

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

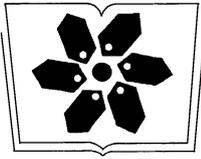
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 23 期 2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等	(7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等	(7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等	(7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等	(7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等	(7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等	(7302)
基于模型数据融合的千烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等	(7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华	(7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星	(7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等	(7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉	(7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等	(7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利	(7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等	(7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等	(7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等	(7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成	(7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等	(7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等	(7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚	(7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等	(7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现	(7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等	(7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等	(7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等	(7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等	(7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等	(7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等	(7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等	(7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等	(7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等	(7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅	(7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等	(7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等	(7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等	(7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等	(7595)
专论与综述		
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智	(7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等	(7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201201180110

王晓春, 鲁永现. 火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响. 生态学报, 2012, 32(23): 7463-7472.

Wang X C, Lu Y X. Effects of fire damages on *Larix gmelinii* radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7463-7472.

火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响

王晓春*, 鲁永现

(东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040)

摘要:在大兴安岭塔河林业局瓦拉干林场 22 支线截取 3 个兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 火疤圆盘, 预处理和交叉定年后, 测定垂直年轮 (径向) 和沿年轮 (横向) 方向 2 次火烧间的年轮宽度变化。通过生长趋势拟合, 火烧后生长面积与正常 (理论) 生长面积比较, 分析火烧伤害对兴安落叶松树干生长的影响。结果表明: 火烧后横向年轮生长呈现出窄—宽—正常的趋势, 这种趋势可以用 3 次曲线来拟合, 即 $y = 0.01x^3 - 0.14x^2 + 0.85x + 0.56$ ($DF = 3, F = 227.7, P < 0.0001$, y 为平均年轮宽度, x 为偏离火烧点距离)。在本文分析的 3 个圆盘中, 火烧后的横向生长释放都出现在距火烧部位 1/3 范围内。火烧后径向上年轮宽度变化规律也较为明显, 即在火灾后的几年时间内, 年轮宽度值较火灾前都呈增加趋势。火烧后 3 个圆盘的径向生长释放持续时间分别为 14.5a 和 11a。通过面积计算整体来看, 火烧导致圆盘 1 较正常情况下损失了 67.2%, 圆盘 2 比正常情况下增加了 6.6%, 圆盘 3 增加了 13.7%。上述分析表明, 火烧导致的径向生长损失, 可以较好地由横向和径向生长释放予以补偿, 但是具体补偿多少因烧伤程度不同而有差异。火烧可直接改变树干径向生长变化, 同时, 这种变化也受其他因素影响, 例如像树龄、树种特性、火灾间隔期等因素, 这些因素的差异就可能导导致补偿程度的不同。

关键词:兴安落叶松; 火疤; 生长释放; 树干生长

Effects of fire damages on *Larix gmelinii* radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China

WANG Xiaochun*, LU Yongxian

Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Daxing'an Mountains was one of the most important forest areas in China, and also an area which was prone to suffering forest fires. Forest fires will damage tree trunks and lead to carbon losses. Fire damages, however, will also produce a stimulus in trees, which can compensate for the carbon losses caused by this injury. Well then, how many carbon losses could be compensated for by this stimulated callus due to fire damages? Three fire-scar discs of *Larix gmelinii* were collected at Walagan forest farm, Tahe Forest Bureau, Daxing'an Mountains, China. Discs were pretreated and the precise calendar dates were determined with cross-dating method. Variations of tree-ring widths along transverse and radial directions after firing were measured. Bole growths before and after firing were compared to discuss the effects of fire damages on bole growths of *Larix gmelinii*. Results showed that transverse tree-ring widths (along ring) after medium and low-intensity fires showed a narrow-wide-normal trend. This growth trend can be fitted by a cubic curve of $y = 0.0069x^3 - 0.1435x^2 + 0.8485x + 0.5586$ ($DF = 3, SS = 0.62, MS = 0.21, F = 227.7, P < 0.0001$), where y is mean tree-ring widths, and x is distances from fire wound points. The reasons causing this trend may be due to the following two points: (1) near the wound points, trees will be separated itself from the injured parts. Chemical protection zones will be produced

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (30970481); 长江学者和创新团队发展计划资助 (IRT1054); “十二五”国家科技支撑计划资助 (2011BAD37B01); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (DL10CA07)

收稿日期: 2012-01-18; 修订日期: 2012-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxc-cf@nefu.edu.cn

near the wounds to limit the diffusion of rot organisms and form the anti-corrosion layer in cambiums to protect the new growth after fires. Meanwhile, the onset of cambial activities was late and weak; (2) the parts slightly away from the wound points, the nutrients originally supplied to the burned area gathered here. The losses of bole radial growth due to fire damages can be compensated for by abnormal increases of tree growth after fires, but the amounts of compensation varied in different trees and fire intensity. Among these three discs, transverse growth release stimulated by forest fires all were confined within the one third distances from fire points. Year-to-year variations of radial growth were also shown clearly. Tree-ring widths increased after fires. Times of radial growth releases in these three discs were 14, 5 and 11 years, respectively. By comparing the areas of actual burned and theoretical growth discs, the radial growth for disc 1 decreased 67.2% due to fire damages, while the growths for disc 2 and disc 3 increased 6.6% and 13.7%, respectively. In summary, the losses of tree bole radial growth caused by fires can be well compensated by transverse and radial growth release, but the amounts of compensation depended on burnt degrees of trees. Therefore, forest fires could possibly cause the variation of tree bole radial growth. Additionally, tree growths after fires were also influenced by many other factors, such as tree age, species trait, and fire characteristics. Differences in these factors will lead to different compensations.

Key Words: *Larix gmelinii*; fire scars; growth release; bole radial growth

大兴安岭是我国重要林区,又是火灾多发区^[1]。火灾发生按照火焰高度和火线强度的差异,可以将森林火灾强度划分为低强度火、中强度火、高强度火和超高强度火^[2]。火灾对森林植物的危害具有两面性:一方面,大面积或高强度火灾可使环境条件发生剧烈变化,导致火灾区域内的森林几乎所有径级林木全部被烧死,造成森林碳汇的严重损失^[3];另一方面,中低强度火灾多数情况下只是把小树烧死,而具有厚皮的大树却残存下来^[4],这些幸存下来的大径级林木多数会留下火烧疤痕。在树木被烧伤之后,其烧伤部位会形成愈伤组织,促进伤口的愈合,进而有利于树木的再生长。火烧后的树木,其疤痕部位由于养分供给方向和数量的改变,使该部位呈现异常生长释放,即在靠近火烧点未被烧伤的部位,其生长会出现异常增加。这可以看作是对烧毁部位的一种补偿,促进了树木对碳的固定,弥补了因火灾导致的碳损失。这种现象就是植被学家对干扰影响的定义,即“导致幸存者或新定居者做出反应的资源有效增加的过程”^[5]。

目前对于森林因火灾导致的碳收支变化情况的研究多集中在对整个火烧区域或某一时间范围内,例如, Kasischke 等用遥感手段估算了阿拉斯加北方森林火灾的碳释放量^[6],田晓瑞等根据 1991—2000 年的森林火灾统计数据和生物量研究结果,估算得到我国森林火灾年均直接排放碳为 20.24—28.56 Tg^[7]。Amiro 等利用加拿大火灾数据和森林火行为预测系统来计算可燃物消耗^[8]。Turetsky 等利用地面可燃物量估算了 1983—2005 年火灾导致的碳损失^[9]。上述研究表明,森林遭受火灾后,在大范围森林斑块的碳收支变化中,单株树木的碳变化贡献很大。对于中低强度火灾后留下疤痕的树木,是进行单株树木碳收支、愈伤组织生长情况研究最直接、最具代表性的材料。目前对于火灾后单株树木生物量变化情况的研究还相对较少。

本研究利用采自大兴安岭塔河地区的 3 株疤痕木,分析中低强度火灾后树木疤痕部位生长量的变化,重点进行以下方面的探讨:

- (1) 横向上 火烧后每个年轮由靠近火烧部位至远离火烧部位生长释放的变化范围;
- (2) 径向上 火烧后径向生长释放的持续时间范围;
- (3) 疤痕圆盘横截面弥补程度 两次火灾之间受火烧刺激异常增加的生长释放对烧毁区域的弥补情况。

通过对火烧后树木疤痕部位纵横向及增损面积变化分析,为中低强度火灾后,留有疤痕树木的生长变化提供一定的基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样区域概况

本研究所用样品均采集于大兴安岭塔河县林业局(125°19′—125°48′E, 52°09′—53°23′N)。塔河县位于

大兴安岭山脉东部,伊勒呼里山以北,黑龙江省西北部。该区地貌主要为低山和少量中海拔山地,地形自西南向东北方向倾斜,地势较为平缓,平均坡度为 10.5° ,平均海拔为 521 m。气候属寒温带大陆性季风气候,冬季漫长而寒冷,夏季短暂而温热。年平均气温 -2.8°C ,年降水量 428.2 mm,年无霜期 80—100 d。主要树种有兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)等。该区为全国重点林区和重要木材生产基地之一,也是火源分布复杂、难控性较大的全国重点火险地区之一^[10-11]。

1.2 样本采集

通过对塔河林业局火灾发生时间、区域、面积、强度等一系列数据的收集、分析和归类,将采集地点定为塔河林业局瓦拉干林场 22 支线的火烧迹地($124^\circ52'0.4''\text{E}$, $53^\circ00'28.0''\text{N}$,海拔 313.4 m)。采样地的优势树种为兴安落叶松,面积约占到 70% 以上。2006 年 8 月,在火烧迹地内,选择树龄大、火烧痕迹清晰、烧伤部位没有遭到破坏的兴安落叶松 3 株,用油锯在每个火疤中部横向截取厚度约 10 cm 的火疤圆盘 1 个,共计 3 个。同时用生长锥采集周围兴安落叶松的树芯 20 个,用于与火疤圆盘交叉定年。

将野外采集的 3 个火疤圆盘和样芯带回实验室,自然干燥后,用 80—600 目砂纸由粗到细进行多次打磨刨光,使其火烧痕迹和年轮细胞尽量清晰。将火疤圆盘与样芯在显微镜下用骨架图法交叉定年,准确确定每次火烧年代,以备测定两次火灾之间的年轮宽度值。3 个火疤圆盘划定的样线和相关数据等情况如表 1 和图 1。

表 1 火疤圆盘样线测量基本信息

Table 1 General information of measuring lines in three fire-scar discs

圆盘 Disc number	横向测量线数 Total numbers of transverse measuring line	径向年轮数 Total numbers of radial measuring ring	胸径 Diameter at breast height/cm	树龄 Age/a	火灾年 Firing years
1	10	16	35	213	1938, 1954
2	13	20	41	109	1924, 1944
3	20	23	42	146	1900, 1924

1.3 研究方法

1.3.1 火疤圆盘测量线的确定

对两次火灾之间的木质部区域由前一次火灾年的边缘至下一次火灾年的边缘进行划线(X_1, X_2, \dots, X_n)。划线时将第一条线(即 X_1)尽可能靠近火灾后生长区域的边缘,这样得出的数据能更准确反应出树木在受火损伤后其径向生长对火灾的响应。按照同样的方法,沿圆盘中火烧碳化线(黑色线),每隔大约 1 cm 左右,进行横向测量线划定,一直到火疤圆盘近中部位置或根据年轮宽窄均一程度来进行最后数条测量线的确定,即将最后一条测量线定在年轮宽窄受火灾影响尽可能小的部位(图 1)。

1.3.2 年轮宽度值的测定

对于划定测量线上所包含年轮宽度值的测定,采用精度为 0.001 mm 的美国 Velmex 树木年轮分析系统。在每条测量线(X_1, X_2, \dots, X_n)上,测定从本次火灾到下一次火灾之间每年形成的年轮宽度值。

1.3.3 统计分析

用 EXCEL、SPSS 等软件,分析在中低强度火烧伤害后,树木径向、横向及圆盘增损面积的变化情况。

(1) 横向和径向年轮宽度变化

横向上 对前后两次火灾之间生长形成的区域,由靠近火疤点逐渐向偏离火疤点部位划定测量线,然后对每条测量线上年轮宽度均值变化情况进行比较分析。对于横向上数据的分析,用每条测定线上平均宽度分析两次火灾之间横向上生长释放的变化范围。

径向上 对火灾之后至下一次火灾之间形成的年轮生长释放持续时间进行分析。径向上数据的分析,根据测量线在每年年轮上划定的数量,求出每年的平均年轮宽度值,然后分析火灾后至下次火灾之前,年轮生长

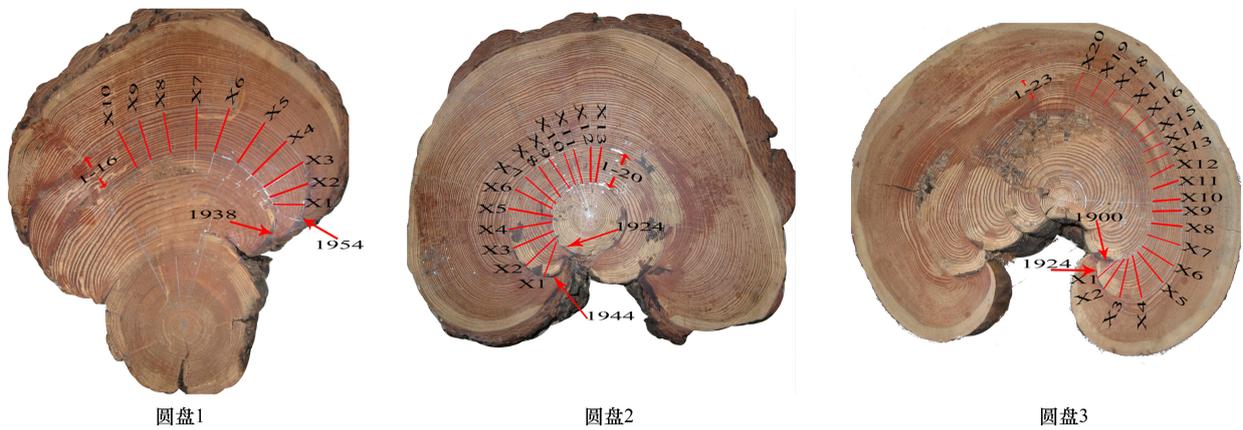


图1 实验用火疤圆盘图片

Fig. 1 Photos of fire-scar discs for experiment

X1、X2、...代表沿年轮方向的不同测量线,1938 等代表火灾年,1—16、1—20 和 1—23 代表横向测量的年轮

释放的持续时间范围。

(2) 两次火灾之间生长增损面积变化

在对火疤木横截面上两次火灾之间生长增损面积变化比较时,首先通过对之前测定数据的分析,求出前后两次火灾之间正常情况下的整个生长面。借助于尺规描绘在硫酸纸上,然后用扫描仪对硫酸纸上的图进行扫描,导入 Auto CAD 描图。计算正常理论生长面积、异常增加及损失面积,然后用下面公式计算对圆盘面积变化百分率:

$$\text{整体增加比率}(\%) = (\text{圆盘实际横截面积} - \text{正常理论生长面积}) / \text{正常理论生长面积}$$

$$\text{整体损失比率}(\%) = (\text{正常理论生长面积} - \text{圆盘实际横截面积}) / \text{正常理论生长面积}$$

2 结果与分析

2.1 火烧刺激部位生长量变化

从 3 个圆盘火烧后横向生长数据(表 2)可以看出,由火烧部位至偏离火烧部位,其生长表现为由低到高,再由高逐渐走向稳定生长的变化趋势。从表 2 中的圆盘 1 和图 2A 来看,第 7 个测量线之后的年平均宽度值呈稳定趋势,也就是说火烧对树木横向生长的干扰开始消失,年轮生长开始恢复正常。从表 2 还可以看出,尽管圆盘 1 第 3—6 条测量线宽度值较大(即生长异常增大),但是由于之后的异常增长量较之前火烧导致的生长损失量差异大,所以难以弥补其损失量。

表 2 由火疤部位至逐渐偏离火疤部位平均年轮宽度变化

Table 2 Mean tree-ring widths from firing points to normal positions

测量线代码 Code of measuring line	年轮宽度 Tree-ring widths/mm			测量线代码 Code of measuring line	年轮宽度 Tree-ring widths/mm		
	圆盘 1 Disc 1	圆盘 2 Disc 2	圆盘 3 Disc 3		圆盘 1 Disc 1	圆盘 2 Disc 2	圆盘 3 Disc 3
X1	1.221	1.614	0.752	X2	1.663	2.014	1.350
X3	1.953	2.198	1.620	X4	2.024	2.144	1.738
X5	2.075	2.166	1.570	X6	1.989	2.113	1.431
X7	1.915	1.983	1.352	X8	1.890	1.799	1.240
X9	1.898	1.704	1.173	X10	1.899	1.695	1.101
X11		1.735	1.056	X12		1.736	1.049
X13		1.747	0.999	X14			0.930
X15			0.887	X16			0.865
X17			0.837	X18			0.807
X19			0.885	X20			0.862

在表2 圆盘2 和图2B 中, 测量线 X9 之后年轮生长开始恢复正常。可以看出, 样本在距离火烧点近的部位较早地开始生长量异常增加, 所以 X2—X8 的生长很明显能够补偿 X1 部位损失的生长量。

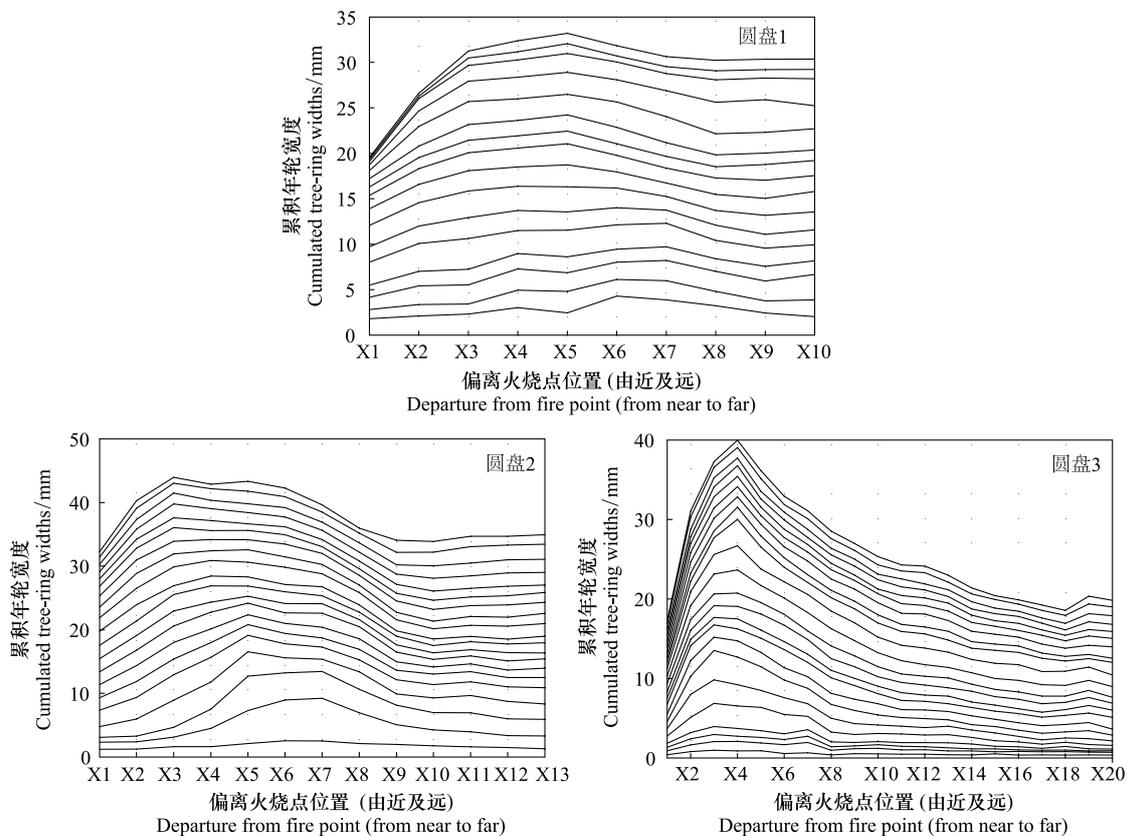


图2 火灾后火疤圆盘横向和纵向年轮宽度变化

Fig.2 Variations of transverse and radial tree-ring widths in three discs after fires

从表2 圆盘3 和图2C 中也可以看出, 从 X14 这条测量线开始年轮生长趋于稳定, 即生长受火干扰的影响开始消失。同时也可以看出, X2—X12 之间异常增加的生长量完全可以弥补由火灾导致的那部分生长损失量。

那么这些异常增加的生长量, 一部分用于弥补靠近火烧部位年轮的生长量损失, 一部分则用于弥补火灾烧失的生长损失量。

2.2 火烧后逐年宽度变化

树木生长过程中每年形成的年轮, 除了受本身遗传特性和立地条件影响之外, 还受当年及上一年或生长前期许多气候因子的综合影响^[12-14]。每年树木年轮的形成主要源于形成层的活动, 树木在受到火烧伤害后, 形成的年轮宽度值也具有明显的变化特征。从表3 和图2 可以看出, 火烧后的若干年, 年轮生长有一个明显的释放过程, 也就是年轮宽度在火烧后几年内较火烧前几年明显变宽。因为树木的生长和立地环境密切相关并受多种气候因子的影响, 树木年轮宽度的增加与温度、降水、太阳辐射、CO₂ 浓度等气候因子有着复杂的关系^[15]。火烧后, 幸存下来的树木其周围环境发生了明显变化, 有效养分供给量增加, 使树木生长得到了进一步的释放。另外, 在发生火灾时, 气候都比较干旱, 树木生长较慢, 火灾后干旱得到了缓解, 生长变快。而且, 由于火烧可能会去掉一些竞争, 也会导致生长释放。

从表3 圆盘1 可以看出, 火烧后至下一次火烧之前形成的年轮基本上均得到了释放, 只是在下次火烧前最后两年年轮宽度明显变窄, 这应该是树轮对下次火灾发生的前期征兆。圆盘2 数据表明, 火烧后前5 年生长量也是呈明显增加, 之后宽度值趋于平稳增长。圆盘3 数据显示, 前4 年年轮宽度较窄, 之后10 余年形成

的年轮,宽度明显增加。从火烧后第 16 年开始,生长开始趋于稳定。牛树奎和严承高^[16]研究表明低强度、小面积火烧能增加生物多样性,这样有利于整个生态系统的恢复,从而也利于树木生长。将火烧后圆盘与未过火树木的年轮宽度比较(图 3),也证实了火烧后几年内年轮宽度会增加,但到一定时间后其生长还会恢复到原来的生长速度这一观点。

表 3 火灾后每年年轮宽度变化
Table 3 Mean annual tree-ring widths after fires

火灾后第几年 Lag year after fire	平均年轮宽度 Mean tree-ring width/mm			火灾后第几年 Lag year after fire	平均年轮宽度 Mean tree-ring width/mm		
	圆盘 1 Disc 1	圆盘 2 Disc 2	圆盘 3 Disc 3		圆盘 1 Disc 1	圆盘 2 Disc 2	圆盘 3 Disc 3
1	2.748	1.769	0.541	2	1.637	3.201	0.660
3	2.119	2.915	0.446	4	1.550	2.750	0.560
5	2.554	2.594	1.309	6	1.829	1.805	1.367
7	2.266	1.697	1.537	8	1.973	1.861	1.274
9	1.856	1.445	1.411	10	1.347	1.702	0.880
11	1.444	1.335	1.305	12	2.287	2.166	1.154
13	2.429	1.583	1.731	14	1.902	1.810	1.951
15	0.769	1.458	1.701	16	0.931	1.322	0.905
17		1.741	1.341	18		1.601	1.097
19		1.877	0.916	20		1.286	0.969
21			0.879	22			1.145
23			0.798				

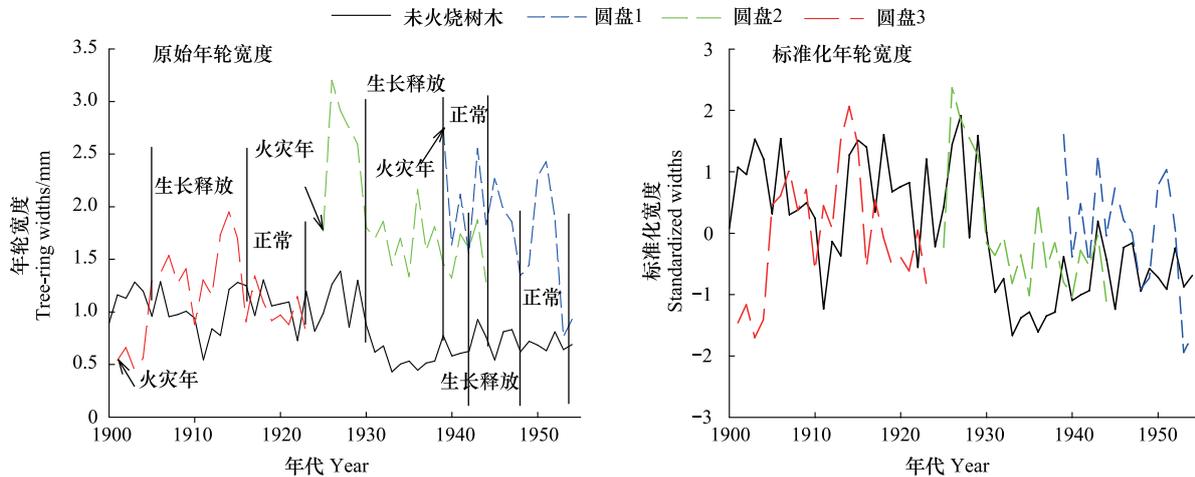


图 3 火烧圆盘火后年轮宽度与未火烧树木年轮宽度比较; 未火烧树木年轮宽度为 20 棵树木样芯的均值

Fig. 3 Comparison of tree-ring widths in discs and cores after firing and unfired trees, raw tree-ring widths, standardized tree-ring widths; Tree-ring widths of unfired trees are the mean values of 20 cores

2.3 火烧影响生长趋势的拟合

通过对综合后数据在径向和横向上进行分析,以及分别对 3 个样本数据的分析可以看出(图 4),火灾干扰后,年轮生长均呈明显的抛物线趋势。本文选取综合后测量线上前 10 个平均年轮宽度值数据作为纵坐标,以相应的测量线作为横坐标对其变化规律进行方程拟合,拟合方程为:

$$y = 0.0069x^3 - 0.1435x^2 + 0.8485x + 0.5586 \quad (DF = 3, SS = 0.62, MS = 0.21, F = 227.7, P < 0.0001)$$

式中,y 为 X1 到 X10 的年轮宽度(径向 16 个年轮的均值),x 为距火烧点横向距离。决定系数 $R^2 = 0.99$ 。从图 4A 可以看出拟合结果很好,说明火灾干扰后,年轮自火烧部位逐渐向内移动过程中其生长变化趋势。

另外,本研究还模拟了火烧后几年年轮宽度的变化(图4),从图上可以明显看出,火后年轮宽度有轻微的增加,之后又逐渐降低。增加可能与火烧有一定关系,之后又降低可能受年龄影响。

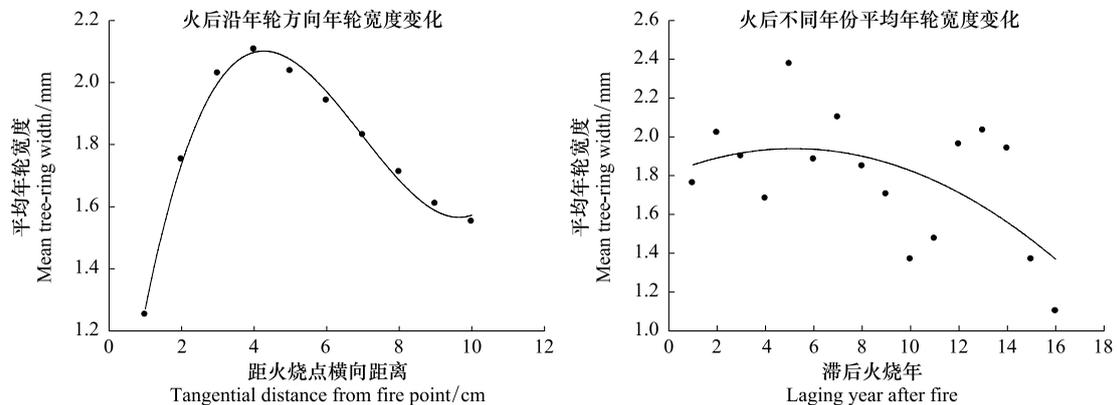


图4 火后年轮宽度变化曲线

Fig. 4 Variations of tree-ring widths in transverse and radial directions after fires

2.4 火疤圆盘损失与增加面积比较

从表4可以看出,圆盘2和3烧失区域面积由圆盘异常增加区域面积得到了弥补,并且较正常生长面积还要多出一部分,也就是说中低强度火灾能够促进树木的生长释放。但是圆盘1在火灾后其生长明显不同于另两个火疤圆盘,从图1可以看出,圆盘1本身正常生长区域损失面积明显较大,之后的生长远不能对其烧失区域进行弥补。

就本次测定的3个圆盘来看,生长释放程度主要与测定部位及圆盘本身的烧失程度有关。从图1可以很明显看出,圆盘2、3(即后两个火疤圆盘)在中低强度火灾干扰下树木损失量较少,而圆盘1其烧失程度明显较另外两个严重的多,烧失面积几乎超过整个树木正常横截面的2/3。

表4 火烧圆盘增损面积比较

Table 4 Comparison for the areas of increase or loss in each fire disc

圆盘 Discs	整体损失面积 Loss area/mm ²	整体增加面积 Increase area/mm ²	整体增加率 Increase percentage/%	整体损失率 Loss percentage/%
1	24029	0	0	67.2
2	1048	1829	6.6	0
3	3344	5610	13.7	0

总之,火灾后受损部位在之后的生长过程中其径向上和横向上都得到了一定程度的释放,并表现出明显的变化趋势和规律。但是,有些树木或是受到高强度火的干扰,或是由于火灾前树木本身生长过程中受到过其他干扰而使树木严重受损,也就出现了像圆盘1的情况:火灾之后的生长释放难以弥补两次火灾之间由于火干扰导致的损失。

3 讨论

从以上对火疤圆盘年轮宽度值的分析可以看出,火烧对林分的生长无疑会带来一定的影响。林火因子具有两重性,一定频率、一定强度的火烧能维护森林生态系统的平衡和稳定^[17-19]。火灾后树木生物量的烧失和恢复,实质是指树木本身对碳的释放和固定。本研究结果也在已有研究中得到印证,例如,张瑶等^[20]研究指出,中等火灾中单位面积的碳释放量最小,中度火烧迹地内平均碳固定量最大。在中度火烧后恢复期内存活下来的大径级落叶松,其平均高度与平均胸径会较未火烧前增加^[21]。中度火烧过的林地已经淘汰了小直径的立木,存活的是大径木,因而林分平均值被显著提高,随之使林分平均高得以提高^[17]。邱扬等^[22]也指出,火干扰后,兴安落叶松具有较强的自我恢复力。然而,随着时间的延长,对树木生长有利的条件日益减少,给

兴安落叶松自我恢复造成了障碍,也即是本文所指的恢复趋势恢复正常。

树木在遭受到火烧后直至下一次火灾发生,虽然火间隔期内有一部分区域不能得到正常生长,且靠近火烧部位的年轮生长表现为窄轮,但在偏离烧伤的一定范围内,年轮宽度却出现了明显增加,之后生长又趋于正常。在整个圆盘上可以看到在偏离火烧一定距离的部位两侧各有一个明显的突起区域。

树木在火灾之后,为什么会出现靠近火烧部位年轮宽度较窄,之后逐渐增宽,最后归于正常的现象呢?主要原因是在火烧损伤后,树木将损伤部分与本身隔开,首先形成化学防护带,以限制致腐有机体的扩散,在火烧之后长出的木材中,形成层生长出抗腐层以保护新的生长^[23]。此外,受伤后愈伤组织对形成层形成时间上的影响,导致靠近火烧部位的形成层形成时间较晚,且活动程度较弱,进而使得该区域形成的用于输导碳水化合物的韧皮部较少。在圆盘中也可以清晰的看到(图1),由较薄韧皮部承担的输送养分的能力较弱,导致该部位生长量会保持数年或数十年呈偏小状态。

随着生长逐渐偏离火烧部位,生长也表现为逐渐增加,并有一明显增长区域。这主要是由于火灾后树木周围环境发生了改变,火干扰对土壤的影响在北方针叶林中尤为突出,火干扰可减少有机物积累、增高土温、提高土壤 pH 值、促进营养循环、防止土壤沼泽化^[24]。树木本身除基部受到局部损伤,其上部枝叶和主干受损程度较轻。春季是大兴安岭林区火灾易发季节^[25],同时,落叶松径向生长所需养分来源于前一年储备的有机物^[26],所以火灾年之后第 1 年释放生长不会受到养分供给的制约,之后又由于其周围环境的改善,导致对养分利用率增加。使由上而下经韧皮部输导的养分在偏离火烧且形成层生长正常部位进行了就近集中供应,使得原本供给两次火灾之间烧失部位的养分,转移给了现在在圆盘横截面上看到的生长量增加的部位,同时这也是中低强度火灾后数年内年轮生长得以释放的原因。

径向上,圆盘 3 在火灾后前几年生长释放较为异常,通过对其他地区采集的火疤圆盘进行详细观察,发现这种现象并不具有规律性。该圆盘出现这种情况,很可能与高强度火灾后树木周围可利用养分的急剧减少、树木上部枝干烧失量或火灾发生季节有关^[3]。

对整个火疤圆盘进行增损面积比较发现,树木本身对于中低强度火灾导致的生物量损失有一定的补偿能力。但在分析中我们也发现,这种补偿机制会受到一些因素的影响,也就是说两次火灾之间异常增加的生长量有时会出现难以弥补其正常生长区域内烧失量。对于这些限制因素,现从以下方面进行分析:

(1) 树木径级差异会影响到火烧后的生长释放。发生火灾时径级较大,树木本身的补偿效果就较明显;反之弥补效果就越差,如圆盘 3。当胸径较小树木受到低强度火烧时,生长释放呈现均一性(靠近火烧部位除外),如圆盘 2。火烧刺激几乎影响到了整年年轮的生长,进而导致在描图时出现了正常生长和异常增加区域的差异相对于大胸径树木小。这也就解释了为什么树龄、胸径、健康状况差不多的火疤圆盘 2 和 3 受火干扰年龄阶段不同,在 2 次火灾之间面积增损变化时有差异的原因。

(2) 树木损伤程度、火灾强度和频度差异也会影响到其火烧后的生长释放。如圆盘 1,在测定其面积增损时发现,受低强度火干扰后,没有受到火烧部位树木的生长并没有对受损部位进行很好的弥补,这主要是圆盘 1 在遭受火灾时,火疤部位有 2/3 的树木被之前的干扰严重破坏成为死组织。之后的生长整体均得到了释放,描图后发现其正常生长区域范围内出现了面积损失,从图 2 也可以看出,正常小范围的生长异常增加高度与之后的正常生长高度相差较小,并且靠近火烧部位的损失程度较大,这也是出现弥补严重不足的原因。

4 结论

通过上述对受到中低强度火灾后的 3 个火疤圆盘进行相关分析,可以得出:在横向上(沿年轮方向),树木直径较小时或树木损伤严重的情况下遭到中低强度火灾,除靠近火烧部位之外,其释放范围几乎涉及两次火灾之间的整个区域;树木直径较大、火烧部位死伤组织较小的情况下,从整个圆盘看,单侧释放范围多在距火烧部位 1/3 范围内。在径向上(垂直年轮方向),中低强度火灾不仅能够改善树木周围的环境条件,还可以促进营养物质的再循环,这就为火灾之后树木的生长释放创造了条件。圆盘 1、2、3 在火烧后几年内均得到生长释放,但释放程度有所差异,生长释放的时间长度大致为 14a、5a 和 11a。火烧后,正常情况下中低强度火灾

对树木的烧失量基本上能由异常增加的生长量予以补偿,但树木损伤严重时,则不能补偿烧伤的损失。

致谢:大兴安岭塔河林业局防火办对野外采样给予帮助。

References:

- [1] Zheng H N, Jia S Q, Hu H Q. Forest fire and forest rehabilitation in the Daxing'an Mountains. *Journal of Northeast Forestry University*, 1986, 14 (4): 1-7.
- [2] Wang X X. The study of the grade or the classification standard in forest fire behavior. *Fire Safety Science*, 1995, 4(1): 12-18.
- [3] He Q T. *Forest Environment*. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [4] Duan X G. Study on fire tolerance of *Larix gmelinii*. *Forest Fire Prevention*, 1991, 31(4): 7-11.
- [5] White P S, Pickett S T A. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction // Pickett S T A, White P S, eds. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Orlando: Academic Press, 1985, 3-13.
- [6] Kasischke E S, O'Niell K P, French N H F, Bourgeau-Chavez L L. Controls on patterns of biomass burning in Alaskan boreal forests // Kasischke E S, Stocks B J, eds. *Fire, Climate Change and Carbon Cycling in North American Boreal Forests*, Ecological Studies Series. New York: Springer, 2000: 173-196.
- [7] Tian X R, Shu L F, Wang M Y. Direct carbon emissions from Chinese forest fires, 1991—2000. *Fire Safety Science*, 2003, 12(1): 6-10.
- [8] Amiro B D, Todd J B, Wotton B M, Logan K A, Flannigan M D, Stocks B J, Mason J A, Martell D L, Hirsch K G. Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959—1999. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31(3): 512-525.
- [9] Di X Y, Li Y F, Sun J, Yang G. Dynamics of forest fire weather indices in Tahe County of Great Xing'an Mountains region, Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(5): 1240-1246.
- [10] Turetsky M R, Kane E S, Harden J W, Ottmar R D, Manies K L, Hoy E, Kasischke E S. Recent acceleration of biomass burning and carbon losses in Alaskan forests and peatlands. *Nature Geoscience*, 2011, 4(1): 27-31.
- [11] Xu H C. *Da Hinggan Ling Mountains Forests in China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [12] Wu X D. *Tree Rings and Climate Change*. Beijing: China Meteorological Press, 1990.
- [13] Fei B H, Ruan X G. Effects of temperature and precipitation on tree ring and wood density of ginkgo in Beijing. *Forest Research*, 2001, 14(2): 176-180.
- [14] Wu Z M, Huang C L, Ma Q S. Relationship between tree-ring growth of *Pinus taiwanensis* and climatic factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 147-150.
- [15] Wang T, Yu D, Li J F, Ma K P. Advances in research on the relationship between climatic change and tree-ring width. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(1): 23-33.
- [16] Niu S K, Yan C G. Effects of forest fires on biodiversity // *Advance in Biodiversity Research-Proceeding of the First International Symposium on Conservation and Sustainable Utility of Biodiversity*. Beijing: China Science and Technology Press, 1995.
- [17] Luo J C. Influence of forest fire disaster on forest ecosystem in Great Xing'anling. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(5/6): 101-107.
- [18] Zheng H N, Hu H Q, Yao S R. *Forest Fire Ecology*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1992.
- [19] Hu H Q. *Forest Fires and Environments*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2000.
- [20] Zhang Y. *The Effect of Forest Fires on Carbon Budget in Daxing'an Mountains [D]*. Harbin: Northeast Forestry University, 2009.
- [21] Zhao J. *Study on Process of Burned Areas Forest Natural Restoration in Daxing'anling [D]*. Harbin: Northeast Forestry University, 2009.
- [22] Qiu Y, Li Z D, Xu H C. Study on the relationship between the stability of *Larix gmelinii* population and the fire disturbance. *Bulletin of Botanical Research*, 1997, 17(4): 441-446.
- [23] Fu S. Response of tree on wounds. *Hunan Forestry Science and Technology*, 1986, (3): 59-60.
- [24] Heinselman M L. Fire and succession in the conifer forests of northern North America // West D C, Shugart H H, Botkin D B, eds. *Forest Succession: Concepts and Application*. New York, Springer-Verlag, 1981.
- [25] Yu W Y, Zhou G S, Zhao X L, Xie Y B, Jia Q Y. Characteristics of forest fire and its controls in Daxing'anling Mountains, Heilongjiang Province. *Journal of Meteorology and Environment*, 2009, 25(4): 1-5.
- [26] Zhang Y B, Zheng H M, Long R Z, Yang B C. A study on vegetative growth and formation of xylem and bark for young *Larix principis-rupprechtii* Mayr. *Scientia Silvae Sinicae*, 1987, 23(2): 129-137.

参考文献:

- [1] 郑焕能, 贾松青, 胡海清. 大兴安岭林区的林火与森林恢复. *东北林业大学学报*, 1986, 14(4): 1-7.

- [2] 王贤祥. 森林火行为的分级或分类标准的研究. 火灾科学, 1995, 4(1): 12-18.
- [3] 贺庆棠. 森林环境学. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [4] 段向阁. 兴安落叶松抗火性研究. 森林防火, 1991, 31(4): 7-11.
- [7] 田晓瑞, 舒立福, 王明玉. 1991—2000 年中国森林火灾直接释放碳量估算. 火灾科学, 2003, 12(1): 6-10.
- [9] 邸雪颖, 李永福, 孙建, 杨光. 黑龙江省大兴安岭地区塔河县森林火险天气指标动态. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1240-1246.
- [11] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 吴祥定. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990.
- [13] 费本华, 阮锡根. 北京地区气温和降水对银杏木材年轮和密度的影响. 林业科学研究, 2001, 14(2): 176-180.
- [14] 吴泽民, 黄成林, 马青山. 黄山松年轮生长和气候的关系. 应用生态学报, 1999, 10(2): 147-150.
- [15] 王婷, 于丹, 李江风, 马克平. 树木年轮宽度与气候变化关系研究进展. 植物生态学报, 2003, 27(1): 23-33.
- [16] 牛树奎, 严承高. 林火对生物多样性的影响 // 生物多样性研究进展——首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [17] 罗菊春. 大兴安岭森林火灾对森林生态系统的影响. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 101-107.
- [18] 郑焕能, 胡海清, 姚树人. 林火生态. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992.
- [19] 胡海清. 林火与环境. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2000.
- [20] 张瑶. 大兴安岭 26 年间林火对森林植被碳收支的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [21] 赵俊. 大兴安岭火烧迹地森林自然恢复过程的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [22] 邱扬, 李湛东, 徐化成. 兴安落叶松种群的稳定性与火干扰关系的研究. 植物研究, 1997, 17(4): 441-446.
- [23] 傅生. 树木对创伤的反应. 湖南林业科技, 1986, (3): 59-60.
- [25] 于文颖, 周广胜, 赵先丽, 谢艳兵, 贾庆宇. 大兴安岭林区火灾特征及影响因子. 气象与环境学报, 2009, 25(4): 1-5.
- [26] 张英伯, 郑槐明, 龙瑞芝, 杨炳才. 华北落叶松幼树的营养生长及木材和树皮形成的研究. 林业科学, 1987, 23(2): 129-137.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (*Eumeces chinensis*): testing the maternal manipulation hypothesis LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)

Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus*) SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)

Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)

Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese *Anser indicus* wintering at Caohai Lake of Guizhou, China YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)

Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)

Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)

Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)

Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)

Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)

Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)

Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)

The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)

Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)

The dynamic variation of maize (*Setaria mays* L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)

Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)

Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)

Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)

Photosynthetic response of different ecotype of *Illicium lanceolatum* seedlings to drought stress and rewatering CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)

Seasonal variations in the stems of *Larix principis-rupprechtii* at the treeline of the Luya Mountains DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)

Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)

Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of *Catalpa bungei* clones WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)

Effects of fire damages on *Larix gmelinii* radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)

A model for water consumption by mountain jujube pear-like XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)

Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元