

天然落叶阔叶林不同年龄紫椴径生长差异及其对气候暖化的响应

范春楠¹, 刘强¹, 于舒洋², 郭忠玲¹, 郑金萍¹

(1.北华大学 林学院,吉林 吉林 132013;2.辽宁博昊土地科技发展有限公司,沈阳 110033)

摘要:了解气候暖化对紫椴生长的影响是探究气候变化背景下天然落叶阔叶林生态系统结构和生产力特征的基础.为揭示不同年龄紫椴径向生长对气候因子响应的差异,以及 1980 年左右气温突变变化前后紫椴的径向生长变化及响应敏感性,运用树木年轮学方法分析了 27 块样地的 121 根紫椴年轮样本的数据,结果显示,随着气温增加紫椴胸径连年生长量稳定时间延长,胸径生长率随年龄的减小而逐渐提高,在 1980 年左右的气候温度突变变化前后,不同年龄阶段紫椴径生长特征呈明显差异.树龄小于 60 a 的紫椴胸径连年生长量、胸径生长率与胸径增长(30 a 内)要明显高于 60 a 以上紫椴.气候暖化对研究区紫椴径向生长具有促进作用,且以年龄较小的紫椴对气温变化的响应更加敏感.

关键词:紫椴;胸径生长;气候暖化;树龄

中图分类号:S718.51

文献标志码:A

树木径生长主要受遗传因子和环境因子控制.受自身遗传特性影响,树木径生长在幼龄期表现为随年龄的增加而逐渐加快,当达到一定时间后,又随年龄的增加而逐渐降低,趋于稳定^[1-2].而同等年龄树木的生长也受海拔、坡度、坡向、坡位等环境因子的显著影响,主要是水热条件以及土壤养分等因子的改变影响了树木的早晚材形成时间、径生长和高生长等,甚至决定了树木的成熟及死亡^[3].当立地环境相同或相似时,树木径生长则主要受气候因子的影响,特别是温度^[4],在不同时期内表现为制约或是促进^[5],在不同年龄树木生长对气候变化响应亦可呈现出差异^[6].

气候变化是 21 世纪人类面临的重大环境问题,IPCC 报告指出,全球气温已比工业革命前水平平均高出 1 °C.如果以当前的速率继续升温,全球气温将在 2030-2052 年比工业化前水平高出 1.5 °C^[7].气候变暖现象极有可能是人类自工业革命以来大量排放的温室气体所引起的^[8].基于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的报告,2021 年 5 月 CO₂ 的质量浓度平均值为 419.13 mg/L,当前 CO₂ 质量浓度比工业革命前高出 50%,远超专家认定的安全水平.在 CO₂ 升高和全球暖化背景下,部分研究表明升温可提高森林的生产力,并能促进生态系统的碳循环^[9-10];另有研究证实某些树木胸径生长对温度的敏感性下降,产生“响应分异”现象^[11-13].气候变化会造成树木径生长呈现年际差异,进而导致每年年轮宽度的变化,因而树木年轮宽窄亦承载着气候信息^[14].为此,树木径向生长与气候因子的响应关系可用来研究气候变化对树木生长的影响.

紫椴(*Tilia amurensis*)是我国珍稀濒危树种,也是东北地区阔叶红松林和阔叶混交林的重要组成部分之一,了解气候暖化对不同年龄紫椴径生长的影响是探究气候变化对天然落叶阔叶林生态系统结构和生产力影响的基础.本研究运用树木年轮学方法,以吉林省集安热闲林场天然落叶阔叶林为研究对象,分析了不同年龄紫椴径生长对气温变化的响应.研究结果不仅为准确预测全球气候变化背景下天然落叶阔叶林的动态响应提供数据支撑,也为珍贵树种紫椴的培育与合理经营提供理论依据.

收稿日期:2021-07-19;**修回日期:**2021-08-27.

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0600606);吉林省科技发展计划项目(20190301084NY).

作者简介:范春楠(1980—),男,吉林辽源人,北华大学副研究员,博士,研究方向为森林生态系统结构与功能,E-mail:fanchunnan@126.com.

通信作者:郑金萍,E-mail:zhengjinping80@126.com.

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于我国东北地区的吉林省集安市林业局热闹林场(125°51'E,41°19'N).本区属于温带大陆性湿润气候,水源充足,自然资源丰富,森林覆盖率达81.9%,植被类型为天然落叶阔叶林,土壤类型主要为典型暗棕壤.调查样地平均海拔为791 m、平均坡度21.3°,林分平均胸径15.46 cm,平均树高9.72 m,株数密度为962株/hm²(见表1).主要树种组成为紫椴(*Tilia amurensis*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、色木槭(*Acer mono*)、紫花槭(*Acer pseudosieboldianum*)等,林分平均蓄积量为148.55 m³/hm²,其中紫椴种群蓄积占比33%.

表1 紫椴样地基本信息

Tab. 1 Basic information of *Tilia amurensis* plot

指标	海拔/m	坡度/°	郁闭度	株数密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均高/m
均值	791	21.3	0.83	962	15.46	9.72
最小值	703	8.0	0.60	467	12.70	7.40
最大值	968	36.0	0.95	1 350	20.60	14.40

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查与年轮样品采集

于2018年8月,在集安热闹林场113林班的天然落叶阔叶林中设置面积为600 m²(20 m×30 m)的样地27块.调查和记录每个样地的地理坐标、海拔、坡度、坡向、坡位、郁闭度等信息.再利用网格法将每块样地划分为5 m×5 m的调查样方24个,对每个调查样方内的乔木树种进行每木检尺.紫椴年轮分析样品的采集,选取样地内和样地附近5株左右生长状况良好的标准木,使用生长锥分别由南向北钻取胸高位置1.3 m的年轮样本1根,然后将年轮样品置于孔径适宜的塑料吸管中保存,标定样地编号、树种、树高、胸径、枝下高等信息.

1.2.2 年轮样品的处理

将年轮样品于实验室内自然干燥以后,用乳白胶粘在特制带凹槽的木条上进行固定,进一步晾干.在进行年轮测定前用由粗(180目)到细(600目)不同粒度的干砂纸打磨后,使用2 000目干砂纸抛光,直至在显微镜下可清晰分辨树木年轮界限.利用Lintab树木年轮分析仪对紫椴年轮样本的年轮宽度进行精确测量.经筛选、校验后,共计获得紫椴年轮样本121根.研究以紫椴树高1.3 m处的年轮数作为基准年龄,样本分布数量见表2.

表2 不同年代的紫椴样本量

Tab. 2 Sample size of *Tilia amurensis* in different ages

年龄	10~<20 a	20~<30 a	30~<40 a	40~<50 a	50~<60 a	60~<70 a	70~<80 a	≥80 a
样本量	4	5	13	20	29	27	14	9

将紫椴年轮样本按10 a步长分为8组,对每组的紫椴年轮样本数据进行算术平均,以消除在不同生长过程中的差异^[15].因钻取年轮样品时生长锥方向的误差,导致通过年轮样品的测量值求算的胸径与实际测量的胸径之间存在一定偏差,研究采用公式 $\theta = (D_{bh} - D_{ic}) / (2t/a)$ 对其进行校正.式中 θ 为校正值, D_{bh} 为胸径卷尺所测胸径, D_{ic} 为完整生长芯年轮序列累加后×2所得胸径, t 为树芯测定树龄^[16].

1.2.3 气象数据

气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/site/index.html>)距离研究区最近的吉林省集安站数据库.数据时间跨度为1954-2018年,包含最低温度、最高温度、年平均温度、月平均温度等.根据收集的气候数据统计获得集安地区平均气温变化情况,结果见图1.

1.2.4 数据分析

为获得紫椴胸径连年生长量变化稳定的时间,采用 SPSS 25.0 软件进行曲线估计分析,通过对数方程($y = a + b \ln(t/a)$)拟合了紫椴胸径的年生长过程,其中 y 为胸径连年生长量, t 为树木年龄, a, b 为待定参数.并利用 SPSS 25.0 软件进行了不同年龄组紫椴胸径生长差异的方差分析.

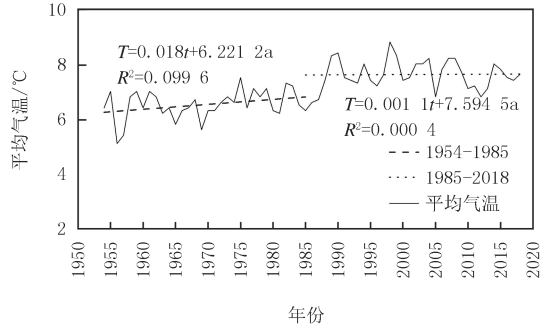


图1 1954-2018年集安地区年平均温度变化情况

Fig.1 Annual average temperature in Ji'an area from 1954 to 2018

2 结果与分析

2.1 紫椴径生长变化及差异分析

研究以不同年龄阶段的紫椴年轮宽度值作为胸径连年生长量,以对数方程($y = a + b \ln(t/a)$)拟合生长曲线.由图 2 可知,各年龄阶段紫椴连年生长量拟合曲线 R^2 值范围在 0.527~0.861, SEE 值范围在 0.034~0.075,方差检验均达到极显著水平($P < 0.001$).各年龄阶段紫椴的连年生长量在生长初期均表现出较大的下降变化,径生长曲线估计的稳定时间($y' = -0.005$)整体表现出随样本年龄组的增加而减小(表 3).由图 2 可以看出 10~<20 a 的紫椴尚未达到稳定时间.20~<60 a 的紫椴胸径连年生长量趋于稳定的时间在 20~<21 a 间,而 60 a 以上则在 12~<14 a 趋于稳定.另外,从各年龄组紫椴生长初期的胸径连年生长量来看,10~<20 a 紫椴胸径连年生长量为 0.92 cm,20~<60 a 的紫椴胸径连年生长量平均在 0.85 cm 左右,60~<80 a 的紫椴胸径连年生长量仅在 0.56 cm 左右.整体表现出年龄较小的紫椴前期胸径连年生长量相对较高的趋势.

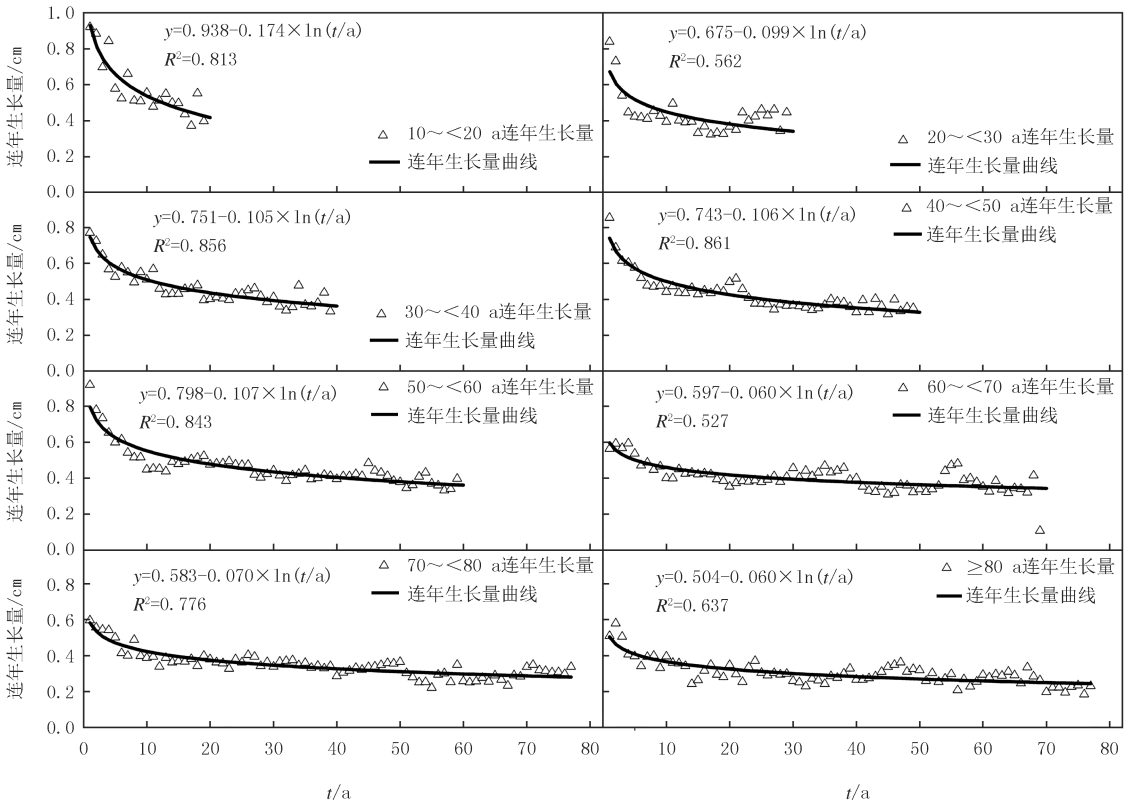


图2 不同年龄紫椴胸径连年生长量曲线

Fig.2 Radial annual growth curve of *Tilia amurensis* DBH in different ages

2.2 紫椴径生长对温度的响应

由以上分析可知,不同发生年代的紫椴样本胸径连年生长量无论是从初期生长量,还是胸径生长达到稳定的时间,均呈现出一定的差异.为此,本研究以年份为横坐标,进一步对比分析各年龄组的紫椴胸径生长率,结果见图 3.各年龄组的紫椴胸径生长率整体仍随生长时间的增加而逐渐降低,而不同年龄段的紫椴胸径生长率则表现出随着年龄的减小而逐渐提高的现象.结合图 1 年平均气温情况,1980 年左右气候存在大幅增温,而生长于增温时期之后的紫椴胸径生长率大幅提升,由此初步判断增温可一定程度地促进紫椴的生长,特别对生长初期阶段.此外,研究还发现不同年龄紫椴胸径生长率在 10 a 左右均有明显的生长拐点,即在该时间段存在生长加速,随后生长率持续平缓下降(见图 3,图 4).

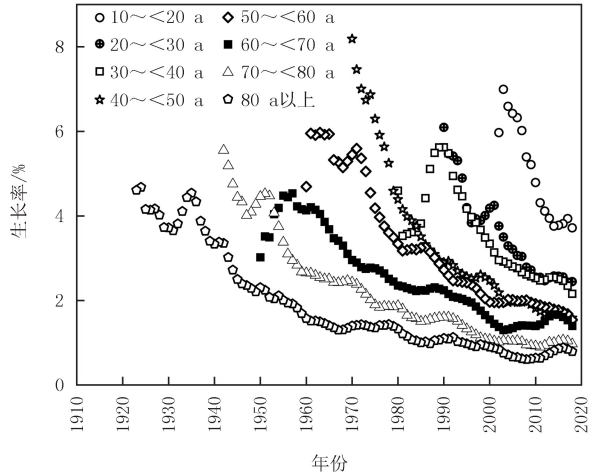


图3 紫椴胸径生长率年变化情况

Fig. 3 Annual change of DBH growth rate of *Tilia amurensis*

表 3 紫椴胸径连年生长量求导及稳定时间

Tab. 3 Derivation and stabilization time of annual growth of *Tilia amurensis* DBH

年龄/a	求导公式	稳定时间/a	年龄/a	求导公式	稳定时间/a
10~<20	$y' = -20\ 859\ 419 / (119\ 610\ 182 \times t/a)$	35	50~<60	$y' = -12\ 622\ 131 / (118\ 150\ 366 \times t/a)$	21
20~<30	$y' = -4\ 134\ 827 / (41\ 948\ 164 \times t/a)$	20	60~<70	$y' = -1\ 049\ 482 / (17\ 562\ 501 \times t/a)$	12
30~<40	$y' = -13\ 961\ 631 / (132\ 850\ 259 \times t/a)$	21	70~<80	$y' = -2\ 780\ 978 / (39\ 935\ 593 \times t/a)$	14
40~<50	$y' = -41\ 348\ 203 / (390\ 638\ 077 \times t/a)$	21	≥80	$y' = -8\ 795\ 282 / (146\ 657\ 367 \times t/a)$	12

为进一步比较各年龄阶段紫椴胸径生长差异,考虑到 30 a 以下样本量较少和生长时间等问题,选择各年龄组的紫椴样本 30 a 的胸径生长情况进行分析绘制胸径的变化曲线,经多重比较获得各年龄组的生长差异,结果见图 5.不同年龄组的紫椴胸径生长量以 50~<60 a 最高,在 30 a 时胸径达 15.72 cm;其次为 30~<40 a、40~<50 a,胸径分别为 14.65 cm 和 14.20 cm;再次为 60~<70 a 和 70~<80 a,胸径分别为 13.19 cm 和 12.18 cm;80 a 以上的紫椴胸径最小,仅为 10.41 cm.经

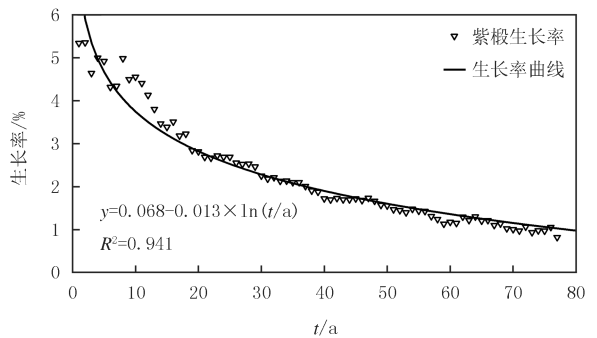


图4 紫椴胸径生长率曲线

Fig. 4 DBH growth rate curve of *Tilia amurensis*

过多重比较后发现,前 30 a 生长过程中 30~<40 a 和 40~<50 a 组的紫椴胸径均显著高于 80 a 以上组.且 50~<60 a 组的紫椴胸径与 70~<80 a 组间存在显著差异,与 80 a 以上组间存在极显著差异.其余年龄组间均无显著差异.由此可以看出在 1970 年显著增温后,低年龄组(30~<60 a)紫椴胸径生长明显高于高年龄组(≥70 a).结合图 3 不同年龄组的紫椴胸径生长速率可知,年平均温度的升高确实对紫椴初期的胸径生长有促进作用,但不同年龄组对升温的响应存在差别.

3 讨 论

相对于针叶树种^[17-20],关于阔叶树种树轮的研究相对较少,特别是紫椴.基于树木生长理论,树木径向

生长一般可分为3个时期:指数增长期、线性增长期和衰减期^[21],在指数增长期或线性增长期呈增加或平缓增加趋势^[22].本研究中紫椴的径生长也符合该生长特征,即受生物学特性影响,紫椴胸径连年生长量表现为初期生长迅速,随后生长量下降直至趋于稳定.紫椴胸径生长率整体随生长时间的增加而逐渐降低,但不同年龄段的紫椴胸径生长率则表现出随着年龄的减小而逐渐提高的现象.此外,结果显示不同年龄紫椴胸径生长率在10 a左右均有明显的生长拐点,即在该时间段存在生长加速,随后生长率持续平缓下降.该现象的产生可能归因于紫椴特有的生长特性,有待深入探究.

结合不同年龄紫椴30 a的胸径大小来看,以小于60 a的紫椴胸径生长明显高于60 a以上的紫椴.可见,受生理特性影响不同年龄紫椴径向生长变化趋势是基本一致的,但在环境因子的控制下却存在明显的生长差异.多项研究表明树木的径向生长受年龄因素的影响,随着树木年龄的增长,其生理特性也能随之改变^[23],且不同年龄树木对环境变化的抗性响应也存在差异^[24].本研究所选样地近年来没有明显人类活动干扰,群落结构处于动态平衡.因此,60 a以上与60 a以下树龄组间径向生长的显著差异应归因于外界环境条件的变化,尤其是1980年之后的迅速增温.

温度是影响树木生长的重要环境因子,一定程度的升温对树木生长有促进作用,但温度过高会抑制其生长.温度可以影响紫椴生长期的长短,在树木的生长期提高温度可以更好地促进形成层活动,有利于年轮的生长.本研究结果显示,随着气候温度的暖化促进了研究区的紫椴径向生长,但生长期的温度过高,会增强树木的光合速率,同时也增强树木的蒸腾作用,使树木加快吸收土壤中的水分并大量蒸发,当树木所能吸收的水分不足以抵挡蒸发散失的水分时就不利于树木生长,从而形成水分胁迫造成窄年轮的产生,使年轮指数下降^[25].有研究显示,夏季温度升高引起的“暖干化”对紫椴径向生长会起到抑制作用^[26].由图1可知,在1980年左右气候存在增温突变,该现象也得到了其他研究者的证实^[27-28].还有研究发现,长白山高海拔红松年轮指数在1980年后显著上升^[29],而在黑河地区的研究显示,红松宽度指数在1980年后表现为显著下降趋势^[30].谢立红等^[26]研究显示,蒙古栎和紫椴年轮指数在突变增温(1980年)前后与气候的响应关系呈现明显变化,气温明显变暖后蒙古栎和紫椴年轮指数与气候的响应更加敏感,而气温升高引起的干旱胁迫是导致树木生长受到抑制的主要原因之一.此外,树木对气候暖化的响应存在年龄差异,如东北的红松(*Pinus koraiensis*)小树对气候增温响应敏感^[24],而桉树(*Eucalyptus robusta*)大树对气候增温响应敏感^[31].

4 结 论

气候暖化对研究区紫椴径向生长具有促进作用,不仅延长了胸径连年生长量的稳定时间,同时也导致了不同年龄段的紫椴胸径生长率随着年龄的减小而逐渐提高,且以年龄较小的紫椴对气温变化响应更加敏感.在1980年左右的气候温度突增变化影响下,树龄小于60 a的树木连年生长量、胸径生长率与胸径(30 a内)要明显高于60 a以上紫椴.此外,不同年龄紫椴胸径生长率在10 a左右均有明显的生长拐点,可能归因于紫椴特有的生长特性,有待进一步探究.本研究结果对于预测未来气候变化背景下天然落叶阔叶林的演替以及紫椴的分布格局具有重要的参考价值,也为气候暖化条件下珍贵树种——紫椴的培育与合理经营提供理论支撑.

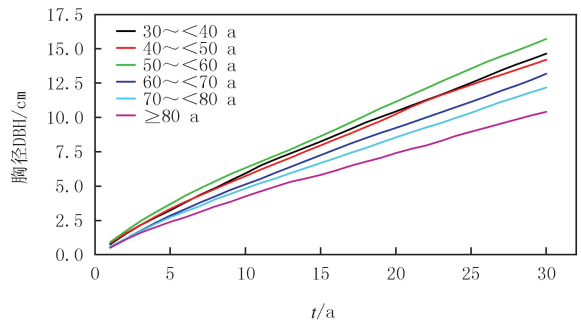


图5 不同年龄紫椴前30 a胸径生长情况

Fig.5 Growth of DBH in 30 years at *Tilia amurensis* in different ages

参 考 文 献

- [1] 彭幼芬.树木生长的规律和控制[J].湖南林业科技,1986(2):45-48.
PENG Y F.Rule and Control of Tree Growth[J].Hunan Forestry Science & Technology,1986(2):45-48.
- [2] 陈晶晶,黄荣凤,李钢铁,等.浑善达克沙地榆树径向生长特性[J].北京林业大学学报,2014,36(6):41-47.

- CHEN J J, HUANG R F, LI G T, et al. Radial growth characteristics of *Ulmus pumila* var. *sabulosa* in Otindag sand land, northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(6): 41-47.
- [3] 郑淑霞,上官周平. 树木年轮与气候变化关系研究[J]. 林业科学, 2006, 42(6): 100-107.
- ZHENG S, SHANGGUAN Z P. Study on relationship between tree-ring and climatic change [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(6): 100-107.
- [4] 邵雪梅, 吴祥定. 利用树轮资料重建长白山山区过去气候变化[J]. 第四纪研究, 1997, 17(1): 76-85.
- SHAO X M, WU X D. Reconstruction of climate change on Changbai mountain, northeast China using tree-ring data [J]. Quaternary sciences, 1997, 17(1): 76-85.
- [5] 李思其. 长白山不同坡向和海拔岳桦径向生长差异及其气候敏感性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2019.
- LI S Q. Study on radial growth difference and climate sensitivity of *betula ermanii* in different slopes and elevations of Changbai mountain [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2019.
- [6] WANG X, ZHANG Y, MCRAE D J. Spatial and age-dependent tree-ring growth responses of *larix gmelinii* to climate in northeastern China [J]. Trees Structure & Function, 2009, 23(4): 875-885.
- [7] MEREDITH M P, SOMMERKORN M, CASSOTTA S, et al. IPCC: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [EB/OL]. [2019-09-25]. <https://www.ipcc.ch/srocc/>.
- [8] STOCKER T F D, QIN G K, PLATTNER M, et al. IPCC: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [EB/OL]. [2013-09-25]. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- [9] LINDNER M, MAROSCHEK M, NETHERER S, et al. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems [J]. Forest Ecology and Management, 2010, 259(4): 698-709.
- [10] Mann M E, BRADLEY R S, HUGHES M K. Northern hemisphere temperatures during the past millennium; inferences, uncertainties, and limitations [J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26(6): 759-762.
- [11] JACOBY G C, LOVELIUS N V, SHUMILOV O I, et al. Long term temperature trends and tree growth in the Taymir region of northern Siberia [J]. Quaternary Research, 2000, 53(3): 312-318.
- [12] SOLBERG B O, HOFGAARD A, HYTTEBORN H. Shifts in radial growth responses of coastal *Picea abies* induced by climatic change during the 20th century, central Norway [J]. Ecoscience, 2002, 9(1): 79-88.
- [13] DRISCOLL W W, WILES G C, DARRIGO R D, et al. Divergent tree growth response to recent climatic warming, Lake Clark National Park and Preserve, Alaska [J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(20): 423-436.
- [14] 张先亮, 崔明星, 马艳军, 等. 大兴安岭库都尔地区兴安落叶松年轮宽度年表及其与气候变化的关系 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2501-2507.
- ZHANG X L, CUI M X, MA Y J, et al. *Larix gmelinii* tree-ring width chronology and its response to climate change in Kuduer, Great Xingan Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2501-2507.
- [15] 吴祥定. 树木年轮与气候变化 [M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [16] 张远东, 刘彦春, 刘世荣, 等. 基于年轮分析的不同恢复途径下森林乔木层生物量和蓄积量的动态变化 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(2): 117-125.
- ZHANG Y D, LIU Y C, LIU S R, et al. Dynamics of stand biomass and volume of the tree layer in forests with different restoration approaches based on tree-ring analysis [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(2): 117-125.
- [17] SEMYUNG K, 潘磊磊, 时忠杰, 等. 不同竞争强度下的沙地樟子松天然林树木径向生长及其气候响应 [J]. 生态学杂志, 2019, 38(7): 1962-1972.
- SEMYUNG K, PAN L L, SHI Z J, et al. Radial growth of Mongolian pine and its response to climate at different competition intensities [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(7): 1962-1972.
- [18] 刘敏, 毛子军, 厉悦, 等. 不同径级红松径向生长对气候变化的响应 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3530-3540.
- LIU M, MAO Z J, LI Y, et al. Response of radial growth to climate change in *Pinus koraiensis* with different diameter classes [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(11): 3530-3540.
- [19] 于健, 徐倩倩, 刘文慧, 等. 长白山东坡不同海拔长白落叶松径向生长对气候变化的响应 [J]. 植物生态学报, 2016, 40(1): 24-35.
- YU J, XU Q Q, LIU W H, et al. Response of radial growth to climate change for *Larix olgensis* along an altitudinal gradient on the eastern slope of Changbai Mountain, Northeast China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 40(1): 24-35.
- [20] 姜庆彪, 赵秀海, 高露双, 等. 不同径级油松径向生长对气候的响应 [J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3859-3865.
- JIANG Q B, ZHAO X H, GAO L S, et al. Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3859-3865.
- [21] COLBERT J J, SCHUCKERS M, FEKEDULEGN D. Comparing models for growth and management of forest tracts [J]. Modelling Forest Systems, 2004, 39: 335-346.
- [22] DITTMAR C, ZECH W, ELLING W. Growth variations of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmen-

- tal conditions in Europe—a dendroecological study[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 173(1/2/3): 63-78.
- [23] CARRER M, URBINATI C. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*[J]. *Ecology*, 2004, 85(3): 730-740.
- [24] WANG X C, PEDERSON N, CHEN Z J, et al. Recent rising temperatures drive younger and southern Korean pine growth decline[J]. *Science of Total Environment*, 2019, 649: 1105-1116.
- [25] 蔡秋芳, 刘禹. 油松树轮记录的 1776 年以来贺兰山地区气温变化[J]. *地理学报*, 2006, 61(9): 35-42.
CAI Q F, LIU Y. Temperature variability since 1776 inferred from tree-rings of *Pinus tabulaeformis* in Mt. Helan[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(9): 35-42.
- [26] 谢立红, 黄庆阳, 曹宏杰, 等. 五大连池火山蒙古栎和紫椴径向生长对气候变化的响应[J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(3): 1-9.
XIE L H, HAUNG Q Y, GAO H J, et al. Response of radial growth for *Quercus mongolica* and *Tilia amurensis* in Wudalianchi Volcano, China to climate changes[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2021, 36(3): 1-9.
- [27] JACOBY G C, DARRIGO R D. Tree ring width and density evidence of climatic and potential forest change in Alaska[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9(2): 227-234.
- [28] BARBER V A, JUDAY G P, FINNEY B P. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress[J]. *Nature*, 2000, 405(6787): 668-673.
- [29] 李广起, 白帆, 桑卫国. 长白山红松和鱼鳞云杉在分布上限的径向生长对气候变暖的不同响应[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(5): 35-46.
LI G Q, BAI F, SANG W G. Different responses of radial growth to climate warming in *Pinus koraiensis* and *Picea jezoensis* var. *komarovii* at their upper elevational limits in Changbai Mountain, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(5): 35-46.
- [30] 及莹. 黑龙江红松年轮气候响应及与变暖关系探讨[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
JI Y. Climate-growth relationships of Korean pine in Heilongjiang and their potential for global warming[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.
- [31] PRIOR L D, BOWMAN D M. Big eucalypts grow more slowly in a warm climate: evidence of an interaction between tree size and temperature[J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(9): 2793-2799.

The DBH growth difference and response of *Tilia amurensis* in different ages in natural deciduous broad-leaved forest to climate warming

Fan Chunnan¹, Liu Qiang¹, Yu Shuyang², Guo Zhongling¹, Zheng Jinping¹

(1. Forestry College, Beihua University, Jilin 132013, China;

2. Liaoning Bohao Land Technology Development Co. Ltd., Shenyang 110033, China)

Abstract: It is the basis research for revealing the structure and productivity characteristics of natural deciduous broad-leaved forest ecosystems under the climate change to understand the impact of climate warming on the growth of *Tilia amurensis*. In order to reveal the response differences of diameter at breast height (DBH) growth at different ages to climate factors, and to study the change dynamics and response sensitivity of *Tilia amurensis* before and after the sudden increase in temperature around 1980, a total of 121 tree ring samples from 27 plots were collected and analyzed in the current study. Results: with the increase of annual mean temperature, the stable time of continuous year-on-year DBH growth of *Tilia amurensis* increased, and the growth rate of DBH gradually increased with the decrease of age, which showed obvious differences under the impact of the sudden increase in climate temperature around 1980, and the annual growth, radial growth rate and DBH (within 30 years) of *Tilia amurensis* with the tree age of less than 60 years were higher than the trees with the age of more than 60 years. Conclusion: the climate warming promotes the DBH growth of *Tilia amurensis* in the study area, and the younger age is more sensitive to temperature changes.

Keywords: *Tilia amurensis*; growth of DBH; climate warming; tree-age

[责任编辑 刘洋 杨浦]