

火干扰后红松生长与气候因子的关系

高露双¹, 赵秀海^{1,*}, 王晓明²

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:研究了长白山地区火烧后存活下来的红松(*Pinus koraiensis*)与气候因子的关系,揭示火干扰后树木生长对气候要素的响应策略,建立生长量与气候要素的模拟方程,定量估算火干扰后温度变化对火烧红松径向生长的影响。结果表明,火烧红松年轮宽度与当年2月份、生长季最高温度显著负相关,与1月、5月、9月份和10月份的月最低温度显著正相关,与上一年6月和8月份的月降水量显著负相关,与平均温度的相关未达到显著,生长季的月最高温度是影响火烧红松径向生长的主要原因,且当温度上升4℃时,火烧红松的年生长量降低14%。推断火干扰后红松生长对温度较敏感,全球变暖有可能导致火烧红松的生长量降低。

关键词:火烧红松; 气候要素; 生长量

文章编号:1000-0933(2009)11-5963-08 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Correlations between meteorological factors and growth of *Pinus Koraiensis* after fired

GAO Lu-Shuang¹, ZHAO Xiu-Hai^{1,*}, WANG Xiao-Ming²

The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5963 ~ 5970.

Abstract: This paper revealed the response policy of tree after fired to meteorological factors through the relationship between tree-ring widths of *Pinus koraiensis* after fired in Changbai Mountain and the climate factors. The model was built to assess the effect of increasing temperature to the radial growth of *P. koraiensis* after fired. The results show that the *P. koraiensis* after fired was significant negative correlated to mean monthly maximum temperature of current Feb, June, July and Sep., and positive correlated to the mean monthly minimum temperature of Jan., May, Sep. and Oct. in this year and monthly precipitation of June and Aug. in the last year. There was no significant relationship between the growth of *P. koraiensis* after fired and mean monthly temperature. The monthly maximum temperature in current growth season is the main influence factor to the radial growth of *P. koraiensis* after fired. When the temperature increase to 4℃, 14% of the annual growth of *P. koraiensis* after fired will be decreased. Therefore, it can be concluded that the *P. koraiensis* after fired is sensitive to extreme temperature, and the global warming will decrease the annual growth of *P. koraiensis* after fired.

Key Words: *P. koraiensis* after fired; meteorological factors; annual growth

火干扰是自然界普遍存在的干扰之一,很早就被认为在森林生态平衡和生物多样性维持方面起着重要作用^[1,2]。火干扰后,群落内植被覆盖大大减少^[3,4],林窗的产生有利于存活下来的乔木和一些阳生树种的生长^[5],在迹地恢复前期乔木生产力在短时间内上升^[6],而草本层生产力则随迹地年龄的增大而逐渐减小^[7,8],然而对影响火干扰后树木生长情况的因子分析研究却很少。近年来随着全球变化及其对森林生态系统的影响日益受到关注,利用年轮资料来研究和预测环境因素对树木生长和森林结构与功能影响的研究逐渐受到重

基金项目:国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD03A0804)

收稿日期:2009-01-08; 修订日期:2009-05-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

视^[9-11]。本文选择在先后开展了利用树轮资料重建温度^[12]和降水变化^[13],季风强弱变迁历史^[14]以及树轮宽度与气候变化关系分析^[15,16]等相关研究的长白山地区,利用具有定年准,精度高,时间序列长等特点的树轮宽度资料,对该地区火干扰后存活下来的红松(以下简称火烧红松)生长与气候要素的关系进行分析,了解树木受干扰影响的程度,找到抑制或促进植被生长的相关气候因子,揭示影响火干扰后树木生长的主要气候因子,并建立生长量与气候因子的模拟方程,预测气候因子对树木生长量的影响,制定合适的恢复策略,为火干扰迹地植被恢复研究提供更多的理论基础。

1 研究地区概况

2007年6月至7月和2007年9月至10月在长白山北坡进行火烧迹地踏查,最终将研究区设在长白山北坡自然保护区后山(海拔784m, N42°20'21", E128°05'705"),南北向边长为200m和东西向边长为100m的2hm²样带。该区为典型的针阔混交林顶级群落,自保护区建立以来受到了相对严格的保护,物种组成为3红松+2蒙古栎+2水曲柳+2紫椴+1色木槭,区域内乔木燃烧者多为红松和少数水曲柳,且根系多呈盘状,先由树根部同时向树干燃烧,样地内红松树干有心腐现象,发生率为80%。本地区气候属于受季风影响的温带大陆性气候,具有冬季寒冷而漫长,夏季温暖多雨而短暂的特点,阔叶红松林带年均温度约2.8℃,月平均温度最低出现在1月份为-15.4℃,月平均温度最高出现在7月份为19.6℃,年平均降水量为707.0mm。温度的年较差和日较差都很大,无霜期短,冰冻期长。

2 研究方法

2.1 样本采集及树轮宽度指数序列的建立

根据红松树皮外的火痕和根部的碳化痕迹来确定是否为火烧木,将所有符合条件的红松确定为样木,采集样芯,并测量胸径大小。鉴于火烧强度和时间资料的缺失及取样难度的限制,分别在每株样树靠近地面(接近碳化部分)和胸径处按同一方向各取1个样芯,取样方向一般与山坡等高线方向一致,共采集58个火烧红松样芯,其中30个基部完整样芯和28个胸径处样芯。样品带回实验室后进行处理,按照Stokes和Smiley的方法^[17]进行交叉定年,采用Lintab5(精度为0.01mm)量测样芯宽度,最后利用COFECHA程序^[18]对交叉定年和测量结果进行检验。考虑到样芯序列的长度和信息的可靠性,因此只选择火烧后的年轮宽度序列,通过ARSTAN程序^[19]建立树轮宽度年表,以32步长的样条函数去掉树木本身遗传因子产生的生长趋势和树木之间干扰竞争产生的抑制和释放等的生长趋势,最终得到三类年表,分别为标准年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)。

2.2 气候资料

本文采用中国科学院长白山森林生态系统定位站(128°28'E, 42°24'N; 海拔738m)1982~2007年的气候数据,包括月平均温度、月最高温度、月平均最低温度和月降水量,上一个生长季(PG: 上年5、7、8、9月份),上一个冬季(PW: 上年10、11、12、1、2月份),当年春季(CS: 3、4月份)和当年生长季(CG: 5、6、7、8、9月份)。采用Kendall^[20]方法检查了序列是否存在突变点,用Double-mass方法^[21]检查序列的非随机变化。检验的结果表明,该站气候数据可用来代表自然气候的变化。

2.3 公共区间分析和相关分析

对轮宽指数序列进行公共区间分析,所取公共时段为1938~2006年。在所用到的年表统计特征中,平均敏感度^[22]是度量相邻年轮间轮宽变化情况的指标,用来说明树木生长对外界环境变化的敏感程度;信噪比^[23]是指气候信号(气候方差)与非气候因素造成的噪音(非气候方差)的比值;样本总体代表性^[24]是指N条时间序列的均值与总体之间的相关程度,是一个表示子集序列对总体代表程度的统计量;标准差^[25]是反映树轮年表气候信息含量多少的一个统计参数。

由于树轮生长不仅受当年气象因子的影响,还受前一年气象因子的影响。因此采用上年5月份到当年9月份共16个月的气候指标进行树轮气候响应分析。年表与气候要素的关系是通过Dendroclimate2002软件^[26]完成的。

2.4 生长量预测模型

通过 SPSS 软件^[27]中的多元逐步回归方法建立模型来描述其年生长指数与平均气候要素间的关系,并得到火烧红松树轮宽度指数与季节气候因子变量的最优回归方程。

3 结果与分析

3.1 年表分析

树轮学相关研究表明,一般高质量的树轮年表具有平均敏感度^[22]大,标准差^[25]大,信噪比^[23]高,样本总体代表性^[24]好等特点。由表 1 中可以看出,标准化年表的信噪比,标准差和第一主分量均为三类年表中最高,平均敏感度也较高,具体统计特征及共同区间分析特征见表 1。综合以上统计特征的分析结果,证明火烧红松标准化年表能更好地反映气候因子对树轮宽度的影响,因此采用火烧红松的标准化年表进行气候要素的响应分析。

表 1 火烧红松年表的统计特征及共同区间(1938~2006)分析特征

统计特征 Statistics characters	年表类型 Chronology types		
	标准年表 STD	差值年表 RES	自回归年表 ARS
样本量/株 Samples/stem	25/25	25/25	25/25
平均敏感度 Mean sensitivity	0.1680	0.1919	0.1695
标准差 Standard deviation	0.1855	0.1754	0.1807
树与树平均相关系数 Between trees	0.407	0.405	
信噪比 Signal-to-noise ratio	15.110	14.976	
样本总体代表性 Expressing population signal	0.938	0.937	
第一主成分量 Variation in first eigenvector	43.90%	43.59%	

3.2 与气候要素相关分析

采用月平均温度,月最高温度和月最低温度与月降水量作为气候变量进行气候响应分析时,主成份多重回归分析结果分别为月平均温度和月降水量可以解释火烧红松年轮宽度 62.4% 变异;月最高温度可以解释火烧红松年轮宽度 87.9%,月最低温度可以解释火烧红松年轮宽度 49.1% 变异,这说明火烧红松对月最高温度比较敏感。

表 2 火烧红松年轮宽度与月份气候资料的相关系数

Table 2 Simple correlations between annual tree-ring stand chronology of *P. koraiensis* after fired and monthly mean, maximum, and minimum temperature and precipitation from the previous May to current September

月份 Month	月平均温度 Monthly mean temperature	月最高温度 Monthly maximum temperature	月最低温度 Monthly minimum temperature	月降水量 Monthly precipitation
5	-0.10	-0.16	0.02	-0.31
6	-0.18	-0.13	0.01	-0.36 *
7	-0.14	-0.28	0.14	-0.15
8	-0.07	-0.08	-0.12	-0.47 *
9	-0.30	-0.37	0.22	0.28
0	-0.12	-0.29	0.25	0.03
11	0.11	0.22	0.20	0.25
12	0.07	-0.17	0.36	-0.18
1	0.01	-0.38	0.48 *	-0.21
2	0.06	-0.40 *	0.38	0.31
3	0.08	-0.36	0.33	-0.22
4	0.13	-0.40	0.56 *	-0.22
5	-0.03	-0.42	0.62 *	-0.07
6	0.00	-0.67 *	0.31	-0.02
7	-0.17	-0.49 *	0.36	0.02
8	-0.19	-0.34	0.30	-0.26
9	-0.15	-0.58 *	0.57	-0.02

表3 火烧红松年轮宽度与季节气候变量的相关系数

Table 3 Correlation coefficient for STD chronology of *P. koraiensis* after fired and seasonal meteorological data

	月平均温度 Monthly mean temperature	月最高温度 Monthly maximum temperature	月最低温度 Monthly minimum temperature	月降水量 Monthly precipitation
PG	-0.37	-0.19	0.01	-0.47 *
PW	0.05	-0.14	0.32	-0.08
CS	0.12	-0.34	0.38	-0.13
CG	-0.28	-0.64 **	0.42 *	-0.15

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; PG: 上年生长季 Previous growth season; PW: 上年冬季 Previous winter; CS: 当年春季 Current spring; CG: 当年生长季 Current growth season

由表2可以看到,火烧红松与当年2月、6月、7月、9月份的月最高温度显著负相关,与1月、4月和5月份的月最低温度显著正相关,与上一年6月和8月份降水量显著负相关,与月平均温度相关均不显著。长白山地区红松大约从5月初进入生长季,9月份生长季结束,11月份进入休眠期,当年1月和4月份的温度升高,加速了地面积雪的溶化和地温的升高,促进土壤动物和菌类的活动,加强根系的水分和营养物质的交换以及地上部分的活动,有利于延长生长季,促进了树木的生长。在5月份生长季开始时最低温度的升高能够增加光合作用有效酶的活性,提高光合作用的效率,积累更多的营养物质,进而形成宽轮。6、7月份是红松速生期,在此期间能量消耗大,如果温度过高则会加快土壤蒸发失水量并提高蒸汽压差,使土壤水分不足,甚至导致气孔关闭,降低营养物质的积累的同时消耗更多的能量,即使降水非常充裕,当年也只能形成窄轮,因而生长季的高温多表现为与年轮宽度的负相关;同时上一年生长季温度增加和过多的降水都会延长树木生长的时间,促进了上一年树木的生长,消耗树木体内存留的营养物质,从而减少了对下一年树木生长所需营养的提供,因而影响下一年树木的径向生长。

由季节性气候因子对火烧红松的分析结果得知,火烧红松年轮宽度与上一年生长季节的月降水量和当年生长季的月最高温度显著负相关,与当年生长季的月最低温度显著正相关,这与月份变量的分析结果一致。

3.3 单年分析

从图1a可以看出,火烧红松树轮宽度年表在1987年出现了窄轮,而在1989年树轮宽度较大。因此,本文仅对1987年和1989年两年的月最高温度、月最低温度和月降水量的距平信息进行特征分析。从图1b可以看出,1987年进入生长季的月最高温度是1982~2006年同期中最高的,比历史月最高温度增加了12.3℃,而1989年树轮生长之初时的月最高温度距平差仅为1.3℃(图1b),同时1987年的月最低温度也较历年降低了3.7℃(图1c),这就造成1987年进入生长季时月平均温差比历年同期月平均温差多达15℃,而1989年的平均温差与历年月均平均温差差别不大,仅为0.8℃,说明生长季的月最高温度对1987年极端年轮的形成有明显的作用;1987年1月的月最低温度都较历年低9℃左右,而1989年1月的月最低温度较历年仅低1℃,同时对1986年5月~1987年9月和1988年5月~1989年9月的月降水量进行的距平分析结果(图1d)可以看出,1987年上一生长季的月降水量高于历年平均,而1989年上一年生长季的月降水量普遍低于历年平均值,这就造成了1989年与1987年两年树轮宽度的差异,也从另一方面说明了相关分析的可靠性,证明了气候要素与年表间关系的相对稳定性。

3.4 火烧红松生长量与气候要素的关系模拟

通过对火烧红松与气候要素及单年分析的研究表明火烧红松的生长与气候要素关系密切,因此采用逐步回归方法得到火烧红松轮宽指数与气候因子的最优方程:

$$Y = 7.456 - 0.003284X_1 - 0.01726X_2 - 0.01536X_3 - 0.0003439X_4$$

$R^2 = 0.719$, $p = 1.12 \times 10^{-8}$, 其中, Y 为当年树木轮宽指数, X_1 表示当年生长季最高温度, X_2 为上一年生长季月平均温度, X_3 为当年生长季的月平均温度, X_4 为上一生长季月降水量。

配对 T 检验表明,模拟值与真实值无显著差异 ($t = 0.098$, $df = 23$, $p = 0.922$), 两者相关性高达 0.845 ($p = 0.0001$), 说明该模拟方程能够较好的拟合年轮宽度指数与气候因子之间的关系, 因此可以利用此方程来预

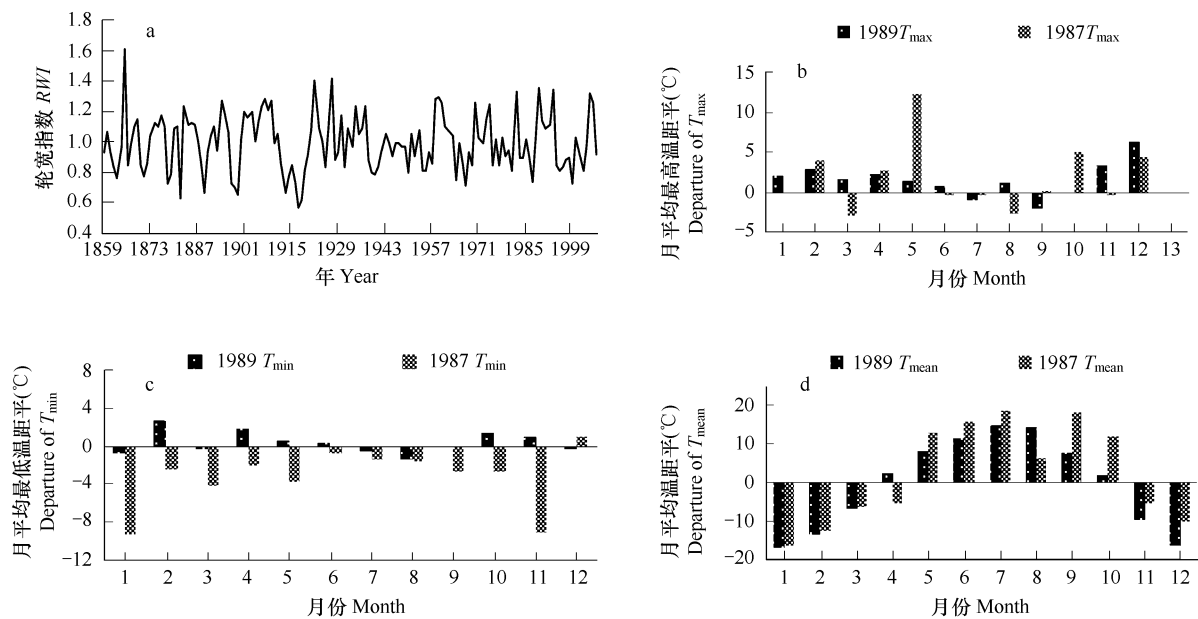


图1 火烧红松标准化年表及1987年和1989年气候因子分析

Fig. 1 Tree-ring width chronologies (STD) from 1983 to 2006 and Single year analysis of climatic factors in 1987 and 1989 represents tree-ring width chronologies (STD) of *P. koraiensis*

a 为火烧红松 1983 到 2006 年的标准化年表, b, c, d 分别表示 1987 年和 1989 年的月最高温度和月最低温度, 以及上一年 5 月到当年 9 月的月降水量距平变化 *koraiensis* after fired from 1983 to 2006, b, c and d represent departure of monthly maximum temperature (T_{max}), departure of mean monthly minimum temperature (T_{min}) in 1987 and 1989 and monthly precipitation from May in last year to Sep. in current year, respectively

测气候变化影响下年轮宽度的情况。从回归方程可以看出, 月降水量的系数很小, 火烧红松径向生长量主要受温度的影响。假定年均温度的升高是由于各月平均温度增加引起的, 且增加量是相对的均衡的, 根据大气环流模型 (GCMs) 的预测^[28-30], 我国大陆温度年均增加 2℃ 或 4℃, 由于东北地区的温度升幅可能更大^[31], 因此, 将 $\Delta T = 4^\circ\text{C}$ 代入方程, 则计算出树木的当年径向生长量将降低 14%。

4 讨论

树木生长过程中每一个年轮的形成都取决于当年及生长前期的许多气候因子 (主要是温度和降水), 外部环境和自身生理机制的综合影响^[32]。在国外, 树轮资料已经广泛应用在火干扰领域, 而我国由于火历史资料缺乏和不同火管理方式等原因, 使得火干扰领域在时间尺度上还存在一定的空白。本文试图通过研究火烧后树木径向生长与月最高温度, 月最低温度, 月平均温度以及月降水的之间的关系, 来探讨火烧木作为森林中的典型干扰木在长时间尺度上对气候要素的响应机制。

4.1 与气候因子的关系

生长季的温度对树木年轮宽度的影响较为复杂, 研究的结果也很不一致。本文从火烧红松与气候要素的相关分析中, 得到火烧红松年轮宽度与生长季的最高温度显著负相关, 与 1 月、5 月、9 月份和 10 月份的月最低温度显著正相关, 与月平均温度相关均不显著, 说明在长白山地区, 生长季的高温会抑制火烧后红松的生长, 上一年冬季和当年春季的温度升高会促进火烧后红松的生长, 这与张志华等人^[33,10]的研究结果一致。单

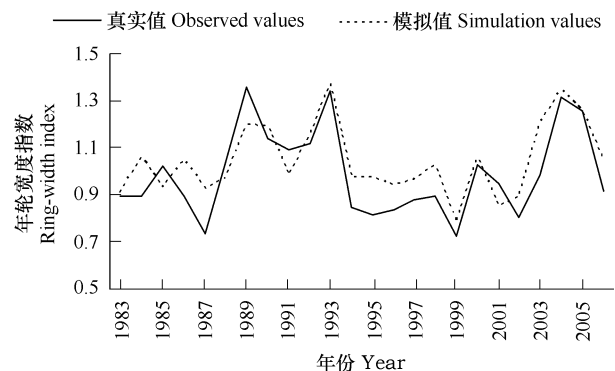


图2 火烧红松年轮生长指数的时间序列分析

Fig. 2 Time series analysis of tree-ring growth indices of *P. koraiensis* after fired

年分析(图 1)也揭示出在影响火烧红松径向生长的因子中,当年生长季的月最高温度是造成窄轮的主要原因。而 Fritts 认为生长季温度的降低常与年轮宽度负相关或不相关^[34]。邵雪梅等对川西云杉的研究也发现,在生长季内较高的温度有利于光合作用,与年轮宽度正相关^[35],这说明不同树种对气候要素的响应也有差异。同时,目前国外大量研究表明火与气候因子的密切关系^[36-38],温度升高,导致火灾的产生,火灾也将影响区域气候的变化;同时,温度对火烧红松径向生长的影响还要通过其它变量来表达,比如光照、风、蒸发、CO₂ 浓度等^[39],因此这方面还需要进一步分析才能掌握其内在规律。

4.2 火烧红松生长的预测模型

长时间尺度下树木生长预测模型将有助于了解树种的生长和森林演替的规律。依据火烧后有 25a 气候记录的红松年轮宽度数据,建立轮宽指数与气候要素的模拟方程,定量估算温度升高对于火干扰后树木生长量的影响。结果表明,若我国大陆温度年均增加 4℃,则火烧红松的径向生长量将降低 5%,且影响火烧红松生长的主要因子为最高温度,而大气增温对长白山林木直径生长的影响^[10]研究中指出年均温增加 1℃,健康红松年轮宽度将增加 48.4%,这说明健康红松和火烧红松径向生长对气候变化的响应结果有所不同,证明火干扰将导致树木生长对气候要素响应策略的改变,使得火干扰后的红松的最适温度降低,较高的温度起始值可能会超过最适温度,从而抑制树木生长^[40]。因此有必要从长时间,区域空间尺度上对长白山阔叶红松林内火烧红松和健康红松进行深入研究,进而揭示出火干扰在长白山阔叶红松林演替中的作用。

References:

- [1] Garren K H. Effects of fire on vegetation of the Southeastern United States. *Botany Review*, 1943, 9(3):733-736.
- [2] Gill A M. Fire and Australian flora: A review. *Australian Forest*, 1975, 38:1-25.
- [3] Yang S C, Liu X T, Cao H B, et al. Vegetation Change on Burn Blank in Daxing'anling Forest Areas. *Journal of Northeast Forestry University*, 1998, 26(1):19-23.
- [4] Wang X G, Li X Z, Kong F H, et al. Model of vegetation restoration under natural regeneration and human interference in the burned area of northern Daxin anling. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5):30-34.
- [5] Xi W M, Zhong Z C, Bi R C. Advance in research of forest gaps vegetation. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science)*, 1992, 17(2):268-274.
- [6] Wang Y T, Kan Z G, Chen Y, et al. Dynamics of Biomass and Productivity in the Natural Restoration Progress of the *Pinus densata* Burned Areas in Western Sichuan Province. *Forestry Science & Technology*, 2007, 32(1):82-94.
- [7] Zhou D W, Zhang B T, Li J D. Change Process of Production of Sheepgrass Grassland by Different Burning Time in Songnen Plain. *Acta Pratacultural Science*, 1995, 4(4):23-28.
- [8] Zhou D W, Zhang B T, Zhang H Y, et al. Community variation on songnen grassland after different burning time. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(1):39-43.
- [9] Lan T, Xia B, He S A. Tree ring analysis on relation of *Pinus massoniana* growth to climate factors. *Chinese Jouranl of Applied Ecology*, 1994, 5(4):422-424.
- [10] Wang M, Bat S J, Tao D, et al. Effect of rise in air-temperature on tree ring growth of forest on Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(2):128-132.
- [11] Li J W. Ecology and management of Korean pine mixed forest. Haerbin: Northeast Forestry University Press, 1997.
- [12] Wu X D, Shao X M. Reconstruction of Climate change on Changbai mountain Northeast China using tree-ring data. *Quaternart Sciences*, 1997, (1):76-85.
- [13] Zhang H S, Han S J, Li Y W, et al. Reconstruction of temporal variations of precipitation in Changbai Mountains area over past 240 years by using tree-ring width data. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12):1924-1929.
- [14] Liu G S. Climatic Reconstruction From The Tree Ring $\Delta \sim (13)^{\circ}\text{C}$ Values in Changbai Mountain. *Geology-geochemistry*, 1996(6):94-96.
- [15] Yu D P, Wang S Z, Tang L N, et al. Relationship between tree-ring chronology of *Larix olgensis* in Changbai Mountains and the climae change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1):14-20.
- [16] Yu D P, Gu H Y, Wang J D, et al. Relationships of climate change and tree ring of *Betula ermanii* tree line forest in Changbai Mountain. *Journal*

- of Forestry Research, 2005, 16(3): 187—192.
- [17] Stokes M A, Smiley T L. An Introduction to Tree Ring Dating. Chicago: the University of Chicago Press, 1968.
- [18] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin, 1983, 43: 69—75.
- [19] Cook E R, Holmes R L. Users manual for ARSTAN; Laboratory of Tree-ring Research. Tucson: University of Arizona, 1986.
- [20] Kendall M G. Rank Correlation Methods. London: Griffin, 1970. 125—130.
- [21] Kohler M A. On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments. Bulletin of the American Meteorological Society, 1949, 82: 96—97.
- [22] Fritts H C. Tree Rings and Climate. London: Academic Press, 1976. 257—300.
- [23] Hughes M K, Kelly P M, Pilcher J R, *et al.* Climate from tree rings. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- [24] Wigley T M L, Briffa K R, Jones P D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984, 23: 201—213.
- [25] Shang H M, Yuan Y J, Yu S L, *et al.* Tree-ring Chronology Features of Gongnaisi Riverhead Area in Western Tianshan Mountain. Desert and Oasis Meteorology, 2008, 2(1): 12—16.
- [26] Franco Biondia, Kishor Waikulb. DENDROCLIM2002: AC + + program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. Computers & Geosciences, 2004, (30): 303—11.
- [27] SPSS Inc. SPSS 16.0 version for Windows User's Guide. SPSS Inc. Chicago, 2007.
- [28] de Kroon H, Schieving F. Resource allocation patterns as a function of clonal morphology: A general model applied to a foraging clonal plant. Ecology, 1991, 9: 519—530.
- [29] Zhao Z C, Wang S W, Luo Y. Assessments and Projections of Temperature Rising Since the Establishment of IPCC. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(3): 183—184.
- [30] Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, *et al.* Climate Change Due To Greenhouse Effects In China As Simulated By A Regional Climate Model Part II: Climate Change. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(1): 30—38.
- [31] Wang J, Jing Z H, Ding Y G, *et al.* Multi-Model Ensemble Prediction of Extreme Temperature Indices in China. Resources Science, 2008, 30(7).
- [32] Wu X D. Tree-ring and climate. Beijing: China Meteorological Press, 1990.
- [33] Zhang Z H, Wu X D. Utilizing Tree Ring Chronologies To Reconstruct 300-Year Drought Days In Eastern Tianshan Mountains. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1996, 7(1): 53—60.
- [34] Fritts H C. Relationships of ring-widths in arid site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. Ecology Monographs, 1974, 44(4): 411—440.
- [35] Wang T, Yu D, Li J F, *et al.* Advances In Research On The Relationship Between Climatic Change and Tree-Ring Width. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(1): 23—33.
- [36] Collins B M, Omi P N, Chapman P L. Regional relationships between climate and wildfire-burn area in the Interior West, USA. Canadian Journal of Forest Research, 2006, 36, 699—709. doi:10.1139/X05-264.
- [37] Crimmins M A. Synoptic climatology of extreme fire-weather conditions across the southwest United States. International Journal of Climatology, 2006, 26(8): 1001—1016. doi:10.1002/JOC.1300.
- [38] Holden Z A, Morgan P, Crimmins M A, Steinhorst R K, Smith A M S. Fire season precipitation variability influences fire extent and severity in a large southwestern wilderness area, United States. Geophysical Research Letters, 2007, 34(16), L16708. doi:10.1029/2007GL030804.
- [39] Jacoby G, D Arrigord. Treerings, carbon dioxide and climatic change. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1997, 94: 8350—8353.
- [40] Chen S J, Zhang M, Chou M X, *et al.* Research about optimal Light Temperatures On Growth Of Dendrobium Nobile Lindl. China Journal of Chinese Materia Medica, 2002, 27(7): 32—33.

参考文献:

- [3] 杨树春, 刘新田, 曹海波, 等. 大兴安岭林区火烧迹地植被变化研究. 东北林业大学学报, 1998, 26(1): 19~23.
- [4] 王绪高, 李秀珍, 孔繁花, 等. 大兴安岭北坡火烧迹地自然与人工干预下的植被恢复模式初探. 生态学杂志, 2003, 22(5): 30~34.
- [5] 奚为民, 钟章成, 毕润成. 林窗植被研究进展. 西南师范大学学报(自然科学版), 1992, 17(2): 268~274.
- [6] 王玉涛, 阚振国, 陈圆, 等. 川西高山松林火烧迹地植被生物量与生产力恢复动态. 林业科技, 2007, 32(1): 82~94.

- [7] 周道玮, 张保田, 李建东. 松嫩羊草草原火烧后地上生产力的变化. 草业学报, 1995, 4 (4): 23 ~ 28.
- [8] 周道玮, 张保田, 张宏一, 等. 松嫩平原不同时间火烧后群落特征的变化. 应用生态学报, 1996, 7 (1): 39 ~ 43.
- [9] 兰涛, 夏冰, 贺善安. 马尾松的生长与气候关系的年轮分析. 应用生态学报, 1994, 5 (4): 422 ~ 424.
- [10] 王森, 白淑菊, 陶大立, 等. 大气增温对长白山林木直径生长的影响. 应用生态学报, 1995, 6 (2): 128 ~ 132.
- [11] 李景文. 红松混交林生态与经营. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1997.
- [12] 吴祥定, 邵雪梅. 利用树轮资料重建长白山地区过去气候变化. 第四纪研究, 1997, (1): 76 ~ 85.
- [13] 张寒松, 韩士杰, 李玉文, 等. 利用树木年轮宽度资料重建长白山地区 240 年来降水量的变化. 生态学杂志, 2007, 26 (12): 1924 ~ 1929.
- [14] 刘广深. 长白山树轮稳定碳同位素序列与环境气候变迁. 地质地球化学, 1996, (6): 94 ~ 96.
- [15] 于大炮, 王顺忠, 唐立娜, 等. 长白山北坡落叶松年轮年表及其与气候变化的关系. 应用生态学报, 2005, 16 (1): 14 ~ 20.
- [25] 尚华明, 袁玉江, 喻树龙, 等. 天山巩乃斯河源区树轮年表特征沙漠与绿洲气象, 2008, 2 (1): 12 ~ 16.
- [29] 赵宗慈, 王绍武, 罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估气候变化研究进展, 2007. 3 (3): 183 ~ 184.
- [30] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 II: 中国区域气候的可能变化. 气象学报, 2003, 61 (1): 30 ~ 38.
- [31] 王冀, 江志红, 丁裕国, 等. 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估资源科学, 2008, 30 (7).
- [32] 吴祥定. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990.
- [33] 张志华, 吴祥定. 利用树木年轮资料重建新疆东天山 300 多年来干旱日数的变化. 应用气象学报, 1996, 7 (1): 53 ~ 60.
- [35] 王婷, 于丹, 李江凤, 等. 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.
- [40] 陈仕江, 张明, 丑敏霞, 等. 金钗石斛生长的最适光温研究中国中药杂志, 2002, 27 (7): 32 ~ 33.