

长白山山杨年轮年表及其与气候变化的关系

王雨茜 高露双 赵秀海

(北京林业大学,北京 100083)

摘要 以长白山自然保护区内设立面积为1 hm²的固定样地内山杨为主要研究对象,介绍了使用 RESISTO-GRAPH 树木针测仪获取年轮宽度的过程,并使用 COFECHA 对获取的年轮宽度进行的交叉定年和控制检验。结果表明,获得的山杨宽度年表轮宽指数与该地区月平均气温达到显著相关($P < 0.05$),生长季气温与树轮径向宽度正相关性显著,从而影响了山杨的生长,冬季低温则制约树木的生长,当年生长季前4月份的温度为树木萌发需要的积温提供基础;从山杨宽度年表轮宽指数与该地区月降水量的关系可看出,树木生长季的降水量对树木生长产生一定影响,其中上一年9月份由于降水的减少使其与树轮宽度表现出显著负相关,而秋冬季节降水量的增加可促进下一年树木径向生长。

关键词 树木针测仪;树木年轮宽度;交叉定年;气候响应

分类号 S715.3; S792.114

Tree-ring Width Chronology of *Populus tremula* and Its Relationship with the Weather in Changbai Mountain of Northeastern China/Wang Yuxi, Gao Lushuang, Zhao Xiuhai(Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China) //Journal of Northeast Forestry University. -2013 41(1). -10 ~ 13

Populus tremula in 1 hm² fixed sample plot in the Changbai Mountain was investigated to describe the process of obtaining the width by using Rintech RESISTOGRAPH, and test the cross dating and quality control of tree-ring measurements by COFECHA. The results indicate that the chronology index in the width of *P. tremula* has significant correlation with the average monthly temperature ($P < 0.05$). In the growing season, there is a strong positive correlation between the radial growth and temperature, and the temperature can influence the growth of *P. tremula*. But in winter the low temperature restricts the growth, while the temperature in April provides the necessary foundation in tree growth. Based on the relationship with the chronology index of the monthly precipitation, the amount of precipitation has some effect on the tree growth in the growing season. Especially in September, there is a strong negative correlation between the precipitation and the chronology index of the width because of the little rain in the month, while the precipitation in winter can promote the width growth.

Keywords Tree test apparatus; Tree width of annual ring; Cross-dating; Climatic response

树木年轮生态学,作为一种可以直观反映环境变化趋势的学科,具有定年准确、连续性强、分辨率高和易于获取复本等特点^[1],逐渐受到研究者的关注^[2-3]。树木径向宽度是研究气候变化对树木生长的影响及重建气候因子的重要指标,在气候学和生态学等相关研究中得到广泛应用^[4-5]。在当前的研究中,获取宽度指标的途径多种多样,包括生长锥取样及年轮分析工作台分析、WinDENDRO年轮分析系统^[6]等。获取树轮宽度的途径也由基础测量拓展到图像分析以及根据树木径向不同阻尼系数直接得到宽度和密度数据^[7]。而针测仪正是这种通过阻尼系数获取宽度数据的工具,具有快速及破坏性小的特点,为基于树轮径向宽度研究森林生产力提供了可能。

然而,目前针测仪的使用还未普及,所测量的数据有效性还需验证。因此,本研究使用该仪器取得树木年轮宽度,并对采自研究区的山杨年轮宽度与

气候因子之间的关系进行分析,最终目的是揭示山杨对当地温度和降水的响应,并尝试探讨树木针测仪在树轮生态学中应用的可行性。本研究将为采用树木针测仪测量树轮提供重要基础。

1 研究区概况

研究区为长白山地区,北纬41°23'~42°36',东经126°55'~129°。该地区气候为温带湿润性季风气候,冬季寒冷干燥,盛行风来自内陆;夏季温暖湿润,盛行风来自海洋。降水多集中在夏季,6-9月份降水量占全年降水量的80%之多,年相对湿度在70%左右。受长白山山脉走向的影响,致使本区的迎风坡与背风坡存在差异,天池南和池西降水较为丰沛,积温也略高,而池北则降水减少,积温也偏低。全区水热状况的特点是水量充沛,热量不足,湿润状况良好。主要组成树种乔木有蒙古栎(*Quercus mongolica*)、山杨(*Populus davidiana*)、红松(*Pinus koraiensis*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)等;灌木主要有毛榛(*Corylus mandshurica*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)等;草本植物主要有蕨类(*Pteridophyta*)、类叶升麻(*Actaea asiatica*)、卵叶风毛菊(*Saussurea grandifolia*)等。本地区为典型的火山地貌区域,在

第一作者简介:王雨茜,女,1988年3月生,北京林业大学林学院,硕士研究生。

通信作者:赵秀海,北京林业大学林学院,教授。E-mail: BFUZ@163.com。

收稿日期:2012年2月29日。

责任编辑:任 俐。

地形的影响下,土壤垂直分带表现明显,自下而上形成了暗棕壤、山地棕色针叶林土、亚高山草甸森林土和高山苔原土^[8]。

本试验样地为长白山北坡阔叶红松林内已建成的 1 hm² 的次生杨桦林固定样地(42°19.166 7'N, 128°07.817'E, 海拔 899 m)。林内物种组成丰富,共有 16 科 28 属 44 种,其中白桦(*Betula platyphyl- la*)、山杨(*Populus davidiana*)、蒙古栎(*Quercus mon- golica*)等为主要组成树种。白桦和山杨均是以大径级为主,整片林分处于演替中期阶段。

2 材料与方法

样本采集方法:在研究区内,随机选取 30 余株健康山杨作为研究对象,测量采样树的胸径,采用针测仪(型号:RESISTOGRAPH;品牌:Rinntech)在胸径(距地面 1.3 m)处进行样本采集,通过钻针钻入树木阻抗测量记录。为避免探针最初进入树木内部引起阻尼系数不稳定,在其头部放置一木块。

内业工作:将树木针测仪测量得到的数据,在仪器自动输出的图形上通过波峰与波谷的界限在探测曲线图上进行修正,并利用 TSAP 软件对所得到的数据进行分组保存,只保留轮宽数据。原始数据中共有 33 个雌性样本(只选取单性别样本的原因是一些研究表明,由于生殖分配的原因,对于雌雄异株的树种,相同树龄下树木胸径及相应的年轮宽度相差很大^[9])。采用 COFECHA 软件检验样本的准确性,同时剔除生长异常的样本,利用 ARSTAN 分别建立标准化年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)。

为了能够全面地揭示树木生长对于气候的响应,采用相关和响应函数分析树木生长对于气候的响应关系^[10]。在研究年轮宽度与单月气候因子的相关分析和响应函数时,统计过程均用树轮学专用软件 DENDROCLIM 2002 程序来实现,显著水平 $P < 0.05$ 。气候数据来自中国科学院长白山定位站(海拔 740 m),主要包括月平均温度和降水。1 000 次自助法抽样过程得到气候数据在 0.05 水平下显著性相关,因此,气候数据具有可信度。利用 DendroClim 2002(Biondi 和 Waikul 2004)软件,选择前一年 9 月份到当年 8 月份的气候变量(月平均温度和降水)进行年轮宽度指数与气候因子之间的响应分析。

3 结果与分析

3.1 样本基本概况

分析山杨样本的胸径和年龄分布有助于在建立年表的后续工作中选择合适的去趋势方法^[11]。所采集的山杨样本径阶分布比较集中,28 个样本径阶

均集中在 12~28 cm,其中 13 个样本径阶在 12~20 cm,15 个在 20~28 cm。通过样芯确定各样本的年龄,样本的年龄组成总体呈正态分布,年龄跨度为 60 a,样本最小年龄为 20 a,最大年龄为 80 a,主要集中在 40~50 a。因此,山杨样本在年龄上存在一定差异,较小样本受到年龄和生理的影响更为显著,应选择合适的去趋势方法去除年龄和生理影响,以进行气候响应分析。

3.2 年轮宽度测定及交叉定年

交叉定年原理作为树木年轮分析中的一个重要原理,目的在于对每一个年轮定出其形成的正确年代,通过交叉定年还能确定年轮分辨不清,或者根本没有形成的年代^[7]。

由于本研究区位于东北半湿润地区,出现伪轮和缺轮现象很少。该样本采集完成于 2008 年的 7 月份,此时树木还处于生长季,确定靠近树皮的年份为 2007 年。利用 COFECHA 软件对样本序列进行相关检验时,首先采用步长为 32 a 的样条函数滤去样本序列的低频变化,又对序列作了对数转换,以突出窄轮的效应^[12]。相关系数的计算时段为 50 a,相邻间隔为 25 a,相关置信区间为 99%。验证的另一步是将有问题的样本序列进行比较。先将同一株的 2 个序列在 TSAP 中打开进行比较,检查它们的同步性。然后,与其余树木的序列进行对比,更有效地确保年表的质量。

共有样本 33 株,总轮数 1 322,平均序列长度 33.9,公共区间长度 20,测得主序列年限 76 a,序列自相关系数为 0.089,平均敏感度为 0.340。其中序列相关性和平均敏感度综合反应了样本间相互关联程度,是对数据控制检验的重要指标,筛选后的数据最终用来建立年表。

3.3 年表建立及统计特征

利用软件 ARSTAN 来建立统计年表。由于采样地属于湿润地区,样本年龄较小且主要研究年轮宽度对气候因子的响应关系,所以采用步长为 30 a 的样条函数法去除生长趋势,最终得到雌树样本的标准化年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)。

采用样条函数去趋势法建立的各年表的主要特征参数见表 1。其中,平均敏感度越高的样本表明年表所含气候信息越多,则相应的非气候噪音越少,气候因子的限制作用越明显。其中一阶自相关系数是反映上一年气候状况对当年轮宽的影响,标准差则是表示树轮年表气候信息含量的统计参数,因此,标准差数值越大,说明气候信息含量越多,更适合进行气候关系的研究^[13]。

表1 采用样条函数去趋势法的各年表主要特征参数

年表种类	平均值	平均敏感度	标准差	一阶自相关系数
STD	0.959	0.156	0.171	0.025
RES	0.960	0.161	0.158	0.120
ARS	0.958	0.154	0.162	0.205

在年表序列统计量部分的平均敏感度、标准差和一阶自相关系数等指标中,STD年表基本上都是最好的。在公共区间分析的信噪比、样本总体代表性等指标上,STD年表也优于RES年表。STD可以很好地代表气候因子对各生境树木生长特征的影响。同时,由于年龄较小的树木生长与年龄相关的生长趋势表现得非常明显,标准化年表可以很好地去除这种生长趋势的同时还保留了更多的气候信息,因此,选用标准化年表进行气候响应的研究。

3.4 与气候因子的响应关系

考虑到气候因子相对树木生长具有一定的滞后效应^[14],故要引入上一年的气候因素。但由于气象数据的年限较短,对选取的气候因子的数量造成了一定限制。综合考虑,最终选择了从上一年9月份到当年8月份的月平均温度和降水量作为气候因子变量,通过分析年轮宽度与气候因子的相关关系和响应程度分析气候因子对树木生长的影响(表2)。

表2 山杨宽度年表轮宽指数与月气温、月降水量之间的相关性和响应程度

时间	月平均温度		月降水量	
	相关系数	响应程度	相关系数	响应程度
9月	0.2068	0.2957	-0.4506**	-0.3151
10月	-0.2491	-0.1713	0.0801	-0.0434
11月	-0.0486	0.0868	-0.3289	-0.2424
12月	-0.4798**	-0.4370	-0.1036	0.0391
1月	-0.3200*	-0.1237	-0.0120	0.0192
2月	0.0758	0.1862	0.2669	0.1513
3月	-0.0761	-0.0676	0.1640	0.1085
4月	0.1217	0.1193	-0.0253	-0.0912
5月	0.2240	0.0475	0.1432	0.1012
6月	0.4628**	0.3846	-0.0083	0.0251
7月	0.0038	-0.0270	-0.0218	0.0048
8月	-0.0444	-0.0343	0.1343	0.1425

注:*表示差异显著;**表示差异极显著。

通过相关性分析和利用响应函数分析树木年轮宽度年表与气象要素之间的关系,所得结果相似。可以看出,树轮宽度数据的STD年表与月平均气温表现趋势为:上一年10—12月份、当年1、3月份的气温呈显著负相关,而与当年2月份、4—7月份的气温呈正相关。结合相关性与响应程度的结果来看,在该地区山杨的生长季(上一年9月份、当年5—8月份)^[15],总体上温度促进树木径向生长(7、8月份相关系数很小,可以认为该2个月树木生长不受气温影响或影响很小),与6月份气温的相关性最为显著,是由于温度的升高促进树木径向生长。而在上一年10—当年4月份,上一年12月份、当年1

月份,树木径向生长对温度表现为负响应,即低温制约了树木的生长;而当年4月份温度与树木径向生长呈正相关,这是由于在树木开始生长之前,需要达到一定的积温^[16],从而树木能在生长季正常生长。

树轮宽度数据的STD年表与降水量相关关系的分析结果表明,树木生长季当年5—8月份,降水促进树木径向生长;其中当年5、8月份无论从相关性还是响应程度均表现出降水量的促进作用;同时,生长季前当年2、3月份降水同样促进树木的生长,这可能是由于上一年冬季降水提高了土壤中的水分含量,为当年春季树木形成层活动提供必要水分^[17]。上一年9、11月份、当年4月份的降水制约树木的径向生长;上一年10月份,当年2、3、5、8月份表现为正相关关系,其中上一年9月份的树木生长与降水量呈较显著的负相关,这是因为9月份仍处于山杨生长季,但是由于降水的季节分配不同,9月份降水量较少(降水量为63.47mm),从而制约了山杨的生长。

总之,温度对树木生长影响较大,而降水对树木生长也有影响,但不应起决定作用,这是因为样地所在地区常年较为湿润,土壤水分基本能满足树木生长所需。

4 结束语

通过使用针测仪获取山杨年轮宽度数据,交叉定年后建立3种年表。其中标准化年表因为能良好地反映气候因子对各生境树木生长特征的影响,并在去除生长趋势的同时还能保留更多气候信息,故可作为年轮与气候分析中的极佳选择。

山杨的树轮径向生长与气候要素之间存在一定的相关性,上一年9月份、当年5—8月份(即生长季)的气温促进了山杨的生长,而上一年12月份、当年1、3月份的低温制约了树木的生长,当年4月份升高的温度为树木的萌发提供了积温基础;树木生长季的降水量对树木生长影响很大,上一年9月份降水的减少制约了树木的生长,而秋冬季节降水增加了土壤水分,从而能在树木生长季促进树木生长。

参 考 文 献

- [1] 潘娅婷,袁玉江,喻树龙,等.采用树轮图像分析法重建过去气候变化[J].干旱区研究,2007,24(2):255-260.
- [2] Schweingruber F H. Tree rings and environmental dendroecology [M]. Berne: Paul Haupt Publishe, 1996: 15-20.
- [3] 于大炮,周莉,代力民,等.树木年轮分析在全球变化研究中的应用[J].生态学杂志,2003,22(6):91-96.
- [4] 侯爱敏,彭少麟,周国逸,等.通过树木年轮 $\delta^{13}C$ 重建大气 CO_2 碳同位素比 δa 的可靠性探讨[J].生态学杂志,2001,20(1):13-17.
- [5] 彭剑锋,勾晓华,张永香.树轮生态学在宽度方面的发展和若干应用研究[R].北京:中国地理学会,2004.

- [6] 何海. 使用 WinDENDRO 测量树轮宽度及交叉定年方法[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2005, 22(4): 39-44.
- [7] 方克艳, 勾晓华, 陈发虎 等. 树轮生态学研究进展[J]. 冰川冻土, 2008, 30(5): 825-834.
- [8] 孔庆文, 黄利亚, 冯秀香. 长白山保护开发区自然环境分析[J]. 农业与技术, 2007, 27(1): 70-74.
- [9] 尹春英, 李春阳. 雌雄异株植物与性别比例有关的性别差异研究现状与展望[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(3): 419-425.
- [10] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立[J]. 地理学报, 1994, 49(2): 174-180.
- [11] 戴君虎, 邵雪梅, 崔海亭. 太白山树木年轮宽度资料对过去生气候要素的重建[J]. 第四纪研究, 2003, 23(4): 428-435.
- [12] 陈振举, 孙雨, 何兴元 等. 千山油松年轮宽度年表的建立及其与气候的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2191-2201.
- [13] 张同文, 袁玉江, 喻树龙 等. 天山南坡巴台台地区树轮年表特征分析[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 36-42.
- [14] Laurent M, Antoine N, Joël G. Effects of different thinning intensities on drought response in Norway spruce (*Picea abies* L.) Karst[J]. Forest Ecology and Management 2003, 183(1-3): 47-60.
- [15] 于振良, 赵士洞, 王庆礼 等. 长白山阔叶红松林带内杨桦林动态模拟[J]. 应用生态学报, 1997, 8(5): 455-458.
- [16] 陆佩玲. 中国木本植物物候对气候变化的响应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [17] Fritts H C. Tree rings and climate[M]. New York: Academic Press, 1976: 207-304.

(上接 9 页) 5 种林分中, 针叶树人工林下普遍更新较好, 软硬阔混交林和水曲柳林下更新相对较差, 这与一些前期的研究结果相似^[6-7, 9]。不同林分类型间水曲柳更新数量的差异, 可能主要受林下草本盖度的影响。本研究表明, 草本盖度与水曲柳更新数量呈明显的负相关。这与本研究的针叶林下草本盖度较低(均低于 50%)、软硬阔混交林和水曲柳林草本各盖度较高(软硬阔混交林 81.2%, 水曲柳林 80.3%)的结果是相符的。一些研究也认为, 杂草竞争导致水曲柳更新幼苗数量明显减少^[4, 10], 而且在水曲柳更新过程中, 杂草的竞争会对水曲柳幼苗的生长发育产生明显的抑制作用^[5]。由于针叶树落叶不易分解, 凋落的针叶覆盖地表后抑制了杂草生长, 使林下草本盖度下降, 减少了杂草对水曲柳更新幼苗的竞争, 导致其林下具有较高的更新。Facelli et al.^[11] 曾用试验方法证明, 较厚白栎(*Quercus alba*) 叶子的覆盖可以减少杂草的盖度, 并促进树木幼苗的更新和生长。因此, 他们认为树木的凋落物使杂草和更新幼苗的竞争发生改变, 并影响林下更新, 这与本研究的结果是吻合的。

如果水曲柳在自身林下的更新主要受杂草盖度影响, 那么水曲柳林下和软硬阔混交林林下因具有相似的草本盖度(软硬阔混交林 81.2%, 水曲柳林 80.3%), 其更新数量也应相近, 但实际水曲柳在自身林下的更新数量只相当于软硬阔混交林的 55.6%, 更新数量远低于软硬阔混交林。因此, 水曲柳在自身林下更新不良, 除受草本盖度影响外, 可能还受其他因素影响。据韩有志等^[3] 对水曲柳种子散落格局的研究, 有 72.5% ~ 96.4% 的种子是散落在距母树 10 m 以内的范围。然而, 本研究的结果却表明, 在距母树 10 m 范围内只有 31.6% 的更新幼苗出现。这说明尽管在水曲柳母树附近散落了大量种子, 但水曲柳在母树附近却更新不良, 在远离母树的位置更新良好。

通过水曲柳和落叶松凋落叶水浸液对水曲柳种子的发芽试验表明, 水曲柳未分解凋落叶水浸液在高质量比时, 对自身种子发芽抑制作用明显, 而落叶

松未分解枯落叶水浸液对水曲柳种子发芽率无明显抑制作用。这说明在水曲柳未分解的凋落叶中可能含有某种抑制水曲柳种子发芽的他感物质, 这些他感物质随着降水等淋洗作用释出, 抑制林地上的水曲柳种子发芽, 并可能进一步影响水曲柳的更新。一些其他树种的研究也证明, 树木的凋落物可释放一些化学物质而导致自身林下更新不良^[12-14]。在自然条件下, 他感物质作用受凋落物数量、浓度、降水等多方面影响, 因此, 水曲柳自身林下更新受他感影响的问题尚需进一步探讨。

总之, 水曲柳在东北东部林区的多数林分内更新优势明显, 是一个具有培育前途的树种。但其在自身林下更新却表现不良, 草本盖度和凋落物的自毒作用可能是导致水曲柳自身林下更新不良的主要原因。

参 考 文 献

- [1] 汤景明, 翟明普. 影响天然林树种更新因素的研究进展[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(5): 379-383.
- [2] 王义弘, 张国仓. 水曲柳的种子库及其转化条件的初步研究[J]. 东北林业大学学报, 1990, 18(5): 1-6.
- [3] 韩有志, 王政权. 天然次生林中水曲柳种子的扩散格局[J]. 植物生态学报, 2002, 26(1): 51-57.
- [4] 韩有志, 程志枫, 常洁 等. 水曲柳人工林下天然更新幼苗的空间格局[J]. 山西农业大学学报, 2000, 20(4): 335-338.
- [5] 梁建萍, 张莉, 李鲜花 等. 水曲柳幼苗对杂草竞争的生理生态反应[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(2): 131-134.
- [6] 刘炜洋, 陈国富, 张彦冬. 不同林分内水曲柳天然更新及影响因素研究[J]. 华东森林经理, 2010, 24(4): 19-23.
- [7] 沈海龙, 丁保永, 夏辛畅 等. 人工针叶群落中水曲柳种群发生发展特点的研究[J]. 东北林业大学学报, 1991, 19(水胡黄楸专刊): 182-190.
- [8] 王义弘, 柴一薪, 慕长龙. 水曲柳的生态学研究[J]. 东北林业大学学报, 1994, 22(1): 1-6.
- [9] 王承义, 刘关彬. 人工林下天然更新种群特征[J]. 林业科技, 2000, 25(6): 13-15.
- [10] 刁淑清, 韩国君, 张树乐 等. 水曲柳种子更新调查研究[J]. 吉林林业科技, 2001, 30(4): 31-34.
- [11] Facelli J M, Pickett S T A. Indirect effects of litter on woody seedlings subject to herb competition[J]. Oikos, 1991, 62: 129-138.
- [12] Gallet C. Allelopathic potential in bilberry spruce forests: influence of phenolic compounds on spruce seedling[J]. Journal of Chemistry Ecology, 1994, 20(5): 1009-1024.
- [13] 俞飞, 侯平, 宋琦 等. 柳杉凋落物自毒作用研究[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(4): 494-500.
- [14] 罗侠, 潘存德, 黄闻敏 等. 天山云杉凋落物提取液对种子萌发和幼苗生长的自毒作用[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(1): 1-5.