

毛泡桐种源育种值早期预测的研究*

马 浩 李佩健 沈熙环

摘要 以 26 个毛泡桐种源为材料,对树高、胸径、干高、($H/2$) 直径和材积的育种值作了直接和间接预测。结果表明,毛泡桐种源 1~2 年生时的胸径能够可靠地预测 9 年生各观测性状的育种值;对 1 年生胸径育种值作早期选择时,选择强度以 0.80 较好,此时,胸径、树高、干高、($H/2$) 直径及材积的直接或间接相对选择效率分别达到 79.71%、81.83%、56.77%、75.07% 和 76.20%, 年均选择效率分别是 398.57%、409.13%、283.84%、375.35% 及 381.01%。

关键词 毛泡桐 种源 育种值 最佳线性预测

由于树木具有生长周期长等特点,人们很早就认识到早期选择的重要性^[1]。早期选择是经济、快速、高效的林木改良必需手段^[2],其关键是能够在早期正确评选出符合育种目标的性状。有的研究表明,一些性状的早晚期相关不密切^[3],但大量研究证明,虽然不同树种、不同性状在不同环境条件下最适宜的选择年龄不同^[4,5],但早期选择仍然是有效的^[6],目前已被林木育种界普遍接受^[7]。在对不同树种开展早期选择实践的同时,对方法本身的理论探讨也逐渐增多^[8,9]。过去,早期选择是以表型值为基础^[8],但仅根据单一的表型性状难以剔除低劣材料^[10]。为此,数量遗传学家已认识到预测育种值的重要性,并把对育种值的研究和利用视为数量遗传学的一个重要发展阶段^[11]。根据育种值作出的选择反映了遗传效应的大小,排除了环境对评定育种材料造成的偏差,从而可以提高选择的准确性,增大育种效果,目前已有用育种值作早期选择研究的报道^[12,13]。本文以毛泡桐种源为材料,探讨根据预测的育种值作早期选择的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试毛泡桐 [*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud] 种源的地理分布见表 1。

每一种源的种子采自 15~25 株母树,1984 年 3 月份育苗,1985 年春在荥阳农牧场造林,随机区组设计,3 次重复,每小区实际保留 1~8 株不等。逐年观测树高、胸径、干高、树高 $1/2$ 处直径(简记为($H/2$)直径),根据平均形数求材积。

1.2 统计方法

毛泡桐种源单地点试验的线性模型是: $Y_{ijk} = U + F_i + R_j + FR_{ij} + E_{ijk}$, 式中: Y_{ijk} 为第 i 个种源在第 j 个区组第 k 个单株的表型值; U 为试验地固定的总平均表型值; F_i 为第 i 个种源的随

1997—09—11 收稿。

马浩讲师(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);李佩健(郑州金水河管理处);沈熙环(北京林业大学森林资源与环境学院)。

* 1985~1995 年河南省科委“泡桐良种选育与丰产栽培综合技术研究”的内容之一。

表 1 毛泡桐参试种源与地理分布

种 源	经度(°E)	纬度(°N)	种 源	经度(°E)	纬度(°N)	种 源	经度(°E)	纬度(°N)
陕西商县	109 57	33 53	湖北神农架	110 15	31 25	安徽长丰	117 10	32 30
陕西延安	109 30	36 33	湖北十堰	110 45	32 35	安徽舒城	116 58	30 30
甘肃天水	105 42	34 38	湖北浠水	115 13	30 27	安徽铜陵	117 49	30 53
山西汾西	111 34	36 37	湖北黄冈	114 54	30 25	湖南石门	111 21	29 46
山西太原	112 37	37 50	湖北兴山	110 45	31 15	江苏南京	118 48	32 03
河南卢氏	110 03	34 08	湖北宜昌	111 15	30 43	河南汝阳	112 27	34 11
河南西峡	114 30	33 18	辽宁大连	121 43	39 06	河南嵩县	112 03	34 10
河南郑州	113 37	34 45	安徽太平	118 08	30 20	甘肃平凉	106 39	35 27
河南栾州	111 37	33 50	安徽歙县	118 28	29 52			

机效应值, $E(F_i) = 0$, $\text{Var}(F_i) = \delta_j^2$; R_j 为第 j 个区组的固定效应值; FR_{ij} 为第 i 个种源与第 j 个区组的随机交互值, $E(FR_{ij}) = 0$, $\text{Var}(FR_{ij}) = \delta_{rj}^2$; E_{ijk} 为随机误差, $E(E_{ijk}) = 0$, $\text{Var}(E_{ijk}) = \delta_e^2$ 。

种源育种值的最佳线性预测公式是 $W = r + CV(Y - a)^{[17]}$, 其中 W 是预测的育种值向量, r 是试验群体的期望育种值, C 是表型值与育种值之间的协方差矩阵, V 是表型值之间的方差与协方差矩阵, Y 是观测值向量, a 为期望观测值。因为本试验是单个地点, 这里设 $r = 0$ 。

第 i 个种源的平均值 $Y_{i..} = U + F_i + FR_{i..} / r + E_{i..} / rm_i$, 期望值是 $E(Y_{i..}) = U$, 其中 r 是区组数, m_i 是第 i 种源所对应的株数调和平均值。种源平均值的方差与协方差是 $\text{Var}(Y_{i..}, Y_{t..}) = \delta_{i..}^2 + \delta_{r..}^2 / r + \delta_{e..}^2 / rm_i$ 。其中性状 s 和性状 t 相同时是方差, 不相同是协方差。

设线性模型中的种源效应是母本育种值的一半, 则种源平均值与育种值 g 之间的协方差是: $\text{Cov}(Y_{i..}, g) = \text{Cov}(g^*, g) / 2$ 。当种源观测值和预测的育种值是同一性状时, $g^* = g$, 于是 $\text{Cov}(g^*, g) / 2 = 2\delta^2$ 。预测精度用理论育种值与预测育种值之间的相关系数表示。

根据预测育种值对种源选择的遗传增益为^[14]: $G = \sum g_i / N$, 式中 N 是中选种源数。参考公式 $L = G_j / G_m$ 计算相对选择效率^[15], 这里 G_j 是按早期育种值中选的种源到晚期时能够得到的遗传增益, G_m 是按晚期育种值大小选择种源所得到的增益。

早期选择的年均效率计算式为^[2]: $E = (G_j / T_j) / (G_m / T_m)$, 其中 T_j 、 T_m 分别是早期和晚期选择的世代跨度(设更新期为 $1/a^{[16, 17]}$)。

2 结果与分析

2.1 预测晚期育种值的可靠性

由表 2 可看出, 用 1 年生树高作指标, 预测 9 年生各性状的育种值, 精度都很低。用 1 年生胸径对晚期性状作预测时, 预测育种值与理论育种值的相关系数大于 0.76, 且变动不大。因此, 用大于 2 年生的树高, 或者 1~3 年生胸径观测值能够可靠地预测晚期各性状的育种值。

用树高和胸径同时预测晚期育种值时, 1 年生调查材料就能准确地预测 9 年生各性状的育种值(表 3)。用 2 年生的树高和胸径预测 9 年生胸径育种值的精度最低(0.758 7), 但决定系数已达到 57.56%; 用 1 年生树高和胸径预测晚期各性状的育种值, 可靠性较高, 决定程度在 61.89%~81.88%。比较表 2 和表 3 可以看出, 用两个性状同时预测晚期的育种值, 因包含信息量多, 所以精度较高。用早期单个性状和用双性状预测晚期各性状的育种值时, 树高预测精度的提高幅度比胸径的大, 在 1 年生时尤为明显。

表 2 不同树龄树高和胸径对 9 年生各性状育种值的预测精度

性状	树龄 (a)	9 年 生 性 状				
		树 高	胸 径	干 高	(H/2)直径	材 积
树 高	1	0.309 3 ± 0.023 2	0.151 3 ± 0.011 4	0.173 1 ± 0.013 0	0.186 3 ± 0.014 0	0.136 2 ± 0.010 2
	2	0.758 2 ± 0.026 9	0.711 3 ± 0.025 2	0.702 0 ± 0.024 9	0.725 9 ± 0.025 8	0.674 7 ± 0.023 9
	3	0.826 3 ± 0.031 4	0.874 0 ± 0.033 2	0.929 5 ± 0.035 3	0.871 7 ± 0.033 1	0.842 9 ± 0.032 0
	4	0.826 8 ± 0.025 5	0.812 8 ± 0.025 1	0.929 8 ± 0.028 7	0.805 9 ± 0.024 8	0.765 0 ± 0.023 6
	5	0.820 5 ± 0.020 5	0.847 9 ± 0.021 2	0.905 0 ± 0.022 6	0.840 8 ± 0.021 0	0.786 8 ± 0.019 7
	6	0.833 6 ± 0.018 2	0.845 9 ± 0.018 4	0.932 2 ± 0.020 3	0.843 3 ± 0.018 4	0.792 1 ± 0.017 3
	7	0.914 9 ± 0.024 9	0.889 7 ± 0.024 3	0.848 1 ± 0.023 1	0.902 9 ± 0.024 6	0.873 5 ± 0.023 8
	8	0.907 7 ± 0.027 7	0.867 5 ± 0.026 4	0.853 9 ± 0.026 0	0.879 8 ± 0.026 8	0.851 2 ± 0.025 9
	9	0.884 3 ± 0.037 4	0.827 0 ± 0.035 0	0.839 8 ± 0.035 6	0.850 2 ± 0.036 0	0.814 0 ± 0.034 5
胸 径	1	0.822 9 ± 0.032 7	0.755 1 ± 0.030 0	0.868 2 ± 0.034 5	0.766 1 ± 0.030 4	0.761 7 ± 0.030 2
	2	0.830 9 ± 0.033 1	0.754 7 ± 0.030 1	0.874 6 ± 0.034 8	0.763 5 ± 0.030 4	0.677 0 ± 0.056 8
	3	0.851 9 ± 0.024 3	0.910 9 ± 0.026 0	0.955 9 ± 0.027 3	0.911 3 ± 0.026 0	0.911 2 ± 0.026 0
	4	0.869 4 ± 0.028 3	0.903 5 ± 0.029 4	0.949 3 ± 0.030 9	0.904 7 ± 0.029 4	0.900 4 ± 0.029 3
	5	0.843 5 ± 0.030 0	0.903 0 ± 0.032 1	0.897 0 ± 0.031 9	0.914 7 ± 0.032 5	0.894 7 ± 0.031 8
	6	0.855 7 ± 0.031 0	0.906 2 ± 0.032 9	0.821 2 ± 0.029 8	0.917 1 ± 0.033 2	0.898 1 ± 0.032 6
	7	0.857 5 ± 0.031 7	0.909 4 ± 0.033 6	0.820 2 ± 0.030 3	0.917 6 ± 0.033 9	0.902 3 ± 0.033 3
	8	0.860 4 ± 0.032 6	0.913 4 ± 0.034 4	0.799 2 ± 0.030 1	0.915 6 ± 0.034 5	0.906 3 ± 0.034 1
	9	0.851 6 ± 0.032 6	0.910 7 ± 0.034 8	0.810 3 ± 0.031 0	0.910 8 ± 0.034 8	0.906 1 ± 0.034 7

表 3 不同树龄的树高和胸径共同对各性状晚期育种值的预测精度

性状	树龄 (a)	9 年 生 性 状				
		树 高	胸 径	干 高	(H/2)直径	材 积
树 高 和 胸 径	1	0.826 6 ± 0.033 3	0.786 7 ± 0.034 5	0.904 9 ± 0.039 7	0.788 6 ± 0.033 7	0.799 0 ± 0.035 5
	2	0.831 8 ± 0.031 0	0.758 7 ± 0.027 0	0.896 2 ± 0.041 7	0.769 2 ± 0.027 1	0.759 3 ± 0.029 4
	3	0.863 1 ± 0.024 0	0.919 6 ± 0.025 5	0.969 4 ± 0.027 0	0.919 2 ± 0.025 4	0.912 9 ± 0.025 3
	4	0.877 1 ± 0.024 8	0.904 1 ± 0.027 6	0.967 2 ± 0.026 7	0.905 2 ± 0.028 1	0.905 0 ± 0.030 7
	5	0.855 9 ± 0.023 2	0.907 5 ± 0.026 5	0.925 3 ± 0.023 6	0.916 6 ± 0.028 1	0.896 7 ± 0.030 8
	6	0.869 8 ± 0.022 1	0.910 6 ± 0.026 0	0.932 6 ± 0.020 4	0.919 7 ± 0.027 4	0.899 9 ± 0.030 3
	7	0.915 3 ± 0.024 8	0.915 2 ± 0.026 2	0.850 2 ± 0.022 4	0.925 1 ± 0.026 1	0.905 8 ± 0.026 8
	8	0.910 1 ± 0.026 6	0.916 7 ± 0.029 6	0.854 7 ± 0.025 2	0.921 1 ± 0.029 0	0.908 1 ± 0.030 0
	9	0.898 0 ± 0.032 1	0.912 6 ± 0.032 8	0.853 4 ± 0.030 5	0.916 8 ± 0.032 3	0.907 0 ± 0.033 0

2.2 早晚期性状预测育种值的相关性

由表 4 可以看出, 1 年生树高与 9 年生各性状育种值之间的相关均不显著; 但 2 年生树高的育种值, 除了与干高的相关显著外, 与其余性状的相关都超过极显著程度。3 年生后, 树高与各晚期性状间的相关均达极显著水平以上。早期胸径育种值与各性状 9 年生的育种值之间的关系更为密切, 从 1 年生开始, 相关系数全在极显著水平以上。因此, 用 1 年生胸径观测数据直接预测各性状的育种值, 并据此挑选优良种源, 到 9 年生时绝大多数中选种源的性状育种值仍较大。

2.3 选择效率

2.3.1 单性状的相对选择效率 相对选择效率反映了按早期性状育种值挑选出的种源到晚期时仍然优良的程度。这里选择强度为 1.42, 即有 5 个种源中选。从表 5 可以看出, 采用 1 年生苗高数据预测育种值并作选择, 树高的直接相对选择效率和 4 个性状的间接相对选择效率

表 4 早晚期性状直接预测育种值之间的相关系数

性状	树龄 ^(a)	9 年 生 性 状				
		树 高	胸 径	干 高	(H/2)直径	材 积
树 高	1	0.326 2(0.103 9)	0.163 8(0.424 0)	0.124 2(0.545 5)	0.178 3(0.383 6)	0.132 2(0.519 8)
	2	0.777 3(0.000 1)	0.701 0(0.000 1)	0.461 0(0.017 8)	0.701 9(0.000 1)	0.657 3(0.000 3)
	3	0.851 0(0.000 1)	0.876 9(0.000 1)	0.605 4(0.001 0)	0.870 4(0.000 1)	0.846 7(0.000 1)
	4	0.921 3(0.000 1)	0.891 9(0.000 1)	0.663 5(0.000 2)	0.871 8(0.000 1)	0.843 2(0.000 1)
	5	0.913 7(0.000 1)	0.914 8(0.000 1)	0.704 1(0.000 1)	0.893 1(0.000 1)	0.865 7(0.000 1)
	6	0.918 6(0.000 1)	0.903 6(0.000 1)	0.693 6(0.000 1)	0.886 6(0.000 1)	0.858 8(0.000 1)
	7	0.975 9(0.000 1)	0.935 2(0.000 1)	0.633 4(0.000 5)	0.931 1(0.000 1)	0.912 0(0.000 1)
	8	0.992 8(0.000 1)	0.915 5(0.000 1)	0.639 9(0.000 4)	0.911 1(0.000 1)	0.901 8(0.000 1)
	9	1.000 0(0.0)	0.883 8(0.000 1)	0.639 7(0.000 4)	0.884 5(0.000 1)	0.883 5(0.000 1)
胸 径	1	0.823 9(0.000 1)	0.765 4(0.000 1)	0.559 6(0.003 0)	0.772 4(0.000 1)	0.759 8(0.000 1)
	2	0.835 0(0.000 1)	0.766 5(0.000 1)	0.561 0(0.002 9)	0.771 9(0.000 1)	0.757 9(0.000 1)
	3	0.886 2(0.000 1)	0.964 3(0.000 1)	0.628 1(0.000 6)	0.959 5(0.000 1)	0.950 8(0.000 1)
	4	0.897 8(0.000 1)	0.982 5(0.000 1)	0.645 8(0.000 4)	0.974 9(0.000 1)	0.953 1(0.000 1)
	5	0.896 7(0.000 1)	0.986 9(0.000 1)	0.636 6(0.000 5)	0.986 7(0.000 1)	0.963 6(0.000 1)
	6	0.899 7(0.000 1)	0.992 9(0.000 1)	0.609 8(0.000 9)	0.990 2(0.000 1)	0.969 1(0.000 1)
	7	0.897 9(0.000 1)	0.995 6(0.000 1)	0.609 0(0.001 0)	0.992 0(0.000 1)	0.973 9(0.000 1)
	8	0.891 6(0.000 1)	0.996 1(0.000 1)	0.588 3(0.001 6)	0.991 5(0.000 1)	0.976 7(0.000 1)
	9	0.883 8(0.000 1)	1.000 0(0.0)	0.592 0(0.001 4)	0.990 0(0.000 1)	0.978 8(0.000 1)

注: 括号内数字为显著性概率。

都不高。因计算中用的是相对育种值^[14], 相对选择效率是正值时, 说明早期中选种源在晚期时的育种值仍然在平均水平以上; 负值则在平均水平以下。2年生树高育种值对晚期各性状的直接或间接相对选择效率较高, 最高达到83.43%。除干高外, 绝大多数相同性状, 在相同选择强度下, 相对选择效率随着树龄增大而逐渐提高, 选择可靠性也越来越大。这一变化趋势与以表型值为基础的早期选择相似^[17]。

表 5 树高预测树高育种值对 9 年生各性状育种值的相对选择效率 (单位: %)

9 年生性状	年 龄 ^(a)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
树 高	20.19	83.43	72.82	72.65	93.30	93.05	98.41	98.41	100.00
胸 径	-13.11	74.91	56.27	62.32	84.82	69.36	79.80	79.80	73.24
干 高	27.08	37.59	62.97	50.41	34.58	32.08	25.57	25.57	21.35
(H/2)直径	-4.28	72.87	55.75	59.52	79.23	67.39	79.92	79.92	71.99
材 积	-9.11	75.55	56.34	61.49	89.80	74.39	85.39	85.39	81.36

作早期种源选择时, 用胸径的调查数据预测育种值与用树高的相比有一定差别(表 6)。在一定选择强度下, 用胸径预测的育种值在 1 年生时相对选择效率就很高, 例如胸径的直接相对选择效率是 76.50%, 树高、干高、(H/2)直径和材积的间接相对选择效率分别是 90.34%、43.44%、77.66% 和 80.23%。2 年生后的相对选择效率除干高下降外, 其余各性状又有提高, 如 3 年生时材积的间接相对选择效率已达到 100%。这表明, 根据 3 年生胸径预测育种值选出来的前 5 个毛泡桐种源, 与到 9 年生时由材积直接预测育种值选出来的完全相同。

表 6 胸径预测胸径育种值对 9 年生性状育种值的相对选择效率 (单位: %)

9 年生性状	年 龄(a)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
树 高	90.34	90.34	94.73	94.73	76.31	85.02	79.39	81.08	81.08
胸 径	76.50	76.50	95.28	95.28	89.27	99.99	98.19	100.00	100.00
干 高	43.44	43.44	37.71	37.71	39.81	- 1.03	15.75	8.61	8.61
(H/2)直径	77.66	77.66	92.56	92.56	91.27	98.36	100.00	99.17	99.17
材 积	80.23	80.23	100.00	100.00	90.01	99.96	98.61	99.17	99.17

2.3.2 双性状的相对选择效率 在树龄和选择强度相同情况下,与单个性状相比,同时用树高和胸径分别预测树高或者胸径的育种值,相对选择效率大多有不同程度提高。预测 1 年生树高育种值的相对选择效率提高较大(表 5、表 7),到 2 龄或以后提高不大;预测胸径育种值的效率提高不大(表 6、表 8)。但是,由树高和胸径共同预测胸径育种值对干高的相对选择效率随树龄的增大呈明显下降趋势,而树高和胸径共同预测树高育种值对干高的间接相对选择效率随树龄增大变化不大。这说明树高和干高的生长节律较一致,而胸径和干高的生长节律则不一致,这与毛泡桐胸径逐年增大及在平原地区很少接干的生长特性相符合。

表 7 树高和胸径共同预测树高育种值对 9 年生性状育种值的相对选择效率 (单位: %)

9 年生性状	年 龄(a)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
树 高	38.54	83.43	72.82	87.77	93.30	93.30	94.73	94.73	94.73
胸 径	3.38	74.91	56.27	91.40	84.82	84.82	95.28	95.28	95.28
干 高	25.23	37.59	62.97	48.44	34.58	34.58	37.71	37.71	37.71
(H/2)直径	11.46	72.87	55.75	87.96	79.23	79.23	92.56	92.56	92.56
材 积	7.79	75.55	56.34	93.04	89.80	89.80	100.00	100.00	100.00

表 8 树高和胸径共同预测胸径育种值对 9 年生性状育种值的相对选择效率 (单位: %)

9 年生性状	年 龄(a)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
树 高	90.34	90.34	94.73	94.73	80.07	85.02	85.02	81.08	85.02
胸 径	76.50	76.50	95.28	95.28	95.30	99.99	99.99	100.00	99.99
干 高	43.44	43.44	37.71	37.71	17.61	- 1.03	- 1.03	8.61	- 1.03
(H/2)直径	77.66	77.66	92.56	92.56	94.22	98.36	98.36	99.17	98.36
材 积	80.23	80.23	100.00	100.00	95.94	99.96	99.96	99.17	99.96

2.3.3 年均选择效率 通过对不同选择强度下年均选择效率的计算,发现早期选择效率随选择强度的不同有较大变化。图 1 表明,胸径育种值对干高的年均选择效率变化较大,在选择强度小于 0.80 时明显增大,并且随树龄变小呈逐渐增大趋势;对其余性状的年均选择效率在 4 年生以前和选择强度为 0.80 和 1.69 时出现两个峰值(树高、(H/2)直径及材积年均选择效率的变化与胸径的相似),4 年生以后,选择强度的影响不大。为了兼顾宽广的遗传基础,可以把选择强度定为 0.80,此时的中选率为 50%。如果把最佳选择年龄规定为一定轮伐期下的年平均效率来决定^[8],很明显用 1 年生胸径最为理想。在这种情况下,胸径、树高、干高、(H/2)直径及材积的直接或间接相对选择效率分别达到 79.71%、81.83%、56.77%、75.07%和 76.20%,

年均选择效率分别达到 398.57%、409.13%、283.84%、375.35% 及 381.01%。

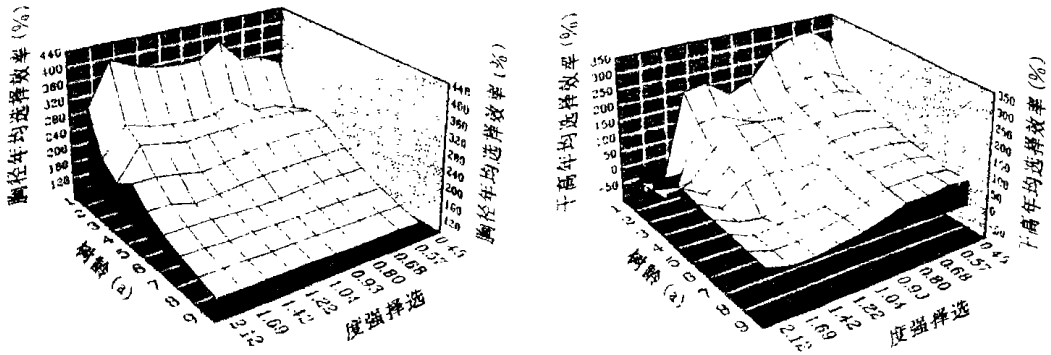


图 1 9 年生胸径和干高年均选择效率随不同树龄胸径育种值在不同选择强度下的变化

3 小 结

毛泡桐种源的胸径从 1 年生时起对晚期各性状预测育种值的精度就较高, 并且胸径预测的育种值与晚期各性状预测育种值之间的相关极其显著; 利用胸径育种值作早期选择时选择效率很高, 而树高与胸径作为复合性状作早期选择, 并不比单独用胸径优越, 加之单个胸径的分析简单、调查容易、观测准确, 而泡桐早期的树高生长很不稳定, 所以, 用胸径作为早期选择指标较为合适。

以胸径作为早期选择指标时, 1 年生的选择可靠性及其与晚期育种值之间的相关和选择效率均达到较高水平。另外, 各性状的年均选择效率随树龄的增大而逐渐降低。以往根据表型观测值的泡桐早期选择研究得出最佳选择年龄是 3~5 a^[16, 17], 用胸径调查数据预测的育种值作选择时能够使最佳选择年龄提早至 1 a, 而且年均选择效率可以达到 9 年生时的 2 倍以上。因此, 用育种值作早期选择具有明显的优越性, 这也从另一方面说明了遗传途径部分对早期选择效果的重要性。

文中所估算的选择效率既容易理解又具有实践意义, 在应用中只需要设定早晚期选择强度相同即可。以往早期选择研究中所用的选择效率公式需要较多的假设条件, 除设定早晚期选择强度相同外, 还要求早晚期不存在环境相关、遗传力相等、准确地估算早晚期相关随早晚树龄之比的对数而变化的回归方程等^[8, 16, 17], 因此计算的误差也较大。

参 考 文 献

- 1 Austin L. A new enterprise in forest tree breeding. *Journal of Forestry*, 1927, 25(8): 928 ~ 953.
- 2 Xie C Y, Ying C C. Heritabilities age-age correlations, and early selection in lodgepole pine (*Pinus contorta* ssp. *latifolia*). *Silvae Genetica*, 1996, 45(2~3): 101 ~ 107.
- 3 Kung F H. Construction and interpretation of path diagrams for height and increment from loblolly pine provenances tests in time series. *Silvae Genetica*, 1993, 42(1): 16 ~ 24.
- 4 Squillace A E, Charles R G. Juvenile:mature correlations in slash pine. *Forest Sci.*, 1974, 20(3): 225 ~ 229.
- 5 马常耕, 田志和. 白榆种源试验中选择年龄的探讨. *林业科学*, 1991, 27(2): 111 ~ 116.
- 6 King J N, Burdon R D. Time trends in inheritance and projected efficiencies of early selection in a large 17-year-old

- progeny test of *Pinus radiata*. Can. J. For. Res., 1991, 21: 1 200 ~ 1 207.
- 7 马常耕. 林木遗传改良发展中的新见解. 世界林业研究, 1993, (2): 13 ~ 22.
 - 8 Lambeth C C. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. Forest Sci., 1980, 26(4): 571 ~ 580.
 - 9 Kang H. Juvenile selection in tree breeding: some mathematical models. Silvae Genetica, 1985, 34(2 ~ 3): 75 ~ 84.
 - 10 Minckler L S. Genetics in forestry. Journal of Forestry, 1939, 37(7): 559 ~ 563.
 - 11 吴仲贤. 统计遗传学. 北京: 科学出版社, 1977. 167 ~ 263.
 - 12 Surles S E, White T L, Hodge G R. Genetic parameter estimates for seedling dry weight traits and their relationship with parental breeding values in slash pine. Forest Sci., 1995, 41(3): 546 ~ 563.
 - 13 Smith C K, White T L, Hodge G R. Genetic variation in second-year slash pine shoot traits and their relationship to 5- and 15-year volume in the field. Silvae Genetica, 1993, 42(4 ~ 5): 266 ~ 275.
 - 14 White T L, Hodge G R. Best linear prediction of breeding values in forest tree improvement. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989.
 - 15 Souza S M D, Hodge G R, White T L. Indirect prediction of breeding values for fusiform rust resistance of slash pine parents using greenhouse tests. Forest Sci., 1992, 38(1): 45 ~ 60.
 - 16 李荣幸, 程绍荣, 马浩. 毛泡桐种源早期选择的研究. 河南农业大学学报, 1994, 28(泡桐专辑): 20 ~ 24.
 - 17 魏安智, 杨途熙. 泡桐优良无性系早期选择的研究. 林业科学研究, 1993, 6(2): 136 ~ 140.

Study on the Early Prediction of Breeding Value for *Paulownia tomentosa*

Ma Hao Li Peijian Shen Xihuan

Abstract 1 ~ 9-year-old height, diameter of breast height (*DBH*), stem height (*SH*), diameter of half height (*DHH*) and volume were measured for 26 *Paulownia tomentosa* provenances, and the breeding values of those traits were predicted directly or indirectly. The results showed that the breeding values of the characteristics measured at age 9 might be precisely predicted by *DBH* observed in the early stage. When *DBH* was used at age one with selection intensity of 0.80, the direct and indirect selection efficiencies reached to 79.71%, 81.83%, 56.77%, 75.07% and 76.20% for height, *DBH*, *SH*, *DHH* and volume at the age of 9 respectively. Furthermore, the selection efficiencies per year were 398.57%, 409.13%, 283.84%, 375.35% and 381.01% for the traits correspondingly. Therefore, the early selection for *Paulownia tomentosa* provenance should be conducted in the early stage with less intensity.

Key words *Paulownia tomentosa* provenance breeding value best linear prediction