

山西霍山五角枫不同海拔种群的表型多样性研究

姬志峰, 高亚卉, 李 乐, 毛思雪, 赵 亮, 耿全英, 王祎玲*

(山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041000)

摘 要: 为了揭示山西五角枫 (*Acer mono* Maxim.) 不同海拔种群表型变异程度和变异规律, 采用巢式方差分析、主成分分析、相关分析、聚类分析方法对 7 个种群 200 个个体的叶片、果实和种子 22 个表型性状进行多样性分析。结果表明: 五角枫不同种群表型性状存在着丰富的遗传差异, 种群间表型分化系数为 42.61%, 表型变异系数 (CV) 在 7.98%~33.41% 之间, 7 个不同海拔种群的 Shannon-Wiener 信息指数和 Simpson 遗传多样性指数分别为 2.0164 和 0.8316, 表明五角枫具有较高的表型多样性。主成分分析结果表明, 4 个主成分对变异的累计贡献率达 94.39%, 其中果实、叶片贡献率大于种子贡献率。22 个表型性状及表型多样性指数与土壤中的钾、磷、pH、速效氮、速效钾、速效磷、土壤有机质、含水量表现出显著或极显著的相关性, 说明微生境对其遗传变异的影响。利用群体间欧式距离进行系统聚类分析, 可以将 7 个五角枫种群分为两大类。

关键词: 五角枫; 表型多样性; 天然种群

中图分类号: S 687

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2012) 11-2217-12

Phenotypic Diversity of Populations of *Acer mono* in Huoshan Mountain of Shanxi at Different Altitude

Ji Zhi-feng, GAO Ya-hui, LI Le, MAO Si-xue, ZHAO Liang, GENG Quan-ying, and WANG Yi-ling*

(College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: This study was conducted to determine phenotypic variation of *Acer mono* Maxim at different altitude and found out the relationship between phenotypic variation and microenvironment in Shanxi. We used nested analysis, principal component analysis, correlation analysis, cluster analysis, variance analysis and multi-comparison to analyze the 22 phenotypic traits for 200 individuals in 7 populations of *Acer mono* Maxim. The results showed that there were significantly differences in genetic variation in phenotypic traits. Mean phenotypic differentiation coefficient among populations was 42.61%. Coefficient of variation of 22 phenotypic traits varied from 7.98% to 33.41%. Shannon-Wiener information index and Simpson genetic diversity index was 2.0164 and 0.8316 respectively, and which showed that there was high phenotypic diversity in *Acer mono* Maxim. Principal component analysis showed that the four principal components added up to 94.39% of the variation, among which the

收稿日期: 2012-05-02; 修回日期: 2012-10-25

基金项目: 山西师范大学大学生创新性实验项目 (SD2011CXSY-21)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: ylwangbj@yahoo.com.cn)

contribution rate of cone and leaf were higher than that of seed. A significant relationship had occurred between phenotypic traits and some soil factors, like potassium(K), phosphorus(P), potential of hydrogen (pH), indicating the influence of microenvironment of different altitude populations on phenotypic traits of *Acer mono* Maxim phenotypic diversity index also had a very significant correlation with soil factors. The *Acer mono* Maxim investigated could be divided into two groups according to the cluster analysis.

Key words: *Acer mono* Maxim.; phenotypic diversity; population

五角枫 (*Acer mono* Maxim.) 为槭树科 (Aceraceae) 槭属 (*Acer*) 落叶乔木, 广泛分布于东北、华北各省中低山阔叶林或针阔混交林中, 喜温凉气候及较湿润肥沃土壤 (刘天慰, 2000)。秋霜过后依其树龄不同树叶的颜色各异, 叶片呈现出深红、大红、浅红、橘红、橙黄、深绿等十几种颜色, 许多城市把它做行道树、庭荫树及风景林树种, 极具观赏性。五角枫其嫩叶可开发保健茶, 有清热解毒之功效; 木材坚韧密实, 是纺织业木梭、纱管的特用材。此外, 医学实验还证明五角枫油对肿瘤细胞有抑制作用, 能促进新组织生长, 用于化妆品中, 去除雀斑效果明显, 有广阔的医用前景。同时其树体含水量较大, 而含油量较小, 枯枝落叶分解较快, 不易燃烧, 也是理想的防火树种。因此对其研究具有重要价值 (程红梅, 2009)。

遗传多样性是资源保护与评价的重要指标, 而用形态特征或表型性状来反映遗传多样性最为传统且简便易行 (Schaal et al., 1991; 王丹 等, 2010)。表型性状的变异作为遗传多样性与环境多样性共同作用的结果, 不仅在一定程度上能够代表个体植株水平的变异, 而且能够反映物种遗传变异的程度, 是了解生物遗传变异的重要线索, 也是生物多样性的主要内容 (Barzdajn, 1996; 闻爱民和陈文新, 1999), 一直以来常被广泛应用于种群的遗传变异及其空间格局研究。古今中外很多学者通过对茶条槭 (王丹 等, 2010)、蒙古栎 (李文英和顾万春, 2005)、野生早樱 (王贤荣 等, 2007)、小叶锦鸡儿 (徐博 等, 2009)、紫荆 (竺利波 等, 2007)、紫丁香 (明军和顾万春, 2006)、核桃 (郭传友 等, 2008)、山楂 (姜英林和董文轩, 2009)、杠果 (石胜友 等, 2011) 等大量的树种进行了深入的表型多样性研究, 结果表明系统的表型多样性研究对于树种的遗传变异规律具有重要的意义。目前对五角枫的研究工作仅限于苗木繁育、嫩枝扦插生根等中 (张凤翔和纪鹰翔, 2011)。

本研究中以山西霍山兴唐寺不同海拔的五角枫种群为对象, 系统测定五角枫叶长、叶宽、果长、种子长等 22 个性状, 旨在揭示五角枫表型变异程度与变异规律及引起变异的原因, 为下一步的遗传多样性研究提供丰富的基础数据, 同时也为深入进行五角枫资源的保护及合理利用提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验群体及样本采集

2010—2011 年多次对山西霍山兴唐寺保护区五角枫资源进行野外实地调查, 按照不同海拔高度, 选取不同的植株, 对其叶、果等主要植物学特征进行了定点观测, 对每个采样植株采用全球卫星定位系统 (Global Positioning System, GPS) 定位, 并挂牌标记以便跟踪调查。野外调查发现, 兴唐寺五角枫生长海拔为 1 400 ~ 2 200 m。相邻采集样地相隔约 100 m 海拔高度, 每个采集样地作为一个种群处理, 共 7 个种群, 从低到高依次记为 Pop1 ~ Pop7。根据种群的大小, 每个种群选取至少 20 株生长正常、无明显病虫害的成年个体植株, 单株间距离大于 30 m。同时采集每个样地的土壤样品和地理信息。

1.2 表型性状及其土壤因子的测定方法

在生长季节 6—7 月，五角枫新梢生长基本停止时，在每个植株 4 个方位树冠中部着生的当年生枝条上各采集 5 片完好叶片，根据 Falkenhagen (1978)、Vikram (2001) 的方法，用游标卡尺测量（测量精度 0.1 mm）成龄叶的叶长（叶片长 + 叶柄长）、叶片长、叶片宽、叶片长/宽、叶柄长、叶柄宽、叶柄长/宽、叶柄基部宽、叶片长/叶柄长 9 个指标；10 月下旬收集五角枫的果实与种子，测定果实的翅果长、翅果宽、翅果长/宽、翅果柄长、果长、果宽、果厚、果柄长、着生痕、种子长、种子宽、种子长/宽、种子厚 13 个指标。同时用梅花取样法采集每个样地内 0~30 cm 土层的混合土壤样品，测定其中的含水量、pH、有机质、氮、磷、钾等指标（侯彦林 等，2000a，2000b；张凤云 等，2004），结果见表 1。

表 1 五角枫样地的土壤环境指标
Table 1 Soil chemical properties of the locations

种群 Population	海拔/m Altitude	个体 Sample	mg · kg ⁻¹							含水量/% Moisture content	pH
			全氮 N	全钾 K	全磷 P	速效氮 Available N	速效钾 Available K	速效磷 Available P	有机质 Organic matter		
Pop1	1 400	30	17.60	0.988	0.0011	92.38	40.28	11.25	1.96	27.15	7.10
Pop2	1 550	30	14.39	1.036	0.0017	104.58	64.56	16.11	2.06	29.98	6.99
Pop3	1 650	25	10.58	1.466	0.0016	299.85	65.83	15.38	2.48	38.64	6.97
Pop4	1 800	25	13.12	1.877	0.0025	458.97	99.81	30.21	3.21	41.86	6.95
Pop5	1 950	30	17.56	1.987	0.0019	595.32	145.84	36.77	4.69	40.19	6.94
Pop6	2 100	30	29.16	2.145	0.0020	610.46	199.82	38.88	5.99	39.30	7.22
Pop7	2 200	30	20.38	2.332	0.0018	545.28	165.38	49.68	5.06	40.42	7.15

1.3 统计分析方法

应用 SPSS17.0 软件对各表型性状值进行巢式方差分析（李斌 等，2002）。统计分析种群的表型分化系数 $V_{ST} = (\sigma_{ts}^2) / (\sigma_{ts}^2 + \sigma_t^2)$ ，其中 σ_{ts}^2 为种群间方差分量， σ_t^2 为种群内方差分量；表型变异系数 $CV = S/X$ ，其中 S 为标准差， X 为平均值；相对极差 $R'_i = R_i/R_0$ ，其中 R_i 为种群内的极差， R_0 为总极差。采用 BIO-Dap 软件计算各个种群的 Simpson 遗传多样性指数 $D = 1 - \sum P_i^2$ ， P_i 为某性状第 i 个代码值出现的概率；Shannon-Wiener 信息指数 $H = -\sum P_i \ln P_i$ ， P_i 为某性状第 i 个代码值出现的概率。

运用 SPSS17.0 软件对五角枫 22 个表型性状进行主成分分析，确定表型差异的主要表型性状。利用 NTSYS-pc2.11 软件对五角枫表型性状数据标准化处理后，采用非加权配对算数平均法（UPGMA）进行聚类分析，同时利用 SPSS17.0 软件对各表型性状与土壤因子等生态因子间的相关关系进行分析。

2 结果与分析

2.1 五角枫不同海拔种群表型性状差异及表型分化

经 F 值检验，五角枫 22 个表型性状中除果柄长以外其余 21 个表型性状均存在极显著差异。表型分化系数表示种群间方差分量占遗传总变异（种群间和种群内方差分量之和）的百分比，从表 2 中可以看出五角枫 22 个表型性状的表型分化系数变异幅度为 10.11%~92.23%，平均为 42.61%，其中较大的为叶柄长（89.78%）、叶片长/宽（88.82%）、叶柄宽（68.64%），说明这几个性状在种群间

的变异大于种群内的变异；较小的为翅果长/宽（15.12%）、果柄长（12.30%）、翅果柄长（10.11%），说明它们在群体间相对稳定。

表 2 五角枫各表型性状的方差分析
Table 2 Variance analysis of phenotypic characteristics of *Acer mono Maxim.*

表型性状 Phenotypic traits	均方 Mean square			方差分量 Variance components		表型分化 系数/% V_{ST}
	种群间 Within populations	种群内 Among populations	F	种群间 Within populations	种群内 Among populations	
叶长 Leaf length	12 679.14	726.79	17.45	0.50717	1.78063	22.17
叶片长 Laminae length	78 806.13	765.61	102.93	3.15225	1.87574	62.69
叶片宽 Laminae width	6 393.21	158.67	40.29	0.25573	0.38874	39.68
叶片长/宽 The ratio of laminae length to laminae width	111 766.84	229.77	486.42	4.47067	0.56294	88.82
叶柄长 Leafstalk length	55 681.15	103.50	538.00	2.22725	0.25357	89.78
叶柄宽 Leafstalk width	57 936.57	432.23	134.04	2.31746	1.05896	68.64
叶柄长/宽 The ratio leafstalk length to leafstalk width	61 365.84	84.42	726.94	2.45463	0.20682	92.23
叶柄基部宽 Laminae foot width	53 104.83	457.66	116.03	2.12419	1.12128	65.45
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	33.88	0.35	96.09	0.00136	0.00086	61.07
翅果长 Key fruit length	216.95	10.92	19.87	0.00868	0.02674	24.50
翅果宽 Key fruit width	12.76	1.16	11.04	0.00051	0.00283	15.28
翅果长/宽 The ratio key fruit length to width	2.57	0.24	10.91	0.00010	0.00058	15.12
果厚 Fruit thickness	2.13	0.13	16.44	0.00013	0.00035	26.54
果长 Fruit length	25.09	1.25	20.12	0.00151	0.00340	30.66
果宽 Fruit width	8.35	0.61	13.65	0.00050	0.00167	23.08
着生痕 Bears the mark	6.83	0.46	14.70	0.00041	0.00127	24.42
翅果柄长 Key fruit stalk length	172.97	42.43	4.08	0.00692	0.06152	10.11
果柄长 Fruit stalk length	85.50	54.21	1.58	0.00342	0.02439	12.30
种子长 Seed length	11.58	0.37	30.94	0.00046	0.00036	56.58
种子宽 Seed width	9.57	0.26	36.24	0.00038	0.00025	60.41
种子厚 Seed thickness	0.46	0.11	4.05	0.00003	0.00015	15.46
种子长/宽 The ratio seed length to width	0.15	0.01	11.44	0.00001	0.00001	32.50
平均值 Mean	-	-	-	-	-	42.61

2.2 五角枫不同海拔种群的表型变异特征

表型特征变异系数 CV 反映性状的离散程度，变异系数越大，则性状值离散程度越大，反之离散程度越小。从表 3 中可以看出，五角枫叶片、果实、种子的 22 个表型性状在 7 个种群中变异系数有一定的差异。22 个表型性状的平均变异系数为 18.49%，变异幅度为 7.98% ~ 33.41%。不同表型性状的平均变异程度由大到小的顺序为果柄长 > 叶片长/叶柄长 > 叶柄长 > 叶柄长/宽 > 翅果柄长 > 翅果长 > 种子厚 > 叶柄基部宽 > 叶柄宽 > 果厚 > 翅果宽 > 叶长 > 翅果长/宽 > 叶片宽 > 着生痕 > 叶片长 > 果宽 > 果长 > 叶片长/宽 > 种子宽 > 种子长 > 种子长/宽，说明各性状中果柄长在种群内的分化最大，种子长/宽在种群内较稳定。另外，果柄长（33.41%）变异最大，叶片长/叶柄长（33.21%）变异次之，种子长/宽（7.98%）变异最小。说明种群内叶片各性状中形状指数较单个性状变异大，种子各性状中形状指数较单个性状稳定。

五角枫同一表型性状在不同种群中的变异系数也有很大差异，叶片长/宽在 Pop3 中（7.89%）最小，在 Pop7 中（18.24%）最高；果长在 Pop3 中（7.87%）最小，在 Pop7 中（18.99%）最高。这说明不同种群所处的微环境导致了种群表型变异的差异。同一种群中不同性状的变异也有很大差异，

如：Pop3 中种子长的变异系数（7.06%）最小，翅果长的变异系数（44.54%）最大。Pop5 中种子宽的变异系数（6.50%）最小，叶片长/叶柄长的变异系数（46.14%）最大。

变异系数的大小还可以间接反映群体的表型多样性丰富程度，变异系数大说明群体的性状变异幅度较高，表型多样性丰富。反之变异幅度较小，表型多样性差。五角枫不同种群表型性状平均变异系数从大到小的顺序排序为：Pop7（20.38%）> Pop5（19.88%）> Pop4（18.92%）> Pop2（18.02%）> Pop6（17.72%）> Pop3（17.51%）> Pop1（17.00%），表明高海拔种群平均变异系数相对较大，表型变异较丰富；低海拔的平均变异系数相对较小，表型变异较低。

此外，叶片的 9 个性状平均变异系数（20.68%）> 果实的 9 个性状平均变异系数（19.13%）> 种子的 4 个性状平均变异系数（12.10%），说明五角枫种子与叶片、果实性状相比遗传稳定性最高，叶片、果实性状变异较大。

表 3 五角枫各种群表型性状统计表

Table 3 Statistic of phenotypic characteristics in populations of *Acer mono Maxim.*

表型性状 Phenotypic traits	各种群变异系数/% CV of populations							种群平均值 Mean of populations		
	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Pop5	Pop6	Pop7	平均 Mean	变异系数/% CV	相对极差 R_i
叶长 Leaf length	19.55	16.88	10.77	19.75	18.47	9.78	16.74	158.37	15.99	117.22
叶片长 Laminae length	12.64	14.08	11.62	13.59	14.11	11.08	13.40	75.32	12.93	48.37
叶片宽 Laminae width	14.20	11.99	11.32	15.46	12.83	11.81	14.87	104.93	13.21	69.81
叶片长/宽 The ratio of laminae length to laminae width	9.80	8.56	7.89	11.02	8.75	12.30	18.24	0.72	10.94	0.47
叶柄长 Leafstalk length	29.88	28.07	28.85	31.09	28.58	32.07	28.83	72.61	29.62	84.33
叶柄宽 Leafstalk width	18.47	21.51	23.58	16.65	22.21	17.26	17.07	0.99	19.54	0.97
叶柄长/宽 The ratio leafstalk length to leafstalk width	25.77	30.62	27.94	29.14	34.01	27.18	29.44	73.97	29.16	85.64
叶柄基部宽 Laminae foot width	24.75	21.23	20.68	19.56	19.96	21.72	23.07	3.03	21.57	2.80
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	31.03	31.24	29.74	33.06	46.14	31.30	29.92	1.09	33.21	1.41
翅果长 Key fruit length	9.67	12.05	44.54	16.05	18.84	39.68	18.92	18.97	22.82	11.65
翅果宽 Key fruit width	12.66	16.77	10.90	19.36	21.55	12.55	19.59	6.81	16.20	6.57
翅果长/宽 The ratio key fruit length to width	7.34	13.92	14.68	16.06	16.84	19.06	16.36	3.19	14.89	3.13
果厚 Fruit thickness	9.86	18.53	11.14	22.09	13.86	31.91	20.15	2.38	18.22	2.42
果长 Fruit length	9.97	10.35	7.87	16.72	16.97	8.30	18.99	8.30	12.74	6.05
果宽 Fruit width	9.55	11.47	7.82	14.94	15.31	13.42	17.15	6.12	12.81	4.13
着生痕 Bears the mark	10.04	10.08	12.76	12.36	12.95	11.05	22.41	4.90	13.09	2.62
翅果柄长 Key fruit stalk length	37.07	36.85	10.82	37.11	24.49	15.21	34.59	19.75	28.02	17.75
果柄长 Fruit stalk length	18.01	25.42	38.70	36.09	41.77	26.45	47.45	16.70	33.41	13.70
种子长 Seed length	13.80	9.18	7.06	7.70	7.35	7.52	8.12	6.02	8.68	3.23
种子宽 Seed width	15.27	11.77	8.58	6.74	6.50	7.51	9.04	7.43	9.34	2.44
种子厚 Seed thickness	24.49	26.73	30.57	14.37	28.61	14.87	17.11	1.44	22.39	1.18
种子长/宽 The ratio seed length to width	10.28	9.06	7.42	7.28	7.20	7.70	6.94	3.09	7.98	0.65
平均值 Mean	17.00	18.02	17.51	18.92	19.88	17.72	20.38	27.10	18.49	22.12

相对极差 R_i 反映表型性状的极端差异程度，五角枫 22 个表型性状的平均相对极差从大到小的顺序排序为叶长 > 叶柄长/宽 > 叶柄长 > 叶片宽 > 叶片长 > 翅果柄长 > 果柄长 > 翅果长 > 翅果宽 > 果长 > 果宽 > 种子长 > 翅果长/宽 > 叶柄基部宽 > 着生痕 > 种子宽 > 果厚 > 叶

片长/叶柄长 > 种子厚 > 叶柄宽 > 种子长/宽 > 叶片长/宽。相对极差变化趋势与变异系数的变化趋势不完全相同。

2.3 五角枫不同海拔种群的表型多样性指数

22 个表型性状信息指数 H 和遗传多样性指数 D 变化分别为 4.5818 ~ 6.4200 和 0.975837 ~ 0.998363; 7 个种群的平均 H 和 D 分别为 2.0164 和 0.8316 (表 4)。其中叶片、果实的 H 和 D 较高, 表型多样性丰富; 种子的 H 和 D 低, 多样性较差, 与变异系数的变化趋势基本吻合, 说明五角枫叶片、果实与种子性状相比遗传多样性丰富。

表 4 五角枫种群的表型多样性指数
Table 4 Shannon-Wiener and Simpson genetic diversity index based on phenotypic characters of *Acer mono Maxim*

表型性状 Phenotypic traits	Shannon-Wiener 信息指数 Shannon-Wiener information index (H)	Simpson 遗传多 样性指数 Simpson genetic diversity index (D)	种群 Populations	Shannon-Wiener 信息指数 Shannon-Wiener information index (H)	Simpson 遗传多 样性指数 Simpson genetic diversity index (D)
叶长 Leaf length	6.4052	0.998313	pop1	2.0157	0.8324
叶片长 Laminae length	6.4129	0.998340	pop2	2.0483	0.8365
叶片宽 Laminae width	6.4122	0.998338	pop3	2.0363	0.8365
叶片长/宽 The ratio of laminae length to laminae width	6.4200	0.998363	pop4	1.9841	0.8264
叶柄长 Leafstalk length	6.3758	0.998213	pop5	2.0091	0.8324
叶柄宽 Leafstalk width	6.4045	0.998312	pop6	1.9913	0.8253
叶柄长/宽 The ratio leafstalk length to leafstalk width	6.3778	0.998221	pop7	2.0299	0.8318
叶柄基部宽 Laminae foot width	6.3974	0.998287			
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	6.3806	0.998226			
翅果长 Key fruit length	6.1147	0.997760			
翅果宽 Key fruit width	6.1119	0.997748			
翅果长/宽 The ratio key fruit length to width	6.1155	0.997762			
果厚 Fruit thickness	6.3113	0.998148			
果长 Fruit length	6.3197	0.998178			
果宽 Fruit width	6.3216	0.998182			
着生痕 Bears the mark	5.6223	0.996338			
翅果柄长 Key fruit stalk length	5.3639	0.995036			
果柄长 Fruit stalk length	5.7926	0.975837			
种子长 Seed length	4.5852	0.989701			
种子宽 Seed width	4.5818	0.989635			
种子厚 Seed thickness	4.9043	0.992370			
种子长/宽 The ratio seed length to width	4.5900	0.989796			
平均值 Mean	5.8142	0.995505	平均值 Mean	2.0164	0.8316

2.4 五角枫不同海拔种群表型性状的主成分分析

通过变异系数、多样性指数分析, 表明五角枫 22 个表型性状在不同种群间和种群内存在着差

异。在此基础上对五角枫 22 个表型性状进行主成分分析，以确定各个性状对五角枫表型性状差异的影响程度，结果见表 5。从表 5 中可以看出前 4 个主成分累计贡献率高达 94.39%，它们基本可以反映原始变量的大部分信息。其中第 1 主成分贡献率为 41.67%，起决定作用的有果长（0.96169）、翅果长（0.842031）等表型性状；第 2 主成分贡献率为 21.92%，其中起决定作用有叶片长/叶柄长（0.918252）、叶柄长/宽（- 0.83383）、果柄长（- 0.74885）；第 3 主成分贡献率为 20.59%，其中起决定作用有着生痕（0.822665）、叶片长/宽（0.821575）；第 4 主成分贡献率为 10.22%，其中起决定作用的有种子宽（0.695043）、叶长（0.531605）。五角枫种群表型多样性基本来源为果实贡献率 > 叶片贡献率 > 种子贡献率，这一结果与变异系数、多样性指数的分析结果基本一致。

表 5 前 4 个主成分因子载荷量及特征值
Table 5 Component score coefficient and eigenvalue of per ingredient

表型性状 Phenotypic traits	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
叶长 Leaf length	0.824044	- 0.05466	0.151771	0.531605
叶片长 Laminae length	0.585884	0.662523	0.326194	0.327411
叶片宽 Laminae width	0.784992	0.554655	- 0.15071	0.226714
叶片长/宽 The ratio of laminae length to laminae width	- 0.16083	0.438084	0.821575	0.294889
叶柄长 Leafstalk length	0.638366	- 0.58898	- 0.05255	0.45122
叶柄宽 Leafstalk width	0.693659	0.386179	- 0.52961	0.101358
叶柄长/宽 The ratio leafstalk length to leafstalk width	- 0.03286	- 0.83383	0.359429	0.135044
叶柄基部宽 Laminae foot width	0.737207	0.312113	- 0.57696	0.088438
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	- 0.18974	0.918252	0.225124	- 0.24747
翅果长 Key fruit length	0.842031	0.131039	- 0.00575	- 0.5129
翅果宽 Key fruit width	0.793651	- 0.15122	- 0.30989	- 0.44192
翅果长/宽 The ratio key fruit length to width	- 0.67776	0.054712	0.661803	0.302689
果厚 Fruit thickness	0.758529	- 0.37813	0.232761	- 0.38583
果长 Fruit length	0.96169	- 0.03443	- 0.11412	- 0.1729
果宽 Fruit width	0.632105	0.291533	0.686352	- 0.13019
着生痕 Bears the mark	0.060508	- 0.374	0.822665	- 0.019
翅果柄长 Key fruit stalk length	0.464456	0.742571	- 0.02846	0.249508
果柄长 Fruit stalk length	0.189343	- 0.74885	- 0.5816	0.211185
种子长 Seed length	- 0.68012	0.198675	- 0.58719	0.285875
种子宽 Seed width	0.458441	- 0.16861	- 0.20204	0.695043
种子厚 Seed thickness	- 0.83898	0.279423	- 0.46518	- 0.01405
种子长/宽 The ratio seed length to width	- 0.83898	0.279423	- 0.46518	- 0.01405
特征值 Eigen value	9.13	4.8	4.32	2.1
贡献率 Contribution rate	41.67	21.92	20.59	10.22
累计贡献率 Cumulative contribution	41.67	63.59	84.18	94.39

2.5 五角枫不同海拔种群各表型性状与环境因子的相关分析

对五角枫 7 个种群 22 个表型性状的平均值与环境因子进行偏相关性分析和差异显著性检测，结果（表 6）表明，叶片、果实性状中有 7 个与生境因子存在显著相关性，种子性状中只有 1 个与生境因子存在显著相关性，进一步说明了种子与叶片、果实性状相比较为稳定，不易受环境的影响。

五角枫 22 个表型性状中, 每个表型性状与土壤因子的相关程度不同。其中叶长与土壤中 pH 值呈显著相关, 叶片长与土壤中速效钾、有机质呈显著相关, 叶片长/叶柄长与土壤含水量呈显著相关; 与土壤中 P 呈显著相关的性状有翅果长/宽、种子长。在各种群多样性指数、变异系数、相对极差与生境因子的相关分析中, 相对极差与土壤中的 K、P、速效氮、速效磷、含水量存在显著或极显著的相关。

表 6 各表型性状与地理因子间的相关系数
Table 6 Correlation coefficient between phenotypic characters and environmental factors

表型性状 Phenotypic traits	全氮/ (mg · kg ⁻¹) N	全钾/ (mg · kg ⁻¹) K	全磷/ (mg · kg ⁻¹) P	pH	速效氮/ (mg · kg ⁻¹) Available N	速效钾/ (mg · kg ⁻¹) Available K	速效磷/ (mg · kg ⁻¹) Available P	有机质/ (mg · kg ⁻¹) Organic matter	含水量/% Moisture content
叶长 Leaf length	- 0.674	- 0.403	0.080	- 0.873*	- 0.317	- 0.457	- 0.340	- 0.493	- 0.164
叶片长 Laminae length	- 0.666	- 0.684	- 0.026	- 0.586	- 0.640	- 0.811*	- 0.735	- 0.814*	- 0.409
叶片宽 Laminae width	- 0.731	- 0.482	0.039	- 0.750	- 0.435	- 0.695	- 0.499	- 0.684	- 0.231
叶片长/宽 The ratio of laminae length to laminae width	- 0.032	- 0.607	- 0.170	0.168	- 0.597	- 0.457	- 0.664	- 0.484	- 0.516
叶柄长 Leafstalk length	- 0.605	0.250	0.250	- 0.596	0.247	- 0.146	0.094	- 0.105	0.538
叶柄宽 Leafstalk width	- 0.379	- 0.153	- 0.158	- 0.416	- 0.087	- 0.376	- 0.211	- 0.298	- 0.056
叶柄长/宽 The ratio leafstalk length to leafstalk width	- 0.485	0.441	0.414	- 0.445	0.389	0.107	0.287	0.102	0.732
叶柄基部宽 Laminae foot width	0.177	0.174	- 0.258	0.388	- 0.027	0.127	0.398	0.125	- 0.166
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	0.120	- 0.695	- 0.350	0.125	- 0.655	- 0.376	- 0.539	- 0.416	- 0.817*
翅果长 Key fruit length	0.169	- 0.107	- 0.650	0.132	- 0.049	0.073	- 0.045	0.112	- 0.253
翅果宽 Key fruit width	- 0.145	0.451	0.603	- 0.515	0.561	0.256	0.386	0.277	0.587
翅果长/宽 The ratio key fruit length to width	- 0.129	- 0.506	- 0.762*	0.063	- 0.506	- 0.341	- 0.470	- 0.333	- 0.523
果厚 Fruit thickness	- 0.748	- 0.651	- 0.043	- 0.582	- 0.679	- 0.702	- 0.659	- 0.768*	- 0.336
果长 Fruit length	0.448	0.099	- 0.628	0.399	0.155	0.262	0.147	0.337	- 0.168
果宽 Fruit width	- 0.331	- 0.598	- 0.685	- 0.398	- 0.461	- 0.529	- 0.576	- 0.469	- 0.546
着生痕 Bears the mark	- 0.392	- 0.572	- 0.403	- 0.520	- 0.370	- 0.534	- 0.686	- 0.479	- 0.342
翅果柄长 Key fruit stalk length	0.433	0.718	0.331	0.199	0.818*	0.647	0.550	0.711	0.700
果柄长 Fruit stalk length	0.131	- 0.432	- 0.511	0.062	- 0.249	- 0.230	- 0.547	- 0.169	- 0.385
种子长 Seed length	0.332	- 0.411	- 0.841*	0.383	- 0.334	- 0.130	- 0.358	- 0.075	- 0.619
种子宽 Seed width	- 0.282	0.134	0.708	- 0.353	0.135	- 0.088	0.035	- 0.114	0.356
种子厚 Seed thickness	0.060	0.142	0.662	- 0.104	0.240	0.175	- 0.041	0.131	0.394
种子长/宽 The ratio seed length to width	- 0.333	0.148	0.723	- 0.389	0.135	- 0.097	0.051	- 0.127	0.385
H	0.740	0.328	- 0.337	0.583	0.420	0.540	0.331	0.610	0.034
CV	- 0.405	- 0.618	- 0.438	- 0.160	- 0.574	- 0.709	- 0.773*	- 0.654	- 0.413
R _i	0.335	0.783*	0.910**	0.038	0.791*	0.693	0.757*	0.663	0.759*

注: *表示在 0.05 水平上差异达到显著性; **表示在 0.01 差异达到显著性。
Note: * mean significant difference at 0.05 level; ** mean significant difference at 0.01 level.

2.6 五角枫天然种群表型性状的聚类分析

利用欧式平均距离, 采用 UPGMA 方法对五角枫 7 个种群的 22 个性状的表型数据进行聚类分析 (图 1), 从图 1 可以看出五角枫种群并没有严格按照海拔而聚类, 以遗传距离系数 0.45 为分界线, 7 个种群明显聚为二大类。Pop2、Pop3、Pop4 聚为第一类群, 这 3 个种群除海拔相差较近外, 地理环境条件也较相似, 阳光充足, 地形平坦, 土壤也较湿润肥沃, 聚为一类。Pop1、Pop5、Pop6、Pop7 聚为第二类群。以遗传距离系数 0.06 为分界线, 由于 Pop7 和 Pop1 处于五角枫分布范围的边缘地段, 其温度、光照、水分都不是五角枫生长的最适环境, 因此聚为第二大类群的一个亚支; 极端环境随着海拔的变化, Pop5 和 Pop6 的环境因素有所好转较适于五角枫的生长, 所以这 2 个种群聚为另一个亚支。聚类分析结果表明, 五角枫种群在兴唐寺分布范围内地理环境因素对其生长影响较大, 在分布范围内随着环境因素的变化其表型变异表现出一定的规律, 这与前面表型变异所得结论基本吻合。对表型性状的平均值与环境因子进行偏相关性分析和差异显著性检测进一步证实了聚类结果的可靠性。

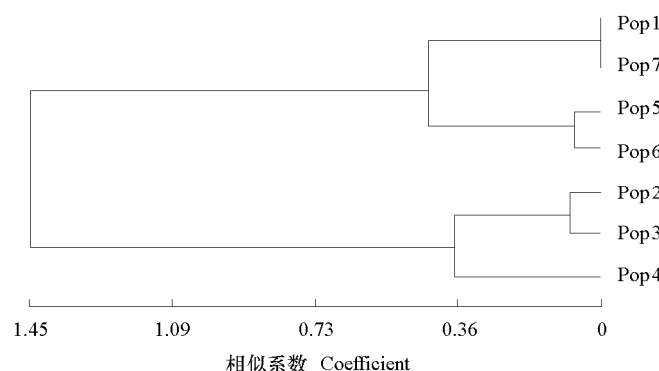


图 1 基于 22 个表型性状的五角枫种群的欧式距离 UPGMA 聚类树形图

Fig. 1 UPGMA-derived dendrogram based on Euclidean distances showing the clustering of the 22 phenotype traits of *Acer mono* Maxim.

3 讨论

通过对山西霍山兴唐寺 7 个五角枫不同海拔种群 22 个表型性状进行分析, 结果表明五角枫具有丰富的表型性状变异。方差分析显示, 除果柄长外, 其余 21 个表型性状均存在极显著的差异, 说明五角枫性状的表型多样性较高, 各个性状均存在丰富的遗传多样性变异。

种群间的变异能够反映地理与生殖隔离上的差异, 同时也是种内多样性的重要组成部分。其值大小在一定程度上反映该生物对不同环境的适应程度, 值越大则适应环境的能力越强 (李斌 等, 2002)。五角枫 7 个种群 22 个表型性状的变异幅度为 10.11% ~ 92.23%, 平均表型分化变异系数为 42.61%, 高于川西云杉 (36.53%) (辜云杰 等, 2009)、白皮松 (22.86%) (李斌 等, 2002)、茶条槭 (13.79%) (王丹 等, 2010), 但低于白云杉 (50%) (王娅丽和李毅, 2008)、蒙古栎 (53.97%) (李文英和顾万春, 2005), 与紫丁香 (43.93%) (明军和顾万春, 2006)、浙江柿 (40.15%) (井振华 等, 2010) 等比较接近, 表明五角枫很好的环境适应性。

五角枫种群内平均表型分化系数 (57.39%) 大于种群间的表型分化系数。五角枫为风媒传粉植物, 果实为翅果, 花粉和果实均可随风传播, 使种群间的基因交流成为可能。另外五角枫种子定居萌发成新个体的能力较弱、个体萌发整齐性差从而使种群内五角枫个体发育不一, 差异显著, 使得种群内的变异高于种群间的变异 (梁鸣 等, 2007)。但五角枫种群间存在一定程度的分化 (42.61%),

不同海拔气候、温度、水分、光照、土壤等条件差异较大(张志红 等, 2005), 生境的异质性是造成五角枫种群间分化的主要原因。

五角枫 22 个表型性状平均变异系数为 18.49%, 9 个叶片性状平均变异系数(20.68%)>果实的 9 个性状平均变异系数(19.13%)>种子的 4 个性状平均变异系数(12.10%)。说明五角枫种子与叶片、果实性状相比遗传稳定性最高, 叶片、果实性状变异较大。五角枫不同种群中, 高海拔的种群平均变异系数相对较大, 表型变异较丰富, 低海拔的平均变异系数相对较小, 表型变异较低, 随着海拔的升高, 五角枫表型性状变异系数在逐渐升高。海拔升高会导致温度的下降, 一般来讲海拔每升高 100 m 温度会下降 0.55℃(闫女 等, 2010)。随着海拔的升高, 空气湿度也会增加。其它生境因子也不同于低海拔区域, 如紫外线 UV-B 的辐射剂量, 高海拔区域高于低海拔区域。为适应高海拔较为恶劣的环境, 使得高海拔种群中积累更多的遗传变异。在野外调查时发现五角枫分布范围 1 400 ~ 2 200 m, 低海拔处五角枫分布比较零散, 外加当地村民的砍伐及人为干扰可能造成很大程度的近亲繁殖, 增加了群体遗传上的同源性, 使得遗传变异幅度较小。

从五角枫各种群的多样性指数来看, 五角枫种群平均多样性指数 H 和 D 分别为 2.0164、0.8316, 高于茶条槭(H : 1.9253; 王丹 等, 2010)、梅花(H : 1.5810, D : 0.5390; 吴根松 等, 2011)、寒地梨(H : 0.7075, D : 0.775; 张冰冰 等, 2009)等, 表现出较高的多样性, 这可能与其多样化的生境有很大关系, 在野外调查中发现五角枫生长范围较广, 除在山谷湿地、林缘外, 山坡、干旱及湿润立地都能很好的生长。其中叶片、果实多样性指数高于种子的多样性指数。通过对五角枫 22 个表型性状进行主成分分析, 进一步表明了果实、叶片对五角枫表型性状变异的贡献率大于种子, 这也与变异系数所得结果基本吻合。

五角枫表型特征的多样性往往具有适应意义, 由于自然分布区的垂直跨度大、环境条件复杂, 通过长期的自然选择产生了极其丰富的表型变异。这种多层次的变异为优质种质资源和生物多样性保护提供了一定的物种基础, 同时也反映了五角枫种群遗传稳定性与环境复杂性的相互关系及其适应环境压力的广泛程度(王娅丽和李毅, 2008; 郭宁 等, 2011)。根据五角枫性状变异的丰富程度, 可以推断出五角枫的改良前景是十分广阔的, 这对我们下一步进行五角枫种群的遗传多样性研究及五角枫种质资源的保护、评价和利用具有重要的意义。

References

- Barzdajn W. 1996. An assessment of diagnostic value of morphological traits of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. cones for discrimination of spruce provenances. *Sylwan*, 140: 61 - 75.
- Cheng Hong-mei. 2009. Community structure and species diversity of *Acer mono* forest in Dashu Mountain. *Nonwood Forest Research*, 27 (4): 41 - 45. (in Chinese)
- 程红梅. 2009. 大蜀山五角枫林的群落结构及物种多样性. *经济林研究*, 27 (4): 41 - 45.
- Falkenhagen E R. 1978. Multivariate classification in provenance research. *Silvae Genetica*, 27 (1): 14 - 23.
- Gu Yun-jie, Luo Jian-xun, Wu Yuan-wei, Cao Xiao-jun. 2009. Phenotypic diversity in natural populations of *Picea balfouriana* in Sichuan, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 33 (2): 291 - 301. (in Chinese)
- 辜云杰, 罗建勋, 吴远伟, 曹小军. 2009. 川西云杉天然种群表型多样性. *植物生态学报*, 33 (2): 291 - 301.
- Guo Ning, Yang Shu-hua, Ge Wei-ya, Ge Hong. 2011. Phenotypic diversity of natural populations of *Rosa laxa* Retz in Tianshan Mountains of Xinjiang. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (3): 495 - 502. (in Chinese)
- 郭宁, 杨树华, 葛维亚, 葛红. 2011. 新疆天山山脉地区疏花蔷薇天然居群表型多样性分析. *园艺学报*, 38 (3): 495 - 502.
- Guo Chuan-you, Huang Jian-qin, Wang Zheng-jia, Fang Yan-ming. 2008. A Study on phenotypic diversity of seeds and cones' characteristics in *Carya cathayensis*. *Modern Agricultural Sciences*, 15 (10): 65 - 67. (in Chinese)
- 郭传友, 黄坚钦, 王正加, 方炎明. 2008. 核桃天然群体种实性状表型多样性研究. *现代农业科学*, 15 (10): 65 - 67.

- Hou Yan-lin, Zeng Wen, Song Jian-guo, Miao Ze-wei, Liu Zhao-rong. 2000a. The second improvement on the quick-determining method of soil available nitrogen, phosphorus and potassium. The new quick-determining method. Chinese Journal of Soil Science, 31 (5): 238 - 240. (in Chinese)
- 侯彦林, 曾 文, 宋建国, 苗泽伟, 刘兆荣. 2000a. 土壤速效氮、磷、钾速测方法的改进 I. 新速测方法的建立. 土壤通报, 31 (5): 238 - 240.
- Hou Yan-lin, Zeng Wen, Song Jian-guo, Miao Ze-wei, Liu Zhao-rong. 2000b. The first improvement on the quick-determining method of soil available nitrogen, phosphorus and potassium. The establishment of the new quick-determining method. Chinese Journal of Soil Science, 31 (6): 280 - 282. (in Chinese)
- 侯彦林, 曾 文, 宋建国, 苗泽伟, 刘兆荣. 2000b. 土壤速效氮、磷、钾速测方法的改进 II. 新速测方法. 土壤通报, 31 (6): 280 - 282.
- Jiang Ying-lin, Dong Wen-xuan. 2009. Diversity analysis of morphological characters in *Hawthorn* germplasm resources. Northern Fruits, (1): 8 - 10. (in Chinese)
- 姜英林, 董文轩. 2009. 山楂种质资源的表型多样性研究. 北方果树, (1): 8 - 10.
- Jing Zhen-hua, Li Hao, Shao Wen-hao, Yue Hua-feng, Jiang Jing-min. 2010. Phenotypic diversity of natural populations in *Diospyros glaucifolia*. Bulletin of Botanical Research, 30 (3): 325 - 331. (in Chinese)
- 井振华, 李 皓, 邵文豪, 岳华峰, 姜景民. 2010. 浙江柿天然群体表型多样性研究. 植物研究, 30 (3): 325 - 331.
- Li Bin, Gu Wan-chun, Lu Bao-ming. 2002. A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana*. Biodiversity Science, 10 (2): 181 - 188. (in Chinese)
- 李 斌, 顾万春, 卢宝明. 2002. 白皮松天然居群种实性状表型多样性研究. 生物多样性, 10 (2): 181 - 188.
- Li Wen-ying, Gu Wan-chun. 2005. Study on phenotypic diversity of natural population in *Quercus mongolica*. Scientia Silvae Sinicae, 41 (1): 49 - 56. (in Chinese)
- 李文英, 顾万春. 2005. 蒙古栎天然居群表型多样性研究. 林业科学, 41 (1): 49 - 56.
- Liang Ming, Zhang Yue, Yang Yi-hua, Xu Hai-jun. 2007. Study on seed anatomy biology of *Acer* plants. Forestry Science & Technology, 32 (3): 9 - 12. (in Chinese)
- 梁 鸣, 张 悦, 杨轶华, 徐海军. 2007. 槭属植物种子解剖生物学的研究. 林业科技, 32 (3): 9 - 12.
- Liu Tian-wei. 2000. Flora Shanxiensis. Vol 3. Beijing: China Science and Technology Press: 103 - 117. (in Chinese)
- 刘天慰. 2000. 山西植物志. 第 3 卷. 北京: 中国科学技术出版社: 103 - 117.
- Ming Jun, Gu Wan-chun. 2006. Phenotypic variation of *Syringa oblata* Lindl. Forest Research, 19 (2): 199 - 204. (in Chinese)
- 明 军, 顾万春. 2006. 紫丁香表型多样性研究. 林业科学研究, 19 (2): 199 - 204.
- Schaal B A, Leverich W J, Rogstad S H. 1991. Comparison of methods for assessing genetic variation in plant conservation biology // Falk D A, Holsinger D E. Genetics and conservation of rare plants. New York: Oxford University Press: 123 - 124.
- Shi Sheng-you, Wu Hong-xia, Wang Song-biao, Liu Li-qin, Wang Yi-cheng, Ma Wei-hong. 2011. Genetic diversity of mango germplasm based on morphological charaters and AFLP markers. Acta Horticulturae Sinica, 38 (3): 449 - 456. (in Chinese)
- 石胜友, 武红霞, 王松标, 刘丽琴, 王一承, 马蔚红. 2011. 杧果种质遗传多样性的表型分析和 AFLP 分析. 园艺学报, 38 (3): 449 - 456.
- Vikram E. 2001. Island population establishment and genetic structure of *Picea abies* (L.) Karst. in Northern Sweden [Ph. D. Dissertation]. Ume, Sweden: Arbetslivsinstitutet.
- Wang Dan, Pang Chun-hua, Gao Ya-hui, Hao Xiao-jie, Wang Yi-ling. 2010. Phenotypic diversity of *Acer ginnala* (Aceraceae) populations at different altitude. Plant Diversity and Resources, 32 (2): 117 - 125. (in Chinese)
- 王 丹, 庞春华, 高亚卉, 郝晓杰, 王伟玲. 2010. 茶条槭不同海拔种群的表型多样性. 云南植物研究, 32 (2): 117 - 125.
- Wang Xian-rong, Xie Chun-ping, Yi Xian-gui, Xiang Qi-bai. 2007. Study on the morphological variations of *Cerasus subhirtella* var. *ascendens* in different populations. Bulletin of Botanical Research, 27 (6): 746 - 752. (in Chinese)
- 王贤荣, 谢春平, 伊贤贵, 向其柏. 2007. 不同居群野生早樱形态变异研究. 植物研究, 27 (6): 746 - 752.
- Wang Ya-li, Li Yi. 2008. Study on phenotype diversity of cone and seed in natural populations of *Picea crassifolia* in Qilian Mountain, China. Journal of Plant Ecology, 32 (2): 355 - 362. (in Chinese)

- 王娅丽, 李 毅. 2008. 祁连山青海云杉天然群体的种实性状表型多样性. 植物生态学报, 32 (2): 355 - 362.
- Wen Ai-min, Chen Wen-xin. 1999. Phenotypic feature diversity of Rhizobia isolated from *Medicago* sp. *melilotus* sp. and *Caragana* sp. Biodiversity Science, 7 (2): 1 - 8. (in Chinese)
- 闻爱民, 陈文新. 1999. 苜蓿、草木樨、锦鸡儿根瘤菌的表型多样性分析. 生物多样性, 7 (2): 1 - 8.
- Wu Gen-song, Sun Li-dan, Hao Rui-jie, Shi Wen-fang, Zhang Jie, Chen Jing-xin. 2011. Study on the phenotypic diversity of *P. mume* Sieb. et Zucc. germplasm resources. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 39 (20): 12008 - 12009, 12012. (in Chinese)
- 吴根松, 孙丽丹, 郝瑞杰, 石文芳, 张 杰, 陈晶鑫. 2011. 梅花种质资源表型多样性研究. 安徽农业科学, 39 (20): 12008 - 12009, 12012.
- Xu Bo, Wang Zan, Lu Jing-wei, Gao Hong-wen. 2009. Morphological variation of *Caragana microphylla* in the east part of Inner Mongolia. Bulletin of Botanical, 29 (3): 276 - 281. (in Chinese)
- 徐 博, 王 赞, 陆景伟, 高洪文. 2009. 内蒙古东部地区小叶锦鸡儿表型变异研究. 植物研究, 29 (3): 276 - 281.
- Yan Nü, Wang Dan, Gao Ya-hui, Hao Xiao-jie, Wang Yi-ling. 2010. Genetic diversity of *Acer ginnala* populations at different elevation in Qiliyu based on ISSR markers. Scientia Silvae Sinicae, 46 (10): 50 - 56. (in Chinese)
- 闫 女, 王 丹, 高亚卉, 郝晓杰, 王祎玲. 2010. 七里峪不同海拔茶条槭种群的遗传多样性. 林业科学, 46 (10): 50 - 56.
- Zhang Bing-bing, Song Hong-wei, Liu Hui-tao, Liang Ying-hai, Li Yue-bo. 2009. Study on the diversity of phenotypic characteristics of pear germplasm resources in the cold region. Journal of Fruit Science, 26 (3): 287 - 293. (in Chinese)
- 张冰冰, 宋洪伟, 刘慧涛, 梁英海, 李粤渤. 2009. 寒地梨种质资源表型多样性研究. 果树学报, 26 (3): 287 - 293.
- Zhang Feng-xiang, Ji Ying-xiang. 2011. The technology to cultivate the *Acer mono*. Mongolia Forestry Investigation and Design, 34 (4): 61 - 63. (in Chinese)
- 张凤翔, 纪鹰翔. 2011. 五角枫苗木培育技术. 内蒙古林业调查设计, 34 (4): 61 - 63.
- Zhang Feng-yun, Yang Xiu-ping, Dong Li-fen. 2004. Interrelation among determination methods of effective N, P, K in soil. Journal of Northwest Forestry University, 19 (3): 82 - 83. (in Chinese)
- 张风云, 杨秀平, 董丽芬. 2004. 土壤中有效氮、磷、钾测定方法相关性研究. 西北林学院学报, 19 (3): 82 - 83.
- Zhang Zhi-hong, Tang Tian, Zhou Ren-chao, Wang Yu-guo, Jian Shu-guang, Zhong Cai-rong, Shi Su-hua. 2005. Effects of divergent habitat on genetic structure of population of *Excoecaria agallocha*, a Mangrove associate. Acta Genetica Sinica, 32 (1): 1286 - 1292. (in Chinese)
- 张志红, 唐 恬, 周仁超, 王玉国, 简曙光, 钟才荣, 施苏华. 2005. 异质性生境对半红树植物海漆居群遗传结构的影响. 遗传学报, 32 (1): 1286 - 1292.
- Zhu Li-bo, Gu Wan-chun, Li Bin. 2007. Study on phenotypic diversity of population in *Cersis chinensis*. Chinese Agricultural Science Bulletin, 23 (3): 138 - 145. (in Chinese)
- 竺利波, 顾万春, 李 斌. 2007. 紫荆群体表型性状多样性研究. 中国农学通报, 23 (3): 138 - 145.