

赵玉辉, 齐索尼, 李昂轩, 等. 基于果实表型性状的山楂种质资源遗传多样性分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(4): 395-404.

ZHAO Yuhui, QI Suoni, LI Angxuan, et al. Genetic diversity analysis of hawthorn germplasm resources based on fruit phenotypic traits[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(4): 395-404.

基于果实表型性状的山楂种质资源遗传多样性分析

赵玉辉, 齐索尼, 李昂轩, 赵迎汐, 马欣然, 刘月学

(沈阳农业大学 园艺学院, 沈阳 110161)

摘要: 为保护山楂种质资源, 评价及筛选利用优异山楂种质资源, 对国家果树种质沈阳山楂圃保存的 234 份山楂种质资源的 26 个果实表型性状进行鉴定评价, 分析表型性状的分布频率、变异系数和遗传多样性指数, 通过聚类分析对种质资源进行分类, 并基于果实性状进行主成分分析。结果表明: 山楂种质的果实描述性状多样性丰富, 以果点显著、果皮红色、果实近方形、果点多、果皮有光泽、萼片姿态开张反卷、萼片有绒毛、萼片有锯齿、萼片三角形、萼片着生状态显著、种核有凹痕、萼筒漏斗形、梗洼广浅和梗基膨大状居多, 分别占 97.86%、90.17%、66.67%、65.95%、97.44%、56.84%、96.58%、97.86%、98.72%、89.32%、86.32%、65.81% 和 98.29%。数量性状中种仁率变异系数(43.88%)最大, 其次为单果重(41.38%); Shannon-Wiener 指数范围 0.68 ~ 2.02。描述性状 Shannon-Wiener 指数范围 0.07 ~ 1.67, 其中果肉质地和颜色较高, 多样性最丰富, 而数量性状 Shannon-Wiener 指数范围达 0.68 ~ 2.02, 也表现出丰富的多样性。聚类分析在欧式距离为 7 时将供试种质资源分为 4 个类群, 第 I 类群和第 II 类群均是大果山楂, 羽裂山楂资源大部分在第 IV 类群, 其余的种主要分布在第 III 类群和第 IV 类群, 没有形成单独的类群, 但这些资源在聚类图中是聚在一起的。主成分分析结果将 26 个表型性状简化为 9 个主成分, 包含果实形状等 17 个表型性状。

关键词: 山楂; 种质资源; 果实性状; 遗传多样性; 数量分类

中图分类号: S 661.2

文章编号: 1000-1700(2024)04-0395-10

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Genetic Diversity Analysis of Hawthorn Germplasm Resources Based on Fruit Phenotypic Traits

ZHAO Yuhui, QI Suoni, LI Angxuan, ZHAO Yingxi, MA Xinran, LIU Yuexue

(College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In order to protect the genetic resources of *Crataegus pinnatifida*, evaluate and select superior genetic resources, the fruit traits of 234 accessions of *C. pinnatifida* preserved in the National Fruit Germplasm Resource Center of Shenyang were identified and evaluated. The distribution frequency, coefficient of variation and genetic diversity index of the 26 fruit traits were analyzed, and the accessions were classified by clustering analysis based on the fruit traits. Principal component analysis was conducted based on the fruit traits. The results showed that the fruit descriptive traits of *C. pinnatifida* germplasm were diverse, with significant fruit spots, red fruit skin, nearly square fruit shape, many fruit spots, glossy fruit skin, open and curled calyx, calyx with downy hair, calyx with sawtooth, triangular calyx, distinct calyx attachment, depressed seed, conical calyx, broad and shallow groove of peduncle and peduncle base being the most frequent, accounting for 97.86%, 90.17%, 66.67%, 65.95%, 97.44%, 56.84%, 96.58%, 97.86%, 98.72%, 89.32%, 86.32%, 65.81% and 98.29%, respectively. The coefficient of variation of the quantitative trait seed kernel rate (43.88%) was the largest,

收稿日期: 2024-02-20

基金项目: 农业部物种资源保护项目(19230848); 国家园艺种质资源库运行服务项目(NHGRC2023-NH08)

第一作者: 赵玉辉(1976-), 女, 博士, 副教授, 从事果树种质资源评价与利用研究, E-mail: zhaoyuhui76@126.com

通信作者: 刘月学(1975-), 男, 博士, 博士生导师, 教授, 从事果树种质资源评价与利用研究, E-mail: yuexueliu@aliyun.com

followed by fruit weight (41.38%). The Shannon–Wiener index ranged from 0.68 to 2.02. The Shannon–Wiener index of the descriptive traits ranged from 0.07 to 1.67, with the highest values in fruit texture and color, the most diverse traits, and the Shannon–Wiener index of the quantitative traits ranged from 0.68 to 2.02, also showing rich diversity. Cluster analysis grouped the tested germplasm resources into 4 clusters when the Euclidean distance was 7, Group I and Group II are both *C. pinnatifida* Bge.var.*major*, most of the resources of *C. pinnatifida* Bge. are in Group IV, and the other several species are mainly distributed in Group III and Group IV, without forming a separate group, but these resources are clustered together in the cluster map. However, these resources were clustered together in the dendrogram. Principal component analysis reduced the 26 phenotypic traits to 9 principal components, including 17 phenotypic traits such as fruit shape.

Key words: hawthorn; germplasm resource; fruit character; genetic diversity; numerical classification

山楂是蔷薇科(Rosaceae)山楂属(*Crataegus* L.)植物,为多年生落叶灌木或乔木。是目前蔷薇科最大的属之一^[2]。山楂属定义明确,传统上定义为属于蔷薇科苹果亚科^[3]。全世界现存的山楂属植物主要分布在亚洲、欧洲和美洲的北纬20~60度之间的广大区域,其种类多少众说纷纭,部分国外学者的认为有250多个种^[1],多数学者认为山楂属植物有1000种左右^[4]。我国原产的山楂属植物通常认为有18个种和6个变种,中国的山楂种质资源广泛分布于除海南岛、香港、澳门、台湾之外的30个省、自治区、直辖市,山楂是我国传统药食两用资源,目前作为栽培及药用植物的山楂种主要有羽裂山楂(*Crataegus pinnatifida* Bge.)及其大果山楂变种(*C. pinnatifida* Bge.var.*major* N.E.Br.),包含了生态类型多样的品种资源及野生资源,山楂因其独特的药用价值、丰富的生态类型,在生产栽培、医药化工和园林观赏等方面都具有很大的发展潜力。

表型性状分类是根据植物外观形态上的差异对植物进行分类,是最直观传统的研究方法^[5-7],是生物遗传变异的表征,是遗传多样性研究的重要内容。对其研究不仅能了解群体遗传变异的大小,而且有助于了解生物适应和进化的方式、机制及其影响因素。而果实性状更是表型遗传多样性研究的重要部分,是种质资源直接利用及创新的基础,利用果实性状变异研究种质资源多样性已被广泛应用于果树中,如橄榄^[8]、龙眼^[9]、杏^[10]、野杏^[11]、光核桃^[12]、芒果^[13]、野生秋子梨^[14]、野生毛花猕猴桃^[15]、野生櫻桃李^[16]等树种中。我国山楂果实遗传多样性研究多是国家果树种质沈阳山楂圃开展的^[17-20],但前期研究也局限于少数性状,特别是基于山楂果实性状的鉴定评价及遗传多样性分析仍需完善补充,开展系统深入的研究。本研究在对我国原产种羽裂山楂(*C. pinnatifida* Bge.)、羽裂山楂大果变种(*C. pinnatifida* Bge.var.*major* N.E.Br.)、伏山楂(*C. bretschneideri* Schneid.)、阿尔泰山楂[*C. altaica* (Loud.) Lange]、湖北山楂(*C. hupehensis* Sarg.),国外引入种红花山楂(*C. laevigata* Poir.)、欧楂(*C. mespilus*)234份山楂种质资源果实性状系统鉴定评价的基础上,利用统计软件进行聚类、相关性、主成分等分析,旨在揭示其变异特点和多样性,划分不同育种目标的种质类群,简化资源鉴定评价指标,为山楂种质资源的保护、评价及新品种选育等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为国家果树种质沈阳山楂圃保存的234份山楂种质资源,种质名称见表1。1~186号为大果变种(*C. pinnatifida* Bge.var.*major* N.E.Br.),187~210号为羽裂山楂(*C. pinnatifida* Bge.),221~228号为伏山楂(*C. bretschneideri* Schneid.),229号为阿尔泰山楂[*C. altaica* (Loud.) Lange],230~232为湖北山楂(*C. hupehensis* Sarg.),233号为红花山楂(*C. laevigata* Poir.),234号为欧楂(*C. mespilus*)。

表1 供试的234份山楂种质资源

Table 1 A total of 234 hawthorn germplasm resources were studied

编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources
1	725	60	黄宝峪1号 Huangbaoyu No.1	119	秋丽 Qiuli	178	枣行小果 Zaoxingxiaoguo

续表1

编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources
2	7910	61	黄宝峪2号 Huangbaoyu No.2	120	山城1号 Shancheng No.1	179	枣行小金星 Zaoxingxiaojinxing
3	79723	62	黄果 Huangguo	121	山城2号 Shancheng No.2	180	枣行早红 Zaoxingzaohong
4	792204	63	辉县大红 Huixiandahong	122	山东大金星 Shandongdajinxing	181	窄口 Zhaikou
5	792403	64	辉县大红孔杞 Huixiandahongkongqi	123	山东红面山楂 Shandonghongmianshanzha	182	砖台山楂 Zhuantaishanzha
6	795507	65	鸡冠山 Jiguanshan	124	山西田生山楂 Shanxitianshengshanzha	183	紫丰 Zifeng
7	1113-小黄面楂 1113-Xiaohuangmianzha	66	吉林叶赫 Jilinyehe	125	上砖白楂 Shangzhuabaizha	184	紫珍珠 Zizhengzhu
8	1462-甜水 1462-Tianshui	67	集安紫肉 Ji'anzirou	126	沈78201 Shen78201	185	自根系 Zigenxi
9	81-2	68	建昌山楂 Jianchangshanzha	127	沈78213 Shen78213	186	遵化33 Zunhua33
10	8321	69	涧沟2号 Jiangu No. 2	128	胜利紫肉 Shenglizirou	187	大洼山里红 Dawashanlihong
11	安泽大果 Anzedaguo	70	绛县798201 Jiangxian798201	129	实生1号 Shisheng No.1	188	红肉山楂 Hongroushanzha
12	鞍山紫肉 Anshanzirou	71	绛县798202 Jiangxian798202	130	实生大绵球 Shishengdamianqiu	189	梨果山里红 Liguoshanlihong
13	八棱 Baleng	72	绛县798203 Jiangxian798203	131	双红 Shuanghong	190	松山村实生 Songshancunshisheng
14	白里 Baili	73	绛县山楂 Jiangxianshanzha	132	水营山楂 Shuiyingshanzha	191	太平山楂 Taipingshanzha
15	白瓢绵 Bairangmian	74	锦红 Jinhong	133	思山岭 Sishanling	192	泰安实生砧木 Tai'an shishengzhenmu
16	百花峪 Baihuayu	75	晋县大红山楂 Jinxiandahongshanzha	134	泰安石榴 Tai'an shiliu	193	胜山林场山里红 Shengshanlinchangshanlihong
17	百花峪大金星 Baihuayudajinxing	76	晋县小野山楂 Jinxianxiaoyeshanzha	135	汤池2号 Tangchi No.2	194	胜山要塞山里红 Shengshanyaozhaihanlihong
18	百泉7803 Baiquan7803	77	京短1号 Jingduan No.1	136	甜水 Tianshui	195	早熟山里红 Zaoshushanlihong
19	百泉7807 Baiquan7807	78	旧寨山楂 Jiuzhaishanzha	137	甜香玉 Tianxiangyu	196	彰武山里红 Zhangwushanlihong
20	百泉7903 Baiquan7903	79	开原1号 Kaiyuan No. 1	138	铁楂 Tiezha	197	万宝地山里红 Wanbaodishanlihong
21	北京灯笼红 Beijingdenglonghong	80	开原红 Kaiyuanhong	139	通化山楂 Tonghuashanzha	198	南区山里红 Nanqushanlihong
22	北京对照 Beijingduizhao	81	开原软籽 Kaiyuanruanzi	140	通辽红 Tongliaohong	199	内蒙古山里红 Neimenggushanlihong
23	北京山楂 Beijingshanzha	82	莱芜黑红 Laiwuheihong	141	万宝地大金星 Wanbaodidajinxing	200	紫肉山里红2号 Ziroushanlihong No.2
24	北京早生 Beijingzaosheng	83	涑水大金星 Laishuidajinxing	142	万宝地实生 Wanbaodishisheng	201	五台山山里红 Wutaishanhanlihong
25	本溪4号 Benxi No. 4	84	涑水金星 Laishuijinxing	143	万宝地实生4号 Wanbaodishisheng No.4	202	1541-山里红 1541-Shanlihong
26	本溪7号 Benxi No.7	85	辽红 Liaohong	144	卧龙岗2号 Wolonggang No.2	203	1544-山里红 1544-Shanlihong
27	敞口 Changkou	86	辽宁10号 Liaoning No.10	145	雾灵红 Wulinghong	204	韩国山里红 Hanguoshanlihong
28	超金星 Chaojinxing	87	辽宁大果 Liaoningdaguo	146	西坟1号 Xifen No.1	205	宪平砧木1号 Xianpingzhenmu No.1
29	陈沟大红 Chengoudahong	88	辽阳紫肉 Liaoyangzirou	147	西坟5号 Xifen No. 5	206	红肉山里红 Hongroushanlihong
30	大黄 Dahuang	89	林县上口 Linxianshangkou	148	西坟实生 Xifenshisheng	207	百花峪山里红 Baihuayushanlihong

续表1

编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources	编号 No.	种质资源 Germplasm resources
31	大货 Dahuo	90	临汾1号 Linfen No.1	149	西丰铜台白野生 Xifengtongtaibaiyesheng	208	化马湾山里红 Huamawanshanlihong
32	大糖球 Datangqiu	91	临汾小果 Linfenxiaoguo	150	溪红 Xihong	209	垂枝山里红 Chuishishanlihong
33	大王庙山楂 Dawangmiaoshanzha	92	隆化795501 Longhua795501	151	向阳2号 Xiangyang No.2	210	软肉山里红3号 Ruanroushanlihong No.3
34	大旺 Dawang	93	隆化795502 Longhua795502	152	小货 Xiaohuo	211	野圃2号 Yepu No.2
35	大五棱 Dawuleng	94	隆化795801 Longhua795801	153	小金星 Xiaojinxing	212	野圃4号 Yepu No.4
36	东陵青口 Donglingqingkou	95	卢龙短枝 Lulongduanzhi	154	小糖球 Xiaotangqiu	213	野圃6号 Yepu No.6
37	东陵山楂 Donglingshanzha	96	芦龙大山楂 Lulongdashanzha	155	蟹子石3号 Xiezishi No.3	214	野圃8号 Yepu No.8
38	短枝寒露红 Duanzhihanluhong	97	滦红 Luanhong	156	蟹子石4号-1 Xiezishi No.4-1	215	软肉山里红2号 Ruanroushanlihong No.2
39	二乙子 Eryizi	98	罗家沟 Luojiagou	157	新宾7号 Xinbin No.7	216	硬肉山里红2号 Yingroushanlihong No.2
40	法库实生山楂 Fakushishengshanzha	99	闫山红 Lvshanhong	158	星石榴 Xingshiliu	217	吉伏1号 Jifu No.1
41	费县大绵球 Feixiandamianqiu	100	马刚大金星 Magangdajinxing	159	兴红3号 Xinghong No.3	218	吉伏2号 Jifu No.2
42	费县紫肉 Feixianzirou	101	马刚早红 Magangzaohong	160	兴红二 Xinghong'er	219	吉伏3号 Jifu No.3
43	粉里山楂 Fenlishanzha	102	马家大队 Majiadadui	161	兴红三 Xinghongsan	220	沈伏1号 Shenfu No.1
44	粉色 Fense	103	马家粉肉 Majiafenrou	162	兴隆实生 Xinglongshisheng	221	沈农伏山楂1号 Shennongfushanzha No.1
45	丰收红 Fengshouhong	104	蒙阴半野小金星 Mengyinbanyexiaojinxing	163	兴隆紫肉 Xinglongzirou	222	伏里红 Fulihong
46	冯水山楂 Fengshuishanzha	105	蒙阴大金星 Mengyindajinxing	164	艳果红 Yanguohong	223	伏山楂 Fushanzha
47	福山铁球 Fushantieqiu	106	蒙阴小金星 Mengyinxiaojinxing	165	燕瓢红 Yanranghong	224	左伏1号 Zuofu No.1
48	抚顺山楂 Fushunshanzha	107	聂家峪2号 Niejiayu No.2	166	燕瓢青 Yanrangqing	225	左伏2号 Zuofu No.2
49	赣榆2号 Ganyu No.2	108	牛心台1号 Niuxintai No.1	167	益都敞口 Yiduchangkou	226	左伏3号 Zuofu No.3
50	隔红 Gehong	109	劈破石2号 Piposhi No.2	168	益都红口 Yiduhongkou	227	555
51	古红 Guhong	110	平邑大红子 Pingyidahongzi	169	益都小黄 Yiduxiaohuang	228	82015
52	挂甲峪1号 Guajiyu No.1	111	平邑伏红子 Pingyifuhongzi	170	银冶岭1号 Yinyeling No.1	229	阿尔泰山楂2号 A'ertaishanzha No.2
53	关山山楂 Guanshanshanzha	112	平邑山楂 Pingyishanzha	171	银冶岭2号 Yinyeling No.2	230	牧狐梨 Muhuli
54	海棠山楂 Haitangshanzha	113	平邑甜红子 Pingyitianhongzi	172	银冶岭7号 Yinyeling No.7	231	湖北1号 Hubei No.1
55	寒丰 Hanfeng	114	平邑早红子 Pingyizaozhongzi	173	豫8001 Yu8001	232	佳甜 Jiatian
56	菏泽大山楂 Hezedashanzha	115	清原磨盘 Qingyuanmopan	174	豫8002 Yu8002	233	红花山楂 Honghuashanzha
57	桓仁向阳 Huanrenxiangyang	116	秋丰 Qiufeng	175	豫8003 Yu8003	234	欧楂 Ouzha
58	红石榴 Hongshiliu	117	秋红 Qihong	176	豫北红 Yubeihong		
59	湖北山楂 Hubeishanzha	118	秋金星 Qiujinxing	177	早红 Zaohong		

1.2 方法

试验于2021–2023年进行,参照《山楂种质资源描述规范》^[21],在各材料果实成熟期,每份材料采集30个成熟果实带回室内保鲜贮藏,室内进行26个果实性状指标的观察和测定。其中17个描述性状采用目测观察法,并根据表型赋值(表2),山楂果皮的颜色与比色卡对比,确定果皮颜色。调查测定9个数量性状(果实纵经、果实横经、果形指数、单果重、百核重、种仁率、心室数、种核数和可食率),每个性状均调查测定30个果实,用游标卡尺分别测量每个果实的纵径、横径,计算果形指数=纵经/横径;用天平称取每组果实重量,然后用刀片剥出种核,调查心室数、种核数量,称取100粒种核重量,计算单果重、百核重与种仁率,种仁率(%)=(百核重/单果重)×100,可食率(%)=(可食部分质量/果实总质量)×100。

表2 山楂 17 个描述性状及赋值

Table 2 Hawthorn 17 descriptive traits and valuation

性状 Character	各类型赋值 Assignment of each type							
	1	2	3	4	5	6	7	8
果实形状 Fruit shape	近圆形 Near globose	扁圆形 Rounded flat	卵圆形 Ovate	倒卵圆形 Inverted ovate	椭圆形 Elliptic	长椭圆形 Oblong	阔倒卵形 Wide inverted ovate	近方形 Near square
果皮颜色 Pericarp color	绿色 Green	橙色 Orange	红色 Red	黄色 Yellowish	紫色 Purple			
果皮光泽 Skin of lustrous	有 Present	无 Absent						
果点多少 Fruit point	少 Less	中 Medium	多 Many					
果点着生状态 Fruit of alight	不明显 Not obvious	较显著 Light obvious	显著 Obvious					
果点颜色 Fruit dot color	灰白 Grey white	灰褐 Grey brown	黄白 Yellowish white	黄褐 Yellowish brown	金色 Golden			
梗洼 Stalk depression	广浅 Broad and shallow	平展 Open and flat	稍隆起 Light raising	隆起 Pausing				
梗基特征 Pedicel features	一侧瘤起 Tubercle one side	膨大状 Expansive						
萼片形状 Sepals shape	三角形 Triangle	三角状卵形 Triangular ovate	卵状披针形 Ovate lanceolate	披针形 Lanceolate	舌形 Tongue shape			
萼片着生状态 Sepals inserted	脱落 Desquamate	残存 Remant	宿存 Keep					
萼片姿态 Sepal posture	开张直立 Open and endlong	半开张直立 Half-open and endlong	半开张反卷 Half-open and curled inverted	开张平展 Open and flat	开张反卷 Open and curled inverted	聚合 Converge	萼尖聚合反卷 Converge and curled inverted	
萼片锯齿 Sepals serrate	无 Absent	有 Present						
萼片绒毛 Sepals tomentose	无 Absent	有 Present						
萼筒形状 Calyx tube shape	漏斗形 Funnel shaped	近圆形 Near globe shaped	圆锥形 Cone shaped	皿形 Petri dish shaped				
果肉颜色 Flesh color	绿白至浅绿 Green white to light green	黄白至浅黄 Yellowwhite to light yellow	橙黄至橙红 Orange to orange red	粉白至浅粉 Pink white to light pink	浅红至深红 Light Red to dark red			
果肉质地 Pulp texture	质硬 Very hard	较硬 Hard	致密 Firm	松软 Loose and soft	滑糯 Greasy and glutinous	绵面 Soft and floury	粉面 Powdery and floury	
种核凹痕 Hollow of seed	有 Present	无 Absent						

1.2 数据分析

采用Excel对数据进行初步整理与分析,再用SPSS 26统计软件,利用平方欧式距离计算方法,对表型性状进行聚类分析和主成分分析,最后对参试品种的各性状进行遗传多样性分析。遗传多样性

指数(H' , Shannon-Wiener diversity index)的计算:通过计算参试材料的平均数(X)和标准差(s),根据计算结果将所有材料划分为10个等级,第1级 $[X_i < (X+2s)]$ 到第10级 $[X_i > (X+2s)]$,每 $0.5s$ 为1级,计算每一级相对频率,从而得到多样性指数。计算公式为: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$ 。式中, P_i 为某性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比, X 为第 i 级中的数据^[22]。

2 结果与分析

2.1 果实性状多样性评价

2.1.1 描述性状 由表3可知,234份山楂种质果实的17个描述性状共检测出67个变异类型,平均变异类型为3.9个。其中,果实形状变异类型最多,为8个;其次是萼片姿态,为7个;各性状的变异类型频率分布不同。各性状的Shannon-Wiener指数差异也较大,范围在0.07~1.67之间,最大为果肉质地,最小为萼片着生状态,表明山楂种质的果实描述性状变异类型丰富。

果实外观性状:果实形状的8个类型中,以近方形最多,其次为扁圆形、近圆形、倒卵圆形、椭圆形、卵圆形和长椭圆形,阔倒卵形有1份为野圃4号;果皮颜色以红色为主,其次为橙色和绿色,黄色仅有4份,分别为大黄、黄果、小黄和1113-小黄面楂;果皮光泽以有光泽为主,占97.44%;果点着生状态大多表现显著,即果点大而凸出、较密,占97.86%,仅4份种质表现不明显(果点较小或无,密度小,不突出),分别为关山山楂、软肉山里红3号、紫珍珠和软肉山里红2号,仅1份种质表现为较显著,为阿尔泰山楂2号;果点颜色的5个类型中多为金色、黄白和黄褐,分别占40.60%、37.18%和18.38%,灰白占3.42%,灰褐仅1份,为泰安实生砧木;果点多少包含3种类型,少、中、和多,分别占3.42%、31.63%和65.95%;梗洼包含广浅、平展、稍隆起和隆起4种类型,分别占65.81%、11.53%、19.23%和3.42%;梗基特征以膨大状为主,占98.29%,4份一侧瘤起,分别为辽宁10号、法库实生山楂、1541-山里红和大洼山里红。

果肉性状:果肉颜色为绿白至浅绿、黄白至浅黄、橙黄至橙红、粉白至浅粉和浅红至深红,分别占21.37%、20.94%、11.53%、38.89%和10.25%;果肉质地以滑糯和松软为主,其次为致密、绵面、较硬和质硬。

果实萼片性状:萼片姿态的7个类型中,以开张反卷最多,占56.84%,其次为开张平展、开张直立、半开张反卷、聚合和聚合萼尖反卷,半开张直立;萼片形状三角形最多,占96.58%,其余为三角状卵形、卵状披针形、披针形和舌形;萼片着生状态主要为宿存,占98.72%,脱落2份,为晋县大红山楂和佳甜,残存1份,为阿尔泰山楂2号;萼片绒毛有绒毛为96.58%,无绒毛为3.42%;萼片锯齿有锯齿为97.86%,无锯齿为2.14%;萼筒形状的4个类型中,以漏斗形最多,其次为圆锥形和皿形,近圆形1份,为秋金星。

果核外观性状:种核特征以有凹痕为主,占89.32%,无凹痕的为10.68%。

2.1.2 数量性状 234份种质果实的9个数量性状变异系数范围为9.00%~43.88%(表4),Shannon-Wiener多样性指数达到0.68~2.02,表明供试种质果实数量性状多样性丰富。

单果重、纵径、横径和果形指数均值分别为6.50 g、2.30 cm、2.30 cm和1.02,其中单果重变异系数最大,为41.38%,多样性指数均超过1.80。单果重最大为资源725,重12.10 g,最小为关山山楂0.47 g,其中8.5 g以上种质份数占25.21%;纵径最长为松山村实生2.83 cm,最短为关山山楂1.01 cm;横径最长为通辽红2.97 cm,最短为关山山楂0.94 cm;果形指数最大为晋县大红山楂1.47,最小为黄宝峪1号0.69;百核重和种核数的平均值为15.80 g和4.68枚,百核重的变异系数最大为29.24%;百核重最轻的开原软籽3.80 g,最重的旧寨山楂26.50 g。

2.2 基于果实性状的聚类分析

对234份山楂果实种质资源的25个农艺性状(果形指数未使用)进行聚类分析,分析其亲缘关系的远近,结果如图1,在欧式距离为7处将234份种质资源分为4大类群,第I类群包括47份材料,这一类均是大果山楂资源;第II类群共包含63份材料,这一类均是大果山楂资源;第III类群共有43份材料,其中以大果山楂(30份)和羽裂山楂(编号187,204,205,206,207,208)为主,其中还包括了红花山楂(编号233)、欧楂(编号234)、4份伏山楂(编号226,227,221,211)和一份湖北山楂(编号232);第IV类群包括81份材料,其中以大果山楂(47份)、羽裂山楂(编号200,210,195,188,194,192,197,189,

表3 17个描述性状多样性分布频率

Table 3 The distribution frequency of diversity of 17 characters was described

性状 Traits	频率分布 Distributed frequency/%								变异系数/% Coefficient of variation	Shannon-Wiener 指数 H'
	1	2	3	4	5	6	7	8		
果实形状 Fruit shape	6.83	10.68	2.14	6.41	5.13	1.71	0.43	66.67	41.57	1.20
果皮颜色 Pericarp color	2.56	5.56	90.17	1.71					18.80	0.42
果皮光泽 Skin of lustrous	2.56	97.44							17.53	0.11
果点多少 Fruit point	3.42		31.63		65.95				25.30	0.73
果点着生状态 Fruit of alight	1.71	0.43	97.86						10.20	0.15
果点颜色 Fruit dot color	3.42	0.43	37.18	18.38	40.60				27.18	1.19
梗洼 Stalk depression	65.81	11.53	19.23	3.42					56.52	0.97
梗基特征 Pedicel features	1.71	98.29							6.56	0.08
萼片形状 Sepals shape	96.58	1.71	0.85	0.43	0.43				36.79	0.18
萼片着生状态 Sepals inserted	0.85	0.43	98.72						6.40	0.07
萼片姿态 Sepal posture	6.41	0.85	2.99	30.34	56.84	1.28	1.28		25.12	1.10
萼片锯齿 Sepals serrate	2.14	97.86							9.09	0.05
萼片绒毛 Sepals tomentose	3.42	96.58							18.75	0.15
萼筒形状 Calyx tube shape	86.32	0.43	11.53	1.71					57.03	0.47
果肉颜色 Flesh color	21.23	20.94	11.53	38.89	10.25				4.69	1.47
果肉质地 Pulp texture	5.39	8.30	19.92	21.58	25.73	18.26			34.63	1.67
种核特征 Species nuclear characteristics	10.68	89.32							28.14	0.35

表4 山楂234份种质资源果实9个数量性状多样性分析

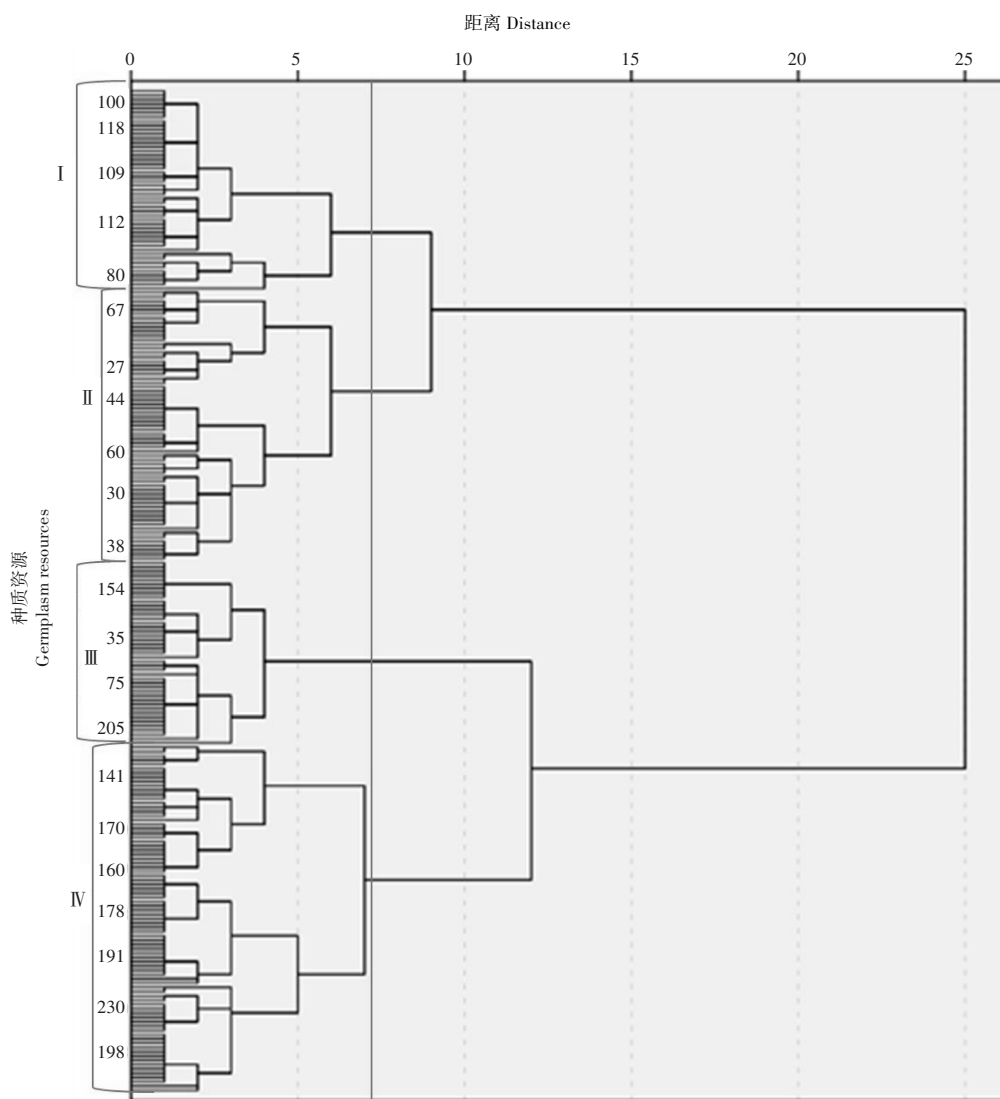
Table 4 Diversity analysis of 9 quantitative characters in fruits of 234 hawthorn germplasm resources

性状 Traits	极小值 Minima	极大值 Maximum	变异幅度 Range of variation	标准差 Standard deviation	均值 Mean	变异系数/% Coefficient of variation	遗传多样性 指数 H'
百核重/g 100-stone weight	3.80	26.50	22.70	4.62	15.80	29.24	1.95
心室数/个 Number of seed	3.00	5.00	2.00	0.66	4.68	14.07	0.68
种核数/枚 Number of species	3.00	5.00	2.00	0.66	4.68	14.07	0.68
种仁率/% Seed kernel rate	0.00	94.00	94.00	20.54	46.81	43.88	2.03
可食率/% Edible rate	0.39	0.96	0.57	0.08	0.81	9.75	1.61
单果重/g Single fruit weight	0.45	12.80	12.35	2.76	6.50	41.38	1.92
果实横径/cm Fruit diameter	0.94	2.97	2.03	0.37	2.30	16.09	1.90
果实纵径/cm Fruit longitudinal diameter	1.01	2.83	1.82	0.35	2.30	15.22	1.86
果形指数 Index of nut shape (Longitudinal diameter/ transverse diameter)	0.69	1.47	0.78	0.09	1.02	9.00	1.94

表5 主成分的特征值、贡献率和累积贡献率

Table 5 The latent root, contributor ratio and accumulative contributor ratio of the principal component

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Accumulative contribution rate
PC1	5.369	21.478	21.478
PC2	1.875	7.499	28.977
PC3	1.691	6.762	35.739
PC4	1.464	5.857	41.596
PC5	1.407	5.629	47.225
PC6	1.33	5.319	52.544
PC7	1.204	4.815	57.359
PC8	1.112	4.448	61.806
PC9	1.004	4.016	65.823



第 I 类群从上至下依次为 91, 93, 100, 95, 90, 96, 94, 113, 118, 104, 110, 99, 124, 125, 117, 120, 121, 115, 122, 109, 114, 123, 85, 88, 103, 126, 140, 131, 134, 132, 112, 116, 106, 111, 98, 102, 97, 127, 101, 108, 107, 119, 80, 81, 78, 89 和 64 号资源; 第 II 类群从上至下依次为 49, 54, 72, 74, 67, 92, 58, 63, 41, 52, 48, 53, 17, 29, 12, 25, 23, 27, 31, 36, 6, 8, 43, 45, 32, 44, 61, 62, 65, 59, 55, 68, 76, 69, 77, 86, 79, 60, 1, 19, 7, 13, 15, 3, 5, 18, 26, 30, 40, 21, 24, 16, 20, 9, 2, 28, 42, 50, 34, 38, 37, 33 和 51 号资源; 第 III 类群从上至下依次为 73, 87, 233, 234, 4, 57, 154, 155, 14, 10, 11, 226, 145, 208, 129, 130, 105, 35, 71, 157, 180, 158, 227, 167, 221, 47, 211, 66, 75, 206, 83, 84, 46, 232, 82, 56, 204, 207, 205, 187, 179, 128 和 133 号资源; 第 IV 类群从上至下依次为 218, 229, 200, 210, 195, 135, 137, 141, 138, 146, 139, 147, 151, 166, 171, 176, 184, 174, 162, 170, 181, 161, 143, 149, 152, 144, 136, 142, 160, 153, 183, 188, 177, 172, 182, 163, 148, 150, 173, 178, 168, 169, 156, 159, 186, 194, 192, 197, 189, 191, 185, 193, 199, 213, 202, 209, 70, 215, 164, 175, 165, 230, 220, 224, 203, 217, 231, 196, 201, 190, 212, 198, 214, 222, 228, 216, 223, 225, 219, 22 和 39 号资源。采用平均联接(组内)制图 Pedigree charts using average joins (within groups)

图1 234份山楂种质资源聚类分析结果

Figure 1 Results of cluster analysis of 234 hawthorn germplasm resources

191, 193, 199, 202, 209, 203, 196, 201, 190, 198)和伏山楂(编号213, 215, 220, 224, 217, 212, 214, 222, 216, 223, 225, 219, 228)为主,另外2份湖北山楂(编号231, 230)和阿尔泰山楂(编号229)在该类群中。

聚类结果显示以果实性状进行的聚类分析,亲缘关系近的同一种资源多数聚在了一起,如第Ⅰ类和第Ⅱ类群均是大果山楂,24份羽裂山楂资源大部分(18份)在第Ⅳ类群,其余种的山楂资源主要分布在第Ⅲ类群和第Ⅳ类群,没有和大果山楂、羽裂山楂分开形成单独的类群,其原因可能是涉及的份数太少,但这些资源在聚类图中是聚在一起的,例如均来自欧洲的红花山楂和欧楂是相邻的2份资源,伏山楂的大部分资源位于第四类群,并且这些资源是排列在一起的。

2.3 基于果实性状的主成分分析

对234份山楂资源果实性状进行主成分分析(表5),提取的主成分有9个特征值在1.0以上,前9个主成分贡献率累积达到了65.823%。第1主成分的贡献率为21.478%,特征值为5.369,明显大于其他8个特征值,负载值较高的有果实纵径、果实横径、百核重、心室数、种核数、种仁率和果点多少;第2主成分的贡献率为7.499%,特征值为1.875,负载值较高的有心室数、种核数、梗基特征和梗洼;第3主成分的贡献率为6.762%,特征值为1.691,负载值较高的只有果肉颜色;第4主成分的贡献率为5.857%,特征值为1.464,负载值较高的只有萼片姿态;第5主成分的贡献率为5.629%,特征值为1.407,负载值较高的只有萼片形状;第6主成分的贡献率为5.319%,特征值为1.330,负载值较高的有果皮光泽和萼片着生状态;第7主成分的贡献率为4.815%,特征值为1.204,负载值较高的只有种核特征;第8主成分的贡献率为4.448%,特征值为1.112,负载值较高的只有萼片锯齿;第9主成分的贡献率为4.016%,特征值为1.004,负载值较高的只有萼筒形状。综合分析可得,26个表型性状可简化为9个主成分,包含17个表型性状。

3 讨论

果实性状的鉴定与评价,是果树种质资源研究的首要工作,也是新品种选育和创新利用的基础^[23-25],变异系数反映某性状数据的离散程度,其大小与性状的变异范围呈正相关,值越大表明性状变异程度越大,品种间性状的差异也越大^[26],本研究中发现234份山楂资源间果实性状存在较大差异,且多样性丰富。其中,17个描述性状平均变异类型为3.9个,各描述性状各类型的分布频率差异较大,有14种描述类型变异系数大于50%。9个果实数量性状变异系数为9.00%~43.88%;Shannon-Wiener多样性指数反映种质资源间的多样性,其大小受性状分组数目和组内个体分布均匀程度影响,值越高表明性状的多样性越丰富^[22],本研究中描述性状的Shannon-Wiener多样性指数为0.07~1.67,而数量性状Shannon-Wiener指数为0.68~2.02,较描述性状多样性更为丰富,这些都为筛选地方种质作为育种材料和种质创新提供了可能性。

本研究对山楂种质资源的果实表型性状做了相关性、主成分及聚类分析,通过主成分分析提取到9个主要性状,提取的主成分有9个特征值在1.0以上,前9个主成分贡献率累积为65.823%,说明各个性状的贡献率较为分散,累积贡献率增长不明显,果实表型受多个性状共同影响^[13,27];相关性分析显示,山楂种质资源果实性状间存在显著或极显著的相关性,如可食率与心室数、种核数、百核重、单果重与果实横、纵径互呈极显著相关等,这与劳永春^[20]的研究结果一致;本研究中通过聚类分析将234份山楂种质划分为4个类群,聚类结果显示以果实性状进行的聚类分析,亲缘关系近的同一种资源多数聚在了一起,如第Ⅰ类和第Ⅱ类群均是大果山楂,24份羽裂山楂资源大部分(18份)在第Ⅳ类群,其余几个种的山楂资源主要分布在第Ⅲ和第Ⅳ类群,没有和大果山楂、羽裂山楂分开形成单独的类群,分析原因可能是资源份数太少,但这些资源在聚类图中是聚在一起的,例如均来自欧洲的红花山楂和欧楂是相邻的两份资源,伏山楂的大部分资源位于第Ⅳ类群,并且这些资源是排列在一起的。

目前表型性状仍然是种质资源研究的最基本的方法和途径。通过研究物种的表型多样性,可以深入了解种质资源的变异结构、演化来源和规律,本研究从果实性状角度进行分析,揭示了山楂资源变异特点和多样性,划分了不同育种目标的种质类群,简化资源鉴定评价指标,为山楂种质资源的保护、评价及新品种选育等提供理论依据。

参考文献:

- [1] EVANS R C,CAMPBELL C S.The origin of the apple subfamily (Maloideae;Rosaceae) is clarified by DNA sequence data from duplicated GBSSI genes[J].American Journal of Botany,2002,89(9):1478-1484.
- [2] CAMPBELL C S,EVANS R C,MORGAN D R,et al.Phylogeny of subtribe Pyrinae (Formerly The Maloideae, Rosaceae): Limited resolution of a complex evolutionary history[J].Plant Systematics and Evolution,2007,266(1):119-145.
- [3] PHIPPS J B,ROBERTSON K R,ROHRER J R,et al.Origins and evolution of Subfam.Maloideae (Rosaceae)[J]. Systematic Botany,1991,16(2):303-332.
- [4] 赵焕璋,丰宝田.中国果树志.山楂卷[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [5] 魏广伟,阳慧怡,王敏,等.芝麻种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J].江苏农业科学,2022,50(18): 122-130.
- [6] 金宇豪,阳会兵,高倩文,等.陆地棉纤维品质和农艺性状遗传多样性分析及优良材料鉴定[J].东北农业大学学报, 2022,53(2):1-12
- [7] 张万博,马晓莹,陈素梅,等.不同花型及花径切花菊花香挥发物多样性分析[J].南京农业大学学报,2022,45(4):675- 683.
- [8] 吴如健,万继锋,韦晓霞,等.橄榄种质资源果实表型性状多样性分析及其数量分类研究[J].果树学报,2015,32(5): 797-805.
- [9] 黄爱萍,陈秀萍,胡文舜,等.龙眼种质资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J].果树学报,2010,27(6): 938-945.
- [10] 赵海娟,刘威生,刘宁,等.普通杏(*Armeniaca vulgaris*)种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J].果树学报, 2013,30(1):37-42.
- [11] 董胜君,常鸿韬,颜君,等.新疆野杏果实表型性状多样性研究[J].沈阳农业大学学报,2020,51(5):513-521.
- [12] 谭江平.西藏光核桃果实性状分析及遗传多样性研究[D].雅安:四川农业大学,2012.
- [13] 石胜友,武红霞,王松标,等.杧果种质果实品质性状多样性分析[J].园艺学报,2011,38(5):840-848.
- [14] 安萌萌,王艳廷,宋杨,等.野生秋子梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim)果实性状的遗传多样性[J].中国农业科学, 2014,47 (15):3034-3043.
- [15] 汤佳乐,黄春辉,吴寒,等.野生毛花猕猴桃果实表型性状及 SSR 遗传多样性分析[J].园艺学报,2014,41(6): 1198-1206.
- [16] 刘崇琪,陈学森,王金政,等.新疆野生櫻桃李果实部分表型性状的遗传多样性分析[J].园艺学报,2008,35(9): 1261-1268.
- [17] 姜英林,董文轩.山楂种质资源的表型多样性研究[J].北方果树,2009(1):8-10.
- [18] 赵玉辉,王岗,苏凯,等.山楂种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J].分子植物育种,2014,12(6):1281-1287.
- [19] 黄闪闪.部分山楂种质资源重要果实性状的评价研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [20] 劳永春.山楂属种质资源形态学评价及疑似资源鉴定[D].沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [21] 农业部种植业管理司.山楂种质资源描述规范: NT/T 2928-2016[S].北京:中国农业出版社,2017.
- [22] 潘存祥,许勇,纪海波,等.西瓜种质资源表型多样性及聚类分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(1):59-63.
- [23] 冯涛,张红,陈学森,等.新疆野苹果果实形态与矿质元素含量多样性以及特异性状单株[J].植物遗传资源学报, 2006,7(3):270-276.
- [24] 张小燕,陈学森,彭勇,等.新疆野苹果酚类物质组分的遗传多样性[J].园艺学报,2008,35(9):1351-1356.
- [25] 张小燕,陈学森,彭勇,等.新疆野苹果矿质元素与糖酸组分的遗传多样性[J].园艺学报,2008,35(2):277-280.
- [26] 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.
- [27] PRADEEPKUMAR T,JOSEPH P,JOHNKUTTY I.Variability in physico-chemical characteristics of mango genotypes in northern Kerala[J].Journal of Tropical Agriculture,2006,44:57-60.

[责任编辑 马迎杰]