

华北落叶松不同种源区域化试验研究

张国君¹, 王成贺¹, 赵敏华², 代波¹, 杨俊明¹

(1. 河北科技师范学院 园艺科技学院, 河北 昌黎 066600; 2. 河北科技师范学院 人事处, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:以河北、山西、北京、甘肃和内蒙古收集的 24 份华北落叶松种源为试材, 在河北围场、河北赤城和山西静乐 3 个试验点进行了区域化试验, 并应用 AMMI 模型对试验林的生长进行了分析, 以期选育生长量大且适生性好的华北落叶松优良种源。结果表明: 华北落叶松种源株高和地径均与环境存在互作效应, 山西浑源(13 号)、围场 1~9(19 号)和围场 8~74(24 号)为高产稳产种源, 北京种源(6 号)和围场 7~46(23 号)为高产种源, 但稳产性略差。综合生长的适应性和稳定性考虑, 这 5 个种源均适合在 3 个试验区应用推广。

关键词:华北落叶松; 种源; 区域试验; AMMI

中图分类号:S 791.34 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0053-04

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr.) 属松科落叶松属落叶针叶乔木, 是我国华北山地主要乡土树种, 生长迅速, 干形通直, 耐严寒、抗旱性较强。其材质坚实、耐腐、耐湿, 抗压抗弯力强^[1], 亦可作造纸原料^[2], 多年以来一直是华北地区重要的造林树种和经济用材树种。在园林用途上, 华北落叶松由于其树冠整齐呈圆锥形, 叶轻柔而潇洒, 秋色叶金黄可形成美丽的风景林, 在较高海拔和较高纬度地区有很高的配置应用价值^[3]。我国华北落叶松研究始于 20 世纪 70 年代末 80 年代初, 开展了种源试验^[4]、优树选择^[5]、引种试验^[6-7], 其优良种质资源的遗传增益已得到确认^[8]。然而, 由于第一代种子园营造时间早, 受当时优树的限制, 总的选优水平较低, 使目前的良种满足不了不同立地、不同材种培育目标的要求。另外, 长期以来, 由于华北落叶松分布区环境条件的多样性、选择压力的不同等因素, 导致其种源间存在丰富的变异, 具有很大的遗传改良潜力。

种源选择不仅是科学调拨种子的主要依据, 也是最基础、最速效的树种改良措施。而探求优良基因型在不同生态环境条件下的遗传稳定性和生长适应性, 即对基因型与环境进行互作效应分析和稳定性评价是区域化

研究的有效方法^[9-11]。AMMI 模型(additive main effects and multiplicative interaction, 又称为主效可加互作可乘模型)^[12]是目前国际上流行的分析植物品种区域数据非常有效的模型, 已被广泛用来研究基因型与环境互作效应等。为了获得华北落叶松各种源的遗传变异和种源与立地的交互作用以确定种子调拨区划, 更重要的是为开展高世代育种提供遗传基础广泛且品质优良的育种群体。因此, 该研究从河北、山西、北京、甘肃和内蒙收集华北落叶松种源 24 份, 对河北省围场县、河北省赤城县、山西省静乐县的 3 地试验林进行生长测定, 对种源与环境的互作效应、生长适应性和遗传稳定性作了分析, 并对每个种源进行了综合评价, 以期华北落叶松优良种源的选择和推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

河北省围场县、河北省赤城县和山西省静乐县 3 个试验地概况如表 1 所示。

1.2 试验材料

试验林为 2013 年春季定植的 2 年生裸根苗, 栽培密度均为 2.0 m×2.0 m(株距×行距)。24 份种源来自于北京、甘肃、河北、内蒙古和山西的母树林、人工林、种子园或优良家系(表 2)。试验采用完全随机区组设计, 4 次重复, 10 株小区, 并在试验区四周分别种植 2 行保护行。

1.3 项目测定

2013 年 10 月底分别用米尺和游标卡尺测量各地各种源的株高和地径。

第一作者简介:张国君(1980-), 男, 博士, 副教授, 现主要从事园林植物遗传育种等研究工作。E-mail: zhangguojun-8@163.com

基金项目:河北省高层次人才资助项目(CG2013003007); 林业公益性行业科研专项资助项目(201004021); 河北省自然科学基金资助项目(C2012407018); 河北科技师范学院博士基金资助项目。

收稿日期:2014-11-10

表 1

试验地自然概况

Table 1

Description of the test sites

地点 Site	纬度 Latitude/N	经度 Longitude/E	海拔高度 Altitude/m	年均温 Mean annual temperature/℃	年降水量 Annual precipitation/mm	无霜期 Frost-free days/d	土壤状况 Soil regime
围场(E1)Weichang	42°09′	117°16′	1 250	4.7	380~560	115	褐土 Cinnamon soil
赤城(E2)Chicheng	41°07′	115°35′	1 220	6.8	404	124	褐土 Cinnamon soil
静乐(E3)Jingle	38°22′	112°08′	1 740	6.8	470	120~145	褐土 Cinnamon soil

表 2

华北落叶松 24 个种源信息

Table 2

Information of 24 provenances of *Larix principis-rupprechtii*

编号 No.	种源 Provenance	编号 No.	种源 Provenance
1	内蒙古巴林左旗 Balinzuo	13	山西浑源县 Hunyuan
2	内蒙古卓资县 Zhuozi	14	河北围场 8~75 Weichang 8-75
3	河北丰宁县 Fengning	15	河北围场(人工林)Weichang planted forest
4	河北崇礼县 Chongli	16	河北围场(母树林)Weichang seed production stand
5	河北沽源县 Guyuan	17	河北围场(种子园)Weichang seed orchard
6	北京 Beijing	18	河北围场 1~5 Weichang 1-5
7	河北阜平县 Fuping	19	河北围场 1~9 Weichang 1-9
8	河北赤城县大海陀 Chichengdahaituo	20	河北围场 1~21 Weichang 1-21
9	甘肃天水 Tianshui	21	河北围场 1~29 Weichang 1-29
10	河北赤城县 Chicheng	22	河北围场 1~30 Weichang 1-30
11	山西岚县 Kelan	23	河北围场 7~46 Weichang 7-46
12	山西阳高县 Yanggao	24	河北围场 8~74 Weichang 8-74

1.4 数据分析

1.4.1 联合方差分析 采用统计软件 SPSS 16.0 中的 GLM 进行了多点联合方差分析,模型为固定模型: $Y_{ijk} = \mu + g_i + l_j + (gl)_{ij} + R_k + \epsilon_{ijk}$ 。式中: Y_{ijk} 是待检测的因变量, μ 是总平均值, g_i 是种源效应 i ($i=1,2,3,\dots,24$), l_j 是地点效应 j ($j=1,2,3$), R_k 是区组效应 k ($k=1,2,3,4$), $(gl)_{ij}$ 是地点与种源的互作效应, ϵ_{ijk} 为机误。

1.4.2 效应值的估算 种源效应值(\hat{g}_i)的估算: $\hat{g}_i = \bar{x}_i \dots - \bar{x} \dots$ 。式中: $\bar{x}_i \dots$ 是种源 i 在各试验点的平均值, $\bar{x} \dots$ 是总平均值。

1.4.3 AMMI 模型 将主成分分析与方差分析相结合,将乘积形式的交互作用加入常规的基因型与环境的加性模型中,利用唐启义等^[13] DPS 统计分析软件中的

AMMI 模型进行分析。具体模型如下: $Y_{ge} = \mu + a_g + \beta_e +$

$\sum_{i=1}^n \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + \theta_{ge}$ 。式中: Y_{ge} 是在环境 e 中基因型 g 的产量, μ 是总体平均值, a_g 是基因型平均偏差(各个基因型平均值减去总平均值), β_e 是环境的平均偏差, λ_n 是第 n 个主成分分析的特征值, γ_{gn} 和 δ_{en} 分别是第 n 个主成分分析的基因型主成分和环境主成分得分, n 是模型分析中主成分因子轴的总个数, θ_{ge} 为残差。在所有显著的交互效应主成分轴(interaction principal component axis, IP-CA)上有较小值的基因型即为稳定的基因型^[14-15]。

2 结果与分析

2.1 不同种源生长的多点联合方差分析

多点方差分析结果(表 3)表明,华北落叶松不同种

表 3

华北落叶松株高、地径和当年生高的联合方差分析

Table 3 Combined analysis of variance on plant height, basal diameter, and current annual height of *Larix principis-rupprechtii*

变异来源 Source of variation	参数 Parameter	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 Probability
地点 Site	株高 Plant height	150 484.711	2	75 242.355	1.185E3	0.000
	当年生主干高 Current annual height	7 362.319	2	3 681.159	428.590	0.000
	地径 Basal diameter	227.232	2	113.616	68.053	0.000
种源 Provenance	株高 Plant height	11 173.829	23	485.819	7.654	0.000
	当年生主干高 Current annual height	467.367	23	20.320	2.366	0.000
	地径 Basal diameter	228.206	23	9.922	5.943	0.000
重复 Duplication	株高 Plant height	947.870	3	315.957	4.978	0.002
	当年生主干高 Current annual height	173.308	3	57.769	6.726	0.000
	地径 Basal diameter	38.471	3	12.824	7.681	0.000
地点×种源 Site×Provenance	株高 Plant height	8 413.168	46	182.895	2.881	0.000
	当年生主干高 Current annual height	524.698	46	11.406	1.328	0.070
	地径 Basal diameter	341.494	46	7.424	4.447	0.000
误差 Error	株高 Plant height	146 503.525	2 308	63.476		
	当年生主干高 Current annual height	19 823.434	2 308	8.589		
	地径 Basal diameter	3 853.232	2 308	1.670		

源的株高和地径均与地点间存在极显著的交互作用($P<0.01$),表明种源与环境存在互作效应,种源的表现对环境条件敏感。各种源的株高($P<0.01$)、地径($P<0.01$)和当年生主干高($P<0.01$)在不同地点存在极显著差异,因此,各地点应选出适合该地区的优良种源。

2.2 AMMI 模型分析

华北落叶松株高和地径的 $G\times E$ 之间均存在显著

表 4 华北落叶松株高和地径的 AMMI 分析

Table 4 Analysis of variance of height and basal diameter for AMMI model in *Larix principis-rupprechtii*

变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	株高 Plant height		地径 Basal diameter	
		均方 Mean square	F 值 F value	均方 Mean square	F 值 F value
种源 Provenance	23	61.765	2.404 **	1.058	0.739
地点 Site	2	8 685.454	338.051 **	15.739	10.990 **
交互作用 Interaction	46	23.938	0.932	0.795	0.555
交互作用主成分轴 IPCA1	24	32.211	2.159 **	1.379	8.765 **
残差 Residual error	22	14.914		0.157	
误差 Error	216	25.693		1.432	

注:**表示在 0.01 水平显著。

Note:** represents significance at 0.01 level.

分别以种源的株高为横轴,种源和地点的 IPCA1 值为纵轴作双标图,同时在双标图中作 AMMI 分析排序图,以接近平均值的 18 号种源(围场 1~5)及其离差为标准,作通过该点的 2 条直线(图 1)。通过它们的空间位置可以分析其种源特性:13 号(山西浑源)、19 号(围场 1~9)和 24 号(围场 8~74)为高产稳产种源;12 号(山西阳高)、7 号(河北阜平)、16 号(河北围场母树林)和 14 号(围场 8~75)为相对高产稳产种源;6 号(北京种源)和 23 号(围场 7~46)为高产种源,但不稳定;20 号(围场 1~21)和 21 号(围场 1~29)为相对高产种源,但不稳定。

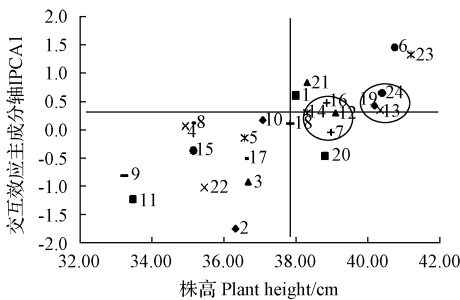


图 1 华北落叶松 24 个种源株高双标图和品种排序

Fig. 1 AMMI plots and taxis plots for height of 24 provenances of *Larix principis-rupprechtii*

2.3 生长适应性评价

为了进一步了解华北落叶松种源在具体环境中的适应情况,进行了优良种源的综合评价和选择,一般通过估算种源在每一试验点的交互作用值来确定其适宜的种植范围。种源株高和效应值等参数见表 5,并根据株高来预测各种源的适生地区。根据丰产性和稳定性参数综合来看,北京种源(6 号)、山西浑源(13 号)、围场

的互作效应,故有必要利用 AMMI 模型对其进行品种稳定性分析(表 4)。结果表明,华北落叶松不同种源间株高差异极显著($P<0.01$),而地径无显著差异;地点间株高和地径也达到了极显著差异($P<0.01$)。交互作用主成分轴(IPCA)显著性分析也表明,株高和地径均达到了极显著水平($P<0.01$)。

1~9(19 号)、7~46(23 号)和 8~74(24 号)在 3 个试验区均表现很好。

表 5 华北落叶松 24 种源株高区域化的综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation on height of 24 provenances of *Larix principis-rupprechtii*

种源编号 No. of provenance	株高 Plant height / cm	效应值 Effect size	变异度 Degree of variation	回归系数 Regression coefficient	适应地区 Adaptative site	综合评价 Comprehensive evaluation
23	41.21	3.64	8.59	0.696	E1~E3	很好 Excellent
6	40.75	3.18	9.98	0.781	E1~E3	很好 Excellent
24	40.40	2.83	8.81	0.651	E1~E3	很好 Excellent
13	40.35	2.78	3.10	0.982	E1~E3	很好 Excellent
19	40.18	2.61	3.32	0.953	E1~E3	很好 Excellent
12	39.10	1.52	2.77	0.984	E1~E3	好 Good
7	38.98	1.40	0.45	0.999	E1~E3	好 Good
16	38.86	1.29	3.32	0.876	E1~E3	好 Good
20	38.81	1.24	3.14	1.091	E1~E3	好 Good
14	38.32	0.75	6.84	1.104	E1~E3	好 Good
21	38.31	0.74	6.29	0.756	E1~E3	好 Good
1	37.99	0.42	4.99	0.802	E1~E3	较好 About good
18	37.86	0.29	2.82	0.906	E1~E3	较好 About good
10	37.07	-0.50	1.76	0.931	E1~E3	较好 About good
3	36.67	-0.90	6.54	1.201	E1~E3	较好 About good
17	36.58	-0.98	3.72	1.126	E1~E3	较好 About good
5	36.58	-0.99	4.66	0.917	E1~E3	较好 About good
2	36.31	-1.26	13.08	1.291	E3	较差 Poor
22	35.46	-2.11	8.15	1.144	E1~E3	一般 Ordinary
15	35.15	-2.42	9.03	1.282	E1~E3	一般 Ordinary
8	35.12	-2.45	3.86	1.063	E1~E3	一般 Ordinary
4	34.93	-2.64	2.32	0.931	E1~E3	一般 Ordinary
11	33.47	-4.09	10.16	1.329	E1~E3	较差 Poor
9	33.23	-4.34	6.48	1.193	E1~E3	较差 Poor

3 结论与讨论

华北落叶松种源在株高和地径方面都与环境存在互作效应,说明基因型只是确定了可能发育的范围,形

成特定的表型是基因型和所处特定环境条件相互作用的结果。环境条件很有可能比基因型对生物量的影响更大,对生物量相关性状的遗传组成和它们与环境的相互作用的认识将对高产基因型的产量非常重要^[16-17]。利用 AMMI 模型对华北落叶松种源的株高和地径进行品种稳定性分析表明,多环境区域性试验中株高和地径的变异主要是由环境导致的。

适应性强的种源其绝对对稳定性必然是很差的,在实践上,并不希望绝对稳定性高,因为绝对稳定性高的种源生长潜力很低^[18]。因此,具有平均稳定性的高产种源山西浑源(13号)和围场1~9(19号)为最佳的选择。

综合生长性状的适应性和稳定性考虑,北京种源(6号)、山西浑源(13号)、围场1~9(19号)、7~46(23号)和8~74(24号)在试验区均表现优良,适于应用推广。在进行华北落叶松造林生产时应选用速生、适应性又好的种源,由于种源造林后的时间限制,该试验仅对1年的生长数据进行了分析,长期稳定的分析还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 姚延梅. 华北落叶松营养元素及酶活性与抗逆性研究[D]. 北京:北京林业大学,2006.
- [2] 王军辉,马常耕,张守攻,等. 华北落叶松生物制浆造纸性能的初步研究[J]. 河北农业大学学报,2008,31(5):15-18,23.
- [3] 孔海燕,温跃戈. 优美的园林观赏树木-华北落叶松[J]. 中国花卉盆景,2002(2):10-11.
- [4] 李文荣,齐力旺,郭晋平,等. 山西华北落叶松地理种源苗期生长与性状变异的分析[J]. 山西农业大学学报,1994,14(4):339-345.
- [5] Zhang X B, Feng J H, Ren J R. Morphological variance and natural types' division of plus trees of *Larix principis-rupprechtii* Mayr[J]. Journal of Forestry Research,2001,12(2):123-127.
- [6] 毛玉琪,张景林,王福森,等. 落叶松引种研究[J]. 林业科学,1998,34

(4):48-58.

- [7] 李进军,马存世. 华北落叶松生长分析[J]. 林业实用技术,2008(10):10-12.
- [8] 马常耕,孙晓梅. 我国落叶松遗传改良现状及发展方向[J]. 世界林业研究,2008,21(3):58-63.
- [9] Karlsson B, Wellendorf H, Roulund H, et al. Genotype×trial interaction and stability across sites in 11 combined provenance and clone experiments with *Picea abies* in Denmark and Sweden[J]. Canadian Journal of Forest Research,2001,31(10):1826-1836.
- [10] Wu H X, Matheson A C. Genotype by environment interactions in an Australia-wide radiata pine diallel mating experiment: implications for regionalized breeding[J]. Forest Science,2005,51(1):29-40.
- [11] Hannrup B, Jansson G, Danell O. Genotype by environment interaction in *Pinus sylvestris* L. in southern Sweden[J]. Silvae Genetica,2008,57(6):306-311.
- [12] Gauch H G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE [J]. Crop Science,2006,46:1488-1500.
- [13] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2006:484-492.
- [14] Gauch H G, Zobel R W. AMMI analysis of yield trials[C]//Kang M S, Gauch H G. Genotype by environment interaction. Boca Raton: CRC Press,1996:85-122.
- [15] Shafii B, Mahler K A, Price W J, et al. Genotype x environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content[J]. Crop Science,1992,32:922-927.
- [16] Bungart R, Huttel R F. Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short-rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget[J]. European Journal of Forest Research,2004,123(2):105-115.
- [17] Rae A M, Pinel M P C, Bastien C, et al. QTL for yield in bioenergy *Populus*: identifying G×E interactions from growth at three contrasting sites[J]. Tree Genetics and Genomes,2008,4:97-112.
- [18] 张国君,张士权,孙宇涵,等. 刺槐优良无性系饲料特性区域化试验初报[J]. 北京林业大学学报,2013,35(5):8-14.

Regional Trial of Provenances of *Larix principis-rupprechtii*

ZHANG Guo-jun¹, WANG Cheng-he¹, ZHAO Min-hua², DAI Bo¹, YANG Jun-ming¹

(1. College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Changli, Hebei 066600; 2. Department of Human Resources, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao, Hebei 066004)

Abstract: A regional trial of 24 provenances (collected from Hebei, Shanxi, Beijing, Gansu and Neimenggu) of *Larix principis-rupprechtii* on three sites (Weichang, Chicheng and Jingle) were assessed in order to select stable superior provenances. Data on height and basal diameter of those 24 provenances were analyzed by additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) model. The results showed that genotype-environment interaction was significant for growth. Based on superior performance in height and stability, provenances Hunyuan (No. 13), Weichang 1—9 (No. 19) and Weichang 8—74 (No. 24) were selected; while provenances Beijing (No. 6) and Weichang 7—46 (No. 23) were superior in height, their stability were ordinary. Considering the genotypic adaptability and stability in growth, provenances Beijing (No. 6), Hunyuan (No. 13), Weichang 1—9 (No. 19), Weichang 7—46 (No. 23) and Weichang 8—74 (No. 24) were both suitable for these three sites.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii*; provenances; regional trials; AMMI