



南酸枣种质资源果实性状变异和综合评价

龙桂根, 黄芝云, 吴南生, 冯胜, 冯超, 丁菲, 金松松, 何利人, 王勇, 陈玲

引用本文:

龙桂根,黄芝云,吴南生,冯胜,冯超,丁菲,金松松,何利人,王勇,陈玲. 南酸枣种质资源果实性状变异和综合评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(6): 781–790.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4914>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析

Genetic Diversity Analysis of Fruit Traits of *Hylocereus undatus* Germplasm Resources

热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 432–438 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4007>

基于表型性状和SSR标记的57份辣椒种质遗传多样性分析

Genetic Diversity Analysis of 57 Germplasms of *Capsicum annuum* Based on Phenotypic Traits and SSR Markers

热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 356–366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4185>

橄榄种质资源花序表型性状遗传多样性研究

Studies on Genetic Diversity on Inflorescence Phenotypic Characteristics of *Canarium album* Germplasm Resource

热带亚热带植物学报. 2019, 27(1): 1–10 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3940>

木豆种质资源形态与农艺性状的多样性分析

Diversity Analysis of Morphological and Agronomic Traits in *Cajanus cajan*

热带亚热带植物学报. 2017, 25(1): 51–56 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3633>

星油藤蒴果及种子的性状变异研究

Study on Phenotype Variations of Capsules and Seeds in *Plukenetia volubilis* L.

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 264–270 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3683>

向下翻页, 浏览PDF全文

南酸枣种质资源果实性状变异和综合评价

龙桂根^{1,2,3}, 黄芝云^{4*}, 吴南生⁵, 冯胜², 冯超¹, 丁菲⁵, 金松松²,
何利人⁶, 王勇², 陈玲⁷

(1. 中国科学院华南植物园, 植物保育遗传与利用重点实验室, 广州 510650; 2. 宜春市科学院, 江西 宜春 336000; 3. 中国科学院大学, 北京 100049;
4. 宜春市农业农村局, 江西 宜春 336000; 5. 江西农业大学南酸枣研究所, 南昌 330045; 6. 崇义县绿之蓝林业有限公司, 江西 崇义 341300; 7. 宜春学院, 江西 宜春 336000)

摘要: 为了解典型分布区南酸枣(*Choerospondias axillaris*)种质资源果实性状变异规律和遗传多样性, 对来源于7省20份南酸枣种质资源的14个主要性状进行了系统分析和综合评价。结果表明, 20份南酸枣种质资源果实的14个性状具有不同程度的变异和遗传多样性, 除果形指数、可食率外的其他果实性状的变异系数均在10%以上, 果实性状平均遗传多样性指数为1.88。相关性分析表明南酸枣单果重与果皮重、果核重、果肉重、横径等指标均呈极显著正相关, 相关系数大于0.93。聚类分析将南酸枣种质资源划分为2大类群, 其中第2大类群又分为3个小类群, 类群间不同性状差异显著, 最大的差异是单果重。采用主成分综合评分法建立了南酸枣综合分析模型, 并筛选出17#、16#、10#、91#等种质, 其具有果大、维生素C含量较高、总糖含量较高的特点, 综合性状佳, 可作为优良种质资源进行培育。因此, 南酸枣种质资源果实性状具有丰富的遗传多样性, 筛选出的4个果用南酸枣种质资源具有较高选育价值和开发利用潜力。

关键词: 南酸枣; 种质资源; 果实性状; 变异; 遗传多样性; 综合评价

doi: 10.11926/jtsb.4914

CSTR:32235.14.jtsb.4914

Variation and Evaluation of Fruit Traits from *Choerospondias axillaris* Germplasm Resources

LONG Guigen^{1,2,3}, HUANG Zhiyun^{4*}, WU Nansheng⁵, FENG Sheng², FENG Chao¹, DING Fei⁵,
JIN Songsong², HE Liren⁶, WANG Yong², CHEN Ling⁷

(1. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Yichun Academy of Sciences, Yichun 336000, Jiangxi, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 4. Yichun Agriculture and Rural Bureau, Yichun 336000, Jiangxi, China; 5. Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 6. Chongyi County Lvzhilan Forestry Co., LTD, Congyi 341300, Jiangxi, China; 7. Yichun University, Yichun 336000, Jiangxi, China)

Abstract: In order to analyze the variation pattern and genetic diversity of *Choerospondias axillaris* germplasms in typical distribution areas, fourteen fruit traits of 20 germplasms from 7 provinces were systematically analyzed and comprehensively evaluated. The results showed that there were variation and genetic diversity of 14 fruit traits in 20 germplasm resources. The variation coefficients of fruit traits except fruit shape index and edible rate were more than 10%, and the average genetic diversity index of fruit traits was 1.88. The correlation analysis showed that the single fruit weight of *C. axillaris* was positively correlated with the indexes of peel weight, kernel weight, pulp weight and transverse diameter, and the correlation coefficient was greater than 0.93. The 20

收稿日期: 2024-03-06

接受日期: 2024-06-03

基金项目: 江西省林业创新专项([2021]04); 宜春市“5511”重点科技支撑项目(2023ZDJCYJ 13); 广州市科技计划项目(2024A04J4146)资助

This work was supported by the Forestry Innovation Special Project of Jiangxi Province ([2021]04), “5511” Key Science and Technology Project of Yichun City (Grant No. 2023ZDJCYJ 13), Science and Technology Project of Guangzhou City (Grant No. 2024A04J4146).

作者简介: 龙桂根(1982年生), 男, 研究方向为林木遗传育种和培育。E-mail: 34674610@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 752381592@qq.com

germplasms of *C. axillaris* were divided into 2 groups by cluster analysis, and the group II was further divided into 3 subgroups, and there were significant differences in fruit traits between 2 groups, and the biggest difference was single fruit weight. A comprehensive analysis model was established based on the principal component comprehensive scoring method. The 17#, 16#, 10#, 91# germplasms were selected, which had the characteristics of large fruit, high Vitamin C content, high total sugar content, and good comprehensive traits, and could be used as excellent germplasm resources for cultivation. Therefore, the fruit traits of *C. axillaris* germplasms had rich variation and genetic diversity, the selected 4 germplasm resources for fruit use had high breeding value and potential for development and utilization.

Key words: *Choerospondias axillaris*; Germplasm resource; Fruit trait; Mutation; Genetic diversity; Comprehensive evaluation

南酸枣(*Choerospondias axillaris*)作为典型的野生优势林果,集良好的材用、食用、药用等多种用途于一身,产业链长,是一种重要的经济林,其果实营养丰富,含有多种氨基酸、矿物质、维生素和生物活性物质^[1]。鲜果具有助消化、增食欲、治疗食滞腹痛、便秘等功效,果核有清热解毒、收敛、治疗烫伤等功效,种仁味甘酸,性平,有润肺、滋补和安神镇静等作用,树皮的水提取液具有较好的治疗烧伤作用,且可以减少被感染的风险^[2-4]。干燥果实(俗称广枣)还具有抗心肌缺血、抗心律失常、抗心肌纤维化、抗氧化、抗病毒等作用,是多种蒙药发挥疗效的主要药效物质基础^[3],作为中药材位列中国药典。南酸枣含有丰富的槲皮素、山奈酚等黄酮类和原儿茶酸、没食子酸、水杨酸、丁香醛等酚酸类化合物和其他类化合物,其中有机酸在鲜果肉、果皮中占比达 5.22%~8.13%,种仁的脂肪含量达 13.4%~14.7%,蛋白质含量为 12.57%~13.84%^[3,5-6]。

南酸枣为东南亚特有的单属单种乔木,分布范围广泛,是亚热带、热带典型分布植物,广泛分布于我国长江以南、东南亚区域^[7]。化石记录表明该属在渐新世和中中新世期间广泛分布于欧亚大陆^[8-9]。我国现存最早的化石证据见于福建省漳浦县发现的中中新世保存完好的三维立体南酸枣果化石,其形态特征比现代南酸枣更为多样^[10-13]。研究表明南酸枣在我国主要分布于安徽、福建、广东、广西、贵州、湖北、湖南、江西、四川东部、重庆、台湾、陕西南部、河南东南部、江苏西南部、西藏东南部、云南、浙江等地^[14-17]。南酸枣分布广泛、适生环境丰富多样及雌雄异株的特性,导致南酸枣果实表型变异丰富,系统分析南酸枣果实的表型和品质,对鉴定、评价南酸枣种质资源具有重要意义,也能加快果用南酸枣良种选育进程。

经济植物表型多样性的研究方法主要是通过表型性状分析遗传多样性,这也是表型遗传多样性经典分析方法,分析过程普遍采用相关性分析、主成分分析和聚类分析^[18]。目前,对文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)、杜仲(*Eucommia ulmoides*)、石榴(*Punica granatum*)、报春苣苔(*Primulina tabacum*)、榛子(*Corylus heterophylla*)、草莓(*Fragaria chiloensis*)、乐昌含笑(*Michelia chapensis*)、油茶(*Camellia oleifera*)、滇龙胆(*Gentiana rigescens*)、火龙果(*Hylocereus undatus*)等进行了表型性状分析和评价^[19-30]。南酸枣果实表型多样性分析主要包括果形指数、可食率、单果重、果核重等,其果实变异丰富,是具有较大开发潜力的森林食品^[6,10,17,31-33]。但一直以来,对果用南酸枣的系统鉴定和综合评价鲜有报道,更未见系统分析南酸枣的维生素 C、总糖、总酸含量等果实品质的报道,也未见分析南酸枣的关键指标的变异范围及其相关性的报道,导致生产上对南酸枣果实分级、良种分类存在较大的随意性。随着南酸枣枣糕、南酸枣药物等加工产业的逐步发展,南酸枣鲜果尤其是可食率高、维生素 C 含量高的优质鲜果处于供不应求的状态,其种植收益也逐渐攀升,种植果用南酸枣成为更多林农的选择。南酸枣产业的发展,对果用南酸枣品种创新及其品质的要求不断提高,种质资源的潜力亟待深入挖掘,这就要求系统开展南酸枣果实表型性状的多样性分析及综合评价,以探明南酸枣经济性状遗传规律及遗传背景。本研究对大果、中果、小果等代表性强的不同南酸枣种质资源的单果重、可食率、果核占比、维生素 C、总糖、总酸等指标进行了测定,并进行了聚类分析、相关性分析、主成分分析,综合评价了南酸枣各类指标,初步指明了南酸枣果实分级、良种类群的关键指标及范围,为构建果用南酸

枣种质综合评价及良种选育提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验材料为贵州、湖南、江西、广东、广西、四川、云南 7 省的南酸枣(*Choerospondias axllaris*) 种质资源 20 份(表 1), 均以嫁接苗方式保存于江西崇义县葫芦洞齐云山种质资源圃, 砧木为南酸枣实生苗。于 2017 年 3 月引种植于江西省宜春市袁州区洪塘镇伊塘村(27°55'34.41" N, 114°16'54.91"

E)。定植株行距 4 m×3 m, 所有种质资源采用统一管理措施。

试验地地处中亚热带季风气候区, 四季分明, 热量丰富, 降水充沛, 日照充足, 无霜期长。年均温 16.2 °C~17.7 °C; 最冷月 1 月平均气温 4.6 °C~5.3 °C, 极端最低气温-15.8 °C; 最热月 7 月平均气温 27.3 °C~29.6 °C, 极端最高气温 41.6 °C; 年均降水量为 1 545.6~1 736.3 mm, 4 月—6 月平均降水量为 754.2 mm, 占年总量的 46.4%; 年均日照时数 1 737.1 h。土壤为花岗岩发育的黄红壤, 林地原为苗圃地。

表 1 南酸枣种质资源一览表

Table 1 Information of *Choerospondias axllaris* germplasm resources

编号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin	类型 Type	编号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin	类型 Type
5	酸枣果 5 号	贵州贵阳	优株选育	7	圆果 7 号	江西崇义	优株选育
102	小果赣 2 号	江西崇义	优株选育	13	圆果 13 号	广西贺县	优株选育
11	圆酸枣 11 号	江西会昌	优株选育	1102	晚熟果 2 号	江西铅山	优株选育
3	长果 3 号	湖南常德	优株选育	16	超大果 16 号	湖南益阳	优株选育
10	大果 10 号	江西万载	优株选育	6	小果 6 号	四川绵阳	优株选育
1103	长圆果晚 3 号	江西崇义	优株选育	9	大果 9 号	广东饶平	优株选育
1	长圆果 1 号	广东始兴	优株选育	112	晚熟果 12 号	云南文山	优株选育
91	长大果 1 号	江西吉安	优株选育	1104	果用晚 4 号	江西修水	优株选育
1101	晚熟 1 号	江西崇义	优株选育	17	大果 17 号	广西桂林	优株选育
104	晚熟赣 4 号	江西会昌	优株选育	114	赣圆 14 号	江西铅山	优株选育

1.2 方法

2022 年在 8 月中旬至 12 月下旬, 对每份种质资源选取 15 株生长良好、结果正常的活立木, 收集成熟果实 30~50 个。测量每个果实的单果重、果纵径、果横径、单果果皮重、单果果核重、单果肉重、果核占比、果肉占比、可食率、果形指数等。对南酸枣果实可滴定酸含量、可溶性总糖含量、维生素 C 含量、糖酸比(TSC/TAC)等指标进行调查。调查设备主要是数显游标卡尺、电子微分天平 and 数显酸度计。分析测量果实时, 剔除残次果, 选择色泽均匀、大小一致、无机械损伤的鲜果实进行品质分析。果肉含量=单果重-果皮重-果核重, 可食率=(单果果皮重+单果果肉重)/单果重×100%, 糖酸比=可溶性总糖含量/可滴定酸含量×100%。

果形指数采用数显游标卡尺分别测量果实中段最大处的直径作为宽; 测量果实纵径作为长, 果形指数=果实长/果实宽。

品质指标可溶性糖含量、可滴定酸含量、维生

素 C 含量参考贾一鸣^[34]的方法测定。

1.3 数据分析

在进行各品系的综合评价评分时, 为了消除不同量纲和数量级对评价结果的影响, 采用 Z-score 法对选取的产量、果实品质等指标进行标准化处理。

数量性状变异系数: $CV=s/\bar{x}$, 式中, \bar{x} 为性状平均值, s 为性状标准差。

$$\text{多样性指数: } H = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (i=1, 2, 3, 4\dots),$$

其中 P_i 为某性状第 i 分级内材料分布频率的有效百分比, 质量性状直接按各分级的有效百分比计算^[35-37], 根据平均值(μ)和标准差(σ)将各性状划分为 10 级, 从第 1 级 $X_i < (\mu - 2\sigma)$ 到第 10 级 $X_i \geq (\mu + 2\sigma)$, 每 0.5σ 为 1 级, 统计各级的分布频率 P_i 。

对所有数据采用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件进行方差、多重比较 (least-significant difference,

LSD)、相关性分析、主成分分析和聚类分析等。

2 结果和分析

2.1 果实性状多样性分析

南酸枣纵径、果横径、果皮重、果核重、果形指数、品质(总酸、总糖、维生素 C)等性状见表 2。20 个南酸枣无性系种质资源的 14 个性状变异系数为 59.01%~7.28%,遗传多样性指数为 1.51~2.03,说明南酸枣果实具有较高的遗传多样性。果形指数、可食率的变异系数较小,分别为 7.28%、8.03%,遗传多样性指数分别为 2.02、1.79,90%南酸枣种质资源的果形指数为 1.13~1.35,82.17%的可食率为 66.22%~74.06%,说明南酸枣的果形、可食率遗传变异程度较小,基本为长椭圆形,可食率较高,具有较稳定的遗传特性,基于果形指数、可食率对南酸枣种质资源改良筛选潜力较小。单果重、果核重、

果皮重、果肉重、果核占比的变异系数较大,分别为 34.95%、49.64%、31.20%、34.55%、17.74%,遗传多样性指数分别为 1.77、1.51、1.97、1.89、1.76,84.29%的单果重为 0.67~19.27 g,82.85%的单果果核重为 3.94~7.84 g,84.50%的果核占比为 25.64%~33.94%,说明南酸枣单果重、果核重、果核占比等性状的变异较大,呈现明显的遗传差异。

在品质方面,可溶性总糖含量的变异系数较大,为 54.37%,最小仅 0.23%,最大为 2.82%,二者比值为 12.26,差异极大,导致糖酸比的变异系数也达 59.01%;可滴定酸的变异系数最小,为 18.14%,其极小值与极大值比值为 2.0。可滴定酸的遗传多样性指数最大,为 2.03,其次是可溶性总糖遗传多样性指数为 1.95。根据南酸枣果实功能性营养物质的变异程度分析,其可滴定酸含量、维生素 C 含量、可溶性总糖含量呈现出明显的遗传差异,具有较高的遗传多样性。

表 2 南酸枣的果实性状和遗传多样性

Table 2 Fruit traits and diversity of *Choerospondia axllaris* germplasms

性状 Trait	全距 Range	极小值 Min.	极大值 Max.	平均 Mean	标准差 SD	CV/%	H'
TAC /%	4.68	4.68	9.36	6.45	1.17	18.14	2.03
VCC (mg/100 g)	35.91	14.15	50.06	35.95	10.77	29.95	1.82
TSC /%	2.59	0.23	2.82	1.21	0.66	54.37	1.95
TSC/TAC	0.53	0.03	0.56	0.20	0.12	59.01	1.92
FLD (mm)	21.80	24.45	46.25	32.96	3.81	11.56	2.01
FTD (mm)	18.17	20.69	38.86	27.22	3.18	11.68	1.95
FSI	0.67	0.86	1.54	1.21	0.09	7.28	2.02
SFW (g)	34.88	7.56	42.44	16.40	5.73	34.95	1.77
PEW (g)	5.97	1.73	7.70	3.39	1.06	31.20	1.97
SW (g)	15.81	2.24	18.05	5.24	2.60	49.64	1.51
PP /%	45.59	17.08	62.67	47.70	5.93	12.44	1.96
PFS /%	38.59	20.48	59.08	31.17	5.53	17.74	1.76
PW (g)	19.04	2.53	21.57	7.77	2.68	34.55	1.89
FER /%	38.59	40.92	79.52	68.83	5.53	8.03	1.79

TAC: 可滴定酸含量; VCC: 维生素 C 含量; TSC: 可溶性总糖含量; TSC/TAC: 糖酸比; FLD: 果实纵径; FTD: 果实横径; FSI: 果形指数; SFW: 单果重; PEW: 单果果皮重; SW: 单果果核重; PP: 果肉占比; PFS: 果核占比; PW: 单果果肉重; FER: 可食率; CV: 变异系数; H': 多样性指数。下同

TAC: Titratable acid content; VCC: Vitamin C content; TSC: Total soluble sugar content; FLD: Fruit longitudinal diameter; FTD: Fruit transverse diameter; FSI: Fruit shape index; SFW: Single fruit weight; PEW: Peel weight; SW: Stone weight; PP: Pulp proportion; PFS: Proportion of fruit stone; PW: Pulp weight; FER: Fresh edible rate; CV: Variation coefficient; H': Diversity index. The same below

2.2 聚类分析

基于表观性状、功能性营养物质含量,采用 K 值均值聚类对 20 份南酸枣种质资源进行分析(图 1)。在欧式距离为 25.0 处,20 份南酸枣种质资源可分为 2 个大类群,第 I 类有 2 份资源,分别为

16#、17#;第 II 类有 18 份资源,又可分为 3 个亚类(II-1、II-2、II-3)。第 I 类资源鲜果重均大于 34.81 g,第 II 类鲜果重均大于 16.52 g,这说明南酸枣种质资源的单果重差异明显。第 II-1 类有 3 份资源,分别是 5#、102#和 112#,单果重平均为 13.00 g;第

II-2 类仅 1 份, 即 10#, 单果重 28.79 g; 第 II-3 类共 14 份资源, 平均单果重 18.48 g, 第 II-3 类较第 II-1 类的鲜果重更高。第 I 类鲜果维生素 C 含量达 42.99 mg/100 g, 第 II 类中以 II-3 类为佳, 维生素 C

含量达 35.08 mg/100 g, 这 2 类种质资源可作为选育和改良品种的基本材料。南酸枣鲜果的可食率差异不明显、遗传多样性也不高, 选育和改良品种时, 此性状可不计入。

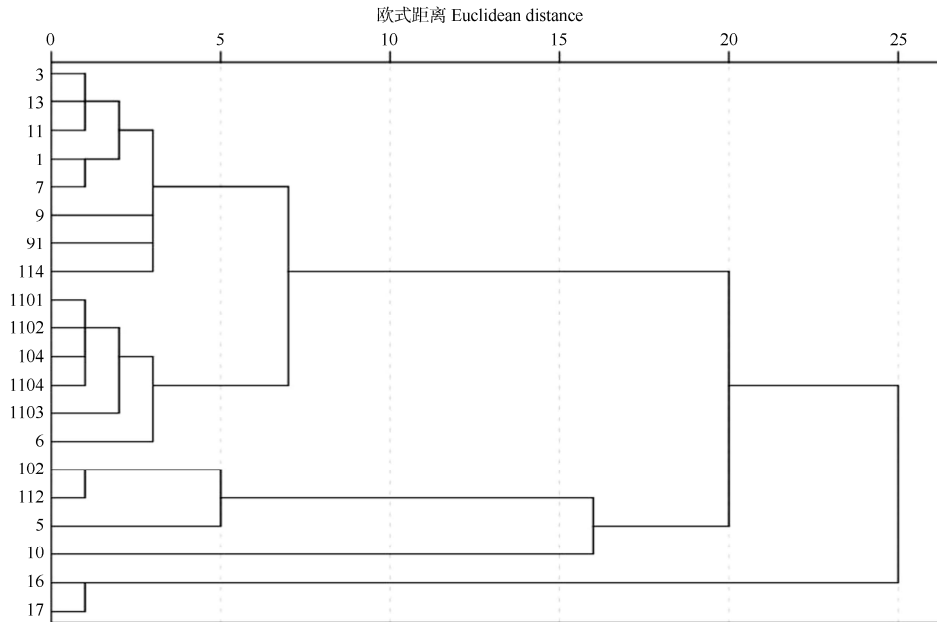


图 1 20 份南酸枣种质资源果实性状的聚类图

Fig. 1 Cluster map of fruits traits in 20 *Choerospondia axllaris* germplasm

2.3 相关性分析

对南酸枣的表观性状、品质性状进行相关性分析, 结果表明(表 3), 单果重与果核重、果皮重、果肉重、果核占比、果纵径、果横径均呈极显著正相关, 单果重与果皮重、果核重、果肉重、果横径的相关系数分别为 0.931、0.959、0.965、0.979, 说明单果重与这些性状密切相关; 单果重与可食率呈极显著负相关。可溶性糖含量与果核重、果纵径、果横径呈显著正相关, 可溶性糖含量与果肉占比、可食率等呈显著负相关, 相关系数分别为-0.618、-0.586。南酸枣果实其余性状间的相关性不显著。

可见, 南酸枣单果重是果实性状的主要因子, 单果重越大, 果皮、果肉、果核重量也越大, 果实的纵径和横径也越大。果实品质方面, 维生素 C、可滴定酸含量与其他性状的相关性均不显著, 可溶性糖含量与果核占比、果核重量的相关性较密切, 果核越大, 可溶性糖含量也越高。

2.4 主成分分析和特异性种质筛选

2.4.1 主成分分析

从表 4 可见, 南酸枣的 4 个主成分特征值均大

于 1, 累计方差贡献率达到 88.04%, 说明这 4 个主成分可反映南酸枣果实性状的主要信息。第 1 主成分的特征值为 7.689, 贡献率为 54.88%, 果核重、横径、单果重、纵径、果皮重、果肉重等性状在第 1 主成分有较高的载荷, 特征值中贡献值在 0.9 以上的性状有果核重、横径、单果重, 说明第 1 主成分是单果重的构成因子; 第 2 主成分特征值为 2.229, 贡献率为 15.92%, 果肉占比、果肉重、果皮重、可食率在第 2 主成分有较高的载荷, 特征值中贡献最大的是果肉重, 故果肉重是第 2 主成分构成因子; 第 3 主成分贡献率为 9.96%, 糖酸比、维生素含量、可溶性糖含量在第 3 主成分有较高的载荷, 其中糖酸比在特征向量值中贡献最大, 可见糖酸比、维生素含量是第 3 主成分的构成因子; 第 4 主成分贡献率为 7.284%, 在第 4 主成分中具有较高的载荷果实性状的有可滴定酸、果形指数, 故可滴定酸、果形指数是第 4 主成分的构成因子。可见, 4 个主成分中涉及的 8 个性状是构成南酸枣种质资源果实多样性的主要因子, 也是果用南酸枣良种选育工作中应重点考虑的果实性状指标。

表 3 20 份南酸枣种质资源果实主要性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of fruits traits in 20 *Choerospondia axillaris* germplasms

性状 Trait	SFW	PEW	SW	PP	PES	PW	FER	FLD	FTD	FSI	TAC	VCC	TSC
SFW	1.000	0.931**	0.959**	-0.429	0.594**	0.965*	-0.594**	0.897**	0.979**	-0.232	-0.229	0.258	0.416
PEW	0.931**	1.000	0.835**	-0.397	0.397	0.910*	-0.397	0.890**	0.891**	-0.067	-0.141	0.337	0.378
SW	0.959**	0.835**	1.000	-0.620**	0.791**	0.860**	-0.791**	0.827**	0.947**	-0.302	-0.277	0.253	0.521*
PP	-0.429	-0.397	-0.620**	1.000	-0.866**	-0.182	0.866**	-0.366	-0.428	0.142	0.192	-0.292	-0.618**
PES	0.594**	0.397	0.791**	-0.866**	1.000	0.387	-1.000**	0.479*	0.615**	-0.302	-0.272	0.208	0.586**
PW	0.965**	0.910**	0.860**	-0.182	0.387	11.000	-0.387	0.881**	0.943**	-0.193	-0.184	0.205	0.271
FER	-0.594**	-0.397	-0.791**	0.866**	-1.000**	-0.387	1.000	-0.479*	-0.615**	0.302	0.272	-0.208	-0.586**
FLD	0.897**	0.890**	0.827**	-0.366	0.479*	0.881**	-0.479*	1.000	0.883**	0.178	-0.142	0.318	0.468*
FTD	0.979**	0.891**	0.947**	-0.428	0.615**	0.943*	-0.615**	0.883**	1.000	-0.305	-0.173	0.333	0.445*
FSI	-0.232	-0.067	-0.302	0.142	-0.302	-0.193	0.302	0.178	-0.305	1.000	0.044	-0.034	0.031
TAC	-0.229	-0.141	-0.277	0.192	-0.272	-0.184	0.272	-0.142	-0.173	0.044	1.000	-0.240	-0.252
VCC	0.258	0.337	0.253	-0.292	0.208	0.205	-0.208	0.318	0.333	-0.034	-0.240	1.000	0.253
TSC	0.416	0.378	0.521*	-0.618**	0.586**	0.271	-0.586**	0.468*	0.445*	0.031	-0.252	0.253	1.000

**: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$

表 4 20 份南酸枣种质资源果实性状的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of fruit traits of 20 *Choerospondia axillaris* germplasms

性状 Trait	主成分 Principal component			
	PC1	PC2	PC3	PC4
SFW	0.927	0.360	-0.056	-0.032
PEW	0.833	0.460	0.115	0.033
SW	0.975	0.110	-0.158	0.005
PP	-0.683	0.544	0.152	-0.252
PFS	0.802	-0.447	-0.298	0.133
PW	0.810	0.561	-0.003	-0.095
FER	-0.802	0.447	0.298	-0.133
FLD	0.847	0.381	0.276	0.202
FTD	0.929	0.326	-0.091	-0.055
FSI	-0.220	0.066	0.764	0.508
TAC	-0.335	0.318	-0.341	0.648
VCC	0.378	-0.080	0.348	-0.374
TSC	0.658	-0.477	0.326	0.183
TSC/TAC	0.673	-0.523	0.376	-0.121
特征值 Eigen value	7.683	2.229	1.394	1.020
贡献率 Contribution rate /%	54.880	15.920	9.959	7.284
累计贡献率 Cumulative contribution rate /%	54.880	70.801	80.759	88.043

2.4.2 果实特异性种质筛选

根据主成分成分矩阵和回归算法计算各性状的因子主成分函数系数,从而把南酸枣种质资源的 14 个性状评价指标降为 4 个主要综合品质指标。根据南酸枣果实性状各指标得分函数矩阵如下:

$$F_1 = 0.194 \times DGZ + 0.220 \times GPZ + 0.126 \times GHZ + 0.085 \times RZB - 0.052 \times HZB + 0.240 \times GRZ + 0.052 \times KSL + 0.208 \times ZJ + 0.183 \times HJ + 0.031 \times XZS + 0.078 \times DDS + 0.006 \times VC - 0.062 \times RXT - 0.085 \times TSB$$

$$F_2 = -0.046 \times DGZ - 0.084 \times GPZ + 0.063 \times GHZ - 0.333 \times RZB + 0.288 \times HZB - 0.147 \times GRZ - 0.288 \times KSL - 0.019 \times ZJ - 0.038 \times HJ + 0.041 \times XZS + 0.15 \times DDS - 0.125 \times VC + 0.221 \times RXT + 0.123 \times TSB$$

$$F_3 = -0.014 \times DGZ - 0.010 \times GPZ - 0.045 \times GHZ + 0.145 \times RZB - 0.125 \times HZB + 0.021 \times GRZ + 0.125 \times KSL - 0.057 \times ZJ - 0.006 \times HJ - 0.08 \times XZS - 0.654 \times DDS + 0.430 \times VC + 0.084 \times RXT + 0.328 \times TSB$$

$$F_4 = -0.056 \times DGZ + 0.082 \times GPZ - 0.098 \times GHZ -$$

$$0.042 \times RZB - 0.111 \times HZB - 0.058 \times GRZ + 0.111 \times KSL + 0.271 \times ZJ - 0.090 \times HJ + 0.736 \times XZS + 0.173 \times DDS - 0.012 \times VC + 0.283 \times RXT + 0.140 \times TSB$$

式中, DGZ、GPZ、GHZ、RZB、KSL、ZJ、HJ、XZS、DDS、VC、RXT、TSB 分别为标准化的单果重、果皮重、果核重、果肉占比、果核占比、可食率、纵径、横径、果形指数、可滴定酸含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、糖酸比。

根据主成分因子得分函数, 4 个主成分因子的总方差贡献率分别为 0.549、0.159、0.100、0.073, 南酸枣果用种质资源综合得分公式为: $F = 0.549 \times F_1 + 0.159 \times F_2 + 0.10 \times F_3 + 0.073 \times F_4$ 。采用该综合评价公式对南酸枣种质资源果实性状进行综合评价, 得出优选品系的综合分数。结果表明, 南酸枣果实性状综合得分为 -0.836~1.347, 得分越高代表该种质资源的果实表观性状和品质越好。排名前 20% 的南酸枣种质得分为 0.451~1.347, 排名后 20% 的种质得分为 -0.836~-0.429。经综合评价排名前 5 的种质分别为 17#、16#、10#、91# 和 9#。17#、16# 果实为大果型果实, 分别来自广西桂林、湖南益阳, 单果重分别为 36.70、32.92 g; 10#、91#、9# 分别为江西万载、江西吉安、广东饶平的种质资源, 单果重分别为 28.79、18.98、20.82 g, 可滴定酸含量分别为 6.74%、7.53%、5.65%, 维生素 C 含量分别为 21.04、43.89、37.73 mg/100 g, 总糖含量分别为 2.04%、1.48%、0.63%。

3 讨论和结论

3.1 南酸枣果实性状遗传变异丰富

果实作为植物繁育系统的重要组成部分, 也是经济林果主要利用部分。果实遗传多样性分析是评价种质资源的重要手段, 也是分析植物生态适应性、开发利用价值及其遗传潜力的基本手段^[26,37-39]。本研究对来自典型分布区域的 7 省 15 县市的 20 份南酸枣种质的果实性状进行了多样性分析, 结果表明除果形指数、可食率外的其他果实性状的变异系数均在 10% 以上。表观性状的变异系数为 7.28%~49.64%, 其中果核重、单果重的变异系数较大, 这与王小安等^[10,17]报道的南酸枣表型性状变异系数为 7.07%~29.91%、3.25%~37.84% 有较大出入, 主要原因可能是后者选取的南酸枣种质资源集中在福建省 9 个县市区, 本研究材料分布于 7 省 15 县

市区, 地理空间跨度较大, 具有更好的代表性。本研究结果表明南酸枣果实实际果形指数、可食率外的性状变异程度较大, 稳定性差, 具有较好的遗传改良基础。

为更好评价南酸枣种质资源的遗传多样性, 本研究首次对南酸枣果实品质性状的遗传多样性指数进行了分析。南酸枣果实性状平均遗传多样性指数为 1.88, 其中果实可滴定酸含量、果实纵径的遗传多样性指数大于 2.0, 单果核重遗传多样性指数最小, 为 1.51。这说明南酸枣种质资源果实性状变异范围大, 遗传多样性丰富, 具有较高选育价值和开发利用潜力。

3.2 影响南酸枣果实性状多样性的关键性状

本研究基于果实性状差异对来自 7 个省份 15 个县市区的 20 份代表性南酸枣种质资源进行了聚类分析, 将南酸枣种质资源分为 I、II 类。第 I 类种质资源果实的主要特征是果实大, 果皮薄; 第 II 类种质资源又可分为 3 个亚类, 主要是单果重和果肉占比含量差异。聚类分析后, 同类群的南酸枣种质资源在地理上分布较混杂, 表明南酸枣种质资源分布无明显地理变异趋势, 这种地理空间变异趋势与杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 种质资源的地理变异趋势一致^[26], 进一步说明南酸枣具有较强的适应性。

3.3 南酸枣种质果实性状综合评价

主成分分析综合指数, 可用少数几个因子全面准确地反映出分析对象的综合表型, 广泛应用于苹果 (*Malus pumila*)、榛子 (*Corylus heterophylla*)、翅果油树 (*Elaeagnus mollis diels*)、椴树 (*Tilia tuan*)、文冠果 (*Xanthoceras sorbifolium*)、枣 (*Ziziphus jujube*)、梨 (*Pyrus sp.*)、大麻 (*Cannabis sativa*)、火龙果 (*Hylocereus undatus*) 等经济植物的良种选育中^[17-19,23-24,26,36-41]。本研究采用主成分成分矩阵和回归算法计算各性状的因子主成分函数系数, 从而把南酸枣种质资源的 14 个性状评价指标降为 4 个主要综合品质指标, 这 4 个指标集中反映了单果重、果核重、果肉重、果肉占比、维生素 C 含量、可滴定酸、果形指数等, 包含了南酸枣全部果实性状 88.043% 的信息。这表明 4 个综合品质指标涉及的果实性状较广, 代表性较强, 具有较好的评价作用。南酸枣的种质资源果实综合评价不多, 未见将果实表型性状和品质性状均进行综合评价的报道^[10,16-17,31-32,42-43]。本研究采用该综合评价分数公式对南酸枣种质资源果实性状进行综合评价, 排名前 20% 的种质资源有 17#、

16#、10#、91#等,其综合得分在 0.451~1.347,具有果大、维生素含量较高、总糖含量较高的特点,综合性状佳,可作为优良种源进行培育。同时排名靠后的南酸枣种质资源也有其显著特点,如 7#果实维生素 C 含量较高,10#总糖含量高等。

综上,本研究的 20 份代表性南酸枣种质资源果实性状具有丰富的变异和遗传多样性,具有较高选育价值和开发利用潜力。聚类分析将南酸枣种质资源划分为 2 大类群,类群间不同性状差异显著,最大的差异是单果重,但不同种质间无明显地理变异趋势。研究表明单果重是南酸枣果实性状的主要因子。采用主成分综合评价法,建立了南酸枣综合分析模型,并筛选出果大、维生素 C 含量和总糖含量较高、综合性状佳的 4 个种质,可作为优良种质资源进行培育,为南酸枣良种选育和综合利用提供了理论基础。

参考文献

- [1] JIANG T, LU X L, LING H S, et al. Chemical components and *in vitro* biological activities of *Choerospondias axillaris* fruit peel wine [J]. Food Res Dev, 2021, 42(3): 1–7. [蒋彤, 吕新林, 凌华山, 等. 南酸枣果皮果酒的化学成分和体外生物活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 1–7. doi: 10.12161/j.issn.1005-6521.2021.03.001.]
- [2] LIAN Z, ZHANG C Z, LI C, et al. Studies on chemical constituents of *Choerospondias axillaris* [J]. J Chin Med Mat, 2003, 26(1): 23–24. [连珠, 张承忠, 李冲, 等. 蒙药广枣化学成分的研究 [J]. 中药材, 2003, 26(1): 23–24. doi: 10.3321/j.issn:1001-4454.2003.01.013.]
- [3] WANG X Q, WANG L W, ZHAO Y, et al. Advance in chemical constituents and pharmacological activity of *Choerospondias axillaris* fruit [J]. Food Sci, 2014, 35(13): 281–285. [王晓琴, 王力伟, 赵岩, 等. 广枣的化学成分和药理活性研究进展 [J]. 食品科学, 2014, 35(13): 281–285. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201413056.]
- [4] LI C W, CUI C B, CAI B, et al. Galloyl glucosidic constituents of *Choerospondias axillaries* and their *in vitro* anti-tumor, anti-hypoxia and anti-bacteria activities [J]. J Int Pharm Res, 2014, 41(4): 449–455. [李长伟, 崔承彬, 蔡兵, 等. 南酸枣中没食子酰葡萄糖苷类化学成分及其体外抗肿瘤抗缺氧抗菌活性 [J]. 国际药学研究杂志, 2014, 41(4): 449–455. doi: 10.13220/j.cnki.jipr.2014.04.012.]
- [5] LIU X G, CHEN Y S, DING Y Q, et al. Analysis of chemical compositions of seed oil in *Choerospondias axillaris* fresh fruits [J]. Cereals Oils, 2001(10): 32–33. [刘晓庚, 陈优生, 丁悦琴. 南酸枣核仁油成分研究 [J]. 粮食与油脂, 2001(10): 32–33. doi: 10.3969/j.issn.1008-9578.2001.10.011.]
- [6] LIU X G, CHEN Y S. Analysis of constituents in *Choerospondias axillaris* fruits [J]. Chin Wild Plant Res, 2000(3): 35–40. [刘晓庚, 陈优生. 南酸枣果实的成分分析 [J]. 中国野生植物资源, 2000(3): 35–40.]
- [7] MA W L. Fine Structure and Morphology of Plants in China [M]. Beijing: Higher Education Press, 2019. [马炜梁. 中国植物精细解剖 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.]
- [8] KOWALSKI R. *Choerospondias turowensis* n. sp., a new Anacardiacean species of the European Neogene identified from the Turów brown coal open-cast mine [J]. Palaeontogr Abt B, 2010, 284(1/2/3): 1–11. doi: 10.1127/palb/284/2010/1.
- [9] MANCHESTER S R, CHEN Z D, LU A M, et al. Eastern Asian endemic seed plant genera and their paleogeographic history throughout the northern Hemisphere [J]. J Syst Evol, 2009, 47(1): 1–42. doi: 10.1111/j.1759-6831.2009.00001.x.
- [10] HUANG L L, LI W H, GONG B, et al. Analysis and evaluation on fruit traits of *Choerospondias axillaries* in twenty different habitats [J]. Food Res Dev, 2016, 37(2): 24–27. [黄丽莉, 李万和, 龚斌, 等. 不同产地南酸枣果实性状分析及评价 [J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 24–27. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2016.02.006.]
- [11] WANG Z X, SHI G L, HERRERA F, et al. Miocene mummified *Choerospondias axillaris* fruit fossils from Fujian [C]// Annual Meeting 2021 of Paleobotany Branch of Paleontological Society of China and Jiangsu Paleontological Society. Changchun, 2021. [王姿晰, 史恭乐, HERRERA F, 等. 福建中新世木乃伊化南酸枣果化石 [C]// 中国古生物学会古植物学分会、江苏省古生物学会 2021 年学术年会论文摘要集. 长春: 中国古生物学会古植物学分会, 江苏省古生物学会, 2021. doi: 10.26914/c.cnkihy.2021.012327.]
- [12] WU Z L, XIAO L, LI X C, et al. The first discovery and paleogeographic significance of Late Miocene fossils from eastern Zhejiang [C]// Annual Meeting 2021 of Paleobotany Branch of Paleontological Society of China and Jiangsu Paleontological Society. Changchun, 2021. [吴泽玲, 肖良, 李相传, 等. 浙东晚中新世南酸枣属化石的首次发现及古地理意义 [C]// 中国古生物学会古植物学分会、江苏省古生物学会 2021 年学术年会论文摘要集. 长春: 中国古生物学会古植物学分会, 江苏省古生物学会, 2021. doi: 10.26914/c.cnkihy.2021.012334.]
- [13] FU Q Y, LI L, JIN J H, et al. *Choerospondias* fruit fossils of Late Oligocene from Nanning, Guangxi [C]// Proceedings of the 28th Annual Conference of the Paleontological Society of China. Shenyang, 2015. [付琼耀, 李龙, 金建华, 等. 广西南宁晚渐新世南酸枣属木乃伊化果化石 [C]// 中国古生物学会第 28 届学术年会论文摘要集. 沈阳: 中国古生物学会, 2015.]

- [14] YE X M, CHEN F S, SUN R X, et al. Prediction of potential suitable distribution areas for *Choerospondias axillaris* based on MaxEnt model [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 2019, 41(3): 440–446. [叶学敏, 陈伏生, 孙荣喜, 等. 基于MaxEnt模型的南酸枣潜在适生区预测 [J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(3): 440–446. doi: 10.13836/j.jjau.2019052.]
- [15] ZHANG Y, WU P F, ZOU X H, et al. A comparative study on growth and biomass production of different broadleaved tree species plantations in northern Fujian Province [J]. Subtrop Agric Res, 2016, 12(4): 231–235. [张颖, 吴鹏飞, 邹显花, 等. 闽北不同阔叶树种人工林生长量及生物量比较 [J]. 亚热带农业研究, 2016, 12(4): 231–235. doi: 10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2016.04.003.]
- [16] HE X S, LIAO Z X, WANG Y J, et al. The difference analysis of growth characters from different geographical provenance *Choerospondias axillaris* in seedling period [J]. S China For Sci, 2016, 44(3): 7–12. [何小三, 廖振欣, 王玉娟, 等. 不同地理种源南酸枣苗期生长性状差异分析 [J]. 南方林业科学, 2016, 44(3): 7–12. doi: 10.16259/j.cnki.36-1342/s.2016.03.002.]
- [17] WANG X A, WEI X X, WU R J, et al. Morphological diversity of 49 *Choerospondias axillaris* germplasms in Fujian [J]. Fujian J Agric Sci, 2019, 34(4): 400–408. [王小安, 韦晓霞, 吴如健, 等. 49份福建南酸枣资源果实表型性状多样性分析 [J]. 福建农业学报, 2019, 34(4): 400–408. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2019.04.004.]
- [18] WANG Y L, GU Z J, JIA Q X. Genetic variation analysis of phenotypic traits of 37 *Xanthoceras sorbifolium* elite germplasm [J]. For Res, 2022, 35(5): 52–62. [王娅丽, 顾志杰, 贾巧霞. 37份文冠果优新种质资源表型性状遗传变异分析 [J]. 林业科学研究, 2022, 35(5): 52–62. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.005.006.]
- [19] BAO Y. Variation analysis of main economic characters in half-sibling families of yellowhorn (*Xanthoceras sorbifolium* Bunge) [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022. [鲍岩. 文冠果半同胞家系主要经济性状变异分析 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. doi: 10.27277/d.cnki.gsdnu.2022.001008.]
- [20] MA Z, ZHANG Y Q, BAI Q, et al. Analysis of phenotypic trait differences and synthetical evaluation of nut of different hazelnut varieties (Lines) seedlings under cadmium treatment [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2023, 43(3): 450–461. [马仲, 张赞齐, 白倩, 等. 不同品种(系)榛子坚果表型性状差异性分析及其综合评价 [J]. 西北植物学报, 2023, 43(3): 450–461. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2023.03.0450.]
- [21] WEI R P, YAN S, ZHENG H Q, et al. Traits variation and comprehensive evaluation of *Michelia chapensis* provenances and families [J]. J CS Univ For Technol, 2023, 43(1): 25–32. [韦如萍, 晏姝, 郑会全, 等. 乐昌含笑种源和家系性状变异及综合评价 [J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(1): 25–32. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2023.01.002.]
- [22] GUO H. Comprehensive evaluation of multiple traits in *Robinia pseudoacacia* L. Half sibling families and analysis of genetic diversity of elite trees [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022. [郭慧. 刺槐半同胞家系多性状综合评价及优树遗传多样性分析 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. doi: 10.27277/d.cnki.gsdnu.2022.000997.]
- [23] XIAO G L, GUAN Z H, ZHANG S S, et al. Genetic diversity and comprehensive evaluation of phenotypic traits in 73 germplasm resources of cultivated strawberries grown in Hubei Province [J]. J Fruit Sci, 2023, 40(8): 1546–1558. [肖桂林, 管自豪, 张思思, 等. 73份草莓种质资源表型性状的遗传多样性分析及在湖北省的综合评价 [J]. 果树学报, 2023, 40(8): 1546–1558. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20220673.]
- [24] FAN Y Y W, RENZENG L J, DONG J M, et al. Comprehensive evaluation on important traits of wild pomegranate fruits from Xizang [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2023, 47(4): 73–80. [樊瑶羽薇, 仁增朗加, 董建梅, 等. 西藏野生石榴果实重要性状与综合评价 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(4): 73–80. doi: 10.12302/j.issn.1000-2006.2006.202203035.]
- [25] DU Y W, CHENG J Y, DENG X Z, et al. Difference and comprehensive evaluation of the fruit characteristics inside and outside the canopy of *Camellia oleifera* varieties [J]. J For Environ, 2022, 42(6): 655–662. [杜洋文, 程军勇, 邓先珍, 等. 油茶不同品种树冠内外果实性状差异及综合评价 [J]. 森林与环境学报, 2022, 42(6): 655–662. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2022.06.013.]
- [26] DU Q X, QING J, LIU P F, et al. Variation in fruit traits of *Eucommia ulmoides* germplasm resources and their comprehensive evaluation [J]. For Res, 2021, 34(5): 13–23. [杜庆鑫, 庆军, 刘攀峰, 等. 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. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.005.002.]
- [27] YU W D, JIANG G Y, LIU J X, et al. Comprehensive evaluation on the ornamental value of 40 species of *Primulina* [J]. Chin J Trop Crops, 2023, 44(10): 1986–1993. [余文迪, 姜贵芸, 刘娟旭, 等. 40种报春苣苔属植物观赏性状综合评价 [J]. 热带作物学报, 2023, 44(10): 1986–1993. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.10.008.]
- [28] CHEN T, LIU L, ZHOU Y L, et al. Characterization and comprehensive evaluation of phenotypic characters in wild *Camellia oleifera* germplasm for conservation and breeding [J]. Front Plant Sci, 2023, 14: 1052890. doi: 10.3389/FPLS.2023.1052890.
- [29] SHEN T, WANG Y Z. Phenotypic characteristics and comprehensive evaluation of high-quality germplasm resources of *Gentiana rigescens* Franch. ex Hemsl. [J]. Plant Sci J, 2023, 41(4): 479–489. [沈涛, 王元忠. 滇龙胆优质种源的性状特征与综合评价 [J]. 植物科学学报,

- 2023, 41(4): 479–489. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.22227.]
- [30] LI H L, HU W B, HONG Q M, et al. Genetic diversity analysis of fruit traits of *Hylocereus undatus* germplasm resources [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2019, 27(4): 432–438. [李洪立, 胡文斌, 洪青梅, 等. 火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2019, 27(4): 432–438. doi: 10.11926/jtsb.4007.]
- [31] LUO W J, HE G P, CHEN Y T, et al. A study on varietal of growing traits of young *Choerospondias axillaris* forest in its geographic provenances and its provenance selection [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2007, 29(3): 365–371. [骆文坚, 何贵平, 陈益泰, 等. 南酸枣地理种源幼林生长性状变异和种源选择 [J]. *江西农业大学学报*, 2007, 29(3): 365–371. doi: 10.3969/j.issn.1000-2286.2007.03.009.]
- [32] YAO Y P, ZHAO L, HE W C, et al. Study on geographic variation of *Choerospondias axillaris* fruit phenotype characters and germination [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2021, 43(5): 996–1006. [尧云萍, 赵兰, 何万存, 等. 南酸枣果实表型性状及发芽率地理变异研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2021, 43(5): 996–1006. doi: 10.13836/j.jjau.2021108.]
- [33] HE G P, CHEN Y T, SUN Y X, et al. Study on variations of seedling traits in *Choerospondias axillaris* geographic provenances [J]. *For Res*, 2003, 16(2): 177–182. [何贵平, 陈益泰, 孙银祥, 等. 南酸枣地理种源苗期性状变异研究 [J]. *林业科学研究*, 2003, 16(2): 177–182. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2003.02.010.]
- [34] JIA Y M. Multi-index correlation and grading model of quality of Fuji apple from Aksu production region [D]. Alai: Tarim University, 2022. [贾一鸣. 阿克苏红富士苹果品质多指标关联与分级模型构建 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022. doi: 10.27708/d.cnki.gtlmd.2022.000158.]
- [35] WANG Y K, WU G L, ZHAO A L, et al. Phenotypic genetic diversity of jujube germplasm resources [J]. *Sci Silv Sin*, 2014, 50(10): 33–41. [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. doi: 10.11707/j.1001-7488.20141005.]
- [36] WU H, SU W L, SHI M J, et al. Diversity analysis and comprehensive evaluation of jujube fruit traits [J]. *J Plant Genet Res*, 2022, 23(6): 1613–1625. [吴昊, 苏万龙, 石美娟, 等. 枣种质果实性状多样性分析与综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(6): 1613–1625. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20220417001.]
- [37] QIU Q Q, FENG Y F, WU C Y. Genetic diversity of leaf phenotypic traits in jujube germplasm resources [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2021, 58(2): 282–293. [仇倩倩, 冯一峰, 吴翠云. 枣种质资源叶表型性状遗传多样性分析 [J]. *新疆农业科学*, 2021, 58(2): 282–293. doi: 10.6048/j.issn.1001-4330.2021.02.010.]
- [38] YAN W J. Comprehensive evaluation of fruit quality traits of 107 local pear germplasm resources in Shandong Province [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022. [闫文静. 107 份山东地方梨种质资源果实品质性状综合评价 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. doi: 10.27277/d.cnki.gsdnu.2022.000933.]
- [39] ZHUO F C, ZHOU C X, LU M Y, et al. Evaluation of fruit traits of 27 *Hylocereus undatus* germplasm resources based on correlation analysis and coefficient of variation method [J]. *China Trop Agric*, 2023(2): 21–27. [卓福昌, 周彩霞, 卢美瑛, 等. 基于相关性分析和变异系数法对 27 份火龙果种质资源果实性状的评价 [J]. *中国热带农业*, 2023(2): 21–27. doi: 10.3969/j.issn.1673-0658.2023.02.004.]
- [40] YANG Y J, HU X Y, HUANG Y, et al. Phenotypic traits variation pattern of *Elaeagnus mollis* Diels. plantation [J]. *For Res*, 2022, 35(5): 113–122. [杨玉洁, 胡晓艳, 黄尧, 等. 翅果油树人工林表型性状变异规律研究 [J]. *林业科学研究*, 2022, 35(5): 113–122. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.005.013.]
- [41] FENG X P, KANG H M, ZHAO M S, et al. Comprehensive analysis and evaluation of the main agronomic traits of industrial hemp germplasm resources [J]. *J Shanxi Agric Sci*, 2023, 51(5): 494–501. [冯旭平, 康红梅, 赵铭森, 等. 工业大麻种质资源主要农艺性状综合分析与评价 [J]. *山西农业科学*, 2023, 51(5): 494–501. doi: 10.3969/j.issn.1002-2481.2023.05.04.]
- [42] OU J W, LI G Y, XU J M, et al. Study on the leaf traits of *Choerospondias axillaris* families [J]. *J CS Univ For Technol*, 2017, 37(4): 75–78. [区锦玮, 李光友, 徐建民, 等. 南酸枣家系叶及生理性状的研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(4): 75–78. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.04.013.]
- [43] HE G P, CHEN Y T, YU Y H, et al. Study on variations of young forest growing traits of *Choerospondias axillaris* geographic provenances [J]. *For Res*, 2007, 20(1): 40–44. [何贵平, 陈益泰, 余元华, 等. 南酸枣地理种源幼林生长性状变异研究 [J]. *林业科学研究*, 2007, 20(1): 40–44. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2007.01.008.]