

## Pilodyn在林木遗传改良应用中的研究进展

朱景乐<sup>1,2</sup>, 王军辉<sup>1</sup>, 张守攻<sup>1</sup>, 张建国<sup>1</sup>, 孙晓梅<sup>1</sup>, 梁保松<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所, 国家林业局 林木培育重点实验室, 北京 100091;  
2. 河南农业大学 林学院园艺学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** Pilodyn 是一种间接测定木材密度的无损检测仪器。在总结国内外学者对 Pilodyn 应用和研究的基础上, 阐述了 Pilodyn 的工作原理、使用方法、优点与不足以及在实际应用中的注意事项。肯定了 Pilodyn 作为一种方便快捷的无损检测仪器, 具有其低价、快速和准确获得大量试验数据的性能及其在林木材性改良选择中的重要作用, 展望了 Pilodyn 在我国用材林改良选择中应用的广阔前景。参 27

**关键词:** 林木育种学; Pilodyn; 无损检测; 木材密度; 遗传改良; 材性选择

中图分类号: S722.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)05-0661-05

## Research progress of applying Pilodyn in genetic improvement of forests

ZHU Jing-le<sup>1,2</sup>, WANG Jun-hui<sup>1</sup>, ZHANG Shou-gong<sup>1</sup>, ZHANG Jian-guo<sup>1</sup>,  
SUN Xiao-mei<sup>1</sup>, LIANG Bao-song<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry, The Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, The Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Forest and Horticulture College of He 'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, He 'nan, China)

**Abstract:** Pilodyn is a non-destructive testing tool to test the wood density indirectly. Based on the review of the domestic and overseas scholars ' research on the application of Pilodyn, we expatiated on the working principle, applying method, merits and deficiencies, and points for attentions in the practical use. It concluded that Pilodyn was a cheap, convenient, quick non-destructive testing tool which could obtain plenty of data rapidly and accurately. It was important for the genetic improvement and selection of the wood property. It also discussed the bright future of Pilodyn in the selection and improvement of wood property. [ Ch, 27 ref.]

**Key words:** forest tree breeding; Pilodyn; non-destructive testing; wood density; genetic improvement; wood property selection

### 1 研究 Pilodyn 的意义

随着我国国民生活水平的提高, 较少的木材蓄积量和较低的木材综合利用率远不能满足社会对木材及木制品的需求。如何利用我国有限的森林资源, 提高木材利用率, 已成为亟待解决的技术难题<sup>[1,2]</sup>。林木遗传改良早已成为发展人工林的重大战略技术措施, 材性改良也已提上日程, 而对木材各种性质进行早期预测及准确评估, 不仅是加速遗传改良进展和保证材质改良的重要手段, 也是指导和实现木材

---

收稿日期: 2007-09-20; 修回日期: 2008-03-17

基金项目: 国家林业局引进国际先进农业科学技术计划(“948”计划)项目(2005-4-56); 国家科技支撑计划项目(2006BAD01A1401)

作者简介: 朱景乐, 硕士研究生, 从事木材材性改良选择研究。E-mail: zhujingle1982@126.com。通信作者: 张守攻, 研究员, 博士, 从事森林可持续经营和生物技术研究。E-mail: shougong.zhang@caf.ac.cn

资源高效利用的前提和科学依据<sup>[3]</sup>。传统的木材检测方法是在破坏目标物体的条件下进行的。虽然这些方法测得的数据比较准确,但是经破坏后的物体使用价值大大降低,造成了很大的浪费。尤其是在林木遗传育种这样需要长期监测的科学的研究中,破坏性的检测易导致试验的终止。另外,高额的试验花费,也增加了育种试验的成本负担,而木材的无损检测则将在这方面发挥极大的优势。无损检测的指标很多,在林木改良选择中,我们主要关注木材的材性状,其中最主要的是木材的密度。研究资料显示,木材密度与木材硬度、抗弯强度、抗压强度及握钉力有0.90以上的相关关系。加之木材密度又较其他几个指标容易测定,其大小直接关系到木制品品质、加工工艺性能与利用<sup>[4]</sup>,所以木材密度是判断木材材性状的最佳指标。传统方法为了在活立木上进行木材密度的研究,其测定的常规方法是在胸高(1.3 m)处用生长锥取木芯,然后利用排水法测其基本密度<sup>[4]</sup>。不过该方法程序繁琐,消耗时间长,花费高,并对木材有一定的损坏,严重影响到木材以后的再加工利用。于是在20世纪70年代开发出来一种几乎无损快速的测定木材密度的仪器——Pilodyn。Pilodyn是一种间接测定木材基本密度等材性指标的无损检测仪器。利用Pilodyn测试活立木的木材密度是一种迅速的、非破坏性的方法,可替代传统的方法进行。其携带方便、操作简单、结果可靠的特点在活立木大规模取样中有着极大的优越性<sup>[5-18]</sup>。国外学者使用Pilodyn进行了研究探索,认为使用Pilodyn估测欲选择树种的木材密度是方便快捷的技术,解决了快速低价进行大量基因型材性测定这一材性育种中的关键技术,为加速材性选择过程提供了可能。该仪器在林木材性改良应用上的意义突出,既能提高选择的效率,同时也加速了材性选择的进程<sup>[19,20]</sup>。

## 2 Pilodyn无损检测技术的原理、特点及主要检测设备

Pilodyn是一种手持测量活立木基本密度的无损检测仪器,于20世纪70年代在丹麦研制成功,最初用于电线杆的安全检测,主要用于测定木材表层一定深度是否产生缺陷或发生腐朽。我国目前也已用于古建筑木结构和古木保护检测中,并在木材密度无损检测的科学的研究中起着重要作用<sup>[21]</sup>。

Pilodyn工作原理:以预先设定好的能量,将一个铁质探针射入到木材中,探针射入的深度即是检测的结果,此与木材密度密切相关。即木材密度大,则射入深度浅,反之,则射入深度深。通过测定木材表面硬度,即可确定该木材的密度<sup>[21]</sup>。研究表明,木材外部密度与木材基本密度存在强的相关关系<sup>[5-18]</sup>。Pilodyn型号有6J型、12J型和18J型,探针有2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0和5.0 mm。目前使用最多的是6J型2.5 mm的探测器<sup>[15]</sup>。

Pilodyn主要用途:可以快速、无损检测木材密度,方便大规模取样<sup>[5-18]</sup>;检测名树古木的生长和损坏情况,并可据此制定相应的保护措施<sup>[21]</sup>;检测矿柱及木制电线杆的损坏情况,并可用于该材种的选取和分级<sup>[22]</sup>;用于制浆材种的选择;进行材性状遗传参数的估算,进行大量对象筛选,提高间接选择强度,作出材性比较性选择<sup>[19,20]</sup>。

Pilodyn的测量速度及费用:传统方法取样速度因树种密度大小而异,大致为100~200株·人<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,取样时需要对木芯进行包装并标记;室内木材密度测量速度缓慢,木材浸泡需要3~7 d,技术熟练人员仅能测量10~12株·人<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。比之传统的木材密度测量方法,Pilodyn具有极大的优越性。测量速度快,可以测量活立木300~500株·人<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>;且做记录也较容易,对活立木损害较小,可以长年连续观测,对操作人员技术要求也不高。使用Pilodyn在1 d能完成的工作,传统方法基本上需要持续1个多月。使用传统方法测量木材密度:生长锥价格为400.00欧元,且需购买万分之一电子天平,烘箱等相关贵重仪器。如果取得的木芯交由专业测量,需要15.00元·株<sup>-1</sup>。而使用Pilodyn方法时,Pilodyn价格1 062.50美元,没有其他费用。所以使用Pilodyn进行大规模取样时,其简便、快捷和低价的优越性得到充分的发挥,在林木材性指标的预测以及遗传改良中作用重大。

## 3 Pilodyn无损检测技术在材性状遗传改良中的应用

国外学者对Pilodyn在材性状遗传改良中的应用进行广泛的研究探索。Cown等<sup>[5]</sup>通过对10年生25个辐射松Pinus radiata无性系的研究,得到Pilodyn探测值和木材外部密度间有显著的相关关

系, 相关系数是 - 0.960。对 31 年生 25 个辐射松无性系木材外部密度与 Pilodyn 探测值的相关关系是 - 0.860。Gough 等<sup>[6]</sup>对湿地松 *Pinus elliottii* 的圆盘法、生长锥木芯和 Pilodyn 等 3 种方法进行对比研究, 结果表明两两间均存在显著的相关关系, 圆盘法测定值与 Pilodyn 值相关极显著, 相关系数为 - 0.67, 圆盘法与生长锥木芯相关极显著, 相关系数为 0.65。Pilodyn 测定值和生长锥木芯间相关极显著, 相关系数为 - 0.570, 利用 Pilodyn 进行木材基本密度研究是可靠的。Gough<sup>[6]</sup>还认为应用本方法时样本量应大于 50, 季节、地点、年龄等因子在每次试验应该保持一致。Moura 等<sup>[7]</sup>利用 Gravimetric, Ensitometer 和 Pilodyn 等 3 种方法对赤桉 *Eucalyptus camaldulensis* 木材密度进行了比较。研究表明, 3 种方法的结果间存在显著的相关关系, 且能得到相近的测定结果。Watt 等<sup>[13]</sup>对辐射松的研究结果表明, Pilodyn 探测值和单株木材密度的回归方程决定系数为 0.690, 而同地点、不同种源间木材密度均值和 Pilodyn 探测值间的回归方程决定系数为 0.830。Wang 等<sup>[16]</sup>对扭叶松 *Pinus contorta* 的研究结果表明, 其木材密度和 Pilodyn 探测值的相关系数为 - 0.520, 在 Pilodyn 探测值中, 木材密度的贡献率最大 (63.4%)。以上的研究都肯定了 Pilodyn 的应用对于选种中的材性估算可行的。

国内对 Pilodyn 的研究较少。马常耕<sup>[17]</sup>在国外制浆材性状的测定技术中对本法做过介绍。Pilodyn 探测和直接测定的木材密度间相关关系因树种而异, 相关系数为 - 0.451 ~ - 0.564, 在主要制浆材桉树的遗传研究中广为使用, 它与木材密度的表型相关达到 0.70 以上, 证明用 Pilodyn 探测结果进行木材密度选择是可靠的。国内对该法作木材密度研究, 特别是为育种应用的研究几乎没有, 只有王莉娟<sup>[18]</sup>做过尝试, 在人工林 I-72 杨 *Populus × euramericana* 'I-72' 'Sam Martino' 上得到了木材密度和 Pilodyn 探测值间极显著的相关关系 (- 0.645), 肯定了其应用效果。

国内外研究者将 Pilodyn 应用于材性改良中的结果, King 等<sup>[19]</sup>对花旗松 *Pseudotsuga menziesii* 全同胞家系的研究中, 生长锥木芯的单株遗传力是 0.900, Pilodyn 探测值的单株遗传力为 0.800, Pilodyn 探测值的家系遗传力是 0.900。Pilodyn 探测值和生长锥木芯的遗传相关系数为 - 0.950, 而对于半同胞家系, 木材密度和 Pilodyn 探测值的表型相关系数则为 - 0.700。Greaves 等<sup>[20]</sup>对亮果桉 *Eucalyptus nitens* 研究结果表明, 使用 Pilodyn 得到木材的遗传力为 0.600, 而排水法测定的木材基本密度遗传力为 0.730。证明了 Pilodyn 作为一种方便快捷大批量测定木材密度的仪器, 在育种改良中进行材性间接选择是可行的。它不仅提高了选择的效率, 同时也加速了材性选择的进程。

## 4 Pilodyn 无损检测技术的应用需注意的问题

Pilodyn 作为一种间接估测木材密度的仪器, 能够影响木材密度的因素均能影响到 Pilodyn 的估测值。另外, 由于该仪器属于机械应力无损检测方法范畴, 根据仪器的设计原理, 难免存在一些物理力方面的影响和误差, 所以在实际操作过程中应注意以下问题。

### 4.1 探测次数

Pilodyn 探测次数并非是越多越好。Moura<sup>[7]</sup>对赤桉的研究结果表明: 利用单次 Pilodyn 探测结果可建立与木材密度间强的相关关系, 进行木材密度分级是可行的, 但他同时指出增加探测次数可以增加估计的精度。Greaves 等<sup>[20]</sup>对亮果桉的研究, 通过增加 Pilodyn 探测次数与得到的精度对比, 2 次 Pilodyn 探测是最适合的。

因此, 在 Pilodyn 探测过程中, 最少应进行 2 次探测。当 2 次误差较大时, 再进行第 3 次探测, 丢掉与另外 2 个误差较大的数值。以 2 次探测平均值作为 Pilodyn 对木材密度估计值。

### 4.2 探测位置

Greaves 等<sup>[20]</sup>通过对亮果桉的研究表明: 1.3 m 处的 Pilodyn 探测值与整株木材密度间的相关关系为 0.930。Raymond 等<sup>[23,24]</sup>和 Muneri 等<sup>[25]</sup>通过对蓝桉 *Eucalyptus globulus* 和亮果桉的研究表明, Pilodyn 探测值最适合的高度分别是 1.3 和 1.5 m, 而亮果桉探测值和整株木材密度的相关性相对于蓝桉与之的相关性较低。

对于一种野外间接快速预测木材密度的仪器, 应结合外业测量的实际情况, 选择最方便快捷的探测位置。由于 Pilodyn 探测值在 1.3 m 处与整株树木的木材密度有较强相关关系, 且探测值容易得到,

所以学者们都认为在树木1.3 m处进行Pilodyn探测是最佳选择。

#### 4.3 探测方向

Wang等<sup>[16]</sup>对小干松研究表明,生长轮宽度与相应木材密度呈负相关关系。Raymond等<sup>[24]</sup>和Muner等<sup>[25]</sup>通过对蓝桉、亮果桉的研究,不同方向上木材的纤维宽度和长度没有显著差异,树木南北方向的木材密度没有显著差异。王慧梅等<sup>[26]</sup>对红松 *Pinus koraiensis* 的研究中得到,年轮宽度与木材密度存在显著的相关关系(-0.670)。年轮越窄,木材密度越大,反之,则木材密度越小。

不同树种不同方向的径向生长速度可能不同,且同一株树不同方向的径向生长速度也不同。这可能引起木材密度的差异,从而导致木材Pilodyn探测值与实有值的差异,所以在探测时,研究同一株树径向方向上木材密度变化情况的话,不同的探测方向也应作为一个因素考虑在内,研究不同单株或者群体间差异时,应固定在同一个方向进行探测。

#### 4.4 探测树木直径

Moura等<sup>[7]</sup>对赤桉的研究表明,胸径和木材密度没有显著相关关系。King等<sup>[19]</sup>对花旗松全同胞家系的研究中表明:直径和木材密度间有强相关关系(-0.640)。Lindstrom等<sup>[27]</sup>对欧洲云杉 *Picea abies* 的研究结果表明:不同的生长条件(立地质量、初植密度、间伐措施、气候等因子)均能影响木材密度,木材基本密度与胸径及树高有显著相关性,树冠形状对木材密度和生长轮宽度均有显著性影响。Raymond等<sup>[24,25]</sup>对蓝桉、亮果桉的研究表明:树木木材密度、纤维特性与树木直径相关关系较小。

对于不同作者的不同观点,我们认为:如对于生长缓慢的树种,生长速度对于木材密度的作用较大,所以有显著的相关关系;而对于速生树种,两者则没有强的相关关系。在使用Pilodyn进行探测时,能影响木材密度的因素就有可能影响Pilodyn探测值。作为一种机械应力检测装置,在实际调查中,不同直径对Pilodyn探测冲击力的抗晃动能力也是不同的,所以树木直径也应作为Pilodyn探测值的影响因子考虑在内。

#### 4.5 Pilodyn探测的一些局限性

国外学者进行了Pilodyn和其他无损检测方法的比较,例如Resistograph, Torsimeter, Segment, Core, Electronic densitometric等。结果表明,Pilodyn探测仪在测量活立木的密度上速度最快,精度较高的一种仪器。不足之处是Pilodyn只能测量木材的外部密度(从树皮向髓心10~40 mm的木材基本密度),且Pilodyn预测的木材密度和实际的木材密度有一定的误差<sup>[5~7]</sup>,但当林木直径较小(5~8 cm)时,Pilodyn探测估计的数值可以近似木材的基本密度,所以,作为比较性间接材性选择,特别是对早期初始大批量选种对象的材性选择仍不失为一种可用的方法。

#### 参考文献:

- [1] 孙晓梅,张守攻.21世纪中国纸浆用材林综合发展战略[J].世界林业研究,2002,15(1):61~67.
- [2] 鲍甫成,江泽慧.中国主要人工林树种木材性质(下)[M].北京:中国林业出版社,1998.
- [3] 马常耕.国外制浆材树种遗传改良研究[M].世界林业研究,1999,12(3):13~17.
- [4] 成俊卿.木材学[M].北京:中国林业出版社,1985:568~464.
- [5] COWN D J. Comparison of the Pilodyn and torsimeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees [J]. New Zealand J For Sci, 1978, 8: 384~391.
- [6] GOUGH G, BARNES R D. A comparison of three methods of wood density assessment in a *Pinus elliottii* progeny test [J]. South African For, 1984, 128: 22~25.
- [7] MOURA V P G, BARNES R D, BIRKS J S. A comparison of three methods of assessing wood density in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* and other *Eucalyptus* spp. in Brazil[J]. Australian For Res, 1987, 17: 83~90.
- [8] TAYLOR F W. Rapid determination of southern pine specific gravity with a Pilodyn tester[J]. For Sci, 1981, 27: 59~61.
- [9] MICKO M M, Wang E I C, TAYLOR F W, et al. Determination of wood density in standing white spruce using Pilodyn tester[J]. For Chron, 1982, 58(4): 178~180.
- [10] LEWARK S. Initial results of density determinations in beech and spruce using the Pilodyn wood testing apparatus[J]. Der For Holzwirt, 1983, 38(20): 517~521.

- [11] LEWARK S. Correction factors for measurements with a Pilodyn wood tester in different months [J]. *Holz Als Roh- und Werkstoff*, 1985, 43 (4): 148 - 148.
- [12] OKSTAD T. Estimation of wood density in standing trees using the Pilodyn wood tester [J]. *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning*, 1986, 39 (6): 99 - 111.
- [13] WATT M S, GARNETT B T, WALKER J C F. The use of the Pilodyn for assessing outerwood density in New Zealand radiata pine [J]. *For Prod J*, 1995, 46: 101 - 106.
- [14] WANG T L, AITKEN S N, ROZENBERG P, et al. Selection for height growth and Pilodyn pin penetration in lodgepole pine: effects on growth traits, wood properties, and their relationships [J]. *Canadian J For Res*, 1999, 29 (4): 434 - 445.
- [15] HANSEN C P. Application of the Pilodyn in Forest Tree Improvement [R]. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 2000.
- [16] WANG T L, AITKEN S N. Selection for improved growth and wood density in lodgepole pine: effects on radial patterns of wood variation [J]. *Wood Fiber Sci*, 2000, 32 (4): 391 - 403.
- [17] 马常耕. 国外制浆材性状的测定技术 [J]. *世界林业研究*, 1998, 11 (5): 38 - 43.
- [18] 王莉娟. 无损检测方法评估人工林杨树木材性质的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [19] KING J N, YEH F C, HEAMAN J C, et al. Selection of wood density and diameter in controlled crosses of coastal Douglas-fir [J]. *Silvae Genet*, 1988, 37: 152 - 157.
- [20] GREAVES B L, BORRALHO N M G, RAYMOND C A, et al. Use of a Pilodyn for the indirect selection of basic density in *Eucalyptus nitens* [J]. *Canadian J For Res*, 1996, 26: 1 643 - 1 650.
- [21] 段新芳, 李玉栋, 王平. 无损检测技术在木材保护中的应用 [J]. *木材工业*, 2002, 16 (5): 14 - 16.
- [22] BRADLEY G R, KIRSTY R W, RUDOLF E B, et al. Comparison of log segregation methods for structural lumber yield improvement [J]. *For Prod J*, 1999, 49 (11/12): 63 - 66.
- [23] RAYMOND C A, MACDONALD A C. Where to shoot your pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Tasmania [J]. *New For*, 1998, 15 (3): 205 - 221.
- [24] RAYMOND C A, MUNERI A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties (I) Basic density [J]. *Wood Sci Technol*, 2001, 35 (1-2): 27 - 39.
- [25] MUNERI A, RAYMOND C A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties (I) Fibre length and coarseness Wood [J]. *Wood Sci Technol*, 2001, 35 (1-2): 41 - 56.
- [26] 王慧梅, 夏德安, 王文杰. 红松种源材性状研究 [J]. *植物研究*, 2004, 24 (4): 495 - 498.
- [27] LINDSTROM H. Basic density in Norway spruce ( ) Development from pith to outwards [J]. *Wood Fiber Sci*, 1996, 28 (4): 391 - 405.