

气候变暖背景下内蒙古大兴安岭林区森林 可燃物干燥状况的变化

赵凤君, 舒立福*, 田晓瑞, 王明玉

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091)

摘要:可燃物湿度是评价林火发生危险程度的最直接指标。林火的发生和蔓延很大程度上受气象条件的制约, 气候变暖对林火产生重要影响。利用每日气象数据和加拿大火险天气指数系统(FWI), 计算了 1972~2005 年内蒙古大兴安岭林区森林可燃物的 3 个湿度码, 即细小可燃物湿度码(FFMC)、半腐层湿度码(DMC)和干旱码(DC); 并分别春季防火期、秋季防火期及夏季非防火期, 研究了 3 个湿度码长时间序列的变化趋势, 在此基础上分析了气候变暖背景下林区可燃物干燥状况的变化及对林火的影响。结果表明: 1972~2005 年 FFMC、DMC 和 DC 的季节性均值都呈增加趋势, 且夏季 FFMC 和 DMC 增加趋势显著; 这意味着 1972~2005 年可燃物的干燥状况呈增加趋势, 其中夏季非防火期表层和半腐层可燃物的增加趋势显著。可燃物干燥状况的增加, 特别是夏季可燃物干燥状况的增加, 是近些年林区夏季雷击火灾频发的主要原因之一。半腐层和深层可燃物干燥状况的增加, 会加大火灾控制和火场清理的难度。在未来更暖的气候条件下, 林区可燃物的干燥状况会变得更加严峻。

关键词:气候变暖; 可燃物干燥状况; 细小可燃物湿度码; 半腐层湿度码; 干旱码; 大兴安岭

文章编号: 1000-0933(2009)04-1914-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

The changes of forest fuel dryness conditions under global warming in Inner Mongolia Daxing'anling forest region

ZHAO Feng-Jun, SHU Li-Fu*, TIAN Xiao-Rui, WANG Ming-Yu

Forest Protection Laboratory of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1914~1920.

Abstract: Fuel moisture content is a good index to assess fire potential. Fire occurrence and spread are limited by meteorological conditions on large degree, and global warming have influences on forest fires. By using daily meteorological data and Canadian Fire Weather Index (FWI) System, three fuel moisture codes had been calculated during 1972–2005 for Daxing'an mountains in Inner Mongolia, such as Fine Fuel Moisture Code (FFMC), Duff Moisture Code (DMC), Drought Code (DC). Long-time trends of moisture codes and its effects on fire occurrence and spread were analyzed respectively in spring fire-prevention period, autumn fire-prevention period and summer non-fire-prevention period. The results show that the seasonal averages of FFMC, DMC and DC have an increasing tendency during 1972–2005, and FFMC, DMC increased significantly in summer. That means the fuel-dryness conditions during 1972–2005 had an increase-tendency and especially expressed in surface-layer and upper-duff layer fuel in summer. The fuel-dryness condition changes may be a reason for frequent lightning fires especially in summer in recent years. In addition, the duff fuel-dryness severity increased fire control and mop-up difficulties. In future, the fuel-dryness conditions in Daxing'anling forest region will become more severe under a warmer climate.

基金项目: 林业公益性行业科技专项资助项目(200804001); 国家“十一五”科技支撑资助项目(2007BAC03A02)

收稿日期: 2007-12-20; 修订日期: 2008-06-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shulf@caf.ac.cn

Key Words: global warming, forest fuel dryness conditions, FFMC, DMC, DC, Daxing'an mountains

森林中的一切有机物都属于可燃物,可燃物湿度是判定森林火灾发生危险程度的最直接指标;可燃物越干燥,越容易被引燃,火蔓延速度越快,火强度越大^[1]。加拿大火险天气指数(FWI)系统用3个湿度码来表示3类不同干燥速率森林可燃物的湿度,分别为细小可燃物湿度码(FFMC)、半腐层湿度码(DMC)和干旱码(DC),码值越高表示可燃物越干燥。FWI系统是当前世界上发展最完善、应用最广泛的森林火险天气指数系统之一,20世纪80年代我国大兴安岭林区曾引进FWI系统用于林火管理,Stocks等^[2]通过对比分析,肯定了该系统在我国的适用性。

森林火灾的发生和蔓延很大程度上受气象和气候条件的制约^[3],全球气候变暖会对林火的发生和蔓延产生重要影响^[4]。Kasischke等^[5]对北美森林,Girardin等^[6]对加拿大Ontario省北方林,Mollicone等^[7]等对俄罗斯原始林,Pausas^[8]等对地中海盆地伊比利亚半岛森林,Williams等^[9]等对澳大利亚桉树林,Reinhard等^[10]等对瑞士南部Ticino林区的研究中都得出了近些年来林火发生频率增加的结论。雷击火是一种主要的自然火源,特别是干雷暴,当前的气候变暖使阿拉斯加地区的雷击火源增加^[11],并因此而导致该地区林火发生数量和火面积的增加。

内蒙古大兴安岭林区是我国的重点国有林区,位于我国气候变暖最剧烈的区域之一^[12],近些年来森林火灾特别是夏季雷击森林火灾有增多趋势^[13]。本文拟从长时间序列可燃物湿度码变化的角度,研究气候变暖背景下林区可燃物干燥状况的变化,从而探索气候变暖背景下该林区森林火灾的发展趋势。

1 研究地区概况

内蒙古大兴安岭林区位于内蒙古自治区东北部,地理坐标E119°36'20"~125°19'50",N47°03'40"~53°20'00"。大兴安岭山脉纵贯全林区,呈东北-西南走向,构成山地丘陵地形。由于地势平缓,山间有较宽的河谷,形成大面积沟塘草甸,是林区最易燃烧的地段,也是林火的主要策源地。

林区总面积896万hm²,森林覆盖率(80.5%),是国家一类重点火险区。林区属寒温带大陆性季风气候,冬季漫长而严寒,夏季短暂而炎热;年降水量300~500mm,集中于7~8月份,约占全年的80%~90%;主风为西北风,年均风速1.6~3.1m/s,由于春秋季节干旱风大,特别是春季5级风(8.0~10.7m/s)以上的大风日数多,易发生林火。

一直以来,林区的春季防火期从3月15日开始至6月15日结束,秋季防火期从9月15日开始至11月15日结束。林区内的火源分为两类,人为火源和自然火源。自然火源主要指雷击火源,春夏之交时,因冷锋过境,林区内常形成干雷暴而引燃雷击火;雷击火也可能在长期干旱的夏季发生。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

1972~2005年每日气象数据来自中国气象科学数据共享服务网。由于FWI系统^[14]根据点状天气观测结果预测森林火险状况(如气象台站),因此本文选取了7个气象台站,做为林区不同经度、不同纬度及不同坡向的代表。各台站基本情况见表1。

2.2 FFMC、DMC和DC的计算

FFMC是反映地表凋落层细小可燃物(针叶、苔藓和直径小于1cm的小枝)湿度的数量指标。FFMC代表可燃物载量为5t/hm²的凋落层上部1~2cm处的可燃物状况,它受温度、风速、相对湿度和降雨的影响。由于直接暴露于环境中,细小可燃物的表面积比大,随气象因素变化迅速,变干或变湿所需的时滞仅为16h。通常火开始于细小可燃物,FFMC可以很好地指示点燃难易程度或点燃概率。

DMC代表5~10cm深处半腐层的湿度状况。半腐层是有机物分解形成的具有松散结构的可燃物层,该层可燃物有较高的含水能力,变干或变湿所需的时滞为12d。由DMC值所确定的半腐层可燃物是火头发展的主要可燃物供应源,其水分含量在很大程度上决定了林火的强度。DMC受降雨、温度和相对湿度的影响,

但不受风速影响;通常雷击引起腐殖质层阴燃,DMC 又常常用于预测雷击火的发生概率。

表 1 气象台站基本情况表
Table 1 Descriptions of weather stations

台站名 Name	东经 Longitude(°)	北纬 Latitude(°)	地理位置 Location
漠河	122.52	52.97	大兴安岭北麓 Northern foot of Daxing'anling Mountains
额右	120.18	50.25	大兴安岭西坡 Western slope of Daxing'anling Mountains
图里河	121.68	50.48	大兴安岭西坡 Western slope of Daxing'anling Mountains
加格达奇	124.12	50.40	大兴安岭东坡 Eastern slope of Daxing'anling Mountains
小二沟	123.72	49.20	大兴安岭东南坡 South-eastern slope of Daxing'anling
博克图	121.92	48.77	大兴安岭南麓 Southern foot of Daxing'anling Mountains
阿尔山	119.95	47.17	大兴安岭西南麓 South-western foot of Daxing'anling Mountains

DC 代表 10 ~ 20cm 处深层落叶层的湿度状况。深层落叶层由细密的有机物组成,该层可燃物具有很高的含水能力,变干或变湿所需的时滞长达 52d。DC 对季节性干旱很灵敏,DC 值可用作评估地下火是否发生,及火场清理和控制难易程度的指标。

FFMC、DMC 和 DC 的计算要求输入的因子为每日 14:00 时的气温(T)、风速(W)、空气相对湿度(H)及每日降水量(R),共有 32 个计算公式,其中关键性计算公式^[15]如下:

$$FFMC = 59.5(250 - m)/(147.2 + m) \quad (1)$$

$$DMC = P_0(\text{or } P_r) + 100K \quad (2)$$

$$DC = D_0(\text{or } D_r) + 0.5V \quad (3)$$

式中, $m, K, P_0, P_r, D_0, D_r, V$ 可由 T, W, H 和 R 计算得到,含义如下:

m 为干燥后的细小可燃物水分含量; K 为与 DMC 有关的半腐层干燥速率的对数 $\log_{10} m/d$; P_0 为前一天的 DMC; P_r 为雨后的 DMC; D_0 为前一天的 DC; D_r 为雨后的 DC; V : 可能蒸发量。

对于 3 个湿度码的计算,FWI 系统要求输入每日 14:00 时定时观测数据,但长时间序列的定时值数据不易获得,中国气象科学数据共享服务网提供了 1972 ~ 2005 年每日的日最高气温、日降水量、日最大风速和日最小相对湿度数据。由于日最高气温和日最小相对湿度总是出现在每日 14:00 时前后,赵凤君^①利用日最高值数据和每日 14:00 时的定时值数据,分别计算了湿度码值,并对计算结果进行了相关分析。结果显示:分别由两种数据计算的 FFMC、DMC 和 DC 值的决定系数 R^2 分别为:0.9467、0.9975 和 0.9993。由此可见,利用日最高值数据计算湿度码值是可行的,特别是对于 DMC 和 DC。

2.3 数据整理汇总

大兴安岭林区森林火灾的发生具有非常明显的年规律性:冬季因枯枝落叶和枯草被雪覆盖一般不会发生森林火灾;春季,气温逐渐升高、积雪融化、枯枝落叶和杂草裸露,且春季风大,是发生森林火灾最多的季节;随着气温继续上升,进入夏季,同时也进入林区的雨季,植物开始生长,体内水分较多,因此夏季火灾不易发生;秋季来临,气温下降,植物停止生长,树木大量落叶,降水量减少,火灾增多,但一旦降雪覆盖住地被物就进入冬季,一般不再有火灾发生^[16]。因此,一直以来林区每年的防火期分为两段,春季从 3 月 15 日开始至 6 月 15 日结束,秋季从 9 月 15 日开始至 11 月 15 日结束,期间为夏季非防火期。但近些年来,夏季雷击森林火灾有增多趋势^[13]。结合林区森林火灾的年发生规律及当前火灾发生状况,本文在进行可燃物干燥状况变化研究时,分别 3 个时段分别计算各湿度码的季节性平均值:春季防火期(3 月 15 日 ~ 6 月 15 日)、夏季非防火期(6 月 16 日 ~ 9 月 14 日)和秋季防火期(9 月 15 日 ~ 11 月 15 日)。

3 结果与分析

3.1 细小可燃物湿度码 FFMC

图 1 中,折线分别表示 7 个气象台站 FFMC 季节性均值随年份的变化,直线为所有台站 FFMC 季节性均

① 赵凤君. 气候变化对内蒙古大兴安岭林区森林火灾的影响研究. 博士学位论文, 2007.

值的平均值的线性回归趋势线。

由图 1,图中 7 条折线的变化虽然存在一定的差异,但却具有相同的变化趋势。图 1(a) 和图 1(c) 中,1972~2005 年间春季和秋季 FFMC 呈缓慢增加趋势,最后 5aFFMC 的平均值分别比最初 5a 增加了 0.8% 和 1.2%,但其增加趋势未达到显著水平。图 1(b) 中,1972~2005 年间夏季 FFMC 呈显著增加趋势,2001~2005 年间增加幅度最大,最后 5 年 FFMC 的平均值比最初 5 年增加了 4.8%,这将导致夏季林火发生概率的增加。

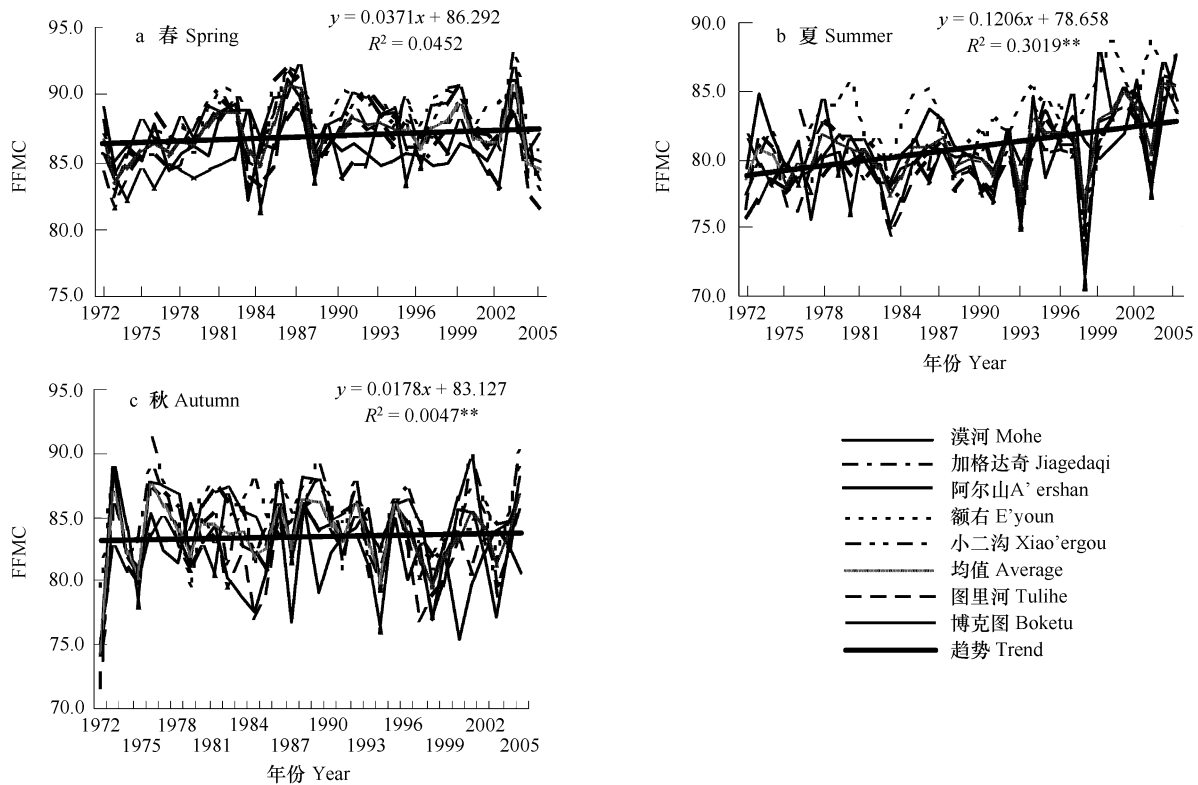


图 1 1972~2005 年春、秋和夏季 FFMC 的均值

Fig. 1 FFMC average of spring, autumn and summer during 1972~2005

** 显著性水平 $p < 0.01$, $N = 34$ ** Marked correlations are significant at $p < 0.01$ ($N = 34$)

3.2 半腐层湿度码 DMC

图 2(a) 和图 2(c) 中,1972~2005 年间春季和秋季 DMC 呈增加趋势,最后 5a DMC 的平均值分别比最初 5a 增加了 14.1% 和 30.6%,但增加趋势未达到显著水平。虽然春、秋季 DMC 的增加趋势未达到显著水平,但由图 2 可看出,气候变暖背景下近些年来 DMC 年际间波动性明显增大,这会导致林区某些年份某些区域的半腐层可燃物干燥状况严峻,增加大面积森林火灾发生的可能性。

图 2(b) 中,1972~2005 年间夏季 DMC 均值呈显著增加趋势,其中 2001~2005 年增加幅度最大,最后 5a DMC 的平均值比最初 5a 增加了 47.0%,这说明气候变暖背景下,近些年来林区夏季非防火期半腐层可燃物干燥状况大大增加,其干燥状况的增加程度大于春季和秋季。

3.3 干旱码 DC

图 3(a)、图 3(b) 和图 3(c) 中,1972~2005 年间春季、秋季和夏季 DC 都呈缓慢增加趋势,最后 5a DC 的平均值分别比最初 5a 增加了 2.5%、10.1% 和 15.4%,但增加趋势都未达到显著水平。虽然增加趋势未达到显著水平,但由图 3 可明显看出,近些年来 DC 年际间波动性明显增大,这说明林区在某些年份某些区域深层可燃物的干燥状况加剧,地下火发生的可能性增加,并且火灾一旦发生,火场清理和火灾控制的难度加大。由图 3(a)、图 3(b) 和图 3(c),气候变暖背景下夏季 DC 的变化趋势较春、秋季更明显,且夏季最近 5a 的增加幅度也大于春季和秋季。

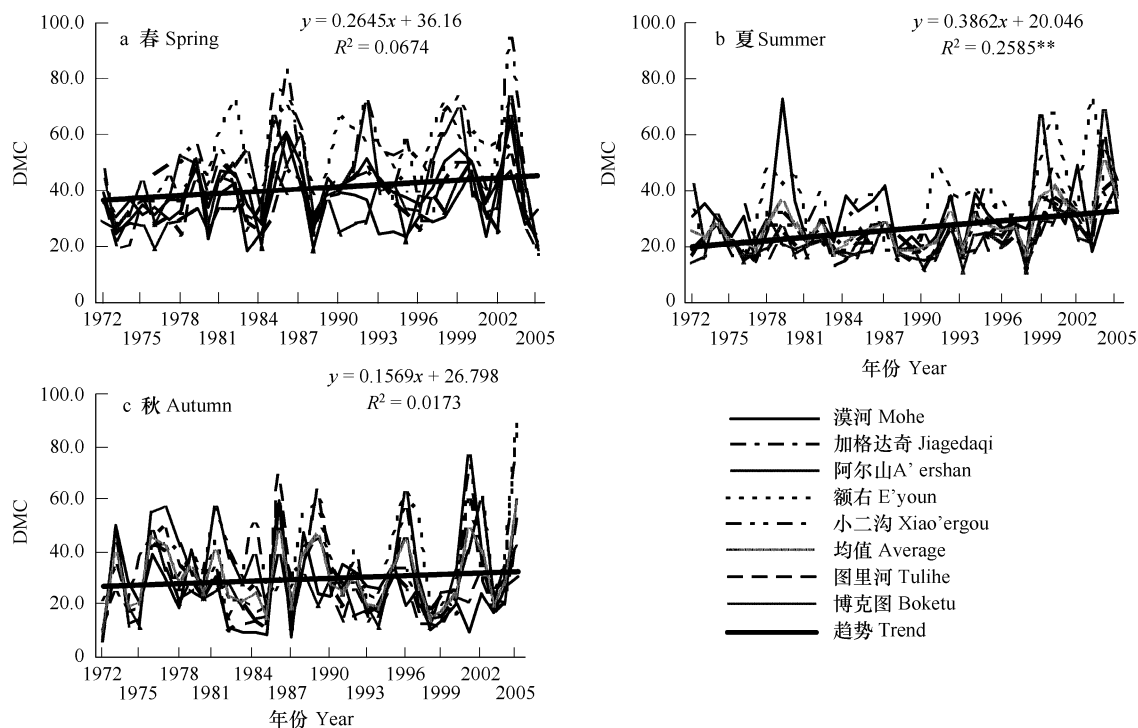


图2 1972 ~ 2005 年春、秋和夏季 DMC 的均值

Fig. 2 DMC average of spring, autumn and summer during 1972 ~ 2005

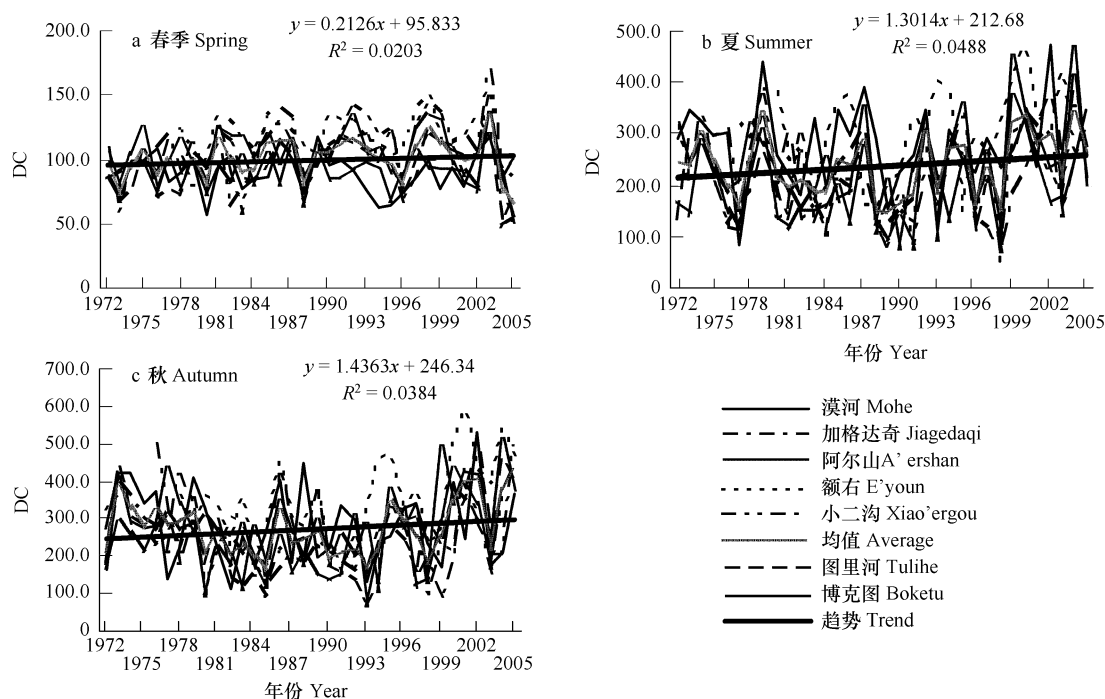
** 显著性水平 $p < 0.01$, $N = 34$ ** Marked correlations are significant at $p < 0.01$ ($N = 34$)

图3 1972 ~ 2005 年春、秋和夏季 DC 的均值

Fig. 3 DC average of spring, autumn and summer during 1972 ~ 2005

4 结论与讨论

1972 ~ 2005 年春季、秋季防火期和夏季非防火期 FFMC、DMC 和 DC 的季节性均值都呈增加趋势,且夏季

FFMC 和 DMC 增加趋势显著。表明气候变暖背景下,近些年来林区可燃物的干燥状况呈增加趋势。总体上讲,夏季可燃物干燥状况增加趋势较春、秋季幅度大,且已达到显著水平。虽然春秋季 3 个湿度码的增加趋势都未达到显著水平,但由图 1、图 2 和图 3 可明显看出,近些年来各湿度码的年际间变化波动性很大,使得某些年份春秋季的可燃物干燥状况也是非常严峻。气候变暖背景下林区可燃物干燥状况的加剧,增加了林火被引燃的可能性,加大了大面积森林火灾和地下火发生的概率,并且林火一旦发生,火场清理和火灾控制的难度会增大。

由图 1、图 2 和图 3 可看出,7 个气象台站的湿度码变化具有相同的增加趋势,但台站间存在一定的差异,位于大兴安岭北部林区的漠河及位于大兴安岭西坡北部区域的额右和图里河是增加趋势最明显的台站,这表明该区域的可燃物干燥状况较其它地区变化幅度大,这会导致该区域火灾发生频度的增加和火强度的增大,2002 年“7·28”特大森林火灾就发生在这个区域。

气候变暖背景下,近些年来夏季可燃物干燥状况变化显著的原因有两个,一是夏季气温增加的幅度大于春季和秋季,另一方面夏季降水量明显较前些年减少^①,在高温少雨的情况下,林区夏季可燃物变得异常干燥,这是近些年来夏季森林火灾频繁发生的主要原因。

气候变暖背景下,3 个湿度码中 DMC 的增加幅度最大,春季、秋季和夏季最后 5a DMC 的平均值分别比最初 5a 增加了 14.1%、30.6% 和 47.0%。DMC 是半腐层湿度码,半腐层可燃物(5~10cm 深处)是火头发展的主要可燃物供应源,其水分含量在很大程度上决定着林火的强度。DMC 增加幅度最大,表明当前的气候变暖对半腐层水分含量影响最大,半腐层可燃物比以前年份变得干燥易燃,这会增加大面积森林火灾发生的可能性及火灾扑救的难度。2006 年 5 月下旬,黑龙江省黑河市嫩江县嘎拉山、黑龙江大兴安岭地区松岭林业局砍都河、内蒙古牙克石市免渡河林业局的相继发生了 3 起特大雷击火灾,半腐层可燃物异常干燥引起的火强度增大和火灾扑救难度加大是酿成这 3 起特大森林火灾的主要原因之一。

干旱码 DC 的增加幅度小于 DMC 的增加幅度,表明当前已发生的气候变暖对深层可燃物水分含量的影响还小于半腐层可燃物,如果气候变暖趋势持续发展,DC 均值的增加幅度还会上升。

总之,在气候持续变暖背景下,1972~2005 年林区春季、秋季防火期和夏季非防火期表层可燃物、半腐层可燃物及深层可燃物的干燥状况都呈增加趋势,其中夏季非防火期表层可燃物和半腐层可燃物的增加趋势已达到显著水平。在未来更暖的气候条件下,林区可燃物的干燥状况会更加严峻,森林防火管理部门应充分认识到可燃物的这种变化,在森林火灾预测预报和扑火指挥等方面制定出合理的应对策略,以减少因森林火灾而导致的森林资源损失和人员伤亡。

大兴安岭林区是北方林在我国境内的延伸,北方林对气候变暖尤为敏感,北方林内因气候变暖导致的火灾频度呈增加趋势^[17-19],本文的研究结果与此相符。加拿大学者在研究气候变化对森林火灾的影响时直接采用 *FWI* 指数^[20],*FWI* 指数是 *FWI* 系统的最终指标,它表示单位火线长度上的能量释放率。研究表明,气候变暖背景下 *FWI* 指数呈增加趋势,且预期 2 倍或 3 倍 CO_2 浓度情景下 *FWI* 显著增加^[21,22]。湿度码是 *FWI* 计算过程中的中间量,它们表示不同干燥速率可燃物的湿度情况,对于它们在气候变暖背景下的长期变化趋势,国内外还鲜有文献报导。本文从可燃物干燥状况长期变化趋势的角度出发研究气候变化对森林火灾的影响,可以更好地探索气候变暖导致北方林火灾频发的原因。

References:

- [1] Song Z J. Forest Fire Theory and Forest Fire Forecast. Beijing: Meteorological Press, 1991. 99—156.
- [2] Stocks B J T, Lynham J. Suitability of the Canadian Forest Fire Danger Rating System for use In the DAXIN GAN LING forestry management bureau Heilongjiang Province, China. Report to the Ontario, 1987.
- [3] Lin Q D, Shu L F, He F. Introduction to Forest Fire. Hefei: Publishing House of China Science & Technology University, 2003, 142—154.

① 赵凤君. 气候变化对内蒙古大兴安岭林区森林火灾的影响研究. 博士学位论文, 2007.

- [4] Tian X R, Shu L F, Wang M Y, *et al.* Review on the Researches of Forest Fire and Climate Change. *World Forestry Research*, 2006, 19(5): 38—42.
- [5] Kasischke E S, Turetsky M R. Recent Changes in the Fire Regime across the North American Boreal Region-Spatial and Temporal Patterns of Burning across Canada and Alaska. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, 33(L09703).
- [6] Girardin M P, Tardif J, Flannigan M D. Temporal Variability in Area Burned for the Province of Ontario, Canada, during the Past 200 Years Inferred from Tree Rings. *J. Geophys. Res.*, 2006, 111(D17108).
- [7] Mollicone D, Eva H D, Achard F. Ecology: human role in Russian Wild Fires. *Nature*, 2006, 440: 436—437.
- [8] Pausas J G. Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change*, 2004, 63: 337—350.
- [9] Williams A J, Karoly D J, Tapper N. The Sensitivity of Australian Fire Danger to Climate Change. *Climatic Change*, 2001, 49(1-2): 171—191.
- [10] Reinhard M, Rebetez M, Schlaepfer R. Recent Climate Change: Rethinking Drought in the Context of Forest Fire Research in Ticino, South of Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology*, 2005, 82(1-2): 17—25.
- [11] Lynch J A, Hollis J L, Hu F S. Climatic and Landscape Controls of the Boreal Forest Fire Regime: Holocene Records from Alaska. *Journal of Ecology*, 2004, 92(3): 477—489.
- [12] Ding Y H, Ren G Y, Shi G Y, *et al.* National Assessment Report of Climate Change(I): Climate Change in China and Its Future Trend. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3—8.
- [13] Li S M. A Study on Reasons and Suggestions for Frequent Forest fire Occurred in Northern Heilongjiang Province. *Forest Fire Prevention*, 2006(2): 9—10.
- [14] Tian X R, Shu L F, Wang M Y. Study on Assessment of Beijing Forest Fire Danger. *Fire Safety Science*, 2006, 15(3): 150—158.
- [15] Van Wagner C E, Pickett T L. Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service Government of Canada Forestry Technical Report 33, Ottawa, 1985.
- [16] Zheng H N. Forest Fire in Northeast China. Harbin: Northeast Forestry University Publishing House, 2000. 7—97.
- [17] Westerling A L, Hidalgo H G, Cayan D R, *et al.* Warming and Earlier Spring Increase Western U. S. Forest Wildfire Activity. *Science*, 2006, 313(5789): 940—943.
- [18] Johnson E A, Larsen C P S. Climatically Induced Change in Fire Frequency in the Southern Canadian Rockies. *Ecol.*, 1991, 72(1): 194—201.
- [19] Flannigan M D, Wagner C E V. Climate Change and Wildfire in Canada. *Can. J. For. Res.*, 1991, 21(1): 66—72.
- [20] Stocks B J, Fosberg M A, Lynham T J, *et al.* Climate Change and Forest Fire Potential in Russian and Canadian Boreal Forests. *Clim. Change*, 1998, 38(1): 1—13.
- [21] Flannigan M D, Amiro B D, Logan K A, *et al.* Forest Fires and Climate Change in the 21st Century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11(4): 847—859.
- [22] Flannigan M D, Logan K A, Amiro B D, *et al.* Future Area Burned in Canada. *Climatic Change*, 2005, 72(1-2): 1—16.

参考文献:

- [1] 宋志杰. 林火原理和林火预报. 北京:气象出版社, 1991. 99—156.
- [3] 林其钊, 舒立福. 林火概论. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2003, 142—154.
- [4] 田晓瑞, 舒立福, 王明玉, 等. 林火与气候变化研究进展. *世界林业研究*, 2006, 19(5): 38—42.
- [12] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势. *气候变化研究进展*, 2006, 2(1): 3—8.
- [13] 李树铭. 黑龙江省北部林区森林火灾频发原因及对策分析. *森林防火*, 2006(2): 9—10.
- [14] 田晓瑞, 舒立福, 王明玉. 北京地区近两年春季森林火险对比研究. *火灾科学*, 2006, 15(3): 150—158.
- [16] 郑焕能. 中国东北林火. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 2000. 7—97.