

枣核心种质表型性状多样性及裂果相关性

陈武¹ 孔德仓² 崔艳红¹ 曹明² 庞晓明¹ 李颖岳¹

(1 北京林业大学生物科学与技术学院, 林木育种国家工程实验室, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室

2 河北省沧县枣树国家良种基地)

摘要:为了明确枣核心种质的遗传多样性和变异特点,了解枣裂果性状与果实(核)性状的相关性,提高枣种质的利用效率,本研究对枣核心种质的果实、果核和裂果等相关的9个重要表型性状指标进行了测定和统计分析。结果显示:1)核心种质资源具有较丰富的表型变异,9个表型性状的变异系数均达20%以上,平均变异系数为39.00%;其Shannon-Wiener's多样性指数为1.49~1.93,平均多样性指数为1.77。2)相关性分析结果显示,9个表型性状指标之间存在不同程度的相关性,多个果实(核)表型性状之间均存在显著相关性(正相关或负相关),果实横径与裂果率达到显著的正相关,果形指数与裂果指数之间达到显著的负相关。果核性状与裂果性状均无显著相关性,裂果率和裂果指数之间达到了极显著的正相关。3)利用主成分分析方法确定了4个主成分,累计贡献率可达94.79%,即这4个主成分保存了原始性状94.79%的遗传信息。9个表型中果实纵径、裂果指数、果核指数和果形指数是造成枣核心种质表型多样性的主要因素。

关键词:枣;核心种质;表型多样性;裂果;相关性

中图分类号:S722.3 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2017)06-0078-07

CHEN Wu¹; KONG De-cang²; CUI Yan-hong¹; CAO Ming²; PANG Xiao-ming¹; LI Ying-yue¹.

Phenotypic genetic diversity of a core collection of *Ziziphus jujuba* and correlation analysis of dehiscent characters. *Journal of Beijing Forestry University* (2017)39(5) 78-84 [Ch, 26 ref.]

1 College of Biological Sciences and Biotechnology, National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plant of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China;

2 National Key Forestry Station for Improved Jujube Cultivars, Cangzhou, Hebei, 061000, P. R. China.

To specify the phenotypic diversity and variation characteristics of a core collection of jujube (*Ziziphus jujuba*), authenticate the correlation between fruit (stone) characters and dehiscent characters and then improve the utilization efficiency of jujube germplasm resources, 9 phenotypic characters of a core collection of jujube were measured and their statistic analysis was implemented in this study. The results showed that: 1) the core collection presented higher level of phenotypic diversity, the variable coefficients of all phenotypic characters were larger than 20% with mean value of 39.00%, and the Shannon-Wiener index ranged from 1.49 to 1.93 with mean value of 1.77; 2) Different levels of correlation were observed among 9 phenotypic characters, in which multiple characters showed significant correlation (positive or negative correlation) among fruit (stone) characters, and fruit transverse diameter showed significant positive correlation with dehiscent rate, fruit shape index showed significant negative correlation with dehiscent index, no significant correlation was found between stone characters and dehiscent characters, and dehiscent rate and dehiscent index showed significantly positive correlation; 3) Four principle components were determined based on the principle component analysis of 9

收稿日期: 2017-02-21 修回日期: 2017-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31400578)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD14B03)。

第一作者: 陈武。主要研究方向: 经济林遗传育种。Email: chenwuanhui@163.com 地址: 100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学生物科学与技术学院。

责任作者: 李颖岳, 博士, 副教授。主要研究方向: 经济林遗传育种。Email: yingyueli@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

phenotypic characters and the cumulative contribution rate was 94.79%, which indicated that 94.79% of initial genetic information was included. The stone vertical diameter, dehiscent fruit index, stone shape index and fruit shape index were the four principal factors of phenotypic diversity in a core collection of jujube.

Key words jujube; core collection; phenotypic diversity; fruit dehiscent; correlation

枣(*Ziziphus jujuba*)为鼠李科(Rhamnaceae)枣属植物,在我国分布广泛,资源十分丰富,目前已报道的枣品种达900多份^[1-2],丰富的种质资源为枣遗传育种研究提供了大量的材料,但同时也为种质资源的保存、研究及高效利用带来不便。核心种质采用最小的资源样本数量最大程度上代表资源的遗传多样性^[3-4],为大量资源提供了高效利用的方式。Xu等^[5]利用SSR分子标记对962份枣种质进行了遗传多样性评价和聚类分析,确定了150份种质为有效的核心种质群。植物表型性状反映了基因型对环境变化的适应^[6],种质资源的遗传多样性评价是枣遗传育种研究的重要内容,以核心种质为基础开展表型鉴定的相关研究有利于加深对种质资源的科学认识和促进遗传育种进程,在水稻(*Oryza sativa*)^[7]和陆地棉(*Gossypium hirsutum*)^[8]中已有相关研究的报道。

裂果严重影响了枣果产量和品质,是枣树生产中存在的重要问题^[9-10]。裂果属于一种生理性病害,是果实对内部生长与外界环境不协调做出反应而使果实表面出现开裂现象,当枣果实趋于成熟时,降雨或者空气湿度持续偏高会导致果实果肉细胞吸水,从而使果实内部水分增加,膨压到达果皮机械破裂阈值时就会出现裂果现象^[11]。品种、成熟时期、果实解剖结构、矿质元素含量和分布、果实表皮机械性、生长环境等均对裂果有一定的影响^[12]。对枣核心种质裂果性状的测定及果实(核)性状与裂果性状相关性研究能够深入了解与枣裂果相关的果实(核)性状,为抗裂果枣树育种提供依据。

为了评价核心种质表型多样性,提高枣种质的利用效率,同时了解枣裂果性状与果实(核)性状之间的相关性,本研究以Xu等^[5]建立的枣核心种质为材料,测定了各种质的果实(核)性状和裂果性状,对表型性状的遗传多样性进行了评价并对果实(核)性状与裂果性状之间的相关性进行了研究。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验材料为Xu等^[5]建立的150份核心种质中的137份,其余13份种质由于坐果数无法满足试验条件未能获得数据。枣种质栽培于河北省沧县国家枣树良种基地(地理位置为38°03'N,116°51'E)和

山西省太谷县山西省农业科学院果树研究所国家枣种质资源圃(地理位置为37°26'N,112°32'E),常规管理。

1.2 取 样 方 法

试验于2015年8月20日至2015年10月15日在2个地点同时进行。每品种选择3~5棵标准株,每棵树按东、西、南、北4个方向随机选取果实样品。根据各品种坐果情况,于果实半红期,即着色的红圈至全红的脆熟期进行采样,每棵树采集果实数量为50~100个,果样混合后随机抽取30个分别进行表型测定。

1.3 表 型 测 定

果实(核)表型性状的测定方法。1)单果质量(g):利用电子天平称取单果质量。2)果实纵径(mm)与横径(mm):用数显游标卡尺测定果(核)实纵径、横径。计算果形指数,果形指数=果实纵径/果实横径。3)将枣果果肉用刀切下,再用清水搓洗干净,使得果肉与果核完全分离。用数显游标卡尺测定果核纵径(mm)与横径(mm)。计算果核指数,果核指数=果核纵径/果核横径。

裂果性状的测定:参照杜巍等^[11]和毛永民等^[13]裂果率和裂果指数的测定,采用室内浸透诱裂法测定裂果情况,根据苑赞等^[14]建立的枣裂果病情分级标准,对每个枣果进行等级划分(0~5级),记录枣果浸泡48h时的裂果情况,据此得到裂果率和裂果指数。1)裂果率=裂果总数/调查果数×100%。2)裂果指数=
$$\sum_{i=1}^5 T_i \cdot \frac{i}{5N}$$
式中:*i*为裂果等级,*T_i*为裂果等级为*i*的果实数,*N*为调查总果数。

1.4 数 据 分 析

用Excel 2007和SPSS 20.0进行统计分析,计算每个性状的平均值,标准差和变异系数。利用SPSS 20.0进行相关性分析和主成分分析。采用Shannon-Wiener's多样性指数进行遗传多样性评价,计算方法参照王永康等^[15]。

2 结 果 与 分 析

2.1 核 心 种 质 资 源 表 型 性 状 的 遗 传 多 样 性

依据9个表型性状极值(最大值和最小值)及均值选出了46份有代表性的枣品种,各品种表型性状测定结果见表1。果(核)实性状表型性状的最大

表1 46份代表性枣品种的9个表型性状数据

Tab. 1 Data of 9 phenotypic traits of 46 typical jujube varieties

品种名 Variety name	单果质量 Fruit mass/g	果实横径 Fruit transverse diameter/mm	果实纵径 Fruit vertical diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	果核横径 Stone transverse diameter/mm	果核纵径 Stone vertical diameter/mm	果核指数 Stone shape index	裂果率 Dehiscent fruit rate/%	裂果指数 Dehiscent fruit index
临猗珍珠龙枣 Linyizhenzhulongzao	1.07	9.16	12.60	1.38	5.29	10.14	1.92	0	0
吊吊婆 Diaodiaopo	3.29	15.93	25.97	1.63	2.77	13.36	4.82	10.00	0.03
洪赵十月红-C Hongzhaoshiyuehong-C	25.59	9.28	29.86	3.22	17.10	8.65	0.51	33.30	0.08
酸鸡心枣 Suanjixinzao	8.09	23.85	10.63	0.45	5.12	15.92	3.11	60.00	0.20
C40	23.50	36.52	41.17	1.13	8.60	20.31	2.36	66.70	0.03
羊奶枣 Yangnaizao	12.89	22.78	55.97	2.46	5.83	28.53	4.89	50.00	0.11
无核枣-C3 Wuhezao-C3	6.46	20.19	29.89	1.48	—	—	—	100	0.98
西双小枣-C Xishuangxiaozao-C	6.23	21.76	25.82	1.19	5.75	11.19	1.95	0	0
鲁枣8号-C2 Luzaobahao-C2	3.68	17.02	21.89	1.29	7.22	12.80	1.77	0	0
叶家甜枣 Yejiatianzao	5.75	20.66	23.39	1.13	6.40	13.46	2.10	0	0
稷山板枣-T Jishanbanzao-T	7.76	23.79	26.92	1.13	5.78	14.08	2.44	0	0
朝阳麻枣 Chaoyangmazao	4.34	18.28	23.22	1.27	7.31	15.51	2.12	0	0
9号 Jiu hao	4.32	19.27	25.14	1.30	5.43	12.97	2.39	53.33	0.23
C08	9.30	22.94	31.34	1.37	5.99	16.26	2.71	63.33	0.37
C32	15.83	30.65	39.63	1.29	6.27	21.63	3.45	46.67	0.29
P12	12.01	28.30	30.22	1.07	6.89	14.26	2.07	30.00	0.13
P23	13.62	27.70	38.45	1.39	6.12	22.02	3.60	86.67	0.61
s161枣 s161zao	9.86	24.76	32.77	1.32	6.29	17.67	2.81	76.52	0.45
北京老虎眼 Beijinglaohuyan	4.92	21.25	21.13	0.99	5.99	11.08	1.85	43.33	0.29
朝阳棉套枣 Chaoyangmiantaozao	5.27	20.53	27.38	1.33	5.82	15.79	2.71	43.33	0.29
朝阳瓶子枣 Chaoyangpingzizao	8.38	22.29	30.98	1.39	6.52	16.17	2.48	76.67	0.39
朝阳小尖顶 Changyangxiaojiangding	5.21	19.56	26.10	1.33	6.32	13.73	2.17	10.00	0.02
朝阳圆枣 Chaoyangyuanzao	5.78	20.42	27.25	1.33	5.08	14.59	2.87	63.33	0.35
脆枣洪 Cuizao hong	8.67	24.87	29.15	1.17	4.91	15.91	3.24	80.00	0.49
大红枣 Dahongzao	5.25	20.10	24.49	1.22	5.61	15.18	2.71	3.33	0.01
端子枣-C Duanzizao-C	8.38	25.13	28.80	1.15	7.05	15.34	2.18	63.33	0.33
敦煌大枣-C Dunhuangdazao-C	14.76	32.25	34.62	1.07	7.22	19.90	2.76	10.00	0.02
灌阳长枣 Guanyangchangzao	10.26	23.15	44.25	1.91	6.06	27.04	4.46	43.33	0.17
韩国红颜 Hanguohongyan	7.02	19.79	32.87	1.66	6.20	18.27	2.95	33.33	0.15
冀抗1号 Jikangyihao	13.30	29.85	34.38	1.15	7.21	18.24	2.53	66.67	0.27
交城端枣 Jiaochengduanzao	8.16	25.29	25.06	0.99	7.04	12.33	1.75	50.00	0.21
晋矮1号 Jinaiyihao	10.10	25.93	34.74	1.34	6.10	18.93	3.11	40.00	0.19
辣角枣-T Lajiaozao-T	12.06	23.45	43.98	1.88	6.68	24.65	3.69	43.33	0.21
临汾蜜枣-C Linfenmizao-C	4.60	19.00	25.54	1.34	4.44	14.97	3.37	30.00	0.14
临猗无名枣 Linyiwumingzao	7.23	22.65	30.19	1.33	5.98	17.58	2.94	26.67	0.09
马牙 Maya	8.10	24.09	29.77	1.24	5.01	16.59	3.31	40.00	0.11
棉絮枣 Mianxuzao	7.68	23.07	30.51	1.32	5.40	15.39	2.85	26.67	0.09
木疙瘩枣 Mugezao	9.11	23.42	35.94	1.53	6.10	19.66	3.22	6.67	0.02
南京大木枣-T Nanjingdamuzao-T	12.24	28.29	33.74	1.19	9.55	17.56	1.84	70.00	0.28
平顺俊枣 Pingshunjunzao	8.99	23.29	32.99	1.42	6.08	17.43	2.87	6.67	0.03
蒲城直社枣 Puchengzhishezao	9.05	21.40	35.78	1.67	6.16	19.64	3.19	5.00	0.01
献县绵枣 Xianxianmianzao	6.88	21.35	30.15	1.41	6.69	17.04	2.54	26.67	0.11
雪枣 Xuezao	13.89	31.73	30.48	0.96	9.15	16.72	1.83	36.67	0.15
榆次晚红枣 Yuciwanhongzao	11.02	25.80	35.38	1.37	5.88	19.91	3.39	46.67	0.23
运城绵枣 Yunchengmianzao	9.01	23.13	34.78	1.50	7.08	19.52	2.76	26.67	0.09

值、最小值对应的枣种质为 C40、临猗珍珠龙枣 (Linyizhenzhulongzao)、吊吊婆 (Diaodiaopo)、洪赵十月红-C (Hongzhaoshiyuehong-C)、酸鸡心枣 (Suanjixinzao)、羊奶枣 (Yangnaizao), 其中洪赵十月红-C (Hongzhaoshiyuehong-C) 和羊奶枣 (Yangnaizao) 具有 3 个表型的极限值, 临猗珍珠龙枣 (Linyizhenzhulongzao) 和酸鸡心枣 (Suanjixinzao) 具有 2 个表型性状的极限值, C40 和吊吊婆 (Diaodiaopo) 具有 1 个表型性状的极限值。西双小枣-C (Xishuangxiaozao-C)、鲁枣 8 号-C2 (Luzaobahao-C2)、叶家甜枣 (Yejiatianzao)、临猗珍珠龙枣 (Linyizhenzhulongzao)、稷山板枣-T (Jishanbanzao-T)、朝阳麻枣 (Chaoyangmazao) 均没发生裂果现象, 为抗裂果枣种质, 而无核枣-C3 (Wuhezao-C3) 是所有种质中裂果现象最严重的品种, 为极易裂果枣

种质。

对 137 个种质 9 个表型性状的变异程度的描述性统计和遗传多样性指数等参数指数见表 2。结果显示 9 个表型性状的变异系数范围达 20.70% (果实横径) ~ 90.28% (裂果指数)。其中裂果性状 (裂果率和裂果指数) 和单果质量变异系数达到 50% 以上, 其他性状的变异系数均保持在 20% ~ 30% 的水平, 9 个性状平均变异系数为 39.00%, 表明这 137 份种质具有丰富的遗传信息和选择潜力。遗传多样性指数 (Shannon-Wiener index, H') 范围在 1.49 (果实横径) ~ 1.93 (果核指数) 之间, 总的平均值为 1.77, 表明 137 份种质具有较高的表型遗传多样性, 其中单果质量、果核纵径、果核横径、果核指数以及裂果率的多样性指数较高, 范围在 1.8 ~ 2.0 之间。

表 2 9 个表型性状的描述性统计及多样性指数

Tab. 2 Descriptive statistics and diversity test of 9 phenotypic traits

表型性状 Phenotypic traits	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient/%	多样性指数 Shannon-Wiener index (H')
单果质量 Fruit weight	25.59 g	1.07 g	8.62 g	4.57 g	52.94	1.88
果实横径 Fruit transverse diameter	36.52 mm	9.16 mm	23.07 mm	4.78 mm	20.70	1.49
果实纵径 Fruit vertical diameter	55.97 mm	10.63 mm	30.14 mm	6.87 mm	22.78	1.72
果形指数 Fruit shape index	3.22	0.45	1.33	0.29	22.11	1.60
果核横径 Stone transverse diameter	17.1 mm	2.77 mm	6.12 mm	1.59 mm	26.01	1.84
果核纵径 Stone vertical diameter	28.53 mm	8.65 mm	16.36 mm	3.92 mm	23.94	1.83
果核指数 Stone shape index	4.89	0.51	2.78	0.73	26.24	1.93
裂果率 Dehiscent fruit rate	100%	0	42.94%	0.28	66.00	1.92
裂果指数 Dehiscent fruit index	0.98	0	0.23	0.21	90.28	1.75

2.2 表型性状相关性分析

对所有性状进行相关性分析详见表 3。结果表明 9 个表型性状指标之间存在不同程度的相关性。1) 果实性状和果核性状之间的相关性。性状之间表现为显著正相关性且相关系数大于 0.50 的性状指标如下: 单果质量与果实横径、果实纵径、果核横径和果核纵径之间, 果实横径与果实纵径之间, 果实纵径与果核纵径之间, 果核纵径与果核指数之间。性状之间表现为显著负相关性且相关系数大于 0.50 的性状指标是果核横径与果核指数之间。性状之间没有达到显著相关的性状指标为单果质量与果形指数、果核指数之间, 果实横径与果核指数, 果核纵径与果核横径之间。2) 裂果性状与果实性状和果核性状之间的相关性。果实横径与裂果率达到显著的正相关, 果形指数与裂果指数之间达到显著的负相关。果核性状与裂果性状均无显著相关性。裂果率和裂果指数之间达到了极显著的正相关, 相

关系数达到 0.917。

2.3 表型性状的主成分分析

为了进一步了解各性状指标的重要程度, 对所有性状指标进行了主成分分析, 结果见表 4。主成分分析确定了 4 个主成分, 累计贡献率为 94.79%, 说明 4 个主成分提供了所有原始性状 94.79% 的信息。第 1 主成分主要由单果质量、果实横径、果实纵径和果核纵径这几个指标组成, 其因子载荷分别为 0.86、0.69、0.95 和 0.86; 第 1 主成分反映了单果质量、果实(核)纵向和果实横向指标。第 2 主成分主要由裂果率和裂果指数这 2 个指标组成, 其因子载荷分别为 0.71 和 0.71; 第 2 主成分反映的是裂果性状。第 3 主成分主要由果核指数、裂果率和裂果指数这 3 个指标组成, 其因子载荷分别为 0.68、0.62 和 0.63; 第 3 主成分反映了果核形状指标和裂果性状。第 4 主成分主要由果形指数组成, 其因子载荷为 0.70; 第 4 主成分反映了果实形状。由每个主成

表3 9个表型性状指标相关性

Tab.3 Index correlations among 9 phenotypic traits

表型性状 Phenotypic traits	单果质量 Fruit mass	果实横径 Fruit transverse diameter	果实纵径 Fruit vertical diameter	果形指数 Fruit shape index	果核横径 Stone transverse diameter	果核纵径 Stone vertical diameter	果核指数 Stone shape index	裂果率 Dehiscent fruit rate	裂果指数 Dehiscent fruit index
单果质量 Fruit mass	1.000								
果实横径 Fruit transverse diameter	0.774 **	1.000							
果实纵径 Fruit vertical diameter	0.718 **	0.591 **	1.000						
果形指数 Fruit shape index	0.163	-0.356 **	0.488 **	1.000					
果核横径 Stone transverse diameter	0.641 **	0.317 **	0.273 **	0.207 *	1.000				
果核纵径 Stone vertical diameter	0.514 **	0.463 **	0.844 **	0.398 **	0.166	1.000			
果核指数 Stone shape index	-0.041	-0.028	0.465 **	0.415 **	-0.558 **	0.616 **	1.000		
裂果率 Dehiscent fruit rate	0.146	0.209 *	0.086	-0.116	-0.041	-0.015	-0.003	1.000	
裂果指数 Dehiscent fruit index	0.043	0.127	-0.028	-0.174 *	-0.115	-0.108	-0.032	0.917 **	1.000

注: **在 $P < 0.01$ 水平(双侧)上极显著相关; *在 $P < 0.05$ 水平(双侧)上显著相关。Note: ** means significant correlation at $P < 0.01$ level (bilateral); * means significant correlation at $P < 0.05$ level (bilateral).

表4 9个表型性状的前4个主成分的特征向量、主成分特征值、贡献率及累积贡献率

Tab.4 Power vector (PV), eigenvalues (E), contribution rate (CR), and cumulative contribution rate (CCR) of first four principal components based on 9 phenotypic traits

指标 Index	PV 1	PV 2	PV 3	PV 4
单果质量 Fruit mass	0.86	0.32	-0.27	0.02
果实横径 Fruit transverse diameter	0.69	0.49	-0.12	-0.51
果实纵径 Fruit vertical diameter	0.95	-0.13	0.12	0.00
果形指数 Fruit shape index	0.41	-0.57	0.10	0.70
果核横径 Stone transverse diameter	0.45	0.31	-0.69	0.42
果核纵径 Stone vertical diameter	0.86	-0.29	0.20	-0.13
果核指数 Stone index	0.35	-0.58	0.68	-0.18
裂果率 Dehiscent fruit rate	0.11	0.71	0.62	0.27
裂果指数 Dehiscent fruit index	-0.02	0.71	0.63	0.24
特征值 Eigenvalues (E)	3.36	2.20	1.88	1.10
百分率 Percentage (CR)/%	37.33	24.41	20.86	12.19
累积百分率 Cumulative percentage (CCR)/%	37.33	61.74	82.60	94.79

分的最大因子载荷可知,果实纵径、裂果指数、果核指数和果形指数可以被认为是造成枣核心种质表型多样性的主要因素。

3 讨论

3.1 核心种质表型性状遗传多样性

变异系数反映了品种间表型性状的变异程度,

变异系数越大说明该表型性状在品种间的差异越大,对种质变异和创新的贡献率越高^[16],利用该性状鉴别品种的能力越强^[17-18]。本研究中9个表型性状均表现出较丰富的变异,其变异系数均达20%以上,最高达到90.28%(裂果指数),平均变异系数为39.00%,表明枣核心种质品种间具有较大的差异,应重视和利用这些资源,增加育种的遗传选择潜力。平均变异系数大于王永康等^[15]、刘隋赞昊等^[19]研究中的变异系数。Shannon-Wiener多样性指数越大,表明所含的信息量越大,即说明种质具有越高的遗传多样性^[20]。本研究中9个表型性状的遗传多样性指数范围达到1.49~1.93,平均多样性指数为1.77。说明本研究中的137份种质变异丰富,不仅能较好的代表了枣种质遗传多样性,在枣树的遗传育种过程中也有较高的利用价值。Shannon-Wiener多样性平均指数与前人以200份枣种质资源得出的结果^[15]相差不大,这也进一步说明本研究所采用的枣核心种质具有很强的代表性。

3.2 表型性状之间相关关系

相关性分析表明,单果质量与果实横径相互之间、果实纵径与果核纵径相互之间,达到极其显著的相关性,且相关系数最大。这些性状可以通过对其中一个表型进行选择来达到对另一个表型进行有效选择的目的,有助于快速全面地对新育成品种或新发现的品种资源进行客观评价。果实、果核作为枣的重要繁殖器官,其特征受到遗传基因和环境因素的共同影响,相比于果实性状,果核性状具有更好的稳定性^[21]。因此依据果核性状与其他性状的相关性指导枣育种进程中表型性状的定向育种具有更高

的准确性,例如,可以通过对果核横径的选择达到对单果质量进行有效的选择。本研究中果实性状与果核性状之间的相关性研究结果与刘隋赞昊等^[19]和马庆华^[22]等研究结果基本相同。

果实大小、形状与裂果间的相关性因树种不同而有所差异,在玉环柚 (*Citrus grandis* cv. Yuhuan)^[23]研究中发现裂果性状与果实形状明显相关,在脐橙 (*Citrus sinensis*)^[24]的裂果研究中认为裂果性状与果实性状不存在显著相关性。本研究中,果实横径与裂果率达到显著的正相关,果形指数与裂果指数之间达到显著的负相关。因此,在抗裂果枣树育种中可以考虑选择细长果型的种质达到选择出抗裂性较好的种质的目的。但前人以9个枣树品种为材料的研究结果认为枣裂果与果形指数不存在显著相关性^[25]。本研究所采用的材料是基于枣树963个种质选择出的核心种质,更具有代表性。枣果实形状与裂果的相关关系还需今后进行多年对比观测来进一步确认。

3.3 主成分分析

主成分分析是利用降维的思想,在损失很少信息的前提下把多个指标转化为几个主成分的多元统计方法。几个主成分之间互不相关,相比于原始性状更容易抓住事物内部的主要矛盾,具有更高的分析效率^[26]。本研究通过主成分分析,将137份枣种质的9个表型性状指标成分压缩成4个主成分。这4个主成分提供了所有原始性状94.79%的信息,较好保存了这137个枣品种的遗传多样性信息。其中果实纵径、裂果指数、果核指数和果形指数是造成枣核心种质表型多样性的主要因素。分析表明应当将果实纵径、裂果指数、果核横径和果形指数等表型性状作为枣优良品种选育的重要依据。

4 结 论

综上所述,本研究所采用的枣核心种质表型变异丰富,能较好的代表枣种质遗传多样性。相关分析发现裂果性状与果实横径和果形指数显著相关,细长果型的种质具有较好的抗裂性。主成分分析表明应当将果实纵径、裂果指数、果核横径和果形指数等表型性状作为枣优良品种选育的重要依据。今后的研究中,应进一步利用这份核心种质开展枣果实品质相关性状的研究,促进枣树育种工作的深入开展。

参 考 文 献

[1] 曲泽洲,王永惠. 中国果树志:枣卷 [M]. 北京:中国林业出版社,1993.
QU Z Z, WANG Y H. Fruit tree records of China: Chinese jujube

volume [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993.

- [2] 刘孟军,汪民. 中国枣种质资源 [M]. 北京:中国林业出版社,2009.
LIU M J, WANG M. Chinese jujube germplasm resources [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009.
- [3] FRANKEL O H, BROWN A H D. Current plant genetic resources: a critical appraisal [M] // CHOPRA V L, JOSHI B C, SHARMA R P, et al. Genetics: new frontiers. New Delhi: Oxford and IBH Publishing, 1984.
- [4] BROWN A H D. The case for core collections [M] // BROWN A H D. The use of plant genetic resources. Cambridge: Cambridge University Press, 1989: 136-156.
- [5] XU C Q, GAO J, DU Z F, et al. Identifying the genetic diversity, genetic structure and a core collection of *Ziziphus jujuba* Mill. var. *jujuba* accessions using microsatellite markers [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 31503.
- [6] PIGLIUCCI M, MURREN C J, SCHLICHTING C D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation [J]. Journal of Experimental Biology, 2006, 209(12): 2362-2367.
- [7] 胡标林,万勇,李霞,等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价 [J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
HU B L, WAN Y, LI X, et al. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment [J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(5): 829-839.
- [8] 代攀虹,孙君灵,何守朴,等. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3694-3708.
DAI P H, SUN J L, HE S P, et al. Comprehensive evaluation and genetic diversity analysis of phenotypic traits of core collection in upland cotton [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(19): 3694-3708.
- [9] 杨俊强,王宝明,王小原. 枣裂果研究进展 [J]. 山西农业科学, 2009, 37(3): 86-89.
YANG J Q, WANG B M, WANG X Y. Research progress of fruit cracking in Chinese jujube [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(3): 86-89.
- [10] 王保明,丁改秀,王小原,等. 枣果实裂果的组织结构及水势变化的原因 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4558-4568.
WANG B M, DING G X, WANG X Y, et al. Changes of histological structure and water potential of huping jujube fruit dehiscent [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(21): 4558-4568.
- [11] 杜巍,李新岗,王长柱,等. 枣裂果机制研究 [J]. 果树学报, 2012, 29(3): 374-381.
DU W, LI X G, WANG C Z, et al. Mechanism of fruit dehiscent in *Ziziphus jujuba* [J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(3): 374-381.
- [12] 马雯彦,庞晓明,续九如,等. 果实裂果影响因子研究进展 [J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(6): 798-804.
MA W Y, PANG X M, XU J R, et al. Advances in research on the factors influencing fruit dehiscent [J]. 2010, 29(6): 798-804.
- [13] 毛永民,申连英,毕平,等. 不同枣品种果实抗裂果能力的比

- 较研究 [C]. 保定: 全国干果生产与科研进展学术研讨会, 1998.
- MAO Y M, SHEN L Y, BI P, et al. Comparative study on anti-dehiscentability of the different varieties of jujube fruits [C]. Baoding: Committee of the Nuts Production and Scientific Research Progress Conference, 1998.
- [14] 苑赞, 卢艳清, 赵锦, 等. 枣抗裂果种质的筛选与评价 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(23): 4968-4976.
- YUAN Z, LU Y Q, ZHAO J, et al. Screening and evaluation of germplasms with high resistance to fruit dehiscent in *Ziziphus jujuba* Mill. [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(23): 4968-4976.
- [15] 王永康, 吴国良, 赵爱玲, 等. 枣种质资源的表型遗传多样性 [J]. 林业科学, 2014, 50(10): 33-41.
- WANG Y K, WU G L, ZHAO A L, et al. Phenotypic genetic diversity of jujube germplasm resources [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(10): 33-41.
- [16] 孙鹏, 李加茹, 段伟, 等. 河南省柿种质资源果实表型特征分析 [J]. 经济林研究, 2015, 33(4): 9-17.
- SUN P, LI J R, DUAN W, et al. Survey of fruit phenotypic characters of persimmon germplasm resources in Henan Province [J]. Nonwood Forest Research, 2015, 33(4): 9-17.
- [17] THEIMER T C. Intraspecific variation in seed size affects scatter hoarding behaviour of an Australian tropical rain-forest rodent [J]. Journal of Tropical Ecology, 2003, 19(1): 95-98.
- [18] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 桃种质资源若干植物学数量性状描述指标探讨 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 770-776.
- WANG L R, ZHU G R, FANG W C. The evaluating criteria of some botanical quantitative characters of peach genetic resources [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(4): 770-776.
- [19] 刘隋赞昊, 韩超, 于婷, 等. 引进新疆的48个枣品种果实与果核性状分析 [J]. 经济林研究, 2016, 34(4): 37-46.
- LIU S Y H, HAN C, YU T, et al. Analysis of fruit and stone characters in 48 *Ziziphus jujuba* cultivars introduced in Xinjiang [J]. Nonwood Forest Research, 2016, 34(4): 37-46.
- [20] 洪伟, 吴承祯. Shannon-Wiener 指数的改进 [J]. 热带亚热带植物学报, 1999, 7(2): 120-124.
- HONG W, WU C Z. Modification of Shannon-Wiener index [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 1999, 7(2): 120-124.
- [21] 常经武. 枣核是鉴定品种中的重要特征 [J]. 中国果树, 1985, 4(1): 11-14.
- CHANG J W. Stone is the important characteristic for identify jujube varieties [J]. China Fruits, 1985, 4(1): 11-14.
- [22] 马庆华, 毛永民, 申连英, 等. 枣不同品种果核性状研究 [J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(1): 41-45.
- MA Q H, MAO Y M, SHEN L Y, et al. A study on the characteristics of fruit stone of different Chinese jujube cultivars [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2006, 29(1): 41-45.
- [23] 陈苑虹, 李三玉, 董继新. 玉环柚果实特性与裂果的关系 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(4): 414-416.
- CHEN Y H, LI S Y, DONG J X. The relationship between the characteristics of "Yuhuan" pomelo fruit and fruit dehiscent [J]. Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 1999, 25(4): 414-416.
- [24] 叶正文, 叶兰香, 张学英. "朋娜"等脐橙的裂果规律及赤霉素防裂效果 [J]. 上海农业学报, 2002, 18(4): 52-57.
- YE Z W, YE L X, ZHANG X Y. THE fruit dehiscent rules of navel orange varieties such as "PENGNA" and the effect of gibberellin (ga) preventing fruits from dehiscent [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2002, 18(4): 52-57.
- [25] 郝鑫, 刘晨筱, 陈虹, 等. 不同枣品种果实性状与裂果的相关性 [J]. 山西农业科学, 2016, 44(10): 1476-1478, 1507.
- XI X, LIU C X, CHEN H, et al. Correlation analysis of fruit characters and dehiscent in different varieties of jujube [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(10): 1476-1478, 1507.
- [26] 李小胜, 陈珍珍. 如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析 [J]. 统计研究, 2010, 27(8): 105-108.
- LI X S, CHEN Z Z. Correctly using SPSS software for principal components analysis [J]. Statistical Research, 2010, 27(8): 105-108.

(责任编辑 赵 勃
责任编辑 包满珠)