



张琦,蒲婷婷,王艺儒,胡银凤,李华威,韩卫娟,索玉静,傅建敏. 不同柿种质果实品质多样性评价[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(02): 61-71.
ZHANG Qi, PU Tingting, WANG Yiru, HU Yinfeng, LI Huawei, HAN Weijuan, SUO Yujing, FU Jianmin. Quality diversity evaluation of different persimmon fruits[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(02): 61-71.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.02.06

不同柿种质果实品质多样性评价

张琦^{1,2} 蒲婷婷^{1,2} 王艺儒¹ 胡银凤¹ 李华威¹ 韩卫娟^{1*} 索玉静¹ 傅建敏¹

(1. 中国林业科学研究院 经济林研究所, 郑州 450003;

2. 内蒙古农业大学 林学院, 呼和浩特 010018)

摘要 为更系统地评价柿果实品质,以9个甜柿和6个涩柿种质为试材,通过对果实外观、内在、感官和质地等32个品质指标的测定,结合多样性分析、相关性分析、系统聚类 and 主成分分析对不同柿种质资源果实品质进行比较和综合评价。结果表明:15份种质的32个品质指标间差异较大,变异系数在12.80%~180.35%,其中 a^* 、总酚、不溶性单宁、葡萄糖、蔗糖、果胶以及质地品质指标变异系数均在50%以上;系统聚类分析可将15份种质分为2类,9份甜柿种质资源聚为一类,6份涩柿种质资源聚为一类,说明甜、涩柿果实品质存在显著性差异($P<0.01$);主成分分析共提取了7个主成分,包括不溶性单宁、可溶性果胶、葡萄糖、总酚、果糖、果皮韧性和质地7个指标,累积方差贡献率达到91.92%,可反映出32个指标的大部分信息。本研究可为柿种质果实资源的开发利用提供理论依据。

关键词 柿;果实品质;相关性分析;主成分分析

中图分类号 S665.2

文章编号 1007-4333(2025)02-0061-11

文献标志码 A

Quality diversity evaluation of different persimmon fruits

ZHANG Qi^{1,2}, PU Tingting^{1,2}, WANG Yiru¹, HU Yinfeng¹, LI Huawei¹, HAN Weijuan^{1*},
SUO Yujing¹, FU Jianmin¹

(1. Research Institute of Non-Timber Forestry, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, China;

2. Forest College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract In order to evaluate the quality of persimmon fruit more systematically, a total of 32 quality indexes of appearance, inner and sensory quality were systematically studied using of 9 varieties of representative non-astringent persimmon and 6 varieties of representative astringent persimmon. The fruit quality of different persimmon germplasm resources was compared and evaluated by diversity analysis, correlation analysis, systematic clustering and principal component analysis. The results showed that: The variation coefficients of 32 quality indexes of 15 accessions were 12.80%-180.35%, the variation coefficients of a^* , total polyphenols, insoluble tannins, glucose, sucrose, pectin and texture quality indexes were all above 50%. The 15 accessions could be divided into 2 groups by systematic cluster analysis, among which, 9 persimmon germplasm resources were clustered into one group, 6 astringent persimmon germplasm resources were clustered into one group, the results showed that there was significant difference between sweet and astringent persimmon fruit quality ($P<0.01$). A total of 7 main components were extracted by principal component analysis (PCA), including insoluble tannin, soluble pectin, glucose, total polyphenols, fructose, peel toughness and texture. The cumulative contribution of variance was 91.92%

收稿日期: 2024-06-17

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFD2200400);河南省科技兴林项目(YLK202403)

第一作者: 张琦(ORCID:0000-0003-2465-7480),硕士研究生,E-mail:1871454041@qq.com

通讯作者: 韩卫娟(ORCID:0000-0002-2032-3398),副研究员,主要从事经济林加工利用研究,E-mail:hanweijuan2013@163.com

can reflect most of the information of 32 indicators. This study can provide a theoretical basis for developing and utilizing persimmon fruit resources.

Keywords persimmon; fruit quality; correlation analysis; principal component analysis

柿(*Diospyos. kaki* Thunb.)为柿科(Ebenaceae)柿属(*Diospyros*)植物,含有单宁、糖类、维生素C和类胡萝卜素等多种营养物质,在食品、保健、医药和化工等领域具有重要的应用价值和广阔的开发前景^[1-3]。我国是柿原产中心与分布中心之一,柿种质资源数量繁多,多样性丰富,现有品种近1 000种,栽培面积和产量均居世界首位^[4]。根据果实脱涩类型,柿种质资源可分为完全甜柿(Pollination constant and non-astringent, PCNA)、完全涩柿(Pollination constant astringent, PCA)、不完全甜柿(Pollination variant non-astringent, PVNA)和不完全涩柿(Pollination variant astringent, PVA),PCNA和PVNA果实在发育过程中涩感逐渐消失,成熟时不经脱涩处理即可直接使用,一般被称为甜柿;PCA和PVA果实成熟后涩感仍强烈,需人工脱涩处理后方可脆食,一般被称为涩柿^[4-5]。

果实品质是影响果实商品性的关键因素,主要包括外观品质、内在品质与感官品质等^[4]。果实大小、形状、色泽和硬度等是外观品质的重要组成部分,可以非常直观地展现出各物种的外部形态特征,是果品给与人们的第一感觉,能直接刺激消费者的购买欲望,是满足消费者“好看”这一需求的基础^[6];总酚、单宁、可溶性糖和果胶等是柿果实内在品质的重要组成成分^[7],是满足消费者“好吃”和“健康”需求的物质基础^[8-9]。在目前体验经济的环境下,感官评价可以直观地反映出消费者的喜好和购买意向,是衡量其商品性的重要因素,感官品质的评价通常采用人员结合仪器辅助的方式进行^[10-13]。

质构仪通过2次挤压模拟牙齿的咀嚼运动,利用力学方法反映样品质地特征的差异^[12],目前已被广泛应用于各种果实质地分析。

柿种质资源果实品质具有丰富的多样性,目前对柿种质资源的评价研究工作多集中在表型、成分和遗传多样性等方面^[14-17],而对柿果实品质的系统评价工作欠缺。本研究拟以具有代表性的15份柿种质资源果实为试材,开展柿果实外观、内在、感官和质地品质的系统评价,以期筛选出品质、风味优异的种质资源,为柿种质资源的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

以15份柿种质资源为试验材料(表1)。本研究试验材料取自于中国林科院经济林研究所原阳试验基地柿属植物国家种质资源圃(34°55′30″~34°56′45″ N, 113°46′24″~113°47′59″ E),株行距3 m×4 m,采样树为8年生盛果期树,树龄和生长环境一致。每份种质选择树势健壮、无病虫害的无性系单株6株,于果实成熟期(甜柿硬熟期和涩柿软熟期)从树体4周采集果实样品,低温冷藏带回实验室。随机将果实分成均匀的2份,1份果实测定外观品质指标后去皮切碎,液氮速冻后于-80℃超低温冰箱中保存,用于内在品质指标的测定;另外1份果实用于感官和质地品质的检测。

1.2 试验方法

1.2.1 外观品质指标测定

将采集的15份柿种质的15个果实清洗后测量

表1 试验材料

Table 1 The materials analyzed

编号 No.	名称 Name	类型 Type	编号 No.	名称 Name	类型 Type	编号 No.	名称 Name	类型 Type
1	禅寺丸	PVNA	6	松太	PVNA	11	中柿6号	PCA
2	次郎	PCNA	7	早秋	PCNA	12	中柿7号	PCA
3	兴津20	PCNA	8	太秋	PCNA	13	中柿5号	PCA
4	阳丰	PCNA	9	甘秋	PCNA	14	中柿1号	PCA
5	新秋	PCNA	10	休宁扁塌柿	PCA	15	吊柿	PCA

注:PCNA,完全甜柿;PVNA,不完全甜柿;PCA,完全涩柿。
Note: PCNA, pollination constant and non-astringent; PVNA, pollination variant non-astringent; PCA, pollination constant astringent.

外观品质。

1)鲜果重:用电子秤称量鲜果重(Single fruit mass,SFM),精确到0.01 g。

2)果实横纵径:用游标卡尺测量果实的纵径(Fruit vertical diameter,FVD)和横径(Fruit horizontal diameter,FHD),精确到0.01 mm。

3)果形指数:果形指数(Fruit shape index,FSI)=果实纵径/果实横径。

4)果皮颜色:将取样的果实擦拭干净,色差测定采用日本柯尼卡美能达CR-400型色差仪。每次取15个果实,分别在果皮赤道处位置随机选取位置测定4次,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值。在 L^* 、 a^* 、 b^* 色空间中, L^* 是色坐标的y轴,表示亮度, L^* 值越大,亮度越高; a^* 和 b^* 分别代表色坐标的x轴和z轴, $+a^*/-a^*$ 分别表示红色/绿色方向,绝对值越大,颜色越深; $+b^*/-b^*$ 分别表示红黄色/蓝色方向,绝对值越大,颜色越深^[18]。

5)果实硬度:每个品种选取15个果实,采用GY-4果实硬度计(浙江路普仪器,探头8 mm)测定果实的硬度。

1.2.2 内在品质指标评价

1)单宁含量:可溶性单宁(Soluble tannins,ST)和不溶性单宁(Insoluble tannins,IT)采用Folin-Ciocalteu法,参考余轩^[19]的方法。以单宁酸为标准品,在725 nm处测定吸光度。

2)总酚含量:总酚(Total polyphenols,TP)含量的测定采用Folin-Ciocalteu法,参考韩卫娟等^[20]的方法。以没食子酸为标准品,在波长765 nm处测定吸光度,样品中总酚含量以没食子酸计。

3)果胶组分含量:水溶性果胶(Water soluble pectin,WSP)、离子结合果胶(Ironic soluble pectin,ISP)、共价结合果胶(Coalent soluble pectin,CSP)等果胶组分的提取参考齐秀东等^[21]的方法。以半乳糖醛酸为标准品,用咔唑比色法测定各果胶组分。

4)糖组分的测定及总糖、甜度值的计算:糖组分的提取参考杜改改等^[22]的方法并稍做修改。液氮研磨后,准确称取5.00 g果肉,加10 mL超纯水于80 ℃水浴中震荡提取60 min;冷却至室温后15 000 r/min离心20 min,转移上清液至25 mL容量瓶,10 mL超纯水重复提取1次,合并上清液后定容至25 mL;经0.22 μm微孔滤膜过滤后,用高效液相色谱法对果糖(Fructose,FT)、葡萄糖(Glucose,

GC)和蔗糖(Sucrose,SR)含量进行测定,3次重复,结果取平均值。

糖组分的测定:采用外标法定量。色谱柱为6.5 mm×300 mm Sugar-Pak I 色谱柱,柱温70 ℃,流动相为超纯水,流速为0.5 mL/min,检测器为Waters 410 示差折光检测器。总糖(Total sugar,TS)为果糖、葡萄糖和蔗糖含量之和^[23]。

1.2.3 质地品质评价

质地品质测定采用质构仪(SMS TA.XTPlusC,Stable Micro Systems公司,英国)对果实的果皮破裂距离(Pericarp break distance,PBD)、果皮韧性(Pericarp toughness,PTO)、皮肉跌落脆性(Pericarp to pulp brittleness,PPB)、果肉平均坚实度(Mean flesh firmness,MFF)、果肉脆性(Linear Distance,LD)、果肉纤维指数(Flesh fiber index,FFI)和紧实度(Compactness,Com.)等质地品质数据进行测定。测试时选取果实阳面中部较平整的部分作为测试面,将果实置于载物台上合适的位置,使探头贯入时正对果实中部。

质构仪采用P/2(直径2 mm)探头,进行位移测试模式,测试距离为10 mm,穿刺深度设为5 mm。设定测前速度为1.00 mm/s,贯穿速度为1.00 mm/s,测后速度为10.00 mm/s,最小感应力5 g,数据采集率500。

1.2.4 感官品质评价

选择15位专业人员组成感官评价小组,对果实的色泽、果皮厚薄度、甜度、汁液、质地、果肉粗细和风味等指标进行评价打分,按照0~5分进行评分,分值越高代表该指标越优。数据采用“合理-满意度”和多维价值理论分析法分析^[24-25],查阅相关资料及结合业内相关专家的意见,设定色泽(Colour,Col.)、果皮厚薄(Pericarp thickness,PTH)、甜度(Sweetness,Swe.)、汁液含量(Juice,Juc.)、质地(Texture,Tex.)、果肉粗细(Flup thickness,FT)、风味(Flavor,Fla.)的权重分别为0.1、0.05、0.35、0.1、0.1、0.1和0.2,参照焦艺^[25]的方法计算得到柿果实感官品质评价的综合得分,分值越高越符合人们对其感官品质的要求。

1.3 数据统计及分析

采用Excel 2016对原始数据进行处理和整合,运用SPSS 23.0和Origin 2023b软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 果实品质多样性分析

15份柿种质资源果实外观品质指标多样性如图1和图2所示。7个外观品质指标变异系数范围12.80%~79.37%,变异系数由大到小为 a^* (79.37%)

>单果质量(47.83%)> b^* (29.99%)>果形指数(21.99%)>果实横径(20.71%)> L^* (15.12%)>果实纵径(12.80%)。其中 a^* 和单果质量的变异系数均>30%,变异幅度相对较大; b^* 、果形指数、果实横径、 L^* 和果实纵径的变异系数均<30%,变异幅度相对较小。



(a)~(o)分别为禅寺丸、次郎、兴津20、阳丰、新秋、松太、早甜、太秋、甘秋、休宁扁塌柿、中柿6号、中柿7号、中柿5号、中柿1号和吊柿。
(a) to (o) are Zenjimaruru, Jiro, Okitsu-20, Youhou, Shinshuu, Songtai, Zaotian, Taiqiu, Kanshu, Xiuning-biantashi, Zhongshi 6, Zhongshi 7, Zhongshi 5, Zhongshi 1, and Diaoshi.

图1 柿种质资源果实剖面示意图

Fig. 1 Fruit profile diagram of different persimmon germplasms

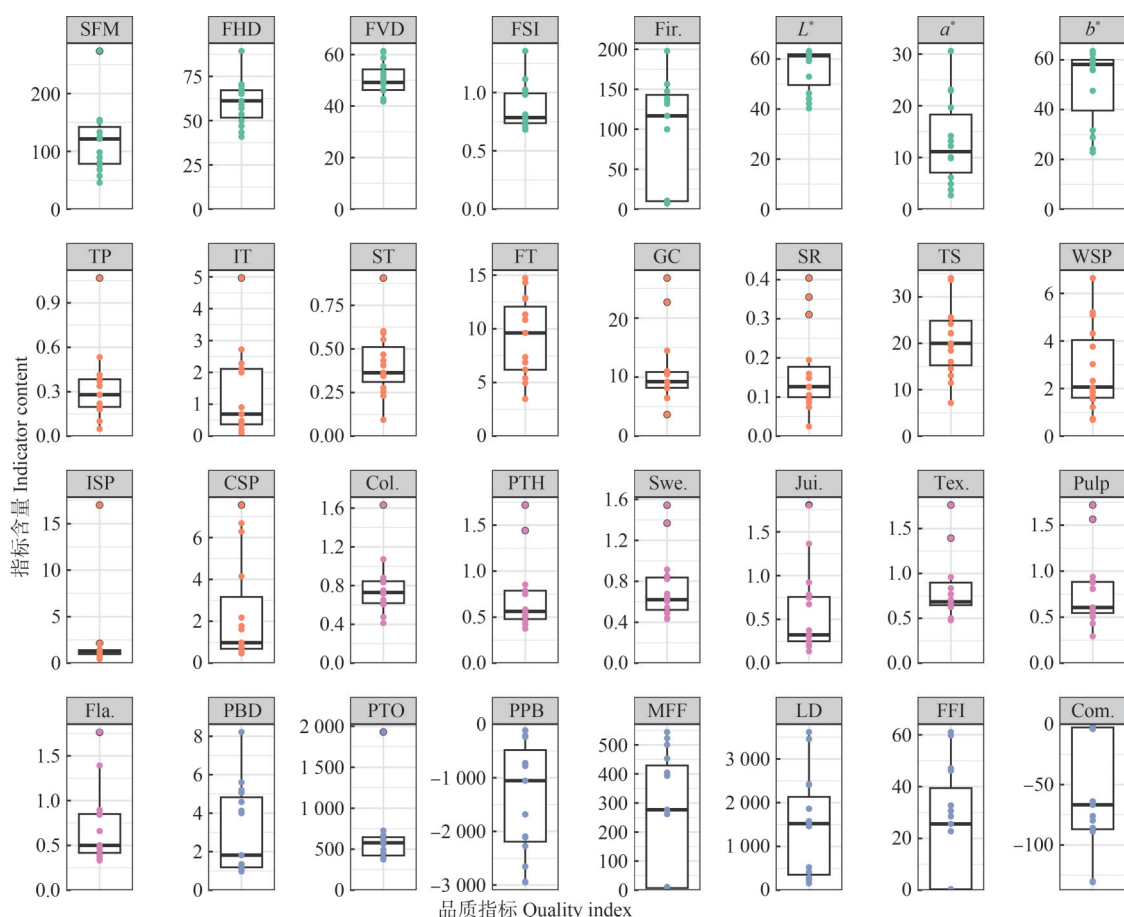
15份柿种质资源果实内在品质指标如图2所示。变异系数范围为36.90%~180.35%,变异系数由大到小为离子结合果胶(180.35%)>共价结合果胶(104.81%)>不溶性单宁(100.94%)>总酚(72.01%)>蔗糖(65.23%)>水溶性果胶(64.40%)

>葡萄糖(54.58%)>可溶性单宁(46.62%)>果糖(39.65%)>总糖(36.90%)。10个内在品质指标变异系数均>30%,说明变异程度均较高,具有丰富的多样性;且各指标之间极小值与极大值差异明显,说明内在品质指标变异幅度大、分布范围广。

7个质地品质指标的变异系数绝对值范围为60.14%~95.73%,变异系数绝对值由大到小为果肉纤维指数(95.73%)>紧实度(88.11%)>果肉平均坚实度(87.76%)>果肉脆性(79.33%)>皮肉跌落脆性(76.39%)>果皮破裂距离(72.74%)

>果皮韧性(60.14%)。质地品质指标变异系数均>50%,说明变异程度均较高,多样性显著。

感官评价结果如图2和图3所示。涩柿中‘红灯笼’‘吊柿’的感官评价总分最高,甜柿中‘太秋’‘阳丰’‘次郎’等种质感官评价总分排名较高。



SFM:单果质量; FHD:果实横径; FVD:果实纵径; FSI:果形指数; Fir.:硬度; L^* :亮度; a^* :红绿; b^* :黄蓝; TP:总酚; IT:不溶性单宁; ST:可溶性单宁; FT:果糖; GC:葡萄糖; SR:蔗糖; TS:总糖; WSP:水溶性果胶; ISP:离子结合果胶; CSP:共价结合果胶; Col.:色泽; PTH:果皮厚薄; Swe.:甜度; Jui.:汁液; Tex.:质地; Pulp.:果肉; Fla.:风味; PBD:果皮破裂距离; PTO:果皮韧性; PPB:皮肉跌落脆性; MFF:果肉平均坚实度; LD:果肉脆性; FFI:果肉纤维指数; Com.:紧实度。图4同。

SFM, single fruit mass; FHD, fruit horizontal diameter; FVD, fruit vertical diameter; FSI, fruit shape index; Fir., firmness; L^* , brightness; a^* , Red-green; b^* , Yellow-blue; TP, total polyphenols; IT, insoluble tannin; ST, soluble tannin; TS, total sugar; FT, fructose; GC, glucose; SR, sucrose; TS, total sugar; WSP, watersoluble pectin; ISP, ironic soluble pectin; CSP, covalent soluble pectin; Col., color; PTH, pericarp thickness; Swe., sweetness; Jui., juice; Tex., texture; Pulp., pulp thickness; Fla., flavor; PBD, pericarp break distance; PTO, pericarp toughness; PPB, pericarp to pulp brittleness; MFF, mean flesh firmness; LD, linear distance; FFI, flesh fiber index; Com., compactness. The same as Figure 4.

图2 柿不同种质果实品质指标多样性

Fig. 2 Diversity analysis of fruit quality indexes among different persimmon germplasms

2.2 果实品质性状相关性及聚类分析

柿种质果实品质指标的相关性分析如图4所示。色泽、果皮厚薄、甜味、汁液含量、质地等级、果肉粗细和柿味等感官评价指标与 L^* 、 b^* 呈极显著负相关关系($P<0.01$),与葡萄糖和总糖呈显著正相

关关系($P<0.05$),说明柿果实果皮颜色和含糖量能影响消费者的感官体验。此外,果实感官品质与果皮破裂距离呈极显著正相关关系($P<0.01$),与果肉平均坚实度和果肉纤维指数呈极显著负相关关系($P<0.01$),与紧实度呈显著正相关关系($P<$

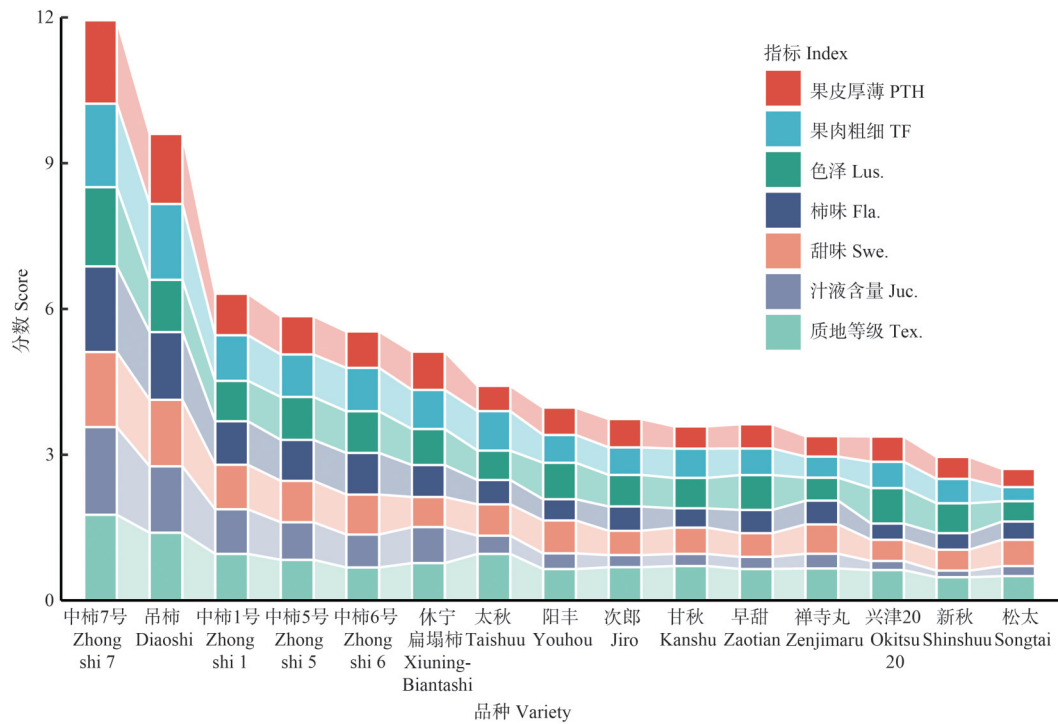
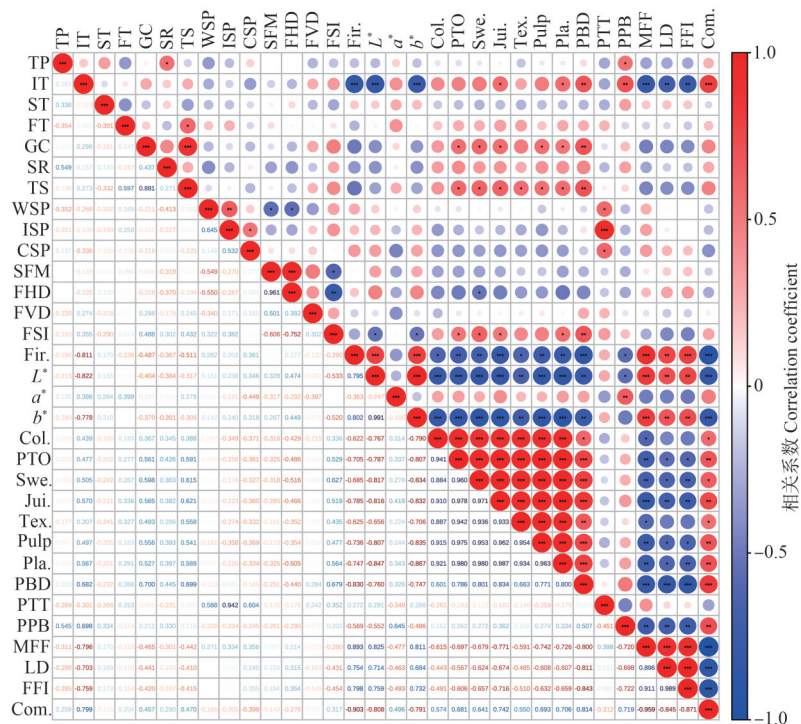


图3 柿不同种质果实感官评价得分

Fig. 3 Scores of sensory quality evaluation with different cultivars of persimmon fruit



*代表指标间显著相关($P<0.05$);**代表指标间极显著相关($P<0.01$). 数字和圆形颜色深浅及大小表示相关性大小,蓝色表示负相关,红色表示正相关。

*, the difference is significant at level 0.05; **, the difference is extremely significant at level 0.01. The number and the circle's color depth and size indicate the correlation size, blue indicates the negative correlation, and red indicates the positive correlation.

图4 果实品质相关性分析

Fig. 4 Pearson correlation of persimmon fruit quality indexes

0.05)。不溶性单宁含量与果皮破裂距离、果肉跌落脆性和紧实度含量呈极显著正相关关系($P<0.01$),与果肉平均坚实度、果肉脆性和果肉纤维指数呈极显著负相关关系($P<0.01$);果皮韧性与水溶性果胶、共价结合果胶呈显著正相关关系($P<0.05$),与离子结合果胶呈极显著正相关关系($P<0.01$);果实硬度与不溶性单宁含量、果皮破裂距离、果肉跌落脆性和紧实度呈极显著负相关关系($P<0.05$),与果肉平均坚实度、果肉脆性和果肉纤维

指数呈极显著的正相关关系($P<0.01$),说明单宁和果胶含量是影响柿果实质地品质的重要因素。

对15份材料的32个果实品质性状进行了系统聚类分析(图5)。15份样品聚类为两类,9份甜柿种质资源聚为一类,6份涩柿种质资源聚为一类,说明甜、涩柿果实品质存在显著性差异。水溶性果胶、离子结合果胶、共价结合果胶、果皮韧性、果肉平均坚实度、果肉脆性、果肉纤维指数、果实硬度、 L^* 和 b^*

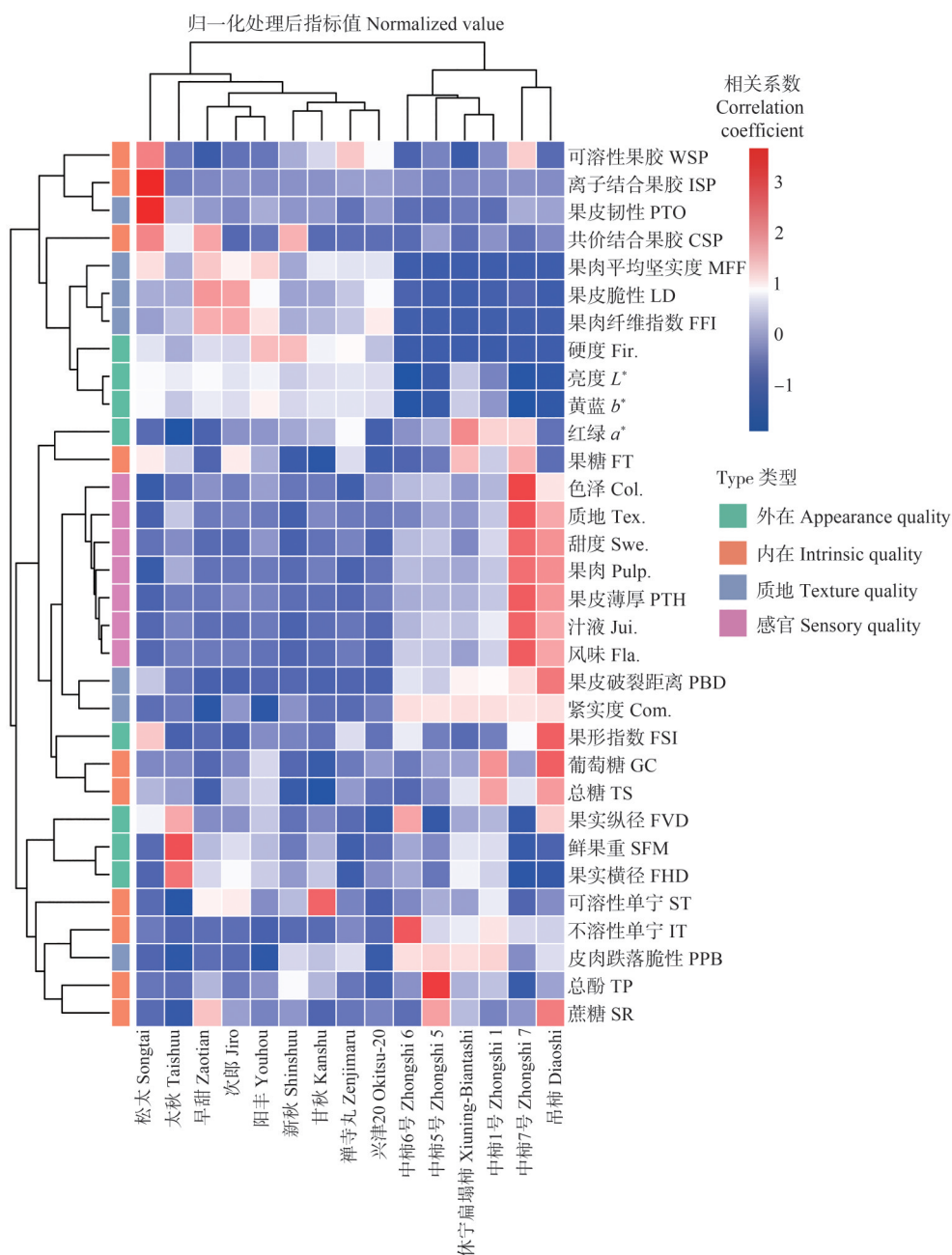


图5 果实品质聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of fruit quality

等10个指标聚为一类,葡萄糖、果糖、总糖、 a^* 、果形指数、色泽、质地、甜度、果肉粗细、果皮厚薄、汁液、风味、果皮破裂距离和紧实度等14个指标聚为一类,纵径、鲜果重、横径、可溶性单宁、不溶性单宁、皮肉跌落脆性、总酚和蔗糖等8个指标聚为一类。

2.3 果实品质性状主成分分析

对15份柿果实的32个品质指标进行主成分分析,结果如表2所示。前7个主成分的特征值 >1 ,且累计贡献率达到91.92%。7个主成分的贡献率分别为46.09%、13.29%、9.39%、8.45%、6.40%、4.81%和3.49%。第1主成分中质地的正向特征

值最大,为0.93;第2主成分中不溶性单宁正向特征值最大,为0.86;第3主成分中可溶性果胶的正向特征值最大,为0.66;第4主成分中果皮韧性的正向特征值最大,为0.88;第5主成分中葡萄糖的正向特征值,最大为0.84;第6主成分中总酚的正向特征值最大,为0.84;第7主成分中果糖的正向特征值最大,为0.75。从32个品质指标中提取出质地、不溶性单宁、可溶性果胶、果皮韧性、葡萄糖、总酚和果糖等7个果实品质性状,这些性状是构成柿果实品质性状多样性的主要因素,可作为柿种质资源的评价指标。

表2 柿不同种质果实间品质指标主成分分析

Table 2 Principal component analysis of fruit quality indexes among different persimmon germplasms

指标 Index	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
鲜果重 SFM	-0.17	-0.06	-0.96	-0.01	0.02	-0.12	-0.01
横径 FHD	-0.33	-0.16	-0.91	-0.11	-0.07	-0.09	0.00
纵径 FVD	-0.12	0.24	-0.44	0.27	0.50	-0.35	-0.47
果形指数 FSI	0.35	0.26	0.59	0.32	0.46	-0.13	-0.30
硬度 Fir.	-0.54	-0.72	0.14	0.07	-0.18	-0.08	-0.09
L^*	-0.66	-0.65	-0.17	0.11	-0.03	-0.06	0.25
a^*	0.04	0.46	0.28	-0.41	0.02	0.04	0.68
b^*	-0.72	-0.60	-0.12	0.06	0.01	-0.06	0.24
总酚 TP	-0.15	0.36	-0.08	-0.07	-0.15	0.84	-0.03
不溶性单宁 IT	0.25	0.86	0.02	-0.16	0.10	-0.09	-0.15
可溶性单宁 ST	-0.35	-0.03	0.15	-0.49	-0.08	0.37	0.00
果糖 FT	0.23	0.04	-0.12	0.26	0.24	-0.33	0.75
葡萄糖 GC	0.36	0.20	0.02	-0.04	0.84	0.13	0.01
蔗糖 SR	0.34	0.04	0.16	-0.09	0.32	0.80	-0.15
总糖 TS	0.40	0.18	-0.04	0.09	0.79	-0.05	0.36
可溶性果胶 WSP	-0.04	-0.12	0.66	0.44	-0.25	-0.36	0.24
离子结合果胶 ISP	-0.31	0.01	0.36	0.81	0.10	-0.17	0.09
共价结合果胶 CSP	-0.24	-0.20	-0.09	0.75	-0.11	0.34	-0.14
色泽 Col.	0.93	0.19	0.14	-0.17	-0.03	0.02	0.07
果皮厚薄 PTH	0.90	0.28	0.17	-0.09	0.22	0.02	0.09
甜度 Swe.	0.86	0.33	0.19	-0.01	0.26	-0.03	0.02
汁液 Jui.	0.85	0.41	0.13	-0.06	0.22	0.01	0.16
质地 Tex.	0.93	0.14	0.05	-0.04	0.16	-0.07	0.13
果肉 Pulp	0.90	0.32	0.02	-0.12	0.20	0.01	-0.02
风味 Fla.	0.88	0.36	0.18	-0.06	0.19	0.01	0.06
果皮破裂距离 PBD	0.53	0.64	0.13	0.18	0.48	0.09	0.03
果皮韧性 PTO	-0.15	-0.17	0.22	0.88	0.10	-0.18	0.04

表 2（续）

指标 Index	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
皮肉跌落脆性 PPB	−0.07	0.82	0.21	−0.33	0.05	0.33	0.07
果肉平均坚实度 MFF	−0.49	−0.82	0.09	0.15	−0.09	−0.12	−0.09
果肉脆性 LD	−0.32	−0.87	−0.07	−0.07	−0.12	−0.03	−0.09
果肉纤维指数 FFI	−0.35	−0.88	−0.09	−0.10	−0.10	−0.05	−0.11
紧实度 Com.	0.44	0.82	0.00	−0.13	0.13	0.08	0.14
特征值 Characteristic value	14.75	4.25	3.01	2.70	2.05	1.54	1.12
贡献率/% Contribution rate	46.09	13.29	9.39	8.45	6.40	4.81	3.49
累计贡献率/% Total contributions	46.09	59.39	68.78	77.22	83.62	88.43	91.92

3 讨论与结论

果实品质是多个品质指标综合作用的结果,果实品质评价是筛选和定向培育优良品种的重要依据^[26]。近年来,学者们利用相关性、聚类分析和主成分分析等方法对果实品质进行综合评价,将多个评价指标转化为可以反映整体品质的代表性指标^[27-29]。张伟清等^[27]对 20 个柑橘果实品质指标进行主成分分析,发现蔗糖含量、果糖含量、单果质量、果形指数和维生素 C 含量是综合评价柑橘果实品质的主要指标;程文强等^[12]应用质构仪和电子舌测定了 20 份甜柿种质的 11 项口感指标,筛选出‘亚林 46 号’‘上总’‘富有’等口感优异的柿种质;吕英忠等^[30]对山西 18 个主栽柿品种 10 个内在和感官品质指标进行了综合评价,将 14 项品质指标降维成总酚、类黄酮、ABTS 自由基清除能力和 DPPH 自由基清除能力等 4 项代表性指标。前人虽对柿果实品质进行了一定的探索,但未将内在、外观、感官和质地品质相结合,评价指标相对单一。本研究通过对外观、内在、感官和质地等 32 个品质指标进行测定,将仪器分析与感官评价相结合,可以更系统地评价柿果实品质。

本研究表明 32 个品质指标变异系数在 12.80%~180.35%,其中 a^* 、总酚、不溶性单宁、葡萄糖、蔗糖、果胶以及质地品质指标变异系数均在 50% 以上,这与吕英忠等^[30]和梁玉琴^[14]的研究结果一致。说明柿果实品质变异程度高,多样性丰富,因此通过柿果实品质评价,可以有效地筛选出品质优异的柿种质资源,有效的促进柿种质资源的开发利用。

聚类分析可以更好地分析各种质特点,对种质

资源分类、优良种质筛选和利用均有较好的指导作用^[31]。本研究将 15 份种质聚为 2 类,9 份甜柿种质聚为一类,6 份涩柿种质聚为一类,说明甜、涩柿果实品质存在显著差异。目前柿种质资源的分类主要根据果实的脱涩类型来划分,主要分为甜柿和涩柿两大类型^[32],这与本研究根据果实品质聚类分析的结果一致。此外,涩柿在我国的种植历史悠久^[33],日本甜柿于 70 年代末才开始引入我国,种植年限相对较短,我国消费者更青睐具有传统柿味的涩柿果实,这可能是造成这种差异的另外一个重要原因。

本研究表明,32 项品质指标间存在密切的相关性,导致评价过程中产生信息重叠。主成分分析可以将多个存在相关关系的性状指标在保留大部分信息的基础上,简化为几个彼此独立、相关性较小的综合指标,从而避免重叠信息^[34-35]。近年来研究者使用主成分分析对黄瓜^[11]、桃^[13]、梨^[24]和杨梅^[29]等的果实品质进行了综合评价。本研究利用主成分分析的方法,将 32 个评价指标简化为不溶性单宁、可溶性果胶、葡萄糖、总酚、果糖、果皮韧性和质地 7 个代表性指标,累积方差贡献率达到 91.92%,代表了 32 项品质指标的大部分信息,可以作为评价柿果实品质的一种简要方法。

果实评价研究是培育优良品种和精深加工利用的重要基础。本研究通过对 15 份柿种质资源的外观品质、内在品质、质地品质和感官品质进行系统地评价,可为柿新品种培育和深入开发利用提供理论依据。

参考文献 References

[1] Ryu S, Muramatsu T, Furihata K, Wei F F, Koda M, Miyakawa T, Tanokura M. NMR-based metabolic profiling and comparison of Japanese

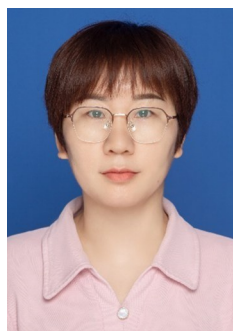
- persimmon cultivars[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 15011
- [2] Wang Z, Gao M, Li X, Ning J L, Zhou Z D, Li G Y. Efficient adsorption of methylene blue from aqueous solution by graphene oxide modified persimmon tannins[J]. *Materials science & engineering, C. Materials for Biological Applications*, 2020, 108: 110196
- [3] Liang Y, Han W, Sun P, Y, Liang J J, Wu Y T, Li F D, Fu J M. Genetic diversity among germplasms of *Diospyros kaki* based on SSR markers[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 186: 180-189
- [4] Han W J, Zhang Q, Pu T T, Wang Y R, Li H W, Luo Y, Li T S, Fu J M. Diversity of fruit quality in astringent and non-astringent persimmon fruit germplasm[J]. *Horticulturae*, 2022, 9(1): 24
- [5] 韩卫娟, 李加茹, 梁玉琴, 李华威, 李畅, 傅建敏. 柿果实和叶片中可溶性单宁含量的年变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2015, 39(6): 61-66
Han W J, Li J R, Liang Y Q, Li H W, Li C, Fu J M. Annual variation of soluble tannin in the fruits and leaves of persimmon[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2015, 39(6): 61-66 (in Chinese)
- [6] 宋杰, 李世峰, 刘丽娜, 李树发, 解玮佳, 关文灵. 云南含笑天然居群的表型多样性分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(2): 272-279
Song J, Li S F, Liu L N, Li S F, Xie W J, Guan W L. Phenotypic diversity of natural populations of *Michelia yunnanensis* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, 33 (2): 272-279 (in Chinese)
- [7] 韩卫娟, 蒲婷婷, 王艺儒, 李华威, 索玉静, 孙鹏, 黄琳, 傅建敏. 甜、涩柿发育过程中果实品质指标变化规律[J]. 林业科技通讯, 2023(6): 4-11
Han W J, Pu T T, Wang Y R, Li H W, Suo Y J, Sun P, Huang L, Fu J M. Changes of fruit quality in the growth and development of astringent and non astringent persimmon[J]. *Forest Science and Technology*, 2023 (6): 4-11 (in Chinese)
- [8] 徐强, 郝玉金, 黄三文, 邓秀新. 果实品质研究进展[J]. 中国基础科学, 2016, 18(1): 55-62
Xu Q, Hao Y J, Huang S W, Deng X X. Advances in fruit quality researches[J]. *China Basic Science*, 2016, 18(1): 55-62 (in Chinese)
- [9] Magwaza S L, Opara L U, Nieuwoudt H, Paul J R, Cronje, Wouter S, Bart N. Nir spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit: A review[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(2): 425-444
- [10] 申素云, 王周倩, 张琦, 杨洁, 韩飞, 钟彩虹, 王传华, 黄文俊. 36份猕猴桃种质资源的果实品质与感官评价分析[J]. 植物科学学报, 2023, 41(4): 540-551
Shen S Y, Wang Z Q, Zhang Q, Yang J, Han F, Zhong C H, Wang C H, Huang W J. Analysis of fruit quality and sensory evaluation of 36 kiwifruit (*Actinidia*) germplasm accessions [J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(4): 540-551 (in Chinese)
- [11] 由美千惠, 秦智伟, 辛明, 周秀艳. 黄瓜种质资源食味性感官品质评价[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(12): 101-106
You M J H, Qin Z W, Xin M, Zhou X Y. Sensory evaluation of taste of cucumber germplasm resources [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2021, 34(12): 101-106 (in Chinese)
- [12] 程文强, 龚榜初, 吴开云, 杨旭, 王衍鹏, 范金根, 滕国新, 刘翠玉, 徐阳. 基于质构仪与电子舌的甜柿口感品质综合评价[J]. 果树学报, 2022, 39(7): 1281-1294
Cheng W Q, Gong B C, Wu K Y, Yang X, Wang Y P, Fan J G, Teng G X, Liu C Y, Xu Y. Comprehensive evaluation of taste quality of non-astringent persimmon based on texture analyzer and electronic tongue [J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(7): 1281-1294 (in Chinese)
- [13] 焦艺, 毕金峰, 刘璇, 曾目成, 阮卫红, 陈芹芹. 桃品质评价研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2014, 7: 55-59, 62
Jiao Y, Bi J F, Liu X, Zeng M C, Ruan W H, Chen Q Q. Research progress on quality evaluation of peach[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2014, 7: 55-59, 62 (in Chinese)
- [14] 梁玉琴. 河南省柿种质资源遗传多样性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015
Liang Y Q. Study on genetic diversity of persimmon germplasms in Henan Province [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2015 (in Chinese)
- [15] 王艺儒, 刁松锋, 韩卫娟, 王军, 李华威, 孙鹏, 傅建敏, 索玉静. 甜柿杂交 F₁ 代重要性状及果实表型多样性[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(12): 76-88
Wang Y R, Diao S F, Han W J, Wang J, Li H W, Sun P, Fu J M, Suo Y J. Important characters and fruit phenotypic diversity of F₁ hybrid of non-astringent persimmon [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(12): 76-88 (in Chinese)
- [16] 张琦, 蒲婷婷, 王艺儒, 韩卫娟, 索玉静, 白玉娥, 傅建敏. 柿杂交 F₁ 代果实性状的遗传多样性[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(5): 140-148
Zhang Q, Pu T T, Wang Y R, Han W J, Suo Y J, Bai Y E, Fu J M. Genetic diversity of the fruit traits of F₁ persimmon progenies[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2023, 43(5): 140-148 (in Chinese)
- [17] 张悦, 索玉静, 孙鹏, 韩卫娟, 刁松锋, 李华威, 张嘉嘉, 傅建敏, 李芳东. 柿种质资源果实形态多样性分析[J]. 园艺学报, 2022, 49(7): 1473-1490
Zhang Y, Suo Y J, Sun P, Han W J, Diao S F, Li H W, Zhang J J, Fu J M, Li F D. Analysis on fruit morphological diversity of persimmon germplasm [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2022, 49(7): 1473-1490 (in Chinese)
- [18] 曹坤, 韩卫娟, 傅建敏, 索玉静, 孙鹏, 刁松锋, 李华威. 无核君迁子果实发育过程中品质变化规律研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(4): 124-130
Cao K, Han W J, Fu J M, Suo Y J, Sun P, Diao S F, Li H W. Changes of fruit quality in the grower and development of seedless dateplum persimmon[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2021, 36(4): 124-130 (in Chinese)
- [19] 余轩. ‘磨盘柿’果实乙醇和冻融脱涩技术的研究[D]. 湖北: 华中农业大学, 2010
Yu X. Study on ethanol and freeze-thaw deastringent technology of ‘Mopan persimmon’ fruit [D]. Hubei: Huazhong Agricultural University, 2010 (in Chinese)
- [20] 韩卫娟, 李加茹, 李华威, 梁玉琴, 孙鹏, 傅建敏. 不同(品)种柿叶总酚与总黄酮含量年动态变化研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(2): 31-40
Han W J, Li J R, Li H W, Liang Y Q, Sun P, Fu J M. Annual variation of total polyphenol and flavonoid contents in leaves of different species (varieties) of *Diospyros* [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(2): 31-40 (in Chinese)
- [21] 齐秀东, 魏建梅, 高海生, 贾艳茹, 张海娥. 梨果实发育软化与果胶多糖降解特性的关系[J]. 中国农业科学, 2015, 48(15): 3027-3037
Qi X D, Wei J M, Gao H S, Jia Y R, Zhang H E. Pectin polysaccharide degradation in relation to the texture softening in pear fruit[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(15): 3027-3037 (in Chinese)
- [22] 杜改改, 李泰山, 刁松锋, 张嘉嘉, 傅建敏, 李芳东, 杨绍彬. 6个杏李品种果实甜酸风味品质分析[J]. 果树学报, 2017, 34(1): 41-49
Du G G, Li T S, Diao S F, Zhang J J, Fu J M, Li F D, Yang S B. Evaluation of flavor quality in relation to sugars and acids of six *Prunus domestica* × *armeniaca* cultivars [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34 (1): 41-49 (in Chinese)
- [23] 韩卫娟, 傅建敏, 王丽媛, 王艺儒, 刁松锋, 李华威, 孙鹏, 索玉静. 油柿果实成熟过程中生理指标的变化规律[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(9): 14-21
Han W J, Fu J M, Wang L Y, Diao S F, Li H W, Sun P, Suo Y J.

- Research on physiological qualities during fruit ripening of *Diospyros oleifera* Cheng[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, 41(9): 14-21 (in Chinese)
- [24] 黄曙光, 杨谷良, 方传锦. 运用多维价值理论对40个梨品种果品品质的评价[J]. *湖南林业科技*, 2003(4): 26-27
- Huang S G, Yang G L, Fang C J. The fruit quality of 40 pear varieties was evaluated by using multidimensional value theory [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2003(4):26-27 (in Chinese)
- [25] 焦艺. 不同桃品种鲜食和制汁品质评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014
- Jiao Y. Research on the quality method for fresh and juice of different peach varieties[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014 (in Chinese)
- [26] 李慧, 魏天军. 30个鲜食枣种质果实品质综合评价[J]. *中国果树*, 2024(2):68-74
- Li H, Wei T J. Comprehensive evaluation of fruit quality of 30 fresh jujube germplasms[J]. *China Fruits*, 2024(2):68-74 (in Chinese)
- [27] 张伟清, 林媚, 王天玉, 孙立方, 冯先橘, 姚周麟, 徐程楠, 王玥. 基于PCA分析和聚类分析的柑橘果实品质综合评价[J]. *果树学报*, 2023, 40(5): 902-918
- Zhang W Q, Lin M, Wang T Y, Sun L F, Feng X J, Yao Z L, Xu C N, Wang Y. Comprehensive evaluation of citrus fruit quality based on principal component and cluster analysis[J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(5): 902-918 (in Chinese)
- [28] 张彦山, 肖正璐, 顾群英, 豆丽萍, 何博. 宁县黄甘桃果实品质综合评价[J]. *果树学报*, 2024, 41(1): 65-75
- Zhang Y S, Xiao Z L, Gu Q Y, Dou L P, He B. Comprehensive evaluation of the fruit quality of yellow-flesh peaches in Ningxian [J]. *Journal of Fruit Science*, 2024, 41(1): 65-75 (in Chinese)
- [29] 赵双, 黄颖宏, 郝红丽. 30个杨梅品种果实品质分析与综合评价[J]. *果树学报*, 2024, 41(3): 392-402
- Zhao S, Huang Y H, Qi H L. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 30 bayberry varieties[J]. *Journal of Fruit Science*, 2024, 41(3): 392-402 (in Chinese)
- [30] 吕英忠, 李卓, 张拥兵, 梁志宏. 不同柿果实品质分析及综合评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(18):180-186
- Ly Y Z, Li Z, Zhang Y B, Liang Z H. Analysis and comprehensive evaluation on fruit quality of different persimmon varieties[J]. *Food & Fermentation Industry*, 2020, 46(18):180-186 (in Chinese)
- [31] 杜庆鑫, 庆军, 刘攀峰, 王璐, 杜兰英, 何凤, 杜红岩. 杜仲种质资源果实性状变异及综合评价[J]. *林业科学研究*, 2021, 34(5): 13-23
- Du Q X, Qing J, Liu P F, Wang L, Du L Y, He F, Du H Y. Variation in fruit traits of *Eucommia ulmoides* germplasm resources and their comprehensive evaluation [J]. *Forest Research*, 2021, 34(5): 13-23 (in Chinese)
- [32] Sugiura A. Retrospects and prospects on persimmon research [J]. *Acta Horticulturae*, 2005, 685: 177-187
- [33] 陈玉玲, 王其海, 夏乐晗, 冯义彬, 乔书瑞. 河南地区9个柿品种果实品质评价[J]. *经济林研究*, 2017, 35(3):199-202
- Chen Y L, Wang Q H, Xia L H, Feng Y B, Qiao S R. Fruit quality evaluation on nine cultivars of persimmon in Henan region [J]. *Nonwood Forest Research*, 2017, 35(3): 199-202 (in Chinese)
- [34] 常虹, 张翼钊, 钱建平, 李文生, 王云香, 周家华, 王宝刚. 不同品种猕猴桃多酚和类胡萝卜素组成的主成分分析[J]. *食品研究与开发*, 2024, 45(15): 155-163
- Chang H, Zhang Y Z, Qian J P, Li W S, Wang Y X, Zhou J H, Wang B G. Principal component analysis of polyphenols and carotenoids in different kiwifruit cultivars [J]. *Food Research and Development*, 2024, 45(15): 155-163 (in Chinese)
- [35] 包九零, 乔光, 刘沛宇, 陈楠, 文晓鹏. 不同品种大樱桃果实品质的评价[J]. *华中农业大学学报*, 2016, 35(3):12-16
- Bao J L, Qiao G, Liu P Y, Chen N, Wen X P. Evaluating fruit qualities of different sweet cherry cultivars [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2016, 35(3):12-16 (in Chinese)

责任编辑:董金波



第一作者简介: 张琦, 硕士研究生。本科就读于内蒙古农业大学林学院园林专业, 硕士就读于内蒙古农业大学林学院林业专业。硕士期间参与柿品种创新课题。以第一作者身份发表中文核心论文2篇, 以共一作者身份发表论文2篇。



通讯作者简介: 韩卫娟, 博士, 副研究员。任职于中国林业科学研究院经济林研究所柿属植物科研团队, 主要开展柿属植物种质资源精细评价及高值化加工利用研究等工作。先后主持河南省科技公关项目1项、中国林科院面上项目1项、国家重点研发计划子课题1项; 以第一作者或通讯作者发表相关学术论文28篇 (SCI收录10篇); 发布国家标准1项, 获得国家植物新品种权1个, 参编著作1部。