

山西葛萝槭天然种群表型多样性研究

孟 超, 郑 昕, 姬志峰, 林丽丽, 张翠琴, 王祎玲*

(山西师范大学 生命科学学院, 山西临汾 041004)

摘 要:为揭示山西葛萝槭种群表型变异程度及变异规律,采用巢式方差分析、主成分分析、相关分析及聚类分析等方法,对天然分布的 8 个种群的叶片、果实、种子 21 个表型性状进行表型多样性分析。结果显示:(1)葛萝槭表型性状在种群间和种群内存在着极其丰富的变异。种群间平均表型分化系数(V_{ST})为 50.16%,与种群内变异(49.84%)相当;表型变异系数(CV)为 19.16%,变化幅度 7.89%~37.04%,种子性状较果实、叶片性状稳定;8 个不同种群的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.692 3,表明葛萝槭种群具有较高的表型多样性。(2)相关性分析表明,葛萝槭表型性状受地理生态因子的影响,种群内表型变异呈梯度性变化,随着经、纬度的增加,叶形逐渐由长卵形向宽卵形变异;随着海拔的升高,果实、种子逐渐减小。(3)利用种群间欧式距离进行系统聚类分析,可以将 8 个葛萝槭种群分为两大支,表型性状主要依地理距离而聚类。研究表明,葛萝槭种内存在丰富的变异,这与其生物学特性及分布生境密切相关。

关键词:葛萝槭;种群;表型多样性;生态因子

中图分类号:Q944.1

文献标志码:A

Phenotypic Diversity of Natural Populations of *Acer grosseri* in Shanxi

MENG Chao, ZHENG Xin, JI Zhifeng, LIN Lili, ZHANG Cuiqin, WANG Yiling*

(College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China)

Abstract: By using nested analysis, principal component analysis, correlation analysis and cluster analysis, we studied the phenotypic diversity, phenotypic variation and the relationship between phenotypic variation and microenvironment of the 21 phenotypic traits in 8 populations of *Acer grosseri* in Shanxi. The results revealed that: (1) There were significant differences in genetic variation in all phenotypic traits among populations and within population. The mean phenotypic differentiation coefficient (V_{ST}) was 50.16%, which was approximately equal to that within populations (49.84%). Coefficient of variation (CV) of all traits was from 7.89% to 37.04%, with the average of 19.74%. The seed traits of *A. grosseri* were stable than fruit traits and leaf traits. Shannon-Wiener information index was 1.692 3, which indicated that there was high phenotypic diversity in *A. grosseri*. (2) The correlation analysis showed that the phenotypic variation within populations appeared gradient regular changes, the shape of leaf blade from long ovate to broadly ovate shape, while fruits and seed got smaller with the rise of elevation. (3) The 8 populations of *A. grosseri* investigated could be divided into two groups according to the UPGMA cluster analysis, the phenotypic traits gather on the basis of geography distance. In summary, there is vast variation within the species of *A. grosseri* which was relevant to biological characteristics and distribution of the habitat.

Key words: *Acer grosseri*; natural population; phenotypic diversity; ecological factors

收稿日期: 2013-08-03; 修改稿收到日期: 2013-10-18

基金项目: 山西省自然科学基金(2011011031-2); 山西省高校高新技术产业化项目(2011014)

作者简介: 孟 超(1987—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物分子生态学研究。E-mail: mc20090115@126.com

* 通信作者: 王祎玲, 博士, 教授, 主要从事遗传学, 植物分子生态学研究。E-mail: ylwangbi@yahoo.com.cn

葛萝槭(*Acer grosseri* Pax)隶属槭树科(*Aceraceae*)槭属(*Acer*),落叶乔木。主要分布在河北、山西、河南、陕西、甘肃、湖北西部、湖南、安徽等省,生于海拔 1 000~1 600 m 的疏林中。冠幅较大,果实美观,适应性强,在环境景观建设中作为重要的彩叶观赏植物被广泛应用,具有重要的观赏价值。同时其枝条、叶有清热解毒、降低血压及清肝明目的药用作用,具有重要的药用价值和经济价值^[1]。由于人为原因,天然林被过度砍伐,造成资源丢失。要对天然林合理开发利用,需要弄清其种内遗传多样性。

遗传多样性包括表型、生化、染色体、蛋白质、DNA 和碱基序列等多层次遗传变异,是种质资源保护与评价的重要指标^[2-3],而表型多样性是遗传多样性研究的重要内容,它是遗传多样性和环境多样性的综合体现,常常作为遗传变异的表征^[4-5]。利用表型性状研究种群的遗传多样性具有简便、快速和节省费用等优点,至今仍然是重要而且有效的^[6-7],且采用遗传上较为稳定、不易受环境影响的性状研究表型多样性,可以揭示种群的遗传规律、变异大小。目前对葛萝槭的研究报道仅集中在其生物学特性及园林初步应用^[8]、叶片生理特性^[9]、扦插繁殖^[10]等方面。而作为保护生物学基础的遗传多样性方面的研究却尚未见报道。

本试验以山西葛萝槭的叶、果实、种子等形态特征研究其表型多样性,了解不同种群葛萝槭的表型变异程度,揭示其表型变异规律,为制定葛萝槭种质资源保护策略,天然林合理开发利用对策及人工林培育等提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 种群选择与材料采集

2011~2012 年期间进行野外实地调查,8~10 月在葛萝槭自然分布区内选择 8 个天然种群进行采

样,对选定的种群采用 GPS 定位。测定分布区的经度、纬度、海拔、坡度及坡向等各种群的地理生态因子(表 1)。在选定的种群内随机选择 30 个生长正常、无明显缺陷及病虫害的个体,株间距离为 30 m 以上,以避免采集亲缘关系较近的植株,每个单株树冠中上部四个方向采集 20~30 片叶片,并采集其成熟果实,带回实验室分析测定。

1.2 表型性状的测定方法

根据 Falkenhagen^[11]、Vikram^[12]的方法,用直尺测定叶片的叶长、叶片长、叶片宽、叶柄长、叶片长/宽、叶片长/叶柄长,测量精度为 0.01 cm。用游标卡尺测定叶厚、叶柄宽、果实的翅果长、翅果宽、翅果柄长、翅果长/宽、果长、果宽、果厚、果柄长、着生痕、种子长、种子宽、种子长/宽,测量精度为 0.02 mm。用叶面积仪测定叶面积,测量精度为 0.01 cm²。共测量 21 个指标(图 1)。

1.3 统计分析方法

应用 SPSS 17.0 软件对各性状采用巢式设计方差分析^[13],线性模型为:

$$Y_{ijk} = L + S_i + T_{(i)j} + E_{(ij)k}$$

式中: Y_{ijk} 为第 i 个种群第 j 个家系第 k 个观测值, L 为总均值, S_i 为种群效应(固定), $T_{(i)j}$ 为种群内家系效应(随机); $E_{(ij)k}$ 为试验误差。

表型分化系数(V_{ST})反映种群间的表型分化状况^[14],与基因分化系数相对应,计算公式为:

$$V_{ST} = (\delta_{t/s}^2) / (\delta_{t/s}^2 + \delta_t^2)$$

式中, $\delta_{t/s}^2$ 为种群间方差分量, δ_t^2 为种群内方差分量。

表型特征变异系数 CV 反映表型性状的离散程度,计算公式为:

$$CV = S / X$$

式中, S 为标准差, X 为平均值。

多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 信息指数,计算公式为:

表 1 葛萝槭采样种群的地理位置及生态因子($n=30$)

Table 1 Locations and related ecological factors of the sampled populations in *A. grosseri*

种群代码 Population No.	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude/m	坡向 Aspect	坡度 Slope/°	群落中地位 Status in the community
红崖大峡谷 Hongyadaxiagu(HYDXG)	36°29'N	111°33'E	1 500	NE	15	伴生种 Accompanying species
陈村林场 Chencunlinchang(CCLC)	36°15'N	111°28'E	1 170	N	10	优势种 Dominant species
介庙林场 Jiemiaolinchang(JMLC)	36°29'N	111°27'E	1 450	NE	20	伴生种 Accompanying species
灵空山 Lingkongshan(LKS)	36°31'N	112°05'E	1 450	NE	18	优势种 Dominant species
七里峪 Qiliyu(QLY)	36°37'N	111°59'E	1 560	WN	10	伴生种 Accompanying species
下川 Xiachuan(XC)	36°16'N	111°36'E	1 600	NE	25	伴生种 Accompanying species
石膏山 Shigaoshan(SGS)	36°15'N	110°30'E	1 410	N	23	伴生种 Accompanying species
卫华 Weihua(WH)	36°42'N	112°08'E	1 570	WN	16	优势种 Dominant species

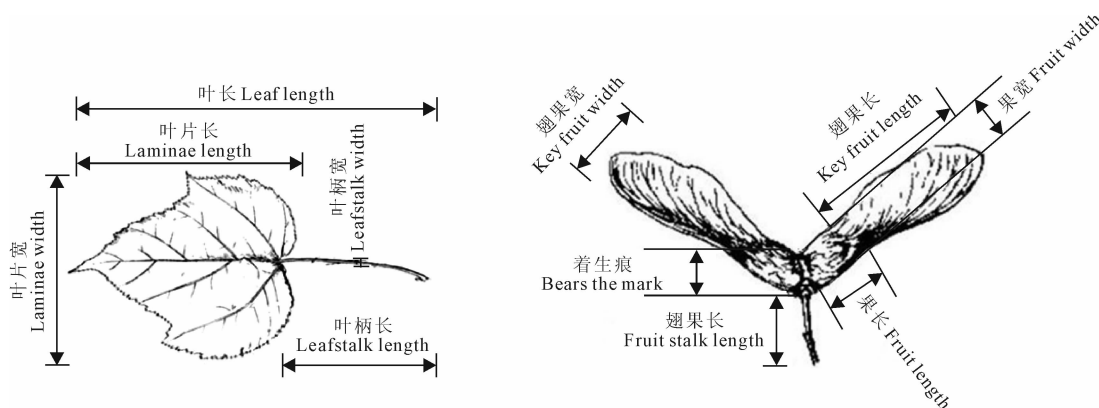


图1 叶片和果实模型

Fig. 1 Model of laminae and fruit

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

式中, P_i 为某性状第 i 个代码值出现的概率。采用 BIO-Dap 软件计算各个种群的多样性指数。

应用 SPSS 17.0 软件对葛萝槭 21 个表型性状进行主成分分析以确定表型差异的主要表型性状。

采用 NTSYS-pc 标准化处理后对葛萝槭利用非加权配对算术平均 (UPGMA) 进行聚类分析, 同时利用 SPSS 17.0 软件对葛萝槭各表型性状与地理生态因子的相关性进行分析。其他统计运算按照常规方法并利 Excel 2003, SPSS 17.0 软件包提供的有关程序进行。

2 结果与分析

2.1 葛萝槭种群间和种群内的形态变异特征

从表 2 的方差分析结果可以看出, 葛萝槭叶、果实、种子 21 个性状在种群间和种群内存在极显著差异, 说明葛萝槭表型性状在种群间和种群内存在广泛的遗传差异。21 个表型性状的表型分化系数 V_{ST} 最小为 19.68%, 最大为 93.24%, 其中较大的是果宽、翅果柄长, 分别为 93.24%、82.35%。表明这两个性状在种群间的变异大于种群内的变异, 种群间变异占优势。叶片长/叶柄长和叶片宽的 V_{ST} 较小, 分别为 19.68%、24.23%, 说明这几个性状较稳定, 以种群内变异为主。21 个性状的总的平均表型分化系数 V_{ST} 为 50.16%, 种群内的表型分化系数 V_{ST} 为 49.84%, 表明种群间变异和种群内变异对葛萝槭种内变异同等重要, 同时也体现了种群基因型与环境因子之间对葛萝槭生长影响较为复杂。

另外, 葛萝槭表型性状平均值和平均值的多重比较结果可以看出 (数据未列出), 不同表型性状间存在显著差异, 表明各性状在种群间存在广泛差异。

2.2 葛萝槭表型性状的形态变异特征

用变异系数 CV 来衡量性状值的离散程度, 即变异系数系数越大, 离散程度越高。从表 3 中可以看出, 葛萝槭 21 个性状的变异系数存在一定的差异, 平均变异系数 CV 为 19.16%, 变化幅度为 7.89%~37.04%。叶、果实与种子表型性状的平均变异系数顺序为种子 (11.88%) < 果实 (18.64%) < 叶 (22.10%), 说明种子性状较果实和叶稳定。此外, 叶、种子的形状指数的变异系数均比单个性状的小, 如叶片长/宽 (CV 为 13.93%)、种长/宽 (CV 为 9.94%), 说明在种群中叶、种子的形状指数较单个性状稳定性高。

在不同种群内, 同一性状的变异系数也存在不同差异, 说明不同地区的环境异质性导致种群表型变异的差异。进一步对各种群变异系数的比较表明, 8 个种群的 21 个性状的平均变异系数排列顺序是: 七里峪 (17.39%) < 卫华 (17.61%) < 石膏山 (17.94%) < 介庙林场 (18.11%) < 下川 (19.46%) < 陈村林场 (19.97%) < 灵空山 (20.53%) < 红崖大峡谷 (22.25%), 说明七里峪的表型多样化程度较低, 红崖大峡谷表型多样性较丰富。

2.3 葛萝槭天然种群表型性状多样性指数

由表 4 可以看出, 葛萝槭种群的平均 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.692 3, 变化范围是 1.544 8~1.812 1, 其中最大的是红崖大峡谷。

对于每一个性状, 葛萝槭 21 个性状平均 Shannon-Wiener 多样性指数是 5.918 7, 变化范围在 4.169 0~7.143 3。种子的表型性状指标的多样性指数均比果实、叶片的低。表明种子较果实、叶片的稳定性高, 这与变异系数所得结论一致。

表 2 葛萝槭种群间和种群内表型性状方差分析结果

Table 2 Variance analysis of morphological traits among and within populations in *A. grosseri*

性状 Trait	均方 Mean square			F 值 F value		方差分量 Variance portion		表型分化系数(V_{ST}) Differentiation coefficient of phenotypic traits ($V_{ST}/\%$)
	种群间 Among populations	种群内 Within population	机误 Random errors	种群间 Among populations	种群内 Within population	种群间 Among populations	种群内 Within population	
叶长 Leaf length	332.166	44.693	7.875	42.18 **	5.675 **	2.325 2	3.128 5	42.64
叶片长 Laminae length	44.443	13.894	2.265	19.662 **	6.153 **	0.311 1	0.972 6	24.23
叶片宽 Laminae width	95.982	15.663	2.373	40.441 **	6.599 **	0.671 9	1.096 4	38.00
叶柄长 Leafstalk length	33.791	6.697	1.796	18.813 **	3.729 **	0.236 5	0.468 8	33.53
叶柄宽 Leafstalk width	0.525	0.216	0.065	8.023 **	3.304 **	0.003 7	0.015 1	19.68
叶面积 Leaf area	6 551.004	1 008.163	218.324	30.006 **	4.618 **	45.857	61.498	42.72
叶片长/宽 The ratio of leafstalk length to leafstalk width	0.882	0.157	0.023	38.788 **	6.908 **	0.006 2	0.011 0	36.05
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	0.274	0.047	0.017	15.911 **	2.716 **	0.001 9	0.003 3	36.54
叶厚 Leaf thickness	0.017	0.005	0.004	4.714 **	1.271 **	0.000 1	0.000 3	25.00
果柄长 Fruit stalk length	3.796	0.279	0.23	16.473 **	1.212 **	0.026 6	0.011 7	69.45
翅果柄长 Key fruit stalk length	1.402	0.044	0.038	37.013 **	1.152 **	0.009 8	0.002 1	82.35
翅果长 Key fruit length	4.64	0.182	0.093	49.947 **	1.955 **	0.032 5	0.008 7	78.88
翅果宽 Key fruit width	0.376	0.023	0.014	25.865 **	1.638 **	0.002 6	0.001 1	70.27
果长 Fruit length	0.288	0.136	0.013	21.732 **	2.732 **	0.002 0	0.001 7	54.05
果宽 Fruit width	1.974	0.021	0.014	145.475 **	1.58 **	0.013 8	0.001	93.24
果厚 Fruit thickness	6.78	0.431	0.256	26.46 **	1.684 **	0.047 5	0.020 7	69.65
着生痕 Bears the mark	2.741	0.162	0.066	41.681 **	2.469 **	0.019 2	0.007 8	71.11
果长/果宽 The ratio of fruit length to width	2.167	0.126	0.058	37.418 **	2.181 **	0.015 2	0.006 1	71.36
种子长 Seed length	4.454	4.707	0.002	14.59 **	13.35 **	0.000 8	0.001 4	36.36
种子宽 Seed width	3.363	3.505	0.002	15.26 **	19.56 **	0.000 6	0.001 2	33.33
种子长/种宽 The ratio of seed length to width	0.032	0.028	0.003	0.06 **	0.02 **	0.000 1	0.000 3	25.00
平均 Mean								50.16

注: * . $\alpha=0.01$ 水平相关显著。
Note: * . Significant correlation at 0.01 level.

表 3 葛萝槭 8 个种群表型性状的变异系数(CV)
Table 3 Coefficients of variation (CV) of morphological traits of 8 populations in *A. grosseri*

性状 Trait	种群 Population								总计 Total
	红崖大峡谷 HYDXG	陈村林场 CCLC	介庙林场 JMLC	灵空山 LKS	七里峪 QLY	下川 XC	石膏山 SGS	卫华 WH	
叶长 Leaf length	18.23	14.54	14.18	14.25	16.92	20.34	16.75	15.10	16.29
叶片长 Laminae length	17.66	13.72	13.62	13.14	16.01	18.17	16.70	13.99	15.38
叶片宽 Laminae width	21.27	21.30	17.73	16.77	20.99	24.62	18.38	19.32	20.05
叶柄长 Leafstalk length	29.53	23.63	28.38	30.10	26.42	34.22	25.77	27.14	28.15
叶柄宽 Leafstalk width	26.66	17.96	18.34	20.16	20.92	21.65	19.47	15.69	20.11
叶面积 Leaf area	90.28	25.80	26.25	25.94	24.74	39.22	34.33	29.77	37.04
叶片长/宽 The ratio of leafstalk length to leafstalk width	13.86	19.13	11.72	9.54	13.65	16.06	10.75	16.75	13.93
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	26.03	23.77	27.40	27.02	29.01	35.69	25.87	28.94	27.97
叶厚 Leaf thickness	15.71	23.08	23.63	19.49	17.78	24.12	17.15	18.69	19.96
果柄长 Fruit stalk length	22.05	24.57	26.72	32.90	16.30	23.29	28.38	14.73	23.62
翅果柄长 Key fruit stalk length	19.69	30.87	42.31	25.17	20.02	20.91	44.07	19.86	27.86
翅果长 Key fruit length	18.41	25.20	11.53	23.53	14.54	17.66	9.62	19.35	17.48
翅果宽 Key fruit width	17.81	25.46	10.36	12.33	15.20	18.50	7.90	15.58	15.39
果长 Fruit length	11.96	27.89	9.33	17.39	14.30	10.50	9.35	20.36	15.14
果宽 Fruit width	12.61	14.78	9.78	35.20	10.83	12.14	11.35	13.27	15.00
果厚 Fruit thickness	31.98	29.03	24.14	35.20	24.27	30.33	20.08	22.02	27.13
着生痕 Bears the mark	6.46	4.17	7.85	16.13	8.90	4.83	5.91	8.83	7.89
果长/果宽 The ratio of fruit length to width	15.54	28.20	14.33	29.32	15.82	11.05	15.83	16.25	18.29
种子长 Seed length	18.67	7.23	17.26	5.68	13.79	8.86	15.12	11.52	12.27
种子宽 Seed width	19.36	9.12	17.23	6.43	18.62	8.57	16.34	11.68	13.42
种子长/种宽 The ratio of seed length to width	13.54	9.82	8.32	15.37	6.06	7.83	7.67	10.89	9.94
平均值 Mean	22.25	19.97	18.11	20.53	17.39	19.46	17.94	17.61	19.16

表 4 葛萝槭的天然种群以及 21 个性状
表型多样性指数
Table 4 Shannon-Wiener information indexes
of 21 morphological traits and natural
populations in *A. grosseri*

种群 Population	Shannon- Wiener	性状 Trait	Shannon- Wiener
红崖大峡谷 HYDXG	1.812 1	叶长 Leaf length	7.139 2
		叶片长 Laminae length	7.140 7
		叶片宽 Laminae width	7.131 7
陈村林场 CCLC	1.544 8	叶柄长 Leafstalk length	7.111 6
		叶柄宽 Leafstalk width	7.134 6
		叶面积 Leaf area	6.974 3
介庙林场 JMLC	1.789 4	叶片长/宽 The ratio of leafstalk length to leafstalk width	7.143 3
		叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	7.113 0
		叶厚 Leaf thickness	4.979 6
灵空山 LKS	1.644 5	果柄长 Fruit stalk length	4.428 8
		翅果柄长 Key fruit stalk length	5.076 7
		翅果长 Key fruit length	5.798 2
七里峪 QLY	1.704 3	翅果宽 Key fruit width	5.809 2
		果长 Fruit length	5.810 3
		果宽 Fruit width	5.773 0
下川 XC	1.704 2	果厚 Fruit thickness	5.773 9
		着生痕 Bears the mark	5.135 1
		果长/果宽 The ratio of fruit length to width	5.799 6
石膏山 SGS	1.737 9	种子长 Seed length	4.453 8
		种子宽 Seed width	4.396 1
卫华 WH	1.601 2	种子长/种宽 The ratio of seed length to width	4.169 0
平均 Mean	1.692 3	平均 Mean	5.918 7

2.4 主成分分析

对葛萝槭的 21 个性状进行主成分分析,以确定各个性状对葛萝槭表型性状差异的影响程度。结果(表 5)表明:第一个主成分的贡献率为 37.164%,可以代表原始性状的部分信息;前 5 个主成分的累计贡献率为 97.704%,基本可以保留原始性状的全部信息。第一主成分中翅果长(0.958)、果柄长(0.929)和果长/果宽(0.927)特征值最大,起主导作用,主要反映了果实性状的特征。第二个主成分中起主要作用的是叶片长(0.967)和叶面积(0.961),主要反映了叶的特征。第三个主成分中特征值最大的是叶厚(0.867)、叶片长/叶柄长(0.798)和叶柄长(0.736),主要反映了叶片的特征。第四个主成分中起主要作用的是翅果宽(0.738)、着生痕(0.465)和果宽(0.418),主要反映了果实的特征。第五个主成分中特征值最大的是叶柄宽(0.522)和叶片长/叶片

宽(0.453),主要反映了叶片性状的特征。总体来说,叶片的累计贡献率大于果实、种子的贡献率,叶片的表型变异对葛萝槭的变异起主要作用,这进一步支持了变异系数和表型多样性指数分析的结果。

2.5 相关分析

对葛萝槭叶片、果实 21 个性状平均值与采样地的地理生态因子进行了相关分析与检验。结果表明(表 6):叶片宽与经度、纬度呈显著正相关($r=0.590^*, r=0.598^*$),叶面积与经度呈极显著正相关($r=0.603^{**}$),与纬度呈显著负相关($r=-0.648^*$),叶形指数与经度、纬度呈显著负相关($r=-0.438^*, r=-0.525^*$),说明由南向北,从东到西叶形状指数越来越小,叶形逐渐由长卵形向宽卵形变异。果宽与纬度及海拔呈负相关($r=-0.387^*, r=-0.391^*$),果实、种子形状指数与海拔呈显著负相关($r=-0.465^*, r=-0.459^*$),说明随着海拔的升高,果实、种子均变小。

2.6 葛萝槭天然种群表型聚类分析

利用欧氏平均距离,采用 UPGMA 方法对葛萝槭 8 个种群进行聚类分析,结果如图 2 所示。根据聚类结果,8 个种群明显聚为两支,灵空山(LKS)、七里峪(QLY)、下川(XC)和卫华(WH)聚为一支(I);陈村林场(CCLC)、石膏山(SGS)、介庙林场(JMLC)和红崖大峡谷(HYDXG)聚为另一支(II)。在 I 中,灵空山(LKS)与七里峪(QLY)形成一亚支,下川(XC)和卫华(WH)形成另一亚支;介庙林场(JMLC)和红崖大峡谷(HYDXG)聚为第 II 支的一个亚支,陈村林场(CCLC)和石膏山(SGS)聚为另一个亚支。聚类结果表明,葛萝槭 8 个种群基本上是依地理距离而聚类的,表现出种群表型性状变异的连续性。对葛萝槭种群表型欧氏距离与地理距离间的相关性分析($r=0.164$)表明,表型欧氏距离与地

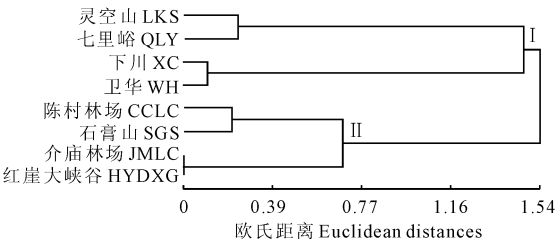


图 2 基于 21 个表型性状的葛萝槭种群的
欧式距离 UPGMA 聚类树形图

Fig. 2 UPGMA-derived dendrogram based on
Euclidean distances showing the clustering of
the 21 phenotype traits of *A. grosseri*

表 5 葛萝槭天然种群主成分分析结果

Table 5 Principal component analysis of populations in *A. grosseri*

性状 Trait	主成分 Principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
叶长 Leaf length	−0.407	0.869	0.109	−0.024	−0.252
叶片长 Laminae length	−0.202	0.967	−0.088	−0.098	−0.076
叶片宽 Laminae width	−0.557	0.665	0.288	0.051	−0.391
叶柄长 Leafstalk length	−0.225	0.408	0.736	−0.349	0.345
叶柄宽 Leafstalk width	0.198	0.744	0.248	0.181	0.522
叶面积 Leaf area	−0.151	0.961	−0.119	0.058	−0.177
叶片长/宽 The ratio of leafstalk length to leafstalk width	0.573	0.188	−0.608	−0.211	0.453
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	−0.032	−0.318	0.798	−0.322	0.392
叶厚 Leaf thickness	0.010	0.021	0.867	−0.021	−0.312
果柄长 Fruit stalk length	0.929	0.170	0.248	0.124	0.074
翅果柄长 Key fruit stalk length	−0.876	−0.048	0.049	0.235	0.414
翅果长 Key fruit length	0.958	0.147	0.21	−0.017	−0.067
翅果宽 Key fruit width	0.62	−0.179	0.108	0.738	−0.106
果长 Fruit length	0.889	0.415	−0.090	−0.023	0.051
果宽 Fruit width	−0.869	−0.18	0.027	0.418	0.188
果厚 Fruit thickness	0.593	−0.340	0.591	0.356	−0.084
着生痕 Bears the mark	0.201	0.768	−0.025	0.465	0.319
果长/果宽 The ratio of fruit length to width	0.927	0.198	−0.05	−0.288	−0.113
种子长 Seed length	0.568	−0.159	0.386	0.197	−0.480
种子宽 Seed width	0.349	0.239	−0.297	0.236	−0.265
种子长/种宽 The ratio of seed length to width	0.548	0.198	−0.231	0.252	0.095
特征值 Eigenvalue	6.689	4.949	2.958	1.538	1.453
贡献率 Proportion/%	37.164	27.496	16.428	8.546	8.070
累计贡献率 Cumulative/%	37.164	64.660	81.088	89.634	97.704

表 6 葛萝槭表型性状与地理环境因子的相关关系

Table 6 Correlation coefficients between the geo-ecological factors and morphological traits in *A. grosseri*

性状 Trait	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude	坡度 Slope
叶长 Leaf length	0.290	0.546	0.515	0.612
叶片长 Laminae length	−0.265	−0.247	0.507	0.578
叶片宽 Laminae width	0.590 *	0.598 *	0.459	0.570
叶柄长 Leafstalk length	0.152	0.043	−0.054	0.370
叶柄宽 Leafstalk width	0.357	0.499	0.480	0.662
叶面积 Leaf area	0.603 * *	−0.648 *	0.634	0.657
叶片长/宽 The ratio of leafstalk length to leafstalk width	−0.438 *	−0.525 *	−0.059	−0.165
叶片长/叶柄长 The ratio of laminae length to leafstalk length	−0.067	−0.354	−0.442	−0.065
叶厚 Leaf thickness	−0.160	−0.133	−0.228	0.100
果柄长 Fruit stalk length	0.304	0.325	0.294	0.384
翅果柄长 Key fruit stalk length	0.240	−0.045	−0.022	−0.006
翅果长 Key fruit length	0.140	0.246	0.208	0.296
翅果宽 Key fruit width	0.319	0.238	0.266	0.151
果长 Fruit length	0.093	0.259	0.239	0.280
果宽 Fruit width	0.216	−0.387 *	−0.391 *	−0.061
果厚 Fruit thickness	0.317	0.182	0.143	0.245
着生痕 Bears the mark	0.230	0.499	0.596	0.644
果长/果宽 The ratio of fruit length to width	−0.159	0.055	−0.465 *	0.076
种子长 Seed length	0.203	0.187	0.101	0.237
种子宽 Seed width	0.193	0.098	0.069	0.276
种子长/种宽 The ratio of seed length to width	0.099	0.075	−0.459 *	0.052

注: * *, $\alpha=0.01$ 水平相关显著; * , $\alpha=0.05$ 水平相关显著。
Note: * *, Significant correlation at 0.01 level; * , Significant correlation at 0.05 level.

理距离间呈正相关,但经检验相关不显著。

3 结论与讨论

对山西葛萝槭 8 个天然种群 21 个性状进行表型多样性分析,葛萝槭种内存在着极其丰富的种群间变异和种群内变异。方差分析显示,叶片、果实、种子的 21 个表型性状均差异显著,说明葛萝槭各个表型性状均存在丰富的遗传多样性变异。

葛萝槭 21 个表型性状的平均表型分化系数 V_{ST} 为 50.16%,与其他树种相比,葛萝槭的平均表型分化系数高于青海云杉(31.20%)^[15]、疏花蔷薇(41.84%)^[2]、白皮松(22.86%)^[13]、五角枫(42.61%)^[16],与白云杉(50.00%)^[17]相当。

葛萝槭存在着较大的表型分化(50.16%),说明种群间存在较大的变异,这反映了种群基因与环境互作的复杂性,是不同环境选择的结果,是种群分化的源泉^[18]。且分布在种群间的变异真正反映了种群在不同环境中的适应状况,其大小在某种程度上说明了该生物对不同环境适应的广泛程度,值越大适应的环境越广^[13]。葛萝槭种群内存在着一定程度的变异(49.84%),由于葛萝槭是风传媒植物,果实为翅果,花粉及种子可以随风传播,使种群内实现基因交流。也可能是自身遗传因素与环境相互作用的结果,或者是来自个体间的遗传性差异及个体发育差异的不同(营养条件不一或发育阶段、年龄的不同等)^[19]。

葛萝槭 21 个性状的变异系数变化幅度为 7.89%~37.04%,平均变异系数为 19.16%。变化范围较大,说明葛萝槭种群内表型性状离散程度较高。植物种群中保持大的变异对于种群是有利的,种群内多种基因型所对应的表型范围越广,可以使种群整体适应环境的变化性^[20]。葛萝槭 8 个种群 21 个性

状 Shannon-Wiener 多样性指数平均为 5.918 7,高于茶条槭(1.599)^[21],表现出丰富的多样性,分化程度较高,这可能与多样化的生境有关,野外调查中发现,葛萝槭分布范围较广,可生长于山坡、湿地、山谷及林缘等多种生境中。而且通过主成分分析进一步证明了叶片的变异程度高于果实、种子,这与变异系数、多样性指数分析的结果相一致,说明种群内变异规律性极强。

葛萝槭分布较广泛,随着地理生态因子梯度性变化,其种内种群表型变异也呈梯度性变化。葛萝槭表型性状与地理生态因子相关分析表明,叶面积随着纬度的增加而变小,纬度越高,温度变低。叶表型性状与经度、纬度呈梯度变异式,即随着经度与纬度的增大,叶形指数减小;而果实、种子性状呈现出随海拔的升高,果实、种子逐渐变小,可能是由于海拔的升高,导致温度降低,在调查中也发现低海拔地区果实比高海拔的果实要大。这种变化可能是由于经纬度以及海拔上的明显不同会导致种群生境在土壤、水肥、温度和植被环境等上的差异,从而影响葛萝槭的生长^[22]。葛萝槭丰富的表型变异,也是其适应性广,抗逆性强的原因。

表型变异必然蕴藏着遗传变异,表型变异越大,可能存在的遗传变异越大。同时,表型变异蕴藏的遗传变异说明葛萝槭与环境的相互作用及其适应,这对优良种质资源的选择提供了一定的基础。根据葛萝槭丰富的表型多样性,可推断出其改良前景是非常广阔的,由于葛萝槭种群间分化与种群内分化相当,在改良的过程中,可使种群间和种群内相结合,在选择优势种群的同时,在种群内选择优良个体也是很重要的。这对下一步葛萝槭遗传多样性研究和种质资源保护、评价,天然林合理开发利用及人工林培育等有重大的意义。

参考文献:

- [1] TANG W(唐 雯),WANG J J(王建军),XU J X(徐家星),*et al.* Advances of chemical composition of medicinal plants in Aceraceae[J]. *Northern Horticulture*(北方园艺),2012,18:194-200(in Chinese).
- [2] GUO N(郭 宁),YANG SH H(杨树华),GE W Y(葛维亚),*et al.* Phenotypic diversity of natural populations of *Rosa laxaretz* in Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),2011,38(3):495-502(in Chinese).
- [3] WANG Y L(王娅丽),LI Y(李 毅),CHEN X Y(陈晓阳). Phenotypic diversity of natural populations in *Picea crassifolia* in Qilian Mountains[J]. *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学),2008,44(2):70-77(in Chinese).
- [4] BROCHMANN C,SOLTIS PS. Recurrent formation and polyphly of nordic polyploids in *Draba* (Brassicaceae)[J]. *American Journal of Botany*,1992,79(6):673-688.

- [5] WEN A M(闻爱民), CHEN W X(陈文新). Phenotypic feature diversity of rhizobia isolated from *Medicago* sp., *Melilotus* sp. and *Cara-gana* sp. [J]. *Biodiversity Science* (生物多样性), 1999, **7**(2): 1–8 (in Chinese).
- [6] 顾万春, 王 棋, 游应天. 森林遗传资源学概论[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1998: 1–296.
- [7] LUO J X(罗建勋), GU W CH(顾万春). Study on phenotypic diversity of natural population in *Picea asperata* [J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2005, **41**(2): 66–73 (in Chinese).
- [8] HAN L J(韩丽君), XING J X(邢金香), HAO X CH(郝香春), *et al.* Preliminary study on biology characteristics of *Acer grosseri* and its landscape application [J]. *Shanxi Forestry Science and Technology* (山西林业科技), 2010, **39**(3): 29–36 (in Chinese).
- [9] YUAN H Y(原海云), YAO Y(姚 延), LI B(李 斌). The effects of different culture media on diurnal variation of photosynthetic characteristic of *Acer grosseri* Pax. [J]. *Shanxi Forestry Science and Technology* (山西林业科技), 2012, **41**(1): 15–17 (in Chinese).
- [10] JIA J(贾 娟), SHI M H(史敏华), XING J X(邢金香), *et al.* The effects of different rooting agents on cutting propagation of *Acer grosseri* Pax. [J]. *Journal of Shanxi Agric. Univ.* (Nat. Sci. Edi.) (山西农业大学学报·自然科学版), 2010, **30**(3): 235–238 (in Chinese).
- [11] FALKENHAGEN E R. Multivariate classification in provenance reach [J]. *Silvae Genetica*, 1978, **27**(1): 14–23.
- [12] VIKRAM E. Island population establishment and genetic structure of *Picea abies* (L.) Karst. in Northern Sweden [Ph. D. Dissertation] [M]. Ume, Sweden: Arbetslivsinstitutet, 2001.
- [13] LI B(李 斌), GU W CH(顾万春), LU B M(卢宝明). A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana* [J]. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2002, **10**(2): 181–188 (in Chinese).
- [14] GE S(葛 颂), WANG M X(王明麻), CHEN Y W(陈岳武). An analysis of population genetic structure of masson pine by isozyme technique [J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 1988, **24**(4): 399–409 (in Chinese).
- [15] WANG Y L(王娅丽), LI Y(李 毅). Study on phenotype diversity of cone and seed in natural populations of *Picea crassifolia* in Qilian Mountain, China [J]. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2008, **32**(2): 355–362 (in Chinese).
- [16] JI ZH F(姬志峰), GAO Y H(高亚卉), LI L(李 乐), *et al.* Phenotypic diversity of populations of *Acer mono* in Huoshan Mountain of Shanxi at different altitude [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2012, **39**(11): 2 217–2 228 (in Chinese).
- [17] ZHANG H G(张含国), SUN L F(孙立夫), HAN J F(韩继凤), *et al.* Study on the genetic diversity of *Picea koraiensis* [J]. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2003, **25**(5): 224–229.
- [18] JING ZH H(井振华), LI H(李 皓), SHAO W H(邵文豪), *et al.* Phenotypic diversity of natural populations in *Diospyros glaucifolia* [J]. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2010, **30**(3): 325–331 (in Chinese).
- [19] LUO J X(罗建勋), LI X Q(李晓清), SUN P(孙 鹏), *et al.* Phenotypic variation in natural population of *Picea asperata* [J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2003, **31**(1): 9–11 (in Chinese).
- [20] ZHU L B(竺利波), GU W CH(顾万春), LI B(李 斌). Study on phenotypic diversity of population in *Cersis chinensis* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2007, **23**(3): 138–145 (in Chinese).
- [21] WANG D(王 丹), PANG CH H(庞春华), GAO Y H(高亚卉), *et al.* Phenotypic diversity of *Acer ginnala* (Aceraceae) populations at different altitude [J]. *Plant Diversity and Resources* (植物分类与资源学报), 2010, **32**(2): 117–125 (in Chinese).
- [22] LIU X(刘 晓), YUE M(岳 明), REN Y(任 毅). Morphologic variation of *Kingdonia uniflora* leaves [J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, **31**(5): 861–867 (in Chinese).