

# Pilodyn 评估杂交松活立木的基本密度及其性状相关分析

栾启福, 卢萍, 井振华, 姜景民, 董汝湘

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** Pilodyn 是一种对活立木无损的检测仪器, 用于间接测定木材基本密度等材性指标, 近年来, 广泛应用于杨树、桉树和落叶松等主要人工林树种的基本密度测定。为了快速而又可靠的评价杂交松人工林立木基本密度, 研究采用了 Pilodyn 方法。显示树龄 8 年的湿地松 × 加勒比松 Pilodyn 测定值与基本密度之间呈显著 ( $P = 0.0021$ ) 的负相关, 回归方程为  $y = -0.0127x + 0.5638$  (决定系数  $R^2 = 0.3685$ ); 火炬松 × 加勒比松 Pilodyn 测定值与基本密度之间的回归方程:  $y = -0.0071x + 0.4668$  (决定系数  $R^2 = 0.4595$ ), 回归关系极显著 ( $P < 0.0001$ )。这说明利用 Pilodyn 探测值估测湿地松 × 加勒比松与火炬松 × 加勒比松家系的基本密度是可行的, 可以用来方便快捷测量活立木 (特别是试验测定林) 的基本密度。利用该测定值进行基本密度与杂交松生长、干形指标的相关分析表明: 湿地松 × 加勒比松杂种基本密度与生长成极显著的表型负相关 ( $0.2206 \sim 0.2660$ ), 其遗传负相关也很高, 相关系数为  $1.14 \sim 1.16$ 。这不利于基本密度和生长性状的同步改良, 而基本密度与通直度和分枝大小都可以同步改良。

**关键词:** Pilodyn; 杂交松; 基本密度; 相关

中图分类号: S722.3<sup>+</sup>4; S758.5<sup>+</sup>8 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)03-0548-05

## Assessment of Wood basic Density for Standing Trees of Hybrid Pines by Pilodyn and the Correlation Analysis of Several Traits

LUAN Qi-fu, LU Ping, JING Zheng-hua, JIANG Jing-min, DONG Ru-xiang

(Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, China)

**Abstract:** Pilodyn sampling is faster, cheaper, and not destructive, thus resulting in overall higher expected gains for selection of trees or culling of seedling seed orchards in comparison with the more destructive direct assessment of density. The regression equation between the value (x) measured by Pilodyn and wood basic density (y) measured by increment borer was constructed, which for *Pinus elliottii* Engelman var. *elliottii* × *P. caribaea* Morelet (PEE × PCA) is  $y = -0.0127x + 0.5638$  ( $P = 0.0021$ , Coefficient of determination  $R^2 = 0.3685$ ); the equation for *P. taeda* L. × *P. caribaea* Morelet is  $y = -0.0071x + 0.4668$  ( $P < 0.0001$ ,  $R^2 = 0.4595$ ). The phenotypic correlation between growth traits and basic density of PEE × PCA was negative significantly ( $0.2206 \sim 0.2660$ ), and the coefficient of genetic correlation was  $1.14 \sim 1.16$ . The correlation between basic density and stem quality was positive.

**Key words:** Pilodyn; hybrid pines; wood basic density; correlation

收稿日期: 2010-09-07 修回日期: 2011-04-06

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项 (201104020) 和“十一五”林业科技支撑计划专题 (2006BAD01A1405)

作者简介: 栾启福 (1976—), 助理研究员, 博士, 主要从事林木遗传育种研究, E-mail: luanqifu@hotmail.com。

湿地松(*Pinus elliottii* Engelman var. *elliottii* 缩写为 PEE)、火炬松(*P. taeda* L. 缩写为 PTA) 是我国南方引种成功并得到大面积推广造林的优良松类树种<sup>[1-2]</sup>, 由于这两个树种在生长、干形和基本密度等性状上和加勒比松(*P. caribaea* Morelet 缩写为 PCA) 具有互补的特性<sup>[3]</sup>, 因此常常通过湿地松×加勒比松、火炬松×加勒比松的杂交来进行种间遗传改良<sup>[4-5]</sup>。这些杂交松的选育为当前林木遗传改良的重要研究领域<sup>[4-7]</sup>。

木材密度是木材重要的物理性质指标, 它直接影响木材的加工质量、制浆得率和浆料质量, 并在很大程度上决定着木材其它的物理性质及力学性能, 所以在木材加工工业和育种中都作为首要指标来评价。以往在研究火炬松或湿地松的基本密度时通常采用生长锥或伐倒木法, 费时费力。Pilodyn 是一种对活立木无损的检测仪器, 用于间接测定木材基本密度等材性指标, 近年来, 广泛应用于杨树、落叶松和桉树等主要人工林树种的基本密度测定<sup>[8-13]</sup>。为了快速而又可靠地评价杂交松人工林立木基本密度, 本研究采用了 Pilodyn 方法, 并分析了湿地松×加勒比松基本密度与干形及生长性状的表型和遗传相关。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验林概况

试验位于浙江省杭州市余杭区, 地理位置 30°27′N, 119°48′E, 年均降水量 1 700 mm, >10 °C 年积温 4 930.4 ~ 7 273.0 °C, 低山, 土壤以红壤为主。

试验林定植于 2002 年春季, 采用了 8 个湿地松×加勒比松和 46 个火炬松×加勒比松全同胞家系材料。杂种造林均采取单行 6 株小区、6 个重复的随机区组设计, 造林成活率均在 85% 以上。

### 1.2 材性指标的测定和取样方法

(1) 2009 年 12 月对 8 个湿地松×加勒比松杂种家系及一个对照进行测定, 随机选择 6 个重复中的 5 个进行每株 Pilodyn 法测定, 在胸高处北向树皮裂纹处测定 2 次, 2 次探测值之差在 2 mm 以内的取 2 次平均值作为测定值  $P$ , 差值大于 2 mm 则进行第 3 次探测, 选择 3 次探测差异最小的两个值的平均数作为测定值  $P$ 。同时测定每株树高、胸径、通直度(3 级目测法, 1 级最好, 3 级最差) 和侧枝大小(3 级目测法, 1 级最好, 3 级最差), 单株材积利用公式  $V = 0.375 \times H \times D \times D$  估算。

上述测定后用内径 5 mm 的生长锥进行木芯取样, 从每株测定株树皮贯穿髓心, 北向取一个木芯进行室内材性指标测定。生长锥法测定时仅选择每个区组中 2 株平均木做样本, 选择了上述进行了 Pilodyn 法测定的 5 个重复中的 3 个重复采取木芯样。同时对 46 个火炬松×加勒比松杂种进行相同的测定。

(2) 室内材性指标的测定采用饱和含水量法测定整株木材的基本密度<sup>[14]</sup>。

$$\rho_j = \frac{1}{\frac{G_{mw}}{G_h} - 0.3464} \quad (1)$$

①式中:  $\rho_j$  = 基本密度( $g/cm^3$ ),  $G_{mw}$  = 饱和含水率时试样的重量( $g$ ),  $G_h$  = 绝干时试样的重量( $g$ )。

### 1.3 统计分析和参数估算方法

数据分析在 SAS(v8.01, SAS institute Inc., 1999) 软件上进行。

(1) 根据木芯样分析整株木材的基本密度, 然后计算小区平均值, 采用对应的 Pilodyn 探测值的小区平均值计算木芯样得到的基本密度和探测值之间的相互关系, 并建立回归方程:

$$y = b + ax \quad (2)$$

②式中  $y$  代表基本密度值,  $b$  代表截距,  $a$  代表直线斜率,  $x$  代表 Pilodyn 探测值。

(2) 相关分析利用 SAS 软件包中的相关程序。包括表型分析的 Corr 相关过程(Proc) 及遗传相关计算, 遗传相关通过估算遗传方差(Varcomp 过程) 按照以下公式计算遗传相关系数<sup>[15]</sup>:

$$r_G = \frac{COV_{G_{1-2}}}{\sqrt{V_{G_1} V_{G_2}}} = \frac{V_{(x_1+x_2)} - V_{x_1} - V_{x_2}}{2 \sqrt{V_{G_1} V_{G_2}}} \quad (3)$$

③式中  $r_G$  为性状 1、2 的遗传相关系数,  $COV_{G_{1-2}}$  为性状 1、2 的遗传协方差,  $V_{G_1}$  为性状 1 的遗传方差,  $V_{G_2}$  为性状 2 的遗传方差,  $V_{(x_1+x_2)} - V_{x_1} - V_{x_2}$  为性状 1、2 之和的遗传方差减去性状 1 和性状 2 的遗传方差。遗传方差估算采用 REML 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 湿地松 × 加勒比松 Pilodyn 探测值和基本密度的回归方程

图 1 显示湿地松 × 加勒比松家系的基本密度和 Pilodyn 探测值之间呈显著 ( $P = 0.021$ ) 的线性回归关系, 回归方程  $y = -0.0127x + 0.5638$  (决定系数  $R^2 = 0.3685$ )。这说明利用 Pilodyn 探测值估测湿地松 × 加勒比松家系是可行的, 这为方便快捷测量基本密度提供了依据。

调查显示湿地松 × 加勒比松家系的 Pilodyn 探测值平均为 17.03, 则基本密度值达  $0.3475 \text{ g/cm}^3$ , 略高于对照(湿地松半同胞家系)的基本密度( Pilodyn 探测值为 18.025, 依据公式①基本密度为  $0.3349 \text{ g/cm}^3$ , 生长锥实际测算的基本密度为  $0.3467 \text{ g/cm}^3$ , 误差较大, 因此半同胞家系基本密度估测不适用公式①)。这从另一个方面显示湿地松种间杂交选育对密度改良可能具有较好的效果。

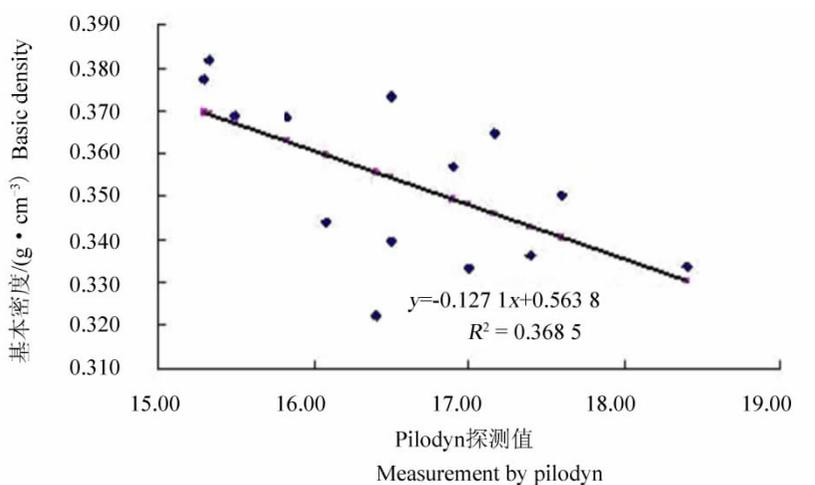


图 1 湿地松 × 加勒比松 Pilodyn 探测值与基本密度的回归关系

Fig. 1 Regression equation of PEE × PCA for basic density by Pilodyn and increment borer

### 2.2 火炬松 × 加勒比松 Pilodyn 探测值和基本密度的回归方程

图 2 显示火炬松 × 加勒比松家系的基本密度和 Pilodyn 探测值之间呈极显著 ( $P = 0.0001$ ) 的线性回归关系, 回归方程  $y = -0.0071x + 0.4668$  (决定系数  $R^2 = 0.4595$ )。这说明利用 Pilodyn 探测值估测火炬松 × 加勒比松家系是可行的, 这为方便快捷测量基本密度提供了依据。

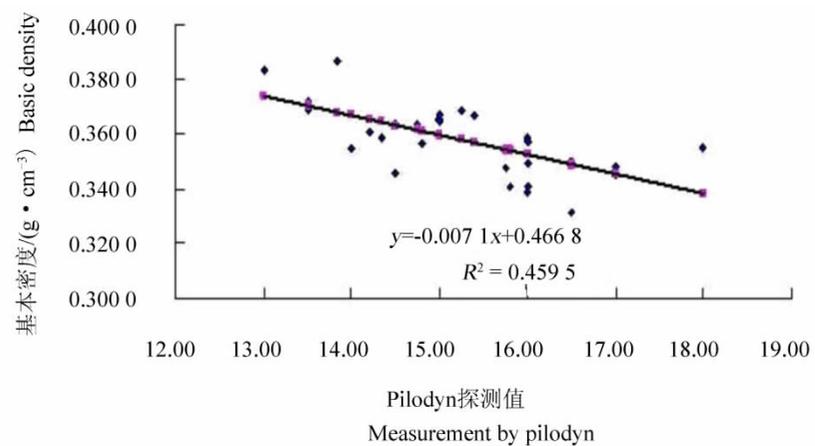


图 2 火炬松 × 加勒比松 Pilodyn 探测值与基本密度的回归关系

Fig. 2 Regression equation of PTA × PCA for basic density by Pilodyn and increment borer

调查同时显示火炬松 × 加勒比松杂种 Pilodyn 探测平均值为 14.79, 根据上述公式其基本密度为  $0.3618 \text{ g/cm}^3$ , 略高于湿地松 × 加勒比松杂种的基本密度。

### 2.3 杂交松生长、干型与基本密度的相关分析

以湿地松 × 加勒比松为例, 研究了杂交松生长、干型与基本密度的表型和遗传相关。表 1 显示, 湿地松 × 加勒比松生长性状之间(树高、胸径和材积)表型相关极显著, 相关系数达到 0.96 以上, 而遗传相关为 1.45 ~ 2.81, 其中树高和材积的遗传相关最大, 为 2.81, 因此, 树高对选择材积大的杂交松非常重要。

Pilodyn 值和生长性状在表型上呈极显著的正相关, 即基本密度与生长成极显著的负相关, 其遗传负相关也很大, 相关系数为 1.14 ~ 1.16。这不利于基本密度和生长性状的同步改良。基本密度和通直度正相关, 可以同步改良, 相关不显著, 而遗传相关却表现为负相关, 相关系数较小, 只有 0.05; 基本密

度与分枝大小成显著负相关,分枝大,基本密度大,分枝小,可以同步选择(以高密度、小分枝为改良指标)。因此基本密度与通直度和分枝大小都可以同步改良,基本密度与生长性状难以同步改良。

通直度和分枝大小与生长性状之间的表型相关均达到显著水平,其中生长性状与分枝大小遗传相关较大,相关系数为 0.64~0.67,这些性状之间从表型相关看都可以同步改良,而通直度和生长性状之间的遗传负相关系数较小(0.06~0.30)。

表 1 生长早期湿地松 × 加勒比松多性状相关系数

Tab. 1 Correlation coefficient among several traits of PEE × PCA

	树高 Height	胸径 DBH	材积 Vol.	Pilodyn 值 Pildyn value	通直度 Stem straitness	分枝大小 Branch size
树高 Height		0.99**	0.96**	0.265 99**	-0.151 46*	0.264 39**
胸径 DBH	1.45		0.96**	0.265 79**	-0.151 41*	0.264 08**
材积 Vol.	2.81	1.86		0.220 57**	-0.130 48	0.232 30**
Pilodyn 值 Pildyn Value	1.16	1.16	1.14		-0.039 86	0.268 88**
通直度 Stem straitness	0.08	0.06	0.30	0.05		0.064 71
分枝大小 Branch size	0.67	0.64	0.65	0.37	-0.28	

对角线上为表型相关系数,对角线下为遗传相关系数。“\*\*”代表显著水平为 0.01,“\*”代表显著水平为 0.05。

Correlation coefficient between phenotype traits was above diagonal and the genetic correlation coefficient was below diagonal; “\*” means significant at 5%; “\*\*” means significant at 1%.

### 3 讨 论

利用 Pilodyn(Forest 5J)测定树龄 8 年的湿地松 × 加勒比松基本密度,研究显示 Pilodyn 测定值与基本密度之间呈显著( $P=0.002 1$ )的负相关,回归方程为  $y = -0.012 7x + 0.563 8$ (决定系数  $R^2 = 0.368 5$ )。这说明利用 Pilodyn 探测值估测湿地松 × 加勒比松家系是可行的,为方便快捷测量基本密度提供了依据;利用同样的方法建立了火炬松 × 加勒比松 Pilodyn 测定值与基本密度之间的回归方程:  $y = -0.007 1x + 0.466 8$ (决定系数  $R^2 = 0.459 5$ ),回归关系极显著( $P < 0.000 1$ ),这说明利用 Pilodyn 探测值估测火炬松 × 加勒比松家系也是可行的,可以用来方便快捷测量基本密度。

表型和遗传相关分析显示,湿地松 × 加勒比松杂种基本密度与生长成极显著的负相关,其遗传负相关也很大,相关系数为 1.14~1.16。这不利于基本密度和生长性状的同步改良,而基本密度与通直度和分枝大小都可以同步改良。由于遗传相关的估算采用了 SAS 软件方差分解的方法(Varcomp 过程),因此其遗传相关系数可以大于 1,不影响其相对大小的比较<sup>[16-17]</sup>。

研究发现不同树种、不同树龄的测定材料其基本密度和 Pilodyn 测定值之间的回归方程有所差异,因此在利用该仪器时要慎重挑选和建立回归方程。用生长锥采集木芯样测得的基本密度虽然比较直接,但是由于该技术对操作人员的要求比较高,测量步骤复杂,密度值和绝对值相对较小,微小的误差往往导致基本密度值有较大的偏差。而 Pilodyn 测定方法简单,对同一株单株可以重复多次测量,还可以对全试验林进行每木检测,大大减少了抽样误差;当然 Pilodyn 对于树龄较大(胸径较大)的林木或孤立木的测量有所局限,一是仪器探测的深度有限,胸径越大,对全木的密度值估测越不精确,当然胸径太小也不合适;孤立木无法建立密度和 Pilodyn 测定值之间的方程,无法估测具体的密度值。

当然, Pilodyn 测定值只是木材基本密度的间接估测值,特别适合对大量遗传测定林进行比较测定,从而为遗传选择提供依据。传统测定基本密度的方法如生长锥取木芯样等方法仍然是直接计算木材基本密度重要和基本的方法。

#### 参考文献:

- [1]潘志刚. 湿地松、火炬松种源试验研究[M]. 北京:北京科技出版社,1992:1.
- [2]潘志刚. 15年生火炬松种源试验研究初报[J]. 林业科学,2000,36(1):70-79.
- [3]Nikles D G. Experience with some pinus hybrids in Queensland, Australia[C]// Dungey H S, Dieters M J, Nikles D J. Hybrid

- breeding and genetics of forest trees. Proceedings of QFRI/CRC – SPF Symposium Noosa Queensland Australia 2000: 27-43.
- [4] 栾启福 姜景民 张建忠 等. 国外松种间杂交育种及其  $F_1$  代早期生长评价[J]. 林业科学研究 2008 21(3): 314-319.
- [5] 栾启福 姜景民 张建忠 等. 不同松树杂种  $F_1$  代在浙北和皖南的生长差异及其早期评选[J]. 林业科学研究 2010 23(1): 25-30.
- [6] 王润辉 赵奋成 胡德活 等. 杂交松 3 个育种交配组遗传结构的 SSR 分子标记分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2008 28(5): 28-31 41.
- [7] 张应中 赵奋成 李福明 等. 湿加松  $F_1$  杂种家系年度生长相关及其早期选择[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008 32(4): 37-41.
- [8] 殷亚方 王莉娟 姜笑梅. Pilodyn 方法评估阔叶树种人工林立木的基本密度[J]. 北京林业大学学报 2008 30(4): 7-11.
- [9] 朱景乐 王军辉 张守攻 等. 毛白杨材性指标预测及选择[J]. 林业科学 2008 44(7): 23-28.
- [10] WU Shi-jun, XU Jian-min, LI Guang-you et al. Use of the pilodyn for assessing wood properties in standing trees of Eucalyptus clones[J]. Journal of Forestry Research 2010 21(1): 68-72.
- [11] 朱景乐 王军辉 张守攻 等. Pilodyn 在日本落叶松活立木材性指标预测中的应用[J]. 林业科学研究 2009 22(1): 79-83.
- [12] 王军辉 张守攻 张建国 等. Pilodyn 在日本落叶松材性育种中应用的初步研究[J]. 林业科学研究 2008 21(6): 72-76.
- [13] 朱景乐 王军辉 张守攻 等. 毛白杨材性指标预测及选择[J]. 林业科学 2008 44(7): 23-28.
- [14] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 282-464.
- [15] 黄少伟 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广东: 华南理工大学出版社 2001: 268-278.
- [16] 陈晓阳 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 高等教育出版社 2005: 15-21.
- [17] 张颂云. 主要针叶树种应用遗传改良论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 215-218.

(上接第 513 页)

- [2] Chen J M, Cihlar J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images[J]. Remote Sensing of Environment, 1996 55(2): 153-162.
- [3] Sellers P J, Dickinson R E, Randall D A, et al, Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere[J]. Science, 1997 275(5299): 502-509.
- [4] 方秀琴 张万昌. 叶面积指数的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感 2003 3: 58-62.
- [5] Tang S, Chen J M, Zhu Q, et al. LAI inversion algorithm based on directional reflectance kernels[J]. Journal of Environmental Management, 2007 85(3): 638-648.
- [6] Justice C O, Townshend J R G, Vermote E F, et al. An overview of MODIS land data processing and product status[J]. Remote Sensing of Environment 2002 83(1-2): 3-15.
- [7] 胡少英 张万昌. 黑河及汉江流域 MODIS 叶面及指数产品质量评价[J]. 遥感信息, 2005 4 22-27.
- [8] Deng F, Chen J M, Plummer S, et al, Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing of Environment, 2006 44(8): 2219-2229.
- [9] Pisek J, Chen J M, Deng F. Assessment of a global leaf area index product from SPOT-4 vegetation data over selected sites in Canada[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2007 33(4): 341-358.
- [10] Liu R, Chen J M, Liu J, et al, Application of a new leaf area index algorithm to China's landmass using MODIS data for carbon cycle research[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(3): 649-658.
- [11] Brown L J, Chen J M, Leblanc S G, et al. A shortwave infrared modification to the simple ratio for LAI retrieval in boreal forests: an image and model analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 2000 71: 16-25.
- [12] Vermote E F, Tanre' D, Deuze' J L, et al, Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing of Environment, 1997 35(3): 675-686.
- [13] Tian Q, Luo Z, Chen J M, et al, Retrieving leaf area index for coniferous forest in Xinguo County, China with ETM<sup>+</sup> images[J]. Journal of Environmental Management, 2007 85(3): 624-627.