黑龙江漠河兴安落叶松与樟子松树轮生长特性及其对气候的响应

王丽丽^{1,2} 邵雪梅^{1,2} 黄磊¹ 梁尔源^{1,2}

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101) (2 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085)

摘要 树木年轮(简称树轮)气候学是监测与重建全球气候变化的重要方法之一。针叶树树轮的生长能反馈出气温的变化,在高纬度地带尤为明显。该文分析了生长在我国最北部的兴安落叶松(*Larix gmelinii*)与樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)的树轮密度和宽度的特性。落叶松最大密度、晚材平均密度、早晚材宽度和轮宽都远高于樟子松。樟子松的所有密度变量的样本方差都明显高于兴安落叶松,宽度变量的样本方差却明显低于兴安落叶松。两树种密度变量的差值年表显著相关,宽度变量之间没有显著相关关系。落叶松与樟子松的晚材密度的形成受7、8月的最高温控制。另外,樟子松的晚材还与生长季节的长短相关。落叶松的年轮宽度对生长季节开始前的温度敏感,而樟子松的轮宽对气候变量没有很好的响应。结果表明,落叶松与樟子松的树轮最大密度都与生长季后期的温度显著相关,两树种的树轮信息对气候变化的重建有很大的潜力。

关键词 落叶松 樟子松 树轮密度 树轮宽度 气候敏感性

TREE-RING CHARACTERISTICS OF *LARIX GMELINII* AND *PINUS SYLVESTRIS* VAR. *MONGOLICA* AND THEIR RESPONSE TO CLIMATE IN MOHE, CHINA

WANG Li-Li^{1,2} SHAO Xue-Mei^{1,2} HUANG Lei¹ and LIANG Er-Yuan^{1,2}

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(2 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract Dendroclimatology is one of the most important methods for monitoring and reconstructing global climate change. Variations of tree-ring growth in conifers reflect temperature fluctuations, especially in high latitude regions. *Larix gmelinii* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* are two major conifer species in boreal forests in the northernmost region of China. Densitometry was used to analyze tree-ring width and density in these two species in Mohe, Heilongjiang Province, China. Seven tree-ring variables (maximum density, minimum density, mean earlywood density, mean latewood density, earlywood width, latewood width and annual ring width) were investigated using Dendro2003 and compared with meteorological data from a weather station near the sampling site. The maximum density, mean latewood density, earlywood width, latewood width and annual ring-width in *Larix gmelinii* were higher than those in *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. However, the variance among all the densitometric variables in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* was significantly higher than that in the *Larix gmelinii*, but the variance of total ring width was different. Both residual chronologies of tree-ring density were significantly correlated but no significant correlations were found between the tree-ring width chronologies of the two species. The maximum temperature controlled the latewood density of both species in July and August. In addition, the latewood density of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* was closely related to the length of the growing season. Correlation analysis also demonstrated that the annual ring widths of *Larix gmelinii* were sensitive to the temperature at the beginning of the growing season, but the ring widths of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* did not have any significant climatic response. In summary, although *Larix gmelinii* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* had different tree-ring growth patterns, the tree-ring maximum density of these two species was highly responsive to temperature in the late growing season. The dendroclimatic growth characteristics of these two species have potential for reconstructing climate in this region.

Key words *Larix gmelinii*, *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, Tree-ring density, Tree-ring width, Climate change

用树木年轮(简称树轮)来研究环境的变化并重建历史气候变化,是全球气候变化研究的热点之一(Hughes, 1984; Fritts, 1991; 吴祥定和邵雪梅, 1994)。树木年轮的生长对气温变化的响应在高纬度地区尤其明显(Wang *et al.*, 2001)。20 世纪 80 年代才兴起的树木年轮密度数据研究,利用木材密度在年轮上的变化,来反映气候变迁与环境变化(Hughes *et al.*, 1984; Schweingruber, 1996)。我国大量的树木年轮研究基本上都局限于对年轮宽度的分析,对密度分析则进行的很少,目前为止有文献可查的仅有几项研究(吴祥定和邵雪梅, 1994; 刘禹等, 1997; 张志华和李骥, 1998; Xiong *et al.*, 2000)。对树轮的解剖、生理和生态学这些重建气候的基础研究,还没有真正开展起来。

漠河县是我国纬度最高的县,也是获取气候变化信息重要的和不可多得的地区之一。我国在东北地区的树轮研究最北只到长白山(邵雪梅和吴祥定, 1997)。落叶松林在我国大多分布于气候敏感地带,而兴安落叶松(*Larix gmelinii*)是分布最北的一种(周以良等, 1997)。樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)也是漠河县的主要树种。由于这两个种在同一地区,其树轮生长对于研究其生态特性和了解我国过去气候历史的变化模式极具价值,但从未做过研究。所以我们进行树轮宽度和密度的量测和分析,以及树干解剖切片,来找出这两个树种的生物学和生态学特性,并分析树轮变量和气候因子的关系。本文所报道的是首次在我国“北极县”黑龙江漠河的树轮资料的研究结果。这一研究能够对我国最北部进行区域尺度上的气候重建与预测提供重要的基础信息。

1 材料和方法

1.1 样地背景

兴安落叶松自然分布于我国东北大、小兴安岭 43°~53° N, 118°~135° E。能耐严寒。在大兴安岭生长期为 100~120 d,年降水 300~700 mm。落叶松生长在生草灰化土或泥炭质土壤,为强阳性树种。兴安落叶松为单层纯林,有樟子松和白桦(*Betula platyphylla*)混生。下木有落叶松幼树、兴安杜鹃(*Rhododendron dahuricum*)、赤杨(*Alnus japonica*)、刺玫果(*Rosa davurica*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*);地被物主要有越桔(*Vaccinium vitis-idaea*)、杜香(*Ledum palustre*)和莎草科植物。落叶松和樟子松虽然分布在同一地区,但它们在群落中的位置是不一样的。

落叶松在当地是建群种,多为纯林,间有樟子松生长。

樟子松是我国最耐寒的松属针叶树种之一,主要集中分布在大兴安岭北部海拔 450~980 m 之间。樟子松为过熟林,郁闭度为 0.5~0.6,间有兴安落叶松和白桦。灌木层盖度一般在 50% 左右,以兴安杜鹃为主,其次为绢毛绣线菊(*Spiraea sericea*)、石棒绣线菊(*Spiraea media*)、尖叶胡枝子(*Lespedeza juncea*)等。草本植物发育良好,盖度可达 50%~70%,组成多为耐旱种类,如兴安野青茅(*Calamagrostis turczaninowii*)、矮山黧豆(*Lathyrus humilis*)、裂叶蒿(*Artemisia laciniata*)、广布野豌豆(*Vicia cracca*)等。樟子松林一般面积不大,分散镶嵌在兴安落叶松林间。

1.2 采样与处理方法

黑龙江漠河富源沟的采样地处 52°47' N, 121°34' E,海拔 600~700 m,坡向东,坡度 8~16°,位于山脊和山上部,湿润棕壤土。在同一林班内采集了兴安落叶松与樟子松各 12 个树盘,选择生长正常,无幼龄生长压制期的样木。样木的平均直径落叶松 36.2 cm,樟子松 34.2 cm;平均年龄落叶松 108 年,樟子松 148 年。利用 DENDROCUT(WALESCH ELECTRONIC)的双片轮锯(Twin blade)在每个树盘锯出 1 mm 厚的横切面薄片序列(由于仪器长度的限制,每个树盘 2~3 个薄片)。在 95% 乙醇中萃取树脂 48 h,在室温 20 °C 湿度 50% 条件下,用柯达 X 光片在 11 kV 20 mA X-光源下曝光 50 min。X 光片由富士自动冲洗机(X-O-Mat 90 s)冲洗。用 DENDRO2003 密度仪(加拿大 Laval 大学树轮试验室)读出密度曲线,在每个序列上得到最大年轮密度、最小年轮密度、早材平均密度、晚材平均密度、早材宽度、晚材宽度和年轮宽度。对这 7 个树轮原始变量进行基本统计分析。然后用树轮分析软件 COFECHA 进行交叉定年,并用 ARSTAIN 进行了统计学处理和分析,用 80 年平滑曲线对每个序列标准化,将年轮趋势等干扰因素滤掉,做出主年表。找出各个树轮变量的主年表与气候因素之间的相关关系。如果某些气候因素之间有相关关系,用偏相关固定一方,来检验另一方与树轮变量的相关显著性。选取有代表性的剖面做显微切片。

1.3 气象资料

漠河年均温 -4.9 °C,年较差 49.3 °C,平均最高温在 7 月,为 25.9 °C,平均最低温在 1 月,为 -37.3 °C。年均降水量为 403.4 mm。无霜期 92 d。

漠河气象站资料(1957~2000年)年均温、月均温、月均最高温、月均最低温和月降水量用于树轮变量的分析和比较。

2 实验结果

由图1中可以看出,兴安落叶松的早材和晚材分界明显,树脂道的分布主要在早材中。晚材密度比较均一,早晚材宽度和轮宽变化显著。樟子松的早材逐渐过渡到晚材,树脂道零星分散在晚材中间。轮宽的变化较小。

2.2 兴安落叶松与樟子松的树轮原始数据统计描述

兴安落叶松的最小密度和早材平均密度的均值

图 1 兴安落叶松(上)与樟子松(下)的树轮解剖图
Fig.1 Tree-ring anatomy of *Larix gmelinii* (upper) and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* (low)

表1 兴安落叶松与樟子松树轮密度与宽度基本统计值
Table 1 Statistical characteristics of tree-ring density and width for *Larix gmelinii* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica*

兴安落叶松 <i>Larix gmelinii</i>	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
平均 Mean	729.66	251.60	1 110.28	310.25	515.13	651.76	1 625.41
样本方差 Variance	7 738.98	1 867.36	659 219.99	2 050.44	91 925.00	7 095.03	1 095 484.99
峰值 Kurtosis	0.736	1.412	5.029	0.284	3.874	0.532	3.600
偏斜度 Skewness	0.287	0.746	1.750	0.355	1.212	0.373	1.393
最小值/最大值 Minimum/Maximum	370/1 050	150/540	20/6 370	196/560	30/2 830	349/937	60/8 510
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
平均 Mean	697.54	252.88	844.98	307.86	303.79	618.88	1 147.92
样本方差 Variance	9 385.38	5 108.25	344 462.70	5 567.26	42 744.67	7 875.17	582 378.22
峰值 Kurtosis	- 0.293	- 0.529	1.977	- 0.602	2.192	- 0.316	1.852
偏斜度 Skewness	- 0.217	0.033	1.418	- 0.153	1.401	- 0.219	1.361
最小值/最大值 Minimum/Maximum	350/930	90/470	30/3 940	130/500	30/1 520	310/860	50/5 110

MXD: Maximum density MID: Minimum density EWW: Earlywood width EWD: Earlywood density LWW: Latewood width LWD: Latewood density
ARW: Annual ring width

表 2 差值年表的 ARSTAN 统计值
Table 2 Statistical characteristics of residual chronology in ARSTAN
年表时段: 1861 ~ 2002 年, 140 年, 12 棵树, 18 样本 Chronological period: 1861 – 2002, 140 years, 12 trees, 18 radii

落叶松 <i>Larix gmelinii</i>	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
平均敏感度 Mean sensitivity	0.040 1	0.040 4	0.195 3	0.039 1	0.185 8	0.040 6	0.191 5
方差 Variance	0.036 5	0.035 6	0.181 4	0.035 3	0.185 5	0.034 3	0.171 0
偏度 Skewness	-0.672 6	0.160 8	0.201 4	-0.126 8	1.096 6	-0.607 0	0.169 0
峭度 Kurtosis	0.022 6	0.108 3	0.355 7	0.436 6	2.717 6	0.184 9	0.106 6
一阶自回归 First-order autocorrelation	0.032 6	-0.012 2	0.085 6	0.030 3	-0.072 3	-0.041 2	0.009 3

共同区间分析时段: 1922 ~ 1998 年, 77 年, 11 棵树, 11 样本 Common interval span: 1922 – 1998, 77 years, 11 trees, 11 radii

落叶松 <i>Larix gmelinii</i>	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
样本间平均相关系数 Mean correlation	0.267	0.164	0.249	0.208	0.272	0.260	0.296
树间相关系数 Correlation between trees	0.267	0.164	0.249	0.208	0.272	0.260	0.296
信噪比 Signal to noise	4.014	2.160	3.641	2.884	4.105	3.865	4.624
样本量总体代表性 Subsample signal strength	0.807	0.680	0.785	0.743	0.804	0.794	0.822
第一主分解释释方差 Variance in first eigenvector	35.10%	24.95%	32.65%	29.11%	34.79%	34.38%	36.52%

年表时段: 1744 ~ 2000 年, 256 年, 10 棵树, 20 样本 Chronology period: 1744 – 2000, 256 years, 10 trees, 20 radii

樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
平均敏感度 Mean sensitivity	0.071 9	0.072 4	0.197 6	0.059 2	0.263 8	0.067 7	0.190 2
方差 Variance	0.060 8	0.064 3	0.177 3	0.052 9	0.223 5	0.061 2	0.166 1
偏度 Skewness	-0.391 5	0.113 1	0.489 3	0.034 2	0.026 1	-0.389 4	0.355 2
峭度 Kurtosis	0.726 3	0.694 9	0.123 9	-0.141 4	0.071 9	0.513 6	0.995 6
一阶自回归 First-order Autocorrelation	-0.139 7	-0.048 0	-0.023 9	0.000 1	-0.070 0	0.003 7	-0.074 6

共同区间分析时段: 1774 ~ 1999 年, 125 年, 4 棵树, 6 样本 Common interval span: 1922 – 1998, 125 years, 4 trees, 6 radii

樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
样本间平均相关系数 Mean correlation	0.337	0.411	0.301	0.477	0.255	0.320	0.302
树间相关系数 Correlation between trees	0.298	0.387	0.254	0.449	0.205	0.280	0.252
信噪比 Signal to noise	2.972	4.414	2.389	5.706	1.810	2.717	2.362
样本量总体代表性 Subsample signal strength	0.748	0.815	0.705	0.851	0.644	0.731	0.703
第一主分解释释方差 Variance in first eigenvector	40.87%	46.53%	36.67%	52.55%	33.09%	39.62%	36.53%

MXD、MID、EWW、EWD、LWW、LWD、ARW: 见表 1 See Table 1

2.3 兴安落叶松与樟子松的树轮差值年表 ARSTAN 结果

樟子松的树轮密度敏感度普遍高于落叶松,而宽度的敏感度都低于落叶松。共同区间分析时段中,落叶松的样本量大于樟子松,除最小密度和早材平均密度,落叶松的信噪比都高于樟子松。最大密度和晚材平均密度的差值年表在 0.01 水平上显著相关;最小密度和早材平均密度在 0.05 水平上显著相关;轮宽无显著相关。

2.4 兴安落叶松与樟子松的树轮变量与气候因子的相关关系

兴安落叶松和樟子松的最大密度都与 7、8 月的月均温和最高温相关;而樟子松与 5 月月均最低温和 4 月月降水之间呈正相关关系。两树种的晚材平均密度对温度因子的反应基本与最大密度大致相同,只是樟子松的晚材密度与 9 月最低温负相关。落叶松最小密度与 8 月温度的负相关无生物学意义,早材平均密度无显著相关关系。樟子松的最小密度与早材平均密度对气候的反应相似,与 8 月的月均温,7、8 月最低温以及 6 月月降水负相关,与 6 月最高温的正相关,在固定了降水因素后不显著。落叶松的早材宽度和年轮宽度与生长季节开始前的

表 3 落叶松与樟子松年表关系

Table 3 Correlation between the chronologies for *Larix gmelini* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica*

	最大密度 MXD	最小密度 MID	早材宽度 EWW	早材平均密度 EWD	晚材宽度 LWW	晚材平均密度 LWD	年轮宽度 ARW
Pearson 相关系数 Correlation coefficiency	0.364 **	0.203 *	0.057	0.191 *	- 0.005	0.223 **	0.017
G 值 Sigh test	0.630 4	0.627 7	0.521 7	0.620 4	0.558 0	0.625 0	0.500 0

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$
MXD、MID、EWW、EWD、LWW、LWD、ARW: 见表 1 See Table 1

表 4 兴安落叶松与樟子松宽度与密度的差值年表与气候因子的相关关系

Table 4 Correlation(Pearson) between width, density residual chronology and climate variables of *Larix gmelini* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica*

落叶松 <i>Larix gmelini</i>	N = 41	月均温 Monthly mean temperature					月均最高温 Monthly mean maximum temperature			月均最低温 Monthly mean minimum temperature			月降水 Monthly precipitation
		11	12	3	7	8	3	7	8	11	12	3	8
最大密度	MXD				0.373 *	0.308 *		0.450 **	0.381 *				(- 0.317 *)
最小密度	MID					- 0.377 *						- 0.323 *	
早材密度	EWD												
早材宽度	EWW	- 0.317 *	- 0.341 *	- 0.397 **						- 0.372 *	- 0.413 **	- 0.454 **	
晚材密度	LWD				0.407 **			0.478 **	0.395 *				(- 0.363 *)
晚材宽度	LWW												
树轮宽度	ARW		- 0.316 *	- 0.402 **			- 0.310 *			- 0.338 *	- 0.380 **	- 0.443 **	
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i>	N = 41	月均温 Monthly mean temperature					月均最高温 Monthly mean maximum temperature			月均最低温 Monthly mean minimum temperature			月降水 Monthly precipitation
		6	7	8	6	7	8	5	7	8	9	4	9
最大密度	MXD		0.320 *	0.312 *		0.384 *	0.490 **	0.319 *					
最小密度	MID			- 0.524 ** (0.387 *)					- 0.527 **	- 0.538 **		0.343 *	
早材密度	EWD			- 0.429 ** (0.363 *)					- 0.512 **	- 0.479 **			- 0.490 *
早材宽度	EWW	- 0.351 **		0.337 *	- 0.332 *								- 0.449 *
晚材密度	LWD					0.372 *	0.467 **	0.321 *			- 0.333 *		
晚材宽度	LWW												0.420 *
树轮宽度	ARW			0.322 *									0.323 *

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ 括弧表示偏相关不显著 Parenthese shown no significance for partial correlation
MXD、MID、EWW、EWD、LWW、LWD、ARW: 见表 1 See Table 1

温度呈负相关;樟子松的早材宽度与 6 月均温和最高温呈负相关关系。轮宽数据与 8、9 月气候因子的相关关系已无生物学意义。

3 讨 论

落叶松对非生物环境的适应性很强,但在树种的竞争方面很弱(王战,1992)。兴安落叶松能在寒冷的土壤中进行生理活动,能够在很短的生长期通过强烈的同化和蒸腾作用完成生活周期,并由于冬季落叶这一特征使其有较强的抗寒能力(周以良等,1997)。所以大兴安岭的落叶松林仅在当地一般树种难以适应的大陆性气候的寒温带,形成原生的或地带性森林植被。落叶松管胞早晚材在径向上密度的明显差异,使得早晚材边界非常清晰(图 1),这种与其它常绿针叶树属早晚材逐渐过渡的明显不同用肉眼即可分辨出来。落叶松晚材发育特点应该是

内源性的,但它的触发机制目前尚不清楚。由于落叶松的轮宽方差较大,形成层分生组织早材细胞与晚材细胞分化的转折点更可能是由于某一温度的临界值,而不是由光周期触发的(Larcher,1995)。樟子松树轮在形态解剖上和原始数据频率分布上的特点与落叶松有所不同,但两树种的密度数据的差值年表显著相关,表明尽管它们的木质细胞的构造形态和生理机制不尽相同,但密度的生长主要还是受温度因素的限制。樟子松轮宽的宽窄变化没有落叶松来得剧烈,但从 G 值(sigh test)的结果来看,两者的起伏规律还是比较一致的(表 3)。而表 4 所显示的高度相关关系使得多数树轮工作者只利用最大密度和轮宽来重建气候变化的历史。

落叶松与樟子松的最大密度和晚材平均密度都与 7、8 月的最高温显著相关(表 4),这是由于 7、8 月细胞的分裂与伸长已经基本完成,新叶片也发育成

熟,进入光合积累的阶段,所以树木的生长主要体现在晚材木质细胞的加厚上,这一点是与其它高寒地区树木生长的特点是一致的(Wang *et al.*, 2000)。相关性达到 99% 显著水平的,是落叶松与 7 月最高温,樟子松与 8 月最高温。这一现象可能是由于落叶松是每年 5 月发新叶,球果当年 9 月成熟,叶片每年冬季脱落(王战, 1992)而造成的。所以它的生理生长节律与叶片多年生、球果二年生的樟子松会有所不同。落叶松必须在落叶之前完成其当年的生长周期(Larcher, 1995),因此它的晚材细胞加厚的活跃高峰可能比樟子松来得早,对温度的最敏感时段比樟子松有所提前。落叶松的早材宽度与年轮宽度与生长季前的气温呈负相关,是由于冬季呼吸对养分的消耗所引起的。当冬季和早春温度偏低时,有效地抑制了树木的呼吸,从而使树木累积的养分有效地利用在径向细胞的形成与加长上。这一结果与长白落叶松一致(邵雪梅和吴祥定, 1997)。

樟子松的最大密度与晚材平均密度与 5 月的最低温呈正相关关系。这可能是由于 5 月的最低温如果偏高,意味着春季回暖迅速,生长季节开始得较早。较长的生长季节使得树木生长有充裕的时间,在秋季有足够的时间进行养分积累和细胞壁的加厚,这一结果在北极地区也有所发现(Wang *et al.*, 2001)。樟子松的早材细胞的生长主要在生长季节的前半部分,雨水丰沛时早材细胞在径向和纵向上会得到比较充分的伸展。大而壁薄的早材细胞造成较低的最小密度和早材平均密度(表 4)。从最小密度、早材的密度和宽度,以及轮宽对 7、8 月温度的负相关来看,樟子松早材的生长在生长季节后期并没有停止,这种现象可能是树种生理特性所致,与高纬度黑云杉(*Picea mariana*)的树轮生长规律有所不同(Wang *et al.*, 2002)。9 月已到生长季末期,形成层生长已经停止。通常径向生长早已完成。树木处于养分回流和储藏的阶段。特别是在漠河地区,月均最低温已降至 1.24 °C。此时的呼吸作用成了主要的消耗。当夜间的最低温很低时,能够有效地抑制呼吸作用的强度,减少养分的损失,有利于光合产物的积累。由于叶、芽、根与形成层的活动都已停止,养分的积累主要表现在晚材细胞次生木质部的加厚上。所以,晚材宽度和轮宽与 9 月月降水的显著相关已失去生物学意义(Creber & Chaloner, 1984)。

综上所述,黑龙江漠河兴安落叶松与樟子松的树轮密度数据能够很好地反应生长季节后期的温度

变化,其树轮信息用来指示气候与环境的变迁,重建过去气候变化的历史有很大的潜力。

参 考 文 献

- Creber GT, Chaloner WG (1984). Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *The Botanical Review*, 50, 357 – 448.
- Fritts HC (1991). *Reconstruction Large-Scale Climate Patterns from Tree-Ring Data*. The University of Arizona Press, Tucson.
- Hughes MK, Schweingruber FH, Cartwright D, Kelly PM (1984). July-August temperature at Edinburgh between 1721 and 1975 from tree-ring density and width data. *Nature*, 308, 341 – 344.
- Larcher W (1995). *Physiological Plant Ecology* 3rd edn. Springer, New York, 414.
- Liu Y (刘禹), Wu XD (吴祥定), An ZS (安芷生), Zhu YZ (祝一志), Shao XM (邵雪梅), Liu HB (刘洪滨), Li ZY (李兆元) (1997). Seasonal temperature and rainfall reconstruction in north-central China from tree-ring density and stable isotope for the last 100 years. *Science in China D* (中国科学 D 辑), 27, 271 – 277. (in Chinese with English abstract)
- Schweingruber FH (1996). *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Paul Haupt, Berne, 609.
- Shao XM(邵雪梅), Wu XD(吴祥定) (1997). Reconstruction of climate change on Changbai Mountain, Northeast China using tree-ring data. *Quaternary Sciences* (第四纪研究), 17, 76 – 85. (in Chinese with English abstract)
- Wang L, Payette S, Begin Y (2000). A quantitative definition of light-rings in black spruce at subarctic treeline in northern Québec. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 32, 324 – 330.
- Wang L, Payette S, Begin Y (2001). 1300-year tree-ring width and density series based on living, dead and subfossil black spruce at treeline in subarctic Québec. *The Holocene*, 11, 333 – 341.
- Wang L, Payette S, Begin Y (2002). Wood anatomical characteristics of black spruce and its relationship with densitometry and summer temperature at treeline in northern Québec. *Canadian Journal of Forest Research*, 32, 477 – 486.
- Wang Z (王战) (1992). *Chinese Larch* (中国落叶松林). China Forestry Publishing House, Beijing, 265. (in Chinese)
- Wu XD (吴祥定), Shao XM (邵雪梅) (1994). A preliminary analysis on response of tree-ring density to climate in the Qinling Mountains of China. *Journal of Applied Meteorology* (应用气象学报), 5, 253 – 256. (in Chinese with English abstract)
- Xiong LM, Okada N, Fujiwara T (2000). The dendrochronological potential of ten species in the Three Gorges Reservoir region of China. *IAWA Journal*, 21, 181 – 196.
- Zhang ZH (张志华), Li J (李骥) (1998). Precipitation and average monthly high temperature in the Jimusare, Xinjiang as reconstructed from tree density and tree widths. *Acta Meteorologica Sinica* (气象学报), 56, 77 – 86. (in Chinese with English abstract)
- Zhou YL (周以良), Zu YG (祖元刚), Yu D (于丹) (1997). *Vegetation Geography in Northeast China* (中国东北植被地理). Science Press, Beijing, 446. (in Chinese)