

毛白杨优良无性系选育

——生产力、遗传稳定性和适应性评价*

顾万春

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘要 本文系统分析毛白杨(*Populus tomentosa*)无性系多点试验林8年生长量,评价生产力、遗传稳定性和适应性。选育出5个生长快的无性系,其中3个遗传稳定性和适应性较高,适于在2个试验生态区栽种;2个无性系以及对照品种遗传稳定性较差,具有特定的适应性,宜于在限定地区推广。经多元分析排序,用于评价的11个参数明显地归为3类,类间相互独立,分别用于评价基因型的生产力、遗传稳定性和适应性,每一类参数具有同效性。从判别效果与计算的简便性考虑,推荐采用下二组中一组,便可满足评价要求:① \hat{C}_i 、 $i\hat{\chi}^2_{PB}$ 和 b_i ; ② $\bar{x}_{i..}(\hat{C}_i)$ 、 $\hat{\lambda}_i$ 和 \hat{a}_i 。

关键词 毛白杨无性系; 遗传稳定性; 适应性

毛白杨无性系选种历时15年,经过对中心栽培区的优良个体选择与收集,穗条年幼化,3年重复苗期试验,完成区域化造林试验。优良无性系选育是在多点试验林观测、 $G \times E$ 交互作用的性状分析基础上进行评价与预测生产力、遗传稳定性和适应性。

基因型与环境存在交互作用关系,使得基因型与表型的相关性降低,减少了育种试验从表型推断基因型的可信程度。60年代农作物育种中讨论 $G \times E$ 交互性质与测定方法,运用到品种评价中来。70年代后期,林木遗传改良中移植了有关方法,目前国外已有火炬松、挪威云杉、辐射松、美洲黑杨、柳杉等树种的研究报道,国内已有杉木^[1]、黑杨派杂种^[2]、刺槐^[3]等研究。本文进行毛白杨无性系 $G \times E$ 交互分析,在认定互作关系存在后,评价中选的优良无性系,并对所用的评价方法作分类评述。

一、试验方法

1. 试材与设计 选择6省、市15个来源的优良单株118株(图1),经苗期3年重复试验初选出81个无性系。于1980年和1981年在河北省磁县、秦皇岛市郊和北京市大兴县3个地点营造第1批试验林,随机区组设计,3~4株小区,6~8次重复,4m×4m造林密度;经4年生幼林观测复选出28个无性系,在江苏省、河南省等5个地点营造第2批试验林(图1)。试

本文于1988年8月18日收到。

*全国毛白杨选种研究协作组主要参加人还有周士方、张英脱、张继华、金万庆、魏昌振、魏鉴章、王全亮、郑考勋、杨继敏、杨宝奎、何仙珍、杜知章、牛金星、石战忠、乔安治、孙三虎。

验统一采用3个对照：CK₁为京广铁路沿线华北地段大量种植的60号无性系；CK₂为参试无性系均值；CK₃是近年来华北中原地区新推广的优良地方品种(50号)。本文用第一批试验林8年生观测数据作分析，第2批试验林仅作参考。

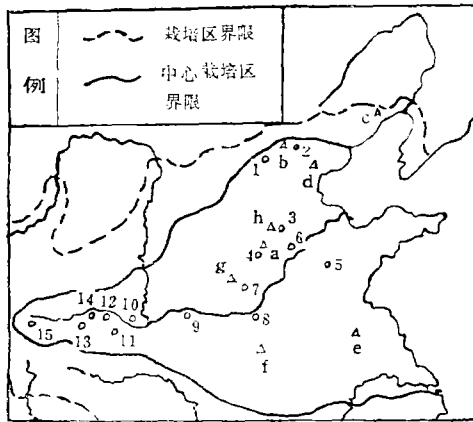


图1 毛白杨栽培区、选择地和多点试验林位置示意图

2. 统计分析模型 i 个无性系, $i=1,2,\dots,c$; j 个地点, $j=1,2,\dots,b$; K 个重复, $K=1,2,\dots,r$ 。观测值 x_{ijk} , 混合模型。

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + J_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

在方差分析基础上估算遗传参数, 进行回归分析^[4,6]。除生长量均值 $\bar{x}_{i..}$ 之外, 其余评价参数采用以下模型: ①生产力指数 PQI 和生态效应价 W 根据 Wricke 提出的公式^[6]; ②回归系数 b_i 和误差 S_d^2 根据 Eberhart 等人的公式^[10]; ③无性系效应值 \hat{c}_i 、 $G \times E$ 互作方差 $\hat{\chi}^2_{PB}$ 及变异系数 CV_{PB} 根据顾万春应用公式^[9]; ④结构分析模型的系数 \hat{a}_i 与 $\hat{\lambda}_i$ 根据 Tai 的公式^[7]; ⑤决定系数 r^2 根据 Pithus 的公式^[8]。

二、结果分析

(一) 基因型生长差异及其与环境的交互作用

磁县试验林地粉沙土肥力差, 大兴试验林细沙土肥力中等, 秦皇岛试验林海滨粗沙土地下水位高, 肥力差(图1)。3块试验林代表了毛白杨中心栽培区至北缘临界区。因此, 3块试验林的环境差异包括了生态区和立地条件差异。统计表明, 磁县与大兴两点造林成活率和5年保存率都在95%以上, 地点及无性系间无显著差异; 秦皇岛试验林造林成活率87.2%, 5年保存率50.5%。满足多点统计分析的共46个无性系, 3次重复。

地点间生长量差异很大。8年生树高、胸径、冠幅、单株材积、亩材积等5项均值: 磁县分别为10.9 m, 12.0 cm, 4.2 m, 0.053 621 m³ 和2.252 1 m³; 大兴为10.5 m, 10.2 cm, 4.1 m, 0.034 319 m³ 和1.441 4 m³; 秦皇岛为6.8 m, 7.0 cm, 3.0 m, 0.010 191 m³ 和0.428 0 m³。方差分析结果, 试验林间差异极显著(表1), 地点间方差分量占40%以上。Tai's^[7]试验环境指数极差达4.1。

无性系间差异极显著, 树高与胸径方差分量分别占16.87%与11.85%。无性系×地点

交互作用极显著, 方差分量达10.43%和11.42%, 方差分析结果与直观表现一致, 不同试验林中无性系均值序位变化大, 磁县排在前5名的是39(为该点仅有并为最优者)、38、9803、90、9806; 大兴90、9803、001、9832、43054; 秦皇岛50、9830、1016、9806、601。磁县和大兴与秦皇岛的无性序位差异最大。说明多个基因型在不同地点的环境差异越大, $G \times E$ 交互作用差异也越大。用对数变换后的数据进行 $G \times E$ 方差分析, 差异仍极显著, 表明毛白杨无性系与环境交互作用的强烈存在^[8]。

表1 毛白杨无性系 $G \times E$ 交互作用的方差分析

变 因 S. V.	自由度 df	树 高			胸 径			期望均方 ^① EMS (C固定, B、R随机)
		方 差 MS	方 差 比 F	方差分量 (%)	方 差 MS	方 差 比 F	方差分量 (%)	
地点 B	2	360.739 1	48.237**	41.16	481.982 0	41.608**	45.25	$\sigma^2 + c\sigma^2_{R(b)} + cr\sigma^2_B$
地点内重复 R	6	7.478 4	4.069**	1.98	11.583 8	5.350**	2.73	$\sigma^2 + c\sigma^2_{R(b)}$
无性系 C	45	13.224 7	3.496**	16.87	12.726 4	2.692**	11.85	$\sigma^2 + r\sigma^2_{c.B} + rb\chi^2_c$
无性系×地点(C×B)	90	3.783 1	2.058**	10.43	4.747 0	2.192**	11.42	$\sigma^2 + r\sigma^2_{c.B}$
误差 E	270	1.837 9		29.56	2.165 2		28.75	

① $\chi^2_c = \sum C^2_i / (c-1)$

多点试验的 $G \times E$ 交互作用分析, 在方差分量剖析后估算遗传参数, 使评价的遗传增益或育种增益更接近于真实。同时, 试验林地内环境均一性程度也影响遗传参数的可靠性。比较3个试验地计算的重复率(R)和遗传力(h_b^2)与多点计算的结果(图2)看到, 多点的R与 h_b^2 几乎接近3点的均值; 而且林地环境较一致的磁县点参数值较高, 林地内差异较大的秦皇岛参数值较小。这一结果说明育种的“可选性”及选择评价的可信程度具有不可忽视的影响。

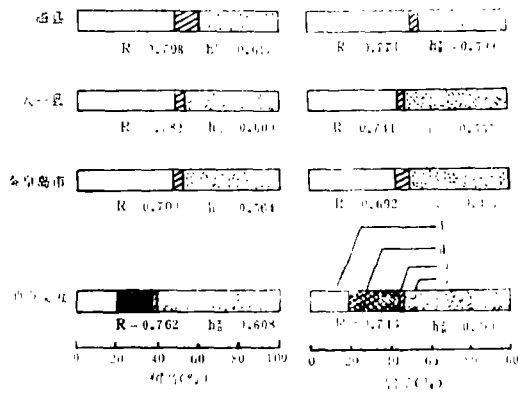


图2 毛白杨46个无性系3地点8年生生长量方差解析
I. 无性系方差分量; II. $G \times E$ 方差分量;
III. 重复方差分量; IV. 误差方差分量

(二) 遗传稳定性和适应性评价

林木基因型价值及其推广应用, 不仅取决于生长量的绝对值或决定其价值的另一性能, 而且在很大程度上还取决于遗传稳定性和生长的适应性。Piaisted 和 Wricke^[9] 早已在农作物育种中得出相同结论: 由于不同地点、不同年份以及不同种植条件下产量值波动极大, 平均值已不宜作品种的真实评价。遗传稳定性和适应性评价, 是描述基因型的生态适应范围, 揭示品种在不同环境条件下保持某种收获量的度量, 属于遗传的生态评价。

为了比较的方便, 用优良无性系38、90、9803、001, 对照无性系50和60以及抽样得到的9803、31、43、1005、2019等共11个无性系的树高进行评价。11个参数分析结果(表2), 优良无性系的 \bar{x}_i 、品种效应值 \hat{C}_i 和生产力指数 PQI 都高于对照, 反映了基因型平均生产率高。表2中第4列到第8列数值反映出另一种情况, 在预选无性系中, 9803的5个遗传稳定

性参数都小, 稳定性最高; 90、38 参数值较小, 则为稳定性较高; 001 稳定性较差。但预选无性系的稳定性都高于 $CK_3(50)$ 。从表 2 的第 9 列到 11 列参数值看到, 预选无性系 $\hat{\alpha}_i$ 值较小, b_i 值接近或大于 1.0, γ^2 值都在 0.80 以上, 说明适应性一般或较差; 而 $CK_3(50)$ 适应性高。

表 2 毛白杨无性系树高生长量、遗传稳定性和生长的适应性评价结果

评价 指标 无性系	\bar{x}_i	PQI	\hat{C}_i	$\hat{\chi}_{PB}^2$	iCV_{PB}	$W(E)$	$\hat{\lambda}_i$	S_d^2	$\hat{\alpha}_i$	b_i	r_i^2
38(1)	9.20	0.5455	0.84	0.0696	2.90	0.5169	0.4913	0.2053	0.3895	1.2421	0.9722
90(2)	9.31	0.6169	0.95	0.0802	3.04	0.5382	0.1655	0.0352	0.1121	1.0742	0.8110
9803(3)	9.20	0.5455	0.84	-0.1825	0	0.0129	0.0178	0.0004	-0.0408	1.2167	0.9229
001(4)	8.84	0.3117	0.48	0.3983	7.14	1.1744	5.6154	0.2799	0.0544	1.0486	0.8006
50(5)	9.10	0.4805	0.74	0.9320	10.61	2.2419	2.1602	0.0098	-0.8098	0.5589	0.7115
60(6)	7.91	-0.2922	-0.45	0.2080	5.77	0.7938	1.3538	-0.1131	0.3440	1.3228	0.9544
31(7)	7.30	-0.6883	-1.06	0.7022	11.48	1.7822	5.7532	0.5276	0.3277	1.2025	0.9025
43(8)	7.39	-0.6299	-0.97	0.1454	5.16	0.6686	2.3591	0.0879	0.1874	0.7250	0.7176
9003(9)	8.40	0.0260	0.04	0.5174	8.56	1.4125	3.0324	0.0407	-0.5350	0.6807	0.6340
1005(10)	7.56	-0.5195	-0.80	-0.0652	0	0.2474	0.8583	-0.1410	-0.1124	0.9475	0.7584
2019(11)	7.78	-0.3766	-0.58	-0.1760	0	0.0250	0.1234	-0.1809	0.0056	1.0085	0.8993

综合评价中选的优良无性系, 90、9803、38 稳定性高, 适应性一般或较差, 38 和 9803 更适于在优良条件下生长, 属于“高产型”品种; 001 具有中度适应性, 稳定性较差, 拟为“中产型”品种, 适于在京津附近栽种; 39 为磁县仅有且为最优者, 未参加多点互作分析, 暂定为特定适应范围的优良无性系; $CK_3(50)$ 无性系稳定性差但适应性强, 是“低产型”品种, 在较差的环境中表现速生。而落选的无性系中虽表现出较好的稳定性或较高的适应性, 因其生产力不高, 被定在优良无性系之外。

为验证以上评价, 将 11 个无性系的 11 个参数进行主成分分析(表 3、4, 图 3)。前 2 个主成分累计贡献率达 71.6%, 前 3 个主成分累计贡献率 92.7%, 代表了足够信息量。用第 1 与第 2 主成分坐标排序, 11 个无性系分属于不同类组(图 3), 其结果与单项参数评价结果一致。从特征向量来看, 第 1 主成分反映遗传稳定性, 第 2 主成分反映生产力和适应性, 第 3 主成分反映适应性。

表 3 毛白杨无性系树高性状值、遗传稳定性和适应性的 10 变量相关矩阵

相关矩阵										
1.0000	1.0000	1.0000	0.01775	-0.08944	0.01775	-0.29098	0.01869	-0.26752	0.04185	0.07074
1.0000	1.0000	1.0000	0.01773	-0.08945	0.01773	-0.29099	0.01869	-0.26750	0.04188	0.07077
1.0000	1.0000	1.0000	0.01775	-0.08943	0.01775	-0.29098	0.01869	-0.26752	0.04185	0.07074
0.01775	0.01773	0.01775	1.00000	0.96463	1.00000	0.69400	0.58811	-0.45607	-0.45002	-0.41584
-0.08944	-0.08945	-0.08943	0.96463	1.00000	0.96463	0.78260	0.66874	-0.27117	-0.33347	-0.34020
0.01775	0.01773	0.01775	1.00000	0.96463	1.00000	0.69399	0.58809	-0.45609	-0.45003	-0.41584
-0.29098	-0.29099	-0.29098	0.69400	0.78260	0.69399	1.00000	0.77097	-0.00072	-0.12592	-0.25265
0.01869	0.01869	0.01869	0.58811	0.66874	0.58809	0.77097	1.00000	0.23054	0.12279	0.07414
-0.26752	-0.26750	-0.26752	-0.45607	-0.27117	-0.45609	-0.00072	0.23054	1.00000	0.80788	0.72503
0.04185	0.04188	0.04185	-0.45002	-0.33347	-0.45003	-0.12592	0.12279	0.80788	1.00000	0.91014
0.07074	0.07077	0.07074	-0.41584	-0.34020	-0.41584	-0.25265	0.07414	0.72503	0.91014	1.00000

表4 特征根与特征向量

累计贡献率 (%)	42.202 1	71.601 7	92.668 2	96.730 3	98.300 2	99.468 1	99.868 7
<i>R</i> 型因子分析特征根	4.642 23	3.233 96	2.317 32	0.446 83	0.172 69		
	-0.056 56	0.528 44	-0.183 63	0.079 24	-0.016 70		
	-0.056 57	0.528 44	-0.183 64	0.079 22	-0.016 72		
	-0.056 56	0.528 44	-0.183 63	0.079 23	-0.016 70		
	0.442 76	0.059 15	-0.104 70	-0.332 05	0.082 67		
	0.434 16	-0.025 83	-0.173 55	-0.242 92	0.119 04		
	0.442 76	0.059 15	-0.104 69	-0.332 08	0.082 66		
	0.361 40	-0.183 39	-0.232 48	0.408 93	-0.668 15		
	0.268 77	-0.067 96	-0.463 78	0.444 03	0.346 48		
	-0.230 49	-0.298 08	-0.395 58	0.215 64	0.468 55		
	-0.275 45	-0.132 20	-0.472 80	-0.203 72	-0.428 83		
	-0.279 26	-0.100 00	-0.444 56	-0.499 24	-0.037 61		

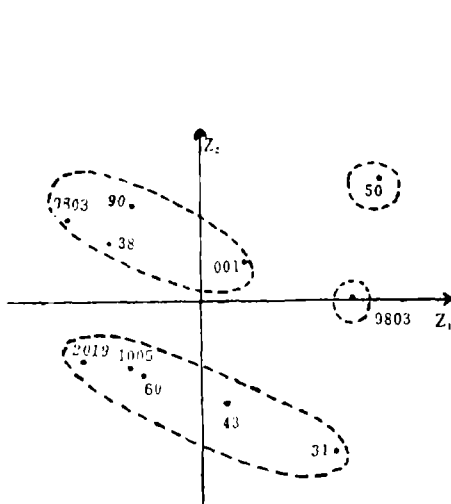


图3 11个参数综合二维排序

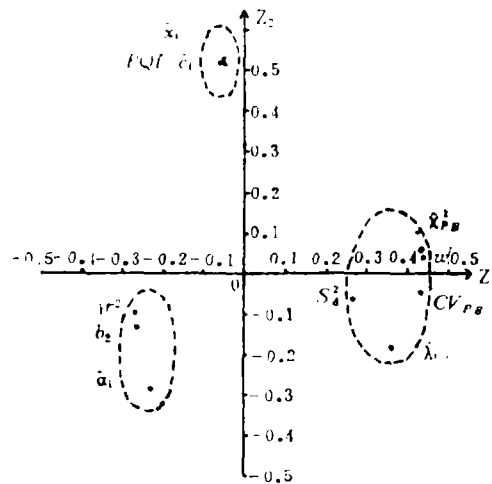


图4 11个评价参数二维坐标排序

(三) 三类评价参数的评述

用于评价基因型的11个参数，除评价生产力的3个参数具有完全同效性之外，其余参数在已有文献中常被重叠使用，偶有混用；其评价效果出入较大。为此，本文在毛白杨无性系评价基础上对11个参数作评述。从数学公式^[3,6,7,8]的结构含义、参数相关矩阵(表3)和参数的排序(图4)来看，3类参数间相互独立，线性无关。

1. 平均生长量 \bar{x} 、无性系效应值 \hat{C} 和生产力指数PQI，相关系数全为1，在排序坐标系中几乎成1个点。它们是产量(性状)值的绝对值、相对值和率值的不同表达值，育种分析中可根据目的和技术要求选用其中的1个。

2. $G \times E$ 互作的基因型方差 $\hat{\sigma}_{PE}^2$ 及变异系数 CV_{PE} 、生态效应值 W 、结构系数 λ 和回归误差 S_A^2 ，它们之间呈较高的正相关，都是描述 $G \times E$ 互作的非线性的离差程度，具有判别

稳定性的意义。其数值越小,遗传稳定性越高。从表3数字的判别效果来看, $i\hat{\chi}_{PB}^2$ 与 $\hat{\lambda}_i$ 两个参数对相同个无性系算值离差值最大,因此具有较高的判别效果。但二者不完全等效。 $S_{\hat{\sigma}}^2$ 与 W 的判别效果较差。这一结果与王明麻在黑杨杂种以及Owino^[9]在火炬松的研究结果相似。

3. 结构系数 $\hat{\alpha}_i$ 、回归系数 b_i 和决定系数 γ^2 为适应性参数,集中分布在图4的左下限,三者间密切相关(表4)。是描述基因型随着环境变化的线性程度,表达生态回归反映。其中 b_i 还表示稳定性程度。在简单的情况下, $\hat{\alpha}_i = b_i - 1$ 。当 $b = 0$, $\hat{\alpha}_i = 1$, $\gamma^2 \rightarrow 0$ 时,基因型对环境完全没有反应,绝对稳定;当 $b = 1$, $\hat{\alpha}_i = 0$, $\gamma^2 \rightarrow 1$ 时, $G \times E$ 互作成正比例消长关系,适应性和稳定性处于平均水平;当 $b > 1$, $\hat{\alpha}_i > 0$, $\gamma^2 \rightarrow 1$ 时,无性系能适应良好的环境。从判别适应性效果来看, b_i 和 $\hat{\alpha}_i$ 好于 γ^2 。

以上研究结果,同王明麻、Clair和Kleinschmit、Oka等人的研究结论大体一致,同时还验证了Finlay, Wilkinson和Nguyen分别研究的同一结论,即适应性很强的基因型通常稳定性较差,性状值(生长量)与遗传稳定性、生长的适应性之间的关系常常是多变的,评价参数之间的关系也多不稳定。但有一点是明确的,即基因型若对环境敏感,则稳定性受影响,反之亦然。

三、结论与讨论

1. 毛白杨81个无性系3地点8年试验林,通过 $G \times E$ 交互作用分析,用11个参数评价生产力、遗传稳定性和适应性,并经过主成分分析排序,选育出39、90、9803、38和001五个优良无性系。其中90、9803、38稳定性和适应性较好,适宜在2个栽培生态区推广;001遗传稳定性较高但适应性较差,39仅磁县点仅有,且为最优无性系,都在特定范围内(1个生态区)推广。优良无性系的平均材积育种增益30%~50%。

2. 研究表明,描述基因型的生产力、稳定性和适应性的11个参数归为3类,相互独立,它们很可能受非连锁基因或部分连锁基因控制,是遗传改良中用于评价的不同质的参数。根据3类参数计算的简便性和判别效果,推荐采用以下两组中的一组,① \hat{C}_i 、 $i\hat{\chi}_{PB}^2$ 和 b_i ;② $\hat{x}_{i..}(\hat{C}_i)$ 、 $\hat{\lambda}_i$ 和 $\hat{\alpha}_i$,便可满足评价要求。

参 考 文 献

- [1] 叶培忠等,1980,杉木遗传×环境互作和遗传稳定性研究,南林学报,(3):35~46,(4):23~24。
- [2] 王明麻等,1987,黑杨新无性系研究(Ⅰ),生长的适应性和遗传稳定性分析,南林学报,(4):13~25。
- [3] 顾万春等,1990,刺槐次生种源遗传差异及其选择评价,林业科学研究,3(1):70~75。
- [4] 顾万春等,1987,白榆种源与家系的选种研究,林业科学,(23)4:415~424。
- [5] Wricke, G., 1962, Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen, Z. pflanzenzüchtung, (47), 92~96。
- [6] 明石孝辉,1987,檢定技術の開発と系統評価,林木の育種,(144):10~15。
- [7] Tai, G. C. C., 1971, Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials, Crop. Sci., (11): 184~190。
- [8] Pithus, M. J., 1973, Estimate of genotypic value, A proposed method, Euphytica, (22), 121~123。
- [9] Owino, F. et al., 1977, $G \times E$ interaction and genotypic stability in loblolly pine, Sil Genet, (26): 18~21, 21~26。
- [10] Eberhart, S. A. et al., 1966, Stability parameters for comparing varieties, Crop. Sci., (6), 36~40。

THE SELECTION BREEDING OF EXCELLENT CLONES OF *POPULUS TOMENTOSA*—AN EVALUATION OF PRODUCTIVITY, GENETIC STABILITY AND ADAPTABILITY

Gu Wanchun

(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract A system analysis was made on the successive eight-year growth data of site experiments on clones of *Populus tomentosa*, and the evaluation of productivity, genetic stability and adaptability was conducted. There were 5 faster growing clones, 3 of which had higher genetic stability and adaptability and were adapted to be cultivated in two ecological areas. Two clones and the controlled clone were genetically less stable, which were only suitable to be extended in limited areas owing to their special adaptability. According to the multiple ranging analysis, the 11 evaluating parameters could appropriately be incorporated into 3 catalogues which were independent to each other and had the same effectiveness in evaluating the productivity, genetic stability and adaptability. For effectiveness and computing conveniences, either one of the following parameter groups is recommended to be adopted in evaluating: (1) \hat{c}_i , $\hat{\chi}_{PB}^2$ and b_i ; (2) $\bar{x}_{i..}(\hat{c}_i)$, $\hat{\lambda}_i$ and $\hat{\alpha}_i$.

Key words *Populus tomentosa* clone; genetic stability; adaptability

赴蒙沙棘考察简况

根据中蒙科技合作协定,中国沙棘考察团一行4人(中国林科院林研所副研究员黄铨、赵汉章、王博英,磴口实验局工程师宗队),于1989年12月18至31日,在蒙古人民共和国进行了为期两周的考察。由蒙农业及食品加工部接待。先后参观了乌兰巴托市城建苗圃,国家农业及食品加工部乌兰格木农业科研及生产中心的沙棘园、沙棘采穗园、苗圃、加工车间及采集果实现场;参观了国家自然环境保护部研究院的树木园、生产性苗圃及沙棘成年植株的生长状况。与从事沙棘研究的主要专家、蒙古工业学院前院长奇·阿伯戴教授,乌兰格木农业科研及生产中心科研处主任、国家银质奖章获得者伯·拉更教授、中心主任德·宝勒吉副教授,农业及食品加工部农科院科技处主任那楚格道尔吉副教授等,先后举行了座谈和讨论,共同探讨和相互交流了沙棘研究和生产中的有关问题。考察工作结束后,蒙古国家科学技术及高等教育委员会国际合作部主任达·雅达木斯仁会见了考察团全体成员,并对有关深入合作的问题交换了意见。

(林雁)