

内蒙古酸枣自然居群果实性状变异分析及 仁用种质综合评价筛选

鲁敏^{1,2,3}, 师鹏飞^{1,2}, 刘雪峰^{1,2}, 闫婷^{1,2}, 海龙^{1,2}, 张宏武⁴, 薄文浩⁵, 王莉英^{1,2}

(¹内蒙古自治区林业科学研究院遗传育种研究所, 呼和浩特010010; ²内蒙古自治区林业科学研究院沙地生物资源保护与培育国家林业局重点实验室, 呼和浩特010010; ³内蒙古达拉特荒漠生态系统国家定位观测研究站, 鄂尔多斯014300; ⁴巴彦淖尔市林业和草原资源保护中心, 内蒙古巴彦淖尔015015; ⁵北京林业大学生物科学与技术学院, 北京100083)

摘要: 为了解内蒙古酸枣资源果实表型性状变异特征, 合理筛选优异资源, 本研究采用统计分析、方差分析、相关性分析等方法对10个酸枣自然居群的果实性状开展分析比较, 并利用层次-灰色关联法对其仁用价值进行综合评价。结果表明: (1) 16个果实表型性状的平均变异系数为17.96%, 其中多仁率的变异系数最高。居群间果实表型性状的平均变异系数介于10.69%~31.01%, 其中阿拉善左旗腾格里额里斯镇的变异系数最高。(2) 相关性分析结果显示, 果实、果核及种仁各性状间存在着不同程度的相关。此外, 果实横径、核纵径与经度, 果实纵径、核纵径与纬度均呈显著正相关, 果实横径、果实纵径、核纵径与海拔呈显著或极显著负相关; 单仁率与年均气温呈显著负相关; 种仁药用成分皂苷A、斯皮诺素含量与经纬度、年均降雨量、海拔均无显著相关性。(3) 运用层次-灰色关联度分析方法建立酸枣仁用品质综合评价模型, 评价结果显示, 10个居群的仁用综合品质从优到劣依次为: P8、P5、P1、P7、P2、P9、P4、P3、P6、P10。其中, 杭锦旗巴拉贡居群在仁用方面的综合表现最佳。本研究为酸枣资源的保护利用及仁用品种选育提供了科学依据和种质基础。

关键词: 内蒙古; 酸枣自然居群; 遗传多样性; 仁用种质; 综合评价

Fruit Phenotypic Traits Diversity Analysis and Kernel-using Germplasm Evaluation of Jujube Natural Population in Inner Mongolia

LU Min^{1,2,3}, SHI Pengfei^{1,2}, LIU Xuefeng^{1,2}, YAN Ting^{1,2}, HAI Long^{1,2}, ZHANG Hongwu⁴,
BO Wenhao⁵, WANG Liying^{1,2}

(¹Institute of Genetics and Breeding, Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences, Hohhot 010010; ²Key Laboratory of Conservation and Cultivation in Desert Biological Resources, National Forestry Administration, Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences, Hohhot 010010; ³Inner Mongolia Dalate Desert Ecosystem National Observation and Research Station, Ordos 014300; ⁴Bayannur Forestry and Grassland Resources Protection Center, Bayannur 015015, Inner Mongolia; ⁵College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: To understand the variation characteristics of fruit phenotypic traits of jujube resources in Inner Mongolia, China, and identify elite germplasm resources, this study deployed statistical analysis, variance analysis and correlation analysis to analyze the 10 jujube natural populations. The kernel value was

收稿日期: 2023-11-09 网络出版日期: 2024-01-17

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231109001>

第一作者研究方向为生态经济树种遗传育种, E-mail: lumin-119@163.com

通信作者: 王莉英, 研究方向为林木资源开发与利用, E-mail: 413725336@qq.com

基金项目: 内蒙古自治区林业科学研究院科研能力提升“揭榜挂帅”项目(2024NLTS02); 内蒙古科技厅重点研发和成果转化项目(2022YFDZ0054)

Foundation projects: Scientific Research Capacity Enhancement “Enlisting and Leading” Project of Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences (2024NLTS02); Key Research and Transformation Project of Inner Mongolia Science and Technology Department (2022YFDZ0054)

comprehensively evaluated by hierarchical grey relational method. The results showed: (1) The average coefficient of 16 fruit traits was 17.96%, and multi-kernel content rate in stone has highest variation coefficient. The average range of fruit phenotypic traits variation among populations ranged from 10.69% to 31.01%, and the highest variation coefficient from Alxa Zuoqi-Tengger Eris population. (2) Correlation analysis showed that there were different degrees of correlation among the traits of the fruit, stone and kernel. Fruit transverse diameter and stone longitudinal diameter were positively correlated with longitude, fruit transverse diameter and stone longitudinal diameter were positively correlated with latitude, indicators mentioned above were negatively correlated with altitude. Single kernel content rate in stone was negatively correlated with the mean annual temperature. Kernel jujuboside A content and spinosin content have no significant correlation between latitude, longitude, average annual rainfall, and altitude. (3) The comprehensive evaluation model was established by hierarchy-gray correlation method. The evaluation results showed that the comprehensive quality for kernel-using from 10 jujube natural populations was: P8 > P5 > P1 > P7 > P2 > P9 > P4 > P3 > P6 > P10. Among which, the population from Hangjinqi-Balagong have obvious advantages compared with other populations. This study provided a scientific basis for the protection and utilization of jujube resources and breeding of kernel varieties.

Key words: Inner Mongolia; jujube natural population; genetic variation; kernel-using germplasm; comprehensive evaluation

酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)又名棘,鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Ziziphus* Mill),为枣的变种,是广泛分布于我国北方地区的特有野生果树^[1]。酸枣根系发达、萌蘖能力强、抗干旱、耐瘠薄,其果实中富含维生素C等营养物质,种仁中皂苷类及黄酮类等活性物质被证明具有镇静安神功效^[2-3],该树种是可兼顾生态效益和经济发展需求的乡土植物。近年来,由于中医药市场对酸枣仁需求的急剧增加,酸枣仁供不应求,野生酸枣遭受到破坏性采收,导致相关资源日益减少,且酸枣仁品质良莠不齐,生产上急需开展以仁用为目的的种质资源评价及选育等工作^[4-5]。目前,科研人员主要从果实表型多样性、营养成分、枣仁药用成分等方面,对河北、辽宁、山西、宁夏、陕西等地区分布的野生酸枣资源开展了评价分析^[6-10],筛选获得一系列果大、双仁率高、果型特异等类型的酸枣新品种^[11-13]。

种质资源是林木遗传改良及品种选育的重要物质基础,开展基于果实、种子等表型性状的遗传变异规律研究、评价体系构建、优良资源筛选等工作,对于资源保护及开发利用意义重大^[14-15]。内蒙古地区地貌类型变化多样、地域辽阔,植物资源丰富。目前,有关内蒙古酸枣资源的系统调查研究及应用评价鲜有报道。本研究在对内蒙古境内分布的酸枣资源全面调查基础上,在10个自然居群内选择结实量大、抗病虫害、生长健壮的酸枣树68株,测定果实性状、果核性状、种仁性状以及《中华人民共和国药典》^[16]规定的酸枣仁关键药用成分皂苷A、斯

皮诺素等16个指标,采用变异分析、相关性分析等方法,分析各性状指标在居群间及居群内的变异规律及其与生境因子的相关性,通过层次-关联度分析法筛选仁用性状优异的资源,以期为酸枣资源的保护利用、仁用品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2020-2023年,在内蒙古酸枣资源分布区域(图1),按照旗县划分样本,筛选结实量大、生长健壮且无病虫害的母株,共采集10个自然居群的酸枣母树68株,于9月份采集成熟果实,并记录采集地的地理位置及生境环境,各居群自然概况及采集个体数量(表1)。采样单株按地名缩写和单株序号进行编号标记,果实采集后用泡沫箱冷藏运输,并置于4℃冰箱中保存备用。

1.2 果实表型性状指标测定

每采样单株随机挑选无病害的果实,设置3次重复,每重复30粒果实。使用游标卡尺(精度0.1mm)测量果实纵径、果实横径、核纵径、核横径、种仁纵径、种仁横径;用电子天平(精度0.001g)测定单果重、单核重。计算果型指数=果实纵径/果实横径、核型指数=果核纵径/果核横径、含仁率(%)=有仁核数目/总核数目×100%、单仁率(%)=单仁核数目/总核数目×100%、多仁率(%)=双仁及以上核数目/总核数目×100%、种仁千粒重=种仁重/种仁数量×1000。各性状指标调查标准参考《枣种质资源描述规范和数据标准》^[17]。



图1 内蒙古10个酸枣自然居群分布

Fig. 1 Distribution of 10 jujube natural populations in Inner Mongolia

表1 内蒙古10个酸枣自然居群采集点基本信息

Table 1 Basic information of 10 jujube natural populations sampling site in Inner Mongolia

居群 Population	采集点 Sample locality	海拔(m) Altitude	年均气温 ($^{\circ}\text{C}$) Annual average temperature	年均 降雨量(mm) Annual rainfall	生境描述 Habitat description	个体数 Sample number
P1	呼和浩特市回民区	1106	1.3	300	大青山南麓阳坡	5
P2	呼和浩特市清水河县	1050	7.4	410	内蒙古高原与山陕黄土高原交接丘陵 沟壑区	5
P3	乌拉特前旗先锋镇	1075	5.3	225	乌拉山前坡冲积扇	6
P4	乌拉特后旗呼和温都尔镇	1118	5.7	184	阴山前坡冲积扇	5
P5	阿拉善左旗巴润别立镇	1377~1541	7.6	200	贺兰山西麓洪水沟冲积扇及山谷	11
P6	阿拉善左旗腾格里额里斯镇	1397	8.0	176	腾格里沙地西南缘	5
P7	准格旗龙口镇	852	7.5	400	黄土丘陵沟壑区	5
P8	杭锦旗巴拉贡镇	1282	8.0	220	荒漠草原区洪水冲击沟	5
P9	翁牛特旗乌敦套海镇	420~442	6.2	370	大兴安岭西南段低山丘陵区	16
P10	宁城县右北平镇	810~860	7.0	450	燕山山脉东段北缘丘陵区	5

1.3 种仁药用成分含量测定

采用高效液相色谱-紫外-蒸发光散射器联用技术测定酸枣仁关键药用成分皂苷A及斯皮诺素含量,标准样对照品购自成都乐美天医药科技有限公司。测试样品制备及检测:核仁粉碎,称取各采样

单株酸枣仁粉末1g,加入120 mL石油醚索氏提取4 h,取出挥干药渣,将药渣置于20 mL的70%乙醇溶液中加热回流2 h,冷却后将悬混液与洗液在室温下以3000 r/min离心15 min,取上清液过滤旋干,加甲醇定容至5 mL,混匀过0.45 μm 滤膜,利用

Agilent 1260II 型高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司)检测皂苷 A 及斯皮诺素含量。上述数据测定 3 次生物学重复。

1.4 数据分析

利用 Excel 2010 及 SPSS 25.0 软件对调查数据进行整理分析,计算平均值、标准差、变异系数、表型分化系数(即居群间变异占遗传总变异的百分比,参照葛颂等^[18]的方法)、各性状指标权重系数及灰色关联系数(参照弓成林等^[19]的方法),利用 R 语言进行相关性分析、方差分析(百分比数据进行反正弦转换)。

1.4.1 层次分析法确定指标权重系数 层次分析法确定各指标权重的方法是根据本研究评价目的及各性状指标间相互隶属关系,建立筛选性状指标的层次结构分析模型,目标层(A):优良的仁用酸枣品质;约束层(B):B1 果核相关性状(单核重、核纵径、核横径、核型指数、含仁率、单仁率、多仁率)、B2 种仁相关性状(种仁纵径、种仁横径、种仁千粒重、种仁皂苷 A 含量、种仁斯皮诺素含量);标准层(C) 12 个:单核重、核纵径、核横径、核型指数、含仁率、单仁率、多仁率、种仁纵径、种仁横径、种仁千粒重、种仁皂苷 A 含量、种仁斯皮诺素含量。综合各性状指标之间的隶属关系及专家打分意见,根据 T. L. Satty 的 1-9 互反比率标度法^[20],分层次构建 A-B、B-C 的判断矩阵,利用 spasspro 网络版计算两两比较矩阵的最大特征值其相对应的指标权重值,并对每个判断矩阵进行一致性检验,若矩阵没通过一致性检验,需对矩阵进行调整。

1.4.2 灰色关联度分析 依据酸枣仁用品质特性和相关性分析结果,确定各性状指标理想值(I_0)如下:单核重、核纵径、核横径、含仁率、单仁率、多仁率、种仁纵径、种仁横径、种仁千粒重、种仁皂苷 A 含量、种仁斯皮诺素含量属正向指标,测定值越大越好,即取各指标测量值中的最大值为理想值;核型指数视为中性指标,取平均值作为理想品质的参考值,上述 11 个性状指标的最大值及 1 个性状指标的平均值所构成的数列即为参考数列 X_0 ,以 X_0 为参照对各指标数据进行灰色关联分析的无量纲化

处理(转化为 0~1 的标准化数据),依据公式(1)计算获得各居群相应关键指标的关联系数 $\varepsilon(k)$ 。将层次分析确定的综合权重值代入公式(2),可计算获得加权灰色关联度,关联度越高则说明综合品质越优,根据关联度数值进行排名。

$$\varepsilon(k) = \frac{\min_i \min_j \Delta i(k) + \rho \max_i \max_j \Delta i(k)}{\Delta i(k) + \rho \max_i \max_j \Delta i(k)} \quad (1)$$

$$r_i = \sum_{k=1}^n w \times \varepsilon(k) \quad (2)$$

式中: $\Delta i(k)$ 为第 i 个居群第 j 个性状的无量纲化处理的测量值与理想值的绝对差值; ρ 为分辨系数,常取 0.5; r_i 为第 i 个居群的加权灰色关联度, w 为该指标性状的权重值, $n=12$ (表示性状的数量)。

2 结果与分析

2.1 果实性状多样性分析

对采集的 10 个酸枣自然居群果实表型性状进行分析,结果表明 16 个果实表型性状在居群间存在着显著差异(表 2)。10 个居群的单果重均值从大到小依次为 P9 > P2 > P3 > P7 > P5 > P1 > P8 > P4 > P10 > P6,果形以长圆形为主(果实纵径 > 果实横径),果核形状多以椭圆形为主(核纵径 > 核横径)。其中,翁牛特旗乌敦套海镇(P9)具有最大的单果重(0.90 g)、果实横径(13.32 mm)、果实纵径(12.44 mm)、单核重(0.28 g)及核纵径(9.60 mm),呼和浩特市清水河县(P2)具有最大的核横径(7.11 mm)。呼和浩特市回民区(P1)和准格尔旗龙口镇(P7)的含仁率为 100%,乌拉特后旗呼和温都尔镇(P4)的单仁率最高(99.33%),准格尔旗龙口镇(P7)果实的多仁率最高(19.82%)。杭锦旗巴拉贡镇(P8)、翁牛特旗乌敦套海镇(P9)的种仁较大;呼和浩特市清水河县(P2)的种仁千粒重(28.93 g)显著高于阿拉善左旗腾格里额里斯镇(P6)及宁城县右北平镇(P10),表明 P2 居群的种仁饱满度最高。杭锦旗巴拉贡镇(P8)和呼和浩特市回民区(P1)的酸枣仁皂苷 A 含量(0.05%)显著高于阿拉善左旗腾格里额里斯镇(P6)、翁牛特旗乌敦套海镇(P9)及宁城县右北平镇(P10);阿拉善左旗巴润别立镇(P5)的斯皮诺素含量最高(0.11%)。

表 2 内蒙古 10 个酸枣自然居群果实性状统计数据
Table 2 Statistical data of 10 jujube natural populations fruit traits in Inner Mongolia

性状 Traits	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	平均值 Average
单果重(g) SFW	0.53±0.09cd	0.69±0.06b	0.63±0.19bc	0.39±0.07def	0.55±0.15bc	0.35±0.12f	0.61±0.08bc	0.51±0.05cde	0.90±0.10a	0.38±0.03ef	0.61±0.21
果实纵径(mm) FLD	10.83±0.65c	11.37±0.89bc	12.37±0.86ab	10.79±0.54c	10.94±1.11c	9.34±1.49d	11.78±0.54bc	11.91±0.92bc	13.32±1.05a	11.16±0.84bc	11.67±1.46
果实横径(mm) FTD	10.19±0.43bc	10.38±0.18bc	10.64±0.43b	9.47±0.84cd	10.45±0.93bc	9.01±1.43d	11.02±0.31b	11.35±0.56b	12.44±1.00a	10.53±0.54bc	10.85±1.30
果型指数 FSI	1.06±0.02ab	1.10±0.07ab	1.16±0.06a	1.15±0.05ab	1.05±0.08b	1.04±0.08b	1.07±0.06ab	1.05±0.05b	1.08±0.10ab	1.06±0.03ab	1.08±0.08
单核重(g) SSW	0.19±0.03bc	0.26±0.04ab	0.23±0.07ab	0.21±0.06ab	0.23±0.07ab	0.13±0.05c	0.27±0.07ab	0.26±0.04ab	0.28±0.06a	0.19±0.02bc	0.23±0.07
核纵径(mm) SLD	8.39±0.47b	8.81±0.55ab	8.91±0.80ab	8.26±0.76b	8.31±0.84b	7.78±1.33b	8.74±0.46ab	8.64±0.58ab	9.60±0.92a	8.53±0.67ab	8.74±0.94
核横径(mm) STD	6.42±0.23bcd	7.11±0.06a	6.37±0.45bcd	6.10±0.26cd	6.63±0.49abc	6.03±0.68d	6.91±0.33ab	6.68±0.44abc	6.90±0.52ab	6.47±0.21bcd	6.62±0.52
核型指数 SSI	1.31±0.03ab	1.24±0.07b	1.40±0.08a	1.35±0.07ab	1.26±0.12ab	1.29±0.08ab	1.26±0.02ab	1.30±0.11ab	1.40±0.15ab	1.32±0.08ab	1.32±0.12
含仁率(%) KCRS	100.00±0.00a	98.18±1.29a	98.48±2.36a	99.33±1.49a	86.44±27.35ab	64.53±25.02c	100.00±0.00a	68.72±12.45bc	99.37±1.22a	69.33±6.17bc	90.18±18.21
单仁率(%) SKCR	96.81±3.60ab	87.22±7.65abc	92.37±6.07ab	99.33±1.49a	77.44±26.33bcd	63.39±23.05d	80.18±8.42abcd	67.60±13.95cd	87.10±11.98abc	67.11±6.17cd	82.47±17.62
多仁率(%) MKCR	3.19±3.60b	10.97±8.26ab	6.11±5.56b	0b	8.82±10.66ab	1.14±2.55b	19.82±8.42a	3.33±7.46b	12.27±11.92ab	2.67±3.65b	7.88±9.71
种仁纵径(mm) KLD	5.32±0.25c	6.00±0.19abcd	5.63±0.69cde	5.75±0.10bcde	5.46±0.41de	5.58±0.19cde	5.51±0.24de	6.20±0.16ab	6.38±0.50a	6.08±0.29abc	5.85±0.53
种仁横径(mm) KTD	4.32±0.13c	5.07±0.21a	4.64±0.38bc	4.36±0.19c	4.59±0.28c	4.57±0.26c	4.94±0.06ab	5.18±0.07a	4.94±0.29ab	4.49±0.19c	4.74±0.35
种仁千粒重(g) TKW	27.12±5.59ab	28.93±3.08a	22.75±4.73abc	28.68±1.97a	27.19±4.75ab	21.46±1.52bc	28.05±5.07ab	25.97±7.31ab	28.91±5.81a	18.87±3.35c	26.37±5.55
种仁皂苷 A 含量(%) KJAC	0.05±0.01a	0.046±0.00ab	0.048±0.00ab	0.044±0.01ab	0.044±0.01ab	0.038±0.01bc	0.046±0.01ab	0.05±0.01a	0.039±0.00bc	0.031±0.00c	0.043±0.01
种仁斯皮诺素含量(%) KSC	0.058±0.01bc	0.07±0.01bc	0.07±0.02bc	0.092±0.04ab	0.11±0.04a	0.072±0.01bc	0.076±0.01abc	0.09±0.03ab	0.093±0.02ab	0.046±0.02c	0.083±0.03

表中数据为平均值±标准差,同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$);下同

The data in the table is mean ± standard deviation, different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$); SFW: Single fruit weight; FLD: Fruit longitudinal diameter; FTD: Fruit transverse diameter; FSI: Fruit shape index; SSW: Single stone weight; SLD: Stone longitudinal diameter; STD: Stone transverse diameter; SSI: Stone shape index; KCRS: Kernel content rate in stone; SKCR: Single kernel content rate in stone; MKCR: Multi-kernel content rate in stone; KLD: Kernel longitudinal diameter; KTD: Kernel transverse diameter; TKW: Thousand kernel weight; KJAC: Kernel jujuboside A content; KSC: Kernel spinosin content; The same as below

2.2 果实性状变异分析

由表3可知,16个果实性状的平均变异系数介于4.42%~112.37%。其中单核重(23.03%)、多仁率(112.37%)及种仁斯皮诺素含量(26.30%)的变异系数高于平均值,表明相关性状指标易受环境影响;果实纵径、果实横径、核纵径、核横径、种仁纵径、种仁横径、果型指数及核型指数8个性状指标的平均变异系数为4.42%~8.65%(变异系数小于10%),为

弱变异,表明与形状相关的性状指标具有较稳定的遗传特性。进一步对不同居群间的变异情况进行分析,结果表明果实表型性状在居群间的平均变异系数为10.69%~31.01%,其中阿拉善左旗腾格里额里斯镇(P6)的变异系数最高,乌拉特后旗呼和温都尔镇(P4)的变异系数最低,表明P6居群内的变异丰富,而P4居群内的变异程度较低。

表3 内蒙古10个酸枣自然居群果实性状变异系数

Table 3 Variation coefficients of 10 jujube natural populations in Inner Mongolia

性状 Traits	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	平均值 Average
单果重 SFW	16.99	8.45	29.54	17.46	27.90	35.51	13.52	8.94	10.82	8.11	17.72
果实纵径 FLD	6.02	7.87	6.94	4.97	10.12	15.94	4.62	7.76	7.88	7.51	7.96
果实横径 FTD	4.23	1.76	4.05	8.83	8.88	15.91	2.78	4.97	8.01	5.12	6.45
果型指数 FSI	1.95	6.26	5.45	4.48	7.92	7.75	5.33	4.31	9.34	2.91	5.57
单核重 SSW	17.71	14.08	30.90	27.56	30.23	38.07	26.43	15.12	20.13	10.05	23.03
核纵径 SLD	5.61	6.10	9.00	9.17	10.10	17.09	5.22	6.70	9.63	7.84	8.65
核横径 STD	3.56	0.77	7.09	4.26	7.38	11.20	4.73	6.54	7.51	3.29	5.63
核型指数 SSI	2.27	6.06	5.61	5.56	9.61	6.24	1.42	8.20	10.77	5.84	6.16
含仁率 KCRS	0	1.31	2.39	1.50	31.64	38.77	0	18.12	1.23	8.90	10.39
单仁率 SKCR	3.72	8.77	6.57	1.50	34.00	36.36	10.50	20.64	13.75	9.19	14.50
多仁率 MKCR	112.91	75.31	90.90	0	120.86	223.61	42.47	223.61	97.12	136.93	112.37
种仁纵径 KLD	4.75	3.11	12.31	1.73	7.60	3.32	4.30	2.63	7.89	4.82	5.25
种仁横径 KTD	3.11	4.11	8.20	4.25	6.13	5.65	1.29	1.37	5.80	4.32	4.42
种仁千粒重 TKW	20.61	10.63	20.81	6.86	17.48	7.10	18.09	28.14	20.11	17.77	16.76
种仁皂苷 A 含量 KJAC	14.14	11.91	8.45	30.49	21.18	22.02	19.44	14.14	12.58	8.30	16.27
种仁斯皮诺素含量 KSC	22.48	10.10	29.97	42.38	40.66	11.62	15.00	32.39	18.82	39.61	26.30
平均值 Average	15.00	11.04	17.39	10.69	24.48	31.01	10.95	25.22	16.34	17.53	17.96

对10个酸枣自然居群的果实表型性状进行方差分析(表4),结果显示,16个表型性状居群间的方差分量百分比在0.28%~19.37%,均值为6.39%;居群内16个表型性状的方差分量百分比在48.11%~73.98%,均值为58.32%;居群内的方差分量百分比大于居群间,说明表型性状变异主要来源于居群内。16个果实表型性状的表型分化系数为0.46%~28.70%,平均值为9.44%。其中,种仁纵径的表型分化系数最高;种仁斯皮诺素含量的表型分化系数最小。

2.3 果实性状及其与环境因子的相关性分析

对16个果实性状的平均值进行相关性分析(图2),结果表明果实、果核、种仁及其成分含量各性状间存在着不同程度的相关性,其中,单果重与果实纵

径、果实横径、单核重、核纵径、核横径、含仁率、多仁率、种仁纵径及种仁横径均呈极显著正相关,与核型指数、单仁率及种仁千粒重均呈显著正相关;含仁率与果实纵径、单仁率均呈极显著正相关,与果实横径、单核重、核纵径、多仁率及种仁千粒重均呈显著正相关;多仁率与果实纵径、果实横径、核纵径、核横径均呈极显著正相关,与单核重、单仁率及种仁横径呈显著正相关;种仁斯皮诺素含量与果实纵径及核纵径均呈显著正相关,与种仁皂苷 A 含量呈极显著正相关。由此可知,果实大小、果核大小、核内种仁数量、种仁大小及饱满情况等性状之间存在互相促进、协同变异的关系,种仁药用成分含量之间存在着正向作用关系。

表 4 内蒙古 10 个酸枣自然居群果实性状的方差分量及居群间表型分化系数

Table 4 Variance components and differentiation coefficients of 10 jujube natural populations fruit traits in Inner Mongolia

性状 Traits	方差分量 Variance component			方差分量百分比(%) Percentage of variance component			表型分化系数 (%) Differentiation coefficient of phenotypic traits
	居群间 Among population	居群内 Within population	随机误差 Random error	居群间 Among population	居群内 Within population	随机误差 Random error	
单果重 SFW	0.2709	2.7775	0.7060	7.21	73.98	18.80	8.89
果实纵径 FLD	19.8965	122.9518	54.4450	10.08	62.32	27.60	13.93
果实横径 FTD	28.2816	84.4067	39.0650	18.64	55.62	25.74	25.10
果型指数 FSI	0.0131	0.4008	0.3210	1.78	54.54	43.68	3.16
单核重 SSW	0.0160	0.2781	0.1790	3.39	58.78	37.83	5.45
核纵径 SLD	5.0012	53.8802	38.2140	5.15	55.49	39.36	8.49
核横径 STD	0.9053	16.4334	11.121	3.18	57.74	39.08	5.22
核型指数 SSI	0.0232	0.8592	0.659	1.51	55.74	42.75	2.63
含仁率 KCRS	0.0916	2.1161	1.082	2.79	64.32	32.89	4.15
单仁率 SKCR	0.1787	1.8946	1.288	5.32	56.37	38.32	8.62
多仁率 MKCR	0.0180	0.6109	0.432	1.70	57.59	40.72	2.86
种仁纵径 KLD	5.4388	13.5103	9.131	19.37	48.11	32.52	28.70
种仁横径 KTD	1.2163	6.9715	3.581	10.34	59.24	30.43	14.86
种仁千粒重 TKW	0.0030	0.5659	0.359	0.32	60.99	38.69	0.52
种仁皂苷 A 含量 KJAC	0.0009	0.0041	0.003	11.27	51.18	37.55	18.05
种仁斯皮诺素含量 KSC	0.0003	0.0619	0.039	0.28	61.16	38.56	0.46
平均值 Average	—	—	—	6.39	58.32	35.28	9.44

—: 无数据

—: No data

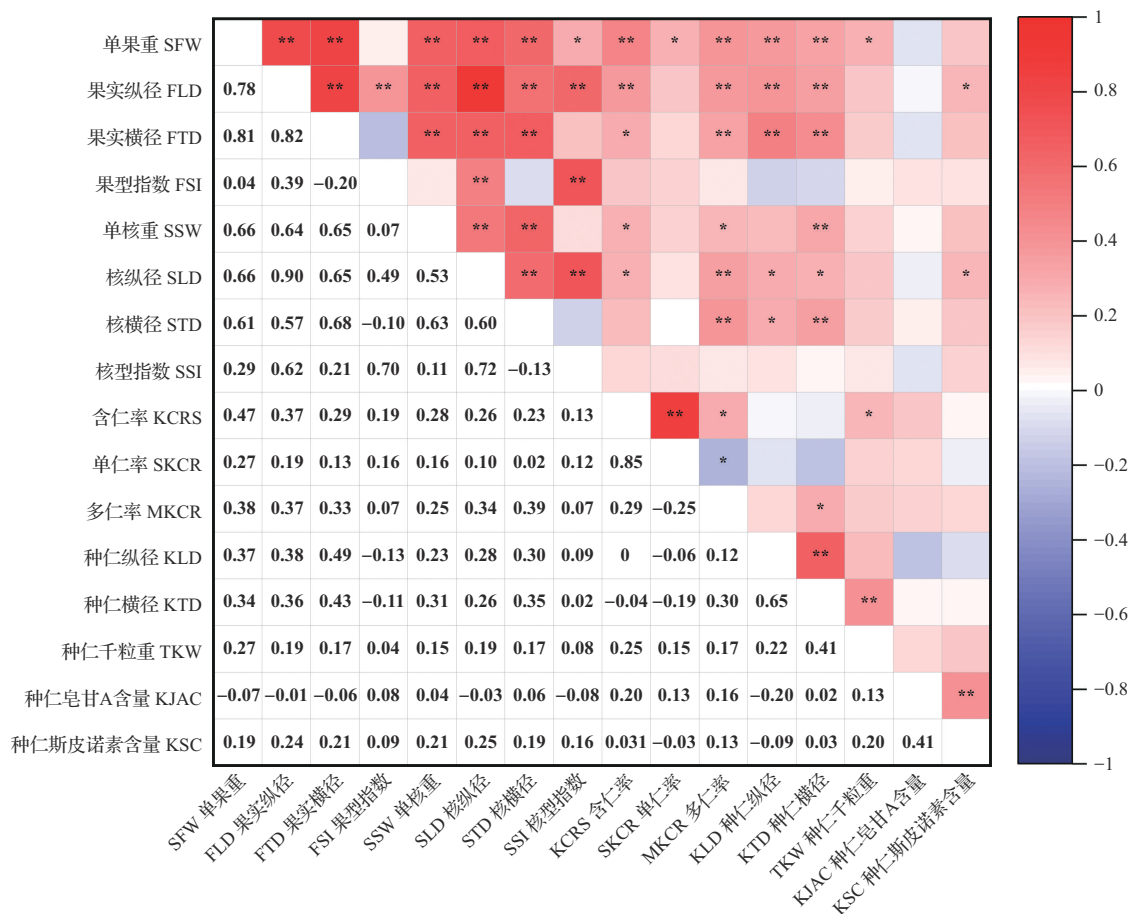
开展果实性状指标相关性分析,可为后续综合评价指标筛选提供依据。依据本研究相关性分析结果可知,单果重、果实纵径、果实横径、果型指数等果实性状与单核重、核纵径、核横径以及核型指数等果核性状各指标间的相关程度较高,表明上述测定指标反映的信息存在重叠情况,会导致后续评价产生偏差,有必要对相关指标进行筛选,以提高评价效率。结合本研究目的是酸枣仁用种质资源筛选评价,因此在后续评价中选择果核性状指标(单核重、核纵径、核横径、核型指数、含仁率、单仁率、多仁率)和种仁性状指标(种仁纵径、种仁横径、种仁千粒重、种仁皂苷 A 含量、种仁斯皮诺素含量)作为仁用酸枣种质评价筛选的关键指标。

不同居群采集地环境因子与酸枣果实性状相关性分析结果表明(表 5),果实横径、核纵径与经度呈显著正相关,果实纵径、核纵径、核型指数分别与纬度呈显著正相关,核横径与年均降雨量呈显著正相关。果实纵径、果实横径、核纵径分别与海拔呈

显著或极显著负相关,单仁率与年均气温呈显著负相关。此外,种仁药用成分皂苷 A、斯皮诺素含量与经纬度、年均降雨量呈负相关,与海拔呈正相关性,但均未达到显著水平。由上述结论可知,经纬度及海拔等地理因子对酸枣果实及核大小的表型性状存在较明显的影响,但对种仁关键药用成分含量的影响不显著。

2.4 层次-灰色关联度综合评价内蒙古酸枣仁用品质

根据酸枣仁用性状综合评价体系构建判断矩阵,得到指标权重值的排序结果(表 6)。由表 6 可知,种仁性状指标权重值为 0.895,果核性状指标权重值为 0.105,确定种仁性状指标为仁用品质的主要评价因子。在 12 个评价性状指标中,种仁斯皮诺素含量及皂苷 A 含量是对酸枣仁用价值影响最重要的指标,种仁千粒重、含仁率、种仁横径及种仁纵径为重要指标,单核重、单仁率、多仁率、核横径、核纵径、核型指数为一般指标。



*, **分别表示在 $P < 0.05$, $P < 0.01$ 水平上显著相关

* and ** represent significant correlation at $P < 0.05$, $P < 0.01$, respectively

图2 内蒙古10个酸枣自然居群果实表型性状间的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of 10 jujube natural populations fruit traits in Inner Mongolia

表5 酸枣果实性状与生态因子相关性分析

Table 5 Correlation analysis between fruit traits and ecological factors of jujube

性状 Traits	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude	年均气温 Average annual temperature	年均降雨量 Average annual rainfall
单果重 SFW	0.484	0.481	-0.607	-0.128	0.389
果实纵径 FLD	0.578	0.706*	-0.698*	-0.056	0.386
果实横径 FTD	0.632*	0.603	-0.667*	0.063	0.458
果型指数 FSI	-0.057	0.366	-0.183	-0.264	-0.136
单核重 SSW	0.325	0.403	-0.476	0.128	0.383
核纵径 SLD	0.695*	0.738*	-0.798**	-0.064	0.526
核横径 STD	0.450	0.219	-0.446	0.211	0.667*
核型指数 SSI	0.350	0.701*	-0.477	-0.348	-0.147
含仁率 KCRS	0.170	0.396	-0.403	-0.569	0.200
单仁率 SKCR	0.053	0.459	-0.247	-0.744*	-0.029
多仁率 MKCR	0.296	0.018	-0.452	0.195	0.538
种仁纵径 KLD	0.571	0.585	-0.545	0.416	0.368
种仁横径 KTD	0.140	0.017	-0.220	0.511	0.295
种仁千粒重 TKW	-0.073	0.152	-0.144	-0.249	0.008
种仁皂苷A含量 KJAC	-0.486	-0.207	0.382	-0.422	-0.326
种仁斯皮诺素含量 KSC	-0.399	-0.177	0.237	0.255	-0.486

表 6 酸枣仁用品质评价分层结构模型

Table 6 The divided layer structure model for jujube kernel-using evaluation

目标层 A Target layer	约束层 B Constraint layer	权重 Weight	标准层 C Standard layer C	权重 Weight	综合权重 Comprehensive weight	排序 Order
优良仁用酸枣品质 Excellent quality for jujube kernel-using	果核性状	0.105	单核重	0.026	0.0027	7
			核纵径	0.004	0.0005	10
			核横径	0.005	0.0005	9
			核型指数	0.005	0.0005	9
			含仁率	0.046	0.0048	4
	果仁性状	0.895	单仁率	0.009	0.0010	8
			多仁率	0.009	0.0010	8
			种仁纵径	0.031	0.0276	6
			种仁横径	0.042	0.0373	5
			种仁千粒重	0.133	0.1189	3
			种仁皂苷 A 含量	0.353	0.3163	1
			种仁斯皮诺素含量	0.337	0.3013	2

根据酸枣仁用性状综合评价体系构建判断矩阵,得到 10 个居群总排序结果。按照灰色关联分析的原则,加权关联度越大,表明该居群的仁用价值品质评分越高,由表 7 可知,杭锦旗乌吉尔镇(P8)的加权灰色关联度排名最大(0.403),宁城县右北平镇(P10)的加权灰色关联度较小(0.277)。

表 7 基于灰色关联度评价的内蒙古 10 个酸枣自然居群酸枣仁用综合品质排序

Table 7 Comprehensive quality ranking of 10 jujube natural populations for kernel-using in Inner Mongolia based on grey correlation analysis

居群 Population	加权关联度 Weighted correlation degree	综合排名 Comprehensive ranking
P1	0.368	3
P2	0.365	5
P3	0.349	8
P4	0.353	7
P5	0.379	2
P6	0.310	9
P7	0.366	4
P8	0.403	1
P9	0.354	6
P10	0.277	10

3 讨论

3.1 酸枣果实性状的遗传变异分析

酸枣是我国祖先最早食用的野生果树之一,且多为野生分布,在长期进化及基因交流过程中,产生了丰富的变异^[21]。开展果实性状遗传多样性研究,可较直观反映不同种源遗传变异规律及其应用价值^[22]。刘淑怡等^[23]测定了 204 份酸枣种质资源的

果实性状,发现不同种质的性状变异系数为 8.3%~61.48%,表现出丰富的遗传多样性。本研究从果实性状指标方面对内蒙古境内分布的 10 个自然居群酸枣果实变异特征开展分析研究,结果显示,酸枣在内蒙古分布范围广泛,可生长于丘陵、石砾山坡、沙漠边缘等多种生境中,在降雨量不足 200 mm 的地区也可生长结实,为抗旱、耐瘠薄能力较强的种质。在适应不同区域地理条件过程中,酸枣果实产生了丰富的变异,各表型性状在居群间及居群内存在着显著差异,变异系数介于 4.42%~112.37%。其中,出仁情况及种仁关键药用成分含量等相关的表型性状变异丰富度高,形状相关的性状指标遗传较稳定,与赵骞^[24]的研究结果相似。研究还发现内蒙古地区分布的酸枣以居群内变异占主导地位,与 Du 等^[25]利用 scnDNA 标记(Single copy nuclear gene maker)对 21 个酸枣自然居群开展分析研究的结果一致(居群内表型性状平均方差分量为 80.30%),推测可能与酸枣繁殖交配方式及其复杂的种群动态变化有关,后续有必要利用分子标记对各居群来源及亲缘关系开展研究。本研究表明内蒙古酸枣资源在种仁性状方面具有较高的遗传变异,可为仁用资源筛选提供丰富的物质基础。

3.2 酸枣果实性状相关性及其与环境因子的关系

相关系数分析结果揭示了不同性状之间的相关程度,从而有助于后续评价性状指标的选择。酸枣果实性状相关性分析发现,单果重与单核重、核纵径、核横径、含仁率、多仁率、种仁纵径及种仁横径均呈极显著正相关;种仁药用成分斯皮诺素含量与果实核纵径呈显著正相关,与种仁皂苷 A 含量呈极显著正相关,说明各性状间互相影响,在对山西、

辽宁、河北^[9,26-27]等地区的酸枣资源研究中也得到了类似结论,因此,综合考虑选择果核及种仁性状指标作为后续仁用酸枣种质筛选的重要参考指标。果实性状指标也受经纬度、海拔、土壤养分、温度等环境因素影响^[28-32]。本研究发现,随着经纬度增加,果实纵径、果实横径、核纵径增大;但随着海拔增加,相关指标则表现出减小趋势,表明经纬度及海拔的改变影响了降水量,进而影响到果实及核的大小。这一结论与高林森等^[33]对河北省分布的酸枣果实横径与纬度呈负相关性的结果不同,可能是由于区域环境和自身遗传作用产生的差异。此外,种仁药用成分(皂苷A、斯皮诺素)含量与经纬度、年均降雨量、海拔无显著相关性,相关结论可为酸枣在内蒙古地区种植推广的立地条件选择提供重要指导。

3.3 仁用酸枣资源综合评价筛选

综合评价体系构建是育种资源筛选的重要工作,主成分分析法、层次分析法、隶属函数法、灰色关联分析法、因子分析法^[34-38]等综合评价方法被广泛应用于生产实际和科学研究中,但由于不同评价方法都具有一定局限性,因此有必要结合多种方法来构建更加科学合理的评判体系。研究人员在对骏枣^[39]、灰枣^[40]等果实品种筛选评价工作中,将层次分析法和灰色关联法结合,从定性和定量分析两方面出发,获得的评价结果更严谨科学,具有一定的参考价值。目前有关酸枣仁用品种筛选往往依靠育种者工作经验选取指标开展评价,尚未形成完善的综合评价体系,影响了仁用品种筛选评价效果。本研究从调查资源实际情况及育种目标出发,选取12个与仁用品质密切相关的性状作为评价指标,采用层次-灰色关联综合分析的方法,根据育种目标邀请专家打分对指标权重主观赋值,依据实际测试值构建“理想型”,计算获得灰色关联度值对10个居群开展综合评价,筛选出杭锦旗巴拉贡镇酸枣的种仁饱满、出仁率高、有效药用成分平均含量较药典标准高,仁用价值显著。但在本研究中,由于丰产特性、种皮颜色等指标缺乏,且试验周期较短、药用成分易受环境影响,因此,在以后的研究工作中仍需进一步探讨评价指标的选取和相应评价模型,并结合多年多点试验数据,使得评价结果更全面、客观和实用,为内蒙古地区仁用优质酸枣品种选育及推广应用提供可靠实用的数据。

4 结论

内蒙古分布的10个酸枣自然居群在果实性状

方面具有丰富的变异,是其对不同生长环境适应的表现。在16个果实表型性状中,种仁相关的表型性状变异丰富度尤为突出,可为仁用酸枣品种筛选提供资源基础。同时,本研究对16个果实性状指标间及其与环境因子间存在的相关性进行分析,结果显示果实大小、种仁大小及含仁率等性状间存在正向促进关系;果实横径、核纵径与经度,果实纵径、核纵径与纬度均呈显著正相关,果实横径、果实纵径、核纵径与海拔呈显著或极显著负相关;种仁药用成分含量与经纬度、年均降雨量、海拔无显著相关性。通过层次-灰色关联度分析评价,初步筛选出杭锦旗巴拉贡镇酸枣在仁用方面的综合表现最佳。

参考文献

- [1] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第48(1)卷. 被子植物门双子叶植物纲鼠李科枣属. 北京: 科学出版社, 1982: 135
Editorial Committee of Flora of China. Flora of China: Volume 48 (1). Angiospermae Dicotyledoneae Rhamnaceae Ziziphus. Beijing: Science Press, 1982: 135
- [2] 韩蕊莲. 中国酸枣资源开发与利用. 北京: 科学出版社, 2020: 1-14
Han R L. Development and utilization of Chinese jujube resources. Beijing: Science Press, 2020: 1-14
- [3] 唐雪燕, 秦令祥, 曹源, 丁昱婵, 高愿军. 酸枣仁总皂苷提取工艺优化及其改善睡眠作用机制研究. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(17): 147-155
Tang X Y, Qin L X, Cao Y, Ding Y C, Gao Y J. Study on the optimization of extraction process of total saponins of semen *Ziziphi spinosae* and its mechanism of improving sleep. Journal of Food Safety and Quality, 2023, 14(17): 147-155
- [4] 杨海波, 赵旗峰, 孟利峰, 周鹏程, 陈永珍, 李庆亮, 梁燕, 聂磊云, 张晓萍, 李继萍, 王占勤, 赵龙. 酸枣新品种晋酸1号的选育. 果树学报, 2024, 41(2): 362-368
Yang H B, Zhan Q F, Meng L F, Zhou P C, Chen Y Z, Li Q L, Liang Y, Nie L Y, Zhang X P, Li J P, Wang Z Q, Zhao L L. Breeding report of a new wild jujube (*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*) variety Jinacid No.1. Journal of Fruit Science, 2024, 41(2): 362-368
- [5] 丁雯, 杜晨晖, 李泽, 王玉龙, 闫艳, 裴香萍. 药用植物酸枣道地产地及种质资源多样性的研究进展. 世界中医药, 2022, 17(14): 2080-2086, 2091
Ding W, Du C H, Li Z, Wang Y L, Yan Y, Pei X P. Research progress on diversity of germplasm and genuineness of medicinal plant *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*. World Chinese Medicine, 2022, 17(14): 2080-2086, 2091
- [6] 李晓兰, 丁雯, 段慧竹, 杜晨晖, 闫艳, 裴香萍. 基于表型性状的酸枣种质资源表型多样性分析. 分子植物育种, 2023, 21(2): 666-672
Li X L, Ding W, Duan H Z, Du C H, Yan Y, Pei X P. Genetic diversity of *Ziziphus jujuba* germplasm resources based on morphological traits. Molecular Plant Breeding,

- 2023, 21(2): 666-672
- [7] 王博, 严亮亮, 宋丽华. 宁夏 5 个野生酸枣种群遗传变异分析. 西北农业学报, 2021, 30(12): 1824-1834
Wang B, Yan L L, Song L H. Analysis of genetic diversity of wild *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* population in Ningxia. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2021, 30(12): 1824-1834
- [8] 王向东, 梁大琦, 马艳芝. 不同产地酸枣果实及种仁品质比较与综合评价. 中国农业科技导报, 2023, 25(6): 51-59
Wang X D, Liang D Q, Ma Y Z. Comparison and comprehensive evaluation of fruit and seed kernel quality of sour jujube (*Ziziphus acidojujuba* C. Y. Cheng et M. J. Liu) from different producing areas. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(6): 51-59
- [9] 武延生, 李欢, 武丽娜, 牛伟涛, 董晓霞, 王僧虎. 野生酸枣果实、核壳和仁的数量性状分布与相关性研究. 邢台学院学报, 2022, 37(2): 177-182
Wu Y S, Li H, Wu L N, Niu W T, Dong X X, Wang S H. Quantitative character distribution and correlation of wild jujube fruit, stone shell and kernel. Journal of Xingtai University, 2022, 37(2): 177-182
- [10] 张玉, 刘颖, 王玖瑞. 黄骅古贝壳堤酸枣种质果实性状变异. 北方园艺, 2020(8): 24-31
Zhang Y, Liu Y, Wang J R. Variation of fruit traits of *Ziziphus acid jujuba* germplasms at Huanghua ancient chenier. Northern Horticulture, 2020(8): 24-31
- [11] 王晓玲, 仇晓靖, 李旭茂, 刘淑怡, 李智慧, 毛永民, 申连英. 酸枣新品种‘丽园珍珠 8 号’. 园艺学报, 2022, 49(S2): 61-62
Wang X L, Qiu X J, Li X M, Liu S Y, Li Z H, Mao Y M, Shen L Y. ‘Liyuan Zhenzhu 8’ - a new sour jujube cultivar. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(S2): 61-62
- [12] 王晓玲, 仇晓靖, 李旭茂, 刘淑怡, 李智慧, 毛永民, 申连英. 酸枣新品种‘丽园珍珠 10 号’. 园艺学报, 2022, 49(S2): 63-64
Wang X L, Qiu X J, Li X M, Liu S Y, Li Z H, Mao Y M, Shen L Y. ‘Liyuan Zhenzhu 10’ - a new sour jujube cultivar. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(S2): 63-64
- [13] 刘青柏, 董胜君, 纪连军, 陈光辉, 丁士富, 于庆福. 酸枣新品种‘国丰’. 园艺学报, 2022, 49(5): 1173-1174
Liu Q B, Dong S J, Ji L J, Chen G H, Ding S F, Yu Q F. A new *Ziziphus acidojujuba* cultivar ‘Guofeng’. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(5): 1173-1174
- [14] 邱金水, 蔡杰, 杨娅娟, 庄会富. 国家重要野生植物种质资源库共享服务平台设计与实现. 植物遗传资源学报, 2022, 23(5): 1536-1545
Qiu J S, Cai J, Yang Y J, Zhuang H F. Design and implementation of sharing service platform for national wild plant germplasm resource center. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(5): 1536-1545
- [15] 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
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 北京: 中国医药科技出版社, 2020
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2020
- [17] 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
Li D K. Descriptors and data standard for jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [18] 葛颂, 王明麻, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构. 林业科学, 1988, 24(4): 399-409
Ge S, Wang M X, Chen Y W. An analysis of population genetic structure of masson pine by isozyme technique. Scientia Silvae Sinicae, 1988, 24(4): 399-409
- [19] 弓成林, 郭爱民, 汪小伟, 李骏, 蔡智勇. 灰色关联度和层次分析法在葡萄品种评价上的应用. 西南农业学报, 2002, 15(1): 79-82
Gong C L, Guo A M, Wang X W, Li J, Cai Z Y. Integrated evaluation of grape quality by the method of gray related degree analysis and analytic hierarchy process. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2002, 15(1): 79-82
- [20] Saaty T L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 1990, 48: 9-26
- [21] Shen L Y, Luo H, Wang X L, Wang X M, Qiu X J, Liu H, Zhou S S, Jia K, Nie S, Bao Y T, Zhang R G, Yun Q Z, Chai Y H, Lu J Y, Li Y, Zhao S W, Mao J F, Jia S G, Mao Y M. Chromosome-scale genome assembly for chinese sour jujube and insights into its genome evolution and domestication signature. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 773090
- [22] 王若溪, 常婧, 曲凯伦, 温佳星, 刘青柏, 张国庆, 董胜君. 酸枣经济性状关联分析及优异等位基因挖掘. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2023, 51(6): 28-39
Wang R X, Chang J, Qu K L, Wen J X, Liu Q B, Zhang G Q, Dong S J. Association analysis of economic traits and mining of excellent alleles of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2023, 51(6): 28-39
- [23] 刘淑怡, 毛永民, 王晓玲, 仇晓靖, 李智慧, 申连英. 酸枣种质资源性状调查. 北方园艺, 2023(16): 34-42
Liu S Y, Mao Y M, Wang X L, Qiu X J, Li Z H, Shen L Y. Investigation on germplasm resources of *Ziziphus jujube*. Northern Horticulture, 2023(16): 34-42
- [24] 赵骞. 酸枣种质资源调查与研究. 西安: 陕西师范大学, 2022
Zhao Q. Investigation and research on germplasm resources of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2022
- [25] Du S H, Hu X Y, Yang X Y, Yu W D, Wang Z S. Genetic diversity and population dynamic of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chow in central China. Ecology and Evolution, 2022, 12(7): e9101
- [26] 李柯帆, 丁雯, 李晓兰, 王枫, 杜晨晖, 闫艳, 裴香萍. 山西

- 不同产地酸枣遗传多样性与化学成分关联性分析. 中国药学杂志, 2022, 57(3): 192-202
- Li K F, Ding W, Li X L, Wang F, Du C H, Yan Y, Pei X P. Correlation analysis between chemical components and genetic diversity of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* from different areas in Shanxi province. Chinese Pharmaceutical Journal, 2022, 57(3): 192-202
- [27] 刘青柏, 刘明国, 肖德平, 纪连军, 杨玉玲. 辽西朝阳地区酸枣种质果实主要性状特征. 林业科学, 2016, 52(4): 38-47
- Liu Q B, Liu M G, Xiao D P, Ji L J, Yang Y L. Main fruit characteristics of *Ziziphus acidojujuba* germplasm resources in Chaoyang, western Liaoning province. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(4): 38-47
- [28] 王少雄, 胡潇予, 范思琪, 崔艺凡, 于海燕, 王利兵. 西伯利亚杏种实性状地理变异分析. 经济林研究, 2019, 37(1): 74-79, 86
- Wang S X, Hu X Y, Fan S Q, Cui Y F, Yu H Y, Wang L B. Geographical variation analysis on *Armeniaca sibirica* seed characteristics from different provenances. Non-wood Forest Research, 2019, 37(1): 74-79, 86
- [29] 魏丽萍, 韩艳英, 大布穷, 巩文峰, 邓公甫, 呼杰. 西藏光核桃果实表型性状变异分析与种质资源筛选. 北京林业大学学报, 2020, 42(7): 48-57
- Wei L P, Han Y Y, Da B Q, Gong W F, Deng G F, Hu J. Analysis on phenotypic variation and germplasm resource selection of wild *Amygdalus mira* in Tibet of southwestern China. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(7): 48-57
- [30] 刘青青, 李雄杰, 马亚琼, 成美佳, 王晨兆, 高佩, 马福林, 郝静雯, 刘瑞, 冶贵生, 马玉花. 青海野生中国沙棘资源表型性状多样性分析. 植物遗传资源学报, 2023, 24(4): 1057-1064
- Liu Q Q, Li X J, Ma Y Q, Cheng M J, Wang C Z, Gao P, Ma F L, Hao J W, Liu R, Ye G S, Ma Y H. Phenotypic traits diversity analysis of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* wild germplasm in Qinghai province. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(4): 1057-1064
- [31] 冯建, 刘震, 蔡齐飞, 王艳梅, 耿晓东, 薛晓焱, 周慧娜, 张涛, 孔德良, 李明婉, 李志. 不同居群山桐子果实表型性状变异及与环境因子的关系. 生态学报, 2023, 43(3): 1165-1174
- Feng J, Liu Z, Cai Q F, Wang Y M, Geng X D, Xue X Y, Zhou H N, Zhang T, Kong D L, Li M W, Li Z. Variation of fruit phenotypic trait of *Idesia plicarpa* under different populations and their correlation with environmental factors. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(3): 1165-1174
- [32] 何庆海, 杨少宗, 李因刚, 沈鑫, 柳新红. 枫香树种群种子与果实表型性状变异分析. 植物生态学报, 2018, 42(7): 752-763
- He Q H, Yang S Z, Li Y G, Shen X, Liu X H. Phenotypic variations in seed and fruit traits of *Liquidambar formosana* populations. Chinese Journal of Plant Ecology, 2018, 42(7): 752-763
- [33] 高林森, 郭焯, 朱晴晴, 李亚丽, 温吉更. 河北省野生酸枣果实主要经济学性状分析评价. 果树资源学报, 2022, 3(2): 13-17
- Gao L S, Guo Y, Zhu Q Q, Li Y L, Wen J G. Analysis and evaluation of main economic characters of wild jujube fruit in Hebei province. Journal of Fruit Resources, 2022, 3(2): 13-17
- [34] 陈武, 孔德仓, 崔艳红, 曹明, 庞晓明, 李颖岳. 枣核心种质表型性状多样性及裂果相关性. 北京林业大学学报, 2017, 39(6): 78-84
- Chen W, Kong D C, Cui Y H, Cao M, Pang X M, Li Y Y. Phenotypic genetic diversity of a core collection of *Ziziphus jujuba* and correlation analysis of dehiscent characters. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(6): 78-84
- [35] Burak S, Tayyar S, Kilic S E. AHP model for the selection of partner companies in virtual enterprises. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008(38): 367-376
- [36] 高小丽, 黄海皎, 田朋佳, 尼玛央宗, 常子惠, 拉巴扎西, 廖文华, 杨文才. 隶属函数法评价高寒地区饲用豌豆生产性能及品质. 作物杂志, 2023(6): 86-93
- Gao X L, Huang H J, Tian P J, Nima Y Z, Chang Z H, Laba Z X, Liao W H, Yang W C. Evaluation of production performance and quality of forage pea in Alpine region by membership function method. Crops, 2023(6): 86-93
- [37] 袁野, 胡兰, 刘平, 刘孟军. ‘蜂蜜罐’枣实生后代果实性状变异分析与评价. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 539-545
- Yuan Y, Hu L, Liu P, Liu M J. Evaluation of fruit character in naturally-pollinated progeny of *Ziziphus jujuba* Mill. ‘Fengmiguang’. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(3): 539-545
- [38] 薛晓芳, 赵爱玲, 焦文丽, 王永康, 任海燕, 石美娟, 苏万龙, 李毅, 刘丽, 李登科. 枣品种资源果实的糖酸含量特征分析. 植物遗传资源学报, 2024, 25(1): 60-71
- Xue X F, Zhao A L, Jiao W L, Wang Y K, Ren H Y, Shi M J, Su W L, Li Y, Liu L, Li D K. Evaluation of sugar-acid content in fruit of jujube varieties. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(1): 60-71
- [39] 张梅, 王利娜, 王姝婧, 杨智鹏, 马路婷, 刘伟峰, 魏喜喜, 李建贵. 基于层次-关联度的新疆骏枣品质性状分析及综合评价. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(1): 78-85
- Zhang M, Wang L N, Wang S J, Yang Z P, Ma L T, Liu W F, Wei X X, Li J G. Analysis and comprehensive evaluation of Xinjiang Jun jujube quality by hierarchy-relation analysis. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(1): 78-85
- [40] 万胜, 杨智鹏, 黄瑶, 王磊, 孙佳, 刘丰鸣, 张虎国, 王利娜, 王姝婧, 赵文, 张国林, 李建贵. 新疆不同地区灰枣果实品质性状分析及综合评价. 经济林研究, 2022, 40(4): 143-152
- Wan S, Yang Z P, Huang Y, Wang L, Sun J, Liu F M, Zhang H G, Wang L N, Wang S J, Zhao W, Zhang G L, Li J G. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of Huizao in different regions of Southern Xinjiang. Non-wood Forest Research, 2022, 40(4): 143-152