

面向质量评价的杨树苗木超声波检测方法研究

封丹,张厚江*,关炜盼

(北京林业大学 工学院,北京 100083)

摘要:一直以来,苗木质量的评价通常是根据苗木地径、苗高、根系等外观指标进行的,基本没有考虑到苗木内部材质状况。而苗木材质好坏会直接影响成材树的木材质量,因此从材质角度对苗木进行无损检测和质量评价是非常有意义的。超声波波速是反映木材材质的重要参数。以我国常见人工林树种杨树苗木为对象,利用超声波微秒计对 200 棵样苗在其生长第 1 年内进行了 4 次超声波传播速度测量,并在测量完波速以后随机砍伐其中的 61 棵苗木进行敲击回声试验,进行波速对比分析。试验发现,每次测量得到的 200 棵苗木波速呈近似正态分布;超声波波速与苗木生长天数之间存在很强的相关性,平均波速与生长天数之间的决定系数达到 0.991;波速与苗木地径之间无明显相关性;超声波波速与敲击回声法测得的波速相关性显著,决定系数达 0.805 4。研究结果表明,超声波法测得的波速可以作为反映被测苗木材质状况的指标之一。

关键词:超声波;杨树苗木;质量;波速;检测

中图分类号:S781.1 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2017)02-0260-05

Ultrasonic Detecting Method for Evaluating the Quality of Poplar Seedlings

FENG Dan, ZHANG Hou-jiang*, GUAN Wei-pan

(School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: All along, the evaluation of seedling quality is usually based on the indices of external appearances, such as the diameter, height, and root, while the internal situation is not taken into account. Because seedling quality directly affects the wood quality of the timber trees, it is meaningful to do the nondestructive test and quality evaluation on the seedlings from the perspective of internal material. Ultrasonic velocity is an important parameter to reflect the wood material. This paper took the poplar seedlings as the objects of study which are commonly used in the artificial forest, the ultrasonic velocity of 200 samples were measured 4 times by the ultrasonic microsecond device in the first growth year. After measuring the wave velocity, the knocking echo test was carried out and the comparative analysis of wave velocity with 61 seedlings which were randomly cut down among the samples was conducted. It was found that the velocity of the 200 seedlings obtained from each measurement was approximately in normal distribution. There was a very strong correlation between the ultrasonic velocity and the growth days of the seedlings, the coefficient of determination between the average velocity and the growth day reached 0.991; there was nearly no significant correlation between the velocity and the seedling diameter; the correlation between the velocity with the two methods was significant, the coefficient of determination reached 0.805 4. The results indicated that the wave velocity measured by ultrasonic detecting method could be one of the indicators to reflect the wood quality of the seedlings.

Key words: ultrasonic wave; poplar seedling; quality; wave velocity; detecting

收稿日期:2016-08-01 修回日期:2016-11-07

基金项目:国家自然科学基金项目“应力波在人工林活立木中的传播机理及波速转换模型的研究”(31328005)。

作者简介:封丹,女,在读硕士,研究方向:木材无损检测技术。E-mail:853078861@qq.com

*通信作者:张厚江,男,博士,教授,研究方向:木材无损检测技术。E-mail:hjzhang6@bjfu.edu.cn

苗木质量的好坏决定着造林成活率及林分生长质量。科学准确地确定苗木质量,合理地进行苗木质量评价与分级,对于提高人工造林成效起着重要作用。一直以来,苗木质量的评价通常是根据苗木地径、苗高、根系等外观指标进行统计分析,其质量分级(包括容器苗)已经做了大量试验,并取得了一定成果^[1-6],但上述研究基本没有考虑到苗木内部材质状况。而苗木材质好坏会直接影响成材树的木材质量^[7],因此从材质角度对苗木进行无损检测和质量评价是非常有意义的。

超声波技术作为木材无损检测常用手段之一,其波速是反映木材材质的重要参数^[8-9]。一般情况下波速越大,木材密度、力学性能等材质指标越好。近年来,新西兰学者开始了基于应力波的苗木质量检测研究,测量对象是辐射松(*P. radiata*)苗木,在2个加速度传感器外侧8~12 cm处敲击产生纵向应力波,发现其波速与辐射松(*P. radiata*)苗木材质间有较好的相关性^[10-12]。国内利用应力波对活力木进行了波速检测及力学性能的评估预测,均取得了一定成果^[13-14]。从本质上讲固体中传播的超声波和声波都属于应力波^[15],但到目前为止国内外利用超声波检测并评价苗木质量的研究几乎是一片空白。

以我国常见人工林树种杨树苗木为对象,试验检测超声波在杨树苗木中的传播波速,并对波速测量结果进行分析,以期为从材质角度检测和评价杨树苗木质量做些基础工作。

1 材料与方法

1.1 研究对象

研究对象选用北京林业大学苗圃试验基地培育的杨树树苗,品种为欧美杨107(*Populus × canadensis* 'Neva'),于2015年4月13日扦插种植,栽植株距为30 cm,行距为80 cm,共22行。随机选取200棵作为试验对象并对其进行编号,编号规则为品种-编号,例如,欧美杨-01~欧美杨-200。

1.2 检测仪器

试验检测仪器采用匈牙利产超声波微秒计(Fakkopp Ultrasonic Timer)^[16],其组成包括1个信号处理盒和2个压电传感器。试验中需将2个传感器紧压于苗木茎秆(图1)。检测原理如下:首先由发射端传感器发射1个超声波脉冲,此脉冲沿着被测苗木茎秆传播,当脉冲信号到达接收端传感器时被接收,经信号处理盒处理,脉冲在两传感器间的传播时间会显示于信号处理盒的屏幕上。

1.3 试验方法

研究分为传感器间距确定试验、超声波波速检

测试验和敲击回声对比试验3个部分。

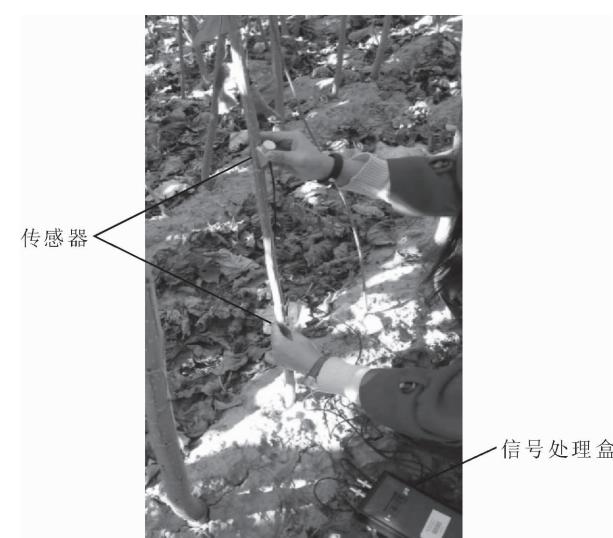


图1 现场检测

Fig. 1 Field test

1.3.1 传感器间距确定试验 其目的在于确定在杨树苗木测量时2个传感器间的合理距离。发射端传感器发射的脉冲信号在传播过程中会不断减弱,而计时器被设定的触发阈值为0.12 V。若距离过大,则接收端传感器可能无法触发计时器,从而无测量结果。因此,有必要通过试验来确定合适的传感器间距,进而得到准确的波速值。

随机选取9棵欧美杨苗木,根据其生长情况,确定下传感器位置为距地面200 mm处,并在测量过程中,保证其位置不变。上传感器最低位置选取距下传感器100 mm处,然后依次增加100 mm,直至2个传感器间距为1 000 mm。分别测得10个间距下的超声波传播时间,计算对应波速并进行记录,观察波速与间距间的关系,进而确定合适的传感器间距。

1.3.2 超声波波速检测试验 在确定合适的传感器间距后,对苗圃内选定的200棵欧美杨苗木进行超声波传播时间测量,计算出每一棵苗木的超声波传播波速。为减少环境因素对试验结果的影响,200棵苗木测量试验在同一天完成。分别于2015年7月27日、9月5日、9月23日、11月8日,即扦插后的105、145、165 d和209 d进行4次测量试验。波速测量的同时记录苗木地径。

1.3.3 敲击回声对比试验 研究认为,敲击回声检测方法测得的波速更为准确^[9,17-18]。为验证超声波测量方式的准确性,有必要同时利用敲击回声法再测一组波速,对2种方法得到的结果进行相关分析。如图2所示,当敲击苗木试件的一端时,声波在茎秆当中传播,当到达另一端时会产生反射,然后再次返回敲击端,如此反复进行,直至信号衰减完毕。假设声波在苗木当中一个往返周期的时间为t,苗木长度

为 l , 则声波传播速度为:

$$v = \frac{2l}{t} = 2lf \quad (1)$$

式中, f 为声波在试件中的往返频率。

随机选择 61 棵苗木作为试验对象进行敲击回声试验, 并与超声波波速对比分析。对每棵选定的苗木, 在砍伐前首先测量传播时间及其地径并记录, 砍伐长度为地径的 15 倍, 随后进行试验。试验装置如图 2 所示。

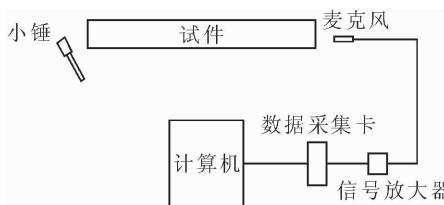


图 2 敲击回声法试验装置简图

Fig. 2 Schematic diagram of the knocking echo test experimental device

2 结果与分析

2.1 传感器间距的确定

传感器间距与波速间关系如图 3 所示。由图 3

可知, 当传感器间距 <300 mm 时, 波速数值较低; 当间距在 300~800 mm 左右时, 波速基本平稳; 当间距 >800 mm 时, 地径过小的苗木无法测量出超声波的传播时间。因此, 综合考虑测量的方便性, 最终确定传感器间距为 400 mm。

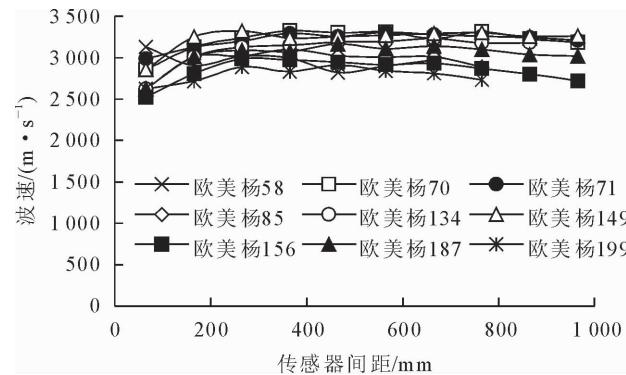


图 3 传感器间距和波速的关系

Fig. 3 Relationship between sensor spacing and wave speed

2.2 苗木超声波波速检测结果

分别于 7 月 27 日、9 月 5 日、9 月 23 日、11 月 8 日对 200 棵欧美杨苗木进行了超声波波速和地径检测试验, 共 4 次, 结果如表 1 所示。

表 1 200 棵欧美杨苗木超声波波速、地径测量结果

Table 1 The results of ultrasonic velocity and ground diameter of 200 poplar seedlings

日期	地径/mm	棵	平均地径 /mm	最大地径 /mm	最小地径 /mm	平均波速 /(m·s⁻¹)	最大波速 /(m·s⁻¹)	最小波速 /(m·s⁻¹)
7 月 27 日	$d \leq 10$	18	8.2	10.0	4.9	1 928	2 321	1 476
	$10 < d \leq 20$	135	15.3	20.0	10.2	2 001	2 382	1 680
	$20 < d \leq 30$	31	20.2	25.0	20.1	1 898	2 083	1 341
9 月 5 日	$d \leq 10$	7	7.6	9.4	5.7	2 389	2 513	2 195
	$10 < d \leq 20$	68	15.6	20.0	10.2	2 516	2 739	2 131
	$20 < d \leq 30$	84	20.6	29.9	20.2	2 312	2 699	1 992
	$d > 30$	5	33.3	33.3	30.5	2 140	2 278	2 036
9 月 23 日	$d \leq 10$	7	7.7	9.7	5.7	2 464	2 659	2 292
	$10 < d \leq 20$	60	11.8	19.5	10.2	2 701	2 914	2 321
	$20 < d \leq 30$	78	20.9	29.6	20.1	2 483	2 824	2 222
	$d > 30$	19	31.0	35.0	30.1	2 326	2 397	2 182
11 月 8 日	$d \leq 10$	7	8.0	9.9	6.4	2 735	3 341	2 496
	$10 < d \leq 20$	59	11.9	19.9	10.2	2 952	3 223	2 699
	$20 < d \leq 30$	76	21.5	29.8	20.5	2 882	3 341	2 621
	$d > 30$	22	32.5	36.3	30.1	2 733	2 961	2 566

2.2.1 波速分布统计分析 由图 4 可见, 每次测量超声波波速分布均呈近似正态分布状态, 即虽然 200 棵苗木是在同一天扦插, 生长天数相同, 但波速大部分集中在平均波速附近。波速出现差异, 反映出苗木间力学性能、密度等材质指标间的差异。9 月 5 日、9 月 23 日 2 次测量结果波速呈现基本相同的分布规律。

2.2.2 波速与生长天数之间的关系 表 2 为 4 次波速测量结果依据正态分布公式计算得到的平均波

速、标准差、上限波速和下限波速。

从扦插日到 4 次测量的天数(苗龄)分别为 105、145、165 d 和 209 d, 波速与苗木生长天数之间的关系如图 5 所示。可以看出, 3 种波速与生长天数间均有很好的相关性, 其中平均波速与生长天数间的决定系数达到 0.991。平均波速的逐渐变大, 反映出同一天扦插、生长天数相同的同一批苗木随苗龄的增大, 其整体力学性能、密度等材质指标随之变好。

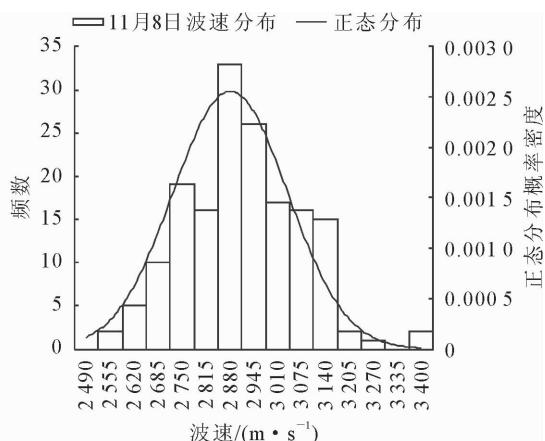
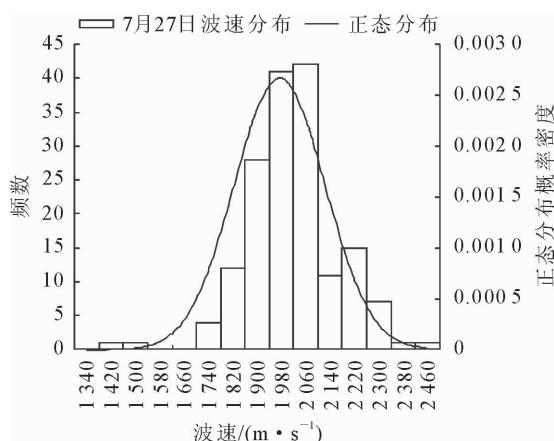


图4 超声波波速分布

Fig. 4 Distribution of ultrasonic velocity

表2 4次波速测量结果统计

Table 2 Results of wave velocity measurement (four times)

测量日期	平均波速 (m·s⁻¹)	标准差	上限波速 (m·s⁻¹)	下限波速 (m·s⁻¹)
7月27日	1 974	149	2 420	1 527
9月5日	2 395	177	2 926	1 863
9月23日	2 544	182	3 090	1 998
11月8日	2 881	155	3 348	2 415

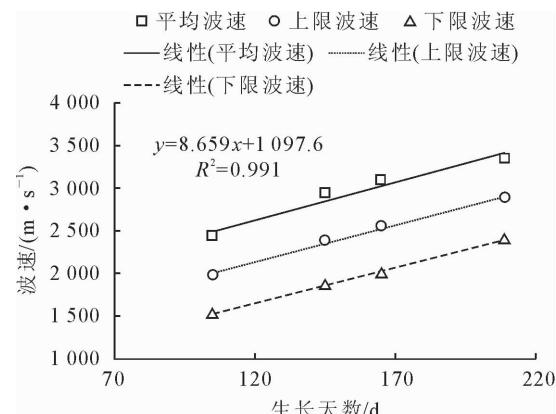


图5 波速与生长天数的关系

Fig. 5 The relationship between the velocity and growth days

2.2.3 波速与地径的关系 如图6所示,每次测量200棵苗木地径均有一定的分布范围,且随着地径的增大,波速变化不大,即波速与地径间几乎无相关性。随着苗龄的增加,苗木地径、波速都会增大,但由于波速与地径之间无明显相关性,因此可推断同一天扦插、生长天数相同的同一批苗木中,苗木的材质与其地径大小无明显关系。

虽然超声波波速与苗木地径间无明显相关性,但地径相近的苗木,其波速是有一定差别的。图7为7月27日测量得到的地径在10~20 mm苗木波速分布图。可以看出,这批苗木波速分布范围是1 600~2 432 m/s,即苗龄相同、外形指标(地径、苗高等)相近的同一批苗木间,材质状况是有较大差异的,而通过超声波波速可以检测出苗木间材质的差异性。

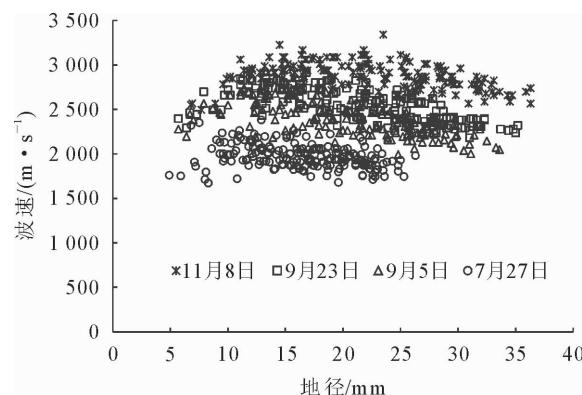


图6 苗木波速与地径的关系

Fig. 6 Relationship between the velocity and the ground diameter of the seedlings

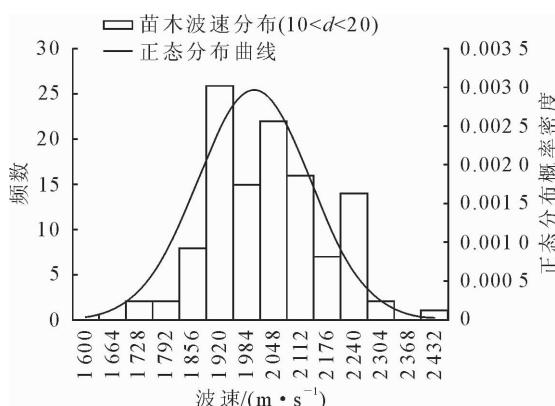


图7 波速分布(7月27日,地径10~20 mm)

Fig. 7 Velocity distribution
(July 27th, ground diameter between 10 mm and 20 mm)

2.3 超声波波速与敲击回声波速的相关性

图8为超声波和敲击回声2种测量方式下苗木波速之间的关系。可以看出,虽然超声波波速小于敲击回声波速,但二者相关性显著,决定系数为0.8054。由于敲击回声波速是公认的木材波速准确测量方法,所以在苗木生长状态下利用超声波微秒计测得的波速是具有可靠性的。

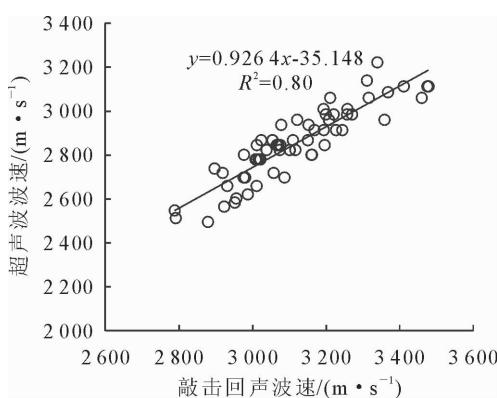


图 8 2 种测量方式下波速间关系

Fig. 8 The relationship between the wave velocity with two kinds of measuring methods

3 结论

以杨树苗木材质评价为目标,试验确定了超声波微秒计传感器间的合理距离,试验检测了超声波在杨树苗木中的传播波速,并将超声波波速与敲击回声波速进行了对比,得到如下结论。

超声波微秒计的 2 传感器之间的合理距离为 300~800 mm,本文选择了 400 mm。

对 2015 年 4 月 13 日扦插的 200 棵杨树苗木,分别于扦插后的 105、145、165 d 和 209 d 进行了 4 次超声波波速测量,每次测量结果均呈近似正态分布。说明苗龄相同的同一批苗木,其力学性能、密度等材质指标间存在差异。

苗木波速与生长天数之间的相关性很高,平均波速与生长天数之间的决定系数达到 0.991。说明苗木随生长天数的增加,其力学性能、密度等材质指标变好。

苗木波速与地径之间无明显相关性。说明苗龄相同的同一批苗木中,苗木材质与其地径无明显相关性。

利用超声波波速与敲击回声法测得的波速之间存在着显著的相关性,决定系数达到 0.805 4。表明超声波法测得的波速可以作为反映被测苗木材质状况的指标之一。

参考文献:

- [1] 焦玲,赵颖,李丽萍.现代苗木质量评价的生理指标[J].内蒙古林业科技,2003(1):40-44.
- [2] 陈孝,纪程灵,周正清,等.1 年生桢楠容器苗质量分级研究[J].中国农学通报,2014,30(16):30-34.
- [3] CHEN X,JI C L,ZHOU Z Q,*et al.* Studing on grading standard of seeding quality of one year old container seedlings of *Phoebe zhennan* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014,30(16):30-34. (in Chinese)
- [4] 王印肖,田冬.苗木质量分级与检测方法[J].河北林业科技,2005(4):61-62.
- [5] 李玉莲,张亚楠,王子奕.评价出圃苗木质量的几个主要指标[J].林业科技,2007,32(4):12-12.
- [6] 李鹏,刘济明,欧国腾,等.大果木姜子苗木的评价及分级标准[J].江苏农业科学,2014(9):223-226.
- [7] 汤兴坤.苗木活力评价指标及体系研究述评[J].山东林业科技,2008(3):106-108.
- [8] 姜彩霞.苗木质量评定原则[J].农村实用科技信息,2012(4):71.
- [9] 徐有明.木材学[M].北京:中国林业出版社,2006.
- [10] PELLERIN F,ROBERT J,Ross,Nondestructive evaluation of wood [M]. USA:Forest Products Society,2002.
- [11] EMMS G,NANAYAKKARA B,HARRINGTON J. A novel technique for non-damaging measurement of sound speed in seedlings [J]. Eur. J. For. Res., 2012,131(5):1449-1459.
- [12] GRANT W E,BERNADETTE N,JONATHAN J H. Application of longitudinal-wave time-of-flight sound speed measurement to *Pinus radiata* seedlings [J]. Canadian Journal of Forest Research,2013,43(8):750-756.
- [13] 刘丰禄,姜芳,王喜平,等.应力波在落叶松活立木中传播二维模拟研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):201-205,240.
- [14] LIU F L,JIANG F,WANG X P,*et al.* Stress wave propagation in larch plantation trees;numerical simulation[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(4):201-205,240. (in Chinese)
- [15] 管珣,赵茂程.北美基于应力波技术的木材测试及应力分等的研究进展[J].西北林学院学报,2013,28(2):178-181,232.
- [16] GUAN X,ZHAO M C. Advances in the researched of wood quality testing and stress grading based on the acoustic technology in North America[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(2):178-181,232. (in Chinese)
- [17] 生利英.超声波检测技术[M].北京:化学工业出版社,2014.
- [18] Acoustic tools for seedling,tree and log selection[EB/OL].<http://cte.napier.ac.uk/e53>.
- [19] CHAUHAN S S,ENTWISTLE K M,WALKER J C F,*et al.* Differences in acoustic velocity by resonance and transit-time methods in an anisotropic laminated wood medium [J]. Holzforschung,2005,59(59):428-434.
- [20] ROSS R J,MCDONALD K A,GREEN D W,*et al.* Relationship between log and lumber modulus of elasticity[J]. Forest Products Journal,1997,47(2):89-92.