

# 苹果属植物不同居群分类性状的变异性分析

陈琳琳, 吴瑞姣, 李光伟, 刘连芬, 钱关泽

(聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059)

**摘要:**以观测的 16 个苹果属野外居群(含盖了 12 个分类群)果实和叶的 28 个数量性状为研究对象,采用散点图、系统聚类法、主成分分析等方法评估了各性状对苹果属分类的重要性,以期筛选出合适的性状来判断不同种之间的亲缘关系。结果表明:同一物种的居群内差异性小于居群间的差异性,支持将锡金海棠、三叶海棠划分为山荆子组,稻城海棠应归入花楸海棠组,筛选出 8 个性状作为苹果属分类的主要分类依据。

**关键词:**苹果属;野外居群;数量性状;聚类分析;主成分分析

**中图分类号:**S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)13-0006-05

苹果属(*Malus* Mill.)隶属蔷薇科(Rosaceae)苹果亚科(Maloideae)植物<sup>[1]</sup>,主要分布于北温带,共有 35 种左右,我国约有 25 种,其中近一半种是我国特有种或亚特有种,该属中很多植物具有重要的经济意义、观赏价值

**第一作者简介:**陈琳琳(1988-),女,硕士研究生,研究方向为植物分类学。Email:chenlin1022@163.com.

**责任作者:**钱关泽(1965-),男,博士,教授,研究方向为种子植物分类学。E-mail:qianguanze@luc.edu.cn.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31070619、31170178);山东省自然科学基金资助项目(ZR2011CM045)。

**收稿日期:**2014-03-06

及生态作用。因此对苹果属植物的分类学进行研究有重要意义。但该属是著名的分类“困难属”,这是因为该属植物形态多变,而到目前至少还未对该属的形态性状进行系统而全面的分析,加之多倍性、种间杂交和无融合生殖现象并存<sup>[2]</sup>,致使该属性状变异复杂,很多种间性状交叉,界限模糊,难于鉴别。不同的学者采用不同的性状对苹果属进行组、系、种、变种的划分,Koehne<sup>[3]</sup>采用果期花萼是否宿存的性状将苹果属划分为宿萼组(Sect. *Calycomeles* Koehne)和脱萼组(Sect. *Gymnomeles* Koehne),并以 2 组间的杂交种成立了杂种组;而 Zabel<sup>[4]</sup>以叶片是否分裂、幼叶在芽中的卷迭方式等特征将苹果

## Cold-resistance Evaluation in Grape Interspecific Hybrids

ZHANG Jian-xia, WU Xing-chang, YANG Ya-zhou

(College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas (Northwest Agriculture and Forestry University), Key Laboratory of Horticultural Plant Germplasm Resource Utilization in Northwest China, Ministry of Agriculture, the People's Republic of China, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** One-year-old branches of grapevine were treated under cold stress condition, the cold hardiness of 123 F<sub>1</sub> progenies from 3 interspecific cross combinations and 8 progenies from cultivar 'Beichun' self-pollination were comprehensive evaluation based on the cold index (CI), relative electric conductivity (REC) and soluble sugar content (SS) by the subordinate function (SF). The results showed that the cold-resistance level of F<sub>1</sub> individuals was between the parents of combinations 'Muscat Hamburg' (*Vitis vinifera*) × 'Heilongjiang seedling' (*V. amurensis*) and 'Red Globe' (*Vitis vinifera*) × 'Shuangyou' (*V. amurensis*), the cold-resistance level of selfing progenies form 'Beichun' was separate and belongs to different resistance degree. Among the 116 F<sub>1</sub> progenies of the combination 'Yanshan-1' (*V. yeshanensis*) × *V. riparia* Beaumont, the cold-resistance was also separate and exists transgressive inheritance, and presents a genetic trend of tending to cold-resistance of weak direction. A total 28 high resistance hybrids were obtained from the last cross combination.

**Key words:** grape; interspecific hybrid; cold-resistance; evaluation

属分为真苹果组 (Sect. *Eumalus* Zabel) 和花楸苹果组 (Sect. *Sorbomalus* Zabel); Rehder<sup>[5]</sup> 依据幼叶在芽中呈旋卷状或对折状、叶是否分裂、花萼在果期是否宿存等性状对苹果属进行分类, 确立苹果属种数为 48 个; Ponomarenko<sup>[6]</sup> 根据叶缘锯齿形状、毛被、果大小等性状确定苹果属为 78 个种; Likhonos<sup>[7]</sup> 忽略了叶形、果形等性状的分类价值, 将苹果属归并为 2 个组 8 个种, 将湖北海棠、垂丝海棠组合为苹果 *M. domestica* Borckh. 的变种。陈家宽等<sup>[8]</sup> 指出居群是生物分类的基本单位, 是进化植物学和系统植物学的主要研究对象, 能更准确的把握同一物种内个体的变异, 正确地处理变异个体, 有利于探讨物种的亲缘关系。数量性状分析是将性状数量化, 这种方法可以同时采用多个性状, 对各个性状进行加权, 采用聚类分析、主成分分析等方法处理, 可以避免人为因素的影响。数量分类在本属和其它属的表型遗传多样性及形态分类起到了一定的成果, 如: 邵文豪等<sup>[9]</sup> 对泰山和蒙山地区的湖北海棠进行的居群分析支持将它们区分为湖北海棠的 2 个变种; 王雷宏等<sup>[10]</sup> 对山荆子的腊叶标本进行的变异式样分析; 张冰冰等<sup>[11-12]</sup> 利用聚类分析方法界定山楂海棠位于山楂和苹果之间, 并采用数量表型性状对寒地梨种质资源进行研究; 李晓东等<sup>[13]</sup> 对地黄属和崖白菜属的数量分类确定地黄属与崖白菜属的 2 个自然类群地位等。该试验选用 28 个数量性状分析了苹果属不同居群及不同种的地位, 以确定合适的分类性状, 评估其分类有效性。借此分析苹果属不同物种之间的亲缘关系, 居群内与居群间的遗传多样性及变异性, 为建立苹果属系统分类提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料来自 10 个苹果属野生居群, 选择长势良好、果实成熟的植株, 随机采集并制作成蜡叶标本, 记录其所在的经纬度与海拔高度, 居群编号均取地名的开头字母。采集材料种名、采集地分布及编号见表 1。

### 1.2 试验方法

结合苹果属各种形态特征设计数量性状, 对应编号如下: 叶柄长(pl)、叶长(l), 叶宽(lw)、叶中宽(lmw)、叶基距(lbd)(叶片最宽处到基部的距离)、叶尾长(ltl)、尾角(lta)、侧脉角(lva)、基角(ba)、叶分裂(ld), 叶面毛(lh), 叶被毛(lc)、叶齿形(ltp)、侧脉性状(lvt)、果长(fl)、果宽(fw)、果基距(fd)、果柄长(fpl)、果形(ft)、梗洼形状(sht)、萼洼性状(cdt)、果柄毛(fph)、果毛(fh)、果皮(fp)、萼片宿存(sp)、每序果数(fn)。每个编号选择 3 个叶片、3 个果实利用肉眼借助显微镜、游标卡尺、量角器等仪器观测性状。

表 1 样本居群分布

Table 1 The population distribute of sample

种名 Species name	采集地 Collected place	缩写 Abbreviation
湖北海棠 <i>M. hupehensis</i>	江西井冈山	JG
	安徽黄山	HS
	福建武夷山	WY
	云南高山植物园	GZ
山荆子 <i>M. baccata</i>	山东烟台昆嵛山	YT
	山西果树所	SX
	云南攀天阁	PTG
丽江山荆子 <i>M. rockii</i>	四川汪安	WA
锡金海棠 <i>M. sikkimensis</i>	云南农科所	YN
毛山荆子 <i>M. mandshurica</i>	吉林四公里	JL
三叶海棠 <i>M. toringo</i>	山东烟台昆嵛山	YT
变叶海棠 <i>M. bhtanica</i>	四川稻城	DC
	四川康定	KD
稻城海棠 <i>M. daochenensis</i>	四川稻城日火	DC, RH
马尔康海棠 <i>M. maerkangensis</i>	四川马尔康	MEK
尖嘴林檎 <i>M. melliana</i>	江西井冈山	JG
	福建武夷山	WY
沧江海棠 <i>M. ombrophila</i>	云南庆福	QF
日瓦海棠 <i>M. sp.</i>	四川日瓦	RW

### 1.3 数据分析

首先对数据进行预处理, 结果显示测量角度及长度这些数量性状的概率分布图呈现良好的正态分布, 对其

进行  $y_{i,j} = \frac{x_{i,j} - \bar{x}_j}{\delta_j}$  ( $x_{i,j}$  为第  $i$  个样本第  $j$  个性状的观测值,  $\bar{x}_j$  为第  $j$  个性状的均值,  $\delta_j$  为第  $j$  个性状的标准差) 处理, 表型观察数据在某些数值处概率较大对其进行

$y_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{\max(x_j)}$  处理。采用不同的内间距与外间距对

处理后的数据进行聚类, 结果显示采用 cityblock 内间距与 weighted 外间距使得聚类结果达到最优; 对处理后的数据进行主成分分析, 计算其协方差矩阵, 求得特征值及特征向量, 最后采用散点图法阐释主成分分析的结果, 所有数据处理均采用 Matlab 2007b 软件进行<sup>[14-15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 聚类分析结果

系统聚类结果见图 1,  $L=25$  将样本分成 2 组, 第 1 组以沧江海棠、尖嘴林檎为主, 尖嘴林檎在苹果属分类系统中隶属原始苹果属多胜海棠组, 沧江海棠隶属苹果亚属滇池海棠组, 虽然受采集地及坐果量的限制样本数量较少, 但仍清晰的显示了二者处于苹果属的原始地位。  $L=18.5$  将第 2 组样本分成了 3 个大类, 分别为日瓦海棠、变叶海棠、稻城海棠、马尔康海棠、山荆子、湖北海棠、锡金海棠、三叶海棠。第 2 类均隶属苹果亚属花楸苹果组, 第 3 类均隶属苹果亚属山荆子组, 第 1 类日瓦海棠虽然独立分支但距离第 2 类较近, 不将其单独分组, 判断其隶属于苹果亚属花楸苹果组。  $L=9$  将聚类图

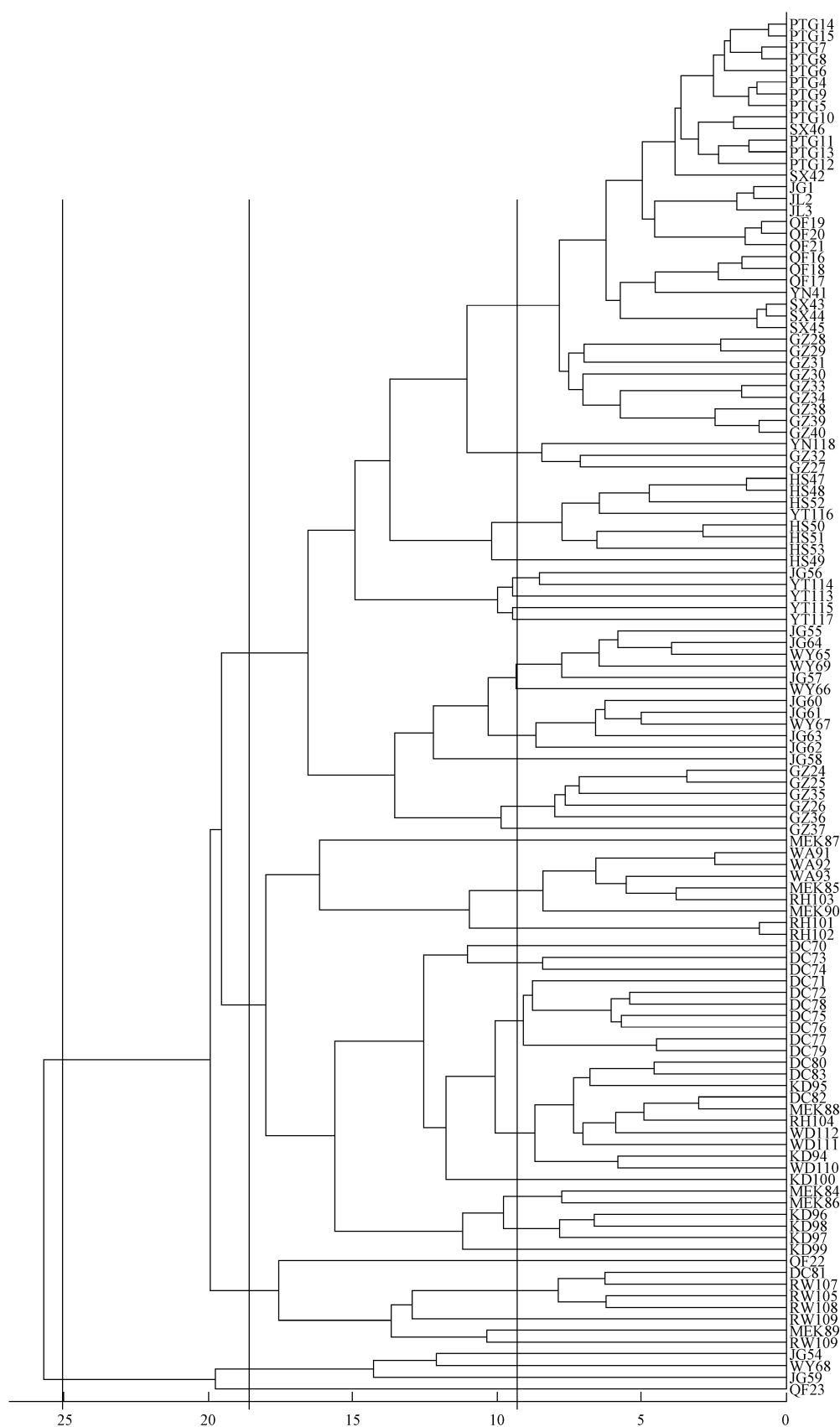


图 1 系统聚类图

Fig. 1 The dendrogram of cluster analysis

进一步分支,可以清晰的看出除来自云南高山植物园这一居群外,同一居群的同一种均聚集到同 1 个分支上,即得到居群内的差异小于居群间的差异。分为两部分的高山植物园样本,一部分位于山荆子组中上部靠近来自 SX、PTG 山荆子,另一组位于山荆子组下部靠近来自 WY、JG 湖北海棠。

2.2 主成分分析结果

主成分分析结果见表 2,前 3 位主成分的累计贡献率为 81.54%,说明前 3 个主成分基本包含了全部信息。利用前 2 个主成分做散点图见图 2,可以看出前 2 个主成分可以将聚类距离  $L=18.5$  的 5 个类别区分开。

表 2 前 3 位主成分特征根及特征向量的降序排列

Table 2 Eigenvalue and descending order of eigenvector for the first three greatest principal component						
编号 No.	性状编码以及前 3 个主成分的特征向量 No. of character and eigenvector of the first three greatest PC					
1	Pl	0.0437	ll	0.6111	lta	0.7391
2	Ll	0.0377	lbd	0.2353	ll	0.5528
3	lh1	0.0132	lmw	0.2285	lbd	0.2115
4	lh2	0.0062	fpl	0.2164	lw	0.1884
5	Fd	0.0058	lw	0.2128	lmw	0.1776
6	lc1	0.0056	pl	0.126	pl	0.072
7	Fl	0.0051	ltl	0.0659	fl	0.0673
8	Fw	0.005	ba	0.0454	fw	0.0546
9	Fph	0.005	lva	0.0212	fd	0.0496
10	Fn	0.004	sht	0.0098	ft	0.019
11	Ltl	0.003	lc1	0.0025	lvt	0.0108
12	Fh	0.0028	fw	0.0014	fph	0.0057
13	Ft	0.0021	sp	0.0009	ltp	0.0045
14	Lvt	0.0015	lh2	0.0005	lh2	0.0037
15	Sp	0.0003	fp	0.0001	lh1	0.0035
16	Cdt	0.0002	fn	-0.0013	fpl	0.0031
17	lc2	0.0001	lc2	-0.0015	lc1	0.003
18	ltp	-0.0006	fh	-0.0017	sp	0.0022
19	fp	-0.0013	lvt	-0.0026	lc2	0.0013
20	sht	-0.002	ld	-0.0027	ld	0.0012
21	ld	-0.0064	cdt	-0.0031	fn	0.0002
22	lbd	-0.01	lh1	-0.0033	fp	-0.0016
23	fpl	-0.05	ltp	-0.0033	fh	-0.002
24	lmw	-0.1164	fph	-0.0034	cdt	-0.007
25	lta	-0.1426	fd	-0.0057	ltl	-0.0137
26	lw	-0.1514	ft	-0.008	sht	-0.0156
27	lva	-0.5999	fl	-0.0107	ba	-0.0818
28	ba	-0.7595	lta	-0.6354	lva	-0.1163
特征根 Eigenvalue			515.68	465.81	371.10	
贡献率 Percent/%			0.3109	0.2808	0.2237	
累计贡献率 Cumulative			0.3109	0.5917	0.8154	

为了方便挑选指标,将 3 个特征向量依照各自的分量大小降序排列见表 2,第 1 主成分分析中,除叶柄长(pl)、叶长(ll)、叶面毛(lh)、叶基距(lbd)、果柄长(fpl)、叶中宽(lmw)、尾角(lta)、叶宽(lw)、侧脉角(lva)、基角(ba)外系数都小于 0.01,表示这些性状对第 1 主成分的影响

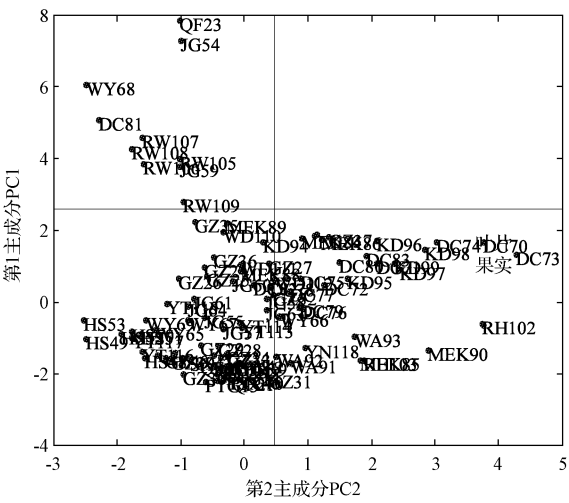


图 2 第 1 主成分与第 2 主成分散点

Fig. 2 The scatter plot of PC1 and PC2

可以忽略不计,从而可以删去,同样的对第 2、3 特征向量进行筛选。由于前 3 个主成分的贡献率分别为 31.09%、28.08%、22.37%,按照比例从 3 个特征向量中选择前 6、6、5 位的性状,因此,第 1 主成分中筛选的性状为叶柄长(pl)、叶长(ll)、尾角(lta)、叶宽(lw)、侧脉角(lva)、基角(ba);第 2 主成分中筛选的性状为叶长(ll)、叶基距(lbd)、果柄长(fpl)、叶中宽(lmw)、尾角(lta)、叶宽(lw);第 3 主成分中筛选的性状为叶长(ll)、叶基距(lbd)、叶中宽(lmw)、尾角(lta)、叶宽(lw)。果柄长(fpl)仅在第 2 主成分中出现,且系数较小,可以忽略。对筛选出来的叶柄长(pl)、叶长(ll)、尾角(lta)、叶宽(lw)、侧脉角(lva)、基角(ba)叶基距(lbd)、叶中宽(lmw)8 个性状进行相关性分析见表 3,可以看到叶宽(lw)、叶基距(lbd)、叶中宽(lmw)3 个性状高度相关且 3 个性状意义略相近,可以做取舍,选择在 3 个主成分中略高的 lbd 性状,即叶柄长(pl)、叶长(ll)、尾角(lta)、侧脉角(lva)、基角(ba)叶基距(lbd)为苹果属的主要分类性状。

表 3 8 个性状的相关性

Table 3		The correlation of eight characters						
	pl	ll	lmw	lw	lbd	lta	ba	lva
pl	1.00							
ll	0.41	1.00						
lmw	0.45	0.61	1.00					
lw	0.46	0.58	0.96	1.00				
lbd	0.45	0.75	0.86	0.82	1.00			
lta	−0.14	−0.08	−0.04	0.00	−0.08	1.00		
ba	−0.12	−0.13	0.30	0.38	−0.05	0.04	1.00	
lva	−0.22	−0.05	0.22	0.27	−0.04	0.05	0.64	1.00

3 结论与讨论

由聚类分析与主成分分析结果可知,观测的 28 个数量性状的聚类结果符合苹果分类系统,能够将苹果属的不同种分开,证实了叶和果实性状在苹果属分类中的

重要地位。对于有争议的锡金海棠、三叶海棠、稻城海棠组归属问题,聚类结果显示以  $L=18.5$  作为组的划分界限最为合适,此结果将支持将锡金海棠与三叶海棠划分为山荆子组,将稻城海棠划分为花楸海棠组,这与李育农<sup>[16]</sup>论述的用锡金海棠和三叶海棠嫁接苹果及梁国鲁等<sup>[17]</sup>用 AFLP 技术对 23 个种的分析论证一致。该试验选择叶的某些可测量性状作为分类性状,且散点图证明这些性状确实起到了重要作用。针对于这一结果,作者认为居群内取较多样本,且每个样本不同叶片果实观测后取均值缩减了性状的差异,使其呈现略稳定变异,而这对于观察性状的作用远远大于可测量性状,相对提高了测量性状在分类中的地位。

以居群为研究单位,由多性状多个种综合研究结果可知,居群内差异性小于居群间差异性,此结果并不代表每个性状的居群内差异小于居群间差异,故与用 SSR<sup>[18]</sup>、SRAP<sup>[19]</sup> 和 RAPD<sup>[20]</sup> 等标记方法对新疆野苹果的群体遗传结构进行研究,发现居群内变异大于居群间变异并不冲突。

#### 参考文献

- [1] 徐炳声. 中国植物分类学中的物种问题[J]. 植物分类学报, 1998, 36(5): 470-480.
- [2] 中国科学院植物研究所. 中国植物志[M]. 36 卷. 北京: 科学出版社, 1970.
- [3] Koehne E. Deutsche Dendrologie[M]. Stuttgart: Verlag von Ferdinand Enke, 1893: 257-262.
- [4] Zabel H. *Malus* Mill. In: Beissner L, Schelle E, Zabel H, eds., Handbuch der Laubholz-Benennung[M]. Berlin: Paul Parey, 1903: 189.
- [5] Rehder A. Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America[M]. New York: Macmillan, 1951: 389-399.
- [6] Ponomarenko V V. Review of the species comprised in the genus *Malus* Mill. [J]. Bulletin of Applied Botany and Plant Breeding (Russia), 1986, 106: 16-26.
- [7] Likhonos A. A survey of the species in the genus *Malus* Mill. [J]. Trudy Prikl Bot Genet Selekt, 1974, 52: 16-34.
- [8] 陈家宽, 王徽勤. 居群(population)概念和方法在植物分类学中的应用[J]. 武汉植物学研究, 1986(4): 377-382.
- [9] 邵文豪, 汤庚国, 姜景民. 山东泰山、蒙山地区湖北海棠花果性状变异的研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 555-560.
- [10] 王雷宏, 郑玉红. 8 个山荆子居群遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 西北植物学报, 2010, 30(7): 1337-1343.
- [11] 张冰冰, 梁海英, 田彬彬, 等. 山楂海棠 RAPD 亲缘关系研究[J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(5): 507-510.
- [12] 张冰冰, 宋洪伟, 刘慧涛, 等. 寒地梨种质资源表型多样性研究[J]. 果树学报, 2009, 26(3): 287-293.
- [13] 李晓东, 咎艳燕, 李建强, 等. 地黄属和崖白菜属的数量分类[J]. 植物分学报, 2008, 46(5): 730-737.
- [14] 谢中华. MATLAB 统计分析与应用: 40 个案例分析[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2010.
- [15] 何正凤. MATLAB 概率与数理统计分析 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [16] 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.
- [17] 梁国鲁, 刘瑛. 苹果属植物野生种的 AFLP 分析及亲缘关系探讨 [C]// 见李育农, 国际苹果学术研讨会论文集(1), 2002: 51-56.
- [18] Zhang C Y, Chen X S, Zhang Y M. Method of constructing core collection for *Malus sieversii* in Xinjiang, China using molecular markers[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(3): 276-284.
- [19] 张春雨, 陈学森, 林群, 等. 新疆野苹果群体遗传结构和遗传多样性的 SRAP 分析[J]. 园艺学报, 2009, 36(1): 7-14.
- [20] Yan G R, Long H, Song W Q, et al. Genetic polymorphism of *Malus sieversii* populations in Xinjiang, China[J]. Genet Resour Crop Evol, 2008, 55: 171-181.

## The Variability Analysis of *Malus* Mill. Taxonomic Character From Different Population

CHEN Lin-lin, WU Rui-jiao, LI Guang-wei, LIU Lian-fen, QIAN Guan-ze  
(Life Science College, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059)

**Abstract:** Twenty-eight characters of leaves and fruits were observed from sixteen wild populations of *Malus* Mill. (involved twelve taxa). The scatter plots, the dendrogram of cluster analysis and the principal component were performed for data processing, to assess the importance of character, and pick up the proper characters to determine the relationship between different taxa. The results showed that in a same species, the character diversity inner population was smaller than that of inter populations. The results supported to put *M. sikkimensis* and *M. toringo* into the Sect. *Gymnomeles* Koehne and *M. daoehenensis* C. L. Li should be a member of Sect. *Sorbomalus* Zabel instead of Sect. *Gymnomeles* Koehne. Eight characters were important for the classification the genus *Malus*.

**Key words:** *Malus* Mill.; natural populations; characters; dendrogram of cluster analysis; the principal component