

气候变化对森林灾害的影响及防控策略^{*}

魏书精¹, 孙 龙¹, 魏书威², 胡海清¹

(1. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710055)

摘 要: 系统阐述了气候变化对森林灾害的影响, 论述了当前发生的以气候变暖为主要特征的气候变化对森林灾害发生、发生规律、频率、周期、强度、种类、区域分布等产生的重要影响, 阐述了气候变化背景下森林灾害的特点与发展趋势, 并对相关的研究进展进行阐述。重点剖析了气候变化对森林病虫害和森林火灾的影响。提出了应对气候变化的森林灾害管理策略与措施, 为及早预测气候变化可能对森林带来的灾害影响, 积极主动地应对气候变化, 将气候变化对森林造成的危害降到最低水平提出应对策略, 同时提出了今后需要加强的一些重点研究领域及发展方向。

关键词: 气候变化; 森林灾害; 病虫害; 森林火灾; 防控策略

中图分类号: X43; S762.1; S763 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0036-06

气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题^[1-10]。《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的生效, 从而使以气候变暖为标志的全球气候变化引起了各国政府、国际组织和科学工作者的高度关注^[11-13]。世界气候正经历全球变暖的显著变化, 已对森林生态系统产生深远影响^[14-15]。全球大气 CO₂ 浓度从工业革命时约 280 μmol · L⁻¹ 增加到了现在的 387 μmol · L⁻¹。近 10 年大气 CO₂ 浓度每年以 1.8 μmol · L⁻¹ 的速率增长, 远高于过去 50 年每年 1 μmol · L⁻¹ 的平均增幅。受温室效应影响的全球气温将继续上升, CO₂ 浓度将增加, 导致温室效应加剧, 由此产生一系列的气候异常现象, 将对全球气候产生灾难性的影响^[2]。随着气候变化加剧, 极端气候事件频发, 与气象相关的灾害越来越多^[2,8,16-17]。我国是世界上自然灾害最严重的国家之一, 森林灾害是自然灾害的重要组成部分, 是森林生态系统重要的干扰因子, 作为世界上七大自然灾害之一^[18], 对生态系统的能量流动和物质循环产生重要影响。各种预测模型显示, 未来气候变暖将使森林灾害发生的频率和强度增加^[15,18-19]。为此加强气候变暖背景下气候变化与森林灾害关系的研究, 增进了解气候变化对森林灾害的影响, 强化森林灾害风险管理, 提升森林灾害管理水平, 促进碳增汇, 实现森林碳汇, 促进碳汇林业的健康发展, 这对气候变暖背景下制定科学合理的森林灾害管理策略、将森林灾害的发生控制在森林生态系统可持续管理水平, 实现森林的可持续发展、提高森林生态系统管理水平均有重要意义。

2006 年, 我国首部《气候变化国家评估报告》指出, 人类活动排放的温室气体将导致越来越严

重的全球气候变化问题。我国年均气温在 2020 年可能增加 1.1 ~ 2.1 °C, 年均降水量可能增加 2% ~ 3%。未来极端气候事件呈增加趋势^[4]。我国森林生态系统极易受全球气候变化的不利影响, 森林灾害将加剧^[20]。在过去的 30 年, 许多林业学家就开始研究森林与气候变化的关系^[21]。我国科学家从 1990 年代中期, 李克让等^[22]开始研究全球气候变化下我国森林的脆弱性问题。但迄今为止, 林业部门对气候变化的研究主要集中在森林碳汇等减缓气候变化的措施上, 而气候变化对森林灾害影响的研究刚刚起步^[15,23-24]。为此, 本文以气候变暖为主要特征的气候变化对森林灾害发生、发生规律、频率、周期、强度、种类、区域分布等产生的影响进行阐述, 最后提出了应对气候变化的森林灾害管理策略与措施。

1 气候变化与森林灾害

1.1 森林灾害

森林灾害是由于自然变异、人为因素或自然变异与人为因素相结合的原因而引发的对森林资源及森林生态环境造成破坏和损失的现象或过程^[25]。森林灾害是指对森林资源正常发育构成危害, 进而给林业生产造成经济损失和人员伤亡的自然现象与人为行为^[26]。一般是指在某一地区由于森林内部演化或外部作用所造成的, 对森林资源、林业生产、森林生态与环境、人身安全构成危害, 以至超过该地区的承灾能力, 进而给林业生产造成经济损失和人员伤亡等的自然—社会现象^[27]。衡量是否构成灾害, 不仅以森林灾害的强

^{*} 收稿日期: 2012-04-18 修回日期: 2012-06-06

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD37B0104); 国家自然科学基金项目(31070544, 51208244); 林业公益性行业科研专项(200804002); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(DLI2CA07)

作者简介: 魏书精(1979-), 男, 福建龙岩人, 博士, 主要从事林火生态与管理与森林生态学研究。

E-mail: weishujing2003@163.com

通讯作者: 胡海清(1961-), 男, 内蒙古敖汉人, 教授, 博士生导师, 主要从事林火生态与管理研究。E-mail: huhq-cf@nefu.edu.cn

度而论,而且必须考虑森林灾害的最终结果,即损害是否超过该地区的承受能力。按照起源森林灾害可划分为自然灾害和人为灾害^[27]。根据灾害影响因素的不同,可将森林灾害分为生物因素灾害和非生物因素灾害。生物因素灾害包括病害、虫害和其它生物体灾害(如鼠害);非生物因素灾害(如火灾、洪灾、旱灾、雨雪冰冻、地震等)^[28]。森林灾害的范围广,我国只对森林火灾、病害、虫害和鼠害等灾害进行了分类统计,本文讨论的森林灾害指森林病虫害、鼠害、森林火灾等,并将其划分为生物灾害和非生物灾害两大类。

1.2 气候变化对森林灾害的影响

森林生态系统对气候变化十分敏感,气候的微小扰动都可能对森林群落的结构和演替产生较大影响,从而影响森林病虫害和森林火灾等灾害的发生频率和危害程度^[7]。近年来,随着气候变化,人口和经济发展对林产品需求的增加,森林结构发生了明显的改变,为森林灾害的发生创造了条件^[24,29],造成森林资源的巨大损失^[28]。谢晨等^[21]认为在北方林区,气候变化使森林受到日益增加的火灾和病虫害的干扰。气候变化的预测虽有不不确定,但潜在的变化已确定,一些地区的极端气候事件、洪水和干旱频发,破坏生态平衡,加剧病虫害和火灾的发生^[22]。研究表明全球气候变化对我国森林植被的分布、面积、结构以及生产力、灾害等确实存在着很大的影响^[7,22]。近年来,极端气象事件已对森林产生了不利影响,2005年江西持续干旱,对新造林成活率以及森林火灾影响很大;2008年初发生在我国南方的雨雪冰冻灾害,对森林生态系统造成毁灭性影响,这些均加剧了森林灾害的发生。

2 气候变化对森林生物灾害的影响

生态学研究证明,由范霍夫定律可知,气候变暖将使有害生物体内生理过程加快,适生期延长,加快有害生物发育速率,增强生殖力,增加存活率尤其是越冬基数,使其发生程度加重,暴发周期缩短。我国是世界上林业有害生物发生面积最大、损失最重的国家。据普查我国现有森林病虫害8 000多种,主要林业有害生物292种类;年均发生面积为934万hm²,已超过年人工造林面积;致死树木4 000(万株/a),等于损失年造林面积的8%;直接经济损失和生态服务价值损失达880(亿元/a),相当于全国林业总产值的1/10。赵铁良等^[30]研究发现我国森林植被和森林病虫害分布区系向北扩大,森林病虫害发生范围扩大。预期气候情景下的模拟结果显示,未来全球大部分区域的天气状况更有利于森林生物灾害的发生,灾害将比当前状况更严峻。

2.1 病虫害

2.1.1 气候变化导致病虫害适生区范围扩大

气候变暖使森林植被和森林病虫害分布区系扩大,森林病虫害发生期提前,世代数增加,发

生范围和危害程度加大^[14]。全球气候变化影响森林病虫害的发生,改变病虫害的分布和危害范围,使害虫越冬代北移,越冬基地增加,迁飞范围扩大^[14]。全球变暖对森林病虫害的增长有促进作用^[31]。近年来,由于气候变暖,有效积温增加,拓宽有害生物的适生区,向高海拔区和两极方向扩展,昆虫区系分布正在向北变迁,全国每年森林病虫害发生面积800万hm²^[15,30]。1950年代到80年代,我国每年发生病虫害的面积呈每10年加倍增长的严峻形势,松毛虫的危害逐年扩大,屡治不愈,近几年年均发生面积为267万hm²^[31]。原属南方型的大袋蛾,随着温暖带区大规模泡桐人工林扩大,从而在黄淮地区造成严重问题。白蚁原是热带和亚热带所特有的害虫,但由于近几十年气温变暖,白蚁危害越来越严重,正由南向北逐渐蔓延^[30]。何善勇等^[32]利用CLIMEX软件预测出未来30年内松材线虫在我国潜在适生区,发现未来30年内松材线虫在我国的适生区将呈范围增大、适生程度增加、有向北扩散的趋势。

2.1.2 气候变化导致病虫害发育速率加快、种群快速增长

温度是决定有害生物生长发育速率最重要的因子,气候变暖使得有害生物适生期延长,加快了有害生物发育速率,导致其始见期、迁飞期、种群高峰期提前,世代数增加^[14]。由于气温升高,一些有害生物越冬迟,出蛰早,危害加重^[15]。张国庆^[15]研究发现,马尾松毛虫的发生期,随着气温的上升而提前。在1980年代初,马尾松毛虫越冬代成虫初见期在5月18日左右,到了21世纪初,则提前到了4月28日。发生期提前最多的是越冬代,其次是第1代,然后是第2代,依次逐代减少,这与当地的气温变化是一致的。

2.1.3 气候变化导致病虫害发生周期缩短,发生频率频繁

随着气候变暖,有效积温增加,森林植被物候提前,一些昆虫的生物学特性正在逐渐改变,这使得病虫害发生期相应提前,世代数正逐渐增加,发生周期缩短^[30]。1972-2002年,广东潮安年均温度上升1℃多,过去以3代幼虫越冬的松毛虫近年来出现3、4代幼虫重叠越冬现象^[33]。杨扇舟蛾原为东北和华北常见的杨树食叶害虫,目前该虫在全国都有分布,而且经常成灾。该虫在北方为1年1代,但在海南危害母生树,冬季不滞育,1年8~9代经常猖獗成灾。天幕毛虫的发生周期为14、15年,但现在周期缩短,牡丹江在1995、1971、1985年,吉林白城在1965、1974、1984和2002年相继暴发^[30]。张国庆^[15]对安徽潜山马尾松毛虫分析表明,1973年前暴发周期为10年,1973年后暴发周期为3~5年。气候变暖导致生态系统健康水平下降,天敌种群数量减少,抗生物灾害能力降低,缩短有害生物暴发周期,提高生物灾害发生的频率^[15]。

2.1.4 气候变化导致病虫害种类增多,种间关系改变、危害严重

我国森林有害病虫害约8 000多种,危害严重的

200 多种, 100 多种会经常发生^[34]。随着气候变暖, 连续多年的暖冬, 以及异常气候频发, 森林生态系统失衡, 造成我国病虫害种类增多, 发生危害面积居高不下^[30]。近 60 年我国森林有害生物从几种扩大到 290 多种, 其中气候变化是重要原因之一^[35]。气候变暖使适生昆虫的种群密度增加, 增加了有效积温, 导致许多昆虫发生世代数及种群密度增大, 巴西的咖啡潜叶蛾以及我国的美国白蛾均随气温升高而增加世代数^[15]。1990 年代以来, 我国林业生物灾害发生面积高于近 40 年来的平均水平。随着全球变暖, 积温带北移带来的黑龙江森林病虫害种类增加, 森林病虫害进入高发期^[36]。气温升高亦影响寄主植物的生长发育, 由于昆虫和植物对温度升高的反应差异, 常导致昆虫与寄主植物同步性改变, 从而影响昆虫的正常取食并进一步影响其种群发展^[15]。以气候变化和生态环境恶化为诱因的生物灾害发生频繁, 一些次要的生物灾害将逐步演化成主要灾害, 生物灾害加剧^[29]。

2.2 鼠害

森林鼠害是一种生态灾难, 主要原因是自然生态系统受各种干扰失去平衡, 引起森林害鼠大暴发^[37]。鼠害是森林经常遭受的灾害, 年损失森林效益约 3~3.5 亿元。我国森林鼠害主要发生在生态脆弱区, 1987 年内蒙古林区鼠害发生面积 0.6 万 hm^2 , 近年来年均在 0.8 万 hm^2 。鼠害严重区幼树被环剥致死, 树林被毁, 其不但与家畜争食, 由于鼠类挖掘活动而导致林区出现次生裸地, 降低森林生产力, 导致生态环境恶化^[38]。全国森林鼠害年均面积为 150 万 hm^2 , 在我国西部地区发生较为严重, 年损失折合资金约 3 亿元^[39]。1991~2000 年, 西北 6 省区每年病虫害发生面积均在百万 hm^2 以上, 在甘肃民勤、武威等地, 大沙鼠对灌木及主要沙生植物梭梭林危害严重, 受害率达 67%。西北黄土高原气候干旱、环境恶劣, 森林鼠害危害严重, 近 10 年来, 西北地区鼠害发生面积呈上升趋势, 年均森林鼠害发生面积约 25 万 hm^2 ^[37,40]。

随着气候变暖, 森林鼠害面积明显增加, 危害程度加剧^[40]。伴随人口的增多和经济的发展, 对综合治理鼠害的疏忽, 致使老鼠的密度加大, 数量增多, 加剧对森林的危害。1990 年代中期后, 新疆草原害鼠发生面积和重灾面积均呈上升趋势, 而有效的防治面积却呈下降趋势, 这就孕育草原害鼠种群数量上涨, 鼠害成灾^[41]。东北和西北地区是森林鼠害的重灾区, 每年发生 66 万 hm^2 以上, 鼠害成为危害我国森林最为严重的生物灾害^[29,34]。在鼠类种群暴发成灾机理和控制生态学研究上, 发现了一些鼠类种群发生与厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)密切相关, 提出鼠类种群暴发 ENSO 成灾说^[29]。

3 气候变化对非生物灾害的影响

3.1 森林火灾

3.1.1 气候变化对林火发生的影响

气候变化引起了动植物种群变化和植被组成

及分布区域的变化, 进而影响林火发生频率, 全球变暖将使火险等级提高, 林火发生机率增加^[42]。林火的发生与蔓延受气象条件、植被类型、扑救水平等诸多因素影响而表现出时空规律性, 其中气象条件对林火的发生具有重要影响。在全球气候变暖背景下, 极端气候事件发生的强度和频率剧增, 加剧了林火发生的频率和强度^[24]。气象因子对林火的影响是林火研究的重点。林火的发生是火源、可燃物、气象等火环境因子交互作用的结果。气候是林火动态的主导因素, 气候暖干时期林火频发^[43], 当前气候变暖已是不争的事实, 很多地区出现暖干化趋势^[44]。气候变暖背景下产生的高温干旱、大风的天气系统易诱发林火; 由于辐散作用, 辐射增强, 蒸发量大, 地被物干燥, 易发生林火^[42]。气候变化导致病虫害暴发成灾, 促进可燃物条件的形成, 加剧林火发生。极端气候事件的频发, 加剧极端高温干旱区火灾频率及发生重特大火灾的可能性^[44]。

3.1.2 气候变化对林火行为的影响

林火行为是指林火的蔓延速度、火强度和火烈度等。可燃物是森林燃烧的基础, 气候变化加快可燃物失水, 进而影响林火行为的发展过程, 导致高能量火行为(对流烟柱、爆发火、跳跃式火团、飞火、火旋风、火爆、高温热流等)频发, 造成巨大的人、财、物损失^[44]。气候变暖背景下极端气候事件发生频率增大、强度增加, 会导致大量植被受损和死亡, 地表易燃可燃物猛增, 林火强度增大。气象因子不仅影响可燃物的干湿湿度, 而且影响火的蔓延和行为, 气温越高, 降水越少, 火险越高, 在可燃物干燥易燃情况下, 风速进一步制约火强度和蔓延速率^[42]。气候变暖引起异常天气频发, 使火行为变得更加复杂多变, 发生高强度火的危险性大增。2008 年初发生在我国南方的低温雨雪冰冻灾害, 导致林木大批折断, 地表可燃物猛增, 平均地表可燃物载量超过 50 (t/hm^2), 部分严重地段达到 100 (t/hm^2), 已超过发生高强度大火的标准 30 (t/hm^2)^[21]。

3.1.3 气候变化对林火周期的影响

全球变化影响各种火源分布、可燃物的空间分布及燃烧特性, 使得林火呈现周期性和波动性^[42]。气候变化决定着林火发生的日变化、月变化和年变化规律。气候不但决定可燃物量, 亦决定可燃物湿度和火季节长度, 从而影响火险天气。林火的发生随气候变化呈一定规律, 我国林火年际变化大约有 5~6 年和 10 年的准周期, 这和气候变化密切相关^[24,27], 我国北方受西风带的影响, 气旋与反气旋活动较有规律, 火灾周期性较明显^[27], 研究表明林火的发生具有准周期性, 这主要取决于气候的变化。气候因子与林火的周期密切相关, 研究显示黑龙江林火周期受气候因子的周期性影响很大。随气候条件的准周期变化, 林火多发年和少发年呈准周期振动。Florent 等^[45]研究发现气候变化导致 2 次连续火灾之间的间隔期缩短, 灌木林间隔期从 20 年缩减至 16 年, 林地则从 72 年缩减至 62 年。

3.2 气象灾害和地质灾害

森林的气象灾害主要有冻害、雪害、风害、高温害、干旱、雹灾、洪涝、寒潮。冰雪灾害对森林的破坏造成了水土流失和泥石流等次生灾害,容易导致凋落物的积累,致使随后火灾大幅上升。如湖南 2008 年的火灾次数是同期水平的 11 倍,火灾面积是同期平均的 5 倍^[21]。气候变暖导致的干旱是我国影响面最广的气象灾害,显著的特点是频率大,分布广,长期降水偏少而使树苗大量死亡,造成植树成活率下降,在干旱期,也会使已长成的树木因缺水而枯死,易引起火灾,1987 年大兴安岭森林大火就是长期干旱引发的。风灾一般不会造成大面积林木受灾,但随着气候变暖,每年累计造成的损失较大。风灾和雪灾同时发生对森林造成的灾害更为严重。

森林的地质灾害主要有泥石流、滑坡、水蚀、风蚀、崩塌、水土流失。地质灾害给林业造成严重的经济损失和人员伤亡,是森林灾害的组成部分。由于人口膨胀和人类对森林的掠夺式经营,乱砍滥伐,破坏森林,已使水蚀成为危及人类生存的自然灾害。人为破坏造成土壤侵蚀,侵蚀又加剧了森林的减少。全国水蚀面积达 179.42 万 km²,占土壤侵蚀面积的 36.4%。全国风蚀土地面积为 187.61 万 km²,占土壤侵蚀面积 38.2%,是近几年出现较为突出的灾害之一^[39]。

4 应对气候变化的森林灾害防控策略

4.1 加强宣传、转变观念、提高减灾意识

森林灾害的防控是一项社会系统工程,不仅对保护森林资源、维护生态平衡意义重大,而且直接关系到社会经济的可持续发展。森林灾害是一种自然与人文交互作用的结果,是生态发展失衡的产物,人们应该正确认识,树立积极的防灾减灾意识。目前,对森林火灾的宣传较多,各级部门较重视,而对森林生物灾害的防治宣传力度不够,造成社会上包括林业系统内部对森林生物灾害防治工作的重要性认识不足。因此,要提高人民的防灾减灾意识,就应充分利用大众传播媒介,采取多种方式开展宣传教育活动,不断提高各级领导及社会对森林灾害防控和减灾工作的重视,真正把其提到和经济建设同样的高度,坚持预报与预防,防灾与救灾,自救与扶贫,救灾与保险相结合的道路,提高应对气候变化的防控能力。同时建立一套科学有效的森林灾害损失评估方法,加强人们对灾害损失的了解。

4.2 优化植被管理,加强综合防治,实现森林的可持续发展

森林灾害之间存在着复杂的交互作用关系。随着火灾和病虫害相互影响的定量化研究的深入,在森林经营管理中注重系统综合管理是必然选择。

然而我国对森林火灾和病虫害的研究和管理都相对独立,森林管理中未从生态学的视角系统考虑干扰因子的影响,未来需加强此类研究。森林植被(可燃物)的可持续管理包括计划烧除和生物防火 2 种重要措施,这些措施不但有利于防控森林火灾,亦是防治病虫害的有效措施,同时火烧破坏鼠类栖息环境,起到驱鼠作用。在森林病虫害防治中,应加强生物防治和综合治理。只有从生态视野出发,优化管理效应,实现森林保健,才能不断提高森林资源质量,提升森林免疫能力,实现森林的健康可持续发展。

4.3 加强部门合作,提高预测预报水平,为防控灾害提供决策信息

全球气候变化对森林灾害风险的影响已显现,气候变暖和灾害性天气的频发对森林灾害具有加剧作用。应加强林业、气象等部门在森林灾害监测中的协调,建立传统型人为网络式测报系统与现代化的“3S”技术集成的综合监测系统,建立森林灾害防控专家系统,开发森林火险等级预报和森林生物灾害预报系统,将由天气变化所造成的森林生物灾害的天气风险纳入风险管理,以便及时采取有效措施规避森林生物灾害风险,建立起适合我国短、中、长期预测预报模式,及时掌握森林灾害的发生动态,定期发布测报信息。本着“预防为主,科学防控,依法治理,促进健康”的指导方针,强化政府领导,加强部门协调,建立健全综合森防体系,完善基础设施建设,落实责任制度,建立快速反应机制,构筑应急管理网络等,实现灾害的实时监测、当时检疫、现时诊断、近时预警、远时预测,以及风险规避、政府宏观决策支持、突发性灾害应对等为目标的技术及理论基础,保护森林资源和生态安全。本着“预防为主,积极消灭”的指导方针,加强气象中、长期趋势预报和引发危险天气的中、短期预报的基础上,做好森林火险预测预报,为预防和扑救火灾提供准确的决策信息。对于气象灾害和地质灾害,应与地质、气象、水利、农业、地理等部门一起组建综合的预测预报部门,做好灾害发生的预警机制、应急预案,成立应急救援组织。

4.4 从源头抓起,加强生态建设,建立和巩固减灾物质基础

森林灾害是森林生态环境超常变异的负效应,而生态环境各组成要素是互相联系互相制约的,结构合理的生态环境具有抵御变异的自组织能力。因此必须适地适树地合理营林,以营造混交林为重点,解决单一树种纯林问题。考虑生态学和生物学特性,因地制宜地实行多树种,多形式的混交。其次要从品种选择、育苗、造林、采伐、运输等林业生产环节对森林灾害采取系统预防措施,变被动救灾为主动防灾,从根本上有效地防控森林灾害。再者,加大人、财、物投入,减灾要与

保险、扶贫等有机结合起来,加强减灾物质保障体系。建立以生态调控和生态工程为手段,大力发展生物技术和信息技术,实现管理的高效、低耗、可持续性,构建一套致力于经济社会可持续发展的综合森林灾害管理模式。

4.5 增加科研投入,加强国际合作、实现跨越式发展

科技是有效防控森林灾害的手段和工具,增加科研投入,加强森林灾害科学研究,用科学的理论指导防控工作。对生物灾害,提倡生物防治,研究生物防治的科学方法;对于非生物灾害,研究其发生的机理与规律,提高防控水平。灾害是人类共同的敌人,减灾是人类的共同使命,有效地开展国际交流与合作,充分发挥人类智慧,减轻森林灾害对人类和环境的影响,符合各国人民的利益。森林灾害对全球气候变化及碳循环的影响问题,是全球共同面临的问题,需要全球参与进行多学科、多部门合作,以提高区域和全球森林灾害管理水平。我国应引进国外先进技术,提高森林灾害防控科技含量,积极开展森林灾害预测预报,构建现代化的森防体系,加快“3S”技术在森林灾害管理中的普及应用,加强国际间的合作和技术共享,学习和借鉴发达国家成熟的经验和先进技术,开阔眼界、取长补短,实现森林灾害防控的跨越式发展。

参考文献:

- [1] 刘瑜,赵尔旭,黄玮,等. 云南近46年降水与气温变化趋势的特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 39-44.
- [2] 李艳丽. 全球气候变化研究初探[J]. 灾害学, 2004, 19(2): 87-91.
- [3] 王顺兵,郑景云. 全球气候变化情景下的河北省区域减灾建设[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 97-100.
- [4] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [5] 丁文广,肖俊豪,汪霞. 气候变化对我国森林自然灾害的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 117-120.
- [6] 张金峰,张丽娟,李文亮,等. 哈尔滨市高空气候变暖变化分析[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 41-44.
- [7] 高均凯. 我国林业应对气候变化问题的基本定位及政策建议[J]. 吉林林业科技, 2005, 34(3): 1-5.
- [8] 陶云,段旭,任菊章,等. 云南北端霜冻气候事件的气候特征及环流背景分析[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 43-48.
- [9] 段丽瑶,赵玉洁,王彦,等. 气候变化和人类活动对天津海岸带影响综述[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 119-123.
- [10] 胡海清,魏书精,金森,等. 森林火灾碳排放计量模型研究进展[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1423-1434.
- [11] 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.
- [12] IPCC. Climate change 2001: The scientific basis [R]. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [13] 尹东屏,孙燕. 南京近50年冬季低温冰冻积雪事件的气候特征[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 35-38.
- [14] 李剑泉,李智勇,易浩若. 森林与全球气候变化的关系[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 23-28.
- [15] 张国庆. 气候变化对生物灾害发生的影响及对策[J]. 现代农业科技, 2011(1), 318-321.
- [16] 唐熠,周文志,奚广平. 广西冻雨气候及天气形成的机理分析[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 24-30.
- [17] 欧阳丽,戴慎志,包存宽,等. 气候变化背景下城市综合防灾规划自适应研究[J]. 灾害学, 2010, 25(S0): 58-62.
- [18] Clark J S. Effect of climate change on fire regimes in northwestern Minnesota[J]. Nature, 1988, 334: 233-235.
- [19] Neary D G, Klopatek C C, DeBano, et al. Fire effects on below-ground sustainability: a review and synthesis[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 122: 51-71.
- [20] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [21] 谢晨,赵宣,王赛,等. 气候变化对森林和林业的影响及适应性政策选择[J]. 林业经济, 2010(6): 94-104.
- [22] 李克让,陈育峰. 全球气候变化影响下中国森林的脆弱性分析[J]. 地理学报, 1996, 51(S0): 40-49.
- [23] 胡海青,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.
- [24] 魏书精,胡海清,孙龙. 气候变化对我国林火发生规律的影响[J]. 森林防火, 2011(1): 30-34.
- [25] 张文勤,纪成俭,王文烂,等. 福建省森林灾害的发生情况与主要成因分析[J]. 林业经济问题, 2001, 21(3): 175-178.
- [26] 高岚. 森林灾害经济的基本理论与方法研究[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2002, 1(2/3): 32-36.
- [27] 赵铁珍,柯水发,高岚,等. 森林灾害对我国林业经济增长的影响分析[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2004, 3(2): 37-40.
- [28] 陈新云,刘承芳,程志楚. 我国森林灾害及影响分析研究[J]. 河北林业科技, 2010(2): 41-42.
- [29] 谷瑞升,于振良,杜生明. 我国森林生物灾害及其基础研究[J]. 中国科学基金, 2004(3): 162-165.
- [30] 赵铁良,耿海东,张旭东,等. 气温变化对我国森林病虫害的影响[J]. 中国森林病虫, 2003, 22(3): 29-32.
- [31] 施雅风. 全球变暖影响下中国自然灾害的发展趋势[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 102-116.
- [32] 何善勇,温俊宝,骆有庆,等. 气候变暖情境下松材线虫在我国的适生区范围[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(1): 236-243.
- [33] 赵青山. 马尾松毛虫发生动态和大发生预测预报初步研究[J]. 林业科学, 1981(2): 37-39.
- [34] 陈昌洁,沈瑞祥,潘允中,等. 中国主要森林病虫害防治研究进展[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [35] 陈永生,才玉石. 气候变化对林业生物灾害的影响广泛而深远—访国家林业局森防总站站长马爱国[N]. 中国绿色时报. 2008-3-14(A02).
- [36] 田金权,王瑞君,周琳,等. 浅谈黑龙江省森林病虫害防治对策[J]. 中国森林病虫, 2001(1): 42-44.
- [37] 米锋,陈梅生. 森林灾害和林业事故分类及其成因分析[J]. 广东林业科技, 2007, 23(6): 77-81.
- [38] 彭珂珊. 中国森林灾害研究分析[J]. 许昌师专学报, 1996(2): 32-36.
- [39] 赵秀芳,郭宏文. 论森林灾害危害及生态环境恢复与重建[J]. 防护林科技, 2007(4): 74-76.
- [40] 赵文霞,刘开玲. 我国西北部地区森林生物灾害发生趋势分析及可持续控灾策略[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(1): 90-96.
- [41] 龚建宁. 新疆草原蝗、鼠灾害与控制策略[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 65-69.
- [42] 李剑泉,刘世荣,李智勇,等. 全球变暖背景下的森林火灾防控策略探讨[J]. 现代农业科技, 2009(20): 243-245.
- [43] 贾松青,姚树人,郝凤珍. 大兴安岭林区特大森林火灾的天气形势分析[J]. 东北林业大学学报, 1987, 15(6): 9-98.
- [44] 赵凤君,王明玉,舒立福,等. 气候变化对森林火灾动态的影响研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(1): 50-55.
- [45] Florent M, Serge R, Richard J. Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem[J]. Global Change Biology, 2002, 8: 423-437.

(下转第64页)