

山东地方梨种质资源果实性状综合评价

焦慧君,董冉,董肖昌,冉昆,王宏伟,关秋竹,魏树伟*

(山东省果树研究所,山东泰安 271000)

摘要:【目的】全面评价107份种质资源的果实特征,为培育优良新品种奠定基础。【方法】于果实成熟期对果实品质进行测定、分析;采用Q型和R型聚类分析法对107份梨种质及其果实性状进行分类。【结果】84.11%种质资源属于中、大果型,果形指数约为1;48%的梨种质果实果皮呈现黄绿色、果肉白色、风味酸甜、汁液多和微香等特点;共检测出339种挥发性香气物质,不同种质香气种类及含量差别较大,其中酯类物质是香气主要成分;Q型和R型聚类分析显示,组内聚类种质具有一定的相似特征,且多具有相关性;主成分分析显示各性状贡献率较为分散,性状变异丰富。【结论】鉴定出文登实生种、栖霞大香水、鸭广梨等可溶性固形物含量高、香气浓郁的种质资源,可作为培育优良新品种的宝贵亲本材料。

关键词:梨;山东省;种质资源;果实性状;香气

中图分类号:S661.2

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2024)02-0201-15

Comprehensive evaluation on fruit traits of local pear germplasm resources in Shandong

JIAO Huijun, DONG Ran, DONG Xiaochang, RAN Kun, WANG Hongwei, GUAN Qiuzhu, WEI Shuwei*

(Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, Shandong, China)

Abstract: 【Objective】 Pear is one of the important fruit crops in Shandong province, not only being rich in variety resources but also having a long history of cultivation. In the long process of production, the people have continuously created and domesticated a large number of excellent local cultivation varieties of pears, which have rich genetic diversity and are valuable materials for cultivating new excellent varieties. However, in recent years, the loss of local variety resources has been serious, and it is urgent to collect, preserve and research. Therefore, the fruit characteristics of 107 pear germplasm resources in Shandong province were screened and evaluated, which laid the foundation for breeding new varieties. 【Methods】 107 local pear germplasm resources in the Core Demonstration Garden of Shandong Pomology Research Institute were used as test materials to investigate and analyze the fruit quality traits, including sensory evaluation, appearance quality and internal quality. The pears were harvested based on their maturation stage, and then those parameters including single fruit weight, longitudinal diameter, transverse diameter, sugar and acid contents, and so on were measured. The GC-MS method was used to determine aroma contents and composition. We also analyzed the distribution frequency and coefficient of variation of fruit characteristics. The fruit traits of 107 germplasm resources were classified by Q-type and R-type cluster analysis, and fruit traits were analyzed by the principal component analysis. 【Results】 (1) Among 107 pear varieties, 84.11% of fruit types belonged to medium and large sizes. Most of the fruits were oval and round, and the fruit-shape index was about 1. The longitudi-

收稿日期:2023-11-03

接受日期:2023-12-26

基金项目:山东省农业科学院创新工程项目(CXGC2023F21、CXGC2023A13);山东省果树研究所青年基金(GSS2022QN11);国家梨产业技术体系(CARS-28-37);山东省自然科学基金(ZR2020MC141、ZR2021MC177、ZR2023MC061);农业农村部园艺作物种质资源利用重点实验室开放基金(NYZS202206)

作者简介:焦慧君,女,助理研究员,在读博士研究生,研究方向为果实品质调控。E-mail:jiaohj_njau@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:weisw2007@163.com

nal and transverse diameters of most fruits distributed between 60–90 mm and 65–85 mm, respectively. (2) Most fruits exhibited such characteristics as yellow green skin, white flesh, sourness and sweetness, abundant juice, and a slight aroma. (3) 34.58% fruit hardness were moderate and ranged from $3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ to $6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$. The distribution range of titratable acid and solid/acid ratio were 0.06%–1.27% and 9.04–188.57, respectively. (4) A total of 339 kinds of aroma substances were detected by GC-MS, and there were great differences in the types and contents of aroma substances among different varieties. The content of esters was significantly higher than that of other aroma substances. The aroma of the fruit was mainly slightly fragrant, followed by fragrant and not fragrant. (5) The variation coefficients of titratable acid, aroma content, aroma type, solid/acid ratio, single fruit weight, longitudinal diameter, transverse diameter, hardness, soluble solids content and fruit-shape indexes were 101.80%, 71.05%, 28.86%, 52.53%, 48.74%, 21.04%, 18.15%, 33.33%, 20.97% and 11.00%, respectively. (6) The correlation analysis of fruit quality by the multivariate correlation analysis found that single fruit weight and transverse diameter and longitudinal diameter, correlation coefficients greater than 0.8, were highly correlated, and significantly and negatively correlated with fruit hardness. The ratio of TSS to TA showed a significant positive correlation with the single fruit weight, longitudinal and transverse diameter and fruit shape index, and a significant negative correlation with the titratable acid content. Hardness showed a significant negative correlation between single fruit weight and longitudinal and transverse diameter. There was a very significant positive correlation between the soluble solid content and the titratable acid content. The aroma types and the aroma contents were significantly and positively correlated. (7) Q-type and R-type cluster analysis showed that the group clustering germplasm had certain characteristics and most of them showed pairwise correlation. (8) Principal component analysis showed that the contribution rate of each trait was scattered and the trait variation was rich. Positively increasing the first principal component factor would help improve the appearance quality of the fruit. The second principal component of positive growth was beneficial to improve the quality of fruit aroma, and the third principal components of positive growth contributed to improve the nutritional quality of the fruit. 【Conclusion】 The local germplasm resources of pear in Shandong province were rich and diverse, 84.11% of them belonged to medium or large fruit type, the fruit was mostly oval or round, and the fruit shape index was about 1. The distribution of fruit characteristics, such as single fruit weight, longitudinal diameter, transverse diameter, fruit type index, fruit hardness and soluble solid content, were consistent with normal distribution. A total of 339 kinds of aroma substances were detected by GC-MS, and the types and contents of aroma substances were different among the varieties. The content of ester was the main component of aroma substances. The coefficient of variation of fruit traits was very different. Q-type and R-type cluster analysis showed that the germplasm of group clusters had certain common characteristics, and most of the traits were correlated with each other. The germplasm resources with high contents of soluble solids and aroma, including Wendeng Shishengzhong, Qixi Daxiangshui, Yaguang pear, Laiyang Qiubai pear, Gaomi En pear, Changyi Xiansuizi and Damahou pear, were identified as valuable parental materials for breeding new excellent varieties.

Key words: Pear; Shandong province; Germplasm resources; Fruit traits; Aroma

梨属于蔷薇科(Rosaceae)苹果亚科(Malinae)梨属(*Pyrus* L.)果树,是重要的经济水果之一^[1]。山东省位于中国东部沿海地区,地形复杂,土壤类型多样,气候四季分明,山东梨的栽培品种以白梨和砂梨

为主,其次是西洋梨,种质资源丰富。在长期的栽培驯化过程中逐渐形成了具有地方特色的传统梨品种,如莱阳慈梨、栖霞大香水、阳信鸭梨等^[2]。但是,传统地方品种在外来优新品种的竞争下,栽培面积

大幅减少,降低了市场竞争力,亟须培育优新品种来提高梨果的市场竞争力,提高梨果的经济收益。笔者在本研究中以前期搜集与保存的资源为基础,调查评价山东地方梨种质资源的果实品质及性状,对挖掘特异性状资源、加速梨育种进程具有重要意义。梨种质资源是评价资源丰富度和选育梨新品种的重要物质基础,因此对梨种质资源的评价和保存工作尤为重要。原产中国的梨属植物共有13个种:川梨、杜梨、秋子梨、豆梨、白梨、砂梨、滇梨、木梨、杏叶梨、新疆梨、褐梨、麻梨和河北梨^[2]。中国栽培梨系统可以划分为5个种群,包括白梨、砂梨、秋子梨、西洋梨和新疆梨^[3]。李树玲等^[4]对包含白梨、砂梨、秋子梨和西洋梨种群的167个品种的维生素C含量进行检测,发现秋子梨和西洋梨种群的梨维生素C含量较高。曾少敏等^[5]对福建省60余份地方种质资源的花朵多样性进行分析,发现其开花时间存在较大差异。孙太安等^[6]对湖南省怀化市的地方种质资源进行调查,对早、中、晚熟的种质资源进行分类,为筛选早熟品种奠定基础。朱杨帆等^[7]对南京地区294份梨种质资源的植物学特征进行评价分析,明确不同品种的性状差异,为长江流域适栽品种的确定提供参考。张莹等^[8]对兴城梨资源圃中保存的548份梨资源的叶片和枝条等性状进行数据采集、整理分析,发现梨枝条种群间变异程度高于种群内。另外,张莹等^[9]对国家种质兴城梨圃保存的570份梨资源的果实性状进行系统分析,明确单果质量、果实横径、果实纵径等9个果实数量性状的分级评价指标和参照品种。曹玉芬^[10]通过评价国家种质资源圃中的梨种质资源,筛选出红茄梨、佛见喜等红皮梨的种质资源。滕美贞^[11]、辜青青等^[12]、陈义挺等^[13]分别对江苏、江西、福建地区的梨种质资源进行调查,筛选出中梨1号、婺源酥梨、黄消梨等一批特色梨种质资源。白牡丹等^[14]对山西省的梨种质资源进行了研究,发现野生种质资源和一些地方品种未得到充分利用。随着测序技术的发展,逐步完善了种质资源的评价方法。Li等^[15]、Zurn等^[16]开发了SNP芯片和SSR指纹图谱等技术,完善了种质资源的保存评价工作。山东省果树研究所收集并保存山东省地方梨种质资源百余份,但是关于地方种质资源的果实性状的综合评价尚不完善。因此笔者在本研究中以山东省果树研究所核心示范园资源圃中保存的107个地方梨种质资源为试验材料,对其果实品质

性状进行调查评价,以期全面明确山东省梨种质资源的特性,筛选出具有特异优良性状的梨种质资源,为后期培育梨新品种提供优异的亲本材料。全面明确山东省梨地方种质资源的特性,建立梨种质资源数据库,对提高对地方梨种质资源的利用效率、加速选育具有自主知识产权的优新品种具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

根据果皮颜色、果实硬度、种子变黑程度、可溶性固形物含量,综合前期记录,确定果实成熟期。于2020年9—10月果实成熟期分批次采摘梨果。随机采集树冠外围距离地面约2 m、大小中等、成熟度相近、无机械损伤和病虫害的梨果实30个。果实采摘后放入低温保温箱,带回实验室。首先进行鲜样指标的测定,然后采用四分法将新鲜的果实切成小块置于液氮中速冻,放入-40℃冰箱保存,以备后期测定梨果实的香气成分。共采集到107份梨种质材料(表1)。

1.2 试验方法

1.2.1 果实感官性状评价 参照《梨种质资源描述规范和数据标准》^[17],对山东省107份梨种质资源的果实品质性状进行调查及测定。主要包括果皮颜色、果实形状、果肉颜色、果点大小与分布、果肉质地、果肉类型、汁液含量、果实风味和果实香味等。

1.2.2 果实品质性状评价 每个品种选取15个梨果实,使用电子天平(Denver, SI-234)、游标卡尺、GY-4-J水果硬度计、PAL-1数显手持折射剂(G611610)、酸碱滴定法和顶空萃取法分别测定果实平均单果质量、果实纵横径、硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和果实香气含量。

1.2.3 果实香气含量测定 采用HS-SPME-GC-MS技术对果实香气物质进行萃取与解析。将PDMS/DVB黑色萃取头在温度250℃条件下处理30 min。称取5 g 0.2 cm×0.2 cm×0.2 cm大小的果肉碎块,放入50 mL三角瓶中,并向其中加入3 μL内标物2-辛醇(0.016 44 g·L⁻¹),用锡箔纸进行密封。将上述三角瓶放置于40℃的平板上加热,同时将预处理的萃取头插入到三角瓶中萃取30 min,吸附完成以后立即注射到气相色谱仪的上样口中,解析时间5 min。香气物质各组分含量的计算方法如下:各组分含量(w,后同)(μg·kg⁻¹)=各组分峰面积/(内标峰面积×

表 1 山东省的 107 份梨种质资源

Table 1 107 pear germplasm resources of Shandong province

| 编号 No. | 种质名称 Germplasm resources name |
|-----------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| 1 | 博山池梨 Boshanchili | 28 | 海阳桑皮梨 Haiyangsangpili | 55 | 龙口秋梨 Longkouqiuli | 82 | 滕州二愣子 Tengzhou 'erlengzi |
| 2 | 曹县桑皮梨 Caoxiansangpili | 29 | 海阳棠梨 Haiyangtangli | 56 | 龙口甜香水 Longkoutianxiangshui | 83 | 滕州花皮秋 Tengzhouhuapiqu |
| 3 | 昌邑荏梨 Changyichili | 30 | 海阳谢花甜荏 Haiyangxiehuatianchi | 57 | 龙口小香水 Longkouxiaoxiangshui | 84 | 滕州满山滚 Tengzhoumanshangun |
| 4 | 昌邑金秋梨 Changyijinqiuli | 31 | 河东过冬梨 Hedongguodongli | 58 | 宁阳冠梨 Ningyangguanli | 85 | 滕州酥梨 Tengzhousuli |
| 5 | 昌邑细皮梨 Changyixipili | 32 | 河东黄皮棣子 Hedonghuangpichazi | 59 | 平邑荏梨 Pingyichili | 86 | 天宝香 Tianbaoxiang |
| 6 | 昌邑线穗子梨 Changyixiansuizili | 33 | 河东青梨 Hedongqingli | 60 | 栖霞大兔头 Qixiadatutou | 87 | 文登冬梨 Wendengdongli |
| 7 | 昌邑谢花甜 Changyixiehuatian | 34 | 黄县秋梨 Huangxianqiuli | 61 | 栖霞大香水 Qixiadaxiangshui | 88 | 文登梁山梨 Wendengfushanli |
| 8 | 荏平梨 Chipingli | 35 | 黄县长把 Huangxianchangba | 62 | 栖霞冻梨 Qixiadongli | 89 | 文登秋杜梨 Wendengqiuduli |
| 9 | 大马猴梨 Damahouli | 36 | 莒县麻梨 Juxianmali | 63 | 栖霞黄香 Qixiahuangxiang | 90 | 文登实生种 Wendengshishengzhong |
| 10 | 费县棣子梨 Feixianchazili | 37 | 莒县香水梨 Juxianxiangshuili | 64 | 栖霞面梨 Qixiamianli | 91 | 文登姊妹梨 Wendengzimeili |
| 11 | 费县粗白甜 Feixiancubaitian | 38 | 巨野大把梨 Juyedabali | 65 | 栖霞四棱子梨 Qixiasilengzili | 92 | 五莲大马猴 Wuliandamahou |
| 12 | 费县红梨 Feixianhongli | 39 | 莱芜金坠子 Laiwujinzhuzi | 66 | 栖霞酸梨 Qixiasuanli | 93 | 五莲长把恩梨 Wulianchangba 'enli |
| 13 | 费县斤梨 Feixianjinli | 40 | 莱阳慈梨 Laiyangcili | 67 | 齐河棠梨 Qihetangli | 94 | 夏津面梨 Xiajinmianli |
| 14 | 费县金皮秋 Feixianjinpiqiu | 41 | 莱阳大香水 Laiyangdaxiangshui | 68 | 乳山大香水 Rushandaxiangshui | 95 | 夏津渣梨 Xiajinzhali |
| 15 | 费县绵梨 Feixianmianli | 42 | 莱阳恩梨 Laiyang 'enli | 69 | 乳山冬梨 Rushandongli | 96 | 夏晚 1 号 Xiawan No. 1 |
| 16 | 费县面梨子 Feixianmianlizi | 43 | 莱阳假把荏梨 Laiyangjiabachili | 70 | 乳山面梨 Rushanmianli | 97 | 夏晚 2 号 Xiawan No. 2 |
| 17 | 费县谢花甜 Feixianxiehuatian | 44 | 莱阳拉打秋 Laiyangladaqiu | 71 | 乳山平顶蜜 Rushanpingdingmi | 98 | 夏张金坠子 Xiazhangjinzhuzi |
| 18 | 费县雪花梨 Feixianxuehuali | 45 | 莱阳秋白梨 Laiyangqiubaili | 72 | 乳山桑皮梨 Rushansangpili | 99 | 夏张酥梨 Xiazhangsuli |
| 19 | 费县坠子梨 Feixianzhuzili | 46 | 莱阳四棱子 Laiyangsilengzi | 73 | 乳山砂梨 Rushanshali | 100 | 夏张糖把梨 Xiazhangtangbali |
| 20 | 费县子母梨 Feixianzimuli | 47 | 莱阳早花梨 Laiyangzaohuali | 74 | 乳山小香梨 Rushanxiaoxiangli | 101 | 谢花甜 Xiehuatian |
| 21 | 高密恩梨 Gaomi 'enli | 48 | 莱阳早熟荏梨 Laiyangzaoshuchili | 75 | 乳山小猪嘴 Rushanxiaozhuzui | 102 | 鸭广梨 Yaguangli |
| 22 | 冠县本地雪花 Guanxianbendixuehua | 49 | 崂山窝窝梨 Laoshanwowoli | 76 | 乳山洲梨 Rushanzhouli | 103 | 阳信小黄梨 Yangxinxiaohuangli |
| 23 | 冠县大梨水 Guanxiandalishui | 50 | 乐陵过冬面梨 Laolingguodongmianli | 77 | 商河麻黄梨 Shanghemahuangli | 104 | 枣庄马里金梨 Zaozhuangmalijinli |
| 24 | 冠县大鸭梨 Guanxiandayali | 51 | 乐陵砂梨 Laolingshali | 78 | 商河面梨 Shanghemianli | 105 | 邹城铁皮梨 Zouchengtiepili |
| 25 | 冠县酸梨 Guanxiansuanli | 52 | 历城木梨 Lichengmuli | 79 | 泗水面梨 Sishuimianli | 106 | 邹城锥子梨 Zouchengzhuizili |
| 26 | 冠县鸭梨 Guanxianyali | 53 | 临清酸棠梨 Linqingsuantangli | 80 | 滕州大白梨 Tengzhoudabaili | 107 | 邹城紫旭梨 Zouchengzixuli |
| 27 | 冠县长把面梨 Guanxianchangbamianli | 54 | 龙口红把甜梨 Longkoushongbatianli | 81 | 滕州鹅梨 Tengzhou 'eli | | |

$m \times C \times V \times 1000$, 其中 m 、 C 和 V 分别表示样品质量(g)、内标质量浓度($g \cdot L^{-1}$)和内标体积(μL)。

1.3 数据统计分析

使用 Excel 2007 和 SPSS26.0 软件对数据进行统计分析,分别计算各性状的平均值、标准差、极值、变异系数。采用 GraphPad Prism 6.01 绘制果实性状的统计结果。采用 Origin Pro 2017 软件对梨种质和性状进行聚类分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 果实感官性状评价

参照《梨种质资源描述规范和数据标准》^[17]对 107 份山东省梨种质资源的感官品质进行评价,具体归纳统计结果如下。

在果形方面,供调查的 107 份梨种质的果实形状多样,以卵圆形、圆形和倒卵圆形为主,分别占比 24%、19%、18%。短椭圆形、短圆柱形、广倒卵圆形、近纺锤形、圆柱形、长倒卵圆形等占比较少,均为 1%

左右。其他类型果实占比中等(图 1-A)。

在果皮颜色方面表现为以黄绿色为主,占比约 48%;其次为绿色,占比约 14%;褐色系(黄、红、棕)占比约 17%(图 1-B)。

在果肉颜色方面,果肉颜色以白色为主,占比为 52%;其次是淡黄色、乳白色、绿白色等(图 1-C)。

在果实风味方面,主要表现为酸甜,占比 37%;其次是甜、淡甜和微酸。浓甜种质较少,表现为浓甜的品种主要有莱阳慈梨和高密恩梨(图 1-D)。

在果点大小和分布方面,供试种质中 60% 以上的品种果点小,中大和大果点种质占比相近,均在 20% 左右(图 2-A)。果点分布密,占比 79%。果点分布较密的种质较少(图 2-B)。

在果肉质地和类型方面,供试的 107 份种质的果肉质地主要有细、较细、中粗和粗四种类型,大部分种质的果肉质地表现为中粗,占比为 42.05%(图 2-C)。59% 的种质果肉表现为松脆,其次是脆、紧密,沙面种质占比最少(图 2-D)。

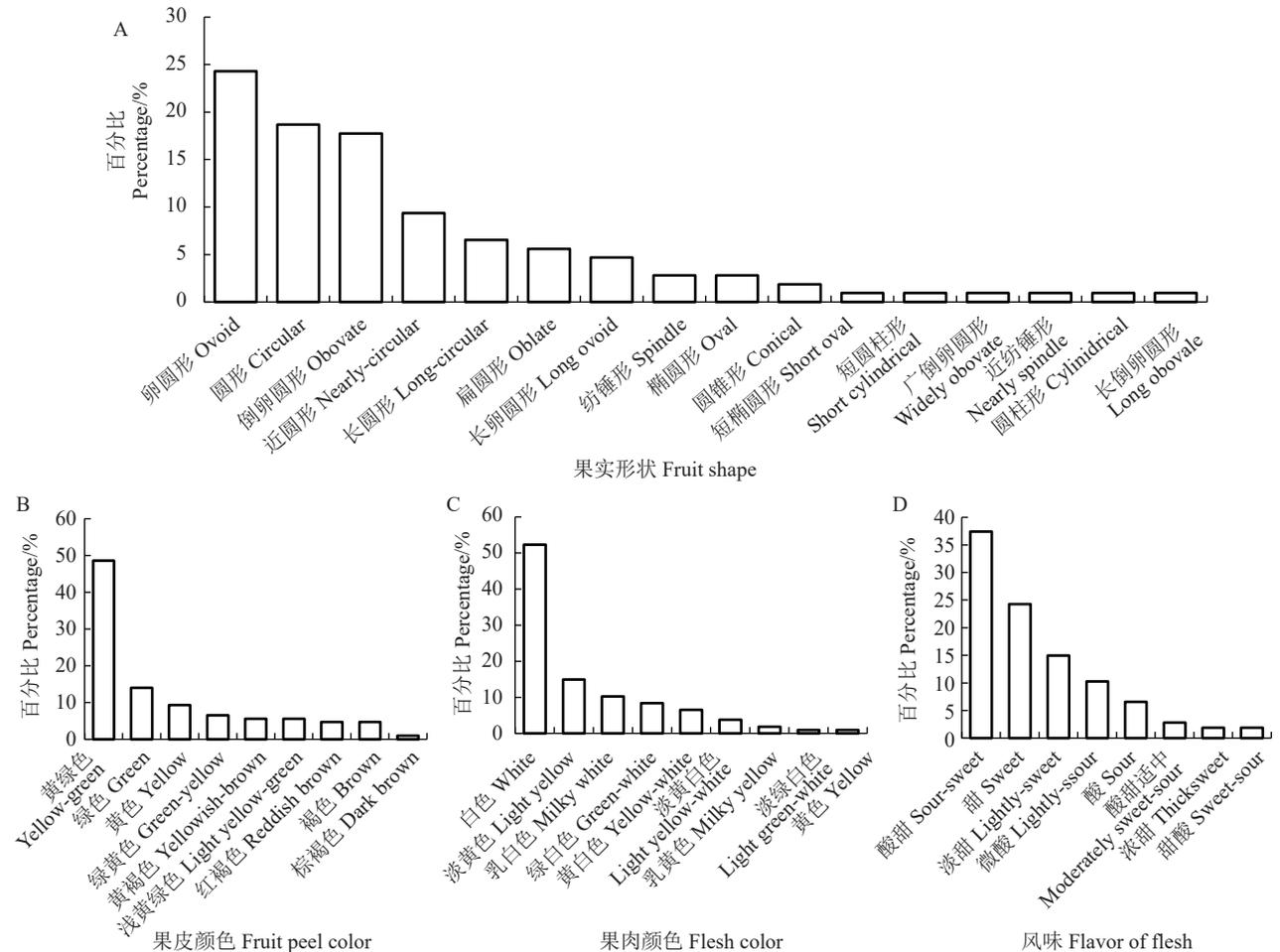


图 1 107 份梨种质果实品质评价
Fig. 1 Evaluation of fruit quality of 107 pear germplasm

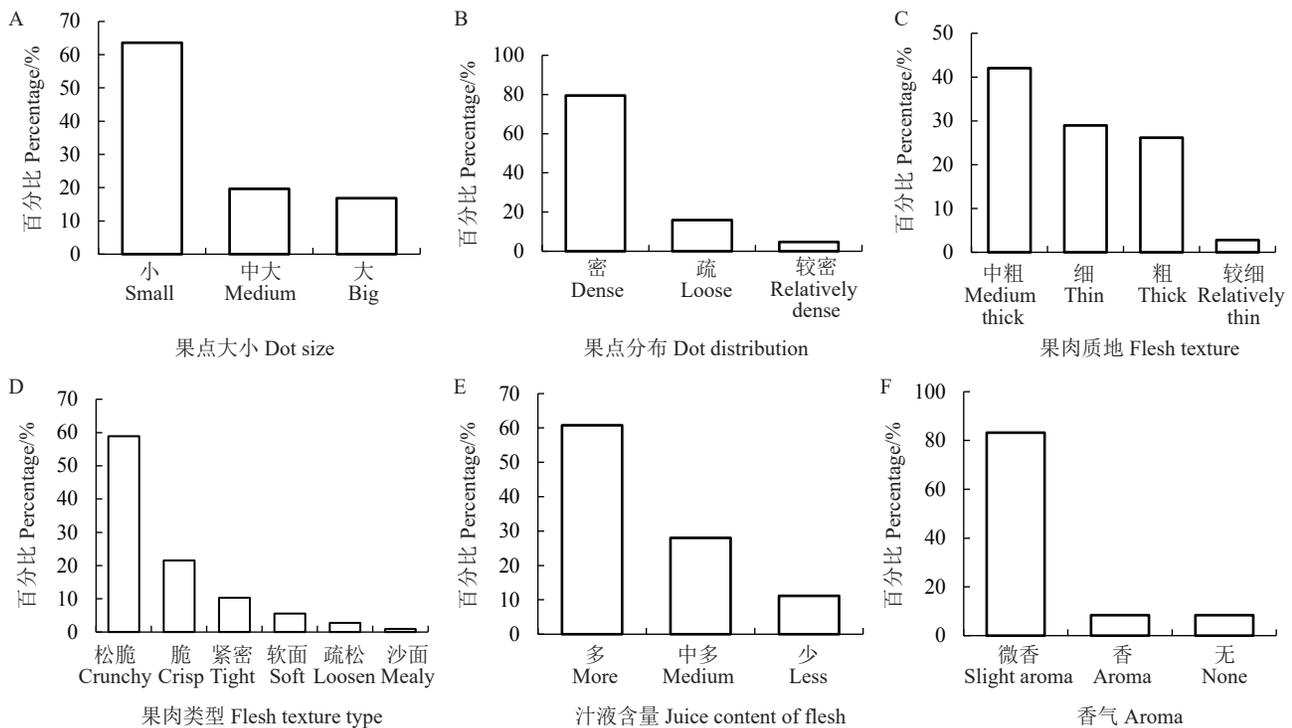


图 2 107 份梨种质果实感官品质评价

Fig. 2 Evaluation of fruit sensory quality of 107 pear germplasm

在果实汁液方面,61%的品种汁液含量多,28%的品种含量为中多,11%的品种汁液含量少(图2-E)。

在果实香气方面,83%的地方品种具有微香,其次是香和无香味品种(图2-F)。乐陵砂梨、平邑茌梨、栖霞大兔头、栖霞大香水、乳山小香梨、商河面梨、文登实生种、夏津渣梨、鸭广梨等都是具有香味的梨种质资源。

2.2 果实外观品质和营养品质性状评价

在 107 份梨种质中,果实单果质量分布在 17.02~557.18 g 之间,种质之间差异显著,变异系数为 48.74%。其中平均单果质量超过 200 g 的种质有 46 份,占比 42.99%,超过 300 g 的种质有 13 份,占比 13.15%,为大果型种质。中果型种质(100~200 g)有 44 份,占比 41.12%;小、很小和极小果型种质(≤ 100 g)有 17 份,占比 15.88%(图3-A)。昌邑线穗子梨、莱阳假把茌梨、高密恩梨、莱阳秋白梨和文登实生种属于大果型种质资源。

在 107 份梨种质中,果实纵径介于 33.32~113.99 mm 之间,变异系数为 21.04%。76 份梨资源的果实纵径介于 60~90 mm 之间,60 mm 以下的种质资源有 22 份,其余均大于 90 mm(图3-B)。昌邑

线穗子梨、文登实生种、高密恩梨、莱阳秋白梨、乐陵砂梨均属于果实纵径较大的梨资源。

果实横径介于 29.31~106.01 mm 之间,变异系数是 18.15%。42 份梨种质资源的横径介于 70~80 mm 之间,占比 39.25%。41 份梨种质的横径介于 50~70 mm 之间,占比 38.31%。大于 80 mm 的梨种质有 15 份,其余小于 50 mm(图3-C)。果实横径最大的种质是文登实生种,达到 106.01 mm;果实横径最小的品种为文登秋杜梨(29.31 mm)。

果形指数介于 0.79~1.39 之间,变异系数是 11.00%。多数梨种质资源的果形指数在 1 左右,因此果形多为圆形或卵圆形(图3-D);果形指数最大的是夏津渣梨、昌邑线穗子梨,果实形状呈现纺锤形;乳山平顶蜜的果形指数较小,外观呈现扁圆形。

107 份梨种质果实硬度分布在 2.03~8.28 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$,变异系数是 33.33%。37 份梨品种分布在 3~4 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 之间,占比 34.58%(图3-E)。硬度较大的品种有费县红梨、栖霞黄香、泗水面梨、费县绵梨、海阳棠梨,硬度较小的品种是费县槎子梨、海阳谢花甜茌、莱阳四棱子梨、栖霞冻梨、费县谢花甜。

可溶性固形物含量(w ,后同)分布范围是 5.83%~

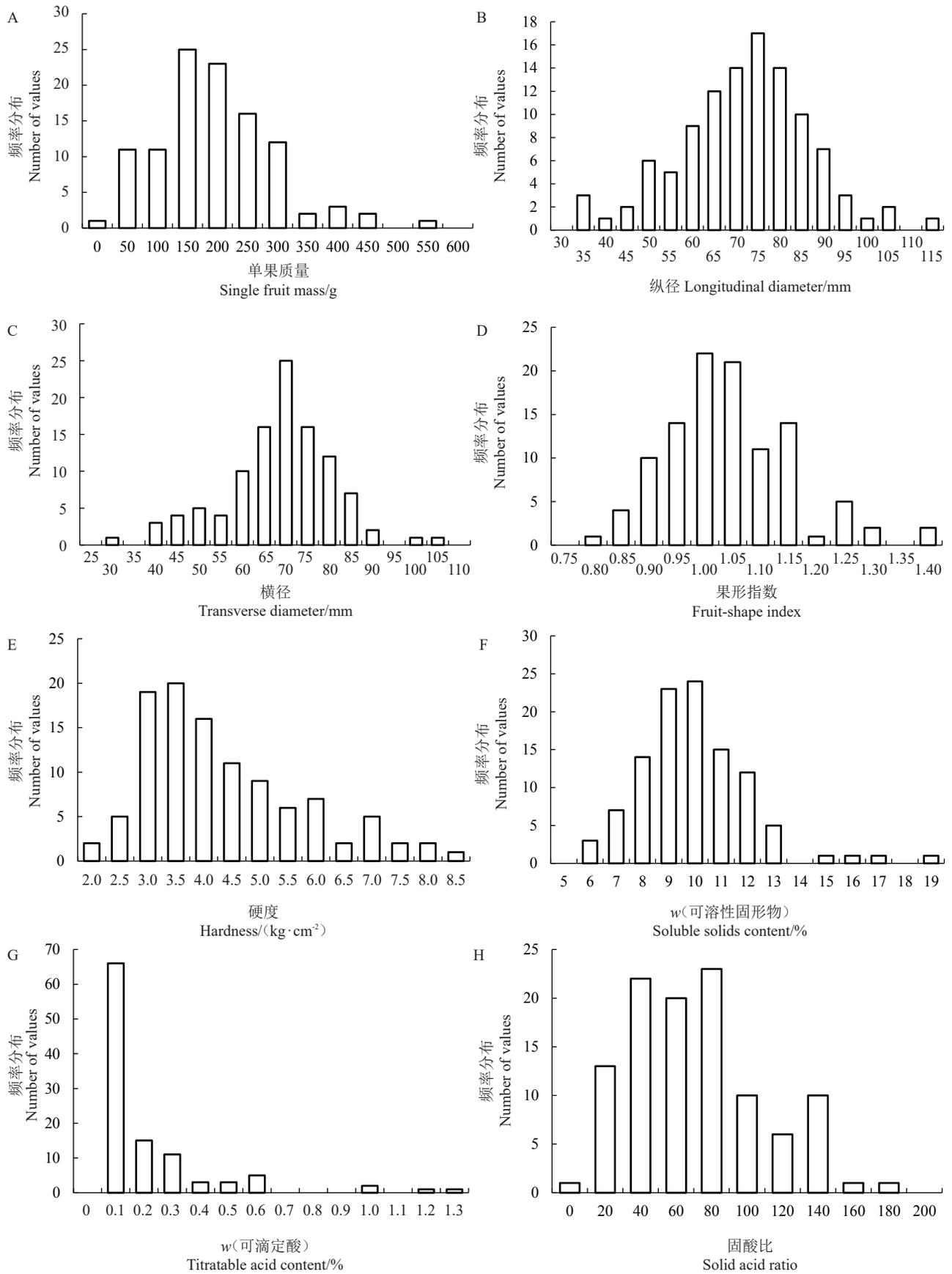


图3 107份梨种质果实营养品质评价

Fig.3 Evaluation of fruit nutritional quality of 107 pear germplasm

18.6%, 变异系数 20.97%。其中有 14 份梨种质可溶性固形物含量大于 12%, 33 份梨种质介于 10%~12% 之间, 47 份梨资源可溶性固形物含量在 8%~10% 之间, 其余含量均小于 8% (图 3-F)。其中, 大马猴梨的可溶性固形物含量最高, 达 18.6%; 其次是文登秋杜梨、乳山小香梨、夏津渣梨和夏晚 1 号; 含量较低的种质是邹城紫旭梨, 为 5.83%。

可滴定酸含量分布范围是 0.06%~1.27%, 变异系数高达 101.80%。酸含量 $\geq 0.7\%$ 的种质有 4 份, 可滴定酸含量在 0.3%~0.5%、0.09%~0.3% 和 $\leq 0.09\%$ 的种质资源分别有 4、67 和 24 份 (图 3-G)。在 107 份梨种质中, 可滴定酸含量最高的是文登实生种, 为 1.27%。其次是乳山小香梨、海阳棠梨、冠县酸梨。

在固酸比方面, 分布范围是 9.04~188.57, 平均值是 71.42, 变异系数 52.53%。多数品种的固酸比介于 60~75 之间 (图 3-H)。固酸比较小的品种主要有文登实生种和乳山小香梨, 固酸比分别为 10.24 和

13.96, 口感较酸; 夏晚 1 号的固酸比最大为 188.57, 风味较甜。

2.3 果实挥发性物质含量评价

对 107 份山东地方梨种质果实进行 GC-MS 分析, 总共检测到 339 种挥发性成分, 其中酯类 105 种、醛类 23 种、醇类 68 种、酮类 25 种、烷烃 73 种、其他化合物 45 种。梨果实挥发性物质是香气的主要组成成分, 不同梨种质间香气成分和种类差异较大, 单个品种香气种类数的分布范围是 9~56 种, 平均香气种类有 28 种。其中, 香气含量中酯类物质的种类在 2~30 之间, 平均约 11 种。酯类含量最少的品种是齐河棠梨, 最多的品种是乳山桑皮梨。醛类、醇类、酮类和烷烃类的种类分别是 2~8、0~8、0~4 和 0~17 种, 平均种类分别约是 4、4、1 和 5 种。其他香气成分种类是 1~12 种, 平均约为 4 种。酮类含量的变异系数较大, 为 81.15%, 其次是烷烃、酯类、醇类等香气种类, 香气总含量的变异系数最小, 为 28.86% (表 2)。

表 2 果实香气物质种类的变异分布

Table 2 Distribution of variation in fruit aroma material species

| 香气物质 Aroma material | 平均值 Average | 最小值 Minimum | 最大值 Maximum | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation/% |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|------------------------------------|
| 酯类 Esters | 10.80 | 2 | 30 | 5.88 | 54.45 |
| 醛类 Aldehydes | 4.30 | 2 | 8 | 1.43 | 33.23 |
| 醇类 Alcohols | 3.69 | 0 | 8 | 1.57 | 42.45 |
| 酮类 Ketones | 1.07 | 0 | 4 | 0.87 | 81.15 |
| 烷烃 Alkanes | 4.55 | 0 | 17 | 2.87 | 63.03 |
| 其他 Others | 3.73 | 1 | 12 | 1.86 | 49.94 |
| 总成分 All | 28.15 | 9 | 56 | 8.12 | 28.86 |

供试的梨种质香气成分含量差异较大, 香气含量在 52.715~2 445.113 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 平均香气含量 636.351 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平邑荏梨的挥发性物质含量最高, 莱芜金坠子的挥发性物质含量最低。在香气成分中, 酯类、醛类、醇类、酮类、烷烃类和其他物质的含量分别介于 2.156~1 353.449 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.403~1 382.843 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0~984.547 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0~89.349 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0~127.602 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 0.170~642.425 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 平均含量分别是 209.962、200.948、143.550、4.424、9.732 和 67.735 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 3)。香气成分的变异系数较大, 其中酮类、烷烃类香气成分含量的变异系数高达 259.25% 和 219.60%。

另外, 酯类物质是梨种质香气的主要成分之一, 如乙酸己酯、己酸乙酯和辛酸乙酯等。酯类物质含量最高的梨品种是费县谢花甜, 最低的品种是博山

池梨; 醛类化合物含量最高的是平邑荏梨, 最低的是河东青梨; 醇类化合物中含量最高的是乳山小猪嘴, 另外, 莱芜金坠子是唯一没有检测到醇类化合物的梨品种。酮类含量最高的梨品种是乳山砂梨。黄县秋梨中烷烃类和其他类型的香气化合物的成分均最高。

2.4 基于果实性状的聚类分析

2.4.1 Q 型聚类分析 等级分界线 L3=19.308 可以将 107 份梨种质资源划分为 5 个组, 分别是 I、II、III、IV 和 V, 其中每个组包含的梨种质资源的数目分别是 48、22、7、18 和 12 份。其中 I 组的种质资源数目较多, 其根据 L4=13.485 分界线划分为 3 组, 平均每组 18、15 和 15 份种质资源。第 IV 也可以划分为 3 组, 平均每组 6、10 和 2 份种质。从遗传距离远近来看, 第 V 组与其他 4 组的亲缘关系较远, 第 II 组和 III 组亲缘关系较近 (图 4)。

表3 果实香气物质含量的变异分布

Table 3 Distribution of variation of aroma material content in fruits

| 香气物质 Aroma material | 平均含量 Average/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 最小值 Minimum/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 最大值 Maximum/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation/% |
|------------------------|--|---|---|---------------------------|------------------------------------|
| 酯类 Esters | 209.962 | 2.156 | 1 353.449 | 284.161 | 135.34 |
| 醛类 Aldehydes | 200.948 | 0.403 | 1 382.843 | 236.330 | 117.61 |
| 醇类 Alcohols | 143.550 | 0.000 | 984.547 | 177.121 | 123.39 |
| 酮类 Ketones | 4.424 | 0.000 | 89.349 | 11.470 | 259.25 |
| 烷烃 Alkanes | 9.732 | 0.000 | 127.602 | 21.371 | 219.60 |
| 其他 Others | 67.735 | 0.170 | 642.425 | 116.944 | 172.65 |
| 总含量 All | 636.351 | 52.715 | 2 445.110 | 452.159 | 71.05 |

I组果实较大,平均单果质量为243.04 g,平均纵、横径分别是78.09 mm和75.10 mm。果形指数0.79~1.39,果实硬度范围2.03~6.1 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。可溶性固形物含量为6.27%~13%,可滴定含量0.07%~1.27%。固酸比范围10.24~13.90。果形以倒卵圆形和椭圆形为主,果皮颜色多为黄绿色和绿色,果点小,分布较密。果肉质地以细和中粗为主,果肉类型脆和松脆,汁液多,风味酸甜,果实香味微香。香气平均含量 $539.45\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,最高达 $1\ 484.825\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。香气含量较高的品种主要有费县槎子梨、栖霞面梨和栖霞四棱子梨。

II组果实中大,平均单果质量为212.01 g,平均纵、横径分别是76.6 mm和71.71 mm。果形指数0.88~1.25,果实硬度范围2.86~8.28 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$,可溶性固形物含量为7.7%~12.77%,可滴定酸含量0.07%~1.35%,固酸比范围34.12~148.57。果实形状以圆形、倒卵圆形、近圆形和卵圆形为主,果皮颜色以黄色、浅黄绿色和绿黄色为主,果点以小和中大为主,果点分布密,果肉颜色以白色、乳白色和绿白色为主,果肉质地粗或中粗,果肉类型松脆,汁液多或者中多,果实风味以甜、淡甜和酸甜为主,均属于微香类型的种质资源。

III组果实中大,平均单果质量为219.45 g,平均纵、横径分别是73.40 mm和71.45 mm。果形指数0.89~1.10,果实硬度范围4.67~8.01 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$,可溶性固形物含量9.03%~13.2%,可滴定酸含量范围0.07%~0.52%,固酸比范围20.63~188.57。果形多样,主要有扁圆形、圆形、圆柱形和长圆形。果皮颜色多黄绿色和绿色,果点较小、分布密。果肉颜色白色、淡黄色和绿白色。果肉质地粗和中粗,果肉紧密、松脆,汁液多,风味甜、淡甜和酸甜,香气微香。香气含量较高的品种有黄县秋梨和夏晚1号。

IV组果实中小,平均单果质量为128.45 g,平均

纵、横径分别是64.75 mm和59.20 mm。果形指数0.91~1.32,果实硬度范围2.28~6.88 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$,可溶性固形物含量5.83%~14.63%,可滴定酸含量范围0.09%~0.51%,固酸比范围28.69~152.86。果形以卵圆形、圆形和倒卵圆形为主,果皮颜色黄绿色、绿色,果点小且密,果肉颜色以白色为主,果肉类型细或中粗,果肉类型脆或者松脆,汁液多,果实风味以甜和酸甜为主,果实香味以微香为主。香气含量比较高的梨种质资源有4份,分别是平邑荏梨、夏津渣梨、鸭广梨和栖霞大兔头。

V组果实中小,平均单果质量为70.20 g,平均纵、横径分别是46.34 mm和49.64 mm。果形指数0.84~1.14,果实硬度范围2.83~7.32 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$,可溶性固形物含量8.53%~18.6%,可滴定酸含量范围0.27%~1.17%,固酸比范围13.96~68.89。果形以圆形为主,果皮以褐色为主,果点大或者中大,分布密,果肉颜色淡黄色,果肉质地粗或者中粗,果肉类型软面或者松脆,汁液中多或少,风味酸甜,香味多微香或无香。该组内种质资源的可滴定酸含量相对较高以及可溶性固形物含量较高,如大马猴梨可溶性固形物含量高达18.6%。

通过以上5组之间的对比分析,发现I、II和III组中果实相对较大,属于大果型种质资源,最大果质量达557.18 g,IV和V组单果质量相对较小,最小果质量32.14 g。107份梨种质资源以微香为主,其中发现9份梨种质的香气较浓,如栖霞大香水、鸭广梨和栖霞大兔头等。第V组种质的可滴定酸含量较高,最高达1.17%,果实硬度也较高,最高达7.32 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$,更偏向于地方品种。

2.4.2 R型聚类分析 采用R型聚类分析对梨果实性状之间的相关性进行分析,L1=1.952时将果实性状划分为2个组,而L2=1.430时将果实性状划分为4个组,其中I组果实性状包括果实形状、果肉类型、

L1=29.358 L2=23.033 L3=19.308 L4=13.485

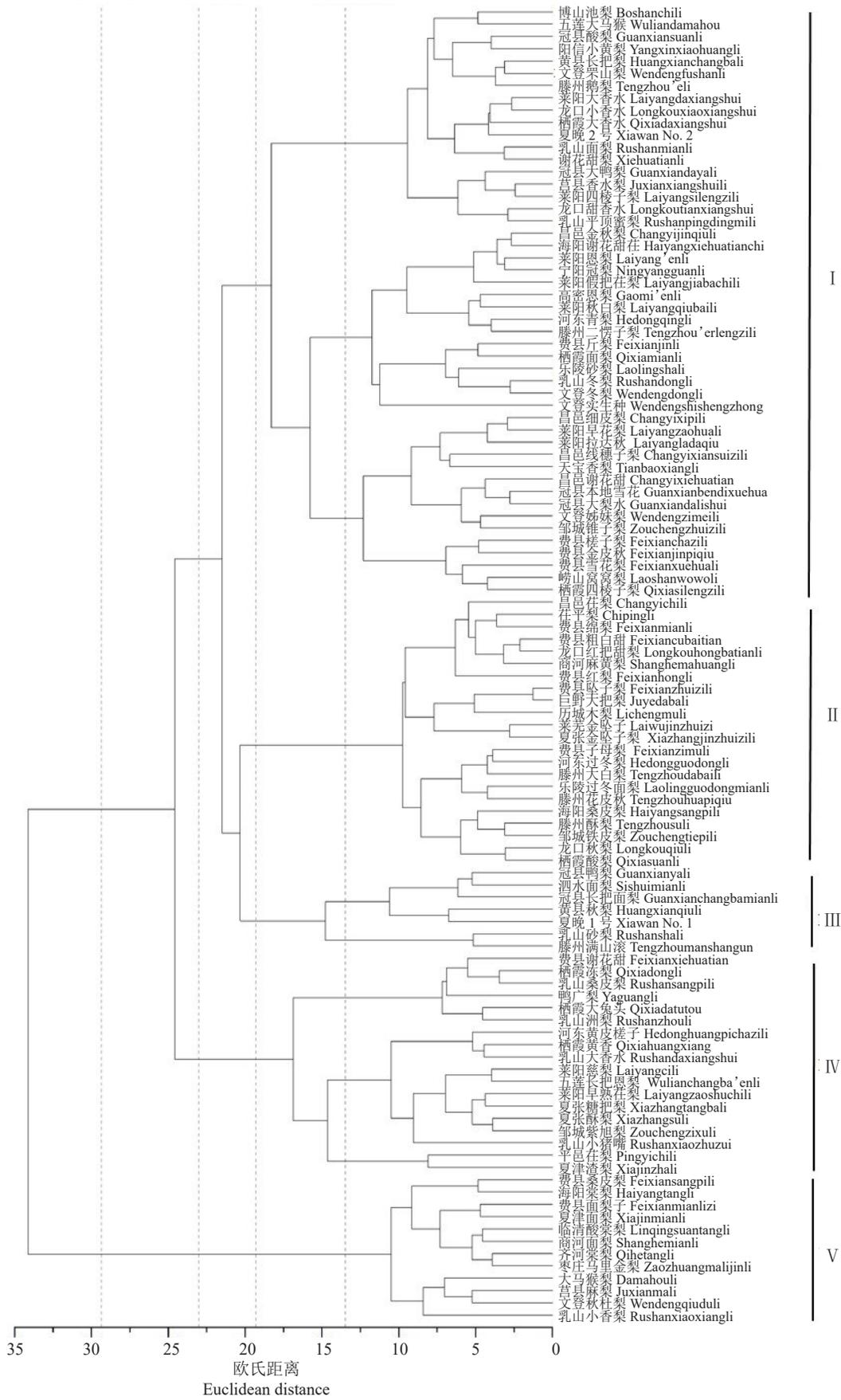


图 4 Q 型聚类树状图

Fig. 4 The dendrogram of Q cluster analysis

汁液含量、果皮颜色、果点分布、果肉质地、硬度、果点大小、果肉颜色、可溶性固形物含量、酮类含量、烷烃含量、其他香气物质含量。第II组主要包括风味、果形指数、可滴定酸含量、固酸比。第III组包括香气、酯类含量、香气物质总含量、醇类物质含量、醛类物质含量。第IV组主要包括的性状有单果质量、横

径和纵径。从聚类分析来看,多数性状之间存在相关性,比如果肉质地与硬度,果肉类型与汁液含量,可滴定酸含量与固酸比,酯类、醛类、醇类含量与香气物质含量,单果质量与横径,以上相关的果实性状也符合逻辑上的相关性(图5)。另外,对供试种质的果实性状指标进行相关分析(表4),单果质量与

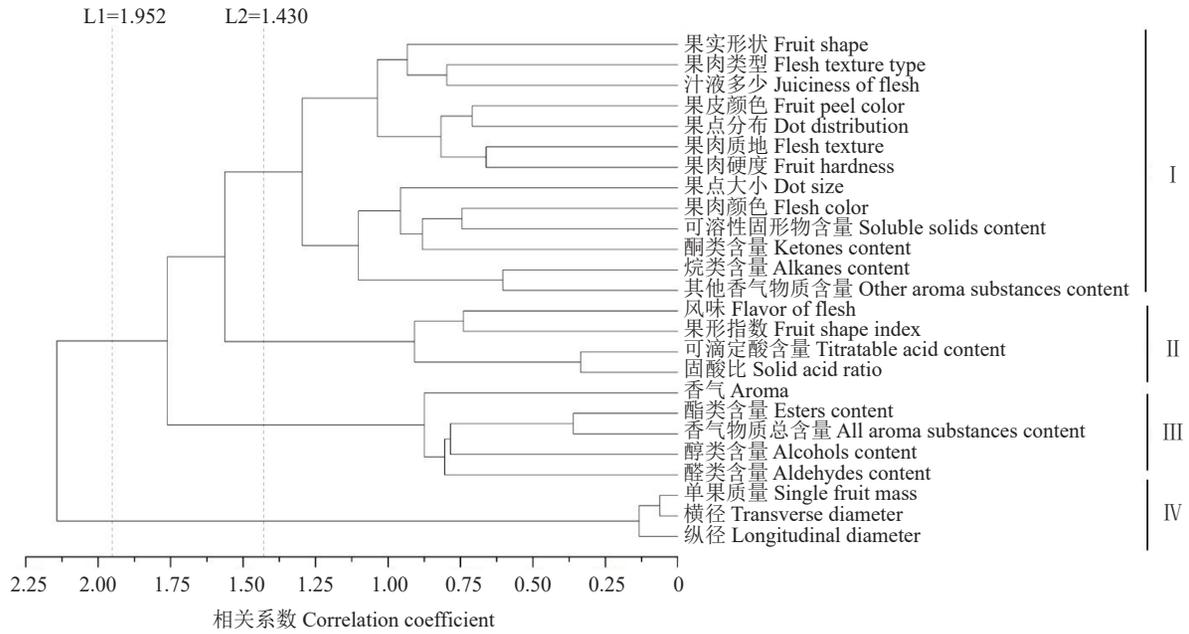


图5 R型聚类树状图

Fig. 5 The dendrogram of R cluster analysis

表4 果实品质指标相关性分析

Table 4 Correlation analysis of fruit quality index

| 指标 Index | 单果质量 Single fruit mass | 纵径 Longitudinal diameter | 横径 Transverse diameter | 果形指数 Fruit shape index | 硬度 Hardness | 可溶性固形物含量 Soluble solids content | 可滴定酸含量 Titratable acid content | 固酸比 Solid-acid ratio | 香气物质种类 Aroma material specie | 香气物质含量 Aroma material content |
|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 单果质量 Single fruit mass | 1 | | | | | | | | | |
| 纵径 Longitudinal diameter | 0.899** | 1 | | | | | | | | |
| 横径 Transverse diameter | 0.937** | 0.868** | 1 | | | | | | | |
| 果形指数 Fruit shape index | 0.174 | 0.489** | 0.005 | 1 | | | | | | |
| 硬度 Hardness | -0.311** | -0.309** | -0.383** | 0.059 | 1 | | | | | |
| 可溶性固形物含量 Soluble solids content | -0.045 | -0.156 | -0.137 | -0.060 | -0.087 | 1 | | | | |
| 可滴定酸含量 Titratable acid content | -0.160 | -0.294** | -0.243* | -0.153 | 0.149 | 0.428** | 1 | | | |
| 固酸比 Solid-acid ratio | 0.252** | 0.374** | 0.261** | 0.276** | -0.065 | -0.070 | -0.665** | 1 | | |
| 香气物质种类 Aroma material specie | -0.162 | -0.121 | -0.195* | 0.128 | -0.058 | 0.179 | 0.036 | -0.044 | 1 | |
| 香气物质含量 Aroma material content | -0.024 | 0.000 | -0.009 | 0.034 | -0.161 | 0.102 | 0.035 | -0.039 | 0.389** | 1 |

注:*表示差异显著($p < 0.05$);**表示差异极显著($p < 0.01$)。

Note: * indicates significant difference at $p < 0.05$; ** indicates extremely significant difference at $p < 0.01$.

果实纵径、横径均呈极显著正相关($r=0.899$),果形指数与果实纵径呈极显著正相关($r=0.489$),固酸比与可滴定酸含量呈显著负相关($r=-0.665$),香气物质种类与香气含量呈显著正相关($r=0.389$)。

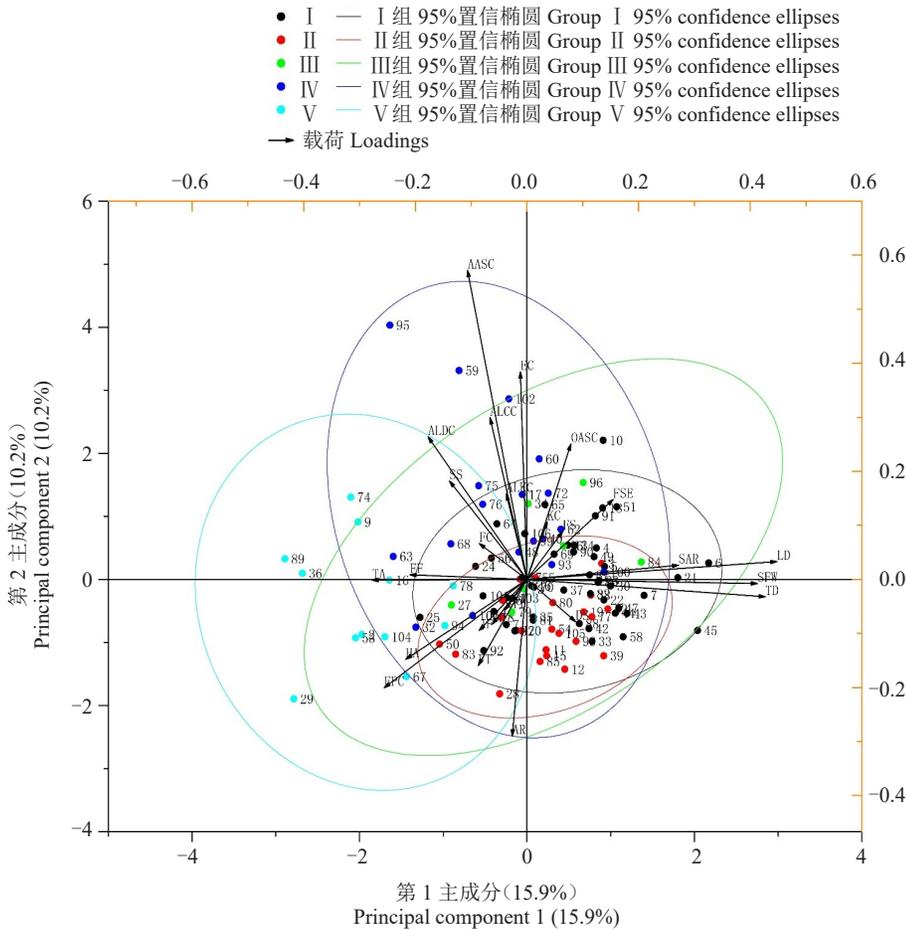
2.5 主成分分析

主成分分析结果表明,PC1、PC2、PC3和PC4四个主成分的贡献率分别是15.9%、10.2%、8.2%和7.8%,累计贡献率仅42.1%,结果说明各个性状的贡献率较为分散,同时也说明山东省梨种质资源性状丰富多样。

结果如图6所示,第1主成分分析中,特征向量绝对值较大的主要有单果质量(SFW)、横径(TD)、纵径(LD)、果形指数(FSE)、固酸比(ASR)、醛类含量(ALDC)、硬度(HA)、风味(FF)、可滴定酸含量(TA)和果皮颜色(FPC),其绝对值均在1以上,主要反映果实的外观品质和营养品质。代表种质主要有

昌邑线穗子梨(6)、高密恩梨(21)、莱阳秋白梨(45)、昌邑谢花甜(7)、滕州满山滚(84)、乐陵砂梨(51)、费县雪花梨(18)和莱阳假把茌梨(43)等,多属于Q聚类中的I组和II组。PC1中负值较小的种质主要有大马猴梨(9)、海阳棠梨(29)、莒县麻梨(36)、乳山小香梨(74)和文登秋杜梨(89),均属于Q聚类中的IV组。第2主成分分析中,特征向量绝对值较大的主要有香气总含量(AASC)、酯类含量(EC)、醇类含量(ALCC)、醛类含量(ALDC)、其他物质含量(OASC)、香气种类(AR)。其特征向量绝对值均在2以上,主要反映果实的果香类型和香气物质含量、种类。其代表种质主要有平邑茌梨(59)、夏津渣梨(95)、鸭广梨(102),多属于Q聚类中的IV组。

第3主成分分析中,特征向量绝对值较大的有果肉类型(FTT)、固酸比(SAR)、硬度(HA)、果形指数(FSW)、果肉颜色(FC)、果肉质地(FT)和果点



图中数字编号与表1中一致,不同颜色的圈图与图4中的分组一致。

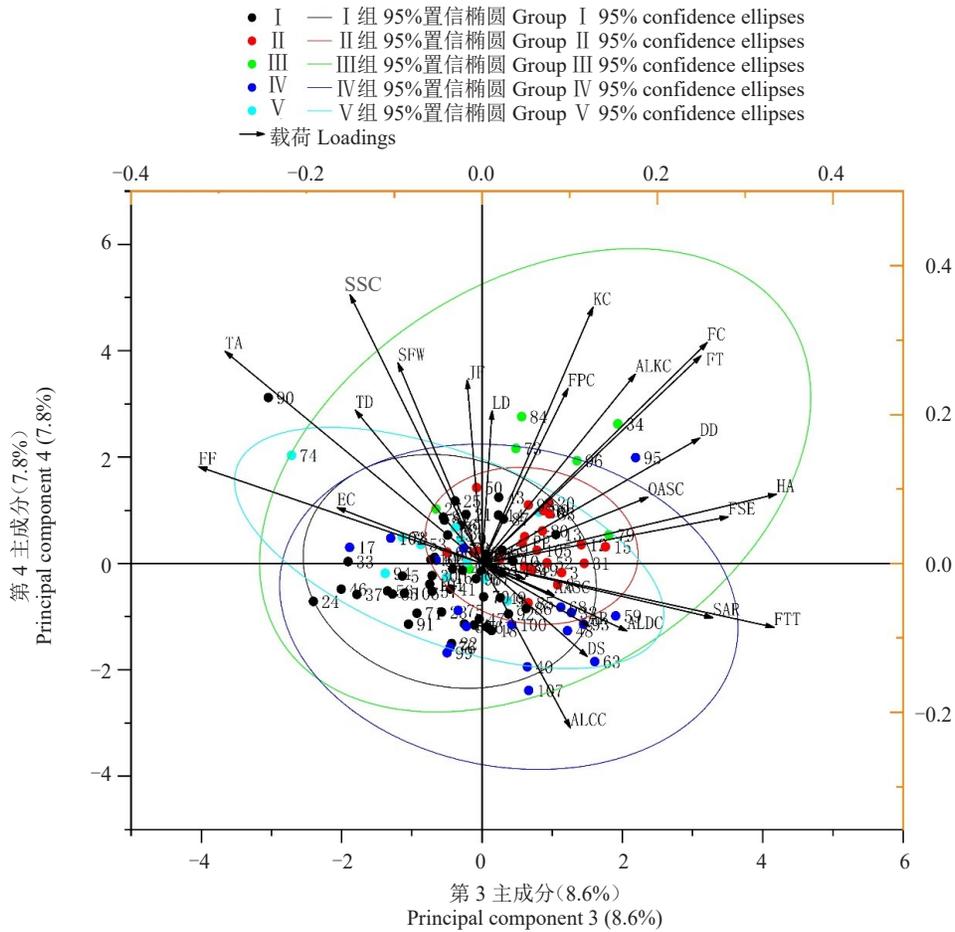
Numbers of germplasm corresponded to those of Table 1 and the colored circles correspond to the grouping in Fig. 4.

图6 107份山东梨种质的第1、第2主成分得分与果实性状载荷的双标图

Fig. 6 Biplot of factor scores and loadings based on 1st and 2nd principal components of 107 pear germplasm from Shandong

分布(DD)、可滴定酸含量(TA)和风味(FF)。特征向量的绝对值均大于3,主要反映果实外观品质。代表种质主要有冠县大鸭梨(24)、黄县秋梨(34)、莱阳四棱子(46)、平邑荏梨(59)、夏津渣梨(95)、文登实生种(90)、泗水面梨(79),多属于Q聚类中的III、IV和V组。第4主成分分析中,特征向量绝对值较大的有可滴定酸含量(TA)、可溶性固形物含量(SSC)、单果质量(SFW)、汁液含量(JF)、酮类含

量(KC)、果皮颜色(FPC)、烷烃类含量(ALKC)、果肉颜色(FC)、果肉质度(FT)和醇类含量(ALCC)。特征向量绝对值均在3以上,主要反映果实的外观品质、营养品质和香气物质含量。代表种质主要有文登实生种(90)、滕州满山滚(84)、黄县秋梨(34)、乳山砂梨(73)、夏津渣梨(95)、夏晚1号(96)、莱阳慈梨(40)、栖霞黄香(63)和邹城紫旭梨(107)(图7)。



图中数字编号与表1中一致,不同颜色的圈图与图4中的分组一致。

Numbers of germplasms corresponded to those of Table 1 and the colored circles correspond to the grouping in Fig. 4.

图7 107份山东梨种质的第3、第4主成分得分与果实性状载荷的双标图

Fig. 7 Biplot of factor scores and loadings based on 3rd and 4th principal components of 107 pear germplasm from Shandong

3 讨论

果实硬度与果实耐贮性相关,有利于维持果实的品质^[18-19]。本研究结果表明,107份供试种质的果实硬度多分布在3~4 kg·cm⁻²范围,符合正态分布规律,果实硬度最大的梨种质是费县红梨,可以作为筛选硬度高的梨新品种的亲本资源。在本研究中供试种质的可溶性固形物含量介于5.83%~

18.6%之间,呈现正态分布规律。但是57%的供试品种的可溶性固形物含量低于国家标准《鲜梨》理化指标参考值下限(10.0%)^[20],这一结果也说明山东省地方种质资源的可溶性固形物含量总体偏低。其中也有含量较高的种质资源,如大马猴梨、文登秋杜梨和乳山小香梨,并且多数分布在Q聚类的第V组。果实的酸含量在果实风味和营养中具有重要作用,不同梨的有机酸含量具有较大的差

异,并且酸含量与果实成熟期具有相关性^[21]。107份山东地方梨品种资源的果实可滴定酸含量低,介于0.09%~0.30%之间的有67种,占62.62%,说明山东地方梨种质资源果实的酸含量差异较大、口感适中。

香气是挥发性有机芳香化合物的复杂混合物,对果实风味有重要影响,并且对消费者在产品的认知和接受度上起决定性作用。田长平^[22]研究表明,白梨系统和砂梨系统的梨在商熟期的主要香气成分种类、含量与香气总量均存在一定的差异。Zlatic等^[23]研究表明 bartlett 梨的香气成分与采收时间、贮藏方式和货架期有关。Chen等^[24]分析了12个西洋梨品种的香气成分,发现品种间香气含量和成分存在明显差异,并且将香气合成途径划分为两组。Li等^[25]研究发现秋子梨系列在香气含量和成分种类上均高于其他亚洲梨品种,以酯类化合物为主。笔者在本研究中共检测出339种香气成分,其中品种间的香气成分种类无显著差异,但品种间香气总含量差异显著,最低的是莱芜金坠子($52.715 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),最高的是平邑荏梨($2\,445.113 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),两者相差46.38倍。酯类物质的种类以及含量占比最高,107份供试种质中均检测出乙酸己酯。这一结果也说明酯类物质是地方种质资源香气的主要组成成分之一。但是其中也有其他香气含量高的梨种质资源,如醛类物质含量较高的平邑荏梨、醇类物质含量较高的乳山小猪嘴,并且莱芜金坠子是唯一没有检测出醇类物质的种质。这说明供试种质香气含量和成分上的显著差异,也间接说明香气合成途径的差异性。

陈出新等^[26]对江苏地区的74个梨栽培品种的果实性状进行调查分析,发现果实单果质量的变异系数最大,为34.31%。笔者在本研究中也对果实性状的变异系数进行计算分析,供试的107份梨种质果实性状的变异系数均比较大,其中可滴定酸含量的变异系数最大,为101.80%,果形指数的变异系数最小,为11.00%。这一结果与其他地区的研究结果相吻合,也说明梨种质资源的丰富多样性。通过主成分分析发现,前4个主成分的累计贡献率仅有42.1%,这一结果也说明山东梨种质资源性状资源比较分散,具有多样性,与相关报道结果一致。不同的PCA正向增量有利于改善果实的性状,可以为亲本的选择提供参考。

4 结 论

山东省梨地方种质资源丰富多样,84.11%属于中、大果型,果实呈卵圆形和圆形居多,果形指数为1左右。单果质量、纵径、横径、果形指数、果实硬度和可溶性固形物含量等果实性状的分布符合正态分布规律。采用GC-MS方法共检测出339种香气物质,品种间香气种类及含量差别较大,酯类物质含量是组成香气物质的主要成分。果实性状的变异系数差异较大,Q型和R型聚类分析显示组内聚类的种质具有一定的共同特征,且多数性状之间存在相关性,性状变异丰富。通过对山东省梨种质资源的评价,鉴定出文登实生种、栖霞大香水、鸭广梨、莱阳秋白梨、高密恩梨、昌邑线穗子和大马猴梨等一批优质的地方种质资源,可为培育优新品种提供宝贵的亲本材料。

参考文献 References:

- [1] POTTER D, ERIKSSON T, EVANS R C, OH S, SMEDMARK J E E, MORGAN D R, KERR M, ROBERTSON K R, ARSENAULT M, DICKINSON T A, CAMPBELL C S. Phylogeny and classification of Rosaceae[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2007, 266(1): 5-43.
- [2] 王少敏. 山东梨地方品种图志[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2020: 74-89.
WANG Shaomin. Atlas of Shandong pear local varieties[M]. Jinan: Shandong Science & Technology Press, 2020: 74-89.
- [3] 俞德浚, 谷粹芝. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版, 1974: 344-345.
YU Dejun, GU Cuizhi. *Flora reipublicae popularis sinicae*[M]. Beijing: Science Press, 1974: 344-345.
- [4] 李树玲, 黄礼森, 丛佩华, 杨儒琳, 龚欣. 不同种内梨品种果实糖、酸含量分析比较[J]. *中国果树*, 1995(3): 9-12.
LI Shuling, HUANG Lisen, CONG Peihua, YANG Rulin, GONG Xin. Analysis and comparison of sugar and acid content in fruit of pear varieties within different species[J]. *China Fruits*, 1995(3): 9-12.
- [5] 曾少敏, 陈小明, 黄新忠. 福建地方梨资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J]. *园艺学报*, 2019, 46(2): 237-251.
ZENG Shaomin, CHEN Xiaoming, HUANG Xinzhong. Fruit character diversity analysis and numerical classification of local pear germplasm resources in Fujian[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(2): 237-251.
- [6] 孙太安, 孙伟, 胥雯, 孙太权. 武陵山区怀化市梨种质资源调查与建议[J]. *热带农业科技*, 2021, 44(2): 28-32.
SUN Tai'an, SUN Wei, XU Wen, SUN Taiquan. Pear germplasm resources in Wuling mountainous areas and suggestions for development[J]. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 2021, 44(2): 28-32.
- [7] 朱杨帆, 刘伦, 滕美贞, 吴俊. 南京地区梨种质资源叶片特性及生长习性调查分析[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(17): 115-119.

- ZHU Yangfan, LIU Lun, TENG Meizhen, WU Jun. Investigation on leaf characteristics and growth habits of pear germplasm resources in Nanjing[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(17):115-119.
- [8] 张莹,曹玉芬,霍宏亮,徐家玉,田路明,董星光,齐丹,张小双,刘超,王立东. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(17):3353-3369.
- ZHANG Ying, CAO Yufen, HUO Hongliang, XU Jiayu, TIAN Luming, DONG Xingguang, QI Dan, ZHANG Xiaoshuang, LIU Chao, WANG Lidong. Diversity of pear germplasm resources based on twig and leaf phenotypic traits[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(17):3353-3369.
- [9] 张莹,曹玉芬,田路明,董星光,齐丹,霍宏亮,徐家玉,刘超,王立东. 梨种质资源果实若干数量性状评价指标研究[J]. *果树学报*, 2023, 40(6):1053-1063.
- ZHANG Ying, CAO Yufen, TIAN Luming, DONG Xingguang, QI Dan, HUO Hongliang, XU Jiayu, LIU Chao, WANG Lidong. Evaluating standards of some fruit quantitative traits of pear genetic resources[J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(6): 1053-1063.
- [10] 曹玉芬. 我国的红皮梨种质资源[J]. *中国种业*, 2001(1):26-27.
- CAO Yufen. Germplasm resources of red bark pear in China[J]. *China Seed Industry*, 2001(1):26-27.
- [11] 滕美贞. 梨种质资源评价与果实性状遗传倾向的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2014.
- TENG Meizhen. Evaluation of germplasm and heredity trends of fruit trait in pear[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [12] 辜青青,徐小彪,郑旭,曲雪艳,刘山蓓. 江西省地方梨种质资源调查与利用对策[J]. *现代园艺*, 2010(9):14-15.
- GU Qingqing, XU Xiaobiao, ZHENG Xu, QU Xueyan, LIU Shanbei. Investigation and utilization countermeasures of local pear germplasm resources in Jiangxi Province[J]. *Contemporary Horticulture*, 2010(9):14-15.
- [13] 陈义挺,黄新忠,陈婷,陈小明,陈招弟. 福建省地方梨种质资源调查与分析[J]. *龙岩学院学报*, 2013, 31(5):63-66.
- CHEN Yiting, HUANG Xinzhong, CHEN Ting, CHEN Xiaoming, CHEN Zhaodi. Investigation and analysis of local pear germplasm resources in Fujian[J]. *Journal of Longyan University*, 2013, 31(5):63-66.
- [14] 白牡丹,付宝春,郝国伟,张晓伟,杨盛,王燕平,朱凯. 山西省梨种质资源概况及研究进展[J]. *果树资源学报*, 2021, 2(5):1-4.
- BAI Mudan, FU Baochun, HAO Guowei, ZHANG Xiaowei, YANG Sheng, WANG Yanping, ZHU Kai. Overview of pear germplasm resources and research progress in Shanxi Province[J]. *Journal of Fruit Resources*, 2021, 2(5):1-4.
- [15] LI X L, SINGH J, QIN M F, LI S W, ZHANG X, ZHANG M Y, KHAN A, ZHANG S L, WU J. Development of an integrated 200K SNP genotyping array and application for genetic mapping, genome assembly improvement and genome wide association studies in pear (*Pyrus*) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2019, 17(8):1582-1594.
- [16] ZURN J D, NYBERG A, MONTANARI S, POSTMAN J, NEALE D, BASSIL N. A new SSR fingerprinting set and its comparison to existing SSR- and SNP- based genotyping platforms to manage *Pyrus* germplasm resources[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2020, 16(5):72.
- [17] 曹玉芬. 梨种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006.
- CAO Yufen. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [18] 王伟,杨红英,黄新成,胡芸莎,熊英. 红枣果肉力学特性试验研究[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(6):404-406.
- WANG Wei, YANG Hongying, HUANG Xincheng, HU Yunsha, XIONG Ying. Study on the mechanical properties of red jujube pulp[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(6):404-406.
- [19] 兰海鹏,贾富国,唐玉荣,张强,韩燕龙,刘扬. 库尔勒香梨成熟度量化评价方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(5):325-330.
- LAN Haipeng, JIA Fuguo, TANG Yurong, ZHANG Qiang, HAN Yanlong, LIU Yang. Quantity evaluation method of maturity for Korla fragrant pear[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5):325-330.
- [20] 中华全国供销合作总社. 鲜梨:GB/T 10650—2008[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- All China Federation of Supply and Marketing Cooperatives. Fresh pears: GB/T 10650—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [21] WU J, WANG Y T, XU J B, KORBAN S S, FEI Z J, TAO S T, MING R, TAI S S, KHAN A M, POSTMAN J D, GU C, YIN H, ZHENG D M, QI K J, LI Y, WANG R Z, DENG C H, KUMAR S, CHAGNÉ D, LI X L, WU J Y, HUANG X S, ZHANG H P, XIE Z H, LI X, ZHANG M Y, LI Y H, YUE Z, FANG X D, LI J M, LI L T, JIN C, QIN M F, ZHANG J Y, WU X, KE Y Q, WANG J, YANG H, ZHANG S L. Diversification and independent domestication of Asian and European pears[J]. *Genome Biology*, 2018, 19(1):77.
- [22] 田长平. 梨种质资源风味品质评价及其代谢机理的初步研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2010.
- TIAN Changping. Preliminary studies on flavor quality evaluation and its metabolic mechanism of pear germplasm resources[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010.
- [23] ZLATIĆ E, ZADNIK V, FELLMAN J, DEMŠAR L, HRIBAR J, ČEJIĆ Ž, VIDRIH R. Comparative analysis of aroma compounds in 'Bartlett' pear in relation to harvest date, storage conditions, and shelf-life[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 117:71-80.
- [24] CHEN Y Y, YIN H, WU X, SHI X J, QI K J, ZHANG S L. Comparative analysis of the volatile organic compounds in mature fruits of 12 Occidental pear (*Pyrus communis* L.) cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 240:239-248.
- [25] LI G P, JIA H J, WU R Y, HUSSAIN S, TENG Y W. Characterization of aromatic volatile constituents in 11 Asian pear cultivars belonging to different species[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(34):4761-4770.
- [26] 陈出新,滕美贞,刘伦,HASHMAT,吴俊. 部分梨品种资源在南京地区果实性状调查分析[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(6):259-263.
- CHEN Chuxin, TENG Meizhen, LIU Lun, HASHMAT, WU Jun. Investigation and analysis of some pear variety fruit traits in Nanjing[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(6):259-263.