

米老排不同种源的表型性状变异分析

覃 敏, 尹光天, 杨锦昌, 李荣生, 邹文涛

(中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: 以 8 个米老排 *Mytilaria laosensis* 地理种源为研究对象, 采用巢式方差分析、变异系数分析、多重比较、相关性分析和聚类分析(UPGMA)等多种分析方法, 对 7 个表型性状(叶片长、叶片宽、叶长宽比、叶形、树干通直度、树皮颜色和树皮形状)进行研究, 探讨米老排种源间和种源内的表型变异规律。结果表明: 米老排各表型性状在种源间和种源内均存在较丰富的变异, 种源内变异(18.08%)大于种源间变异(5.68%), 种源间平均表型分化系数为 35.10%。在 7 个表型性状中, 树皮颜色的变异系数值最大(21.16%), 叶长宽比的最小(11.26%); 在不同种源之间, 广西德保种源性状变异平均变异系数值最大(18.41%), 广西龙州种源最小(16.10%)。米老排的树皮颜色随纬度增加而由深向浅变异, 叶片则随纬度增加叶面积越大。8 个米老排种源可划分为 3 个种源分布区, 即东部的广东封开种源区, 中部的广西上思和防城种源区, 西部的广西德保、靖西、凭祥和龙州种源区。米老排表型性状的变异主要来源于种源内家系间, 而且主要是因纬度变化而导致变异。图 1 表 6 参 30

关键词: 林木育种学; 米老排; 种源; 表型性状; 变异系数; 相关性分析

中图分类号: S722.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)01-0112-08

Phenotypic trait variation for different provenances of *Mytilaria laosensis*

QIN Min, YIN Guangtian, YANG Jinchang, LI Rongsheng, ZOU Wentao

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: To probe the variation in phenotypic traits among and within provenances of *Mytilaria laosensis* Lecomte, seven phenotypic traits (leaf length, leaf width, ratio of leaf length to leaf width, leaf shape, degree of trunk straightness, color, and shape of bark) of eight provenances were tested, using nested analysis of variance, coefficient of variation (CV), multiple comparison, correlation analysis, and cluster analysis (UPGMA) to analyze the results. Results showed significant differences in phenotypic traits among and within provenances ($P=0.05$). Variation was greater within provenance (18.08%) than among provenances (5.68%), with the mean phenotypic differentiation coefficient among provenances being 35.1%. For the seven phenotypic traits, the CV of bark color was largest (21.16%) and the ratio of leaf length to leaf width was smallest (11.26%); among different provenances, the average CV for all traits revealed that Guangxi Debao Provenance was the largest (18.41%) and Guangxi Longzhou Provenance was smallest (16.10%). The bark color of *M. laosensis* with increasing latitudes varied from deep to shallow, and leaves had greater leaf area with increasing latitudes. The eight provenances could be divided into three source distribution areas including Guangdong Fengkai Provenance in the eastern part, Guangxi Fangcheng and Guangxi Shangsi Provenances in the central area, and Guangxi Debao, Guangxi Jingxi, Guangxi Longzhou, and Guangxi Pingxiang Provenances in the western section. This suggested that the main source of phenotypic variation in *M. laosensis* was from pedigrees within provenances, and the main variation was caused by the change in latitude. [Ch, 1 fig. 6 tab. 30 ref.]

Key words: forest tree breeding; *Mytilaria laosensis*; provenance; phenotypic trait; coefficient of variation; cor-

收稿日期: 2016-02-21; 修回日期: 2016-04-08

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201204304); 广东省林业科技创新专项(2012KJCX001-05)

作者简介: 覃敏, 从事森林培育研究。E-mail: 172694115@qq.com。通信作者: 尹光天, 研究员, 从事森林培育研究。E-mail: yinguangtian@126.com

relation analysis

米老排 *Mytilaria laosensis* 别名壳菜果、米显灵、三角枫、马蹄荷、山油桐, 为金缕梅科 Hamamelidaceae 壳菜果属 *Mytilaria* 常绿大乔木, 是南亚热带地区的珍贵阔叶乡土树种^[1], 天然分布于中国云南南部、广西西南部和广东西部。越南北部和老挝也有分布^[2]。米老排生长快、成材早、干性通直、材质优良、适应性较广、抗性强, 是优良的制浆造纸、家具和建筑原料^[3]; 同时, 米老排能改良土壤理化性质, 并可作为防火树种^[4], 具有重要的生态利用价值, 已成为华南重要的生态经济型树种。目前, 对米老排的研究主要集中在天然群体遗传多样性^[5]、幼苗培育^[6]、人工林生长规律^[7]和混交林对土壤的影响^[8]等方面, 而在米老排表型变异方面的研究, 仅见袁洁等^[9]研究了天然群体的种实表型变异, 对种源试验林表型变异的研究鲜见报道。近年来, 有学者对麻疯树 *Jatropha curcas*^[10], 木荷 *Schima superba*^[11], 毛红椿 *Toona ciliata*^[12], 苦楝 *Melia azedarach*^[13], 山核桃 *Carya dabieshanensis*^[14], 枫香 *Liquidambar formosana*^[15], 梭梭 *Haloxylon ammodendron*^[16], 南酸枣 *Choerospondias axillaris*^[17], 黄山松 *Pinus taiwanensis*^[18], 红楠 *Machilus thunbergii*^[19], 花楸树 *Sorbus pohuashanensis*^[20], 拟单性木兰 *Parakmeria latungensis*^[21], 麻栎 *Quercus acutissima*^[22]等树种设置不同种源试验并对其表型性状进行了研究, 认为表型变异的分析方法可以系统地揭示种源间的遗传变异规律和检测植物对不同环境的适应水平, 进而为当地生境筛选出优良繁育材料^[23-24]。因此, 研究不同种源的表型变异, 有助于全面准确地了解不同种源遗传变异规律和种源内个体的形态变异, 为优良种源的选育和种质创新提供理论依据^[25]。本研究利用已建米老排种源试验林, 对不同地理种源米老排的干形特征、叶部性状和树皮性状等表型特征进行了分析, 以期揭示米老排表型性状在种源间、种源内的变异特点和地理变异规律及其与生态因子的相关性, 为选择米老排优良种源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

研究地点位于广东省西江林业局西江林场, 地处 23°27'N, 111°30'E。林区立地条件优越, 属亚热带气候。年平均气温为 21.6 °C, 最高气温 36.2 °C, 年平均降水量 1 600 mm, 年平均湿度 82%; 海拔为 100~680 m。土壤多为赤红壤。

供试的 8 个种源来自其自然分布区的广西和广东, 共采集了 101 个家系。各种源产地及地理概况见表 1。于 2010 年营造米老排种源/家系试验林, 试验林采用随机区组设计, 单株小区, 设 30 个区组, 株行距为 3 m × 3 m, 区组外围均设保护行 1 行·区组⁻¹。

1.2 试验方法

2014 年 11 月在米老排种源试验林 30 个区组中随机抽取 6 个区组, 调查其干形、叶片和树皮的 7 个形态性状。在植株上随机摘取中上部南侧枝条上的 1 年生叶片 6 片, 用直尺测量叶片长和叶片宽。叶形分为无裂、浅裂和深裂, 分别用 1, 2, 3 表示。树皮颜色(对照比色卡)分为灰绿、灰褐和暗灰褐色, 分别用 1, 2, 3 表示, 树皮形状即表面皮孔稀疏型、表面皮孔中等型和表面皮孔密集型, 分别用 1, 2, 3 表示。干形划分标准根据主干通直圆满, 主干直、不圆满, 主干弯曲按通直等级分为 I, II, III 级, 用数字 3, 2, 1 表示。

1.3 数据处理

采用变异系数(C_v)表示性状的离散程度, $C_v = S/\bar{x} \times 100\%$, 其中 S 为表型标准差, $\bar{x}$ 为某一性状群体平均值。应用巢式方差分析揭示 7 个性状的变异规律^[26]。树干通直度、树皮颜色、树皮形状、叶形等性状的值经 $\sqrt{x}$ 转换后再进行方差分析。 V_{st} 为表型分化系数, 表示种源间变异占遗传总变异的百分比, 其计算公式: $V_{st} = (\sigma_{ts}^2) / (\sigma_{ts}^2 + \sigma_s^2) \times 100\%$, 其中 σ_{ts}^2 为种源间方差分量, σ_s^2 为种源内方差分量^[27]。利用 Pearson 系数计算表型性状间的相关性, 并对种源间各性状进行 UPGMA 聚类。以上数据处理均使用 SPSS 18.0 统计分析和 Excel 2007 软件。

表 1 米老排 8 个种源地理位置概况

Table 1 Geographic location information of 8 provenances of *Mytilaria laosensis*

种源编号	产地	北纬	东经	海拔/m	年均气温/℃	年降水量/mm	采集数/株
GDFK	广东封开	23°27′	111°54′	436	20.7	1 740.0	3
GXDB	广西德保	23°03′	106°40′	743	19.5	1 462.0	20
GXFC	广西防城	21°52′	107°33′	483	22.0	2 822.9	3
GXJX	广西靖西	23°03′	106°36′	761	19.3	1 631.9	24
GXLZ	广西龙州	22°16′	106°43′	526	22.1	1 344.0	3
GXPX	广西凭祥	22°02′	106°52′	450	21.4	1 772.0	9
GXXR	广西容县	22°41′	110°49′	541	21.3	1 660.0	15
GXSS	广西上思	21°53′	107°54′	412	21.5	1 218.0	24

2 结果与分析

2.1 米老排种源间及种源内的表型变异

米老排作为华南重要的生态经济型树种，其叶片和树干通直度等性状在选种上具有重要意义，因为叶片的大小与防火性能直接相关，而树干通直度则影响林木的树干形质。米老排种源间及种源内表型性状的方差分析结果见表 2。种源间的 F 值为 2.70~21.47，经过显著性检验显示，除树干通直度在种源间的差异达到显著水平($P<0.05$)外，其他 6 个性状的差异均达到极显著水平($P<0.01$)。种源内的 F 值为 1.08~5.69，显著性检验显示，米老排的叶片长、叶片宽和叶长宽比 3 个性状存在极显著差异($P<0.01$)，叶形存在显著差异($P<0.05$)。结果表明米老排表型性状在种源间和种源内均存在广泛的变异，不同地理种源的遗传分化显著，优良种源/家系具有很大的选择潜力。

表 2 米老排种源间和种源内表型性状方差分析

Table 2 Variance analysis results of phenotypic traits among and within provenances of *M. laosensis*

性状	均方(自由度)			F 值	
	种源间(7)	种源内(93)	误差(466)	种源间	种源内
叶片长	38.507	12.475	2.25	17.12**	5.55**
叶片宽	68.594	18.186	3.19	21.47**	5.69**
叶长宽比	0.167	0.044	0.01	16.75**	4.37**
叶形	0.295	0.084	0.06	4.72**	1.34*
通直度	0.186	0.077	0.07	2.70*	1.11
树皮颜色	0.209	0.086	0.07	2.85**	1.17
树皮形状	0.136	0.051	0.05	2.90**	1.08

说明：* 为 $P<0.05$ ；** 为 $P<0.01$ 。

2.1.1 表型性状平均值 不同种源米老排表型性状均值的多重比较(表 3)检验表明：7 个表型性状在种源间存在显著差异($P<0.05$)。广东封开种源的叶片长和叶片宽最大，分别达到 14.26 cm 和 16.87 cm，叶片长宽比和树皮颜色最小，仅 0.85 和 1.19；广西上思种源的叶形和树皮颜色最大，分别达到 1.39 和 1.37，叶片长、叶片宽和树干通直度最小，仅 11.98 cm，12.99 cm 和 1.22；广西凭祥种源树干通直度和树皮形状最大，分别达到 1.39 和 1.52；广西容县种源的叶片长宽比最大，达到 1.01；广西防城种源的叶形和树皮形状最小，分别为 1.22 和 1.33。

2.1.2 表型性状变异系数 变异系数可以反映性状在种源间和种源内的离散程度，数值越小则性状越稳定。米老排各性状的变异系数见表 4。不同性状间的平均变异系数为 11.26%~21.16%，其中变异系数最大的是树皮颜色(21.16%)，其次依次为树干通直度(20.92%)，叶形(20.04%)，叶片宽(15.61%)，树皮形状(15.14%)，叶片长(14.86%)，叶长宽比变异系数最小，为 11.26%。除树皮形状外，树皮性状和干形特征的变异系数明显高于叶部性状，说明叶部性状的遗传稳定性较高。同一性状在不同种源间的变异系数也存在差异，8 个种源米老排表型性状平均变异系数中广西德保种源变异系数值最大(18.41%)，广西龙州种源变异系数值最小(16.10%)，说明广西德保种源的表型多样性较高，可能是米老排表型多样性

表 3 米老排不同种源表型性状的均值和标准差及多重比较

Table 3 Mean value and standard deviation and multiple comparisons from different provenances of <i>Mytilaria laosensis</i>							
种源	叶片长/cm	叶片宽/cm	叶片长宽比	叶形	通直度	树皮颜色	树皮形状
GDFK	14.26 ± 2.36 ab	16.87 ± 2.73 a	0.85 ± 0.05 c	1.25 ± 0.26 b	1.34 ± 0.34 ab	1.19 ± 0.21 b	1.39 ± 0.26 bc
GXDB	13.33 ± 2.46 ab	15.12 ± 2.87 abc	0.89 ± 0.12b c	1.22 ± 0.24 b	1.29 ± 0.27 ab	1.24 ± 0.25 ab	1.43 ± 0.24 abc
GXFC	12.05 ± 1.62 c	13.23 ± 1.68 d	0.91 ± 0.08 bc	1.22 ± 0.24 b	1.30 ± 0.25 ab	1.36 ± 0.31 a	1.33 ± 0.24 c
GXJX	12.57 ± 1.64 bc	14.15 ± 2.22 cd	0.90 ± 0.09 bc	1.32 ± 0.25 ab	1.31 ± 0.27 ab	1.33 ± 0.28 a	1.46 ± 0.23 ab
GXLZ	13.94 ± 1.47 a	15.64 ± 1.97 ab	0.90 ± 0.08 bc	1.29 ± 0.27 ab	1.36 ± 0.30 ab	1.32 ± 0.33 a	1.47 ± 0.18 ab
GXPX	12.65 ± 2.08 bc	14.53 ± 1.92 bc	0.87 ± 0.10 c	1.34 ± 0.27 ab	1.39 ± 0.27 a	1.33 ± 0.28 a	1.52 ± 0.20 a
GXRX	13.89 ± 1.95 a	14.02 ± 2.42 cd	1.01 ± 0.14 a	1.30 ± 0.28 ab	1.33 ± 0.24 ab	1.27 ± 0.27 ab	1.51 ± 0.19 a
GXSS	11.98 ± 1.96 c	12.99 ± 2.38 d	0.94 ± 0.16 b	1.39 ± 0.25 a	1.22 ± 0.26 a	1.37 ± 0.29 a	1.51 ± 0.21 a
平均	12.94 ± 2.09	14.31 ± 2.55	0.92 ± 0.13	1.31 ± 0.26	1.30 ± 0.27	1.31 ± 0.28	1.47 ± 0.22

说明：同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 4 米老排不同种源表型性状的变异系数

Table 4 Coefficient of variation of phenotypic traits of different provenances of <i>M. laosensis</i>								
种源	叶片长	叶片宽	叶片长宽比	叶形	通直度	树皮颜色	树皮形状	平均
GDFK	16.55	16.18	5.88	20.80	25.37	17.65	18.71	17.31
GXDB	18.44	18.87	13.97	19.48	20.91	20.24	16.98	18.41
GXFC	13.44	12.73	8.54	19.84	19.55	22.57	18.06	16.39
GXJX	13.02	15.70	9.97	19.25	20.35	21.04	15.85	16.45
GXLZ	10.58	12.57	8.93	21.06	22.28	24.77	12.53	16.10
GXPX	16.46	13.21	11.38	20.11	19.54	21.19	12.91	16.40
GXRX	14.08	17.28	14.03	21.49	18.44	21.01	12.32	16.95
GXSS	16.32	18.33	17.41	18.28	20.94	20.80	13.76	17.98
平均	14.86	15.61	11.26	20.04	20.92	21.16	15.14	17.00

中心。

2.1.3 种源间表型分化 根据巢式方差分析结果，计算出米老排 7 个表型性状在种源间和种源内的方差分量和表型分化系数，来说明种源间和种源内的变异在总变异中的比例(表 5)。结果表明：种源间的方差分量占总变异的 5.68%，种源内的方差分量占总变异的 18.08%，而机误占总变异的 76.24%；7 个性状的表型分化系数变异范围为 13.33%~66.67%，其中树皮形状的表型分化最大(66.67%)，叶片长的表型分化最小(13.33%)。种源间的平均表型分化系数为 35.10%，表明米老排种源的表型性状变异主要来源于种源内。

2.2 米老排种源各表型性状间及其与生态因子的相关性分析

树木生长过程中的外部形态特征除与自身遗传特性有关外，受生态因子影响还演变出其自身的地理种源变异规律^[21]。对米老排 7 个表型性状间及其与生态因子的相关性分析结果(表 6)表明，叶片长与叶

表 5 米老排各性状的方差分量及种源间表型分化系数

Table 5 Variance component and phenotypic differentiation coefficient among different provenances of <i>M. laosensis</i>							
性状	方差分量			方差分量百分比/%			表型分化系数/%
	种源间	种源内	机误	种源间	种源内	机误	
叶片长	0.276	1.794	2.248	6.39	41.55	52.06	13.33
叶片宽	0.844	2.667	3.194	12.59	39.78	47.64	24.04
叶长宽比	0.002	0.006	0.010	11.11	33.33	55.56	25.00
叶形	0.002	0.004	0.062	2.94	5.88	91.18	33.33
通直度	0.001	0.001	0.069	1.41	1.41	97.18	50.00
树皮颜色	0.001	0.002	0.073	1.32	2.63	96.05	33.33
树皮形状	0.002	0.001	0.047	4.00	2.00	94.00	66.67
平均				5.68	18.08	76.24	35.10

片宽, 叶形与树皮颜色均呈显著相关($P<0.05$), 而叶片长、叶片宽均与树皮颜色呈显著负相关($P<0.05$)。叶片长和叶片宽与纬度呈显著正相关($P<0.05$); 树皮颜色与纬度呈极显著负相关($P<0.01$), 说明米老排的树皮颜色越往北颜色越浅, 而米老排的叶片越往北则越大。树皮形状与年降水量呈显著负相关($P<0.05$), 说明年降水量越大, 树皮的皮孔越稀疏。

表6 米老排表型性状间及其与生态因子的相关性

Table 6 Correlations among phenotypic traits and correlations between phenotypic traits and ecological factors

性状	叶片宽	叶长宽比	叶形	通直度	树皮颜色	树皮形状	北纬	东经	海拔/m	年均气温	年降水量
叶片长	0.834*	-0.081	-0.364	0.498	-0.832*	0.035	0.634*	0.561	0.050	-0.065	-0.319
叶片宽		-0.615	-0.421	0.534	-0.818*	-0.161	0.675*	0.355	0.049	-0.212	-0.256
叶长宽比			0.276	-0.329	0.269	0.363	-0.286	0.190	-0.026	0.259	-0.054
叶形				-0.146	0.526	0.818*	-0.402	-0.143	-0.285	0.153	-0.513
通直度					-0.242	0.105	0.077	0.031	-0.087	0.200	0.129
树皮颜色						0.175	-0.855**	-0.632	-0.167	0.411	0.193
树皮形状							-0.167	-0.094	-0.050	0.001	-0.723*

说明: * 为 $P<0.05$; ** 为 $P<0.01$ 。

2.3 8个米老排种源的聚类分析结果

为了研究米老排种源间的相似性, 基于米老排7个表型性状的欧氏距离进行UPGMA聚类(图1)。由图1可以看出: 以欧式距离10为阈值进行划分, 8个米老排种源可以分为3类: 第1类包括广东封开1个种源, 第2类包括广西防城和广西上思2个种源, 第3类包括广西德保、广西龙州、广西靖西、广西凭祥和广西容县等5个种源。聚类分析结果表明, 除广西容县种源外, 米老排的分布区从地理上可以划为3个区域, 即东部的广东封开种源区, 中部的广西上思和防城种源区, 西部的广西德保、靖西、凭祥和龙州种源区。

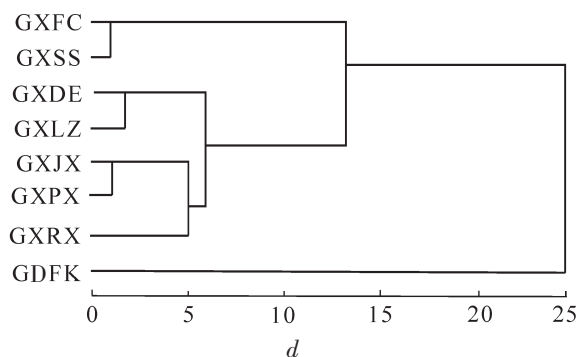


图1 基于表型性状变异的8个米老排种源聚类分析结果

Figure 1 Cluster analysis result of 8 provenances of *Mytilaria laosensis* based on phenotypic trait variation

3 结论与讨论

3.1 米老排种源的表型性状变异来源

通过对8个米老排种源的7个表型性状的研究发现, 米老排种源间叶片长、叶片宽、叶长宽比、叶形、树皮形状和树皮颜色6个性状存在极显著的差异, 树干通直度的差异也达到显著水平; 种源内叶片长、叶片宽和叶长宽比均存在极显著的差异, 叶形存在显著差异。米老排种源内7个性状的平均方差分量为18.08%, 大于种源间的方差分量(5.68%), 而各性状在种源间的平均表型分化系数为35.10%, 表明米老排种源内的多样性程度高于种源间, 其主要变异来源于种源内。该结果与花楸树^[20]、麻栎^[22]等树种研究得出的结果一致。同时也说明, 米老排种源内存在丰富的遗传变异, 遗传改良潜力大, 能为优良种源和家系的选择提供基础。简单序列重复间(ISSR)^[28]与简单序列重复(SSR)分子标记技术^[5]分析结果也表明, 米老排的遗传变异主要来自于种源内。但2种分子标记分析结果与表型性状分析的结果相比差异较大, 这说明因为环境效应影响而产生的表型和分子变异的程度存在一定差异^[29]。

3.2 米老排种源的表型多样性

米老排不同性状的变异幅度为11.26%~21.16%, 变异系数最大的是树皮颜色, 叶长宽比变异系数最小, 表明在7个性状中树皮颜色的稳定性较差, 这可能是由于不同植株个体发育差异引起的; 叶长宽比是相对比较稳定的性状, 说明米老排叶片大小比例比较协调、稳定。米老排种源间各性状的平均变异系数为17.00%, 表明米老排种源内表型性状离散程度较高。种源间各性状的平均变异系数也存在差异, 其中变异系数最大的是广西德保种源(18.41%), 说明广西德保种源的表型多样性较高。而造成这种种源间的差异, 主要是由遗传和环境共同作用造成的结果。米老排种源间存在的这些显著差异表明其种源间

不同个体所受遗传控制差异和环境压力差异比较大, 进而呈现出不同的表型变异, 这些变异有利于进行米老排的良好选育。

3.3 米老排不同种源间表型性状与生态因子的关系

米老排表型性状与生态因子关系的分析结果表明, 米老排的树皮颜色越往北颜色越浅, 叶片越往北则越大。初步判断米老排的地理变异与红楠^[19]、木荷^[11]、杉木 *Cunninghamia lanceolata*^[30]等树种一样, 是以地理纬度为主的渐变模式。米老排树皮形状与降雨量呈显著负相关, 说明降水量越大的地方, 树皮的皮孔越稀疏。而经度、海拔和年均气温与米老排表型性状没有显著相关关系, 说明这 3 个因子对米老排表型变异的影响较小。

3.4 米老排种源分布区划分

基于表型性状聚类分析的结果, 可将米老排不同种源划分为 3 个区域, 包括广东封开东部种源区, 其种源叶片长、叶片宽数值最大, 而树皮颜色数值最小; 广西上思和防城中部种源区, 其种源叶片长、叶片宽数值最小, 而树皮颜色数值最大; 广西德保、靖西、凭祥、龙州和容县西部种源区, 其种源叶片长、叶片宽、树皮颜色数值均中等。虽然广西容县种源与西部的 4 个种源聚在一起, 但在地理分布上与西部种源区却无明显相关性, 这可能与其所受环境压力不同有关^[31]。其他不同种源表型性状聚类大多与地理种源区划相一致。进一步对 8 个种源的经度和纬度进行聚类, 结果表明 8 个种源可以划分为 4 类, 其中广东封开和广西容县种源各聚为一类, 广西防城和广西上思种源聚为一类, 其他 4 个广西种源聚为一类, 这与以表型性状进行聚类得出的结果相近, 说明米老排的种源区划具有一定的科学性和可靠性, 可为开展米老排遗传改良的材料选择提供一定的参考。

4 参考文献

- [1] 裴珍飞, 曾炳山, 李湘阳, 等. 米老排的组织培养和快速繁殖[J]. 植物生理学报, 2013, **49**(10): 1077 – 1081.
QIU Zhenfei, ZENG Bingshan, LI Xiangyang, *et al.* Tissue culture and rapid propagation of *Mytilaria laosensis* Lecomte [J]. *Plant Physiol J*, 2013, **49**(10): 1077 – 1081.
- [2] 黄正曦, 王顺峰, 姜仪民, 等. 米老排的研究进展及其开发利用前景[J]. 广西农业科学, 2009, **40**(9): 1220 – 1223.
HUANG Zhengtun, WANG Shunfeng, JIANG Yimin, *et al.* Exploitation and utilization prospects of eximious native tree species *Mytilaria laosensis* [J]. *Guangxi Agric Sci*, 2009, **40**(9): 1220 – 1223.
- [3] 吴庄, 李志军, 刘光良, 等. 速生材制化学机械浆(CMP)系列研究(I)米老排材制化学机械浆的研究[J]. 林产化工通讯, 1992(4): 2 – 5.
WU Zhuang, LI Zhijun, LIU Guangliang, *et al.* A series of studies on fast-growing material chemi-mechanical pulp (CMP)(I)material CMP research of *Mytilaria laosensis* [J]. *Chem Ind For*, 1992(4): 2 – 5.
- [4] 郭福泰. 米老排生长与土壤条件的关系及防火林带生态效益的研究[J]. 福建林业科技, 1998, **25**(2): 45 – 50.
GUO Futai. Studies on the relation between *Mytilaria laosensis* fire prevention forest growth and soil condition and on the ecological benefit of the forest [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 1998, **25**(2): 45 – 50.
- [5] 袁洁. 8 个米老排天然群体的遗传多样性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
YUAN Jie. *Study on Genetic Diversity of Eight Natural Populations of Mytilaria laosensis* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2014.
- [6] 闫彩霞, 杨锦昌, 尹光天, 等. 供氮方式及水平对米老排苗期生长动态的影响[J]. 东北林业大学学报, 2015, **43**(5): 11 – 16.
YAN Caixia, YANG Jinchang, YIN Guangtian, *et al.* Effects of different nitrogen loading regimes and levels on growth dynamic of *Mytilaria laosensis* seedlings [J]. *J Northeast For Univ*, 2015, **43**(5): 11 – 16.
- [7] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 米老排人工林生长规律的研究[J]. 林业科学研究, 2006, **19**(5): 585 – 589.
GUO Wenfu, CAI Daoxiong, JIA Hongyan, *et al.* Growth laws of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. *For Res*, 2006, **19**(5): 585 – 589.
- [8] 明安刚, 刘世荣, 农友, 等. 南亚热带 3 种阔叶树种人工幼龄纯林及其混交林碳储量比较[J]. 生态学报, 2015, **35**(1): 180 – 188.
MING Angang, LIU Shirong, NONG You, *et al.* Comparison of carbon storage in juvenile monoculture and mixed plantation stands of three common broadleaved tree species in subtropical China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(1): 180

– 188.

- [9] 袁洁, 尹光天, 杨锦昌, 等. 米老排天然群体的种实表型变异研究初报[J]. 热带作物学报, 2013, **34**(10): 2057 – 2062.
- YUAN Jie, YIN Guangtian, YANG Jinchang, *et al.* Phenotypic diversity of seeds and fruits in natural populations of *Mytilaria laosensis* [J]. *Chin J Trop Crop*, 2013, **34**(10): 2057 – 2062.
- [10] 惠文凯, 陈晓阳, 刘明骞, 等. 麻风树种源间种实性状变异研究[J]. 北京林业大学学报, 2014(3): 110 – 114.
- HUI Wenkai, CHEN Xiaoyang, LIU Mingqian, *et al.* Variations of fruit and seed traits of *Jatropha curcas* L. among provenance [J]. *J Beijing For Univ*, 2014, **36**(3): 110 – 114.
- [11] 曾志光, 肖复明, 包国华, 等. 木荷地理种源苗期性状遗传变异研究[J]. 林业科学研究, 2005, **18**(1): 27 – 30.
- ZENG Zhiguang, XIAO Fuming, BAO Guohua, *et al.* A study on variations of seedling traits in *Schima superba* geographic provenances [J]. *For Res*, 2005, **18**(1): 27 – 30.
- [12] 刘军, 张海燕, 姜景民, 等. 毛红椿种实和苗期生长性状地理种源变异[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, **35**(3): 55 – 59.
- LIU Jun, ZHANG Haiyan, JIANG Jingmin, *et al.* Geographic variation of seed/fruit and seedling growing traits in *Toona ciliate* var. *pubescens* [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2011, **35**(3): 55 – 59.
- [13] 陈丽君, 邓小梅, 丁美美, 等. 苦楝种源果核及种子性状地理变异的研究[J]. 北京林业大学学报, 2014, **36**(1): 15 – 20.
- CHEN Lijun, DENG Xiaomei, DING Meimei, *et al.* Geographic variation in traits of fruit stones and seeds of *Melia azedarach* [J]. *J Beijing For Univ*, 2014, **36**(1): 15 – 20.
- [14] 夏国华, 朱先富, 俞春莲, 等. 不同地理种源大别山山核桃坚果表型性状和脂肪酸组分分析[J]. 果树学报, 2014, **31**(3): 370 – 377.
- XIA Guohua, ZHU Xianfu, YU Chunlian, *et al.* Variability of phenotypic characters and fatty acid composition of endemic hickory nuts (*Carya dabieshanensis*) from different geographical provenances [J]. *J Fruit Sci*, 2014, **31**(3): 370 – 377.
- [15] 何贵平, 陈益泰, 唐雪元, 等. 枫香地理种源幼林生长性状变异研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, **27**(4): 585 – 589.
- HE Guiping, CHEN Yitai, TANG Xueyuan, *et al.* A study on variations of young forest growing traits in *Liquidambar formosana* geographic provenances [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2005, **27**(4): 585 – 589.
- [16] 王葆芳, 张景波, 杨晓晖, 等. 梭梭不同种源间种子性状和幼苗生长性状与地理和气候因子的关系[J]. 植物资源与环境学报, 2009, **18**(1): 28 – 35.
- WANG Baofang, ZHANG Jingbo, YANG Xiaohui, *et al.* Relationship of seed characters and seedling growth traits of *Haloxylon ammodendron* from different provenances with geographical and climatic factors [J]. *J Plant Resour Environ*, 2009, **18**(1): 28 – 35.
- [17] 何贵平, 陈益泰, 余元华, 等. 南酸枣地理种源幼林生长性状变异研究[J]. 林业科学研究, 2007, **20**(1): 40 – 44.
- HE Guiping, CHEN Yitai, YU Yuanhua, *et al.* Study on variations of young forest growing traits of *Choerospondias axillaris* geographic provenances [J]. *For Res*, 2007, **20**(1): 40 – 44.
- [18] 范义荣, 童再康, 陈科风, 等. 黄山松地理种源性状的变异规律[J]. 浙江林学院学报, 1991, **8**(4): 418 – 427.
- FAN Yirong, TONG Zaikang, CHEN Kefeng, *et al.* The patterns of trait variation of Taiwan pine provenances [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1991, **8**(4): 418 – 427.
- [19] 姜荣波, 刘军, 姜景民, 等. 红楠主要表型和苗期性状地理种源变异[J]. 东北林业大学学报, 2011, **39**(5): 9 – 11.
- JIANG Rongbo, LIU Jun, JIANG Jingmin, *et al.* Geographical variation in main phenotypic traits and seedling traits of *Machilus thunbergii* [J]. *J Northeast For Univ*, 2011, **39**(5): 9 – 11.
- [20] 郑健, 胡增辉, 郑勇奇, 等. 花椒树种源间表型性状的地理变异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2012, **21**(3): 50 – 56.
- ZHENG Jian, HU Zenghui, ZHENG Yongqi, *et al.* Analysis on geographic variation of phenotypic traits of *Sorbus po huashanensis* among different provenances [J]. *J Plant Resour Environ*, 2012, **21**(3): 50 – 56.
- [21] 刘军, 姜景民, 刘昭忠, 等. 乐东拟单性木兰地理种源变异与选择研究[J]. 林业科学研究, 2012, **25**(5): 564 – 568.
- LIU Jun, JIANG Jingmin, LIU Zhaoxi, *et al.* Research on geological provenances variation and selection of *Parak-*

- meria latungensis* [J]. *For Res*, 2012, **25**(5): 564 – 568.
- [22] 张元燕, 虞木奎, 方炎明. 麻栎不同种源的表型性状变异分析[J]. 植物资源与环境学报 2014, **23**(3): 36 – 44.
ZHANG Yuanyan, YU Mukui, FANG Yanming. Analysis on phenotypic trait variation of different provenances of *Quercus acutissima* [J]. *J Plant Resour Environ*, 2014, **23**(3): 36 – 44.
- [23] SCHMIDTLING R C. Use of provenance tests to predict response to climatic change: loblolly pine and Norway spruce [J]. *Tree Physiol*, 1994, **14**(7/9): 805 – 817.
- [24] MÁTYÁS C. Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests [J]. *Euphytica*, 1996, **92**(1): 45 – 54.
- [25] 李梅, 韩海荣, 康峰峰, 等. 山西灵空山辽东栎种群叶性状表型变异研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, **27**(5): 10 – 16.
LI Mei, HAN Hairong, KANG Fengfeng, *et al.* Morphologic variation of leaves of *Quercus liaotungensis* Koidz. in Lingkong Mountain, Shanxi Province [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27**(5): 10 – 16.
- [26] 李斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性, 2002, **10**(2): 181 – 188.
LI Bin, GU Wanchun, LU Baoming. A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana* [J]. *Biodiversity Sci*, 2002, **10**(2): 181 – 188.
- [27] 葛颂, 王明庥, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构[J]. 林业科学, 1988, **24**(4): 399 – 409.
GE Song, WANG Mingxiu, CHEN Yuewu, *et al.* An analysis of population genetic structure of masson pine by isozyme technique [J]. *Sic Silv Sin*, 1988, **24**(4): 399 – 409.
- [28] 彭继庆, 曹福祥, 许若娴. 广西壳菜果遗传多样性的 ISSR 研究[J]. 湖南师范大学(自然科学学报), 2012, **35**(1): 61 – 65.
PENG Jiqing, CAO Fuxiang, XU Ruoxian. Genetic diversity of the *Mytilaria laosensis* in Guangxi Detected by ISSR markers [J]. *J Nat Sci Hunan Norm Univ*, 2012, **35**(1): 61 – 65.
- [29] GÖMÖRY D, FOFFOVÁ E, KMEET J, *et al.* Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] provenance variation in autumn cold hardiness: adaptation or acclimation [J]. *Acta Biol Cracoviensia S Bot*, 2010, **52**(2): 42 – 49.
- [30] 洪昌端, 沈辛作, 陈天霞, 等. 杉木种源木材密度的遗传变异与选择[J]. 浙江林学院学报, 1992, **9**(3): 246 – 252.
HONG Changduan, SHEN Xinzuo, CHEN Tianxia, *et al.* Genetic variation and selection on the wood specific gravity of Chinese fir provenance [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1992, **9**(3): 246 – 252.
- [31] XU Fei, GUO Weihua, XU Weihong, *et al.* Habitat effects on leaf morphological plasticity in *Quercus acutissima* [J]. *Acta Biol Cracov Ser Bot*, 2008, **50**(2): 19 – 26.