

枇杷种质资源数量分类研究

陈秀萍^{1,2}, 黄爱萍^{2,3}, 蒋际谋^{1,2}, 郑少泉^{1,2,*}, 邓朝军^{1,2}, 魏秀清^{1,2},
胡文舜^{1,2}, 姜帆^{1,2}

(¹福建省农业科学院果树研究所, 福州 350013; ²福建省龙眼枇杷育种工程技术研究中心, 福州 350013; ³福建省农业科学院农业经济与科技信息研究所, 福州 350003)

摘要: 对国家果树种质福州枇杷圃的 199 份枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 种质资源, 应用数量分类学中的 Q 型聚类分析方法进行分类, 并对 86 个性状进行 R 型聚类分析和主成分分析。Q 型聚类分析将 199 份种质资源在 L = 87.31 水平分为栽培品种和野生资源两大类, 在 L = 34.92 水平分为 5 个组群, 组群内来源地相同的种质资源多聚为小组, 显示出较近的亲缘关系; R 型聚类分析结果将 86 个性状明显聚为 3 组, 多数性状表现两两相关或关系密切; 主成分分析表明, 86 个性状可简化为 28 个主因子, 其累积贡献率达 74.7%, 根据 28 个因子载荷量, 选出影响力比较大的性状 58 个。

关键词: 枇杷; 种质资源; 数量分类; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号: S 667.3

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 04-0644-13

Numerical Classification of the Loquat Germplasm

CHEN Xiu-ping^{1,2}, HUANG Ai-ping^{2,3}, JIANG Ji-mou^{1,2}, ZHENG Shao-quan^{1,2,*}, DENG Chao-jun^{1,2},
WEI Xiu-qing^{1,2}, HU Wen-shun^{1,2}, and JIANG Fan^{1,2}

(¹Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; ²Fujian Breeding Engineering Technology Research Center for Longan and Loquat, Fuzhou 350013, China; ³Institute of Agricultural Economics and Information, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Divisions of 199 loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] genetic resources and 86 germplasm characters were investigated in the resources of Fuzhou National Fruit Germplasm. Q cluster analysis showed that 199 loquat germplasm resources were separated into cultivar and wild germplasm when L = 87.31; Five groups were separated when L = 34.92, the germplasm resources in the same group were most came from the same origin region showing the nearest genetic relationship. R cluster analysis showed 86 characters closely related were significantly clustered into 3 groups. Principal component analysis suggested that, 86 characters can be simplified to 28 main factors, the cumulative contribution rate of 74.7%, and the relatively large influence of 58 characters based on the amount of 28 factors loading.

Key words: *Eriobotrya japonica*; germplasm; numerical classification; cluster analysis; principal component analysis

收稿日期: 2010 - 10 - 09; 修回日期: 2011 - 03 - 25

基金项目: 农业部作物种质资源保护项目 (NB2130135); 国家科技基础条件平台工作子项目 (2005DKA21002-27); 福建省财政专项 (STIF-08); 国家科技支撑计划项目 (2007BAD07B01); 福建省公益类科研院所基本科研经费专项 (2009R10029)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zsq333555@163.com)

枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 是原产我国的亚热带特色果树, 有 2000 多年的栽培历史, 种质资源丰富(邱武陵和章恢志, 1996)。关于枇杷品种分类, 古今学者论述较多, 胡昌炽(1928)、章恢志(1957)、吴耕民(1984)根据果肉色泽及果形分类; 章恢志于 1957 年提出增加成熟期分类一项, 在《中国果树栽培学》(1987)中又提出增加生态分类的观点; 邱武陵等(1996)对前人的分类方法进行归纳总结, 提出依生态类型、果肉颜色、果形、用途、成熟期、经济地位划分标准的 6 种常用分类方法, 为枇杷品种利用提供了方便。但这些分类法多以某一特性或用途来分, 不能反映个体、类群之间固有的亲缘关系。

数量分类学方法综合了各种形态信息, 采用构建树形图的形式, 可以精确再现研究对象之间的亲疏关系(赵冰等, 2007), 已成功应用于芍药、蜡梅、垂丝海棠、木瓜属(郭先锋和王莲英, 2005; 赵冰等, 2007; 楚爱香等, 2009; 王明明等, 2009)等植物资源的品种分类。

刘权等(1993)利用聚类分析方法将 50 个枇杷属品种分为 3 大类群, 将性状指标分 3 个等级并赋予不同的权重, 但这种方法在实践中不易操作, 而且由于取材不在同一产地, 很难排除砧木及管理水平等对鉴定数据的影响。

Badenes 等(2000)、Leguizamón 和 Badenes(2003)、Calvo 等(2007)分别利用主成分分析法筛选出西班牙瓦伦西亚收集保存的枇杷品种资源的主要特征性状并进行分类研究, 但该分类系统没有包括中国的枇杷资源, 未能反映出世界枇杷品种间的亲缘关系。

胡文舜等(2009)利用聚类分析和主成分分析研究了 145 份云南野生、半野生枇杷种质资源的 29 个枝梢及叶片性状, 认为老叶叶背茸毛脱落与否、叶柄长度、叶脉对数和叶片长度在枇杷属植物分类中起着重要作用。

但由于上述研究的资源种类较为单一, 数量较少或分类性状较少, 且受资源收集保存持续性的影响, 均缺乏树体生长量方面的鉴定数据, 目前尚未形成一个公认的有说服力的枇杷种质资源分类系统。

为此, 作者在国家果树种质福州枇杷圃全国更新复壮的有利条件下, 重新开展鉴定评价工作, 并尝试利用尽可能多的表型性状对枇杷种质资源进行数量分类, 以期枇杷种质资源间的亲缘关系研究及分类体系的建立提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用国家果树种质福州枇杷圃中保存的 199 份枇杷种质资源作为分类运算单位 (Operational Taxonomic Unit, OUT), 其来源地及种质类型见表 1。统一砧木 (‘解放钟’实生苗), 统一营养袋育苗 (营养袋规格 30 cm × 28 cm), 统一定植 (2006 年 6 月定植, 株行距 3 m × 4 m), 统一常规管理。

以 2008 年 10 月—2009 年 5 月的调查数据为主, 结合历年的鉴定结果进行分析。每份种质资源选取 3 ~ 5 株进行树高、冠径、干周、叶幕层厚度及枝梢数的调查, 其它形态性状的鉴定按照《枇杷种质资源描述规范和数据标准》(郑少泉等, 2006)和《农作物种质资源鉴定技术规程 枇杷》(郑少泉等, 2007)的规定执行。

1.2 分类性状的选取与编码

选取植株、枝梢、叶片、花序、果实、种子和抗性 etc 共计 86 个性状 (表 2)。性状的编码方法

取决于性状的类型，数值性状直接使用；二态性状、有序多态性状和无序多态性状的分类方法及编码参照《枇杷种质资源描述规范和数据标准》（郑少泉 等，2006）稍作改动，将有序多态性状锈斑病抗性的编码改为 1 = 强，2 = 中，3 = 弱。

1.3 数据处理

采用聚类分析方法对所得的原始数据矩阵进行 Q 型聚类分析，为了消除不同量纲对数据分析产生的影响，首先对原始数值矩阵进行标准差标准化（STD）处理，即 $x'_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / S_j$ （式中， x'_{ij} 为标准化变换后相应的数值， x_{ij} 原始数值矩阵中第 i 个分类单位第 j 个性状值， \bar{x}_j 及 S_j 分别表示第 j 个性状平均值及标准差）；再对标准化数据计算各个 OUT 之间的平均欧氏距离（胡文舜 等，2009），然后采用系统聚类中的离差平方和法（刘权 等，1993；胡文舜 等，2009）作出 199 个 OUT 分类结果的树系图；最后作聚合水平的结合线。

R 型聚类分析的方法同上，聚类距离为相关系数。

对离差平方和法划分组群间的部分数值性状进行差异显著性检验。

主成分分析在 SPSS17.0 软件上执行，其余数学运算在 DPS 7.05 软件上完成。

表 1 199 份枇杷种质资源来源与类型
Table 1 The sources and types of 199 loquat germplasm resources

来源地 Sample source	种质数量 Number of cultivars	种质类型及数量 Biological status of accession		
		地方品种 Traditional cultivar	选育品种 Advanced cultivar	野生资源 Wild
福建 Fujian, China	98	83	15	0
浙江 Zhejiang, China	15	14	1	0
江苏 Jiangsu, China	9	8	1	0
安徽 Anhui, China	7	7	0	0
湖北 Hubei, China	3	1	2	0
广东 Guangdong, China	8	8	0	0
广西 Guangxi, China	9	6	0	3
贵州 Guizhou, China	7	1	0	6
云南 Yunnan, China	7	0	0	7
四川 Sichuan, China	7	4	3	0
江西 Jiangxi, China	2	1	1	0
湖南 Hunan, China	1	1	0	0
日本 Japan	13	0	12	1
美国 America	3	0	3	0
西班牙 Spain	3	0	3	0
新西兰 New Zealand	3	3	0	0
意大利 Italy	1	0	1	0
南非 South Africa	1	1	0	0
希腊 Greece	1	1	0	0
葡萄牙 Portugal	1	1	0	0
合计 Total	199	140	42	17

表 2 86 个性状
Table 2 86 characters

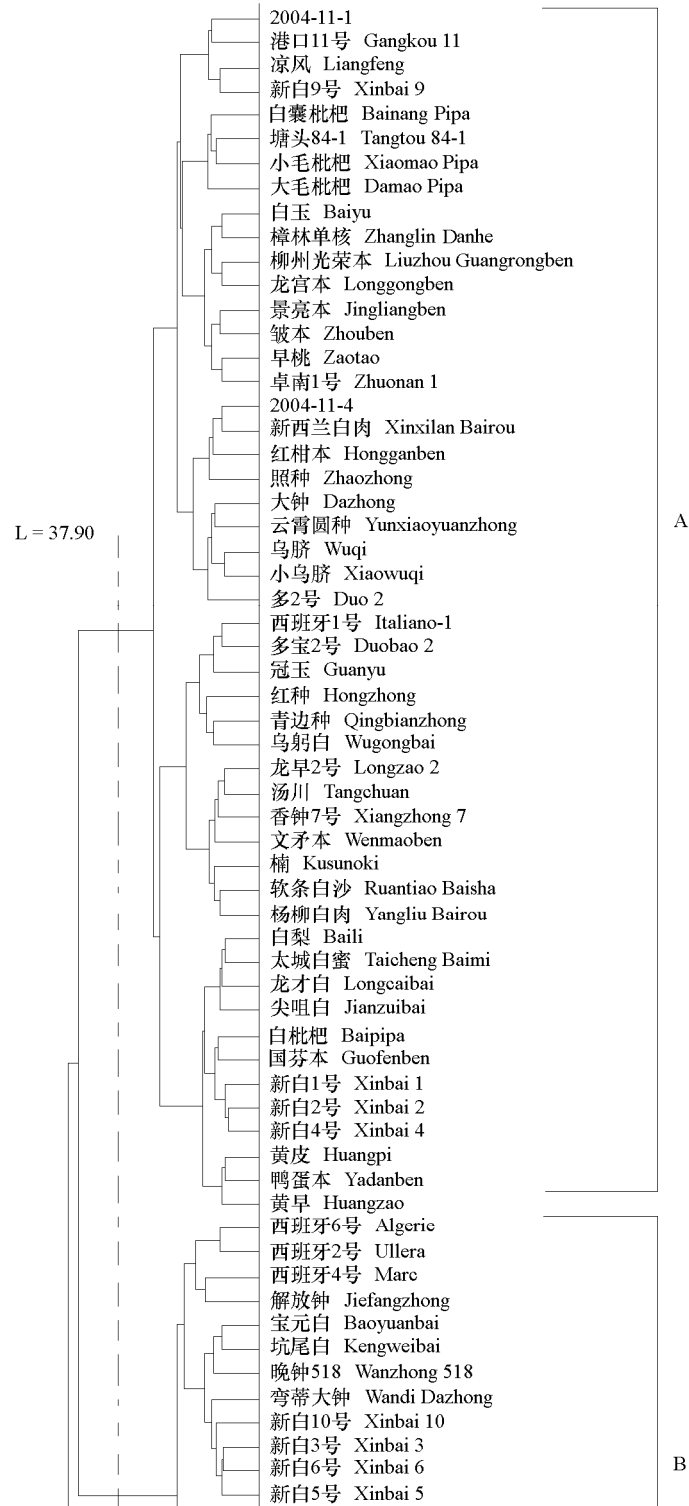
序号 No.	性状 Character	序号 No.	性状 Character
1	树姿 Tree habit (TH)	44	果形 Shape of fruit (FS)
2	树势 Tree vigor (TVI)	45	果皮颜色 Color of fruit skin (FSC)
3	树高 Tree height (TH)	46	单果质量 Fruit weight (FW)
4	冠径 Tree crown diameter (TCD)	47	果实纵径 Longitudinal diameter of fruit (FLD)
5	干周 Trunk circumference (TC)	48	果实横径 Transverse diameter of fruit (FTD)
6	叶幕层厚度 Thick leaf power (TLP)	49	果形指数 Fruit shape index (FSI)
7	枝梢总数 Number of shoots (SN)	50	果实侧径 Lateral diameter of fruit (FLTD)
8	中心枝长度 Length of central shoot (LCS)	51	果顶 Shape of fruit apex (FSA)
9	中心粗度 Thickness of central shoot (TCS)	52	果基 Shape of fruit base (FSB)
10	侧枝长度 Length of lateral shoot (LLS)	53	条斑 Fruit streak (FS)
11	侧枝粗度 Thickness of lateral shoot (TLS)	54	果点密度 Density of fruit dots (FDD)
12	中心枝抽穗率 Percentage of central fruit shoots (PCFS)	55	果点大小 Size of fruit dot (FSD)
13	侧枝抽穗率 Percentage of lateral fruit shoots (PLFS)	56	果面茸毛密度 Density of floss on fruit surface (FFD)
14	叶姿 Leaf attitude (LA)	57	果面茸毛长短 Length of floss on fruit surface (FFL)
15	叶片形状 Leaf shape (LS)	58	果粉 Fruit powder (FP)
16	叶片长度 Length of leaf blade (LL)	59	萼片长度 Length of sepal (FLS)
17	叶片宽度 Width of leaf blade (LW)	60	萼片基部宽度 Width of sepal base (FWS)
18	叶长/宽 Ratio leaf length/width (LL/W)	61	萼片姿态 Attitude of sepal (FAS)
19	叶尖形状 Shape of leaf tip (LTS)	62	萼孔 Fruit calyx cavity (FCC)
20	叶缘形状 Shape of leaf margin (LMS)	63	萼筒宽度 Width of calyx tube (WCT)
21	锯齿深浅 Depth of serration (LDS)	64	萼筒深度 Depth of calyx tube (DCT)
22	锯齿密度 Density of serration (DS)	65	心皮质地 Texture of carpel (TC)
23	锯齿形状 Shape of serration (LSS)	66	剥皮难易 Adherence of skin (AS)
24	锯齿占叶缘比例 Ratio serration/ leaf margin (LRS)	67	果肉颜色 Color of fruit flesh (FFC)
25	叶片颜色 Leaf blade: Color of upper side (LC)	68	果肉厚度 Thickness of flesh (FTF)
26	叶面光泽 Leaf blade: Lustre of upper side (LL)	69	果肉硬度 Firmness of flesh (FF)
27	叶背茸毛 Pubescence of leaf back (LLB)	70	可溶性固形物含量 Content in total soluble solids (TSS)
28	叶背颜色 Leaf blade: Color of back side (LBSC)	71	果肉质地 Texture of flesh (FFT)
29	叶面形态 Leaf blade: Shape of upper side (LSU)	72	果肉化渣程度 Degree of flesh dregs (FDD)
30	叶片横切面 Leaf blade: Shape of cross section (LSC)	73	汁液 Juice of flesh (FJ)
31	叶片质地 Texture of leaf blade (LT)	74	香味 Aroma of flesh (FFA)
32	花序支轴姿态 Attitude of secondary peduncle (CASP)	75	风味 Flavor of flesh (FFF)
33	花序长度 Length of flower cluster (CL)	76	可食率 Edible rate (ER)
34	花序宽度 Width of flower cluster (CW)	77	种子数 Number of seeds (NS)
35	花序形状 Shape of flower cluster (CS)	78	种子瘪粒数 Number of abortive seeds (NAS)
36	花序支轴密度 Density of secondary peduncles (CDP)	79	种子质量 Weight of seeds (WS)
37	花瓣颜色 Color of petal (PC)	80	单粒种子质量 Weight of seed (WNS)
38	穗坐果数 Fruit cluster: Number of fruits (FN)	81	种子形状 Shape of seed (SS)
39	果实整齐度 Uniformity of fruits (FU)	82	种皮颜色 Color of seed (CS)
40	果实着生姿态 Attitude of fruit in relation to main axes (FA)	83	种皮开裂 Dehiscence of seed (DS)
41	果实排列紧密度 Arrangement of fruit in relation to main axes (FAR)	84	种子基套大小 Size of seed basic sheath (SSBS)
42	果梗长度 Length of fruit stalk (FLS)	85	种子斑点 Number of small spots on seed surface (NSS)
43	果梗粗度 Thickness of fruit stalk (FTS)	86	锈斑病抗性 Resistance to rust spot (RRS)

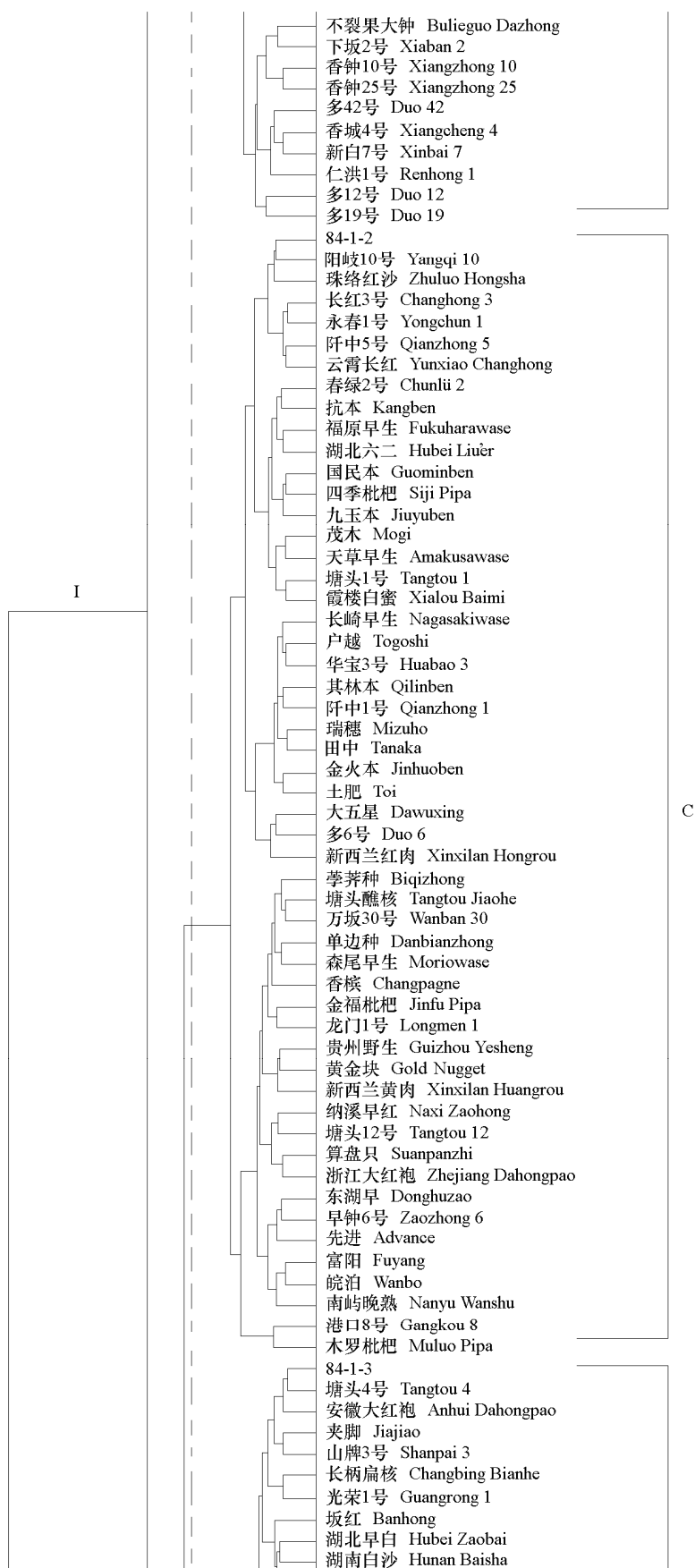
2 结果与分析

2.1 Q 型聚类结果分析

Q 型聚类结果见图 1。在等级结合线 L = 87.31 处，199 份种质资源被明显分为两大类群，类群 I 为栽培品种，类群 II 为野生资源。类群 I 多表现果大，肉厚，可食率高，果肉乳白色、黄白色、黄色、橙黄色、橙红色，果形为扁圆形、近圆形、倒卵形、洋梨形、椭圆形，具有较高的经济栽培

价值; 类群 II 表现树势弱, 花序大, 坐果多, 果实极小, 果形扁圆形或近圆形, 果皮橙红色或橙黄, 萼片多为外凸、萼孔闭合, 种子小, 可食率低, 目前没有经济栽培价值。在等级结合线 $L = 34.92$ 处又可将类群 I 分为 4 个组群, 亦即所有资源分为 5 个组群, 从上到下依次为组群 A、组群 B、组群 C、组群 D、组群 E, 包括的种质资源份数分别为 50、22、53、61 和 13 份。组群 C 与组群 D、组群 A 与组群 B 间的亲缘关系较近, 与组群 E 的亲缘关系较远。





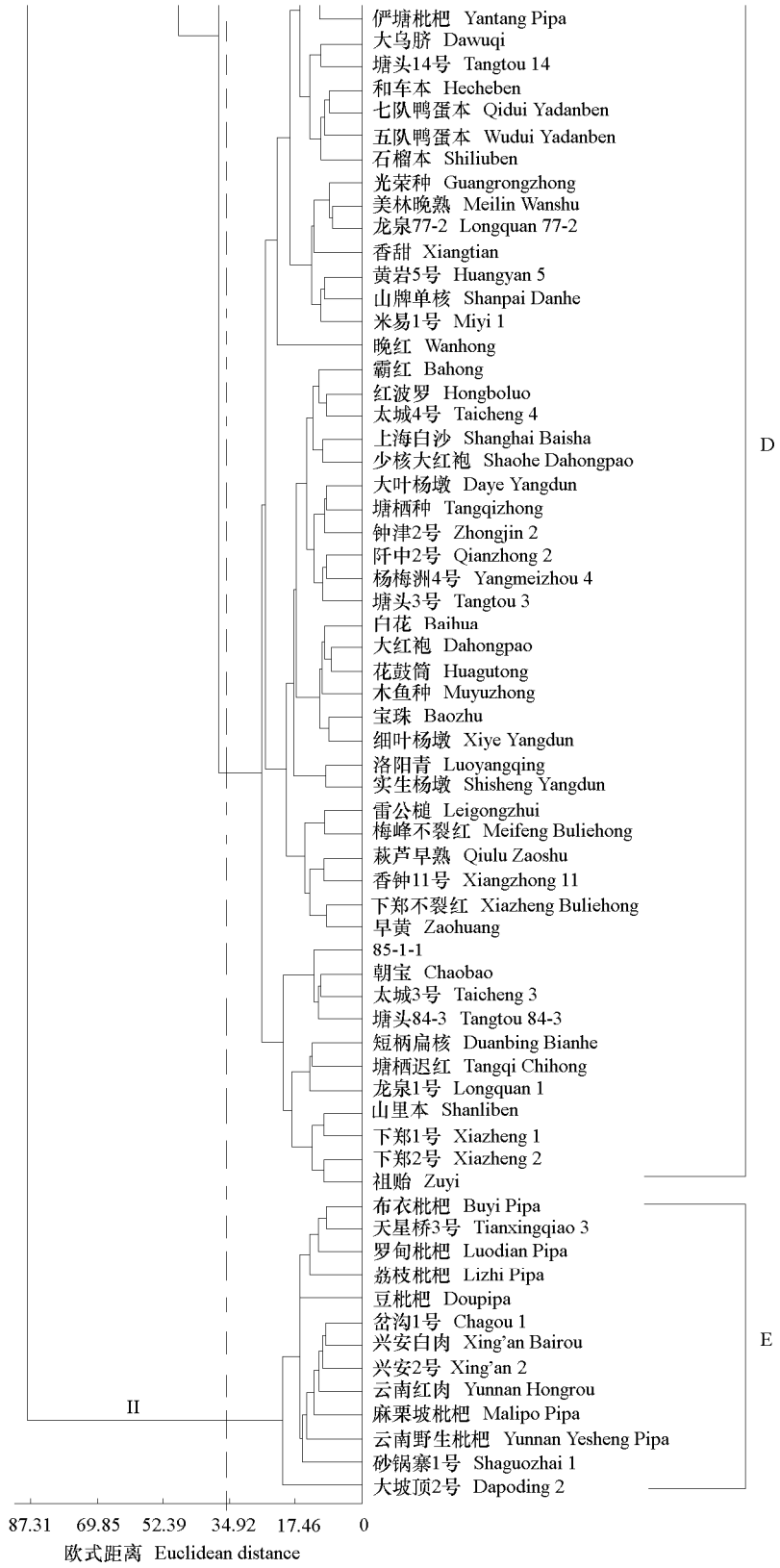


图 1 Q 型聚类分析图
Fig. 1 The dendrogram of Q cluster analysis

根据方差分析结果，将各组群差异较大的部分性状列于表 3。

表 3 5 个组群枇杷种质资源部分性状表现
Table 3 Difference of 5 divisions in loquat germplasm resources

类群 Taxa	组群 Group	花序 长度 CL	花序 宽度 CW	穗坐 果数 FN	单果 质量 FW	果实 纵径 FLD	果实 横径 FTD	果形 指数 FSI	果肉 厚度 FT	可溶性固 形物含量 TSS	可食 率 ER	种子 质量 WS	单粒种 子质量 WNS
I	A	11.9 b	14.2 b	14.5 b	29.4 c	3.87 c	3.69 c	1.05 c	7.7 c	13.4 b	65.9 b	6.2 b	1.8 b
	B	11.7 bc	14.1 b	10.0 c	50.3 a	5.05 a	4.34 a	1.16 a	9.8 a	11.9 c	71.3 a	8.7 a	2.3 a
	C	10.4 d	12.3 c	12.5 bc	31.4 c	4.32 b	3.60 c	1.20 a	8.4 b	11.7 c	71.9 a	5.2 c	1.7 b
	D	10.7 cd	12.8 bc	14.1 b	36.9 b	4.38 b	3.91 b	1.12 b	8.5 b	11.6 c	69.4 a	6.7 b	2.0 b
II	E	13.8 a	19.1 a	41.9 a	10.4 d	2.58 d	2.59 d	1.00 d	4.1 d	14.8 a	46.8 c	3.5 d	1.0 c

注：不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。
Note: Different letters indicated significant differences ($P < 0.05$).

组群 A（类群 I）：叶片多为椭圆形，果实多为近圆形，果实小，果肉较薄，可溶性固形物含量较高，可食率较低，种子较大；白肉 28 份，红肉 22 份；来源于福建 24 份，广东 6 份，广西 5 份，贵州 2 份，江苏 5 份，浙江 1 份，日本 3 份，意大利 1 份，葡萄牙 1 份及希腊 1 份。

组群 B（类群 I）：树姿半开张至开张，树势中等至强，叶片大，叶姿多下垂，坐果少，果大，果形长，果肉厚，萼片大，汁液多，化渣，种子大；白肉 7 份，红肉 15 份；来源于西班牙 3 份，福建 19 份。

组群 C（类群 I）：树姿半开张至直立，树势中等至弱，果实小，果形长，萼筒为窄深，果肉颜色由黄色至橙红，果肉较厚，可食率高，种子较小；来源于安徽 1 份，福建 24 份，广东 1 份，广西 2 份，贵州 1 份，湖北 2 份，江苏 2 份，江西 1 份，四川 2 份，浙江 2 份，美国 3 份，南非 1 份，日本 9 份及新西兰 2 份。

组群 D（类群 I）：树势强或中等，植株高，冠径大，坐果较多，果实大小中等，果肉颜色由黄色至橙红，种子较大；来源于安徽 6 份，福建 31 份，广东 1 份，广西 1 份，湖北 1 份，湖南 1 份，江苏 2 份，江西 1 份，四川 5 份及浙江 12 份。

组群 E（类群 II）：树势中等或弱，花序多数大，坐果多，果实排列紧密，果实极小，果实扁圆形至近圆形，果皮橙黄色至橙红色，萼片窄小、萼片多为外凸，果面茸毛密，果肉薄，可溶性固形物含量高，可食率极低，种子小；来源于云南 7 份，贵州 4 份，广西 1 份及日本 1 份，均为野生资源。

从以上分析结果可以看出，组群内的种质资源具有一定的特征和地理分布，如组群 A、组群 C 的种质资源果实均较小，但在果肉颜色和果形上出现差异，组群 A 多为白肉、近圆形，组群 C 多为红肉、长果形；组群 B 的果实大、果形长，来源于福建和西班牙；组群 D 果实大小中等、红肉；组群 E 果实极小，主要来源于云南、贵州；四川、湖北、湖南、江西、安徽及浙江（除软条白沙外）的种质资源全部聚入组群 C 与组群 D，西班牙的均分布在组群 B，其余的国外引进种质资源则分布在组群 A（6 份）、组群 C（15 份）及组群 E（1 份）。

这些结果为今后枇杷种质资源的利用提供了理论依据。

2.2 R 型聚类结果分析

从 R 型聚类的树系图 (图 2) 可以看出, 86 个性状在 $L = 3.05$ 处聚成 3 大组。a 组包括株高、冠径、干周、叶幕层厚度等 11 个性状, 主要与树姿、树势、树体和枝梢生长量有关; b 组包括叶片、花序、果实外观、品质、种子、抗性、结果性能等性状 66 个; c 组包括穗坐果数、果梗粗度、单果质量、果实纵径、果实横径、果实侧径、萼筒深度、果肉厚度和可食率等 9 个性状, 主要是与果实大小相关的性状, 与 a 组、b 组的关系较远。多数性状表现两两相关, 部分性状之间相关程度较高。逻辑相关的有果实横径与侧径 ($r = 0.9787$), 单果质量与果实横径 ($r = 0.9459$), 单果质量与果实侧径 ($r = 0.9338$), 单果质量与果实纵径 ($r = 0.8817$), 果实纵径与横径 ($r = 0.8204$), 果肉厚度与可食率 ($r = 0.7867$), 种子质量与单粒种子质量 ($r = 0.7171$), 中心枝抽穗率与侧枝抽穗率 ($r = 0.8379$), 花序长度与花序宽度 ($r = 0.8880$), 中心枝长度与侧枝长度 ($r = 0.7168$), 侧枝长度与侧枝粗度 ($r = 0.7313$), 干周与冠径 ($r = 0.7083$), 单果质量、果径 (纵径、横径、侧径) 与果肉厚度 (相关系数均在 0.75 以上) 等, 说明这些相关性状之间存在进化上的必然联系。非逻辑相关的有果梗长度与锈斑病抗性, 萼筒宽度与种皮开裂, 萼片姿态与花序支轴姿态等, 相关系数均在 0.3 以下, 它们反映出不同的遗传信息但不是必然的依存关系。由此可见, 性状的选择基本正确, 但独立性不是很强, 这为今后进行性状的观测和取舍提供定量化的依据。

2.3 主成分分析

主成分分析结果 (表 4) 表明, 前 28 个主成分累积贡献率达 74.7%。第 1 主成分贡献率为 11.09%, 特征向量绝对值大的是果实横径、果实侧径、单果质量、果实纵径、果肉厚度、可食率、萼筒深度、果梗粗度、穗坐果数, 均为 R 型聚类中的 c 组性状, 其特征向量都在 0.613 以上 (图 3), 代表果实经济性状因子, 其中穗坐果数有较大的负载荷, 与果实大小有逆向作用。第 2 主成分贡献率为 6.21%, 特征向量绝对值较大的是侧枝长度、中心枝长度、侧枝粗度, 其特征向量都在 0.793 以上, 代表枝梢因子。第 3 主成分

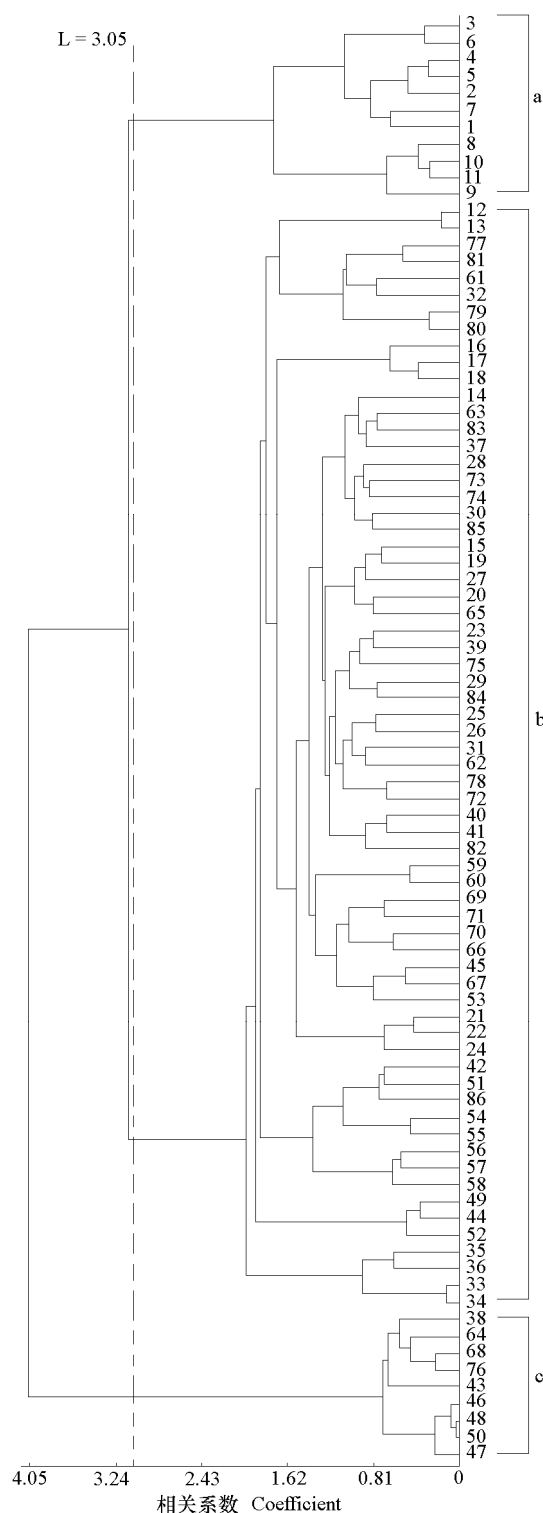


图 2 R 型聚类分析图

Fig. 2 The dendrogram of R cluster analysis

贡献率为 5.28%，其特征向量绝对值较大的是冠径、枝梢总数、干周、树势、树姿，代表树势、树姿因子。第 2 主成分与第 3 主成分的代表性状均为 R 型聚类中的 a 组性状。第 4 主成分贡献率为

表 4 主成分的特征值、贡献率和累计贡献率
Table 4 The latent root, contributor ratio and accumulative contributor ratio of the principal component

主成分 Principal component	特征值 Latent root	贡献率/% Contributor ratio	累计贡献率/% Accumulative contributor ratio	代表性状 Representative character
1	9.539	11.092	11.092	果实横径 FTD、果实侧径 FLTD、单果质量 FW、果实纵径 FLD、 果肉厚度 FTF、可食率 ER、萼筒深度 DCT、果梗粗度 FTS、穗 坐果数 FN
2	5.343	6.213	17.305	侧枝长度 LLS、侧枝粗度 TLS、中心枝长度 LCS
3	4.537	5.275	22.580	冠径 TCD、枝梢总数 SN、树势 TVI、干周 TC、树姿 TH
4	3.347	3.892	26.473	花序长度 CL、花序形状 CS、花序宽度 CW、花序支轴密度 CDP
5	2.999	3.487	29.960	果肉颜色 FFC、果皮颜色 FSC
6	2.738	3.183	33.143	果形 FS、果基 FSB、果形指数 FSI
7	2.646	3.076	36.220	锯齿深度 LDS、锯齿密度 DS、锯齿占叶缘比例 LRS
8	2.552	2.968	39.187	种子数 NS、种子形状 SS
9	2.368	2.753	41.940	果点密度 FDD、果点大小 FSD
10	2.159	2.510	44.451	中心枝抽穗率 PCFS、侧枝抽穗率 PLFS
11	2.106	2.449	46.900	果面茸毛密度 FFD、果粉 FP、果面茸毛长短 FFL
12	1.990	2.315	49.214	叶片长度/宽度 LL/W、叶片宽度 LW
13	1.896	2.205	51.419	萼片长度 FLS、萼片基部宽度 FWS
14	1.876	2.181	53.600	果实着生姿态 FA、果实排列紧密度 FAR
15	1.730	2.011	55.611	叶片长度 LL
16	1.572	1.828	57.439	心皮质地 TC
17	1.504	1.749	59.188	果肉质度 FFT
18	1.490	1.732	60.921	萼筒宽度 WCT
19	1.399	1.627	62.547	叶面颜色 LC
20	1.348	1.568	64.115	叶尖形状 LTS
21	1.293	1.504	65.618	萼片姿态 FAS
22	1.234	1.435	67.054	香味 FFA
23	1.162	1.351	68.405	叶姿 LA
24	1.138	1.323	69.728	种子斑点 NSS
25	1.100	1.280	71.008	叶背颜色 LBSC
26	1.070	1.245	72.253	风味 FFF
27	1.044	1.214	73.466	锯齿形状 LSS
28	1.028	1.196	74.662	花瓣颜色 PC

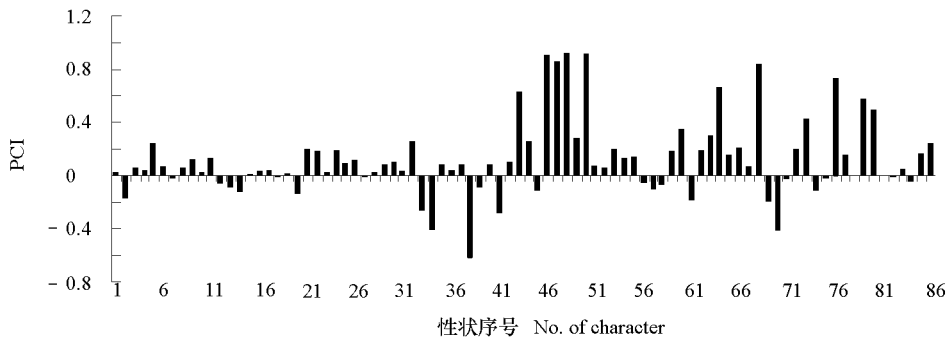


图 3 第一主成分性状的分布柱形图
性状名称与表 2 对应。

Fig. 3 Plot of contribution of the original variables into the first principal component
Names of No. of character corresponded to those of Table 2.

3.89%，其特征向量绝对值较大的是花序长度、花序形状、花序宽度、花序支轴密度，代表花序因子。第 5 主成分贡献率为 3.478%，特征向量绝对值较大的是果肉颜色、果皮颜色，其特征向量都在 0.693 以上，主要反映果肉、果皮的颜色情况。第 6 主成分贡献率为 3.183%，其特征向量都在 0.764 以上，主要反映果形状况。其余 22 个因子载荷高的代表性状见表 4。从以上分析及表 4 可以看出，86 个性状可简化为 28 个因子，包含 58 个性状。

3 讨论

3.1 关于枇杷种质资源的 Q 型聚类

枇杷野生资源与栽培品种形态上的最大区别在于野生枇杷多果小，肉薄，种子小，果顶部多呈尖嘴状，品质差（邱武陵和章恢志，1996）。本研究应用 Q 型聚类分析方法将 199 份枇杷种质资源分为栽培品种（类群 I）与野生资源（类群 II）两大类群，野生资源类群主要表现果实极小，肉薄，萼片姿态多为外凸，萼孔闭合，种子小，可食率低。

枇杷分类方法，大体上按果实的颜色和形状者为最多（吴耕民，1984），依果肉颜色可分为红肉枇杷和白肉枇杷两类，依果形可分为长形种、圆形种和扁形种 3 类。Q 型聚类结果显示，果肉颜色相同的种质资源分布相对集中，白肉枇杷主要分布在组群 A（28 份）和组群 B（7 份），组群 C、组群 D 和组群 E 中也各有两份，但无法全部聚在一起，如白肉的‘新白 7 号’与红肉的‘香城 4 号’、白肉的‘祖貽’与红肉的‘下郑 1 号’、白肉的‘小毛枇杷’与红肉的‘塘头 84-1’聚成小组，说明果肉颜色是影响枇杷分类的因素之一，但不是决定因素。这与蔡礼鸿等（2005）利用等位酶分类、陈义挺等（2007）利用 RAPD 分子标记分类、王永清等（2010）利用 ISSR 分子标记分类结果一致。就果形分类而言，也存在类似的情况，在果形近圆形组群 A 中有部分长果形的种质，在长果形组群 C 中也有少量圆果形的种质，如近圆形的‘木罗枇杷’与梨形的‘港口 8 号’聚在一起。

地理位置与环境条件在物种进化中起着重要作用，杨向晖等（2009）利用 RAPD 分析，将来源于台湾省的台湾枇杷与台湾枇杷恒春变型聚成一类；Soriano 等（2005）利用 SSR 标记评价，认为地理起源与系谱是枇杷品种分类的主要依据；本研究中来源地相同的枇杷种质资源多数能聚成小组，如组群 A 中广西的‘白囊枇杷’、‘小毛枇杷’、‘大毛枇杷’，广东的‘乌脐’与‘小乌脐’；组群 B 中西班牙的‘Algerie’、‘Ullera’、‘Marc’，福建的‘香钟 10 号’与‘香钟 25 号’；组群 C 中日本的‘茂木’与‘天草早生’、‘瑞穗’与‘田中’；组群 D 中浙江的‘大红袍’、‘花鼓筒’、‘木鱼种’、‘宝珠’、‘细叶杨墩’、‘洛阳青’及‘实生杨墩’；组群 E 中来源于云南的‘岔沟 1 号’、‘兴安白肉’、‘兴安 2 号’、‘云南红肉’、‘麻栗坡枇杷’、‘云南野生枇杷’及‘沙锅寨 1 号’等，显示出同一来源地种质资源间的密切亲缘关系；特别是来源于西班牙的‘Algerie’、‘Ullera’、‘Marc’聚成小组，这与 Soriano 等（2005）利用 SSR 分子标记的分类结果一致。但也存在不同来源地枇杷种质资源间的交叉现象，如贵州的‘杨柳白肉’与浙江的‘软条白沙’、江苏的‘富阳’与安徽的‘皖泊’、日本的‘森尾早生’与浙江的‘单边种’、希腊的‘2004-11-1’与广东的‘港口 11 号’、意大利的‘Italiano-1’与广东的‘多宝 2 号’等聚成小组，亲缘关系较近，这可能是不同地域间的枇杷品种资源存在广泛交流造成的。

3.2 枇杷种质资源数量分类性状的选择

R 型聚类分析结果将 86 个性状明显分为 3 组，很好地揭示了性状间的相关性，多数性状表现两两相关，部分性状之间相关程度较高，如果实横径与侧径、果实纵径与横径，单果质量与果实横径、

果实纵径、果肉厚度, 果实纵径、果肉厚度与可食率等的相关系数均在 0.70 以上, 表明枇杷果实大小、外部尺寸基本同步变化; 果实侧径也称小横径, 与果实横径的相关性强 ($r = 0.9787$), 但两者的差异达极显著水平 ($t = 28.5176$, $P < 0.01$), 说明果实侧径有别于果实横径; 此外, 相关程度较高的性状还有种子质量与单粒种子质量、中心枝抽穗率与侧枝抽穗率、花序长度与花序宽度、中心枝长度与侧枝长度、侧枝长度与侧枝粗度、干周与冠径等。这为今后枇杷育种亲本的正确选择, 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了量化的依据。

胡文舜等 (2009) 认为“老叶叶背茸毛脱落与否、叶柄长度、叶脉对数和叶片长度”在枇杷属植物分类中起重要作用, 但这些性状不应作为枇杷品种分类的主要依据。Badenes 等 (2000) 认为第 1 主成分包括“果实大小、单果质量、果肉厚度、树势、花序花朵数等”, Calvo 等 (2007) 认为第 1 主成分包括“叶片大小、果实性状 (果实纵径, 横径, 单果质量, 果肉厚度, 种子质量)、树势”。本结果表明, 前 3 个主成分累积贡献率仅 22.6%, 到第 28 个主成分累积贡献率才达到 74.7%, 与徐克学 (1994) 认为大型数据的主成分不易集中的结论一致, 说明各性状贡献率分散, 累积贡献率增长不明显, 可见枇杷种质资源的分类受到多个性状的共同影响。其中, 第 1 主成分包括“单果质量、果实横径、果实侧径、果实纵径、果肉厚度、可食率、萼筒深度、果梗粗度和穗坐果数”等 9 个性状, 第 2 主成分包括“侧枝长度、中心枝长度、侧枝粗度”, 第 3 主成分包括“冠径、枝梢总数、干周、树势、树姿”, 第 4 主成分包括“花序长度、花序形状、花序宽度、花序支轴密度”, 传统的分类性状“果肉颜色、果形”则分别为第 5、第 6 主成分。虽然结论不尽相同, 但都突出了果实经济性状中的重要地位, 还揭示出栽培品种从小果向大果的选育方向, 符合“演化关系为主, 形态应用为辅, 二者兼顾”的二元分类法和科学性与实用性相结合的分类原则 (陈俊愉, 1998)。

数量分类学方法是以表征性状的相似性为基础, 按一定的数学方法建立计算机模型, 得出有机体的定量比较和系谱分析。本研究中的枇杷种质资源数量分类法综合了植株、枝梢、叶片、花、果实、种子等 86 个性状的信息, 从而在一定程度上降低了因单一性状误差对分类带来的影响; 与传统分类以少数几个性状作为分类依据相比, 数量分类法更加客观。

References

- Badenes M L, Calvo J M, Ll acer G. 2000. Analysis of a germplasm collection of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) . *Euphytica*, 114: 187 - 194.
- Cai Li-hong, Li Zuo-zhou, Huang Hong-wen, Zhang Wen-cai. 2005. Genotype fingerprint of loquat cultivars and allozymic variation in *Eriobotrya*. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 23 (5): 406 - 416. (in Chinese)
- 蔡礼鸿, 李作洲, 黄宏文, 章文才. 2005. 枇杷属植物等位酶遗传变异及品种基因型指纹. *武汉植物学研究*, 23 (5): 406 - 416.
- Calvo J M, Gisbert A D, Alamar M C, Hernandez R, Romero C, Ll acer G, Badenes M L. 2007. Study of a germplasm collection of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by multivariate analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55 (5): 695 - 703.
- Chen Jun-yu. 1998. 'Dual Classification': A new classification system for Chinese flower cultivars. *Journal of Beijing Forestry University*, 20 (2): 1 - 5. (in Chinese)
- 陈俊愉. 1998. “二元分类”——中国花卉品种分类新体系. *北京林业大学学报*, 20 (2): 1 - 5.
- Chen Yi-ting, Lai Zhong-xiong, Chen Jing-ying, Cai Ying-qing, Guo Yu-qiong, Wu Jin-shou. 2007. RAPD analysis of 65 accessions of loquat germplasm (*Eriobotrya* spp.) . *Chinese Journal of Tropical Crops*, 28 (1): 65 - 71. (in Chinese)
- 陈义挺, 赖钟雄, 陈菁瑛, 蔡英卿, 郭玉琼, 吴金寿. 2007. 65 份枇杷种质资源的 RAPD 分析. *热带作物学报*, 28 (1): 65 - 71.
- Chu Ai-xiang, Yang Ying-jun, Tang Geng-guo, Tong Li-li. 2009. Studies on numerical taxonomy of the *Malus halliana* Koehne cultivars in Henan. *Acta Horticultrae Sinica*, 36 (3): 377 - 384. (in Chinese)
- 楚爱香, 杨英军, 汤庚国, 童丽丽. 2009. 河南垂丝海棠品种数量分类研究. *园艺学报*, 36 (3): 377 - 384.
- Guo Xian-fen, Wang Lian-ying. 2005. Study on numerical taxonomy of Chinese cultivated hebeaceous peonies and its related wild species. *Acta Horticultrae Sinica*, 32 (3): 473 - 476. (in Chinese)
- 郭先锋, 王莲英. 2005. 我国栽培芍药与几个近缘种的数量分类研究. *园艺学报*, 32 (3): 473 - 476.

- Hu Chang-chi. 1928. Investigation report on loquat in Tangxi Dongting. Journal of the Agricultural Association of China: 64 - 65. (in Chinese)
- 胡昌炽. 1928. 洞庭塘栖枇杷调查报告. 中华农学会报: 64 - 65.
- Hu Wen-shun, Chen Xiu-ping, Li Tao, Zhang Shou-mei, Lin Qi-hua, Deng Chao-jun, Zheng Shou-quan. 2009. Study of the numerical taxonomy for the germplasm collection of wild loquat (*Eriobotrya japonica*) in Yunnan Province. Journal of Fruit Science, 26 (3): 403 - 408. (in Chinese)
- 胡文舜, 陈秀萍, 李 韬, 张守梅, 林旗华, 邓朝军, 郑少泉. 2009. 云南部分野生枇杷种质资源的数量分类初探. 果树学报, 26 (3): 403 - 408.
- Leguizamón J E, Badenes M L. 2003. Multivariate analysis as a tool for germplasm studies, example of analysis of germplasm loquat data. Acta Horticulturae, 606: 29 - 35.
- Liu Quan, Wang Gui-rong, Lu Jun-liang, Shen De-xu. 1993. A numerical taxonomy of loquat variety germplasm. Journal of Fruit Science, 10 (3): 137 - 141. (in Chinese)
- 刘 权, 王桂荣, 吕均良, 沈德绪. 1993. 枇杷品种资源的数量分类. 果树科学, 10 (3): 137 - 141.
- Qiu Wu-ling, Zhang Hui-zhi. 1996. China fruit graphy: Longan and loquat tomos. Beijing: China Forestry Publishing House: 92 - 237. (in Chinese)
- 邱武陵, 章恢志. 1996. 中国果树志 (龙眼 枇杷卷). 北京: 中国林业出版社: 92 - 237.
- Soriano J M, Romero C, Vilanova S, Llácer G, Badenes M L. 2005. Genetic diversity of loquat germplasm [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] assessed by SSR markers. Genome, 48 (1): 108 - 114.
- Wang Ming-ming, Wang Jian-hua, Song Zhen-qiao, Li Sheng-bo, Qu Yan, Liu Jing. 2009. Studies on numerical classification of *Chaenomeles* cultivars. Acta Horticulturae Sinica, 36 (5): 701 - 710. (in Chinese)
- 王明明, 王建华, 宋振巧, 李圣波, 曲 燕, 刘 静. 2009. 木瓜属品种资源的数量分类研究. 园艺学报, 36 (5): 701 - 710.
- Wang Yong-qing, Fu Yan, Yang Qin, Luo Nan, Deng Quan-xian, Yan Juan, Zeng Jian-guo, Ruan Guang-lun. 2010. Genetic diversity of *Eriobotrya* analyzed by ISSR markers. Scientia Silvae Sinicae, 46 (4): 49 - 57. (in Chinese)
- 王永清, 付 燕, 杨 琴, 罗 楠, 邓群仙, 严 娟, 曾建国, 阮光伦. 2010. 枇杷属植物遗传多样性的 ISSR 分析. 林业科学, 46 (4): 49 - 57.
- Wu Geng-min. 1984. China's temperate fruit trees Taxonomy. Beijing: China Agriculture Press: 461 - 470. (in Chinese)
- 吴耕民. 1984. 中国温带果树分类学. 北京: 中国农业出版社: 461 - 470.
- Xu Ke-xue. 1994. Numerical classification. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 徐克学. 1994. 数量分类学. 北京: 科学出版社.
- Yang Xiang-hui, Li Ping, Liu Cheng-ming, Lin Shun-quan. 2009. Genetic diversity in *Eriobotrya* genus and its closely related plant species using RAPD marks. Journal of Fruit Science, 26 (1): 55 - 59. (in Chinese)
- 杨向晖, 李 平, 刘成明, 林顺权. 2009. 枇杷属植物及其近缘属植物亲缘关系的 RAPD 分析. 果树学报, 26 (1): 55 - 59.
- Zhang Hui-zhi. 1957. Study on loquat varieties in Tangxi. Horticultura Bulletin, 1 (1): 15 - 21. (in Chinese)
- 章恢志. 1957. 塘栖枇杷品种的研究. 园艺通报, 1 (1): 15 - 21.
- Zhao Bing, Luo Xin-yan, Zhang Qi-xiang. 2007. A study on numerical classification of the wintersweet cultivars. Acta Horticulturae Sinica, 34 (4): 947 - 954. (in Chinese)
- 赵 冰, 雒新艳, 张启翔. 2007. 蜡梅品种的数量分类研究. 园艺学报, 34 (4): 947 - 954.
- Zheng Shao-quan, Chen Xiu-ping, Xu Xiu-dan, Jiang Ji-mou, Huang Ai-ping, Zhang Shou-mei, Deng Chao-jun. 2006. Descriptors and data standard for loquat (*Eriobotrya* spp.). Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 郑少泉, 陈秀萍, 许秀淡, 蒋际谋, 黄爱萍, 张守梅, 邓朝军. 2006. 枇杷种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- Zheng Shao-quan, Chen Xiu-ping, Xu Xiu-dan, Jiang Ji-mou, Huang Ai-ping, Zhang Shou-mei, Deng Chao-jun, Qian Yong-zhong. 2007. NY/T 1304-2007, Technical code for evaluating germplasm resources-Loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.]. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 郑少泉, 陈秀萍, 许秀淡, 蒋际谋, 黄爱萍, 张守梅, 邓朝军, 钱永忠. 2007. NY/T 1304-2007 农作物种质资源鉴定技术规程 枇杷. 北京: 中国农业出版社.
- Zhengzhou Fruit Research Institute, Research Institute of Pomology, Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. 1987. China pomology. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 中国农业科学院郑州果树研究所, 中国农业科学院果树研究所, 中国农业科学院柑桔研究所. 1987. 中国果树栽培学. 北京: 中国农业出版社.