

孙 龙,王千雪,魏书精,等. 气候变化背景下我国森林火灾灾害的响应特征及展望[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 12-17.
[Sun Long, Wang Qianxue, Wei Shujing, et al. Response Characteristics and Prospect of Forest Fire Disasters in the Context of Climate Change in China[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 12-17.]

气候变化背景下我国森林火灾灾害的 响应特征及展望*

孙 龙,王千雪,魏书精,胡海清,关 岛,陈祥伟

(东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要:系统阐述了气候变化对森林火灾灾害的影响,论述了当前发生的以气候变暖为主要特征的气候变化背景下,森林火灾灾害对气候变化的响应特征,重点剖析了火行为对气候变化的响应,火险天气与防火期对气候变化的响应,火周期对气候变化的响应。并提出了气候变暖背景下实现碳减排增汇效应的科学的林火管理策略与合理林火管理路径。最后对今后尚需加强的一些重点研究领域及发展方向进行了展望。

关键词:气候变暖;森林火灾灾害;火行为;火险天气;火周期;林火管理策略

中图分类号: P467; X43; S762.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)01-0012-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.01.003

0 引言

近 100 年来,全球气候正经历着一次以气候变暖为主要特征的显著变化。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告指出,最近 100 年(1906-2005 年)全球年均地表气温升高了 0.74℃。近十年来,气候变化引发了经济、社会与生态等诸多方面的严重问题,引起学术界以及国际社会的高度关注。随着全球气候持续变暖,极端天气事件发生会更加频繁,森林火灾灾害频率不断加重。

近年来,森林大火频繁发生,如 2007 年 8 月 23、24 日希腊两天连发 170 场森林大火,火灾面积占国土面积一半以上。2009 年 2 月,澳大利亚大火创下了 1908 年以来的历史纪录,死亡人数超过 230 人,受灾面积超过 $3.3 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[1]。随着气候变化的影响,我国近年来森林火灾频繁发生,火灾面积及强度加剧。2002 年以来,森林火灾发生有所增加,1999-2007 年年均火灾次数为 8 700 次,年均森林受害面积为 147 671 hm^2 ,2002-2007 年年均次数为 10 486 次,年均受害森林面积为 220 285 hm^2 ,相对于 1999-2002 年年均火灾次

数 6 468 次,年均受害森林面积为 56 905 hm^2 ,火灾次数增加了 62.12%,受害森林面积增加了 287.11%^[2]。从近年火灾数据显示,森林火灾次数、受害森林面积均有上升的趋势^[3]。当前和今后一段时期内,受气候变化影响,森林可燃物分布格局及载量均将发生显著变化,导致火险等级提高^[4]。

森林火灾灾害的防灾减灾是 21 世纪全球减灾战略实施的重点内容之一^[5]。然而随着全球气候持续变暖和干旱天气增加,在未来 20~100 年里,我国森林防火形势更为严峻。为此,加强气候变化与森林火灾灾害交互关系研究,尤其是森林火灾灾害对气候变化响应特征的研究,进一步把握森林火灾灾害对气候变化的响应特征,对制定科学合理的森林火灾灾害预防与管理策略,减少森林火灾灾害,提高碳减排效应,实现碳增汇效应,促进森林生态系统的可持续经营与发展均有重要意义。

1 气候变化对森林火灾灾害的影响

气候变化的主要特征就是暖干化,而森林火

* 收稿日期: 2013-07-08 修回日期: 2013-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31070544); 黑龙江省科技攻关重点项目(GA09B201-06); 霍英东基金基础项目(131029); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(DL12CA07)

作者简介: 孙龙(1976-),男,黑龙江五常人,副教授,博士,主要从事林火生态学研究。E-mail: sunlong365@126.com

通讯作者: 陈祥伟(1966-),男,吉林抚松人,教授,博导,主要从事林业生态工程和森林生态学研究。

E-mail: wxq890711@163.com

灾灾害的发生与气候暖干化有密切的联系^[6]。美国西部的火干扰研究表明,气候变化造成的有利火环境是林火发生的重要因素^[7-9]。气候变化在两个时间尺度上对森林火灾的发生发展产生影响:①在较长时间尺度内,气候变化对气候带产生影响,使植物的地理分布朝两极和高海拔地区推移,植被带发生移动,进而对可燃物积累和分布格局产生影响;②在较短时间尺度内,气象因子的急剧变化对火险天气、火灾行为等产生直接影响。

1.1 气象条件

大量研究结果表明温度、降水和风速是对林火发生、蔓延和火行为等有明显影响的三个主要气象因子^[10-12]。一般情况下,气温高、降水少、湿度小、风力大易发生森林火灾,并导致森林大火,引发森林火灾灾害^[1]。气候变化所引起的高温、干燥天气以及雷电数量的增加,使得地被可燃物蒸发量增大,导致火险程度升高。Amiro等^[13]研究发现气候变化导致降水量的减少和雷击火的增加。王明洁等^[14]研究表明气温高、湿度低、日照时间长、蒸发量大是森林火灾发生的重要气象条件。同时,气候变暖还导致极端气候事件发生的频率和强度增大,从而导致大量植被受损和死亡,为火灾的发生提供大量可燃物的积累,使得发生大面积和高强度森林火灾的可能性增大。

大部分森林火灾灾害都出现在当天最高气温前后两小时,说明火灾灾害的发生与最高气温有正相关性^[15]。居恩德^[16]研究了森林火灾与气温月变化的关系发现在0~10℃时发生森林火灾灾害的次数最多,这正是东北地区雪融、风大的干旱季节;在11~15℃时,树木返青,林火次数逐渐减少;在15℃以上时林火一般不易发生。但随着气候变化的影响,王明玉^[2]研究表明2002年以来,森林火灾灾害的发生有所增加,造成上升的主要原因是气候异常。

降水能直接影响可燃物的含水率。张林生等^[17]认为降水量及无雨日数的长短对森林火灾灾害起重要作用。一个地区的年降水量超过1500mm,且分布均匀,一般不会发生森林火灾或很少发生。张尚印等^[18]认为降水量大小及降水后干旱时间是决定森林火险等级的重要因子,降水量小,干旱持续时间长,易引起森林大火。1987年大兴安岭特大森林火灾就是在降水量减少的条件下发生的。自1985年起,连续两年少雨,漠河、阿木尔、塔河每年降水量以114~153mm的速度递减。1986年底漠河、阿木尔的降水量均小于5mm,比历年同期减少37%~46%^[19]。

随着温度升高,大风的发生几率亦会随之升

高,风不仅加速可燃物水分的蒸发促进干燥,还能补充火场氧气,使火烧的更旺更快^[19]。研究发现当风速小于2级时,有利于着火,但不助于蔓延,风速大于等于2级时,火场蔓延扩大,风速大于5级时,火场迅速扩大,大风起到重要作用^[18]。据大兴安岭15年林区资料统计,80%以上森林大火和特大火灾灾害是在5级风以上的大风天气条件下出现的^[20]。

1.2 森林可燃物

气候变暖主要通过影响可燃物的燃烧性和量的积累来影响火干扰的频率和强度。在全球变暖的影响下,森林可燃物的分布格局和特性也会发生相应的改变,伴随降水和气温的年际波动,进一步影响林火的发生与分布^[21]。气候变暖将导致部分地区植被带发生推移,在植被带迁移过程中,使得许多植被在适应新生境的过程中死亡和受损,从而导致可燃物的积累^[22-23]。气候变暖引起的气温上升,降雨格局的重新分配,风速的变化,导致长期干旱、高温和大风等火险性天气出现的频率上升,这亦直接影响可燃物的燃烧性^[19]。气候变暖还会通过影响可燃物的燃点、热值和挥发油含量等来影响森林的易燃性和燃烧性。干旱导致植物体内挥发油含量和油脂含量增加,增加可燃物的易燃性^[21]。Turtola等^[24]对在干旱胁迫下的苏格兰松研究发现,其挥发油含量和树脂含量比正常分别增加了39%和32%,大大增加了其易燃性和燃烧性。近年来在全球气候变暖大背景影响下,我国东北地区升温幅度较大,导致可燃物更加易燃,且可燃物载量大大增多^[25]。

1.3 火源

在全球变化背景下影响火源分布的机制是复杂多样的,是气象条件、植被类型和人为干扰等多种因素相互耦合的结果。近年来,全球变化导致雷击的发生次数和频率显著增加^[26],在美国,雷击频率的增加使得着火点数量增加了约40%^[27]。阿拉斯加地区随着气候变暖由雷击火源导致的火干扰明显增加^[28],并因此而导致该地区林火灾发生数量和火面积的增加。李兴华等^[29]认为随着温度升高、降水减少,火源亦增多,尤其是雷击火发生的次数明显增多。火源的增加主要是与干旱的气候条件导致干燥的森林可燃物密切相关。

2 森林火灾灾害对气候变化的响应

2.1 火行为对气候变化的响应

2.1.1 森林火灾蔓延

森林火灾蔓延是火行为的一个重要指标,主

要包括各个方向上的蔓延速度、火灾面积的扩展速度、周长增长的速度等。气象因子不仅影响可燃物的干湿程度,而且影响火的蔓延。研究表明:可燃物类型、含水率、环境的相对湿度、气温和风速等因素对林火蔓延有很大的影响。高温、干燥的气候会增加林火的蔓延速度和面积^[30]。干旱从多种途径对火行为产生深远影响,使深层及重型可燃物(原木、大树枝)变干,大大地增加了有效可燃物量,从而增加了蔓延速度和蔓延面积^[31]。冰雪灾害作为全球气候变化背景下的一种极端天气,可促进有效可燃物负荷量在短期内成倍地增长,可燃物厚度增加,连续性变强,导致森林火灾蔓延速度增加^[32]。随着全球气候变化异常加剧,造成的干旱可燃物增加,使得火灾蔓延速度增加,带来更严重的森林火灾灾害损失^[33]。

2.1.2 森林火强度

森林火强度是指森林可燃物燃烧时火的热量释放的速度。气候变化间接影响着森林火灾的强度。由于干旱季节的延长,夏季气温升高,可燃物量的增加,森林火灾灾害的强度也会加大^[34]。舒立福等^[35]研究得出当蔓延速度为定值时,火灾灾害强度与燃烧的可燃物量呈正比。随着温度升高,含水率的降低,创造出有利于火灾发生的条件,森林火灾灾害的强度亦增强^[34],王秋华等^[32]对火灾燃烧过程中的火行为研究得出随着可燃物含水率的降低,森林火强度亦会加大^[31]。1997-1998年是过去150年间厄尔尼诺现象表现最强的年份,持续的干旱使得全球火干扰数量和强度大幅度上升^[36-37]。

2.1.3 森林火烈度

火烈度反应了森林火灾对森林动植物和森林生态系统的破坏程度,是衡量火灾对森林危害程度的指标。

在极端天气条件(如高温、大风、可燃物湿度低等)下,高烈度林火发生的几率增大^[38-39]。研究表明,在极端天气条件下,火烈度与森林的郁闭度呈负相关,同时坡向对火烈度具有显著影响^[40]。2008年我国南方地区气候异常,发生5次大范围的冰雪灾害。王秋华等对湖南省受冰雪灾害影响的林分及新发生的火烧迹地进行调查得知冰雪灾害后火干扰非常彻底,可燃物的消耗量超过85%;释放的能量大,对树木的损害也非常大,火烈度超过95%,造成了火烧迹地绝大部分树木死亡^[32]。

2.2 火灾类型对气候变化的响应

2.2.1 树冠火

树冠火是指在林冠层燃烧和蔓延的火,通常

与地表火同时发生。气象条件是决定树冠火是否发生及其蔓延状况的重要因子,其中干旱作为气候变化的主要表现之一与树冠火的发生和蔓延密切相关。这是由于长期干旱一方面导致地表枯落物含水率下降,易引发地表火;另一方面,针叶林中梯状可燃物变得干枯,易被地表火引燃,形成树冠火^[41-42]。

Cruz等^[43]基于71次野外实验,在水平针叶林地上对树冠火发生概率进行分析,结果表明温度、风速、可燃物量等因素对树冠火的发生有很大影响。Butler等^[44]在不同林分高度对北方林树冠火的空气温度和热通量,以及极端温度和最大热通量进行了测量,对于确定树冠火的热传输过程和发生规律有很大意义。张景群等^[45]按照持续燃烧原理得出,在气候干旱条件下,随着有效可燃物量积累,发生连续型树冠火的几率大大增加。王立夫^[46]等研究发现1994年在内蒙古红花尔基林业局樟子松林发生的特大森林火灾过火面积6.7万hm²,其主要原因就是树冠火,干旱、大风等因子对该次树冠火的形成起了关键作用。

2.2.2 地下火

地下火的发生次数仅占森林火灾的1%左右,但造成的危害却相当严重,扑救难度大。森林地下火发生取决于干旱状况、地表可燃物含水率等条件。气象因素中的降水、气温对地下火也有一定的影响^[47]。研究得出近几年来,由于气候干旱,地温偏高,大兴安岭森林地下火有增长的趋势^[32]。舒立福等^[48]对大兴安岭2002年发生的地下火研究表明,气象条件促进了森林地下火的发生,特别是在遇到降水少、长期干旱、地面温度增加、相对湿度降低和可燃物干燥的情况下,易引起地下火灾。李忠琦^[49]对黑龙江省呼中林区火灾资料和气象资料的研究发现,地下火往往处于长期干旱、降水少、蒸发量大、高温低湿季节中发生。

2.3 火险天气与防火期对气候变化的响应

火险天气要素主要包括空气湿度、降水、温度、风速、气压等。全球气候变化背景下,天气条件对森林火灾发生和蔓延的影响也是极其复杂的^[50-51]。1961-2005年内蒙古大兴安岭林区的气候向有利于林火发生的方向演变,森林火险天气严峻程度呈升高趋势^[52]。信晓颖^[53]在对浙江省森林火灾与气象要素的年际变化分析中,得出在气候暖干化背景下,该省1956-2006年间森林火险等级逐步升高。

气温升高,可能使火险期提前和延长;气温日较差大,可能使森林火险长期维持在一个较高水平,增加了引燃的可能性和扑救的难度^[54]。防

火期的变化是气候变化背景下的重要响应特征,主要包括防火期戒严期初始日、终止日、火险期长度以及防火期有效日数的变化。防火期总体上呈延长的趋势,防火期和戒严期的间隔缩短,防火期和戒严期有效日数增加^[2]。Westerling等^[55]和Running^[56]的研究结果表明,由于春季雪融日期提前及春季、夏季气温的升高,导致北美西部地区火险期延长。由于气候变暖导致黑龙江省森林防火期延长,打破了森林防火期阶段性的常规划分^[57]。气候变化背景下,内蒙古东北部的森林火险期不断延长,原本夏季不易发生森林火灾的季节近年来森林火灾不断^[58]。大量研究表明气候变化将导致森林火险期延长,出现潜在极端火行为的天数增多,森林火灾更加严重,特别是北方森林火灾增加显著^[59]。由于全球变暖,我国的植被生长期也已明显增长,青藏高原和北方地区增长尤其明显。植被生长期的提前和延长,意味着森林火险期的提前和延长^[54]。

2.4 火周期对气候变化的响应

随着气温升高,火险等级增强,出现森林火灾灾害的大小和次数也随之增加,并趋向于周期性发展。全球变化在一定程度上影响自然与人为火源的分布、可燃物的空间分布及燃烧特性,使得森林火灾灾害表现出一定周期性和波动性^[60]。火周期一般具有下述变化规律:①年周期性变化与降水量的多少密切相关。许多研究得出受气象因子和其它相关因子影响,大兴安岭森林火灾次数年周期变化比较大,近年来火灾灾害次数有较大的增加^[2]。由黑龙江省森林火灾数据研究得出1980年代末和1990年代初期是火灾的少发时期,1990年代末期和2000年以后随着全球气候变化火灾发生次数又有所增加^[61]。②季节性变化。中国南方森林火灾发生次数和危害程度冬、春季节最多最严重,北方则是春、秋季节。气候变化背景是决定森林火灾季节变化发生情况的重要因素^[61]。研究指出,在气候变化背景下,内蒙古大兴安岭林区1980-2006年春季最迟火灾发生的日期明显向后伸延,已深入到夏季,火险期已不再仅是春季和秋季,夏季发生的森林火灾数量有时远超出春秋两季,只要地表枯落物层未被积雪覆盖,就都有发生森林火灾的可能^[58]。全球变暖将使北方森林的火灾季节长度增加20%~30%,起始时间提前至3月,并延长至9月,将有更多的地区处于高火险等级下^[62-64]。

3 结论与展望

在全球气候变暖的背景下,森林火灾灾害次

数、受害森林面积均有上升的趋势;气候变暖引起异常天气频发,使火行为变的更加复杂多变,发生特殊火行为和高强度火的可能性、危害性都大大增加,进一步加剧了森林火灾扑救的难度;气温升高,森林火险天气严峻程度呈升高趋势,使火险期提前和延长;防火期总体上呈延长的趋势,防火期和戒严期的间隔缩短;全球变化在一定程度上使得林火表现出特殊的周期性和波动性。

随着全球变化的发展,未来气候变化的不确定性增加^[65]。气候变化使得火干扰呈现不断增强的趋势,而火干扰反过来也会影响气候变化^[66-68]。因此,迫切需要研究森林火灾灾害的发生、大小和强度与气候的关系,并以此为基础预测其对森林生态系统的影响,并通过森林的可持续经营管理减少其风险和危害,把森林火灾灾害的损失降到最低,实现森林的可持续发展。因此气候变化背景下应对森林火灾灾害对策是我们今后必需面对的一个重要问题。

(1)重视气候变化对森林火灾灾害的影响,加强森林火险预测预报。

在全球气候变暖背景下,我国的森林火灾灾害呈上升趋势。灾害发生后,预测、预报林火蔓延速度、能量释放、火强度以及扑火难易程度,对森林火灾灾害的扑救,配备必要的人力和物力。

(2)加强森林火灾发生发展机理研究,把握林火发展规律。

在全球气候变化背景下,如何在实际森林扑火工作中对森林火灾灾害中特殊火行为发生发展过程进行实验模拟,揭示特殊火行为发生机理,是急需解决的科学难题,今后需加强林火生态基础研究。对于在不同可燃物、气象、地形和大气等条件下的火旋风动力学机制研究尚处于探讨阶段。在全球气候变化背景下,如何把野外实验观测和室内实验模拟结合起来,理解飞火的动力学机制,与大气的耦合过程,以及引起火灾进一步扩大火场的机理研究是当前特殊火行为研究的一个难点;对于树冠火如何诱发火旋风、火旋风如何诱发飞火这一在大面积火灾中比较常见的现象以及三者之间的耦合机制目前尚不明确^[69]。

(3)强化森林可燃物的可持续管理,实现森林生态系统的可持续发展。

调控森林可燃物是森林防火的一个重要手段,尤其是温带的森林干旱季节长,地表可燃物载量大,可燃物管理更加重要,通过营林措施如清理枯枝和站杆,可以减少森林火灾的发生,控制地表火向树冠火的转化,通过营造针阔混交林也可以降低林分的燃烧性。

(4)提高扑救技术水平和装备,做好森林火灾的预防扑救。

在实际的扑火过程中特殊火行为往往会导致人员的伤亡,特殊火行为的产生依赖于特殊的火环境及天气过程,应结合可燃物的实际状况、天气条件、发生火灾时的灾情,对相关特殊火行为的发生进行预报,在扑火过程中结合特殊火行为的预报进行扑救安全防范,根据不同火行为的特点,采取相应的扑火方式。

参考文献:

- [1] 徐明超,马文婷. 干旱气候因子与森林火灾[J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 604-608.
- [2] 王明玉. 气候变化背景下中国林火响应特征及趋势[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [3] 魏书精,胡海清,孙龙,等. 气候变化背景下我国森林防火工作的形势及对策[J]. 森林防火, 2012(2): 1-4.
- [4] 关贤军,徐波,尤建新. 完善中国防灾救灾体制、机制和法制[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 72-75.
- [5] 孙玉荣,张贵,陈爱斌,等. 湖南森林火灾的灾情区域分异研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(8): 7-11.
- [6] 胡海清,魏书精,孙龙. 1965-2010年大兴安岭森林火灾碳排放的估算研究[J]. 植物生态学报, 2012, 36(7): 629-644.
- [7] 田晓瑞,舒立福. 林火与可持续发展[J]. 世界林业研究, 2003, 16(2): 38-41.
- [8] Pausas J G. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula(Mediterranean Basin)[J]. Climatic Change, 2004, 63: 337-350.
- [9] Mckenzie D, Gedalof Z E, Peterson D L, et al. Climatic change, wildfire, and conservation[J]. Conservation biology, 2004, 18(4): 890-902.
- [10] 杜毓龙,雷崇典. 陕北春季森林火灾气象条件分析[J]. 气象科学, 2006, 26(3): 341-345.
- [11] 袁春. 新余市森林火灾气象要素分析[J]. 江西林业科技, 2000(6): 16-18.
- [12] 王淑华,孙鹏飞,程春香. 伊春市气象因子与森林火灾相关性研究[J]. 林业科技, 2008, 33(2): 24-26.
- [13] Amiro B D, Flannigan M D, Stocks B J, et al. Perspectives on carbon emissions from Canadian forest fires[J]. The Forestry Chronicle, 2002, 78(3): 388-390.
- [14] 王明洁,王志成,殷世平. 2005年黑龙江省夏季林火特征及气象环境条件分析[J]. 林业科技, 2008, 33(2): 19-23.
- [15] 赵凤君,王明玉,舒立福. 气候变化对林火动态的影响研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(1): 50-54.
- [16] 居恩德. 第五讲、火险天气[J]. 森林防火, 1986(1): 34-37.
- [17] 张林生,李仁. 浅谈林火与气象的关系[J]. 森林防火, 2003(2): 22-23.
- [18] 张尚印,祝昌汉,陈正洪. 森林火灾气象环境要素和重大林火研究[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 111-117.
- [19] 胡海清. 林火生态与管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 2-34.
- [20] 金可参. 林火管理知识问答[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1990: 50-53.
- [21] 胡海清,魏书精,孙龙,等. 气候变化、火干扰与生态系统碳循环[J]. 干旱区地理, 2013, 36(1): 57-75.
- [22] 赵凤君,舒立福,田晓瑞,等. 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[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1914-1920.
- [23] Martin P. Vegetation responses and feedbacks to climate: a review of models and processes[J]. Climate Dynamics, 1993, 8: 201-210.
- [24] Turtola S, Manninen A M, Rikala R, et al. Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in scots pine and Norway spruce seedlings[J]. Journal of Chemical Ecology, 2003, 29(9): 1981-1995.
- [25] 高永刚,张广英,顾红,等. 气候变化对伊春林区森林火灾的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(28): 12269-12271.
- [26] Overpeck J T, Rind D, Goldberg R. Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation[J]. Nature, 1990, 343: 51-53.
- [27] Price C, Rind D. Possible implications of global warming change on global lightning distributions and frequencies[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99: 10823.
- [28] Lynch J A, Hollis J L, Hu F S. Climatic and landscape controls of the boreal forest fire regime: Holocene records from Alaska[J]. Journal of Ecology, 2004, 92: 477-489.
- [29] 李兴华,武文杰,张存厚,等. 气候变化对内蒙古东北部森林草原火灾的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(11): 114-119.
- [30] Stuart M, Andrew L, Sullivan L, et al. Climate change, fuel and fire behaviour in a eucalypt forest[J]. Global Change Biology, 2012, 18(10): 3212-3223.
- [31] 戴兴安,周汝良,李小川,等. 森林燃烧中的特殊火行为研究进展[J]. 世界林业研究, 2008, 21(1): 47-50.
- [32] 王秋华. 森林火灾燃烧过程中的火行为研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [33] 王明玉,王秋华,赵凤君. 气候变化对我国林火影响与对策[C]//第二届中国林业学术大会. 杭州: 中国林学会, 2009.
- [34] 舒立福,王明玉,田晓瑞. 关于森林燃烧火行为特征参数的计算与表述[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 179-183.
- [35] Afonso D, Miguel B, Luis S L. Forest fires and climate change[J]. WWF for a living planet, 2009: 1-6.
- [36] Page S E, Siegert F, Rieley J O, et al. The amount of carbon released from peat and forest fire sin Indonesia during 1997[J]. Nature, 2002, 420: 61-65.
- [37] van der Werf G R, Randerson J T, Collatz G J, et al. Continental scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 El Niño/La Niña period[J]. Science, 2004, 303: 73-76.
- [38] Turner M G, Romme W H. Landscape dynamics in crown fire ecosystems[J]. Landscape Ecology, 1994, 9(1): 59-77.
- [39] Bessie W C, Johnson E A. The relative importance of fuels and weather on fire behavior in sub-alpine forests[J]. Ecology, 1995, 76(3): 747-762.
- [40] Oliveras I, Gracia M, More G, et al. Factors influencing the pattern of fire severities in a large wildfire under extreme meteorological conditions in the Mediterranean basin[J]. International Journal of Wildland Fire, 2009, 18(7): 755-764.
- [41] 林其钊,舒立福. 林火概论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出

版社, 2003: 134 – 137.

[42] 赵凤君, 王明玉, 舒立福. 森林火灾中的树冠火研究[J]. 世界林业研究, 2010, 23(1): 39 – 43.

[43] Cruz M G, Alexander M E, Wakimoto R H. Modelling the likelihood of crown fire occurrence in conifer forest stands[J]. Forest Science, 2004, 50(5): 640 – 658.

[44] Butler B W, Finney M A, P L Andrews, et al. A radiation driven model for crown fire spread[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2004, 34(8): 1588 – 1599.

[45] 张景群, 王春雷, 王得祥. 树冠火与林分层间易燃可燃物分布关系研究[J]. 森林防火, 1995(4): 5 – 9.

[46] 王立夫, 马林涛, 郝德君, 等. 红花尔基“4. 16”特大森林火灾为树冠火的形成原因[J]. 林业科技, 1995, 20(6): 32 – 33.

[47] 王志成, 刘绍卓. 夏季森林地下火分类及火行为特点[J]. 林业科技, 2004, 29(4): 26 – 28.

[48] 舒立福, 王明玉, 田晓瑞, 等. 大兴安岭林区地下火形成火环境研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(4): 62 – 67.

[49] 李忠琦, 张淑云, 李华, 等. 黑龙江省呼中林区地下火发生的气象条件分析[J]. 森林防火, 2004, (1): 25 – 26.

[50] 何泽能, 唐晓萍, 谭炳全. 森林火险气象条件及等级预报初探[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 46 – 50.

[51] 田光辉, 陈汇林, 许向春. 基于模糊综合判别的森林火险等级预报研究[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 117 – 122.

[52] 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[D]. 北京, 中国林业科学院, 2007.

[53] 信晓颖. 气候变化对浙江省森林火灾的影响及 FwI 适用性研究[D]. 浙江农林大学, 2011.

[54] 赵凤君, 舒立福. 气候异常对森林火灾发生的影响研究[J]. 森林防火, 2007, (1): 21 – 23.

[55] Westerling A L, Hidalgo H G, Cayan D R, et al. Warming and earlier spring increase western U. S. forest wildfire activity[J]. Science, 313(5789): 940 – 943.

[56] Running S W. Climate change: Is global warming causing more, larger wildfires[J]. Science, 313(5789): 927 – 928.

[57] 景丽杰. 气候变暖背景下黑龙江省森林火灾防控策略[J]. 现代农业科技, 2011(14): 255 – 256.

[58] 赵凤君, 舒立福, 邸雪颖, 等. 气候变暖背景下内蒙古大兴安岭林区森林火灾发生日期的变化[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 166 – 172.

[59] Tian Xiaorui, Shu Lifu, Wang Mingyu, et al. Review on the researches of forest fire and climate change [J]. World Forestry Research, 2006, 19(5): 38 – 42.

[60] 王明玉, 舒立福, 王景升, 等. 西藏东南部森林可燃物特点及气候变化对森林火灾的影响[J]. 火灾科学, 2007, 16(1): 15 – 20.

[61] 邓鸥. 黑龙江省森林火灾时空模型与火险区划[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

[62] Wotton B M, Flannigan M D. Length of the fire season in a changing climate[J]. Forestry Chronicle, 1993, 69: 187 – 192.

[63] Stocks B J, Fosberg M A, Lynham T J, et al. Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forest[J]. Climatic Change, 1998, 38: 1 – 13.

[64] Li C, Flannigan M D, Corns I G W. Influence of potential climate change on forest landscape dynamics of west central Alberta[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30: 1905 – 1912.

[65] 郭淑红, 薛立. 冰雪灾害对森林的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5242 – 5253.

[66] 吕爱锋, 田汉勤. 气候变化、火干扰与生态系统生产力[J]. 植物生态学报, 2007, 31(2): 242 – 251.

[67] 胡海清, 魏书精, 魏书威, 等. 气候变暖背景下火干扰对森林生态系统碳循环的影响[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 37 – 41.

[68] 魏书精, 孙龙, 魏书威, 等. 气候变化对森林火灾的影响及防控策略[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 39 – 40.

[69] 王明玉, 李涛, 任云卯, 等. 森林火行为与特殊火行为研究进展[J]. 世界林业研究, 2009, 22(2): 45 – 49.

Response Characteristics and Prospect of Forest Fire Disasters in the Context of Climate Change in China

Sun Long, Wang Qianxue, Wei Shujing, Hu Haiqing, Guan Dao and Chen Xiangwei
(College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: The impact of climate change on forest fire disasters is systematically expounded, and the response characteristics of the forest fire disaster in the context of climate change whose main feature happened to global warming are discussed. Response of fire behavior fire weather and fire proof period and fire cycle on climate change are mainly analyzed. In the context of climate warming, scientific strategy and proper approaches of forest fire management to finally realize carbon emission reduction effect of adding Carbon sinks effect are put forward. At last, some key research areas and directions of development prospects which need to be strengthened in the future carry on the outlook.

Key words: climate change; forest fire disaster; fire behavior; fire danger weather; fire cycle; forest fire management strategy