

# 新疆野扁桃天然居群形态变异的研究

曾 斌<sup>1</sup> 罗淑萍<sup>2\*</sup> 李 疆<sup>1</sup> 聂文魁<sup>2</sup> 张 峰<sup>1</sup> 李海龙<sup>3</sup>

1 (新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052)

2 (新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

3 (塔城地区裕民县野扁桃林自然保护区经营管理所, 新疆裕民 834700)

**摘要:** 为了从数量上分析新疆野扁桃(*Amygdalus ledebouriana*)天然居群表型性状在居群间和居群内的变异, 我们于2007年对分布在新疆的5个野扁桃天然居群的8个表型性状进行了测量和比较分析。结果表明: 新疆野扁桃表型性状在居群间和居群内均存在着较丰富的差异, 居群内的变异大于居群间的变异, 居群间的分化相对较小; 利用居群间欧氏距离进行UPGMA聚类分析表明, 5个天然居群可以划分为3类, 表型性状的欧式遗传距离与地理距离相关不显著。主成分综合分析结果显示: 新梢长宽比、叶片长宽比、果核千粒重、果核长宽比及花冠直径等5个表型性状指标是反映新疆野扁桃表型差异的主要因素。

**关键词:** 新疆野扁桃, 天然居群, 形态变异

## Morphological variations in natural populations of *Amygdalus ledebouriana*

Bin Zeng<sup>1</sup>, Shuping Luo<sup>2\*</sup>, Jiang Li<sup>1</sup>, Wenkui Nie<sup>2</sup>, Feng Zhang<sup>1</sup>, Hailong Li<sup>3</sup>

1 Horticultural College of Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052

2 Agronomy College of Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052

3 Administration Bureau of Wild-Almond Natural Protecting Area, Yumin County, Tacheng District, Xinjiang 834700

**Abstract:** In order to investigate patterns of phenotypic trait variation in natural populations of *Amygdalus ledebouriana*, we measured eight morphological traits in five *A. ledebouriana* populations in Xinjiang. Rich phenotypic variation existed both among and within populations, and variation was greater within populations than among populations. Our UPGMA cluster analysis indicated that the five populations formed three distinct groups. We detected no relationship between geographic distance and Euclidean distance. Principal component analysis showed that shoot length/shoot width, leaf length/leaf width, mass per 1,000 seeds, seed length/seed width, and corolla diameter were the most important phenotypic traits that accounted for the morphological variation of *A. ledebouriana*.

**Key words:** *Amygdalus ledebouriana*, population, morphological variation

野扁桃(*Amygdalus ledebouriana*)又名矮扁桃, 俗称野巴旦杏, 为蔷薇科李亚科桃属扁桃亚属植物, 是我国特有的稀有野生树种, 主要分布于新疆塔城地区的裕民县和托里县、塔城市郊以及阿勒泰地区的布尔津县和哈巴河县境内(朱京琳, 1983)。朱京琳(1983)曾于20世纪80年代对新疆野扁桃资源进

行过初步调查, 其后黄培祐等(1985, 1986)对野扁桃的群落生活型和生态学特征进行了初步研究, 李疆等(2006)在利用该物种做栽培扁桃的砧木方面做了尝试性的工作, 并将近几年资源调查的结果及利用其优良基因改良栽培品种等方面的发展潜力做了综述, 但对新疆野扁桃表型性状的变异和多样性等

收稿日期: 2007-11-05; 接受日期: 2008-06-16

基金项目: 国家自然科学基金(30760205)和新疆维吾尔自治区教育厅高校科研计划重点项目(XJEDU2006I26)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: luoshuping2008@163.com

方面的研究并未见报道。

一个群体遗传多样性越高, 对环境变化的适应能力就越强, 也就越容易扩展其分布范围和开拓新的环境(顾万春, 1998)。表型多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现, 种群在其分布区内各种环境下的表型变异是生物多样性与生物系统学的重要研究内容(顾万春, 2004)。表型多样性研究在国内外一直比较活跃, 用表型性状来检测遗传变异的方法被广泛应用, 并且随着遗传多样性研究的加强而逐步成为热点(李斌等, 2002; 李文英和顾万春, 2005; 罗建勋和顾万春, 2005; 王赞等, 2005; 牟洪香等, 2007; 赵冰和张启翔, 2007; 赵翊和赵树进, 2007; 竺利波等, 2007)。

本研究对分布于我国新疆塔城及阿勒泰地区不同野扁桃居群的形态特征进行观测, 试图揭示居群间、居群内形态性状变异的特点以及不同居群间的聚类关系, 辅之以生态地理因子的调查取样分析, 了解该物种的地理变异规律, 揭示变异程度、变异格局及其与生态环境的关系, 以期对我国新疆野扁桃植物资源的保护、开发利用特别是利用野生种改良及选育栽培新品种等工作提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 居群选择

在2005–2007年全面收集新疆野扁桃分布资料和实地调查的基础上, 于2007年9月对野扁桃在新疆的5个自然居群进行取样(分布范围为45°56′–48°03′ N, 83°36′–86°21′ E)。在每个自然居群内选取30株树龄相近的树(以中干枝截面上的年轮确定树龄), 株间距至少50 m, 以最大限度降低母树间的亲缘关系(表1)。

### 1.2 表型性状的测量与记录

选择生长正常、无严重缺陷、无病虫害的、具有代表性的成熟的树, 对其进行GPS定位, 选取8个充分反映树体特征的表型性状(叶片长宽比、果核长宽比、新梢长宽比、花冠直径、雄蕊个数、雌蕊长度、雄蕊长度、果核千粒重)。在选定的30棵树的每棵树上随机选取30朵正常花, 用游标卡尺测定花冠直径、雌蕊长度和雄蕊长度, 并记录雄蕊个数。8月新梢生长基本停止时, 从每棵树上随机取30枝当年成熟的新梢枝条, 用卷尺测量新梢长度, 用游标

卡尺测定新梢粗度(新梢基部位置), 计算新梢长宽比(新梢长度/新梢粗度), 并在各枝条中部随机取30片成熟叶片, 用游标卡尺测定新梢中部的叶片长和叶片宽, 并计算叶片长宽比(叶长/叶宽), 测量精度为0.01 cm。8月中下旬, 果实成熟、果肉大部分皱缩自行开裂时, 在每棵树上随机取30粒果实, 剥去皱缩的果肉, 用游标卡尺测定果核纵径、横径, 并计算果核长宽比(纵径/横径)。果核千粒重量的测定: 每棵母树采300–500粒果实, 并剥去皱缩的果肉, 将果核充分混匀, 采用GB/T5519-1988测定千粒重的方法(国家技术监督局, 1989)进行称量, 称量精度0.01 g。利用百粒四分法随机抽取100粒果核用分析天平称其重量, 然后换算成千粒重, 重复5次。

### 1.3 数据处理与分析

#### 1.3.1 野扁桃表型性状方差分析模型及表型分化系数

对野扁桃的8个表型性状指标采用巢式设计方差分析(李春喜等, 2005), 该方法采用试验单向分组, 每组分若干个亚组, 每个亚组内又有若干个观测值, 该方法的区组设计试验的方差分析线性模型为:  $Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{[ij]} + \varepsilon_{[ijk]}$ ,  $Y_{ijk}$ 为第*i*个群体第*j*个家系第*k*个观测值,  $\mu$ 为总均值,  $S_i$ 为群体效应(固定),  $T_{[ij]}$  = 群体内家系效应(随机),  $\varepsilon_{[ijk]}$ 为试验误差。

为了与基因分化系数 $G_{ST}$ 相对应, 葛颂等(1988)定义 $V_{st} = (\sigma^2 t/S) / (\sigma^2 t/S + \sigma^2 s)$ ,  $\sigma^2 t/S$ 表示居群间的方差分量,  $\sigma^2 s$ 表示居群内的方差分量, 用 $V_{st}$ 来表示群体间变异占总遗传变异的百分比, 定义为表型分化系数, 用以估算群体间的表型分化值。

#### 1.3.2 性状变异特征

用变异系数 $CV$ 表示性状离散程度。用相对极差 $R'_i$ 表示极端差异程度。 $R'_i = R_i/R_0$ , 其中 $R_i$ 为群体内的极差,  $R_0$ 为性状总极差(李春喜等, 2005)。

#### 1.3.3 地理生态因子的相关分析

采用双变量相关分析方法对新疆野扁桃各表型性状和采集点的地理、生态因子的相关性进行分析。

#### 1.3.4 聚类与主成分分析

根据各表型性状求算分布区间欧式距离, 并用UPGMA聚类分析测定居群间的形态分化度, 根据Mantel's test检验方法(Smonse *et al.*, 1986)对各分布区表型性状的欧式遗传距离与地理距离间的相关性进行分析, 并运用UPGMA在NTSYS软件上做分布区关系树状图。各主成分对原始变量( $b^2_{ij}$ )的方差

表1 野扁桃5个天然居群的地理、生态因子及分布情况

Table 1 Geographical and ecological factors and distribution of five *Amygdalus ledebouriana* populations

居群编号 Population label	居群类型 Population type	采样地 Location	纬度 Latitude (N)/(°)	经度 Longitude (E)/(°)	海拔 Altitude (m)	年均温 Mean annual temperature (°C)	年降水量 Annual precipitation (mm)
布尔津 BRJ	纯林 Pure forest	阿尔泰山西南部山麓(布尔津县境内) Southwest region of Altay Mountains (within Buerjin County)	48°11'	87°06'	1,224	-3.6	117.8
哈巴河 HBH	稀疏灌丛林 Sparse shrub woods	阿尔泰山西北部孔敦林山麓(哈巴河县境内) The Kongdunlin area to northwest Altay Mountains (within Habahe County)	48°18'	86°34'	1,025	-3.8	141.9
塔城 TCH	杂果灌丛林 Sundry fruit shrubs	塔尔巴哈台山东部(塔城市境内) East region of Taerbahatai Mountains (within Tacheng City)	47°03'	83°01'	1,197	5.3	322.9
托里 TL	野果林 Wild fruit forest	巴尔鲁克山东部(托里县境内) East region of Baerluke Mountains (within Tuoli County)	46°09'	83°33'	870	6.9	485.7
裕民 YM	纯林 Pure forest	巴尔鲁克山西部(裕民县境内) West region of Baerluke Mountains (within Yumin County)	45°54'	82°30'	1,199	6.0	507.6

贡献(共同度)  $h^2 = \sum_{j=1}^m b_{ij}^2, i=1, 2, \dots, p$

所有的统计计算及分析在Excel 5.0和SAS 6.0软件上进行。

## 2 结果

### 2.1 表型性状在居群间和居群内的差异

8个表型性状中, 雄蕊长度在居群间的差异不显著( $P>0.05$ ), 雄蕊个数和雌蕊长度两个性状存在显著差异( $P<0.05$ ), 其余的表型性状差异均极显著( $P<0.01$ )。居群内雄蕊长度差异不显著, 其余表型性状差异均达极显著水平(表2)。

### 2.2 表型性状居群间分化

8个表型性状的  $V_{st}$  变异范围是7.63%(雄蕊个数)–40.27%(花冠直径), 平均分化系数为20.21%(表3)。由此可得出居群内的平均表型变异为79.79%, 说明居群内的表型多样性程度远高于居群间, 居群内的表型变异是野扁桃变异的主要来源。

### 2.3 表型变异特征

变异系数表示性状离散性特征, 变异系数越大则性状离散程度越大。表4结果表明: 8个表型性状在不同居群内个体之间存在着一定的变异幅度, 其中变异系数最大的是新梢长宽比, 为39.00%, 最小

的是雌蕊长度, 为7.49%。变异系数平均值从大到小依次为: 新梢长宽比、果核千粒重、叶片长宽比、花冠直径、雄蕊长度、果核长宽比、雄蕊个数、雌蕊长度。

对不同天然居群表型性状的变异系数进行进一步比较, 5个天然分布居群中变异系数最大的是裕民, 为17.93%, 最小为哈巴河, 为16.87%。平均变异系数从大到小依次为裕民、布尔津、塔城、托里、哈巴河。

### 2.4 表型性状与生态环境因子的相关性

从8个表型性状与采样地的地理生态因子偏相关分析结果可以看出(表5): 在8个表型性状指标中, 雄蕊长度与海拔呈极显著正相关, 花冠直径与海拔呈显著正相关, 其他6个性状与单一的生态因子相关不显著。

### 2.5 聚类分析

由图1可以看出, 以平均距离0.39为阈值时(图中虚线所示), 5个天然分布居群明显分为3类。第I类为布尔津1个分布居群, 这类分布居群具有叶片长宽比大、果核长宽比大、新梢长宽比大、花冠较大、雌蕊较长、雄蕊个数较多的特点; 第II类为塔城、托里、裕民等3个分布居群, 这类分布居群具有叶片长宽比、新梢长宽比、花器官及果核长宽比等指标较适中的特点; 第III类为哈巴河1个分布居群,

表2 野扁桃居群间和居群内表型性状方差分析

Table 2 Variance analysis of phenotypic traits among and within *Amygdalus ledebouriana* populations

性状 Traits	均方 (自由度) MS(df)			F	
	居群间 Among populations	居群内 Within population	随机误差 Random errors	居群间 Among populations	居群内 Within population
叶片长宽比 Leaf length / leaf width	14.08(4)	1.83(145)	0.2794(1,350)	7.7049**	6.5426**
果核长宽比 Seed length / seed width	1.6548(4)	0.1125(145)	0.0090(1,350)	14.7147**	12.5445**
新梢长宽比 Shoot length / shoot width	33,666.04(4)	8,518.1(145)	551.27(1,350)	3.9523**	15.4517**
花冠直径 Corolla diameter (cm)	14.2236(4)	0.7508(145)	0.0845(1,350)	18.9443**	8.8847**
雄蕊个数 Stamen number	34.3993(4)	13.1754(145)	4.6227(1,350)	2.6109*	2.8502**
雌蕊长度 Gynoecia length (cm)	0.0339(4)	0.0136(145)	0.0024(1,350)	2.4829*	5.7099**
雄蕊长度 Stamen length (cm)	0.0870(4)	0.0260(145)	0.0064(1,349)	0.3347	4.0793
果核千粒重 Mass per 1,000 seeds (g)	2,454,223.25(4)	157,439.83(145)	672.80(1,350)	15.5883**	234.0087**

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$

表3 野扁桃居群间和居群内方差分量与居群间表型分化系数

Table 3 Variance portion and phenotypic variation coefficient ( $V_{st}$ ) of phenotypic traits among and within *Amygdalus ledebouriana* populations

性状 Traits	方差分量 Variance portion			方差分量百分比 Percentage of variance portion (%)			表型分化系数 $V_{st}$ (%)
	居群间 Among populations ( $\sigma^2_{tS}$ )	居群内 Within population ( $\sigma^2_s$ )	随机误差 Random errors ( $\sigma^2_e$ )	居群间 Among populations	居群内 Within population	随机误差 Random errors	
叶片长宽比 Leaf length / leaf width	0.0408	0.1551	0.2794	8.58	32.63	58.78	20.83
果核长宽比 Seed length / seed width	0.00514	0.01035	0.009	20.99	42.26	36.75	33.18
新梢长宽比 Shoot length / Shoot width	83.8265	796.6831	551.2711	5.85	55.64	38.50	9.52
花冠直径 Corolla diameter (cm)	0.0449	0.0666	0.0845	22.91	33.98	43.11	40.27
雄蕊个数 Stamen number	0.0707	0.8553	4.6227	1.27	15.41	83.31	7.63
雌蕊长度 Gynoecia length (cm)	0.0001	0.0011	0.0024	2.78	30.56	66.67	8.33
雄蕊长度 Stamen length (cm)	0.0002	0.0020	0.0064	2.33	23.26	74.42	9.09
果核千粒重 Mass per 1,000 seeds (g)	15,311.89	31,353.41	672.79	32.35	66.23	1.42	32.81
平均 Mean				12.13	37.50	50.37	20.21

这类分布居群具有叶片长宽比、新梢长宽比、花器官及果核长宽比等性状指标均较小的特点。

Mantel's test检验(Smonse *et al.*, 1986)表明野扁桃天然分布居群间地理距离和欧式距离相关性不显著( $R=0.4321$ ), 有43.21%的表型变异可以由地理距离解释, 即56.79%的表型变异是由其他因素决定的(图2)。

## 2.6 主成分分析

主成分分析结果(表6、表7)显示: 前5个主成分累积贡献率达75.7463%, 足以代表原始因子所代表的大部分信息, 其中第一主成分占22.5700%, 对它作用最大的性状指标包括果核长宽比(-0.5654)、花冠直径(0.5271)、果核千粒重(0.5047); 第二主成分占15.2335%, 对它作用最大的性状依次为叶片长宽

表4 野扁桃5个天然居群表型性状变异系数

Table 4 Phenotypic variation coefficient of eight traits of five *Amygdalus ledebouriana* populations

性状 Traits	居群 Populations					Total
	布尔津 BRJ	哈巴河 HBH	塔城 TCH	托里 TL	裕民 YM	
叶片长宽比 Leaf length / leaf width	16.53	21.52	20.91	15.39	18.04	19.43
果核长宽比 Seed length / seed width	9.34	12.77	13.31	13.41	11.50	13.50
新梢长宽比 Shoot length / shoot width	35.84	33.33	37.05	37.36	46.03	39.00
花冠直径 Corolla diameter (cm)	14.63	12.13	18.90	14.01	11.54	16.48
雄蕊个数 Stamen number	11.73	11.61	9.71	10.97	10.65	11.03
雌蕊长度 Gynoecia length (cm)	8.14	6.59	7.51	6.43	8.25	7.49
雄蕊长度 Stamen length (cm)	17.46	15.68	18.16	15.16	15.27	16.38
果核千粒重 Mass per 1,000 seeds (g)	25.23	21.30	12.52	23.06	22.17	25.95
平均 Mean	17.36	16.87	17.26	16.97	17.93	18.66

表5 野扁桃表型性状与地理生态环境因子的相关分析

Table 5 Correlation coefficient between phenotypic traits and geographical and ecological factors in *Amygdalus ledebouriana*

性状 Characteristics	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	海拔 Altitude	年均温 Mean annual temperature	年降水量 Annual precipitation
叶片长宽比 Leaf length / leaf width	0.5567	0.6401	0.7600	-0.5976	-0.7075
果核长宽比 Seed length / seed width	0.3985	0.3031	-0.6634	-0.3898	-0.2234
新梢长宽比 Shoot length / shoot width	-0.7563	-0.7210	0.5140	0.6950	0.6608
花冠直径 Corolla diameter (cm)	0.1895	0.3588	0.9229*	-0.2858	-0.4350
雄蕊个数 Stamen number	0.2732	0.6168	0.6251	-0.4015	-0.6376
雌蕊长度 Gynoecia length (cm)	0.2697	0.4828	0.8434	-0.3536	-0.5480
雄蕊长度 Stamen length (cm)	-0.0865	0.0664	0.9765**	-0.0481	-0.1460
果核千粒重 Mass per 1,000 seeds (g)	-0.0005	-0.1387	0.2408	0.1563	0.0662

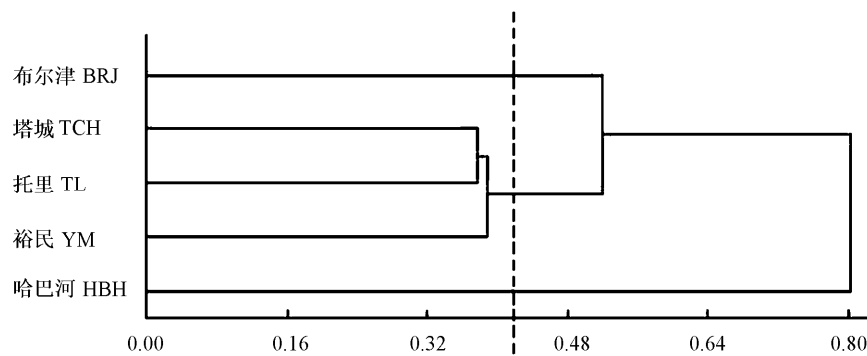


图1 野扁桃5个天然居群UPGMA聚类图(横坐标为欧氏距离)

Fig. 1 UPGMA dendrogram based on Euclidean distance of five *Amygdalus ledebouriana* populations

比(0.6213)、果核千粒重(0.4951)、新梢长宽比(-0.3146); 第三主成分占14.5265%, 对它作用最大的性状依次为果核千粒重(0.3961)、新梢长宽比(0.2378)、花冠直径(-0.2194); 第四主成分占

12.0944%, 对它作用最大的性状指标依次为新梢长宽比(0.7095)、果核长宽比(0.3254)、果核千粒重(-0.2709); 第五主成分占11.3219%, 对它作用最大的性状依次为叶片长宽比(-0.4177)、新梢长宽比

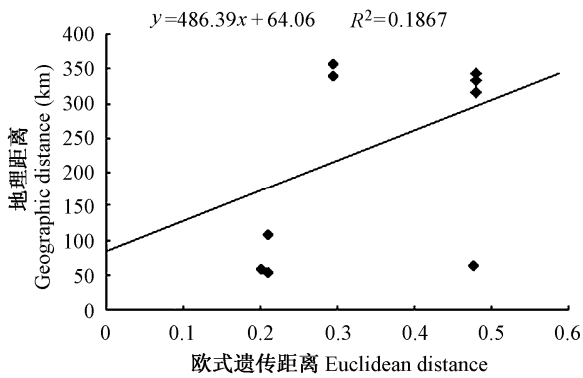


图2 野扁桃天然分布居群的欧式距离和地理距离相关性  
Fig. 2 Relationship between geographic distance and Euclidean distance of *Amygdalus ledebouriana*

(0.3516)、果核长宽比(-0.1659)。

在前5个主成分中, 结合共同度( $h^2$ )和居群间和

居群内的差异综合分析得出: 新梢长宽比、叶片长宽比、果核千粒重、果核长宽比及花冠直径等5个表型性状指标是反映表型差异的主要因素, 同时也是居群内和居群间差异较大的几个性状。该5个性状反映的是营养器官和生殖器官的特点。

### 3 讨论

新疆野扁桃的表型性状变异丰富, 种内存在着丰富的居群间、居群内变异, 5个天然居群的8个表型性状指标观测值差异显著, 居群间、居群内的变异系数变幅为6.43–46.03%。居群间叶片长宽比和新梢长宽比的平均变异系数均高于花器官和果核长宽比的平均变异系数, 这与其他表型多样性研究中繁殖器官性状指标具有较营养器官相对稳定的研究结果一致。另外新梢长宽比在所有性状指标中变异最大, 可能与其对环境影响反应最敏感有关 (Hamrick *et al.*, 1992)。

表6 野扁桃8个性状对前5个主成分的负荷量及共同度

Table 6 Loading and communality of eight traits of *Amygdalus ledebouriana* to the five principal components

特征因子 Character factor	1	2	3	4	5	共同度 Communality $h^2$
叶片长宽比 Leaf length / leaf width	0.1674	0.6213	-0.0716	0.1735	-0.4177	0.6237
果核长宽比 Seed length / seed width	-0.5654	-0.1708	0.0193	0.3254	-0.1659	0.4826
新梢长宽比 Shoot length / shoot width	0.2591	-0.3146	0.2378	0.7095	0.3516	0.8497
花冠直径 Corolla diameter (cm)	0.5271	0.0139	-0.2194	0.2206	-0.0008	0.3748
雄蕊个数 Stamen number	0.1012	0.0983	-0.0726	0.2045	0.0188	0.0673
雌蕊长度 Gynocia length (cm)	-0.1678	0.1172	-0.0267	-0.0765	0.0804	0.0549
雄蕊长度 Stamen length (cm)	-0.1192	0.2564	0.1536	0.1034	-0.1641	0.1412
果核千粒重 Mass per 1,000 seeds (g)	0.5047	0.4951	0.3961	-0.2709	-0.0003	0.7301

表7 特征根、贡献率及累积贡献率

Table 7 Characteristic root, variance proportion and cumulative variance proportion

特征因子 Character factor	特征根 Characteristic root	贡献率 Variance proportion (%)	累积贡献率 Cumulative variance proportion (%)
1	1.8056	22.5700	22.5700
2	1.2187	15.2335	37.8034
3	1.1621	14.5265	52.3300
4	0.9676	12.0944	64.4244
5	0.9058	11.3219	75.7463
6	0.8134	10.1670	85.9133
7	0.6669	8.3362	94.2495
8	0.4600	5.7505	100.0000

树种分布范围的大小是影响树木地理变异的主要因子。一般而言,树种分布区较大,则变异大;分布范围小变异小。另外,树种自然分布区内环境因素多样性也是影响林木地理变异的因子。分布区的环境条件越复杂,则种内群体的遗传变异愈大。本项研究选择的5个群体分布地理跨度大,气候及年降水量也有一定的差异,土壤条件也各不相同,有肥沃的暗棕壤,也有干旱瘠薄的沙壤土,因此分布区生态环境因子变化较大。而且,从新疆野扁桃的地理分布来看,野扁桃呈间断的不连续分布,由于各地选择压的不同,再加上地理隔离造成的基因交流的不频繁,使得野扁桃的表型变异较大。

野扁桃天然居群内的分化大大高于居群间。该结果与Hamrick和Godt (1990)结论相符合。他们曾对165属449种植物的遗传变异水平和居群分化程度进行统计分析,结果发现:异交虫媒植物只有19.7%的遗传变异存在于居群间,绝大部分(80.3%)存在于居群内。因此,在遗传改良工作中,在进行优良种源、优良群系选择和利用的同时,应加大优良个体选择和利用的力度(顾万春,1998)。

任何物种都不是一成不变的,都随环境条件的变化而变化。新疆北部塔城巴尔鲁克山及阿勒泰山地区近年干旱少雨、畜群的扩大和无控制的放牧,造成草、灌植被的严重破坏。草原退化、草地荒漠化日益加剧,这种状况对新疆野扁桃这一珍贵资源的生存带来了很大的威胁。植物在恶劣生境条件下,为适应生境压力,进化积累了较多的遗传变异(Williams *et al.*, 1990; 李俊清, 1998; 宝音陶格涛等, 2003)。但是,如果生境的恶劣程度和人为影响超出物种适应的最大限度,那么必将导致该物种遗传多样性的丧失甚至灭绝(李俊清, 1994)。丰富的遗传多样性则意味着比较高的适应生存能力,蕴藏着比较大的进化潜能以及比较丰富的育种和遗传改良能力,不仅有助于保持物种和整个生态系统的多样性及稳定性,还可以减慢由于适应和进化所导致的灭绝过程(Yu & Kiang 1993; 周立伟, 1995; 严华军和吴乃虎, 1996)。

## 参考文献

- Baoyin TGT (宝音陶格涛), Liu ML (刘美玲), Li XL (李晓兰) (2003) The study on dynamics succession of community in degenerated steppe of *Leymus chinensis* after shallow ploughing. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **27**, 270–277. (in Chinese with English abstract)
- China State Bureau of Technical Supervision (国家技术监督局)(1989) *Cereals and Oilseeds Method for Determination of the Mass of 1000 Grains (GB/T5519-1988)*(粮食和油料千粒重的测定法). China Standard Press, Beijing. (in Chinese)
- Ge S (葛颂), Wang MX (王明麻), Chen YW (陈岳武) (1988) An analysis of population genetic structure of masson pine by isozyme technique. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **24**, 399–409. (in Chinese with English abstract)
- Gu WC (顾万春) (1998) *Conspectus of Forest Genetic Resources* (森林遗传资源学概论). China Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Gu WC (顾万春) (2004) *Statistics Genetics* (统计遗传学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Hamrick JL, Godt MJW (1990) Allozyme diversity in plant species. In: *Plant Population Genetics, Breeding, and Genetic Resources* (eds Brown AHD, Clegg MT, Kahler AL, Weir BS), pp. 43–63. Sinauer Associates Inc., Sunderland.
- Hamrick JL, Godt MJW, Sherman-Broyles SL (1992) Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests*, **6**, 95–124.
- Huang PY (黄培祐), Pan WB (潘伟斌), Li XP (李新平) (1985) Investigation of biological and ecological characteristics on *Amygdalus ledebouriana*. *Journal of Xinjiang University (Natural Science)* (新疆大学学报(自然科学版)), (2), 65–70. (in Chinese with English abstract)
- Huang PY (黄培祐), Zhang XZ (张晓真), Xie ML (谢明玲)(1986) A study on life form of the plant communities of the *Amygdalus ledebouriana* Schlecht. *Arid Zone Research* (干旱区研究), (1), 22–29. (in Chinese with English abstract)
- Li B (李斌), Gu WC (顾万春), Lu BM (卢宝明) (2002) A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana*. *Biodiversity Science* (生物多样性), **10**, 181–188. (in Chinese with English abstract)
- Li CX (李春喜), Jiang LN (姜丽娜), Shao Y (邵云), Wang WL (王文林) (2005) *Biostatistics* (生物统计学), 3rd edn. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Li J (李疆), Zeng B (曾斌), Luo SP (罗淑萍), Li HL (李海龙), Madaniyati WLZH (马达尼亚提·吾拉孜汗)(2006) Protection and propagation of *Amygdalus ledebouriana* Schlecht. in China. *Xinjiang Agricultural Sciences* (新疆农业科学), **43** (1), 61–63. (in Chinese with English abstract)
- Li JQ (李俊清) (1994) Conservation of plant genetic diversity and related molecular biological techniques. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **13**(6), 27–33. (in Chinese with English abstract)
- Li JQ (李俊清) (1998) Research progresses of genetic diversity in plants. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **18**,

Baoyin TGT (宝音陶格涛), Liu ML (刘美玲), Li XL (李晓兰) (2003) The study on dynamics succession of community in degenerated steppe of *Leymus chinensis* after shallow ploughing. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报),

- 227–242. (in Chinese with English abstract)
- Li WY (李文英), Gu WC (顾万春) (2005) Study on phenotypic diversity of natural population in *Quercus mongolica*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **41**(1), 49–56. (in Chinese with English abstract)
- Luo JX (罗建勋), Gu WC (顾万春) (2005) Study on phenotypic diversity of natural population in *Picea asperata*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **41**(2), 66–73. (in Chinese with English abstract)
- Mou HX (牟洪香), Hou XC (侯新村), Liu QZ (刘巧哲) (2007) Study on the phenotype diversity of woody energy plant *Xanthoceras sorbifolia*. *Forest Research* (林业科学研究), **20**, 350–355. (in Chinese with English abstract)
- Smonse PE, Long JC, Sokaal RR (1986) Multiple regression and correlation extensions of the Mantel test of matrix correspondence. *Systematic Zoology*, **35**, 627–632.
- Wang Z (王赞), Gao HW (高洪文), Han JG (韩建国), Shang-guan TL (上官铁梁) (2005) Study on morphological variation of different populations of *Caragana korshinskii*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **25**, 118–123. (in Chinese with English abstract)
- Williams JGK, Kubelik AR, Livak KJ, Stanton AG (1990) DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*, **18**, 6531–6535.
- Yan HJ (严华军), Wu NH (吴乃虎) (1996) Study on the application of molecular marker technique in plant genetic diversity. *Chinese Bulletin of Life Sciences* (生命科学), **8**(3), 32–36. (in Chinese with English abstract)
- Yu H, Kiang YT (1993) Genetic variation in South Korean natural populations of wild soybean (*Glycine soja*). *Euphytica*, **68**, 213–221.
- Zhao B (赵冰), Zhang QX (张启翔) (2007) Phenotypic diversity of *Chimonanthus praecox* Germplasm in China. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), **35**(5), 10–13, 35. (in Chinese with English abstract)
- Zhao X (赵翮), Zhao SJ (赵树进) (2007) Phenotypic diversity of different *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng. populations. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)* (华南理工大学学报(自然科学版)), **35**(4), 117–122. (in Chinese with English abstract)
- Zhou LW (周立伟) (1995) Application of molecular marker techniques to test the genetic diversity of the endangered plants. *China Biotechnology* (生物工程进展), **15**(4), 22–25. (in Chinese with English abstract)
- Zhu JL (朱京琳) (1983) *Xinjiang Almond* (新疆巴旦杏). Xinjiang People's Press, Urumqi. (in Chinese)
- Zhu LB (竺利波), Gu WC (顾万春), Li B (李斌) (2007) Study on phenotypic diversity of population in *Ceris chinensis*. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), **23**(3), 138–145. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 时意专 闫文杰)