	-0.012
5天前当日平均温度	-0.026	-0.167	-0.206
5天前当日平均湿度	0.003	-0.018	-0.028
5天前当日平均风速	0.015	-0.012	0.008
5天前当日降水量	-0.134	-0.17	-0.158
连旱天数	-0.417 **	-0.377 **	-0.402 **

* 相关关系显著 ($P < 0.05$), ** 相关关系极显著 ($P < 0.01$).

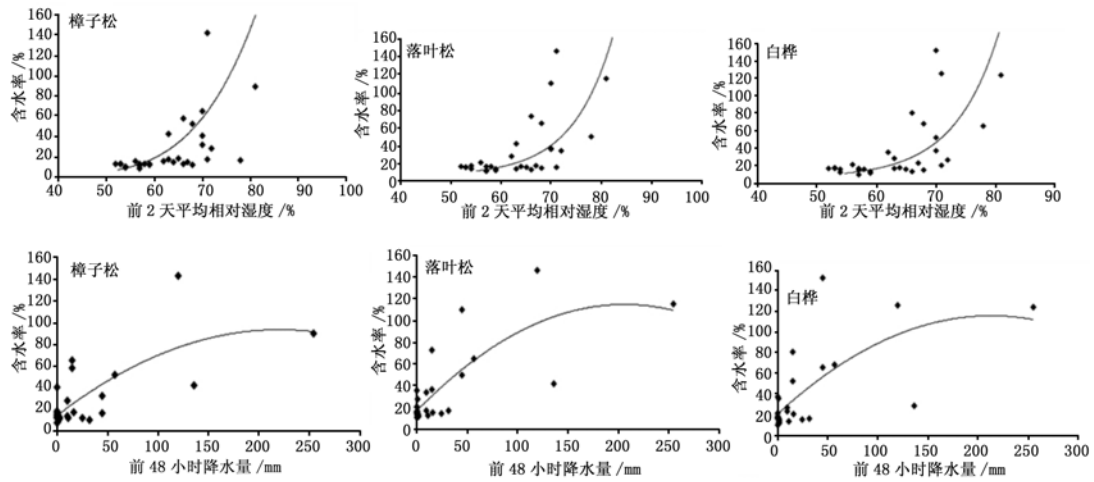


图 2 春季含水率与气象因子散点图

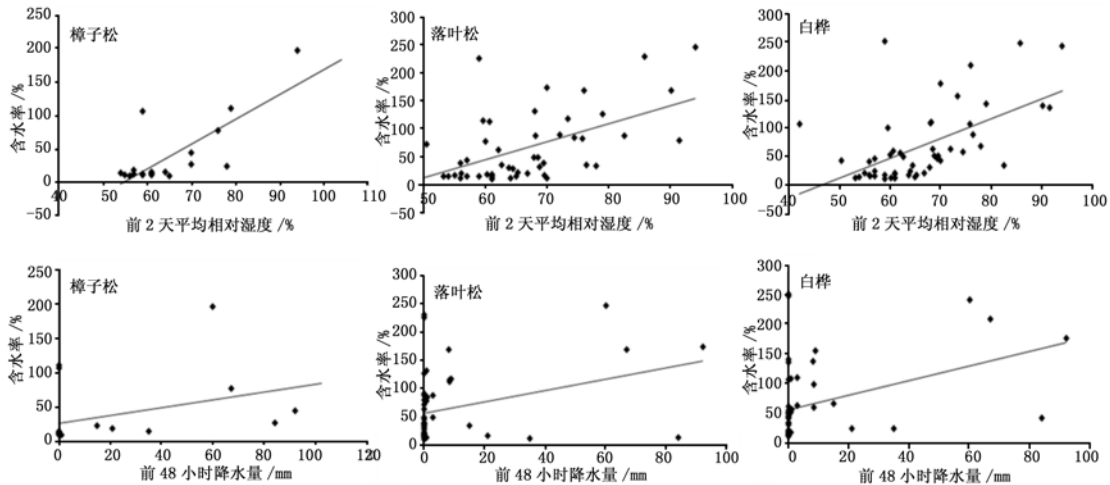


图 3 秋季含水率与气象因子散点图

表 3 给出了利用上述影响因子进行可燃物含水率预测的模型。对于春季防火期数据,采用线性和非线性两种,其中相对湿度采用指数项,降水采用二次抛物线形式,因为在一定的定义域内,抛物线可以

近似于有渐近线的函数。对于秋季只采用线性形式。从中可见,采用非线性的处理,模型精度得到提高。

表 3 两种形式地表死可燃物含水率预测模型

林型	季节	方程类型	方程	调整后决定系数 R^2	MAE /%
樟子松	春季	线性	$Y = 66.878 + 0.425R_{a1} + 0.278R_{c2} + 1.335H_{a4}$	0.848	6.9
		非线性	$Y = 5.780 + 0.00013e^{0.098Ha2} + 0.0009R_{a1} + 0.219R_{a2}$	0.906	5.8
落叶松	秋季	线性	$Y = -280.015 + 4.856H_{a2}$	0.657	21
		非线性	$Y = -124.245 + 0.351R_{c3} + 2.332H_{a2}$	0.807	11
白桦	春季	线性	$Y = 10.191 + 0.00003e^{0.2Ha2} + 0.0001R_{a1} + 0.196R_{a2}$	0.874	8.1
		非线性	$Y = 16.422 + 1.844R_{c2} + 1.467R$	0.834	14
白桦	秋季	线性	$Y = -174.931 + 3.206H_{a2} + 0.528R_{a1}$	0.715	12.8
		非线性	$Y = 8.352 + 0.0003e^{0.169Ha2} + 0.0007R_{a1} + 0.0039R_{a2}$	0.811	10.9
		线性	$Y = 30.674 + 2.373R_{c2}$	0.691	30.5

R : 日降水量和 (mm); R_{a1} : 前 1 天降水量和 (mm); R_{a2} : 前 2 天降水量和 (mm); R_{c2} : 前 48 小时降水量和 (mm); R_{c3} : 前 72 小时降水量和 (mm); H_{a2} : 前 2 天平均相对湿度 (%); H_{a4} : 前 4 天平均相对湿度 (%).

3 讨论

在春秋两季两个防火期中,黑龙江省大兴安岭地区落叶松、樟子松和白桦3种林分的凋落物含水率无降水时,在20%左右浮动。有降水时,春季最高达150%,秋季达250%。与当日相对湿度和前两日降水量有关,春季的含水率与相对湿度具有指数性的关系,与降水量呈现具有渐近线的函数关系,而秋季与相对湿度和降水都呈线性关系,具有一定的滞后性,与空气温度和风速无直接关系。进行含水率预测时,只需采用湿度和降水量两个变量即可。对于春季,采取非线性组合的模型比线性模型精度高,而秋季则采用多元线性形式。

本文所揭示的春季凋落物含水率与湿度和降水的关系形式与现有的一些研究和常用的回归方程不同。现有的回归方程中对于可燃物含水率与降水和相对湿度等多直接采用线性方式处理,本文研究揭示采用指数或具有渐近线的函数可能更合适,这有助于改进气象要素回归法预测可燃物含水率的准确性。结果也证明,采用非线性的形式能够改变模型预测精度。与本区相关的一些模型,如杜秀文等^[9]、居恩德等^[10]、王瑞君等^[2]、薛煜^[19]只给出了模型的 R 值,没有给出预测误差,覃先林^[12]模型只给出了个别预测误差,没有给出 MAE 值。因此,从精度上无法与这些模型进行比较。但本模型只使用了2个变量,主要是水分变量,在使用时要比其他模型方便。由于统计模型的自身局限性,该模型应主要应用于黑龙江省大兴安岭地区的中幼林,在其他地区使用时应注意外推误差。

本文研究只研究了一年中春、秋两季可燃物含水率的动态。与历史气象记录比较,本研究的气象条件属于中等条件,因此,所反映的可燃物含水率动态只是平均水平,但给出了一般条件下可燃物含水率的数据。对于森林火灾而言,特别是重特大森林火灾,往往发生在气象条件明显偏离历史平均水平的条件,如降水显著偏少等。因此,今后,应进一步开展更多时间尺度的同类研究,以对地表凋落物含水率的动态具有更准确的了解。

参考文献:

[1] 邸雪颖,王宏良. 林火预测预报[M]. 哈尔滨:东北林业大学出

版社,1993.

- [2] 王瑞军,于建军,郑春艳. 森林可燃物含水率预测及燃烧性等级划分[J]. 森林防火,1997(2):16-17.
- [3] 金森,李绪尧,李有祥. 几种细小可燃物失水过程中含水率的变化规律[J]. 东北林业大学学报,2000,28(1):35-38.
- [4] 刘曦,金森. 基于平衡含水率的森林可燃物含水率预测方法的研究进展[J]. 林业科学,2007,43(12):126-133.
- [5] Weidman R H. Relation of weather forecasts to the prediction of dangerous forest fire condition [J]. Monthly Weather Review, 1923, (11): 563-564.
- [6] Glsborne H T. Using weather forecasts for prediction forest fire danger [J]. Monthly Weather Review, 1925, (4): 121-122.
- [7] Ana Daria Ruiz González A C, Jose Antonio Vega Hidalgo B, Juan Gabriel Alvarez Gonzalez A. Construction of empirical models for predicting Pinus sp. dead fine fuel moisture in NW Spain. I: Response to changes in temperature and relative humidity [J]. International Journal of Wildland Fire, 2007, 18:71-83.
- [8] Stuart Matthews A, Jim Gould A, Lachie McCaw. Simple models for predicting dead fuel moisture in eucalyptus forests [J]. International Journal of Wildland Fire, 2010, 19:459-467.
- [9] 杜秀文,李茹秀,王英杰. 几种森林类型可燃物含水率与气象因子关系的分析[J]. 东北林业大学学报,1988,16(3):87-90.
- [10] 居恩德. 可燃物含水率与气象要素相关性的研究[J]. 森林防火,1993(1):17-21.
- [11] 张国防,林文革,花昆福,等. 杉木人工林地表易燃物含水率变化规律[J]. 福建林学院学报,2000,20(1):77-79.
- [12] 覃先林,张子辉,易浩若,等. 一种预测森林可燃物含水率的方法[J]. 火灾科学,2001,10(3):37-40.
- [13] 高永刚,张广英,顾红,等. 森林可燃物含水率气象预测模型在森林火险预报中的应用[J]. 中国农学通报,2008,24(9):181-185.
- [14] 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]. 林业科技开发,2009,23(3):59-62.
- [15] 胡海清. 大兴安岭原始林区林木火疤的研究[J]. 自然灾害学报,2003,12(4):68-72.
- [16] 胡海清,赵致奎,王晓春,等. 基于树轮火疤塔河蒙山樟子松林火灾的频度分析[J]. 生态学报,2010,30(23):6372-6379.
- [17] 于宏洲,金森,邸雪颖. 以小时为步长的大兴安岭兴安落叶松林地表可燃物含水率预测模型[J]. 应用生态学报,2013,24(6):1565-1571.
- [18] 何忠秋. 塔河林业局几种可燃物类型生物量及含水量动态模型的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,1992.
- [19] 薛煜. 落叶松人工林内可燃物载量、含水率与森林燃烧性关系的研究[J]. 森林防火,1996(4):21-23.
- [20] 刘志华,常禹,陈宏伟. 基于遥感、地理信息系统和人工神经网络的呼中林区森林蓄积量估测[J]. 应用生态学报,2008,19(3):487-493.