

福建地方梨资源果实性状多样性分析及其数量分类研究

曾少敏, 陈小明, 黄新忠*

(福建省农业科学院果树研究所, 福建省落叶果树工程技术研究中心, 福州 350013)

摘 要: 对保存的 50 份福建省地方梨资源的 26 个果实性状进行数据采集, 分析果实性状的分布频率、变异系数和 Shannon-Weaver 指数, 应用 Q 型和 R 型聚类分析法对种质和性状进行分类, 并基于果实性状进行主成分分析。结果表明: (1) 所收集种质的果实描述性状多样性丰富, 以果点明显、果锈多、果面粗糙、果肉脆、风味酸甜、无涩味、果心小和成熟期为 9 月的种质居多, 分别占 92%、52%、54%、50%、50%、70%、54% 和 80%。(2) 数量性状中维生素 C 含量变异系数 (67.60%) 最大, 其次为可滴定酸含量 (48.26%)、糖酸比 (42.22%) 和固酸比 (41.14%)。(3) 描述性状 Shannon-Weaver 指数范围 0.324 ~ 1.660, 其中颜色和形状较高, 多样性最丰富, 而数量性状 Shannon-Weaver 指数范围达 1.698 ~ 2.074, 表现出更丰富的多样性。(4) Q 型聚类分析在欧式距离为 14.71 时将供试种质分为 5 个组, 组内具有一定的特征, 组间存在差异, 但并未发现按地域聚类的趋势; R 型聚类分析在相关系数 1.236 处将果实性状聚为 5 组, 多数性状间表现两两相关, 部分性状间逻辑相关性明显。(5) 主成分分析发现前 10 个主成分反映 86.545% 的贡献率, 各性状贡献率较为分散, 性状变异具有多向性; 第 1 主成分的正向增长有利于提高果实内在品质, 而第 2、4 主成分的正向增长有利于提高果实外观品质, 第 3 主成分负向增长有利于增大果实大小。

关键词: 梨; 种质资源; 果实; 性状; 多样性; 数量分类

中图分类号: S 661.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2019) 02-0237-15

Fruit Character Diversity Analysis and Numerical Classification of Local Pear Germplasm Resources in Fujian

ZENG Shaomin, CHEN Xiaoming, and HUANG Xinzhong*

(Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Research Centre for Engineering Technology of Fujian Deciduous Fruits, Fuzhou 350013, China)

Abstract: Twenty-six fruit characters were collected and determined from 50 local pear germplasm resources in Fujian Province. Distribution frequency, coefficient of variation, and Shannon-Weaver index were analyzed. Q cluster, R cluster and principal component analysis were used to evaluate the germplasm resources and characters. The results showed that the diversity of local pear fruit description characters

收稿日期: 2018-08-22; **修回日期:** 2019-01-16

基金项目: 福建省科技计划公益类科研院所专项 (2016R1013-3); 福建省农业科学院果树创新团队项目 (STIT2017-1-4); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-28-34)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: hxz0117@163.com)

was abundant. Conspicuous fruit dot, many fruit russeting, rough skin, crisp flesh, sour-sweet flavor, absent astringency, small fruit core and maturity in September had more proportion than other corresponding descriptors, accounting for 92%, 52%, 54%, 50%, 50%, 70%, 54% and 80%, respectively. The average variation coefficient of content of vitamin C and titratable acid, ratio of SS and TA, and ratio of TSS and TA was 67.60%, 48.26%, 42.22% and 41.14%, respectively, which was higher than that of other numerical characters. The fruit peel color and shape was found to have the richest diversity among 13 description characters, with 1.660 and 1.605 of Shannon-Weaver index. And the indexes of 13 numerical characters range from 1.698 to 2.074, which was higher than that of 13 description characters with 0.324 to 1.660 of Shannon-Weaver index, indicating that the numerical characters had richer diversity than description characters. Q cluster analysis showed that all the tested germplasm resources were divided into five groups at the Euclidean distance of 14.71, and there were differences of fruit characters among difference groups without regional trend. R cluster analysis showed that 26 characters closely related were significantly clustered into five groups at coefficient of 1.236. Twenty-six characters were mainly composed of 10 independent principal components with the cumulative contribution rate of 86.545%, which showed dispersion of contribution rate and multi-directional variation of local pear fruit characters. Positively increasing the first principal component factor will be favorable for improving the fruit interior quality, while positively increasing the second and fourth principal component factor will be favorable for improving the fruit exterior quality, and negatively increasing the third principal component factor will be beneficial to increase fruit size.

Keywords: pear; germplasm resource; fruit; character; diversity; numerical classification

中国是梨的原生地 and 东方梨的起源中心, 广泛分布着具有丰富遗传多样性的种质资源, 中国国家果树种质资源圃中现已保存梨种质资源达 2 000 余份 (曹玉芬, 2014)。福建省地处东南沿海, 地形地貌复杂, 山地居多, 气候多样, 自然资源水平和垂直分布差异大, 蕴藏着丰富的特异性梨种质资源 (黄新忠和林燕金, 2014), 而且不乏优良的地方品种, 如 ‘政和大雪’、‘半男女’、‘屏南冬梨’ 等 (蒲富慎和王宇霖, 1963)。自 2009 年以来, 福建省农业科学院果树研究所已调查收集和保存福建地方梨种质资源 100 余份 (曾少敏 等, 2016)。关于地方梨种质资源已有一些研究, 主要为利用各种分子标记分析地方梨种质的遗传多样性。范太伟等 (2007)、桂腾琴等 (2017) 分别利用 SSR 和 ISSR 分子标记技术对甘肃省中部地区和贵州省的地方梨资源遗传变异和亲缘关系进行分析, 确定供试地方资源与白梨、木梨、西洋梨、秋子梨或砂梨间的亲缘关系; 常耀军等 (2014)、岳晓燕等 (2015)、张靖国等 (2016) 和齐丹等 (2018) 基于不同叶绿体 DNA 片段分别对辽宁省、福建省、湖北省和南方梨属种质资源的亲缘关系、系统进化及遗传多样性进行了分析, 其中岳晓燕等 (2015) 研究证实福建地方品种具有较为丰富的遗传多样性。但在地方梨种质资源的研究中, 基于果实表型性状的鉴定和评价是进行种质创新利用和地方特色梨育种的重要前提。目前通过多样性分析和数量分类方法, 对果实表型性状进行研究, 已在龙眼、枇杷、杧果、柚、苹果、猕猴桃、橄榄等多种果树中有报道 (黄爱萍 等, 2010; 陈秀萍 等, 2011; 石胜友 等, 2011; 李先信 等, 2013; 公丽艳 等, 2014; 秦红艳 等, 2015; 吴如健 等, 2015), 而针对地方梨种质果实表型性状多样性和分类的具体分析研究较少。张冰冰等 (2009) 对 143 份中国寒地梨种质资源枝、叶、花、果实和抗性的 21 个性状进行了多样性指数、变异系数和聚类分析。张起和安华明 (2014) 利用方差分析、相关性分析、

主成分分析及亲缘关系聚类分析, 对贵州地方梨种质果实品质性状的多样性进行研究, 确定贵州地方梨种质具丰富的遗传多样性, 且果实 12 个品质性状变异存在多向性, 并将 34 份种质分为 4 组, 筛选出‘海子梨-3’和‘葫芦梨’2 个果实品质独特的特异种质。本研究中对已开花结果的 50 份福建地方梨种质资源的果实性状进行多年观察记录的基础上, 通过多样性和数量分类分析, 归纳总结地方资源特色和多样性, 以期为进一步开展地方特色梨种质资源创新、利用和新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与果实性状调查

供试资源为福建省农业科学院果树研究所梨种质资源圃（位于福建省建宁县）中保存的 50 份地方梨种质资源, 来源和种质名称见表 1。

表 1 供试的 50 份梨种质资源及来源
Table 1 Fifty pear germplasm resources and origin

| 来源地 Source | 编号 No. | 种质名称 Name of material | 来源地 Source | 编号 No. | 种质名称 Name of material |
|---------------|-----------|--------------------------|---------------|-----------|--------------------------|
| 三明市 Sanming | 1 | 建宁棕包 Jianning Zongbao | 宁德市 Ningde | 26 | 早熟梨 Zaoshuli |
| | 2 | 铁头 Tietou | | 27 | 龙潭梨 Longtanli |
| | 3 | 宁化 12 号 Ninghua 12 | | 28 | 黄皮梨 Huangpili |
| | 4 | 宁化 14 号 Ninghua 14 | | 29 | 贵溪梨 Guixili |
| | 5 | 白葫芦 Baihulu | | 30 | 半男女 Bannannti |
| | 6 | 大麻梨 Damali | | 31 | 冬梨 1 号 Dongli 1 |
| | 7 | 仁寿亭梨 Renshoutingli | 龙岩市 Longyan | 32 | 古田葫芦 Gutian Hulu |
| | 8 | 温郊青皮 Wenjiao Qingpi | | 33 | 冬麻梨 Dongmali |
| | 9 | 高地梨 Gaodili | | 34 | 江山雪梨 Jiangshan Xueli |
| | 10 | 山东梨 Shandongli | | 35 | 武平黄花 Wuping Huanghua |
| | 11 | 长溪梨 Changxili | | 36 | 霜降梨 Shuangjiangli |
| | 12 | 尤溪雪梨 Youxi Xueli | 漳州市 Zhangzhou | 37 | 黄腊梨 Huanglali |
| | 13 | 狗咬梨 Gouyaoli | | 38 | 八月白 Bayuebai |
| | 14 | 桃源丰水 Taoyuan Fengshui | | 39 | 长泰棕包 Changtai Zongbao |
| | 15 | 柴头 Chaitou | | 40 | 漳浦赤皮 Zhangpu Chipi |
| 南平市 Nanping | 16 | 政和大雪 Zhenghe Daxue | | 41 | 通瓜梨 Tongguali |
| | 17 | 上坪木梨 Shangping Muli | 莆田市 Putian | 42 | 惠州梨 Huizhouli |
| | 18 | 长佈雪梨 Changbu Xueli | | 43 | 黄消 Huangxiao |
| | 19 | 长佈葫芦 Changbu Hulu | | 44 | 平和雪梨 Pinghe Xueli |
| | 20 | 长佈青皮 Changbu Qingpi | | 45 | 南靖赤皮 Nanjing Chipi |
| | 21 | 秤花梨 Chenghuali | | 46 | 岭口葫芦 Lingkou Hulu |
| | 22 | 南地葫芦 Nandi Hulu | | 47 | 六月消 Liuyuexiao |
| | 23 | 玉山青皮 Yushan Qingpi | | 48 | 土梨 Tuli |
| | 24 | 天水梨 Tianshuili | | 49 | 大洋木梨 Dayang Muli |
| | 25 | 八月雪 Bayuexue | | 50 | 兔梨 Tuli |

试验于 2014—2017 年进行, 参照《梨种质资源描述规范和数据标准》（曹玉芬 等, 2006）, 在各材料果实生理成熟期, 每个材料采集 10~20 个成熟果实带回室内保鲜贮藏, 室内进行 26 个果实性状指标的观察和测定。其中 13 个描述性状采用目测观察法, 并根据表型赋值（表 2）。13 个数量性状中, 果实单果质量、纵径、横径、果梗长度、粗度以及果肉硬度和可溶性固形物含量分别用电

子天平、游标卡尺、GY-3 型果实硬度计和 PAL-1 型手持式糖度计测定；可溶性糖含量采用 3,5 - 二硝基水杨酸法测定(参考 NY/T 2742-2015),可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定(参考 ISO 750-1998),维生素 C 含量采用 2,6 - 二氯酚靛酚法测定(参考 GB 6195-1986); 计算果形指数、固酸比和糖酸比。

表 2 梨 13 个描述性状及赋值

Table 2 Thirteen description characters and their assignment

| 性状 Character | 各类型赋值 Assignment of each type | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 形状 Fruit shape (FS) | 扁圆形 Oblate | 圆形 Globose | 卵圆形 Ovate | 倒卵形 Obovate | 圆柱形 Cylindrical | 纺锤形 Spindle-shaped | 葫芦形 Pear-shaped |
| 颜色 Fruit peel color (FPC) | 褐色 Russet | 黄褐 Light russet | 绿色 Green | 黄绿 Yellow green | 绿黄 Green yellow | 黄色 Yellow | |
| 果点 Dot obviousness (DO) | 明显 Conspicuous | 中等 Medium | 不明显 Obscure | | | | |
| 果锈 Amount of russeting (AR) | 多 Many | 中 Medium | 少 Few | 无或极少 Absent or extremely few | | | |
| 光滑度 Degree of fruit skin smoothness (DSS) | 粗糙 Rough | 中等 Medium | 平滑 Smooth | | | | |
| 果肉质地 Flesh texture (FT) | 极粗 Extremely coarse | 粗 Coarse | 中 Medium | 细 Fine | 极细 Extremely fine | | |
| 果肉类型 Flesh texture type (FTT) | 紧密 Dense | 脆 Crisp | 疏松 Crisp to soft | 沙面 Sandy | | | |
| 汁液 Juiciness of flesh (JF) | 少 Dry | 中 Medium | 多 Juicy | | | | |
| 风味 Flavor of flesh (FF) | 酸 Sour | 微酸 Slightly sour | 酸甜 Sour-sweet | 淡甜 Light sweet | 甜 Sweet | | |
| 涩味 Astringency (AS) | 有 Present | 无 Absent | | | | | |
| 石细胞数量 Amount of stone cells (ASC) | 多 Heavy | 中 Medium | 少 Light | 无或极少 Absent or scarce | | | |
| 果心大小 Fruit core size (FCS) | 大 Large | 中 Medium | 小 Small | | | | |
| 成熟期 Date of maturity (MD) | 8 月下旬 Last 10 days of August | 9 月上旬 First 10 days of September | 9 月中旬 Second 10 days of September | 9 月下旬 Last 10 days of September | 10 月上旬 First 10 days of October | 10 月中旬 Second 10 days of October | |

1.2 数据分析

采用 Excel 和 SPSS24.0 进行数据的整理、多样性指数计算及差异显著性分析。描述性状以各类型相应赋值计算；数量性状划分为 10 级，1 级为 $< \bar{x} - 2\sigma$ ，10 级 $\geq \bar{x} + 2\sigma$ ，中间每级相差 0.5σ ， σ 为标准差。果实性状多样性以 Shannon-Weaver (H') 指数估算，即 $H' = -\sum P_i \ln(P_i)$ ， P_i 指该性状第 i 个类型种质份数所占总份数的百分比(潘存祥 等, 2015)。

采用 Origin Pro 2017 软件进行聚类分析和主成分分析。其中，Q 型聚类分析的种质间距离为欧式距离 (Euclidean distance)，聚类方法为离差平方和法 (Ward's method)；R 型聚类分析的性状间距离为相关系数 (Coefficient)，聚类方法同上；按 Q 型和 R 型聚类分析结果分别绘制相应的树状图，根据聚类结合线 (全部聚类过程描绘成的一条阶梯式折线) 确定等级分界取值，并在树状图中标注等级分界线 (刘春迎和王莲英, 1995)。主成分分析以特征值达到 1.0 以上确定主成分的个数，并计算各种质主成分得分；以各种质的主成分得分和各性状的主成分载荷，绘制主成分分析双标图。

2 结果与分析

2.1 果实性状多样性评价

2.1.1 描述性状

如图 1 所示, 50 份地方梨种质果实的 13 个描述性状共检测出 55 个变异类型, 平均变异类型为 4.2 个。其中, 果实形状变异类型最多, 为 7 个; 其次为果皮颜色和成熟期, 均为 6 个; 各性状的变异类型频率分布不同。各性状的 Shannon-Weaver 指数差异也较大, 范围在 0.324~1.660 之间, 均值达到 1.107, 最大为果皮颜色, 最小为果点明显程度, 表明供试梨种质的果实描述性状变异类型丰富。

果实外观性状: 果实形状的 7 个类型中, 以圆形最多, 其次为扁圆形, 圆柱形和纺锤形种质各 1 份, 分别是‘武平黄花’和‘长佈青皮’; 果皮颜色多为黄绿色、绿色和绿黄色, 分别占比为 24.0%、22.0%和 20.0%; 果点明显程度大多表现明显, 即果点大而凸出、较密, 占 92.0%, 仅 3 份种质表现不明显(果点较小或无, 密度小, 不突出), 分别为‘长佈雪梨’、‘秤花梨’和‘古田葫芦’; 果锈数量多(即果锈面积超过果实面积的 1/4)的种质占到 52.0%, 其次为无或极少(果锈面积小于果实面积的 1/16), 占 17.0%。果面光滑度分别表现为粗糙占 54.0%、中等占 26.0%、光滑占 20.0%。

内在感官性状: 果肉质度中等和粗类型较多, 占供试种质的 78.0%, 发现 1 份肉质极细种质, 为‘上坪木梨’; 果肉脆和紧密类型居多, 分别占 50.0%和 40.0%, 其余为果肉疏松、沙面类型, 各 4 份和 1 份; 果肉汁液量主要为中和多类型, 均占 48%; 风味酸甜较多, 占 50.0%, 其次为淡甜, 占 24.0%, 发现风味甜类型 4 份, 分别为‘桃源丰水’、‘秤花梨’、‘早熟梨’和‘古田葫芦’; 果肉无涩味种质占 70%; 石细胞数量无或极少种质仅 2 份, 分别为‘白葫芦’和‘半男女’, 中和多类型共占到 58.0%; 54.0%的供试种质果心小, 果心中等和大分别占 22.0%和 24.0%。

成熟期: 果实成熟期从 8 月下旬至 10 月中旬, 整体偏向于中晚熟, 主要集中在 9 月上、中和下旬 3 个时期, 分别占总种质份数的 18.0%、32.0%和 30.0%, 共占 80%; 而‘八月白’和‘大麻梨’在 10 月中旬成熟, 为极晚熟种质。

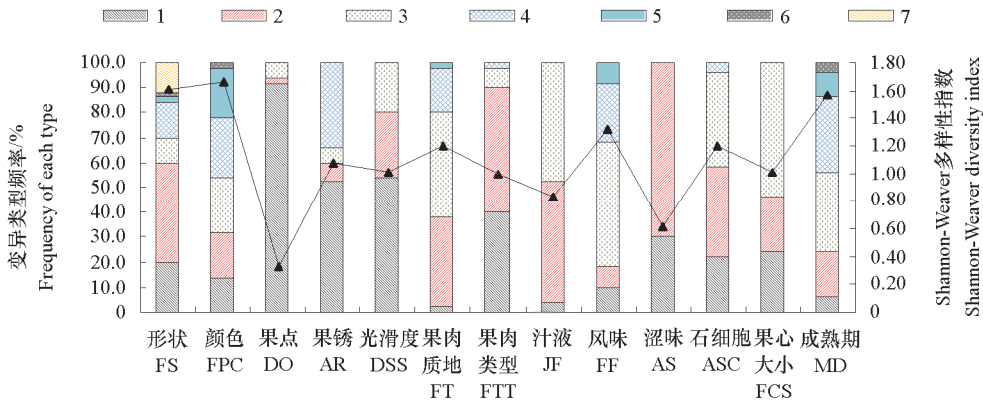


图 1 梨 50 份地方种质资源果实描述性状变异类型频率分布及多样性指数

图例所示数值与表 2 中各性状各类型赋值一一对应。

Fig. 1 Distribution and diversity index of fruit description characters in 50 pear germplasms

Numbers of legends corresponded to the description characters' different types of Table 2.

2.1.2 数量性状

50 份地方种质果实的 13 个数量性状变异系数范围为 9.83% ~ 67.60% (表 3), Shannon-Weaver 多样性指数达到 1.698 ~ 2.074, 表明供试种质果实数量性状多样性丰富。

果实大小: 单果质量、纵径、横径和果形指数均值分别为 441.16 g、8.86 cm、9.56 cm 和 0.93, 其中单果质量变异系数最大为 30.70%, 多样性指数均超过 1.80。单果质量最大为‘六月消’ 874.25 g, 最小为‘白葫芦’ 223.30 g, 其中 300 g 以上种质份数占 88.00%, 500 g 以上种质占 20%; 纵径最长为‘南地葫芦’ 12.67 cm, 最短为‘漳浦赤皮’ 6.95 cm; 横径最长为‘六月消’ 11.81 cm, 最短为‘白葫芦’ 7.21 cm; 果形指数最大为‘白葫芦’和‘铁头’ 1.19, 最小为‘长泰棕包’和‘惠州梨’ 0.78。

果梗性状: 果梗长度和粗度均值分别为 2.91 cm 和 4.05 mm, 变异系数 36.22%和 21.09%, 多样性指数达 1.901 和 1.843。最长为‘秤花梨’ 5.31 cm, 最短为‘长泰棕包’和‘惠州梨’ 1.05 cm; 最粗为‘冬梨 1 号’和‘古田葫芦’ 5.60 mm, 最细为‘南地葫芦’和‘长佈葫芦’ 2.77 mm。

果肉性状: 果肉硬度、可溶性固形物、可溶性糖和可滴定酸含量均值分别为 4.96 kg · cm⁻²、11.81%、7.07%和 0.24%, 变异系数最大为果肉可滴定酸含量 (48.26%), 而可溶性糖含量多样性指数最大, 达到 2.074。果肉硬度最大为‘八月白’ 7.38 kg · cm⁻², 最小为‘龙潭梨’ 2.64 kg · cm⁻²; 可溶性固形物含量最高为‘古田葫芦’ 14.90%, 最低为‘长溪梨’ 9.10%; 可溶性糖含量最高为‘南地葫芦’ 8.79%, 最低为‘长溪梨’ 5.11%; 可滴定酸含量最高为‘大麻梨’ 0.614%, 最低为‘白葫芦’ 0.107%。果肉固酸比和糖酸比的平均值分别达到 58.87 和 35.24, 变异系数分别达到 41.14%和 42.22%; 其中固酸比最大为‘龙潭梨’ 114.74, 最小为‘大麻梨’ 17.139; 糖酸比最大为‘白葫芦’ 70.28, 最小为‘兔梨’ 11.98; 果肉维生素 C 含量的平均值为 0.0170 mg · g⁻¹, 最高为‘山东梨’ 0.0426 mg · g⁻¹, 最低为‘黄腊梨’ 0.0025 mg · g⁻¹。

表 3 梨 50 份地方种质资源果实 13 个数量性状多样性分析
Table 3 Analysis of diversity for 13 numerical characters in 50 pear germplasms

| 性状 Character | 平均值 Mean | 最小值 Min | 最大值 Max | 标准差 SD | 变异系数/% CV | Shannon-Weaver 多样性指数 Shannon-Weaver diversity index |
|--|-------------|------------|------------|-----------|--------------|--|
| 单果质量/g Weight per fruit (WF) | 441.16 | 223.30 | 874.25 | 135.44 | 30.70 | 1.856 |
| 纵径/cm Fruit length (FL) | 8.86 | 6.95 | 12.67 | 1.24 | 13.98 | 1.825 |
| 横径/cm Fruit diameter (FD) | 9.56 | 7.21 | 11.81 | 0.94 | 9.83 | 2.005 |
| 果形指数 Fruit shape index (FSI) | 0.93 | 0.78 | 1.19 | 0.10 | 10.96 | 1.933 |
| 果梗长度/cm Stalk length (SL) | 2.91 | 1.05 | 5.31 | 1.05 | 36.22 | 1.901 |
| 果梗粗度/mm Stalk thickness (ST) | 4.05 | 2.77 | 5.60 | 0.85 | 21.09 | 1.843 |
| 果肉硬度/(kg · cm ⁻²) Flesh firmness (FFI) | 4.96 | 2.64 | 7.38 | 1.12 | 22.61 | 2.015 |
| 可溶性固形物含量/% Total soluble solids (TSS) | 11.81 | 9.10 | 14.90 | 1.18 | 10.03 | 2.044 |
| 可溶性糖含量/% Soluble sugar (SS) | 7.07 | 5.11 | 8.79 | 0.80 | 11.35 | 2.074 |
| 可滴定酸含量/% Titratable acidity (TA) | 0.24 | 0.107 | 0.614 | 0.12 | 48.26 | 1.698 |
| 固酸比 Ratio of TSS and TA (RTT) | 58.87 | 17.14 | 114.74 | 24.22 | 41.14 | 2.055 |
| 糖酸比 Ratio of SS and TA (RST) | 35.24 | 11.98 | 70.28 | 14.88 | 42.22 | 1.996 |
| 维生素 C 含量/(mg · g ⁻¹) Vitamin C (VC) | 0.0170 | 0.0025 | 0.0426 | 0.0115 | 67.60 | 1.932 |

2.2 基于果实性状的聚类分析

2.2.1 Q 型聚类分析

Q 型聚类树状图 (图 2) 显示, 等级分界线 L3 = 14.71 将全部供试资源分为 5 个组, 各组包含

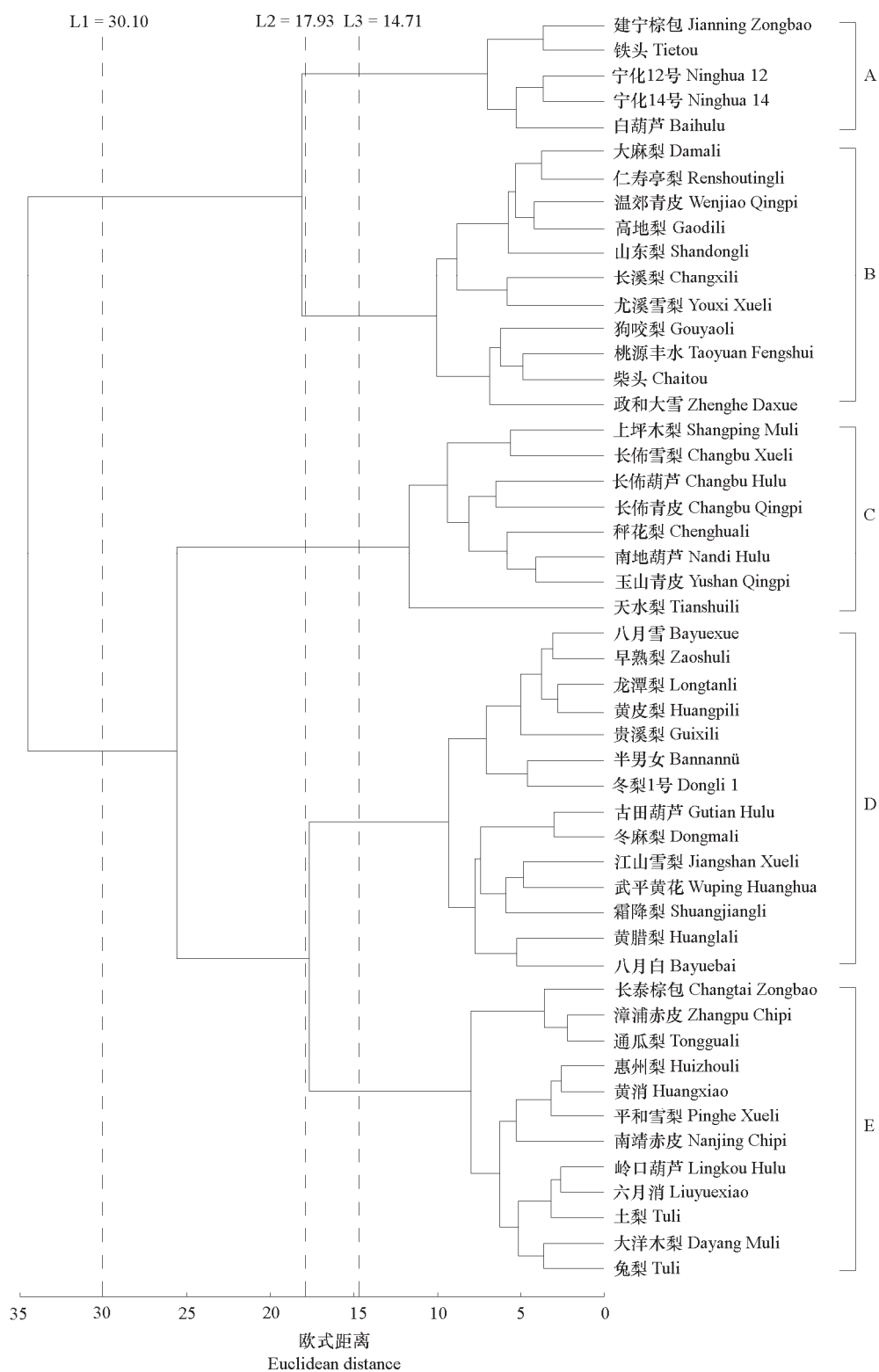


图 2 Q 型聚类树状图
Fig. 2 The dendrogram of Q cluster analysis

种质资源份数分别为 5、11、8、14 和 12 份，并未按地理位置远近聚类；组 A 与组 B 间的亲缘关系较近，组 D 和组 E 亲缘关系较近，而组 D 和 E 又与组 C 的亲缘关系较近。

组 A：果实大，平均单果质量 589.23 g，果形指数 0.931 ~ 1.115，多倒卵、卵圆或葫芦形，果柄细而长；果皮黄绿或绿黄色，果点明显，均有果锈，果面较粗糙；果肉质地中或粗，类型疏松、脆或紧密，汁液多，平均硬度较小，可滴定酸含量较高，固酸比、糖酸比小，风味多样而偏酸甜，均有涩味，果心小，维生素 C 含量低；成熟期集中在 9 月。

组 B：果实中等，平均单果质量 435.28 g，果形指数 0.791 ~ 1.014，多圆或卵圆形，果柄长度、粗度中等；果皮黄褐或褐色，多数果点明显、无果锈，果面光滑度多中等；果肉质地多数较粗，类型多紧密，可滴定酸和可溶性糖含量均较高，固酸比和糖酸比小，风味多样而偏酸，多有涩味，石细胞数量偏中或多，果心小或中等，维生素 C 含量偏低；成熟期在 9 月中旬至 10 月中旬。

组 C 特征表现为：果实较大，平均单果质量 470.26 g，果形指数达 0.902 ~ 1.191，多呈圆形或葫芦形，果柄长度、粗度中等；果皮黄绿、绿黄或黄褐、褐色，多无果锈，果点多明显，果面平滑或中等；果肉质地细或中等，类型多脆，汁液多或中等，可滴定酸含量最低，固酸比和糖酸比均最大，风味多酸甜，均无涩味，石细胞数量多偏少，果心小，维生素 C 含量较高；成熟期在 8 月下旬至 9 月中旬。

组 D 特征表现为：果实较小，平均单果质量 387.81 g，果形指数 0.776 ~ 0.913，多圆形或扁圆形，果柄短粗；果皮多绿或绿黄色，果锈偏多，果点多为明显，果面多表现粗糙；果肉质地多中或粗，类型脆或紧密，汁液中等，可溶性糖含量最低，可滴定酸含量中等，固酸比和糖酸比较小，风味酸甜或淡甜，多无涩味，石细胞数量中或少，果心多为偏大，维生素 C 含量中等；成熟期均在 9 月。

组 E 特征表现为：果实中等，平均单果质量 427.70 g，果形指数达 0.799 ~ 0.913，多圆形或扁圆形，果柄短粗；果皮颜色绿、黄绿或绿黄色，果锈偏多，果点明显，果面粗糙；果肉质地中或细，脆肉类型多，汁液多，可滴定酸含量偏低，固酸比和糖酸比中等，风味酸甜或淡甜，均无涩味，石细胞数量多数偏少，果心小或中等，维生素 C 含量最高；成熟期在 9 月中旬至 10 月上旬。

上述分析结果及各组数量性状（表 4）比较发现，地方种质果实性状在各组间有一定差异，各组内有一定的特征，如组 A 平均单果质量显著大于组 B、D 和 E，其果梗长度显著大于其他组，而

表 4 梨种质 5 个组果实数量性状差异比较

Table 4 Differences of quantitative characters of 5 divisions in pear germplasms

| 组 Group | 单果质量/g WF | 纵径/cm FL | 横径/cm FD | 果形指数 FSI | 果梗长/cm SL | 果梗粗/mm ST | 果肉硬度/ (kg · cm ⁻²) FFI |
|------------|------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| A | 589.23 a | 11.04 a | 10.55 a | 1.047 a | 4.63 a | 2.92 c | 3.84 b |
| B | 435.28 b | 8.60 c | 9.41 b | 0.915 b | 2.93 bc | 3.73 b | 6.08 a |
| C | 470.26 ab | 9.79 b | 9.42 b | 1.047 a | 3.40 b | 3.72 b | 3.92 b |
| D | 387.81 b | 8.22 c | 9.25 b | 0.891 bc | 2.46 c | 4.66 a | 5.63 a |
| E | 427.70 b | 8.33 c | 9.75 ab | 0.854 c | 2.35 c | 4.32 ab | 4.31 b |
| 组 Group | 可溶性固形 物/% TSS | 可溶性糖/% SS | 可滴定酸/% TA | 固酸比 RTT | 糖酸比 RST | 维生素 C/ (mg · g ⁻¹) VC | |
| A | 12.73 a | 7.19 ab | 0.345 a | 37.00 d | 20.89 d | 0.0095 c | |
| B | 11.66 a | 7.51 a | 0.363 a | 37.46 d | 23.98 d | 0.0112 c | |
| C | 11.85 a | 7.30 ab | 0.150 b | 88.82 a | 54.83 a | 0.0211 ab | |
| D | 11.78 a | 6.69 b | 0.226 b | 56.81 c | 32.53 c | 0.0127 bc | |
| E | 11.59 a | 6.90 ab | 0.171 b | 70.05 b | 41.62 b | 0.0277 a | |

注：同一列的不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）（费舍尔的 LSD 多重比较）。

Note: The different letters of the same column indicate the significance of the differences ($P < 0.05$) (ANOVA Fisher's LSD test).

果梗粗度显著小于其他组; 组 A 和 B 的可滴定酸含量均值显著大于其余组, 而维生素 C 含量均值显著低于组 C 和 E; 组 A 果实均表现果心小、汁液多, 果肉却均有涩味, 而组 E 虽然果肉均无涩味, 但果面均表现粗糙。

2.2.2 R 型聚类分析

R 型聚类树状图 (图 3) 显示, 等级分界线 $L3 = 1.236$ 将各性状分为 5 大组。A 组性状包括单果质量、横径和纵径, 集中反映果实大小; B 组性状包括果形指数、形状、果梗长度、粗度和果心大小, 反映果实形状、果梗特点和可食程度; C 组性状包括果点明显程度、果锈数量、果面光滑度、可溶性固形物和可溶性糖含量, 集中反映果面外观特点和甜度; D 组性状包括果皮颜色、果肉质地、石细胞数量、果肉类型、果肉硬度、风味、汁液和成熟期, 反映颜色、食用品质和成熟期; E 组则包括涩味、可滴定酸含量、固酸比、糖酸比和维生素 C 含量, 反映食用口感。多数性状间表现两两相关, 部分性状间逻辑相关性明显, 如固酸比与糖酸比 ($r = 0.952$)、单果质量与横径 ($r = 0.895$)、果形指数与形状 ($r = 0.791$)、果锈数量与果面光滑度 ($r = 0.603$)、果肉类型与硬度 ($r = 0.614$) 等, 说明这些性状间存在必然联系。聚类结果表明果实性状选择基本正确, 可为性状观测和取舍提供依据。

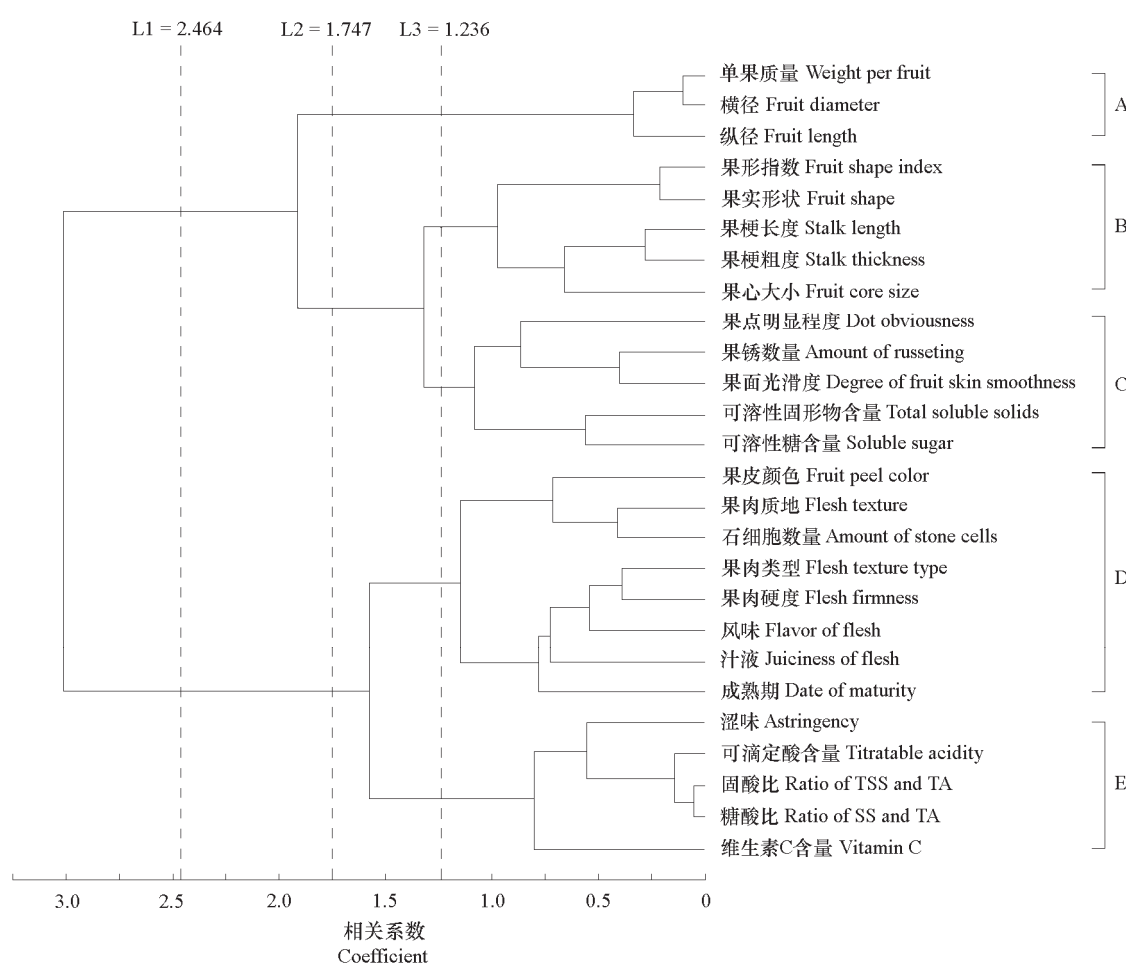


图 3 R 型聚类树状图

Fig. 3 The dendrogram of R cluster analysis

2.3 基于果实性状的主成分分析

主成分分析结果（表 5）表明，前 8 个主成分特征值均大于 1.0，累积贡献率达 80.06%，而前 10 个主成分的累积贡献率才达到 86.55%，表明各性状的贡献率较为分散，累积贡献率增长不明显，也说明性状变异丰富。

表 5 主成分的特征值、贡献率和累积贡献率

Table 5 The eigenvalue, contribution rate and accumulative contribution rate of the principal component

| 主成分 Principal component | 特征值 Eigenvalue | 贡献率/% Contribution rate | 累积贡献率/% Accumulative contribution rate |
|----------------------------|-------------------|----------------------------|---|
| PC1 | 5.570 | 21.43 | 21.43 |
| PC2 | 4.926 | 18.94 | 40.37 |
| PC3 | 2.683 | 10.32 | 50.69 |
| PC4 | 1.936 | 7.45 | 58.14 |
| PC5 | 1.568 | 6.03 | 64.17 |
| PC6 | 1.471 | 5.66 | 69.82 |
| PC7 | 1.450 | 5.58 | 75.40 |
| PC8 | 1.210 | 4.66 | 80.06 |
| PC9 | 0.891 | 3.43 | 83.48 |
| PC10 | 0.796 | 3.06 | 86.55 |

图 4 所示，第 1 主成分（PC1）贡献率 21.43%，特征向量绝对值大的是固酸比（RTT）、糖酸比（RST）、可滴定酸含量（TA）、涩味（AS）、风味（FF）以及果肉质地（FT）、类型（FTT）和硬度（FFI），其特征向量绝对值均在 0.63 以上，主要反映果实鲜食口感、风味等内在品质；PC1 较高的正值表示梨果实的固酸比、糖酸比、果肉质地、涩味、果肉类型和风味数值或赋值较高，代表种质有‘白葫芦’（5）、‘秤花梨’（21）、‘早熟梨’（26）、‘龙潭梨’（27）、‘仁寿亭梨’（7）等，属于 Q 型聚类中 C 和 E 组；PC1 较低的负值表示可滴定酸含量和果肉硬度数值较高，代表种质有‘大麻梨’（6）、八月白（38）、‘兔梨’（50）、‘武平黄花’（35）、‘宁化 12 号’（3）、‘霜

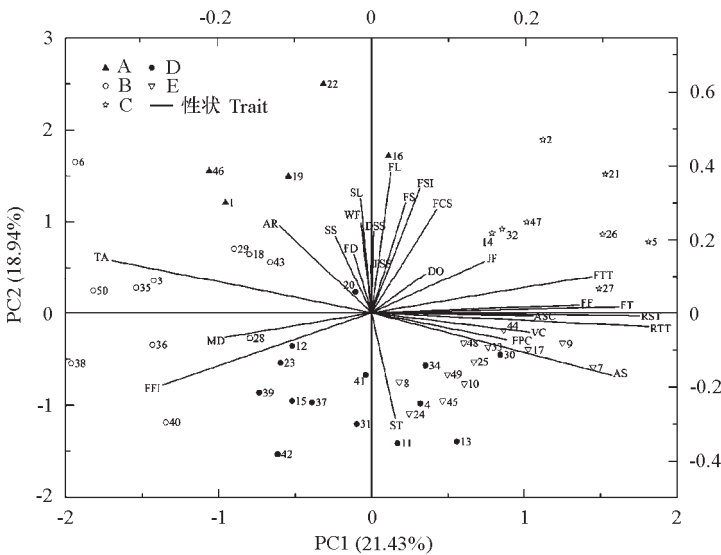


图 4 基于地方种质第 1、2 主成分得分与果实性状载荷的双标图

图内种质编号与表 1 对应，下同。

Fig. 4 Biplot of factor scores and loadings based on 1st and 2nd principal components
Numbers of germplasm corresponded to those of Table 1. The same below.

降梨’ (36) 和 ‘漳浦赤皮’ (40) 等, 属于 Q 型聚类中 B 组。第 2 主成分 (PC2) 贡献率 18.94%, 特征向量绝对值大的是果实纵径 (FL)、果形指数 (FSI)、形状 (FS)、果心大小 (FCS) 以及果梗长度 (SL) 和粗度 (ST), 其特征向量绝对值均在 0.62 以上, 主要反映果实形状、可食率和果梗性状; PC2 较高的正值表示纵径、果形指数、果梗长度、形状和果心大小、果锈数量和果面光滑度数值或赋值较大, 这一类的代表种质有 ‘南地葫芦’ (22)、‘铁头’ (2)、‘政和大雪’ (16)、‘大麻梨’ (6)、‘岭口葫芦’ (46)、‘长佈葫芦’ (19)、‘秤花梨’ (21) 和 ‘建宁棕包’ (1) 等, 属于 Q 型聚类中 A、B 和 C 组; PC2 较低的负值则表示果梗粗度数值较大, 代表种质为 ‘惠州梨’ (42)、‘长溪梨’ (11)、‘狗咬梨’ (13)、‘冬梨 1 号’ (31)、‘漳浦赤皮’ (40) 等, 属于 Q 型聚类中 D 组。

图 5 所示, 第 3 主成分 (PC3) 贡献率 10.32%, 特征向量绝对值大的是果实横径 (FD)、单果质量 (WF) 和汁液 (JF), 其特征向量绝对值均在 0.54 以上, 较低的负值主要反映果实大小和汁液多少性状的数值或赋值较大, 其主要代表种质有 ‘六月消’ (47)、‘南地葫芦’ (22)、‘霜降梨’ (36)、‘政和大雪’ (16)、‘大麻梨’ (6)、‘南靖赤皮’ (45)、‘八月雪’ (25) 和 ‘高地梨’ (9)。第 4 主成分 (PC4) 贡献率 7.45%, 特征向量绝对值大的是果皮颜色 (FPC) 和可溶性固形物含量 (TSS), 其较高的正值反映两个性状的数值或赋值较大, 代表种质有 ‘古田葫芦’ (32)、‘长佈青皮’ (20)、‘玉山青皮’ (23) 和 ‘政和大雪’ (16)。

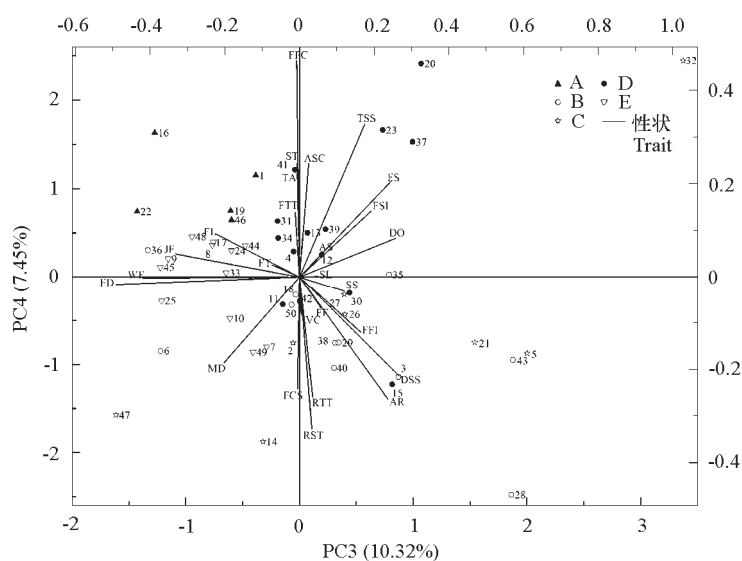


图 5 基于地方种质第 3、4 主成分得分与果实性状载荷的双标图
Fig. 5 Biplot of factor scores and loadings based on 3rd and 4th principal components

3 讨论

梨果实性状的鉴定与评价, 是梨种质资源研究的首要工作, 也是新品种选育和创新利用的基础。本研究中发现收集的 50 份福建地方梨资源间果实性状存在较大差异, 且多样性丰富。其中, 果实描述性状存在多样性, 但个别描述性状的主要类型亦有一定倾向性; 13 个描述性状平均变异类型为 4.2 个, 果实形状、果皮颜色和成熟期性状变异类型高达 6 个或以上; 各描述性状各类型的分布频率差异较大, 有 7 种描述类型较多 ($\geq 50\%$), 分别为果点明显 (92%)、果锈数量多 (52%)、果面粗糙

(54%)、果肉脆(50%)、风味酸甜(50%)、涩味无(70%)和果心小(54%)，而果实圆柱形和纺锤形、果皮黄色、果点中等以及果肉沙面、极细和极粗等7种描述类型稀少，各为0.04%，上述特点有利于发掘个别性状特异的种质资源；80%的供试种质在9月成熟，中晚熟种质居多，有利于晚熟育种材料的筛选和挖掘。这些种质13个果实数量性状变异系数为9.83%~67.60%，其中果实横径变异系数最小，维生素C含量变异系数最大，其次为可滴定酸含量(48.26%)、糖酸比(42.22%)和固酸比(41.14%)。变异系数反映某性状数据的离散程度，其大小与性状的变异范围呈正相关，值越大表明性状变异程度越大，品种间性状的差异也越大(王力荣等，2005)，表明供试的50份地方种质果实间维生素C含量差异最大，其次为可滴定酸含量、糖酸比和固酸比；与张起和安华明(2014)认为“根据变异系数，利用糖酸比和维生素C含量更能反映34种贵州地方梨资源的差异”的结论相近。根据李树玲等(1994)对4个种167个梨品种果实维生素C含量(每100g鲜果所含维生素C的mg数)的5级划分(即极低<1.00，低1.00~3.00，中3.01~6.00，高6.01~10.00，极高>10.00)，本研究中所测定的50份地方种质果实维生素C含量在0.250~4.263间，平均值为1.70，仅处于维生素C含量的中等水平，福建是否仍存有维生素C含量处于高或极高水平的地方梨种质有待进一步收集和发掘。数量性状中果实可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸的含量等是反映果实风味的重要指标，对比李树玲等(1995)对秋子梨、白梨、砂梨、西洋梨和新疆梨5个种内281个品种的果实可溶性糖和可滴定酸含量的测定和分级，本研究中所测50份梨地方种质果实可溶性糖和可滴定酸含量平均值分别为7.07%和0.24%，分别处于中等和低含量水平，但供试资源果实可溶性固形物含量平均值达11.81%，发现‘古田葫芦’、‘黄消’和‘长佈青皮’可溶性固形物含量达到14.0%以上，可作为优异种质加以利用。同时，果实数量性状分析发现，供试种质中平均单果质量500g以上的种质占总份数的20.00%，参考《农作物优异种质资源评价规范 梨》(NY/T 2032-2011)，可将这些种质作为大果型优异种质加以利用。多样性分析和评价中，Shannon-Weaver多样性指数亦反映种质资源间的多样性，其大小受性状分组数目和组内个体分布均匀程度影响，值越高表明性状的多样性越丰富(潘存祥等，2015)；本研究描述性状的Shannon-Weaver多样性指数为0.324~1.660，最大为果皮颜色，最小为果点明显程度，而数量性状Shannon-Weaver指数达到1.698~2.074，表现出较描述性状更为丰富的多样性，这些都为筛选地方种质作为育种材料和种质创新提供了可能性。

本研究通过Q型聚类分析将50份福建省地方梨种质划分为5个组，各组间果实性状特征存在差异，但并未发现按地域聚类的趋势，这与郭传翔(2012)报道安徽省地方梨资源间有按地域聚类的趋势不同，可能与福建多山地，地方资源经自然和人工选择后的交流、传播不便等因素有关；另一方面，岳晓燕等(2015)利用母系遗传的叶绿体基因序列和双亲遗传的核基因标记进行49份福建地方梨资源遗传分析，发现福建不同地区具有不同的叶绿体DNA单倍型组成，而NJ聚类将供试地方资源分为9组，不同组中包含来自福建不同地区的梨地方品种，其中大多数相邻地区的地方品种聚在同一支，说明单一从果实性状的角度难以完全反映地方资源间的遗传关系，应综合考虑地方梨资源的枝、叶、花和果等相关表型性状，并结合分子生物学方法进一步做综合聚类分析。但本研究仍然发现A和C组单果质量和果形指数均显著大于其他组；A组果梗显著表现细长，而D和E组果梗显著短粗；B和D组果肉硬度显著大于其他组；A和B组的可滴定酸含量显著高于其他组，而固酸比和糖酸比及维生素C含量显著低于其他组。可见，5大组内具有一定特征，在各性状上表现一定倾向性，Q聚类结果对性状特异的种质筛选具有一定指导作用。R型聚类分析结果反映各性状间的相关性，性状之间越早聚为一类，则表明相关性越强，可为性状观测和取舍提供量化依据(刘

春迎和王莲英, 1995); 本研究中发现结合线 $L = 1.551$ 处将 26 个性状分为 5 组, 多数性状表现两两相关, 部分性状相关程度较大; 其中, 固酸比与糖酸比、单果质量与横径、果形指数与形状各自较早的成对聚合在一起, 表明它们之间相关性极强, 在今后性状观测中选择其一即可。

本研究中发现, 26 个果实性状的主成分到第 10 个主成分累积贡献率才达到 85% 以上, 各性状贡献率较为分散, 累积贡献率增长并不明显, 表明性状变异具有多向性, 供试种质的分类受多个性状共同影响, 与聚类分析结果基本一致。Zarei 等 (2019) 以来源于伊朗不同地区分属 4 个梨系统的 48 份梨种质资源为材料, 基于梨种质树体和果实的 32 个性状进行主成分分析, 发现果实大小、果肉质地及叶片大小存在于第一主成分 (贡献率达 41.82%) 中, 这些性状有利于区分不同种质, 是伊朗梨种质遗传中起重要作用的性状; 而本研究中第一主成分代表性性状为果实风味、质地相关性状, 亦反映这些性状在福建地方梨种质评价和遗传研究方面的重要性。根据各地方种质主成分得分和性状载荷发现, 若要选择果实风味甜或酸甜、肉质细嫩、口感松脆、且无涩味的种质, 可在第 1 主成分正方向中选择, 如 ‘白葫芦’、‘秤花梨’、‘早熟梨’、‘龙潭梨’、‘仁寿亭梨’ 等种质; 如选择果实外观光滑、果心小的种质, 可在第 2 主成分正方向选择, 如 ‘铁头’、‘秤花梨’、‘六月消’ 等种质; 若要选择果实大、汁液多的种质, 可在第 3 主成分负方向中选择, 如 ‘六月消’、‘南地葫芦’、‘霜降梨’、‘政和大雪’、‘大麻梨’、‘南靖赤皮’ 等种质; 选择果皮黄色或绿色的种质, 可在第 4 主成分正方向选择, 如 ‘古田葫芦’、‘长佈青皮’、‘玉山青皮’ 和 ‘政和大雪’ 等种质。在福建地方梨种质利用和改良过程中, 第 1 主成分的正向增长有利于提高果实内在品质, 而第 2、4 主成分的正向增长有利于提高果实外观品质, 第 3 主成分负向增长则利于增大果实大小。

本研究从果实性状角度进行分析, 同样证实福建地方梨种质资源具有较为丰富的遗传多样性, 与岳晓燕等 (2015) 的结果一致; 同时利用数量分类学方法, 明确福建地方梨资源基于果实性状的聚类分组特点, 以及主成分不同方向增长在种质利用和改良中的作用, 为进一步完善福建地方梨资源特异种质筛选和优良品种选育提供了理论依据。

References

- Cao Yu-fen. 2014. Pear varieties in China. Beijing: China Agriculture Press: 3 - 7. (in Chinese)
- 曹玉芬. 2014. 中国梨品种. 北京: 中国农业出版社: 3 - 7.
- Cao Yu-fen, Liu Feng-zhi, Hu Hong-ju, Zhang Bing-bing. 2006. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.). Beijing: China Agriculture Press: 22 - 34. (in Chinese)
- 曹玉芬, 刘凤之, 胡红菊, 张冰冰. 2006. 梨种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社: 22 - 34.
- Chang Yao-jun, Cao Yu-fen, Zhang Jin-mei, Tian Lu-ming, Dong Xing-guang, Zhang Ying, Qi Dan, Zheng Ying-chun. 2014. Studies on genetic diversity of pear germplasm resources in Liaoning Province of China based on chloroplast DNA analysis. *Acta Horticulturae Sinica*, 41 (7): 1307 - 1316. (in Chinese)
- 常耀军, 曹玉芬, 张金梅, 田路明, 董星光, 张莹, 齐丹, 郑迎春. 2014. 基于叶绿体 DNA 分析的辽宁省梨属种质遗传多样性研究. *园艺学报*, 41 (7): 1307 - 1316.
- Chen Xiu-ping, Huang Ai-ping, Jiang Ji-mou, Zheng Shao-quan, Deng Chao-jun, Wei Xiu-qing, Hu Wen-shun, Jiang Fan. 2011. Numerical classification of the loquat germplasm. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (4): 644 - 656. (in Chinese)
- 陈秀萍, 黄爱萍, 蒋际谋, 郑少泉, 邓朝军, 魏秀清, 胡文舜, 姜帆. 2011. 枇杷种质资源数量分类研究. *园艺学报*, 38 (4): 644 - 656.
- Fan Tai-wei, Cai Dan-ying, Li Hong-xu, Wang Fa-lin, Zhao Chang-zeng, Teng Yuan-wen. 2007. Simple sequence repeat (SSR) analysis for assessment of genetic variation and relationships in pear germplasm native to the middle area of Gansu Province. *Journal of Fruit Science*, 24 (3): 268 - 275. (in Chinese)

- 范太伟, 蔡丹英, 李红旭, 王发林, 赵长增, 滕元文. 2007. 甘肃中部梨资源遗传变异和亲缘关系的 SSR 分析. *果树学报*, 24 (3): 268 – 275.
- Gong Li-yan, Meng Xian-jun, Liu Nai-qiao, Bi Jin-feng. 2014. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30 (13): 276 – 285. (in Chinese)
- 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 毕金峰. 2014. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价. *农业工程学报*, 30 (13): 276 – 285.
- Gui Teng-qin, Guo Ji-hua, Wang Ying-juan, Liang Xian, Zhang Wan-qin. 2017. Genetic diversity of pear (*Pyrus* L.) cultivar resources in Guizhou province analyzed by ISSR markers. *Journal of Fruit Science*, 34 (9): 1076 – 1083. (in Chinese)
- 桂腾琴, 郭计华, 王颖娟, 梁 娟, 张万芹. 2017. 贵州地方梨品种资源遗传多样性 ISSR 分析. *果树学报*, 34 (9): 1076 – 1083.
- Guo Chuan-xiang. 2012. The collection and evaluation of pear germplasm resources in Anhui province and SSR analysis on the phylogenetic relationship [M. D. Dissertation]. Hefei: Anhui Agricultural University. (in Chinese)
- 郭传翔. 2012. 安徽省地方梨种质资源收集、评价及亲缘关系的 SSR 分析 [硕士论文]. 合肥: 安徽农业大学.
- Huang Ai-ping, Chen Xiu-ping, Hu Wen-shun, Jiang Fan, Zheng Shan, Zhang Xi-juan, Wei Xiu-qing, Deng Chao-jun, Zheng Shao-quan. 2010. Fruit character diversity analysis and numerical classification of longan (*Dimocarpus*) germplasm resources. *Journal of Fruit Science*, 27 (6): 938 – 945. (in Chinese)
- 黄爱萍, 陈秀萍, 胡文舜, 姜 帆, 郑 姗, 章希娟, 魏秀清, 邓朝军, 郑少泉. 2010. 龙眼种质资源果实性状多样性分析及其数量分类研究. *果树学报*, 27 (6): 938 – 945.
- Huang Xin-zhong, Lin Yan-jin. 2014. A survey report on scientific and technological development of pear industry in Fujian Province. *Southeast Horticulture*, (4): 21 – 24. (in Chinese)
- 黄新忠, 林燕金. 2014. 福建梨产业科技发展调研报告. *东南园艺*, (4): 21 – 24.
- Li Shu-ling, Huang Li-sen, Cong Pei-hua, Yang Ru-lin, Gong Xin. 1994. Sugar and acid content of fruit in different varieties of *Pyrus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 21 (1): 17 – 20. (in Chinese)
- 李树玲, 黄礼森, 丛佩华, 杨儒琳, 龚 欣. 1994. 不同种内梨品种果实维生素 C 含量. *园艺学报*, 21 (1): 17 – 20.
- Li Shu-ling, Huang Li-sen, Cong Pei-hua, Yang Ru-lin, Gong Xin. 1995. Sugar and acid content of fruit in different varieties of *Pyrus*. *China Fruits*, (3): 9 – 12. (in Chinese)
- 李树玲, 黄礼森, 丛佩华, 杨儒琳, 龚 欣. 1995. 不同种内梨品种果实糖、酸含量分析比较. *中国果树*, (3): 9 – 12.
- Li Xian-xin, Yang Ying-hua, Zou Xue-xiao, Deng Zi-niu. 2013. Numerical taxonomy and principal component analysis of pummelo germplasm in Hunan Province. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 25 (6): 1243 – 1249. (in Chinese)
- 李先信, 杨迎花, 邹学校, 邓子牛. 2013. 湖南柚类种质的数量分类与主成分分析. *浙江农业学报*, 25 (6): 1243 – 1249.
- Liu Chun-ying, Wang Lian-ying. 1995. A numerical classification of the cultivars of Chinese herbaceous peony. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 13 (2): 116 – 126. (in Chinese)
- 刘春迎, 王莲英. 1995. 芍药品种的数量分类研究. *武汉植物学研究*, 13 (2): 116 – 126.
- NY/T 2032-2011. Evaluating standards for elite and rare germplasm resources – pear (*Pyrus* L.). Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- NY/T 2032-2011. 农作物优异种质资源评价规范 · 梨. 北京: 中国农业出版社.
- Pan Cun-xiang, Xu Yong, Ji Hai-bo, Li Yu-ming, Chen Nian-lai. 2015. Phenotypic diversity and clustering analysis of watermelon germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 16 (1): 59 – 63. (in Chinese)
- 潘存祥, 许 勇, 纪海波, 李玉明, 陈年来. 2015. 西瓜种质资源表型多样性及聚类分析. *植物遗传资源学报*, 16 (1): 59 – 63.
- Pu Fu-shen, Wang Yu-lin. 1963. *China fruit flora · Pear*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press: 37 – 38. (in Chinese)
- 蒲富慎, 王宇霖. 1963. *中国果树志 · 梨*. 上海: 上海科学技术出版社: 37 – 38.
- Qi Dan, Chang Yaojun, Cao Yufen, Hu Hongju, Tian Luming, Dong Xingguang, Zhang Ying, Huo Hongliang, Xu Jiayu, Zhang Xiaoshuang, Liu Chao. 2018. Genetic diversity and phylogenetics of pear (*Pyrus* L.) germplasm resources from south China revealed by chloroplast DNA. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45 (12): 2308 – 2320. (in Chinese)
- 齐 丹, 常耀军, 曹玉芬, 胡红菊, 田路明, 董星光, 张 莹, 霍宏亮, 徐家玉, 张小双, 刘 超. 2018. 基于叶绿体 DNA 信息的南方梨属种质的遗传多样性和演化分析. *园艺学报*, 45 (12): 2308 – 2320.

- Qin Hong-yan, Xu Pei-lei, Ai Jun, Liu Ying-xue, Fan Shu-tian, Yang Yi-ming, Wang Zhen-xing, Zhang Bao-xiang, Zhao Ying. 2015. Diversity of fruit quality and phenotypic traits of *Actinidia arguta* Planch germplasm resources and their principal component analysis. Chinese Agricultural Science Bulletin, 31 (1): 160 - 165. (in Chinese)
- 秦红艳, 许培磊, 艾 军, 刘迎雪, 范书田, 杨义明, 王振兴, 张宝香, 赵 滢. 2015. 软枣猕猴桃种质资源果实品质、表型性状多样性及主成分分析. 中国农学通报, 31 (1): 160 - 165.
- Shi Sheng-you, Wu Hong-xia, Wang Song-biao, Yao Quan-sheng, Liu Li-qin, Wang Yi-cheng, Ma Wei-hong, Zhan Ru-lin. 2011. Fruit quality diversity of mango (*Mangifera indica* L.) germplasm. Acta Horticulturae Sinica, 38 (5): 840 - 848. (in Chinese)
- 石胜友, 武红霞, 王松标, 姚全胜, 刘丽琴, 王一承, 马蔚红, 詹儒林. 2011. 杧果种质果实品质性状多样性分析. 园艺学报, 38 (5): 840 - 848.
- Wang Li-rong, Zhu Geng-rui, Fang Wei-chao. 2005. The evaluating criteria of some botanical quantitative characters of peach genetic resources. Scientia Agricultura Sinica, 38 (4): 770 - 776. (in Chinese)
- 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 2005. 桃种质资源若干植物学数量性状描述指标探讨. 中国农业科学, 38 (4): 770 - 776.
- Wu Ru-jian, Wan Ji-feng, Wei Xiao-xia, Chen Jin, Hu Han-qing, Pan Shao-lin. 2015. Fruit character diversity analysis and numerical classification of Chinese olive germplasm resources. Journal of Fruit Science, 32 (5): 797 - 805. (in Chinese)
- 吴如健, 万继锋, 韦晓霞, 陈 瑾, 胡茜青, 潘少霖. 2015. 橄榄种质资源果实表型性状多样性分析及其数量分类研究. 果树学报, 32 (5): 797 - 805.
- Yue Xiao-yan, Huang Xin-zhong, Zong Yu, Teng Yuan-wen. 2015. Genetic diversity of cultivated pears from Fujian province revealed by cpDNA haplotypes and nuclear microsatellites. Acta Horticulturae Sinica, 42 (1): 119 - 130. (in Chinese)
- 岳晓燕, 黄新忠, 宗 宇, 滕元文. 2015. 福建省梨地方品种的遗传多样性研究. 园艺学报, 42 (1): 119 - 130.
- Zarei A, Erfani-Moghadam J, Jalilian H. 2019. Assessment of variability within and among four *Pyrus* species using multivariate analysis. Flora, 250 (1): 27 - 36.
- Zeng Shao-min, Zhang Chang-he, Chen Xiao-ming, Huang Xin-zhong. 2016. Floral diversity and characteristics of pear plants in Fujian. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 31(4): 356 - 359. (in Chinese)
- 曾少敏, 张长和, 陈小明, 黄新忠. 2016. 福建省地方梨资源花朵特征多样性分析. 福建农业学报, 31 (4): 356 - 359.
- Zhang Bing-bing, Song Hong-wei, Liu Hui-tao, Liang Ying-hai, Li Yue-bo. 2009. Study on the diversity of phenotypic characteristics of pear germplasm resources in the cold region. Journal of Fruit Science, 26 (3): 287 - 293. (in Chinese)
- 张冰冰, 宋洪伟, 刘慧涛, 梁英海, 李粤渤. 2009. 寒地梨种质资源表型多样性研究. 果树学报, 26 (3): 287 - 293.
- Zhang Jing-guo, Cao Yu-fen, Chen Qi-liang, Yang Xiao-ping, Fan Jing, Tian Rui, Hu Hong-ju. 2016. Genetic diversity and phylogenetics of pear (*Pyrus* L.) germplasm resources from Hubei Province. Journal of Plant Genetic Resources, 17 (4): 766 - 772. (in Chinese)
- 张靖国, 曹玉芬, 陈启亮, 杨晓平, 范 净, 田 瑞, 胡红菊. 2016. 基于叶绿体 DNA 变异的湖北梨属种质系统进化及遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 17 (4): 766 - 772.
- Zhang Qi, An Hua-ming. 2014. Diversity of fruit quality of local pear germplasm resources in Guizhou. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 22 (6): 601 - 609. (in Chinese)
- 张 起, 安华明. 2014. 贵州地方梨种质果实品质性状多样性分析. 热带亚热带植物学报, 22 (6): 601 - 609.