

枣果实质地性状多样性分析

苏万龙¹, 赵爱玲¹, 王永康¹, 付甲天^{1,2}, 任海燕¹, 薛晓芳¹, 石美娟¹, 刘丽¹, 李毅¹, 李登科¹

(¹山西农业大学果树研究所/果树种质创制与利用山西省重点实验室, 太原 030031; ²山西农业大学园艺学院, 晋中 030800)

摘要: 对 202 份枣果的 7 个质地性状进行了测定, 采用变异系数、多样性指数估算以及相关性分析和聚类分析等方法进行综合评价。结果表明, 果肉含水率和果肉密度变异系数小于 10%, 其余 5 个性状的变异较大, 变异系数范围为 15.51%~33.03%; 多样性指数范围在 1.96~2.10 之间, 说明供试种质多样性丰富。相关性分析表明, 果皮穿刺强度、果肉硬度、果肉紧实度、果皮脆性等性状间相关性极显著。通过主成分分析提取到 2 个主成分, 累计贡献率为 63.170%。结合主成分分析与逐步回归分析表明果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度、果皮脆性是枣果质地性状变异的主要因素, 可作为种质资源鉴定的指导性关键性状。通过主成分方差贡献率计算枣果质地性状的综合值 H, 依据 H 值利用系统聚类法把 202 份枣种质分为酥脆多汁型(H 值为 -2.62~-0.41)、较致密多汁型(H 值为 -0.33~-0.77)和致密少汁型(H 值为 0.86~4.81)3 类。研究结果为枣种质质地性状的鉴定评价以及开发利用提供了重要依据。

关键词: 枣; 果实质地; 表型多样性

Diversity Analysis of Fruit Texture Traits in Jujube

SU Wanlong¹, ZHAO Ailing¹, WANG Yongkang¹, FU Jiatian^{1,2}, REN Haiyan¹, XUE Xiaofang¹,

SHI Meijuan¹, LIU Li¹, LI Yi¹, LI Dengke¹

(¹Institute of Fruit Trees, Shanxi Agricultural University/Shanxi Key Laboratory of Fruit Germplasm Creation and Utilization, Taiyuan 030031; ²College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030800)

Abstract: In this paper, seven characteristics of fruit texture in 202 jujube were measured and evaluated by coefficient of variation, index of diversity, correlation analysis and cluster analysis. The variation coefficient and diversity index showed that the variation coefficient of pulp moisture content and pulp density was less than 10%, and the variation coefficient of the other 5 traits were larger, ranging from 15.51% to 33.03%. The diversity index ranged from 1.96 to 2.10, indicating that the tested germplasms were rich in diversity. The correlation analysis showed that there were extremely significant correlation between pericarp puncture strength, mean pulp firmness, pulp compactness and pericarp to pulp brittleness. Two principal components were extracted by principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 63.17%. Combined with principal component analysis and stepwise regression analysis, the results showed that mean pulp firmness, pericarp puncture strength, pulp compactness and pericarp to pulp brittleness were the main factors of fruit quality land character variation, and could be used as the guiding key traits for germplasm resource identification. The

收稿日期: 2024-02-29 网络出版日期: 2024-09-19

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240229002>

第一作者研究方向为枣种质鉴定评价、果实品质形成调控机理以及新种质创制, E-mail: vm211008@sxau.edu.cn

通信作者: 李登科, 研究方向为枣种质资源和育种研究, E-mail: ldkzao@126.com

基金项目: 山西省基础研究计划(202203021212461); 博士毕业生、博士后研究人员来晋工作奖励专项(SXBYKY2022074); 山西农业大学博士科研启动项目(2022BQ16); 山西省科技重大专项计划(202201140601027-4); 果树种质创制与利用山西省重点实验室开放基金(PILAB2023150503); 国家现代农业产业技术体系(CARS-30-1-07, CARS-30-ZZ-22); 国家科技资源共享服务平台项目(NHGRC2021-NH12-1)

Foundation projects: Basic Research Project of Shanxi Province(202203021212461); Doctoral Graduates, Postdoctoral Researchers to Work in Jin Special Award(SXBYKY2022074); Shanxi Agricultural University Doctoral Research Project(2022BQ16); Shanxi Province Science and Technology Major Special Plan(202201140601027-4); Fruit Germplasm Creation and Utilization Key Laboratory of Shanxi Province Open Fund(PILAB2023150503); China Agriculture Research System(CARS-30-1-07, CARS-30-ZZ-22); National Science and Technology Infrastructure Project(NHGRC2021-NH12-1)

comprehensive value H of jujube fruit quality was calculated by the variance contribution rate of principal components. According to the H value, 202 jujube germplasm were divided into crisp and juicy type (H value, -2.62 – -0.41), dense and juicy type (H value, -0.33 – -0.77) and dense and low-juicy type (H value, 0.86 – 4.81) by systematic clustering method. The results provided an important basis for the identification, evaluation, development and utilization of the texture characters of jujube.

Key words: *Ziziphus jujuba*; fruit texture; phenotypic diversity

枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 是我国重要的经济树种, 种质资源丰富, 有记载的品种就有 700 多种^[1]。经过 3000 多年的栽培驯化和自然选择过程^[2], 不同种质的枣果质地品质形成了明显差异。对枣果质地品质进行精准鉴定, 分析枣果质地品质遗传多样性对枣种质的开发利用以及枣品质育种具有重要意义。

目前, 对枣种质遗传多样性研究主要以枣果的大小、单果重、颜色等外观品质以及糖酸、维 C、黄酮类物质等内在品质为主。杨磊等^[3]分析了新疆保存的 118 份枣种质的果实形状、果肉颜色、果实颜色、果点密度、口感质地等性状的多样性系数, 认为参试种质的多样性丰富; 通过聚类分析把 118 份资源划分为 5 类, 其中第 3 类和第 5 类资源分别为无核与适用生态林特异型种质。吴昊等^[4]分析了 116 份枣种质的单果重、可滴定酸含量、维 C 含量、口感质地等 20 多个性状, 认为果实横径、果实纵径、单果重等指标多样性较为丰富, 同时通过综合评价筛选了 14 份特异性种质。

果实质地品质的评价主要以感官评价和质构仪评价为主。感官评价易受到人为因素以及环境因素的影响, 评价结果不稳定。质构仪可对果实相关结构性状进行无差别准确地测定, 是近年来在食品质地评价方面使用较多的方法, 能较好地反映果实在咀嚼时, 水果本身的硬度、韧性、紧实度、纤维指数等性状表现出的感受。质构仪的使用推动了水果质地品质精准鉴定的快速发展^[5-6]。前人对枣果质地品质多样性的鉴定评价同其他果树一样主要以感官评价为主, 同时正在利用质构仪开展评价。马庆华等^[7]利用穿刺法分析了不同产地的冬枣质地相关性状, 发现随着果实发育和贮藏时间的延长, 冬枣质地存在差异。杨植等^[8]基于多面分析法 (TPA, texture profile analysis) 分析了枣的弹性、咀嚼性等质地相关指标, 把 56 份枣种质分为低弹质软、高弹质硬以及中间类型 3 类。赵爱玲等^[9]通过穿刺法分析了 7 个枣品种不同发育时期的质地性状, 认为脆熟期是鉴定枣果质地性状的关键时期。已有的研究缺乏对大群体枣种质果实质地性状的精准鉴定及多样性分析。因此, 本研究对国家枣种

质资源圃收集保存的不同用途的 202 份枣种质进行果实质地鉴定评价, 分析枣果质地性状的多样性, 探讨枣果质地性状评价的最佳参数, 以期为枣种质的开发利用和枣果质地性状评价及育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用材料来源于太谷国家枣种质资源圃 ($37^{\circ}23'N$, $112^{\circ}32'E$), 行距 5 m, 株距 4 m, 采样植株长势旺盛, 树龄 30 年, 肥水管理正常, 无病虫害。选取在生产中果实用途不同的代表性种质 202 份, 其中鲜食种质 71 份、干鲜兼用种质 84 份、制干种质 47 份。各省、市、自治区来源的材料数量分别为山西 57 份、河南 39 份、陕西 36 份、山东 24 份、河北 19 份、北京 6 份、安徽 5 份、湖南 5 份、浙江 3 份、天津 3 份、重庆 2 份、新疆 1 份、上海 1 份、江苏 1 份。基本信息详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.2024.0229002>, 附表 1。

1.2 试验方法

试验于 2023 年 8-9 月份进行。在果实脆熟期 (半红期), 选取树冠外围不同方位 3~6 年生枣股上枣吊中部有代表性枣果^[10], 带回实验室进行质地性状测定。

枣果质地性状的测定参照赵爱玲等^[9]的方法。采用英国 Stable Micro Systems 公司生产的 TA.XT plus 质构仪采用 P2 (圆柱形, 横截面积 3.14 mm^2) 探头在位移模式下对果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度、果肉纤维指数等性状进行测试。测试过程设定穿刺深度为 5 mm, 测前速度、测中速度和测后速度分别为 2 mm/s、1 mm/s、2 mm/s, 测试最小感应力为 5 g。每份种质选择生长状态一致, 具有代表性的 20~30 个枣果对赤道位置进行穿刺测定, 测定结果取平均值。为保持枣果平稳放置选择赤道部穿刺, 并用小刀削平穿刺位置的背部。

枣果果肉含水量采用烘干法, 参照院钦等^[11]的方法, 每份种质采用 20 个枣果进行测定。

枣果果肉密度采用固体密度计法, 参照韩俊杰

等^[12]的方法,每份种质采用20个枣果进行测定。

1.3 数据处理

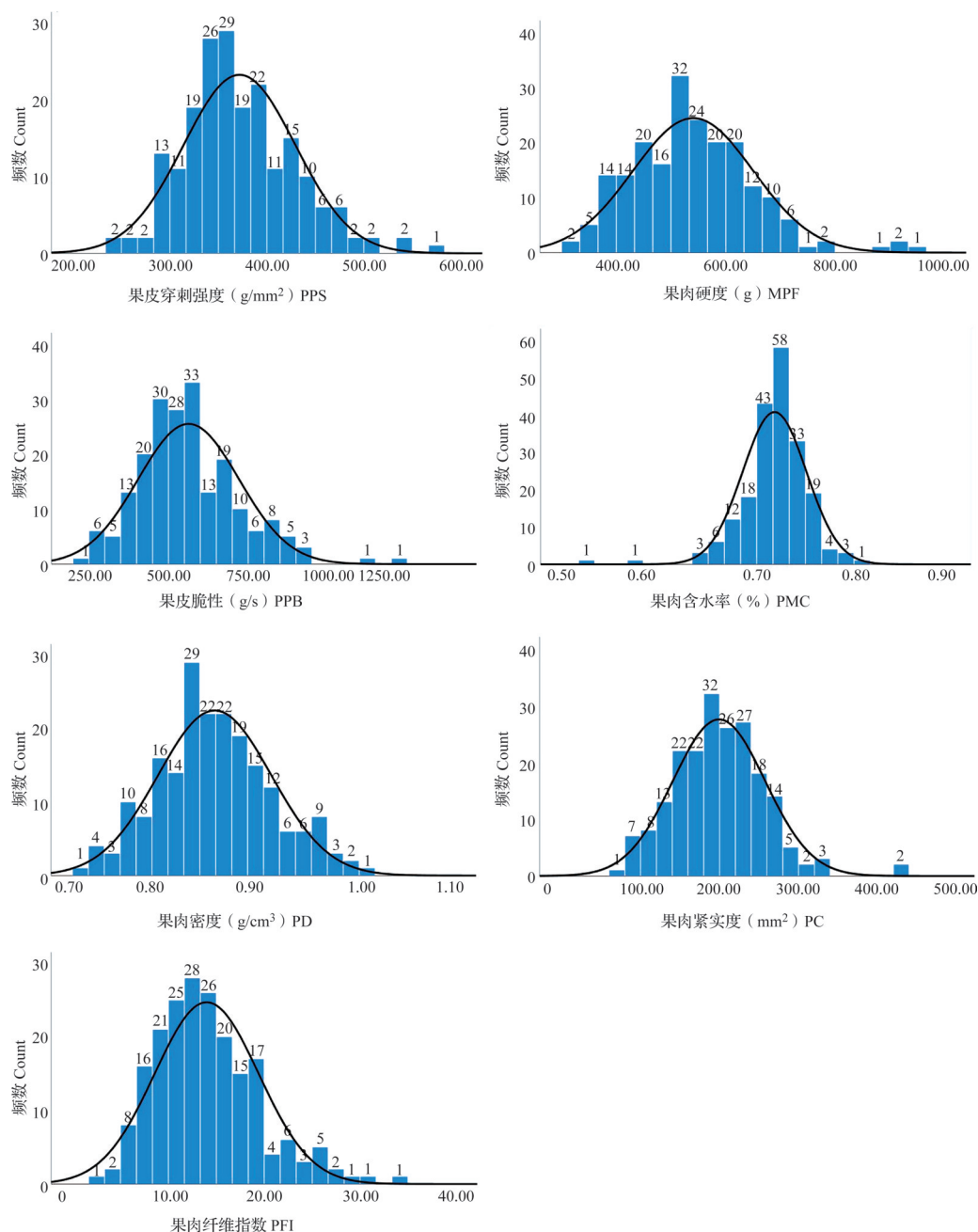
使用Excel对试验过程中测定的质地性状相关数据进行平均值、最大值、最小值、变异系数、标准偏差和多样性指数(H' , Shannon-Wiener diversity index)等统计分析;使用SPSS18.0软件进行数据标准化处理、相关性分析、主成分分析。标准化处理提取主成分,利用主成分分析因子系数 F_n 与权重 V_n 来计算综合得分值 H ,计算公式为 $H=V_1F_1+$

$V_2F_2+ \dots V_nF_n$;采用R语言4.3.2进行聚类分析(ward法);GraphPad Prism 9.0画图。

2 结果与分析

2.1 枣果质地性状的多样性分析

202份枣种质的果实质地性状测定结果表明(图1,表1,详见<https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240229002>,附表2),果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度、果肉含水率、果肉密度



PPS: Pericarp puncture strength; ; MPF: Mean pulp firmness; PPB: Pericarp to pulp brittleness; PMC: Pulp moisture content; PD: Pulp density; PC: Pulp compactness; PFI :Pulp fiber index; The same as below

图1 202份枣种质果实质地性状的数量分布

Fig. 1 Quantitative distribution of fruit texture traits in 202 jujube germplasm

和果肉纤维指数等性状都符合正态分布,说明枣果质地性状符合微效多基因作用下的数量性状遗传特征(图1)。总体上7个性状的变异水平差异较大。果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度、果肉纤维指数的变异系数在15.51%~33.03%之间,而果肉含水率和果肉密度的变异系数小于10%。

其中,果肉含水率的变异系数最小(4.59%),果肉纤维指数的变异系数最大(33.03%)。多样性指数分析表明,7个性状的遗传多样性指数在1.96~2.10之间,平均值为2.02,其中果肉含水率的遗传多样性指数最小,而果肉密度的遗传多样性指数最大。以上结果表明枣果质地性状多样性丰富。

表1 202份枣种质果实质地性状的描述统计

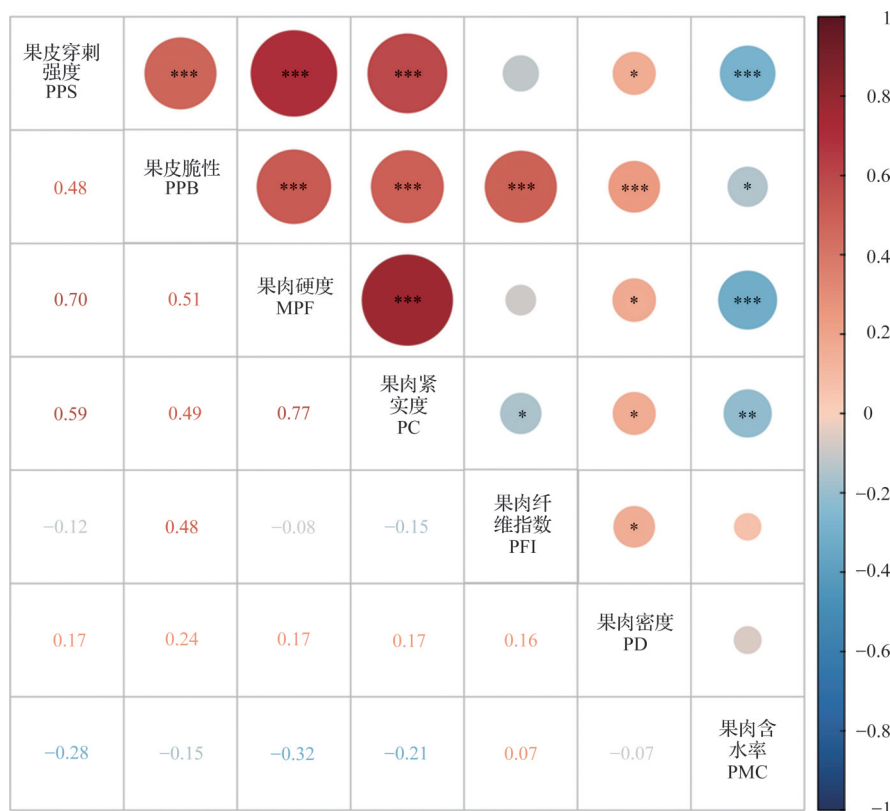
Table 1 Descriptive statistics of fruit texture traits in 202 jujube germplasm

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
果皮穿刺强度(g/mm ²)PPS	236.12	572.26	371.76	57.67	15.51	2.00
果皮脆性(g/s) PPB	845.63	2199.05	1405.98	282.64	20.10	2.05
果肉硬度(g) MPF	326.51	953.14	540.42	110.23	20.40	2.00
果肉紧实度(mm ²) PC	70.56	437.36	199.27	58.55	29.38	2.03
果肉纤维指数 PFI	0.95	8.88	4.20	1.39	33.03	2.03
果肉密度(g/cm ³) PD	0.71	1.01	0.85	0.06	7.02	2.10
果肉含水率(%) PMC	52.04	80.11	71.82	3.29	4.59	1.96

2.2 枣果质地性状的相关性分析

202份枣种质果实质地性状的相关性分析结果表明,7个质地性状间存在相关性(图2)。其中,果

皮穿刺强度与果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度均呈极显著正相关,与果肉密度呈显著正相关,与果肉含水率呈极显著负相关;果皮脆性与果肉硬度、



*、**、***分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ 水平上显著相关,下同
*, **, *** respectively indicate significant correlation at the $P<0.05$, $P<0.01$ and $P<0.001$ levels, the same as below

图2 202份枣种质果实质地性状相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of fruit texture characters in 202 jujube germplasm

果肉紧实度、果肉纤维指数、果肉密度均呈极显著正相关,与果肉含水率呈显著负相关;果肉硬度与果肉紧实度呈极显著正相关,与果肉密度呈显著正相关,与果肉含水率呈极显著负相关;果肉紧实度与果肉密度呈显著正相关,与果肉纤维指数、果肉含水率呈显著或极显著负相关;果肉纤维指数与果肉密度呈显著正相关。综合上述结果,果肉硬度与果皮穿刺强度、果肉紧实度相关系数较大,分别为0.70和0.77,说明果肉硬度是评价枣果质地性状的重要指标,同时由于果肉硬度、果皮穿刺强度等与果肉含水率呈极显著负相关,因此,还应该考虑果肉含水率指标。

2.3 枣果质地性状的主成分分析

通过主成分分析,在枣种质的7个质地相关性状中提取出2个特征值大于1的主成分,累计贡献率达到63.170%。第1主成分的方差贡献率较高为42.623%,特征值为2.984,其中果皮穿刺强度(0.823)、果皮脆性(0.718)、果肉硬度(0.897)、果肉紧实度(0.842)的正载荷较高,而果肉含水率的载荷相对较高,说明第1主成分是果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度和果实含水率的综合反映。第2主成分的特征值为1.438,方差贡献率为20.547%,果肉纤维指数(0.918)有较高的载荷,说明第2主成分主要由果肉纤维指数组成(表2)。

2.4 枣果质地性状的综合评价

对202份枣种质质地性状进行隶属函数标准化处理提取主成分,再利用主成分分析因子系数与权重来计算综合得分值H,结果表明,综合得分H的范围为-2.62~4.81。根据综合得分从高到低对枣种质进行排序,排在前5%的种质得分范围为2.06~4.81,包括溱浦称锤枣(4.81, Z160)、天津快枣(4.13, Z136)、平顺俊枣(3.55, Z94)、河北龙枣(2.88, Z3)、溱浦大果算盘(2.66, Z162)、沧县屯子枣(2.46, Z16)、夏县圆脆枣(2.42, Z143)、溱浦槟榔枣(2.16, Z159)、溱浦木枣(2.08, Z169)、沧县小枣(2.06,

Z17);排在后5%的种质得分范围为-2.62~-1.95,包括泰安马铃薯(-2.62, Z122)、溱浦圆枣(-2.36, Z176)、太谷墩墩枣(-2.32, Z124)、合阳铃铃枣(-2.24, Z41)、蒲城晋枣(-2.24, Z99)、滕州大马枣(-2.24, Z133)、大荔马牙枣(-2.09, Z25)、临汾蜜枣(-1.95, Z74)、清徐圆枣(-1.91, Z108)(表3)。分析综合分值与7个质地相关性状之间的相关性,结果表明H值与果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度均呈极显著正相关,且与果肉硬度相关性最强;与果肉含水率呈极显著负相关,与果肉纤维指数相关性不显著(表4)。基于质地相关性状和综合得分H,采用逐步回归分析法构建的最优回归分析模型为 $Y=7.447 \times 10^{-16} + 0.438X_1 + 0.389X_2 + 0.358X_3 + 0.248X_4$,式中 X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4 分别代表果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度以及果皮脆性,方程决定系数 R^2 为0.972,说明这4个性状占了H值总变异性状的97.2%,方差显著。由逐步回归分析可知,果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度以及果皮脆性4个指标可作为评价枣种质质地的关键指标。

表2 枣果质地性状的主成分特征表

Table 2 Principal component characteristics of jujube fruit texture traits

性状 Traits	主成分1 PC1	主成分2 PC2
果皮穿刺强度 PPS	0.823	-0.173
果皮脆性 PPB	0.718	0.545
果肉硬度 MPF	0.897	-0.166
果肉紧实度 PC	0.842	-0.197
果肉纤维指数 PFI	0.034	0.918
果肉密度 PD	0.324	0.390
果肉含水率 PMC	-0.414	0.223
特征值 Eigenvalue	2.984	1.438
方差贡献率(%) Variance contribution	42.623	20.547
累计贡献率(%) Accumulative contribution	42.623	63.170

表3 202份枣果质地综合得分值

Table3 The comprehensive score of 202 jujube fruit quality

排名 Ranking	编号 Code	得分 Score	排名 Ranking	编号 Code	得分 Score	排名 Ranking	编号 Code	得分 Score	排名 Ranking	编号 Code	得分 Score
1	Z160	4.81	7	Z143	2.42	13	Z188	1.98	19	Z72	1.61
2	Z136	4.13	8	Z159	2.16	14	Z172	1.84	20	Z73	1.54
3	Z94	3.55	9	Z169	2.08	15	Z106	1.79	21	Z71	1.53
4	Z3	2.88	10	Z17	2.06	16	Z69	1.78	22	Z66	1.5
5	Z162	2.66	11	Z42	2.04	17	Z49	1.67	23	Z88	1.44
6	Z16	2.46	12	Z78	2.02	18	Z200	1.63	24	Z105	1.44

表3 (续)

排名 Ranking	编号 Code	得分 Score	排名 Ranking	编号 Code	得分 Score	排名 Ranking	编号 Code	得分 Score	排名 Ranking	编号 Code	得分 Score
25	Z40	1.43	70	Z125	0.35	115	Z152	-0.28	160	Z165	-0.95
26	Z38	1.39	71	Z9	0.33	116	Z120	-0.29	161	Z19	-0.97
27	Z191	1.37	72	Z67	0.33	117	Z45	-0.29	162	Z79	-0.97
28	Z166	1.36	73	Z174	0.31	118	Z116	-0.31	163	Z127	-1.03
29	Z154	1.36	74	Z131	0.31	119	Z118	-0.32	164	Z75	-1.08
30	Z61	1.32	75	Z196	0.31	120	Z130	-0.33	165	Z184	-1.09
31	Z47	1.30	76	Z51	0.31	121	Z6	-0.41	166	Z139	-1.10
32	Z97	1.30	77	Z126	0.27	122	Z129	-0.42	167	Z15	-1.12
33	Z50	1.18	78	Z182	0.26	123	Z85	-0.44	168	Z35	-1.20
34	Z171	1.17	79	Z38	0.26	124	Z5	-0.44	169	Z34	-1.22
35	Z197	1.17	80	Z190	0.22	125	Z147	-0.45	170	Z202	-1.23
36	Z168	1.14	81	Z148	0.22	126	Z95	-0.45	171	Z178	-1.25
37	Z14	1.04	82	Z175	0.21	127	Z141	-0.47	172	Z114	-1.26
38	Z115	1.01	83	Z113	0.21	128	Z134	-0.48	173	Z32	-1.28
39	Z193	0.98	84	Z56	0.21	129	Z173	-0.50	174	Z156	-1.30
40	Z189	0.97	85	Z68	0.21	130	Z55	-0.51	175	Z104	-1.31
41	Z60	0.94	86	Z86	0.19	131	Z121	-0.55	176	Z110	-1.34
42	Z93	0.93	87	Z111	0.17	132	Z187	-0.56	177	Z20	-1.36
43	Z201	0.93	88	Z59	0.16	133	Z36	-0.57	178	Z125	-1.38
44	Z163	0.92	89	Z30	0.15	134	Z155	-0.57	179	Z138	-1.44
45	Z186	0.92	90	Z145	0.14	135	Z185	-0.61	180	Z18	-1.47
46	Z181	0.87	91	Z132	0.13	136	Z161	-0.62	181	Z24	-1.48
47	Z77	0.86	92	Z27	0.10	137	Z140	-0.63	182	Z195	-1.48
48	Z8	0.77	93	Z180	0.10	138	Z84	-0.64	183	Z123	-1.48
49	Z135	0.71	94	Z119	0.08	139	Z89	-0.65	184	Z112	-1.49
50	Z33	0.71	95	Z149	0.08	140	Z13	-0.65	185	Z109	-1.59
51	Z96	0.69	96	Z31	0.07	141	Z146	-0.67	186	Z100	-1.62
52	Z164	0.65	97	Z53	0.05	142	Z153	-0.70	187	Z199	-1.62
53	Z76	0.63	98	Z101	0	143	Z192	-0.70	188	Z137	-1.63
54	Z64	0.60	99	Z7	-0.03	144	Z167	-0.71	189	Z98	-1.67
55	Z2	0.60	100	Z183	-0.03	145	Z21	-0.73	190	Z198	-1.70
56	Z92	0.57	101	Z90	-0.04	146	Z87	-0.75	191	Z22	-1.82
57	Z62	0.56	102	Z91	-0.04	147	Z43	-0.80	192	Z57	-1.84
58	Z151	0.54	103	Z54	-0.05	148	Z82	-0.81	193	Z108	-1.91
59	Z157	0.53	104	Z170	-0.06	149	Z179	-0.82	194	Z74	-1.95
60	Z194	0.50	105	Z70	-0.07	150	Z63	-0.84	195	Z39	-2.07
61	Z142	0.48	106	Z80	-0.07	151	Z11	-0.84	196	Z25	-2.09
62	Z37	0.47	107	Z48	-0.08	152	Z23	-0.87	197	Z133	-2.24
63	Z58	0.46	108	Z26	-0.09	153	Z12	-0.88	198	Z99	-2.24
64	Z44	0.45	109	Z28	-0.12	154	Z65	-0.89	199	Z41	-2.24
65	Z52	0.42	110	Z103	-0.12	155	Z29	-0.90	200	Z124	-2.32
66	Z117	0.42	111	Z46	-0.21	156	Z107	-0.90	201	Z176	-2.36
67	Z150	0.42	112	Z4	-0.21	157	Z177	-0.93	202	Z122	-2.62
68	Z83	0.39	113	Z10	-0.22	158	Z1	-0.93			
69	Z102	0.38	114	Z158	-0.23	159	Z144	-0.94			

编号同附表1,下同

The code is the same as in attached table 1, the same as below

表4 枣果质地性状与质地综合值H的相关性
Table 4 Correlation between the texture traits and comprehensive score H of fruit texture in jujube

性状 Traits	H值 H-value
果皮穿刺强度 PPS	0.833**
果皮脆性 PPB	0.680**
果肉硬度 MPF	0.906**
果肉紧实度 PC	0.853**
果肉纤维指数 PFI	-0.029
果肉密度 PD	0.297**
果肉含水率 PMC	-0.428**

2.5 枣果质地性状的聚类分析

以果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度、果皮脆性等质地相关参数的综合评价H,对202份枣种质进行聚类分析,结果表明202份枣种质总体上

聚为3大类群(图3)。第I类包含82份种质,占40.59%;第II类群包含73份种质,占36.14%;第III类群包含47份种质,占23.27%。对3大类群的7个质地性状进行差异显著性分析,结果表明果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉紧实度、果肉硬度上均表现为第I类<第II类<第III类,且差异显著;在果肉含水率方面,第I类与第II类差异不显著,但均显著高于第III类(图4)。参照《枣种质资源描述规范和数据标准》^[10]以及在生产中枣果的不同分类,第I类种质可定义为果肉酥脆、多汁型种质,代表种质有泰安马铃薯脆、清宛大丹枣、大荔蜂蜜罐、宁阳六月鲜等品种;第II类定义为果肉较致密、多汁型种质,代表种质有稷山板枣、赞皇大枣、濮阳核桃纹、淑浦砂糖枣、金昌1号等;第III类定义为果肉较致密、少汁型种质,代表品种有临黄1号、中阳木枣、运城相枣、金谷大枣、交城骏枣(图5)。

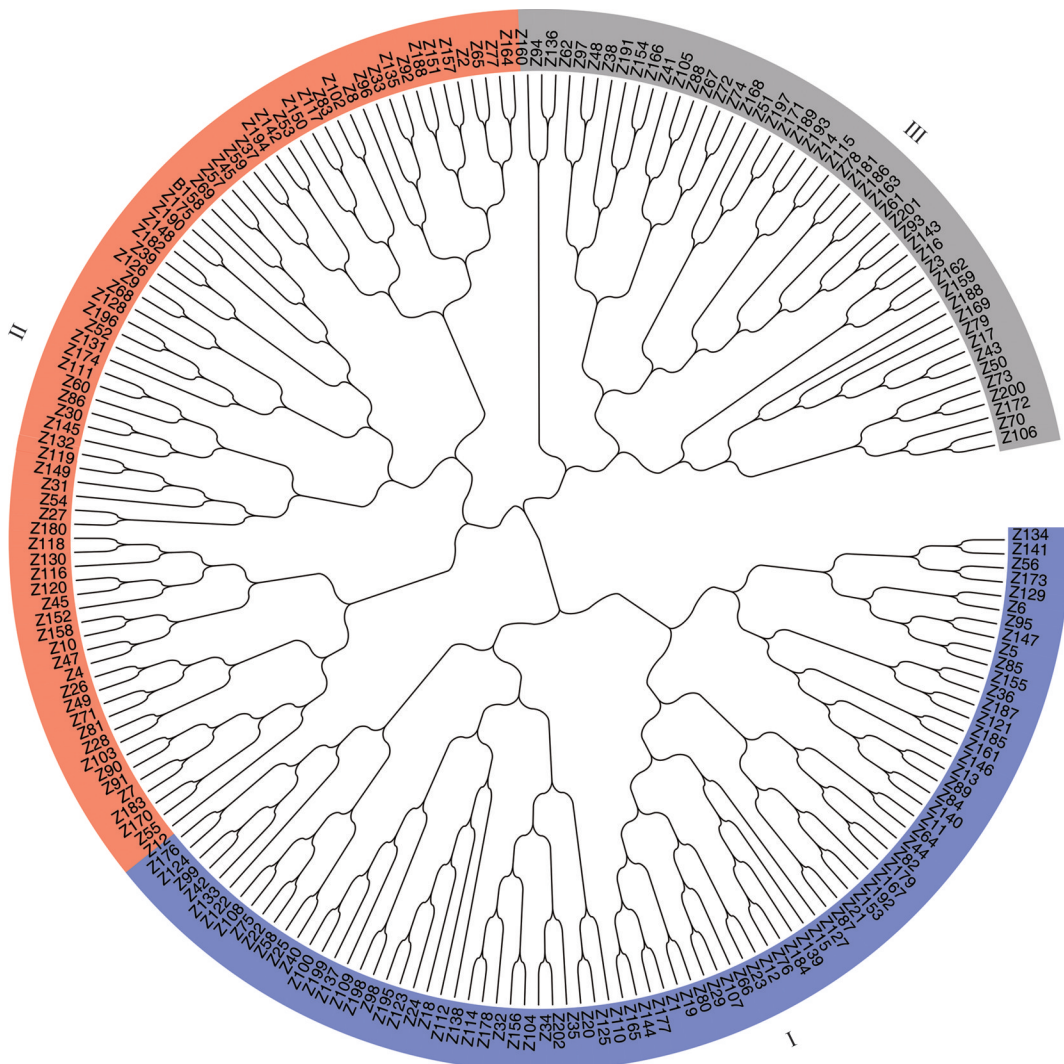
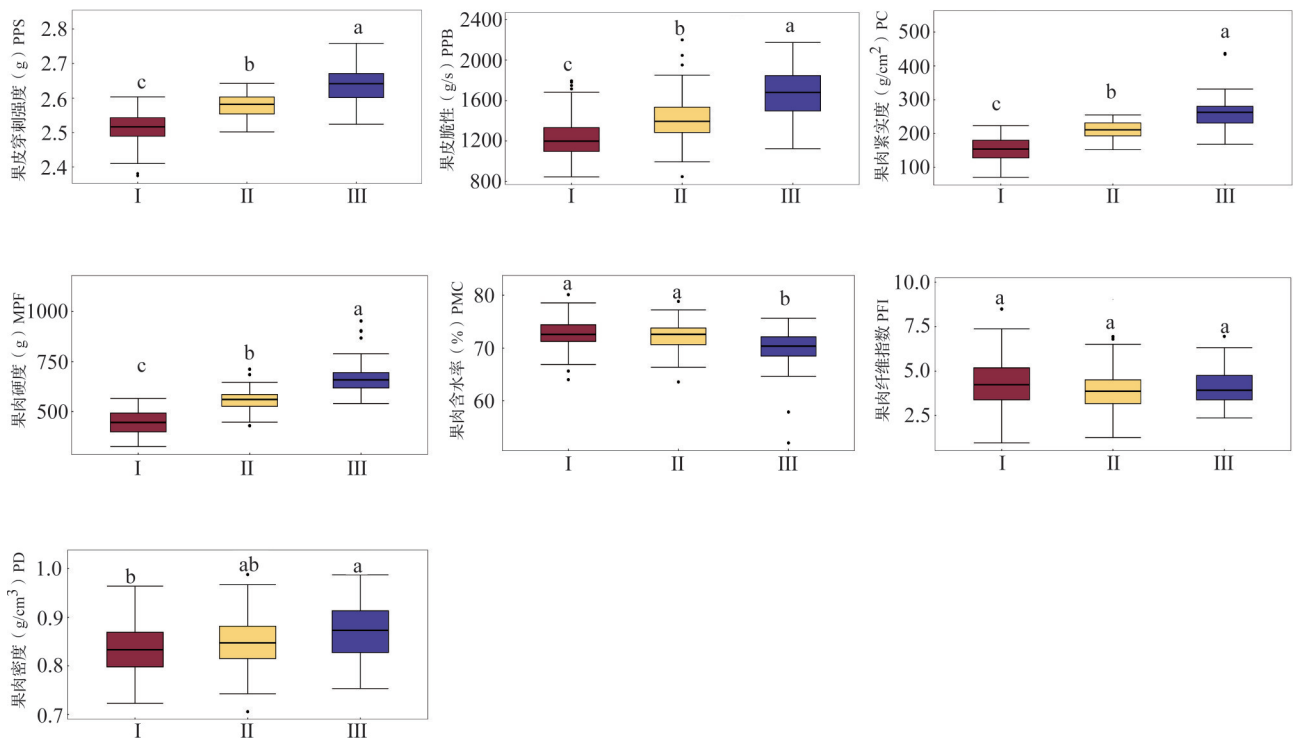


图3 202份枣种质果实质地性状聚类图
Fig. 3 Cluster map of texture characters of 202 jujube germplasm fruits



字母 a、b、c 表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著

The letters a, b, and c indicate significant difference at the $P < 0.05$ level

图 4 不同类群枣种质地性状的箱线图

Fig. 4 Box plot of texture traits of jujube germplasm in different groups



图 5 不同类型代表性枣种质

Fig. 5 Representative jujube germplasm in different groups

3 讨论

3.1 枣果质地性状多样性分析

果实品质性状受基因型和环境共同决定,品质性状多样性分析是种质资源品质鉴定的重要内容,一般认为多样性指数大于1则表示多样性丰富^[13-14]。对枣种质进行质地性状多样性分析,可以了解不同种质在质地品质上的遗传差异,有助于育种家筛选质地综合表现优异的种质,为品质育种提供参考。变异系数是样本离散程度的综合反映。前人研究认为不同测试材料间的观察性状变异在10%以上时说明测试材料间差异较大^[4,15-16]。肖维强等^[17]测定了不同品种鲜食橄榄的果肉质地性状,表明果皮强度、果肉硬度、果皮脆性等质地性状的变异系数在12.57%~23.95%,说明橄榄果实质地具有丰富的多样性。本研究中202份枣种质质地性状变异系数范围为4.59%~33.03%,不同种质果实质地品质差异较大,其中果肉纤维指数最高,除果肉密度与果肉含水率的变异系数小于10%以外,其余果实质地性状的变异系数都在15%以上,同时7个质地相关性性状多样性指数都大于1.9,说明枣种质的质地性状离散程度大,多样性丰富,能够为育种提供更多的优异资源。本研究结果在一定程度上证明了水果的果实质地具有丰富的遗传多样,是水果品质育种中需要重视的农艺性状。

3.2 枣果质地性状的相关性分析和主成分分析

农艺性状的相关性研究对分析次要性状对主要性状的影响具有重要作用,可为育种过程中的多性状选择提供依据^[18]。穿刺法与牙齿刺破样品的过程相似,能模拟人体口腔咀嚼过程,反映的是人在咀嚼果实过程中的果肉质感,也可以反映出测试样品间的质地变化,通过穿刺法测试的果皮穿刺强度、果皮脆性以及果肉硬度、果肉紧实度等特性与人的感官评价密切相关,是质地品质的重要指标^[18]。王斌等^[19]在壶瓶枣中的研究结果也表明果皮最大穿刺力、硬度、脆性等指标间显著正相关,相关性系数在0.888~0.962之间。本研究综合分析202份枣种质的质地参数发现,果皮穿刺强度与果皮脆性、果肉硬度以及果肉紧实度均呈极显著正相关。果肉硬度与果皮脆性、果肉紧实度间呈极显著正相关,与果肉密度呈显著正相关。其中,果肉硬度与果肉紧实度相关性最强,其次为果肉硬度与果皮穿刺强度。此结果与香蕉^[20]、毛叶枣^[21]、苹果^[22]等水果的研究结果相似,说明果肉硬度在一定程度上能反映枣果整体的质地特征。与王斌等^[18]的研究结

果,果肉硬度与果皮脆性的相关系数为0.987相比,本研究果肉硬度与果皮脆性、果肉紧实度等性状间的相关系数较小,可能是由于测试过程所用的探头等测试条件的差异引起的。本研究还发现果肉含水率与果皮穿刺强度、果肉硬度、果肉紧实度均呈极显著负相关,与果皮脆性呈显著负相关,与实际生产中鲜食枣品种整体上表现为果肉酥脆、含水率高的特性相一致。杨银爱等^[23]在研究莲子鲜食品质时也发现果实硬度、脆性等质地相关性性状与水分含量呈显著负相关。总之,果皮穿刺强度、果肉硬度、果肉紧实度以及多汁性等指标之间相互影响,共同构成了枣果整体的质地性状。

测试样品各性状之间存在相关性,使得性状变异特征的研究错综复杂,通过降维分析,把多个性状用几个相互独立的综合指标来描述,能更简单地表示性状组成变异的规律^[4,24]。刘丙花等^[25]通过主成分分析,从10个质地性状指标中筛选了果实硬度、果皮脆性、果实回复性等指标作为蓝莓果实质地品质鉴定的核心指标。本研究通过对7个枣果质地性状进行主成分降维分析,共获得2个主成分,第1主成分主要是果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度和果皮脆性的综合反映;第2主成分是果肉纤维指数的综合反映,表明果皮穿刺强度、果皮脆性、果肉硬度、果肉紧实度等性状对枣种质果实质地品质间的差异影响较大。由主成分分析可以看出各指标对枣果的质地品质影响依次为果肉硬度>果皮穿刺强度>果肉紧实度>果皮脆性>果肉纤维指数。杨植等^[8]的研究结果也表明果肉硬度、果肉紧实度对枣果质地的影响大于果肉纤维指数(果肉粗细)。

逐步分析法可以用来分析评价参试资源的最优指标^[26-27]。本研究发现果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度、果皮脆性等4个主要性状均与H值极显著正相关,其中果肉硬度相关性最大、脆性相关性最小。初步认为果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度、果皮脆性等4个指标可作为鉴定枣果质地品质的关键指标,可用于枣果质地品质的鉴定评价及育种材料的选择。

3.3 枣果质地性状的聚类分析和综合评价

聚类分析是目前种质资源果实品质鉴定评价中广泛使用的分类方法,体现了不同种质间的进化关系及遗传特征^[16]。杨植等^[8]通过TPA法测定了56份枣果的质地性状,并通过聚类分析将种质分为低弹软质类群、中间类群和高弹硬质类群。与此结果类似,本研究通过系统聚类(Ward法)将202份种质分为3个类群,根据《枣种质资源描述规范和数据

标准》^[10],第I类群可描述为酥脆多汁型种质,多数为鲜食种质;第II类群为较致密、多汁型种质,多数为鲜食和制干兼用种质;第III类群为较致密、少汁型种质,多数为制干种质。

在进行种质的综合评价时,通过主成分分析计算各测试性状组成的综合值是种质评价的重要手段^[3, 28-29]。本研究对质地品质相关性状进行主成分分析,依据分析结果进行综合得分H值的计算。通过综合得分H值对枣种质进行从低到高排序,不同H值范围代表了不同的种质特性。根据聚类结果,第I类为果肉酥脆、多汁型种质,H值在-2.62~-0.41之间,可作为培育鲜食的种质材料;第II类为果肉较致密、多汁型种质,H值在-0.33~-0.77之间的种质,可用于鲜食和制干兼用品种或兼用品种的材料;第III类为果肉较致密、少汁型种质,H值在0.86~4.81之间,可用于制干品种培育的种质材料。枣种质质地性状的综合评价为优异质地种质的筛选提供了依据。

4 结论

本研究枣种质果实质地性状多样性丰富,果肉硬度、果皮穿刺强度、果肉紧实度、果皮脆性等4个主要性状可作为枣果质地品质判定的重要依据。通过综合评价、聚类分析等方法将枣种质划分为不同的用途类型,为枣种质的开发利用以及育种亲本材料的选择提供了科学依据。但是,目前枣果质地品质鉴定评价还不够系统全面,今后将从生理和分子等层面,对枣种质资源果实质地性状进行系统深入的鉴定评价,进一步提高枣种质的利用效率。

参考文献

- [1] 李登科,牛西午,田建保.中国枣品种资源图鉴.北京:中国农业出版社,2013:527
Li D K, Niu X W, Tian J B. The illustrated germplasm resource of Chinese jujube. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 527
- [2] 张焕仙,常月梅,张裕生.山西省枣业生产现状与发展建议.山西林业科技,2000(2):28-30
Zhang H X, Chang Y M, Zhang Y S. Present situation and suggestion of jujube production in Shanxi. Shanxi Forestry Science and Technology, 2000(2): 28-30
- [3] 杨磊,贾平平,靳娟,阿布都卡尤木·阿依麦提,张雁飞,王冠玉,郝庆,牛建新.118个枣品种表型性状多样性分析.植物资源与环境学报,2023,32(1):50-60
Yang L, Jia P P, Jin J, Abudukayoumu A, Zhang Y F, Wang G Y, Hao Q, Niu J X. Analysis on phenotypic trait diversity of 118 *Zizyphus jujuba* cultivars. Journal of Plant Resources and Environment, 2023, 32(1): 50-60
- [4] 吴昊,苏万龙,石美娟,薛晓芳,任海燕,王永康,赵爱玲,李登科.枣种质果实性状多样性分析与综合评价.植物遗传资源学报,2022,23(6):1613-1625
Wu H, Su W L, Shi M J, Xue X F, Ren H Y, Wang Y K, Zhao A L, Li D K. Diversity analysis and comprehensive evaluation of jujube fruit traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1613-1625
- [5] 霍胜伟.质构仪在食品研究中的应用现状.现代食品,2017,8(16):75-77
Huo S W. Application of texture analyzer in food research. Modern Food, 2017, 8(16): 75-77
- [6] 田晓静,王俊.质构分析在肉制品检测中的应用.食品安全质量检测学报,2014,5(6):1654-1660
Tian X J, Wang J. Application of texture analysis on quality detection of meat products. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(6): 1654-1660
- [7] 马庆华,王贵禧,梁丽松,李琴.冬枣的穿刺质地及其影响因素.林业科学研究,2011,24(5):596-601
Ma Q H, Wang G X, Liang L S, Li Q. Study on the fruit puncturing texture and its influencing factors of Dongzao (*Zizyphus jujuba* Mill. Dongzao). Forest Research, 2011, 24(5): 596-601
- [8] 杨植,王振磊.基于TPA法评价枣果实质地及聚类分析.新疆农业科学,2019,56(10):1860-1868
Yang Z, Wang Z L. Evaluation and cluster analysis of jujube fruit texture based on TPA method. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(10): 1860-1868
- [9] 赵爱玲,薛晓芳,王永康,任海燕,弓桂花,焦晋华,隋串玲,李登科.质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法研究.果树学报,2018,35(5):631-641
Zhao A L, Xue X F, Wang Y K, Ren H Y, Gong G H, Jiao J H, Sui C L, Li D K. Measuring texture quality of fresh jujube fruit using texture analyser. Journal of Fruit Science, 2018, 35(5): 631-641
- [10] 李登科.枣种质资源描述规范和数据标准.北京:中国农业出版社,2006:48-75
Li D K. Descriptors and data standard for Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.). Beijing: China Agriculture Press, 2006: 48-75
- [11] 院钦,张欣,任玉锋,周军,陈卫军,魏天军,徐文娣,王佳伟,张琨,乔帅,王惠冉.冷棚栽培对灵武长枣果实品质的影响.中国南方果树,2023,52(5):170-174
Yuan Q, Zhang X, Ren Y F, Zhou J, Chen W J, Wei T J, Xu W D, Wang J W, Zhang K, Qiao S, Wang H R. Effect of cold shed cultivation on fruit quality of Lingwu Changzao. South China Fruits, 2023, 52(5): 170-174
- [12] 韩俊杰,商丽丽,邱鹏飞,贾礼聪,王翠娟,张磊,赵玲玲.密度测定法在甘薯干物率测定中的应用研究.安徽农业科学,2023,51(20):192-194
Han J J, Shang L L, Qiu P F, Jia L C, Wang C J, Zhang L, Zhao L L. Study on the application of densitometry in the determination of dry matter rate of sweet potato. Journal of Anhui Agricultural Science, 2023, 51(20): 192-194
- [13] 王小安,韦晓霞,吴如健,叶新福.49份福建南酸枣资源果实表型性状多样性分析.福建农业学报,2019,34(4):400-408

- Wang X A, Wei X X, Wu J R, Ye X F. Morphological diversity of 49 choerospondias axillaris germplasm in Fujian. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34(4): 400-408
- [14] 贾平平. 118个枣品种表型性状及果实内在品质比较分析. 石河子: 石河子大学, 2022
- Jia P P. Comparative analysis of phenotypic characters and internal fruit quality of 118 jujube varieties. Shihezi: Shihezi University, 2022
- [15] 薛晓芳, 赵爱玲, 王永康, 任海燕, 李登科, 李毅. 219份枣种质资源果实三萜酸含量分析. *西北植物学报*, 2021, 41(3): 480-492
- Xue X F, Zhao A L, Wang Y K, Ren H Y, Li D K, Li Y. Analysis of triterpenic acid contents in fruits of 219 jujube germplasm resources. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2021, 41(3): 480-492
- [16] 端瑞薇, 张向展, 李博, 王梦茹, 解亚荣, 李配, 王磊, 杨健, 薛华柏. 梨296份种质资源果点性状综合评价. *园艺学报*, 2023, 50(11): 2305-2322
- Duan R W, Zhang X Z, Li B, Wang M R, Xie Y R, Li P, Wang L, Yang J, Xue H B. Comprehensive evaluation of fruit spots in 296 pear germplasm resources. *Acta Horticultural Sinica*, 2023, 50(11): 2305-2322
- [17] 肖维强, 刘传滨, 匡石滋, 邵雪花, 刘传和, 贺涵, 赖多. 广东鲜食橄榄果实实质构特性比较. *中国农学通报*, 2022, 38(16): 132-138
- Xiao W Q, Li C B, Kuang S Z, Shao X H, Liu C H, He H, Lai D. A comparison study on fruit texture quality of fresh canarium album fruits in Guangdong. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(16): 132-138
- [18] 王燕霞, 王晓蔓, 关军锋. 梨果肉质地性状分析. *中国农业科学*, 2014, 47(20): 4056-4066
- Wang Y X, Wang X M, Guan J F. Flesh texture characteristic analysis of pear. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(20): 4056-4066
- [19] 王斌, 李丽丽, 张淑娟. 不同轻微损伤方式下鲜枣整果力学特性的研究. *农机化研究*, 2019, 41(6): 196-200
- Wang B, Li L L, Zhang S J. The research of fruit quality and mechanical properties for fresh jujube under different slight injury method. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2019, 41(6): 196-200
- [20] 黄俊豪, 段承煜, 邓英毅, 李峰, 冯斗, 范斗文, 谷俊杰. 4个粉蕉品种后熟过程中果实色泽及质构特性变化规律比较. *热带作物学报*, 2022, 43(2): 277-284
- Huang J H, Duan C Y, Deng Y Y, Li F, Feng D, Fan D W, Gu J J. Comparison of color and texture property change rules of four Fenjiao (*Musa ABB Pisang Awak*) varieties during fruit ripening. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(2): 277-284
- [21] 许玲, 魏秀清, 章希娟, 许家辉. 质构仪整果穿刺法评价3个毛叶枣品种果实质地参数. *福建农业学报*, 2018, 33(6): 621-625
- Xu L, Wei X Q, Zhang X J, Xu J H. Instrumental measurements and texture evaluation on fruits from three varieties of *Zizyphus mauritiana*. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33(6): 621-625
- [22] 杜昕美, 赵前程, 吕可, 刘婧懿, 程少峰, 马永生. 五种苹果质构测定方法的比较及与感官评价的相关性分析. *食品工业科技*, 2020, 41(22): 240-246
- Du X M, Zhao Q C, Lv K, Liu J Y, Cheng S F, Ma Y S. Comparison of texture determination method and correlation analysis with sensory evaluation of 5 kinds of apple. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(22): 240-246
- [23] 杨银爱, 韩延超, 牛犇, 郜海燕, 陈杭君. 不同成熟度莲子鲜食品质评价. *食品科学*, 2022, 43(15): 44-51
- Yang Y A, Han Y Z, Niu B, Gao H Y, Chen H J. Evaluation of the eating quality of fresh lotus seeds at different maturation stages. *Food Science*, 2022, 43(15): 44-51
- [24] 韩海波. 内蒙古野生扁蓿豆种质资源的鉴定与评价. 北京: 中国农业科学院, 2011
- Han H B. Identification and evaluation of germplasm resources of wild medicago in Inner Mongolia. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011
- [25] 刘丙花, 王开芳, 王小芳, 梁静, 白瑞亮, 谢小锋, 孙蕾. 基于主成分分析的蓝莓果实质地品质评价. *核农学报*, 2019, 33(5): 927-935
- Liu B H, Wang K F, Wang X F, Liang J, Bai R L, Xie X F, Sun L. Evaluation of fruit texture quality of blueberry based on principal component analysis. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(5): 927-935
- [26] 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. *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 fruit quality of Ningxian Huanggan peach. *Journal of Fruit Science*, 2024, 41(1): 65-75
- [27] 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. *园艺学报*, 2019, 46(2): 237-251
- Zeng S M, Chen X M, Huang X Z. Fruit character diversity analysis and numerical classification of local pear germplasm resources in Fujian. *Acta Horticultural Sinica*, 2019, 46(2): 237-251
- [28] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王幸, 王晓军, 王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(5): 865-874
- Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X, Wang X J, Wang W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(5): 865-874
- [29] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 温琪汾, 董俊丽, 陈凌, 王君杰, 曹晓宁, 刘思辰, 王纶, 乔治军, 刁现民. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2016, 42(1): 19-30
- Wang H G, Jia G Q, Zhi H, Wen Q F, Dong J L, Chen L, Wang J J, Cao X N, Liu S C, Wang L, Qiao Z J, Diao X M. Phenotypic diversity evaluations of foxtail millet core collections. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 19-30