

# 新疆野苹果自然群体叶形遗传多样性分析

左力辉<sup>1,2</sup>, 张 军<sup>1,2</sup>, 董 研<sup>1,2</sup>, 王进茂<sup>1,2</sup>, 任亚超<sup>1,2</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北 保定 071000)

**摘 要:**以伊犁地区 10 个新疆野苹果天然群体为研究对象, 对其天然群体叶形遗传多样性进行了分析。结果表明:新疆野苹果群体叶形性状在群体间和群体内都存在丰富的变异。新疆野苹果叶片长/叶宽( $L_1/A_1$ )的变异系数为 11.99%, 在所有的性状中最稳定。所有性状平均变异系数最大的为 XY1 群体(17.18%), 最小的为 XY2 群体(14.09%)。群体内个体间的广义重复力平均值为 0.8877; 群体间广义重复力平均值为 0.7536, 叶片长/叶柄长( $L_1/L_2$ )、叶柄长( $L_2$ )的群体间广义重复力较小, 分别为 0.3022 和 0.5800, 说明这 2 个性状在群体间的表现不稳定, 易受环境的影响。10 个群体根据叶形指标聚类分为 4 类, 聚类结果和地域相吻合, 说明叶形受环境影响较大。主成分分析表明, 贡献率较高的前 3 个性状分别为叶尖角  $\alpha$ 、叶基角  $\gamma$ 、叶长  $L_1$ , 说明这几个性状参数在新疆野苹果的表型分类中起到重要作用, 可以作为野苹果表型分析的重要指标。

**关键词:**新疆野苹果; 遗传多样性; 叶形性状

**中图分类号:**S 661.102.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)11-0001-07

苹果属(*Malus* Mill.)种质资源丰富, 品种类型多样, 包括大量的野生种、半野生种及栽培品种, 在果树栽培、生产和育种上经济价值很高<sup>[1-2]</sup>。苹果的各类种质, 如野生、半野生、栽培品种以及抗源材料十分丰富, 在研究苹果的起源及种质资源亲缘演化等方面居重要地位<sup>[3-7]</sup>。由于农田开垦、过度放牧以及苹果小吉丁虫的传播与蔓延等因素, 伊犁地区新疆野苹果的总面积急剧减少, 遗传多样性遭到严重的破坏。为了抢救和保护现有的野苹果天然群体和进行科学合理利用, 必须弄清种内群体的遗传多样性。

遗传多样性在广义上是指种内或种间在分子、细胞、个体 3 个水平的遗传变异度, 狭义上主要是指种内不同群体和个体间的遗传多态性程度<sup>[8]</sup>。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。基因表达受控于环境条件, 表型是各种形态特征的组合, 是生物遗传变异的表征。表型多样性主要研究群体在其分布区内各种环境下的表型变异, 是遗传多样性与环境多样性的综合体现, 是生物多样性与生物系统学的重要内容<sup>[9]</sup>。利用表型性状研究群体的

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方法<sup>[10-12]</sup>。尽管目前尚不清楚表型性状对应的基因及其位点情况, 但表型变异是基因型和环境因子共同作用结果, 表型用于遗传多样性测定和评价更具合理性和实用性。表型多样性是遗传多样性研究的前提和基础, 也是遗传多样性研究的重要内容。表型特征中, 叶形变异是遗传变异的重要特征之一, 该研究主要内容为新疆野苹果天然群体叶形表型多样性, 以期新疆野苹果的科学保护、有效合理利用和相关科学研究提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

在新疆伊犁地区巩留县莫胡尔乡(7 个群体)和新源县交吾托海野苹果原位保护示范区(3 个群体)选定 10 个天然群体, 采样地的位置见表 1。每个群体中分别取 30 株个体采样, 株间距离 30~50 m, 所选择株为生长正常, 无明显缺陷, 未发现病虫害的个体。

### 1.2 试验方法

在各个群体内选定的单株上采集当年生枝条 10~20 个封于塑料袋中低温冷藏。嫁接在 2 年生海棠砧木上, 每个无性系 21 株, 栽培于河北满城县苗圃场, 随机区组, 3 次重复。第 2 年定于 80 cm, 第 3 年开始调查表型形状。每个野苹果系号取当年生枝条成熟叶片 10 片, 自封袋封存后带回实验室进行叶形指标的测定。

**第一作者简介:**左力辉(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为林木遗传育种。E-mail: zuolihui001@163.com.

**责任作者:**张军(1979-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为林木遗传育种。E-mail: zhangjunem@126.com.

**基金项目:**河北农业大学青年科学基金资助项目(QJ201212)。

**收稿日期:**2015-02-05

表1 新疆野苹果天然群体采样地理位置

Table 1 The geographical position of sampling sites in natural populations of *Malus sieversii* (Lebed.) Roem

编号 No.	群体 Population	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude/m	地形 Terrain
1	巩留县(GL1)	E 82°45'16.9"	N 43°13'23"	1 299	阴坡 Shady slope
2	巩留县(GL2)	E 82°46'56.9"	N 43°12'6.5"	1 419	阴坡 Shady slope
3	巩留县(GL3)	E 82°46'13"	N 43°14'3.1"	1 327	阴坡 Shady slope
4	巩留县(GL4)	E 82°51'37.2"	N 43°15'44.4"	1 338	平地 Flat
5	巩留县(GL5)	E 82°49'23"	N 43°15'20.9"	1 189	河床 River bed
6	巩留县(GL6)	E 82°42'59.4"	N 43°11'35.7"	1 674	半阴坡 Half shady slope
7	巩留县(GL7)	E 82°43'14.6"	N 43°13'6.2"	1 242	半阴坡 Half shady slope
8	新源县(XY1)	E 83°35'7.1"	N 43°22'38.1"	1 370	阴坡 Shady slope
9	新源县(XY2)	E 83°36'52.4"	N 43°22'34.2"	1 448	阴坡 Shady slope
10	新源县(XY3)	E 83°35'51.8"	N 43°22'51.8"	1 327	阴坡 Shady slope

注:在“群体”一列中,括号中的字母、数字为相应居群名称的缩写。

Note: In a row of 'population', letters and digital in bracket are abbreviation of corresponding population names.

## 1.3 项目测定

用直尺和电子尺测量每片叶子的叶宽( $A_1$ )、叶 1/2 处宽( $A_2$ )、叶 1/4 处宽( $A_3$ )、叶 3/4 处宽( $A_4$ )、叶片长( $L_1$ )、叶柄长( $L_2$ )、叶宽处距叶基距离( $L_3$ )、叶尖角( $\alpha$ )、叶基角( $\gamma$ )、性状具体位置见图 1。每群体测定 26 单株,每单株随机测定 10 枚叶片,长度和宽度测量精度为 0.01 cm,角度的测量精度为 0.1°。用测得的上述叶形指标进行组合,可以得到如下 6 个指标:叶片长/叶宽( $L_1/A_1$ )、叶片长/叶 1/2 处宽( $L_1/A_2$ )、叶片长/叶 1/4 处宽( $L_1/A_3$ )、叶片长/叶 3/4 处宽( $L_1/A_4$ )、叶片长/叶柄长( $L_1/L_2$ )、叶片长/叶宽处距叶基距离( $L_1/L_3$ )。

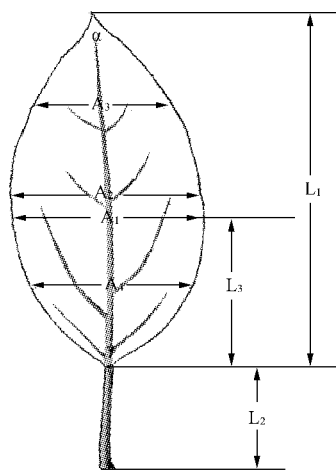


图1 新疆野苹果叶片性状示意图

Fig. 1 Schematic diagram of *Malus sieversii* (Lebed.) Roem leaf traits

## 1.4 数据分析

对各性状采用巢式设计方差分析,线形模型为:  $Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{(ij)k} + \epsilon_{(ij)k}$ , 式中  $Y_{ijk}$  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),  $T_{(ij)k}$  为群体内家系效应(随机);  $\epsilon_{(ij)k}$  为试验误差<sup>[13]</sup>。叶形性状重复力( $H^2$ ),包括群体间广义重复力和群体内个体间广义重

复力 2 种<sup>[14]</sup>。群体间广义重复力是指在群体间遗传方差占表型方差的比例,公式为  $H^2 = rf\sigma_m^2 / (\sigma_e^2 + r\sigma_{m/f}^2 + rf\sigma_m^2)$ , 表示在群体水平上亲代性状遗传给子代的能力;群体内个体间广义重复力是指在群体内个体间遗传方差占表型方差的比例,公式为  $H^2 = rf\sigma_{m/f}^2 / (\sigma_e^2 + r\sigma_{m/f}^2)$ , 表示在个体水平上亲代性状遗传给子代的能力。式中,  $\sigma_m^2$  为组间方差,  $\sigma_{m/f}^2$  为组内方差,  $\sigma_e^2$  为随机误差,  $r$  为个体重复数,  $f$  为个体数。其它统计分析按照常规方法,利用 DPS 3.01 和 Excel 5.0 软件进行统计运算。

## 2 结果与分析

## 2.1 新疆野苹果部分天然群体间叶形性状变异分析

对新疆野苹果部分天然群体的 15 项叶形指标进行了分析,方差分析结果显示,各项指标在群体内的差异都达到了极显著水平。性状指标叶片长/叶柄长( $L_1/L_2$ )在群体间没有表现出显著差异( $P=0.1743$ );叶柄长( $L_2$ )在群体间差异显著( $P=0.0134$ ),其余指标的差异在群体间均达到极显著水平。

新疆野苹果群体 15 个叶形指标的均值及 Duncan 多重比较(表 3),新疆野苹果的叶宽( $A_1$ )、1/2 处叶宽( $A_2$ )在群体间存在显著差异,均以 XY1 群体均值最大, GL4 群体均值最小。1/4 处叶宽( $A_3$ )在群体间存在显著差异,以 GL7 群体均值最大, GL4 群体均值最小。3/4 处叶宽( $A_4$ )在群体间存在显著差异,其变异模式与叶宽( $A_1$ )、1/2 处叶宽( $A_2$ )相似,也以 XY1 群体均值最大, GL4 群体均值最小。叶片长度( $L_1$ )性状在各个新疆野苹果群体中存在显著差异,以 GL7 群体叶片长均值最大, GL2 群体叶片长均值最小。叶柄长度( $L_2$ )性状在各个新疆野苹果群体中亦存在显著差异,以 XY1 群体叶柄长均值最大, GL2 群体叶柄长均值最小。叶片最宽处距叶基的距离( $L_3$ )在各个群体中也存在显著差异,以 GL5 群体均值最大, GL2 群体均值最小。叶尖角( $\alpha$ )性状在各个新疆野苹果群体中表现出显著差异,以 XY3 群体叶尖角均值最大, XY2 群体叶尖角均值最小。叶基角( $\gamma$ )性状在各个新疆野苹果群体中表现出显著差异, XY1 群体均值最大, XY3 群体均值最小。叶片长/叶宽( $L_1/A_1$ )、叶片长/叶 1/2 处宽( $L_1/A_2$ )等比值叶形指标可以更好地描述叶形的变异情况。叶片长/叶宽( $L_1/A_1$ )在群体间存在显著差异,以 GL5 群体均值最大, XY1 群体均值最小。叶片长/叶 1/2 处宽( $L_1/A_2$ )指标,以 GL5 群体均值最大, GL1 群体均值最小。叶片长/叶 1/4 处宽( $L_1/A_3$ )、叶片长/叶 3/4 处宽( $L_1/A_4$ )在群体间存在显著差异,均以 XY3 群体均值最大, GL1 群体均值最小。叶片长/叶柄长( $L_1/L_2$ )在群体中没有表现出明显的差异,以 GL7 群体均值最大, GL3 群体均值最小。叶片长/叶宽处距叶基距离( $L_1/L_3$ )在群体间存在显著差异,以 XY2 群体均值最大, GL4 群体均值最小。综上所述,综合分析新疆野苹果天然群体的各项叶形指标,没有呈现出明显的变异模式。

表 2 新疆野苹果部分天然群体间(内)叶形性状方差分析

Table 2 Variance analysis of leaf shape traits among/within populations in *Malus sieversii* (Lebed.) Roem

性状 Traits	均方(自由度) <i>MS(df)</i>			<i>F</i> 值 <i>F</i> value	
	群体间 Among population	群体内 Within populaition	随机误差 Random errors	群体间 Among population	群体内 Within populaition
叶宽 Leaf width( <i>A</i> <sub>1</sub> )	16. 0734(9)	2. 5215(250)	0. 1764	6. 3747 * *	14. 2911 * *
叶 1/2 处宽 1/2 leaf width( <i>A</i> <sub>2</sub> )	14. 3629(9)	2. 3649(250)	0. 1779	6. 0733 * *	13. 2909 * *
叶 1/4 处宽 1/4 leaf width( <i>A</i> <sub>3</sub> )	22. 1422 (9)	1. 3822 (250)	0. 1518	16. 0190 * *	9. 1081 * *
叶 3/4 处宽 3/4 leaf width( <i>A</i> <sub>4</sub> )	17. 6013(9)	2. 4819(250)	0. 1681	7. 0918 * *	14. 7649 * *
叶片长 Leaf length( <i>L</i> <sub>1</sub> )	22. 7671(9)	6. 0191(250)	0. 4104	3. 7824 * *	14. 6656 * *
叶柄长 Leaf stalk length( <i>L</i> <sub>2</sub> )	2. 0895(9)	0. 8776(250)	0. 0650	2. 3809 *	13. 4994 * *
叶宽处距叶基距离 Distance from leaf width to leaf base( <i>L</i> <sub>3</sub> )	5. 9816(9)	1. 4108(250)	0. 2127	4. 2398 * *	6. 6343 * *
叶尖角 Leaf opex angle( $\alpha$ )	14 568. 7281(9)	1 232. 8679(250)	232. 0098	11. 8169 * *	5. 3139 * *
叶基角 Leaf base angle( $\gamma$ )	9 246. 1964(9)	3 250. 0686(250)	235. 8381	2. 8449 * *	13. 7809 * *
叶片长/叶宽 Leaf length/leaf width( <i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>1</sub> )	0. 7413(9)	0. 2359(250)	0. 0168	3. 1419 * *	14. 0259 * *
叶片长/叶 1/2 处宽 Leaf length/1/2 leaf width( <i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>2</sub> )	0. 8145(9)	0. 2867(250)	0. 0474	2. 8406 * *	6. 0552 * *
叶片长/叶 1/4 处宽 Leaf length/1/4 leaf width( <i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>3</sub> )	8. 8058(9)	0. 7946(250)	0. 0801	11. 0824 * *	9. 9233 * *
叶片长/叶 3/4 处宽 Leaf length/3/4 leaf width( <i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>4</sub> )	1. 7918(9)	0. 3578(250)	0. 0282	5. 0079 * *	12. 7024 * *
叶片长/叶柄长 Leaf length/leaf stalk length( <i>L</i> <sub>1</sub> / <i>L</i> <sub>2</sub> )	5. 6183(9)	3. 9207(250)	0. 2361	1. 4330	16. 6068 * *
叶片长/叶宽处距叶基距离 Leaf length/distance from leaf width to leaf base( <i>L</i> <sub>1</sub> / <i>L</i> <sub>3</sub> )	1. 7852(9)	0. 27980(250)	0. 0929	6. 3805 * *	3. 0105 * *

注: \* 表示差异显著( $P<0.05$ ); \* \* 表示差异极显著( $P<0.01$ ); 在“性状”一列中, 括号中的字母、数字为相应性状的缩写。

Note: \* denote the difference is significant; \* \* denote the difference is very significant; in the row of “traits”, letters and digital in bracket are abbreviations of corresponding traits.

表 3 新疆野苹果部分天然群体间叶形指标的均值及标准差

Table 3 The mean value and standard deviation of leaf shape indexes in populations of *Malus sieversii* (Lebed.) Roem

群体 Population	样本数 Number of sample	叶形指标平均值 Mean±SD				
		<i>A</i> <sub>1</sub> /cm	<i>A</i> <sub>2</sub> /cm	<i>A</i> <sub>3</sub> /cm	<i>A</i> <sub>4</sub> /cm	<i>L</i> <sub>1</sub> /cm
GL 1	260	4. 789±0. 612 <sup>b</sup>	4. 732±0. 606 <sup>abc</sup>	3. 490±0. 545 <sup>ab</sup>	4. 312±0. 573 <sup>bc</sup>	7. 642±0. 964 <sup>dc</sup>
GL 2	260	4. 425±0. 564 <sup>d</sup>	4. 278±0. 589 <sup>f</sup>	3. 007±0. 437 <sup>c</sup>	3. 943±0. 505 <sup>c</sup>	7. 327±0. 903 <sup>f</sup>
GL 3	260	4. 642±0. 598 <sup>bc</sup>	4. 502±0. 585 <sup>dc</sup>	3. 214±0. 488 <sup>d</sup>	4. 227±0. 586 <sup>cd</sup>	7. 702±1. 004 <sup>cd</sup>
GL 4	260	4. 304±0. 632 <sup>d</sup>	4. 188±0. 613 <sup>f</sup>	2. 794±0. 480 <sup>f</sup>	3. 776±0. 607 <sup>c</sup>	7. 407±1. 077 <sup>ef</sup>
GL 5	260	4. 671±0. 582 <sup>b</sup>	4. 543±0. 584 <sup>d</sup>	3. 298±0. 504 <sup>cd</sup>	4. 299±0. 548 <sup>bc</sup>	8. 166±1. 080 <sup>a</sup>
GL 6	260	4. 802±0. 605 <sup>b</sup>	4. 642±0. 580 <sup>cd</sup>	3. 264±0. 501 <sup>d</sup>	4. 286±0. 620 <sup>bcd</sup>	7. 866±1. 052 <sup>bcd</sup>
GL 7	260	4. 992±0. 658 <sup>a</sup>	4. 847±0. 662 <sup>ab</sup>	3. 601±0. 671 <sup>a</sup>	4. 457±0. 706 <sup>ab</sup>	8. 168±0. 762 <sup>a</sup>
XY 1	260	5. 095±0. 821 <sup>a</sup>	4. 877±0. 777 <sup>a</sup>	3. 411±0. 613 <sup>bc</sup>	4. 605±0. 850 <sup>a</sup>	8. 071±0. 986 <sup>ab</sup>
XY 2	260	4. 799±0. 629 <sup>b</sup>	4. 680±0. 610 <sup>bcd</sup>	3. 495±0. 468 <sup>ab</sup>	4. 115±0. 611 <sup>d</sup>	7. 975±0. 853 <sup>abc</sup>
XY 3	260	4. 475±0. 608 <sup>cd</sup>	4. 354±0. 605 <sup>ef</sup>	2. 769±0. 446 <sup>f</sup>	3. 889±0. 585 <sup>e</sup>	7. 759±1. 027 <sup>cd</sup>
总计 Total	2 600	4. 699±0. 676	4. 564±0. 661	3. 234±0. 589	4. 191±0. 672	7. 809±1. 014
群体 Population	样本数 Number of sample	叶形指标平均值 Mean±SD				
		<i>L</i> <sub>2</sub> /cm	<i>L</i> <sub>3</sub> /cm	$\alpha$ / (°)	$\gamma$ / (°)	<i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>1</sub>
GL 1	260	1. 831±0. 342 <sup>dc</sup>	3. 392±0. 624 <sup>ab</sup>	68. 596±20. 218 <sup>cdc</sup>	139. 037±22. 188 <sup>bc</sup>	1. 608±0. 195 <sup>c</sup>
GL 2	260	1. 771±0. 378 <sup>c</sup>	3. 101±0. 469 <sup>d</sup>	72. 530±18. 876 <sup>bc</sup>	133. 335±19. 096 <sup>cd</sup>	1. 668±0. 195 <sup>b</sup>
GL 3	260	2. 007±0. 346 <sup>ab</sup>	3. 232±0. 601 <sup>cd</sup>	66. 174±17. 362 <sup>dc</sup>	142. 929±27. 242 <sup>ab</sup>	1. 671±0. 203 <sup>b</sup>
GL 4	260	1. 900±0. 361 <sup>bcd</sup>	3. 282±0. 629 <sup>bc</sup>	68. 187±21. 054 <sup>dc</sup>	131. 296±22. 148 <sup>d</sup>	1. 733±0. 206 <sup>a</sup>
GL 5	260	1. 988±0. 394 <sup>ab</sup>	3. 523±0. 697 <sup>a</sup>	64. 560±18. 158 <sup>c</sup>	131. 461±19. 713 <sup>d</sup>	1. 756±0. 178 <sup>a</sup>
GL 6	260	1. 968±0. 375 <sup>abc</sup>	3. 423±0. 562 <sup>a</sup>	74. 508±19. 668 <sup>b</sup>	135. 029±22. 361 <sup>cd</sup>	1. 647±0. 190 <sup>bc</sup>
GL 7	260	1. 936±0. 354 <sup>bcd</sup>	3. 501±0. 557 <sup>a</sup>	69. 617±18. 197 <sup>cd</sup>	139. 286±23. 490 <sup>bc</sup>	1. 656±0. 203 <sup>bc</sup>
XY 1	260	2. 072±0. 526 <sup>a</sup>	3. 453±0. 505 <sup>a</sup>	66. 996±20. 656 <sup>de</sup>	147. 885±27. 310 <sup>a</sup>	1. 604±0. 202 <sup>c</sup>
XY 2	260	1. 948±0. 329 <sup>bc</sup>	3. 124±0. 429 <sup>d</sup>	52. 612±12. 150 <sup>f</sup>	138. 909±25. 743 <sup>bc</sup>	1. 676±0. 172 <sup>b</sup>
XY 3	260	1. 857±0. 344 <sup>cde</sup>	3. 422±0. 604 <sup>a</sup>	81. 729±12. 428 <sup>a</sup>	128. 429±18. 177 <sup>d</sup>	1. 746±0. 199 <sup>a</sup>
总计 Total	2 600	1. 928±0. 388	3. 345±0. 590	68. 551±19. 440	136. 760±23. 603	1. 676±0. 201
群体 Population	样本数 Number of sample	叶形指标平均值 Mean±SD				
		<i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>2</sub>	<i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>3</sub>	<i>L</i> <sub>1</sub> / <i>A</i> <sub>4</sub>	<i>L</i> <sub>1</sub> / <i>L</i> <sub>2</sub>	<i>L</i> <sub>1</sub> / <i>L</i> <sub>3</sub>
GL 1	260	1. 628±0. 203 <sup>c</sup>	2. 227±0. 354 <sup>f</sup>	1. 788±0. 227 <sup>c</sup>	4. 294±0. 848 <sup>ab</sup>	2. 308±0. 401 <sup>dc</sup>
GL 2	260	1. 753±0. 563 <sup>abc</sup>	2. 471±0. 365 <sup>c</sup>	1. 872±0. 218 <sup>d</sup>	4. 288±0. 883 <sup>ab</sup>	2. 389±0. 282 <sup>bc</sup>
GL 3	260	1. 724±0. 219 <sup>bcd</sup>	2. 440±0. 424 <sup>c</sup>	1. 838±0. 230 <sup>de</sup>	3. 919±0. 706 <sup>d</sup>	2. 428±0. 345 <sup>b</sup>
GL 4	260	1. 782±0. 220 <sup>ab</sup>	2. 696±0. 456 <sup>b</sup>	1. 986±0. 279 <sup>ab</sup>	3. 997±0. 775 <sup>cd</sup>	2. 299±0. 350 <sup>c</sup>
GL 5	260	1. 809±0. 196 <sup>a</sup>	2. 509±0. 355 <sup>c</sup>	1. 909±0. 200 <sup>cd</sup>	4. 217±0. 690 <sup>abc</sup>	2. 369±0. 395 <sup>bcd</sup>
GL 6	260	1. 703±0. 198 <sup>cd</sup>	2. 450±0. 386 <sup>c</sup>	1. 856±0. 254 <sup>de</sup>	4. 096±0. 697 <sup>bcd</sup>	2. 327±0. 285 <sup>cde</sup>
GL 7	260	1. 708±0. 220 <sup>cd</sup>	2. 333±0. 381 <sup>de</sup>	1. 874±0. 282 <sup>d</sup>	4. 355±0. 823 <sup>a</sup>	2. 382±0. 351 <sup>bc</sup>
XY 1	260	1. 678±0. 221 <sup>de</sup>	2. 410±0. 380 <sup>cd</sup>	1. 789±0. 266 <sup>e</sup>	4. 024±0. 823 <sup>cd</sup>	2. 367±0. 257 <sup>bcd</sup>
XY 2	260	1. 718±0. 178 <sup>cd</sup>	2. 308±0. 296 <sup>ef</sup>	1. 962±0. 231 <sup>bc</sup>	4. 185±0. 716 <sup>abc</sup>	2. 579±0. 300 <sup>a</sup>
XY 3	260	1. 796±0. 207 <sup>a</sup>	2. 849±0. 438 <sup>a</sup>	2. 040±0. 249 <sup>a</sup>	4. 267±0. 700 <sup>ab</sup>	2. 306±0. 334 <sup>de</sup>
总计 Total	2 600	1. 730±0. 270	2. 469±0. 423	1. 891±0. 257	4. 164±0. 781	2. 375±0. 342

注: 群体名称为缩写, 全称参照表 1; 性状指标为缩写, 全称参照表 2。a, b, c, d, e, f 为 Duncan 多重比较表示值, 字母相同者为相互间差异不显著。

Note: The name of populations is abbreviation, the whole name reference to table 1; The indexes of traits are abbreviation, the whole name reference to table 2. a, b, c, d, e, f is Duncan value, the difference among populations with same letter is not significant.

## 2.2 新疆野苹果部分天然群体内叶形性状变异分析

变异系数(CV)表示性状值离散性特征,变异系数越大,表明性状值离散程度越大。它是相对于平均值( $\bar{x}$ )的标准化差异大小的参数。CV属于无量纲参数,可用于不同表型性状间的分析比较及组合试材(群体或个体)间的比较分析<sup>[15]</sup>。新疆野苹果 10 个群体 15 个叶形表型性状的变异系数见表 4,可以看出新疆野苹果各叶形性状间平均变异系数有一定差异。新疆野苹果各表型性状变异系数的平均值为 16.73%,其中叶尖角( $\alpha$ )的变异最大,变异系数平均值达到 28.36%;其次为叶柄长度( $L_2$ ),变异系数的平均值为 20.10%,说明叶尖角( $\alpha$ )、叶柄长度( $L_2$ )较其它性状变异大。叶片长/叶宽( $L_1/A_1$ )的变异系数平均值为 11.99%,叶片长( $L_1$ )的变异系数平均值为 12.98%,较小,说明叶片长/叶宽( $L_1/A_1$ )、叶片长( $L_1$ )性状较其它性状稳定,受较高的遗传控制。

表 4 新疆野苹果部分天然群体间叶形指标的变异系数

Table 4 Coefficient of variation of leaf shape indexes traits in natural populations of *Malus sieversii* (Lebed.) Roem

群体	叶形指标 Leaf traits															均值
Population	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	$\alpha$	$\gamma$	L <sub>1</sub> /A <sub>1</sub>	L <sub>1</sub> /A <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> /A <sub>3</sub>	L <sub>1</sub> /A <sub>4</sub>	L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> /L <sub>3</sub>	Mean
GL1	12.79	12.80	15.63	13.29	12.61	18.67	18.40	29.47	15.96	12.13	12.48	15.90	12.68	19.76	17.38	16.00
GL2	12.74	13.78	14.52	12.82	12.32	21.36	15.14	26.03	14.32	11.68	32.10	14.76	11.67	20.59	11.82	16.38
GL3	12.89	12.99	15.19	13.86	13.04	17.24	18.61	26.24	19.06	12.17	12.70	17.40	12.50	18.02	14.19	15.74
GL4	14.69	14.63	17.18	16.07	14.55	19.01	19.17	30.88	16.87	11.89	12.37	16.92	14.05	19.38	15.21	16.86
GL5	12.47	12.86	15.28	12.76	13.23	19.80	19.78	28.12	15.00	10.13	10.85	14.15	10.49	16.36	16.66	15.19
GL6	12.59	12.50	15.36	14.46	13.38	19.07	16.41	26.40	16.56	11.54	11.61	15.76	13.66	17.03	12.25	15.24
GL7	13.19	13.66	18.63	15.83	9.33	18.28	15.90	26.14	16.86	12.29	12.91	16.34	15.02	18.90	14.72	15.87
XY1	16.12	15.94	17.96	18.46	12.21	25.38	14.63	30.83	18.47	12.59	13.20	15.77	14.88	20.45	10.85	17.18
XY2	13.11	13.03	13.40	14.84	10.69	16.87	13.75	23.09	18.53	10.28	10.38	12.84	11.78	17.11	11.63	14.09
XY3	13.58	13.90	16.12	15.03	13.23	18.53	17.65	15.21	14.15	11.42	11.54	15.37	12.19	16.41	14.50	14.59
均值 Mean	14.39	14.49	18.21	16.03	12.98	20.10	17.63	28.36	17.26	11.99	15.62	17.13	13.59	18.74	14.38	15.71

注:群体名称为缩写,全称参照表 1;性状指标为缩写,全称参照表 2。

Note: The name of populations is abbreviation, the whole name reference to table 1; The indexes of traits are abbreviation, the whole name reference to table 2.

## 2.3 新疆野苹果群体叶形性状的重复力

重复力或称遗传传递力,是指亲代某一性状遗传给子代的能力。它是性状重复力大小的指标,从某一性

状重复力的大小,可以判断这一表型性状中遗传因素所占的比例。表 5 列出了 15 个叶形性状的重复力,包括群体间广义重复力和群体内个体间广义重复力。由表 5

表 5 新疆野苹果群体叶形指标重复力估算

Table 5 Broad heritability's estimation of leaf shape indexes in *Malus sieversii* (Lebed.) Roem

性状指标	群体间遗传方差	群体内个体间遗传方差	群体间广义重复力	群体内个体间广义重复力
Traits	Genetic variance among population	Genetic variance within population	Broad heritability among population	Broad heritability within population
A <sub>1</sub>	16.0734	2.5215	0.8431	0.9300
A <sub>2</sub>	14.3629	2.3649	0.8353	0.9248
A <sub>3</sub>	22.1422	1.3822	0.9376	0.8902
A <sub>4</sub>	17.6013	2.4819	0.8590	0.9323
L <sub>1</sub>	22.7671	6.0191	0.7356	0.9318
L <sub>2</sub>	2.0895	0.8776	0.5800	0.9259
L <sub>3</sub>	5.9816	1.4108	0.7641	0.8492
$\alpha$	14 568.7281	1 232.8679	0.9154	0.8118
$\gamma$	9 246.1964	3 250.0686	0.6485	0.9274
L <sub>1</sub> /A <sub>1</sub>	0.7413	0.2359	0.6818	0.9288
L <sub>1</sub> /A <sub>2</sub>	0.8145	0.2867	0.6480	0.8347
L <sub>1</sub> /A <sub>3</sub>	8.8058	0.7946	0.9098	0.8992
L <sub>1</sub> /A <sub>4</sub>	1.7918	0.3578	0.8003	0.9212
L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	5.6183	3.9207	0.3022	0.9398
L <sub>1</sub> /L <sub>3</sub>	1.7852	0.2798	0.8433	0.6680
平均 Mean	—	—	0.7536	0.8877

注:性状指标为缩写,全称参照表 2。

Note: The indexes of traits are abbreviation, the whole name reference to table 2.



可得,所有叶形性状的群体间广义重复力平均值为 0.7536,其中,叶 1/4 处宽( $A_3$ )、叶尖角( $\alpha$ )、叶片长/叶 1/4 处宽( $L_1/A_3$ )的群体间广义重复力都达到 0.900 以上,分别为 0.9376、0.9154、0.9098;说明这 3 个表型性状中,遗传因素起主要作用,环境对它们的影响较小,属于稳定遗传的性状。叶片长/叶柄长( $L_1/L_2$ )、叶柄长( $L_2$ )的群体间广义重复力较小,分别为 0.3022 和 0.5800,说明这 2 个性状在群体间的表现不稳定,易受环境的影响。

叶形性状的群体内个体间的广义重复力较大,15 个叶形性状平均值为 0.8877,叶片长/叶宽处距叶基距离( $L_1/L_3$ )的群体内个体间广义重复力最小,为 0.6680。其它性状的群体内个体间广义重复力在 0.8118~0.9318,由此说明,叶形性状在群体内个体间较为稳定。

#### 2.4 新疆野苹果部分自然群体叶形性状聚类分析

依据新疆野苹果叶形性状数据,利用欧式平均距离,采用类平均 UPGMA 聚类方法对 10 个野苹果群体进行聚类分析。图 2 显示,群体间基本按地理距离聚类,以欧式平均距离 7.5 为阈值,10 个群体可以明显划分为 4 类,西北部的 GL1、GL7、GL3、XY1 聚为一类,南部的 GL2、GL6 和中部的 GL4、GL5 聚为一类,而处于东部的新源县群体 XY2、XY3 各自单独成一类。从聚类结果可以看出,巩留县的 7 个群体能较好的聚在一起,新源县的群体各自独立,从而说明,巩留县的群体之间表型差异较小,新源县的群体的表型差异较大。

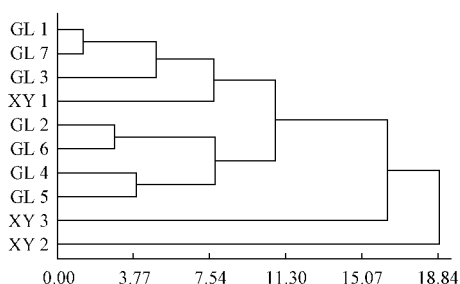


图 2 新疆野苹果群体叶形性状聚类树形图

Fig. 2 Cluster graph based on leaf traits of populations in *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem

#### 2.5 新疆野苹果自然群体叶形 R 因子分析

R 型聚类分析是对各性状间关系的讨论,以寻求各性状之间的相关性,同时又能对 Q 型分析的性状选取是否合理进行验证,也能为育种工作正确选择亲本,为进一步的生物学研究,如染色体定位、连锁等遗传现象的研究提供启示。由图 3 可知,在阈值 0.30 处,所有性状完全区分开,所有性状分为三大类,第一类包括  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  等共 9 个性状,第 2 类包括  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  等 5 个性状,  $L_1/L_2$  单独聚为一类。

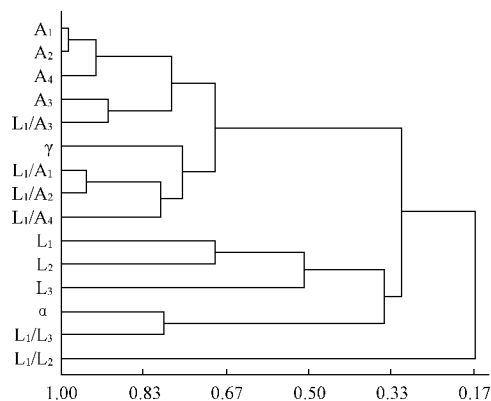


图 3 新疆野苹果群体叶形性状 R 聚类图

Fig. 3 R cluster graph based on leaf traits of populations in *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem

#### 2.6 新疆野苹果自然群体叶形性状主成分分析

由表 6 可知,所有 15 个叶形性状提取出 9 个主成分,贡献率最大的为叶尖角( $\alpha$ ),达到 52.6588%,其中前 5 个性状的累积贡献率高达 97.4424%,其余 4 个主成分累积贡献率仅为 2.5576%,说明这几个参数在新疆野苹果的表型分类中起到重要作用。

表 6 新疆野苹果群体叶形指标主成分分析

Table 6 Principal component analysis on leaf traits of populations in *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem

编号 No.	性状 Trait	特征值 Characteristic value	百分率 Percentage/%	累计百分率 Accumulated percentage/%
1	$\alpha$	7.8988	52.6588	52.6588
2	$\gamma$	2.4901	16.6007	69.2595
3	$L_1$	2.1824	14.5492	83.8086
4	$A_3$	1.6448	10.9650	94.7737
5	$A_4$	0.4003	2.6887	97.4424
6	$A_1$	0.2443	1.6287	99.0711
7	$A_2$	0.0877	0.5846	99.6557
8	$L_1/A_3$	0.0383	0.2551	99.9108
9	$L_3$	0.0134	0.0892	100.0000

#### 3 讨论与结论

苹果在我国已有 2 000 多年的栽培历史,中外学者普遍认为新疆伊犁为栽培苹果的起源地,并在距今 2 000 万年前达到鼎盛期,但在第四纪冰川的影响下大部分灭绝。在古冰川作用下,随着第四纪冰川的进退,新疆野苹果在中亚平原层发生过多次往返迁移,直至最后一次冰川后,迁移方向再由西向东,并由于地形造成的近代小气候及人类活动的共同影响,才逐渐演变成野苹果林仅限于某些山谷地带残存的现状。在新疆野苹果漫长进化过程中,受到地理环境和气候环境巨变的影响,且各类型之间相互杂交,产生了多样化的杂种后代,在加上不同类型在趋暖、趋湿的环境下竞争,在湿润的河谷、盆地与高海拔的逆温层及不同坡向、土壤水分的变化条件下,野苹果出现了不同株型、果型、色泽、成熟期和不同风味的多样的生态型,进而导致了新疆野苹果的丰富

的遗传资源<sup>[16-17]</sup>。

该研究表明,新疆野苹果种内群体间、群体内变异十分丰富,新疆野苹果 10 个群体 15 个性状差异显著,变异系数变异较大,变幅为 11.99%~28.36%。不同的性状变异系数相差较大。其中,叶尖角的变异系数最大(28.36%),其次为叶柄长(20.10%),叶长/叶宽的变异系数最小(11.99%),进一步说明叶长/叶宽性状是所测性状中较稳定的遗传特征。群体内的变异显著大于群体间变异,群体间变异反映了地理、生殖隔离上的变异,是天然林变异的主要类型。该研究中新疆野苹果天然群体 15 个叶形指标的群体间广义重复力和群体内个体间广义重复力的平均值分别为 0.7526 和 0.8877,大多数性状到达了 0.900 以上,达到较高的水平,说明在表型变异中,遗传因素占到了很高的比例(75.26%和 88.77%),环境因素所占的比例较低。造成这结果的原因:该研究所用的新疆野苹果群体的叶片采自苗圃的嫁接苗,而不是新疆野苹果原生境的叶片。这就造成苗圃中不同野苹果群体间和群体内的环境相对一致,很大程度上消除了环境影响造成的个体表型差异,使得表型上表现出的差异主要来自遗传因素。

叶形聚类结果显示,巩留县的 7 个群体能较好的聚在一起,新源县的 3 个群体各自独立,从而说明,巩留县的群体之间表型差异较小,新源县的群体的表型差异较大,说明了环境条件对新疆野苹果天然类群叶形性状有较大影响。R 因子分析表明,该研究所选的 15 个性状指标为非逻辑相关,即这些不同的遗传信息间不存在必然的依存关系。由此可见,该分类系统中性状的选择正确,独立性也较强,为今后进行性状的观测和取舍提供了量化依据。主成分分析表明,贡献率较高的前 3 个性状分别为叶尖角  $\alpha$ 、叶基角  $\gamma$ 、叶长  $L_1$ ,说明这几个性状参数在新疆野苹果的表型分类中起到重要作用,可以作为野苹果表型分析的重要指标。

## 参考文献

- [1] 钱关泽,汤庚国. 苹果属植物分类学研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2005,29(3):94-98.
- [2] 钱关泽. 苹果属(*Malus* Mill.)分类学研究[D]. 南京:南京林业大学,2005.
- [3] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京:中国农业出版社,1999:1-2.
- [4] 俞德浚. 中国果树分类学[M]. 北京:中国农业出版社,1979.
- [5] 李育农. 苹果属植物种质资源研究[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [4] 刘凤之,王昆,曹玉芬,等. 我国苹果种质资源研究现状与展望[J]. 果树学报,2006,23(6):865-870.
- [5] 辛培刚,相法国,陈学森,等. 我国原生、引入和育成苹果品种的类群划分及亲本溯源[J]. 山农业大学学报,1998,29(2):189-200.
- [6] Vavilov N I. Studies on the origin of cultivated plants[J]. Trudy Byuro Prikl Bot,1926,16:139-245.
- [7] 林培钧,崔乃然. 天山野果林资源-伊犁野果林综合研究[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [8] 冯涛,张红,陈学森,等. 新疆野苹果果实形态与矿质元素含量多样性以及特异性状单株[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(3):270-276.
- [9] 季维智,宿兵. 遗传多样性研究的原理与方法[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1999.
- [10] 阎爱民,陈文新. 苔楷草木挥锦鸡儿根瘤菌的表型多样性分析[J]. 生物多样性,1999,7(2):112-118.
- [11] 罗建勋,顾万春. 云杉天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学,2005,41(2):66-73.
- [12] 顾万春,王棋,游应天,等. 森林遗传资源学概论[M]. 北京:中国科学技术出版社,1998.
- [13] 李文英,顾万春. 蒙古栎天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学,2005,41(1):49-56.
- [14] 朱之悌. 林木遗传学基础[M]. 北京:中国林业出版社,1990.
- [15] 顾万春. 统计遗传学[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [16] Chechowitz N, Chappell D M, Guttman S I, et al. Morphological, electrophoretic, and ecological analysis of *Quercus macrocarpa* population in the Black Hills of South Dakota and Wyoming[J]. Can J Bot,1990,68:2185-2194.
- [17] 孙萍,宗宇,刘晶,等. 基于 SSR 标记的清涼峰地区三叶海棠遗传多样性研究[J]. 果树学报,2013,30(1):8-15.

## Genetic Diversity of *Malus sieversii* Natural Population from Xinjiang Analyzed by Leaf Traits

ZUO Li-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Jun<sup>1,2</sup>, DONG Yan<sup>1,2</sup>, WANG Jin-mao<sup>1,2</sup>, REN Ya-chao<sup>1,2</sup>

(1. College of Forestry Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Hebei Key Laboratory for Tree Genetic Resources and Forest Protection, Baoding, Hebei 071000)

**Abstract:** 10 *Malus sieversii* natural population from Xinjiang, Yili were aimed as research object, the genetic diversity of leaf traits were analyzed. The results showed that, there were abundant variations of *M. sieversii* leaf traits among/within populations. The CV of *M. sieversii* leaf length/leaf width ( $L_1/A_1$ ) was 11.99%, which was the most stable of all the traits. The maximum CV population was the XY1 population (17.18%), while the minimum CV one was XY2 population (14.09%). The average value of the broad heritability was 0.8877 within population individuals; but the average value of the broad heritability was 0.7536 among populations, 0.3022 for the leaf length/petiole length ( $L_1/L_2$ ) and 0.5800 for

# 七个麻核桃品种的坚果性状分析

陈梦华<sup>1</sup>, 靳丽鑫<sup>1</sup>, 王玉莲<sup>3</sup>, 赵丹<sup>1</sup>, 李保国<sup>1,2</sup>, 张雪梅<sup>1,2</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省核桃工程技术研究中心, 河北 邢台 054000; 3. 文安县林业局, 河北 廊坊 065800)

**摘要:** 为了对麻核桃品种的性状进行选择 and 评价, 以 7 个麻核桃品种的坚果为试材, 对其纵径、横径、侧径、果形指数、三径均值和单果重进行了变异系数和主成分分析。结果表明: 以性状的累积方差贡献率为 85% 以上, 确定了 2 个反映麻核桃坚果主要性状的主成分,  $Y_1$  方差贡献率为 69.411,  $Y_2$  方差贡献率为 30.024;  $Y_1$  主要反映坚果大小, ‘大官帽’的  $Y_1$  值最高为 8.5, 其次为 ‘满天星’和 ‘四座楼’, 分别为 0.71 和 0.54;  $Y_2$  主要反映坚果果形, ‘承德官帽’的  $Y_2$  值最高为 2.35, 其次为 ‘满天星’和 ‘山西官帽’, 分别为 1.41 和 1.13。

**关键词:** 麻核桃; 坚果性状; 主成分分析

**中图分类号:** S 664.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2015)11-0007-04

麻核桃(*Juglans hopeiensis* Hu) 属胡桃科胡桃属植物, 是核桃与核桃楸的天然杂种, 天然分布在河北、天津、山西和北京的部分山区<sup>[1]</sup>, 因麻核桃内果皮质地坚硬, 花纹多样, 多被用于把玩, 所以又名文玩核桃<sup>[2]</sup>。近年来, 随着生活水平的不断提高, 人们对精神生活的要求也逐渐增加, 因此具有健身和收藏价值的麻核桃备受青睐, 其产业发展前景呈现收益较高、市场需求稳中有增的态势<sup>[3-4]</sup>。但是, 在麻核桃的市场交易中主要依靠人为主观判断, 随意性较大。而主成分分析是综合变量, 且相互独立, 主成分值作为品种选择指标, 能较准确了解各品种多个性状的综合表现<sup>[5-8]</sup>。目前, 主成分分析法已在多个坚果树种上得到应用<sup>[9-13]</sup>, 研究结果均表明, 采用主成分分析法对其主要性状进行综合评价具有

科学、简便的特点, 但关于主成分分析法在麻核桃坚果品质分析上的应用尚鲜见报道。因此, 以 7 个麻核桃品种的坚果为材料, 测定了每个品种的 6 个性状, 采用主成分分析法对其进行综合评价, 以期为选择具有优良性状的麻核桃提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于河北省保定市涞水县龙泉山麻核桃基地, 地处太行山东麓北端, 北纬 39°31'2", 东经 115°40'8", 海拔 123~130 m, 为低山丘陵地, 土壤为钙质土, 属温带大陆性气候, 年降水量 500~600 mm, 极端最高气温 43℃, 最低气温 -20℃, 无霜期 165~210 d, 日照时数 2 500~2 900 h。

### 1.2 试验材料

供试材料为涞水县龙泉山麻核桃基地树势相对一致、无病虫害, 生长结果良好的 4 年生麻核桃树, 包括 ‘满天星’、‘苹果园’、‘大官帽’、‘白狮子头’、‘山西官帽’、‘承德官帽’和 ‘四座楼’ 7 个品种的坚果。

### 1.3 试验方法

于果实成熟期, 每个麻核桃品种随机选择 20 个坚果

**第一作者简介:** 陈梦华(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为经济林栽培生理。E-mail: 839290035@qq.com.

**责任作者:** 张雪梅(1980-), 女, 河北丰润人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 现主要从事经济林栽培生理等研究工作。E-mail: zhangxuemei888@163.com.

**基金项目:** 国家林业公益专项资助项目(201004093); 河北省科技支撑资助项目(14236811D)。

**收稿日期:** 2015-01-26

the petiole length ( $L_2$ ) which were smaller between the populations. It showed that these two traits among populations performance were unstable and vulnerable to the environment. 10 groups were divided into 4 types according to the clustering of leaf shape index that conformity with the terrain. All showed that leaf shape were greatly influenced by the environment. Principal component analysis showed that the former three of the biggest contribution rate were tip angle ( $\alpha$ ), leaf base angle ( $\gamma$ ), leaf length ( $L_1$ ), which showed these parameters play an important role in Xinjiang wild apple phenotype classification and be the important indicator in phenotypic analysis of *Malus sieversii*.

**Keywords:** *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem.; genetic diversity; leaf traits