

大气增温对长白山林木直径生长的影响^{*}

王 淼 白淑菊 陶大立 单建平

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

【摘要】 为研究全球性增温对温带森林生态系统的影响, 在长白山采集了 13 个树种 1553 株 1982- 1991 年的年轮样品, 对照有关气象资料进行了整理分析。结果表明年轮宽度的变化与气温指标的年际变化之间很难找出一一对应的关系。但与 1982- 1986 年相比, 1987- 1991 年年平均气温增加 0.48℃, 年轮平均宽度增加 6.1%。与海拔下降 176m 相应增温 1℃, 则使相应的年轮宽度增加 50%。以此计算, 年均温增加 1℃将使阔叶红松林的材积生长增加 0.6- 3.1m³ha⁻¹·yr⁻¹。年轮生长的加快可能主要和夜间增温有关。鉴于阔叶树对增温更加敏感, 增温还可能使红松林中阔叶树比例增加。

关键词 年轮 全球变化 阔叶红松林

Effect of rise in air-temperature on tree ring growth of forest on Changbai Mountain.

Wang Miao, Bai Shuju, Tao Dali and Shan Jianping (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1995, 6(2): 128- 132

To study the effect of global warming on temperate forest ecosystem, 1553 tree ring samples of 13 tree species planted in 1982- 1991 on Changbai Mountain are drilled and their widths are analyzed in relation to meteorological data. The results show that few significant relationships can be detected between annual ring width and corresponding annual temperature regime. However, as compared with the period of 1982- 1986, the average annual air temperature and ring width are increased by 0.48℃ and 6.1%, respectively in 1987- 1991. When average annual air temperature is increased by 1℃ in corresponding to 176m lower elevation, the annual ring width is increased by 50%. Accordingly, 1℃ increment in average annual temperature results in an increase of 0.6- 3.1m³ha⁻¹·yr⁻¹ in wood volume growth rate. It is found that the accelerated growth is positively related to the temperature rise at night rather than at daytime. Deciduous tree species responds to temperature rise more sensitively than conifer, and hence, its proportion in the standing composition of deciduous-Korean pine forest will increase accordingly.

Key words Annual ring, Global change, Deciduous-Korean pine forest

1 引 言

全球性增温可能给森林生态系统的结构和生产力带来深刻的影响。增温可能使森林生物生产力提高, 也可能由于不同树种反应的方向和敏感度的不同导致森林树种组成、结构及分布范围的变化。这种变化在短期内难以直接检测。但在成熟林中, 生物量的积累主要是靠树木的直径生长来支持的。因而了解树木年轮宽度对增温的反应, 可以为预测森林生态系统对增温的反

应提供重要的依据。中国科学院长白山森林生态系统定位站自 1982 年以来系统积累的气象记录为研究各种气象因子年际变化对树木年轮宽度的影响提供了基础。而长白山自然保护区内由海拔高度决定的温度梯度则为研究长期温度差别的效应提供了理想的条件。为此, 从 1992 年以来, 在长白山自然保护区及附近地区采集了大量年轮样品, 对照有关气象资料进行了整理分

^{*} 国家攀登计划资助项目。

1994 年 10 月 6 日收到, 1995 年 1 月 27 日改回

析: 需要指出的是, 本项研究不同于传统的以研究孤立木、林缘木和分布区边缘木为主的树木年轮学研究, 而是研究红松林生态系统中优势木的平均状况; 不是用年轮宽窄反推过去的气候状况而是研究已知气象条件对年轮生长的影响。研究结果既指出了树木年轮生长对增温的明显反应, 同时也表明了增温效应的复杂性。

2 研究方法

2.1 年轮样品的采集

使用生长锥钻取 1982- 1991 年的距地面 1.3 m 高处树干年轮芯样。在立地选择上避开过湿平凹地而选平缓坡地。在立木的选择上, 避开幼年木、过熟木和被压木而选择成熟龄及中龄优势木, 以尽量减少立地差别及树木间相互竞争的影响。在海拔 740m 处采集的样品, 采样地点距气象站 1km 以内, 海拔高范围不超过 20m。1992- 1993 年共采集年轮样品 13 个树种 1553 株。所计算的 10 个树种, 立地均不少于 50 株。

2.2 年轮宽度的测定

年轮芯样采集后, 立即放在分格塑料袋中, 带回室内, 当天在解剖镜下测定 1982- 1991 年各年年轮宽度。由两个人分别独立测定, 然后互相核对以消除读数误差。

2.3 数据的整理分析

在海拔 740m 处采集的样品分别树种计算同一树种、相同年份的年轮宽度平均值, 与相应年份的 16 个温度因子, 2 个雨量因子以 $Y = a + bx$, $Y = ab$ 和 $Y = ax^3$ 3 个公式分别计算相关系数, 以寻找关系最密切的因子。

在不同海拔处采集的样品则分别树种和海拔高计算 1982- 1991 年年轮宽度的平均值。以天池气象站和定位站气象站为两个控制点, 计算年平均气温梯度, 并推算出各海拔高度的相应年均温, 与年轮宽度作对应的分析比较。

3 结 果

3.1 年轮宽度对年际温度变化的反应

海拔 740m 处阔叶红松林中 10 个树

种 649 株样品回归分析的主要结果列于表 1。

1. 结果表明, 降水量不会成为一个限制因子。但是年轮宽与年平均气温及 6- 8 月平均气温的相关也很不明显。用另外两个公式计算的结果也与此大同小异。但是相对而言, 年轮宽度和 6- 8 月的平均日最低气温呈正相关(唯紫椴例外)而和此期间平均日最高气温成负相关(紫椴和白桦例外); 和无霜期长度呈正相关而和 $> 15^\circ\text{C}$ 积温相关有正有负, 相互抵消。

表 1 中黄菠萝年轮宽与 $> 15^\circ\text{C}$ 积温呈负相关, 和样株尚处于生长加速期有关。如分为两个时段计算, 则 1982- 1985 年相关系数达 0.683, 1986- 1990 年达 0.802。

值得一提的是, 红松年轮生长对终霜日的特殊敏感性, 表现出终霜日越早, 当年年轮越宽, 相关达极显著水平, 而和当年初霜日早晚无关。

3.2 前 5 年和后 5 年的对比

在发现了年轮宽度对年际温度变化无明显反应的情况后, 改变统计方法, 将所研究的 10 年份为前 5 年(1982- 1986)和后 5 年(1987- 1991)进行对比。后 5 年年均温比前 5 年增加 0.48°C , 无霜期增加 14 天, 但是 $> 15^\circ\text{C}$ 积温减少 $222^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 。与此相应, 10 个树种平均, 后 5 年年轮宽度比前 5 年增加 6.1%。白桦和臭冷杉年轮宽度下降可能和这两个树种寿命短, 已进入生长衰退期有关。其余 8 个树种均表现年轮宽度增加, 其中阔叶树和冷杉增幅又大于红松和红皮云杉(表 2)。

3.3 海拔高决定的年轮宽度变异

所研究的大多数树种表现出年轮宽度随海拔下降而增加, 而且这种效应在低海拔处表现得更明显。不同树种反应敏感性也有差别(图 1)。天池气象站海拔 2623.5 m, 年均温 -7.3°C , $> 10^\circ\text{C}$ 积温 122, 定位站气象站海拔 738.1m, 年均温 3.4°C , $>$

表 1 1982- 1991 年年轮宽度与相应年气象因子直线回归相关系数
Table 1 Correlation coefficient (r) for ring width and corresponding annual meteorological indices in 1982- 1991 (Y=a+bx)

树 种 Species	年均温 Annual average temper- ature ()	6- 8 月气温() A ir temperature from June to A ugust			无霜期 Frost- free period (d)	15 积温 Accum u- lated tempera- ture 15	初霜日 Date for first frost	终霜日 Date for end frost	年降水 Annual precip i- tation (mm)
		平均 A verage	最高 M ax	最低 M in					
红 松 <i>P inus koraiensis</i>	0.424	-0.222	-0.448	0.207	0.371	0.132	0.077	-0.763***	-0.094
红皮云杉 <i>P icea koraiensis</i>	-0.207	0.419	-0.324	0.529	0.179	0.450	-0.019	0.121	-0.257
臭冷杉 <i>A bies nephrolepis</i>	-0.476	0.114	-0.595*	0.239	0.229	0.148	0.341	0.033	0.193
杉冷杉 <i>A bies holophylla</i>	0.160	-0.095	-0.698**	0.519	0.477	0.449	0.624**	-0.221	0.144
紫 椴 <i>T ilia amurensis</i>	0.086	-0.061	0.126	-0.144	0.308	-0.037	0.353	-0.145	0.470
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	-0.153	0.314	-0.288	0.399	0.157	-0.114	0.471	-0.403	-0.111
色 木 <i>A cermono</i>	0.147	0.410	-0.296	0.192	0.013	0.414	-0.086	-0.249	-0.216
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	0.221	0.126	-0.164	0.372	0.067	-0.420	0.465	-0.195	0.145
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	0.303	-0.180	-0.479	0.231	0.297	-0.670**	0.658**	-0.119	0.393
白 桦 <i>B etula platyphylla</i>	-0.456	0.304	0.238	0.011	0.137	0.690**	-0.010	-0.381	-0.287
合计 Total									

* P< 0.10, ** P< 0.05, *** P< 0.01.

表 2 前 5 年与后 5 年气象因子与年轮宽度比较
Table 2 Comparison of annual ring width and meteorological factors in 1982- 1986 and 1987- 1991

	1982- 1986	1987- 1991	±	± %
气象因子 Meteorological factors				
年均温 Average temperature ()	3.2	3.68	+ 0.48	
15 积温 Accumulated temperature 15	1642	1420	-222	
0 积温 Accumulated temperature 0	2748	2740	-8	
无霜期 Frost-free period (d)	126	140	+ 14	
年轮宽度 Ring width (mm)				
红松 <i>P inus koraiensis</i>	1.238	1.260	+ 0.022	1.8
红皮云杉 <i>P icea koraiensis</i>	1.710	1.716	+ 0.006	0.35
臭冷杉 <i>A bies nephrolepis</i>	1.376	1.332	-0.044	-3.2
杉冷杉 <i>A bies holophylla</i>	2.100	2.376	+ 0.276	13.1
紫椴 <i>T ilia amurensis</i>	1.332	1.386	+ 0.054	4.1
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	1.070	1.206	+ 0.136	12.7
色木 <i>A cermono</i>	0.742	0.764	+ 0.022	3.0
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	0.810	0.946	+ 0.136	16.8
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	1.170	1.546	+ 0.376	32.1
白 桦 <i>B etula platyphylla</i>	1.886	1.728	-0.158	-8.4
平 均 Average	1.343	1.426	+ 0.083	6.1

表 3 海拔下降 176m 年均温上升 1 年轮宽度增加(mm/%)
Table 3 Increment of ring width in response to increase in annual average temperature 1 in corresponding to lowered elevation 176m

树 种 Species	海拔 Elevation (m)								
	500- 740	640- 740	740- 940	740- 1100	940- 1100	640- 1260	740- 1260	740- 1680	1260- 1680
	年均温差 Difference in annual average temperature ()								
	1. 362	0. 568	1. 135	2. 045		3. 519	2. 951	5. 335	2. 384
	10 积温差 Difference in annual accumulated temperature ()								
	277	116	231			716	601	1086	485
红 松 <i>P inus koraensis</i>		0. 604/48. 4		0. 053/4. 7		0. 248 /34. 3	0. 179 /24. 8		
红皮云杉 <i>P icea koraensis</i>							0. 239/23. 7		
鱼鳞云杉 <i>P icea jezoensis</i>									-0. 032/-2. 7
臭冷杉 <i>A bies nephrolepis</i>							0. 078/7. 0	0. 07/7. 8	0. 070/7. 3
紫 椴 <i>T ilia amurensis</i>	0. 651/47. 9		0. 381 /41. 2	0. 211 /22. 8	0. 001 /0. 1				
蒙古柞 <i>Quercus mongolica</i>	0. 534/52. 1		0. 014/1. 4						
白 桦 <i>B etula platyphylla</i>			0. 440/33. 6						

备注: 表中温度及积温差按天池气象站(海拔 2623. 5m, 年均温-7. 3 , 10 积温 122)及定位站气象站(海拔 738. 1 m, 年均温 3. 4 , 10 积温 2178)的差别推算的
Note: The difference in annual average temperature and accumulated temperature are calculated scording to the data from meteorological stations at Heaven Lake (elevation 2623. 5m, annual average temperature -7. 3 and 10 accumulated temperature 122) and the Research Station (elevation 738. 1m, annual average temperature 3. 4 , 10 accumulated temperature 2178).

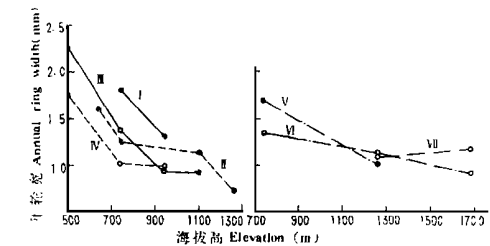


图 1 海拔高和年轮宽度的关系(每个点至少 50 株杉的平均值)
Fig. 1 Relationship between ring width and elevation (Each point is mean of 50 trees at least).
I. 白桦 *B etula platyphylla*, II. 红松 *P inus koraensis*, III. 紫椴 *T ilia amurensis*, IV. 蒙古柞 *Quercus mongolica*, V. 红皮云杉 *P icea koraensis*, VI. 鱼鳞云杉 *P icea jezoensis*, VII. 臭冷杉 *A bies nephrolepis*

10 积温 2300 · 日内 以此计算, 海拔每下降 176. 2m, 年均温增加 1 , > 10 积温增加 204 · 日. 在海拔 740m 以下,

海拔每下降 176m, 年均温增加 1 , 红松及主要伴生树种紫椴和蒙古柞年轮宽度分别增加 48. 4、47. 9 和 52. 1%. 随着海拔的增高, 反应的敏感程度下降. 臭冷杉年轮对海拔高的反应远不如前述几种树种敏感, 增温 1 , 年轮宽仅增 7- 8%; 鱼鳞云杉甚至出现高海拔处年轮稍宽的反常现象.

4 讨 论

4. 1 红松年生长节律的特殊性

在年际变化的研究中, 唯有红松年轮宽度与当年终霜日的早晚相关性高度显著, 而且可以得到合理的解释. 因为红松在冬季光合能力完全抑制^[4]. 光合抑制的解

除要求没有霜冻的天气 因而无霜期来得越早, 光合作用恢复越快, 使有效生长期提前开始 红松的高生长在7月上旬高温季节来临时已结束^[1] 红松直径生长高峰期也在日平均气温 15℃左右的5月中下旬^[3], 因而生长季后半期的温度状况对当年的生长量不构成重要影响

4.2 年轮宽度年际变异制约因素复杂性

杉冷杉和黄菠萝表现出初霜日越晚年轮越宽 在年轮宽度与6-8月最高气温的负相关中, 两种冷杉达到了统计上显著的程度 其它树种的年轮宽度与年际气温状况间找不出任何明显而又合理的相关, 其原因相当复杂 可以列举出的有: 1) 年际温度变化的不规律性: 年均温在10年内时升时降, 后5年高于前5年, 而>15℃积温后5年低于前5年 1985年为1580℃·日而1986年突然降到1294℃·日, 并在此后年份中维持在较低的水平上, 因而仅以这10年作为取样期很不理想; 2) 滞后效应: 霜期来临后的气温状况也计入当年生长季的年均温, 但它只会影响以后的生长而不能影响当年的生长; 当年的气温状况可以通过影响芽的饱满程度、光合产物的积累及落叶前养分的回运等而影响下一年甚至几年的生长; 3) 特殊灾害性天气的干扰: 作者曾观察到1985年春季晚霜冻害导致多种阔叶树新梢死亡, 有可能影响当年直径生长

4.3 夜间温度的影响

年轮宽度与6-8月平均日最低气温呈正相关而与日最高气温呈负相关, 这一事实不可忽视 因为已知我国北方近年来的增温趋势, 像世界其它一些地区一样, 主要表现在夜间, 而白天的最高温度还稍有下降^[2] 这种趋势比年均温的增加对树木年轮生长更有利

4.4 气象因子效应和海拔因子效应的差别

在海拔740m处前后两个5年期的对比显示年均温如增加1℃, 年轮宽度平均增加13%, 但积温反而明显减少 这也印证了白天过高温度的不利影响 由海拔下降而使年均温增加1℃, 年轮宽度增幅可达50%左右 这里可能不仅包含了增温对生长的直接影响, 还包含了在多年较高温度的作用下, 低海拔处土壤肥力较高的间接作用, 也不能排除不同海拔处同一树种存在不同生态型的可能性

4.5 对增温效应的综合预测

综合3项统计结果可以认为长白山树木年轮生长对当年气温条件的反应由于多种因素的干扰而难以显示出来, 但对较长期的趋势性增温的反应相当明显 可以断定, 对海拔500-1000m的中低山区而言, 年均温增加1℃将使阔叶红松林的生产力显著提高, 其中年轮宽的增加值按海拔差别对比计算约在0.6mm, 按前后5年对比计算约0.13mm 如以立木平均胸径40cm, 平均树高20m, 以200株·ha⁻¹计算, 则立木材积年生长量的增加值在0.6-3.1m³·ha⁻¹之间 这一数值区域无论如何是相当可观的 而由于阔叶红松林的主要组成树种对增温的反应敏感而云冷杉不敏感, 因而增温的另一个效应将是红松林中云冷杉成份减少而红松和其它阔叶树成分增加 与此相应, 阔叶红松林的分布海拔上限也将向上推移而使云冷杉林向上退缩

参考文献

- 1 中国科学院林业土壤研究所编著 1980 红松林 农业出版社, 北京, 29-30
- 2 叶笃正、陈洋勤主编 1992 中国的全球变化预研究 (第二部分). 地震出版社, 北京, 54-55
- 3 李 坚、栾树杰主编 1993 生物木材学 东北林业大学出版社, 哈尔滨, 154-157
- 4 陶大立、新月华、杜英君 1988 红松越冬伤害原因三假说检验 林业科学, 24(2): 148-155