

陕北 24 个种源酸枣种仁品质分析及综合评价

石倩倩, 琚思伟, 李新岗*

(西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 【目的】通过对陕北地区 24 个酸枣种仁的核心品质指标进行分析, 鉴定及筛选具有高价值的酸枣仁种质资源。【方法】以陕北黄河沿岸 7 个种源地 24 个酸枣种仁为研究对象, 基于不同种源酸枣表观性状与酸枣仁功能成分, 利用变异系数分析、相关性分析、聚类分析进行多样性分析, 以及概率分级、主成分分析等方法, 对不同产地酸枣仁品质进行综合评价。【结果】基于陕北不同地区的酸枣仁核心品质指标的综合分析, 建立了酸枣仁品质综合评价体系, 综合质量评价中山东、吴堡和延川得分最高。【结论】陕北地区作为优质的酸枣仁产区具有丰富的种质资源, 可根据对酸枣的不同需求选择不同种源的酸枣材料, 同时为陕北地区酸枣仁质量评价及产品开发提供数据支撑。

关键词: 酸枣; 种仁; 种源; 品质综合评价

Quality analysis and comprehensive evaluation of jujube seed kernel from 24 provenances in northern Shaanxi

Abstract: 【Objective】 Sour jujube is a wild type of cultivated sour jujube with a long history and has attracted much attention due to its high value of traditional Chinese medicine. As one of the main production areas of sour jujube, northern Shaanxi has rich sour jujube genetic resources. The quality of sour jujube is not only related to genetic background, but also affected by the place of origin and environment, showing different characteristics of the place of origin. There are geographical differences in the quality of sour jujube fruit, the appearance of the core and the functional components of sour jujube kernel. The evaluation and screening of sour jujube genetic resources in northern Shaanxi have positive significance for promoting the stable development of the sour jujube industry. The study aims to comprehensively analyze the quality of sour jujube kernels from different production areas in northern Shaanxi, so as to accurately screen sour jujube genetic resources of different quality types, thereby providing a scientific basis for the development and utilization of sour jujube genetic resources. 【Methods】 The study selected 24 wild sour jujube kernels from seven production areas along the Yellow River in northern Shaanxi as the research objects. The apparent traits and functional components of wild sour jujube kernels were comprehensively evaluated by using diversity analysis methods such as coefficient of variation analysis, correlation analysis, and cluster analysis, combined with comprehensive evaluation methods such as probability classification and principal component analysis. 【Results】 Analysis of the phenotypic characteristics of *Ziziphus jujube* kernels from different provenances shows that

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2022YFD2200404)

作者简介: 石倩倩, 女, 副教授, 研究方向为经济林品质形成与遗传育种。E-mail: shiqq@nwfafu.edu.cn

*通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xingangle@nwsuaf.edu.cn.

the *Ziziphus jujube* kernels from Hebei have the largest weight and are significantly higher than those from other provenances, and the kernels from Shandong provenance have the largest longitudinal diameter (7.30 mm) and transverse diameter (5.36 mm). The longitudinal diameter (5.24 mm) and transverse diameter (4.44 mm) of seed kernels in Jiaxian County are the smallest. The benevolence index is as follows: Hebei > Shandong > Ganquan > Qingjian > Yanchuan > Wubao > Suide > Yanchang > Jiaxian. The sour jujube kernels in Hebei and Shandong are mostly oval, while the sour jujube kernels in northern Shaanxi are nearly round. Among the 24 samples, Shandong had the highest edible rate of 79.51%, which was significantly higher than other provenances. Yanchang ranked second with 76.26%, and Jiaxian County had the lowest edible rate (59.02%). The main quality metabolites of sour jujube kernels, fatty acids, total flavonoids and total saponins, were determined and analyzed. The results showed that the fatty acid content of sour jujube kernels in Hebei was the highest at 25.14%, while the content in Ganquan was only 21.65%. All samples were clustered based on 17 sour jujube appearance traits and 3 main quality component content indicators. The 8 production areas were divided into 3 categories. The first category included Ganquan, Yanchang, Qingjian and Jiaxian. The second category included arid Yanchuan, Wubao and Suide. The third category only included Shandong production areas. The intragroup correlation analysis of 21 quality indicators in 7 production areas showed that single fruit weight, fruit horizontal diameter, fruit vertical diameter, fruit shape index, single core weight, core vertical diameter, nuclear type index, kernel vertical diameter, kernel thickness, and kernel shape index showed a high positive correlation ($P < 0.01$). Among them, kernel yield rate was highly correlated with kernel content rate, and edible rate was highly correlated with single fruit weight, fruit horizontal and vertical diameters, and nuclear shape index ($P < 0.01$). Through comprehensive analysis of sour jujube kernels in different regions of northern Shaanxi, a comprehensive evaluation system for sour jujube kernel quality was established. The results showed that Shandong, Wubao and Yanchuan scored the highest in the comprehensive quality evaluation of sour jujube. In addition, the fruits, cores and kernels in Shandong production areas are larger, the functional component content of sour jujube kernels in Wubao area is higher and the kernels are larger, and the kernel yield potential of Yanchuan source is relatively high.

【 Conclusion 】 The research results show that the wild sour jujube germplasm resources in northern Shaanxi are rich and diverse, and there are certain differences in the quality of wild sour jujube kernels from different origins. Therefore, in the process of wild sour jujube product development and quality control, the appropriate wild sour jujube origin can be selected according to different needs to improve the quality and market competitiveness of the product. In summary, through a comprehensive analysis of the core quality indicators of wild sour jujube kernels in northern Shaanxi, this study established a wild sour jujube germplasm resource evaluation system, which provides a scientific basis and data support for the quality evaluation and product development of wild sour jujube kernels in northern Shaanxi, and has certain theoretical and practical significance.

Key words: Jujube; seed kernel; genetic resources; comprehensive evaluation of quality

酸枣 (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* Hu) 是鼠李科(*Rhamnaceae*)枣属 (*Ziziphus* Mill.) 重要的经济树种, 是枣的野生类型^[1]。酸枣为灌木或小乔木, 广泛分布于河北、山东、陕西等地^[2], 现代药理学研究表明, 酸枣仁是治疗睡眠障碍的中药材^[3], 对心脾两虚型失眠、顽固性失眠有显著的功能作用。同时, 酸枣仁对焦虑、抑郁症等情感障碍类精神疾病以及冠心病、高血压、心力衰竭等心血管疾病等有治疗作用^[4,5]。酸枣仁还对镇静催眠、改善心脾、降血脂、改善心肌缺血、提高免疫力, 改善学习记忆、延缓阿尔兹海默症有广泛的药理作用^[6-9]。现阶段, 因酸枣仁的药用价值和经济价值, 市场对其需求呈现增加趋势, 酸枣仁价格不断攀升, 市场价格 1020 元/公斤, 年用量 3000 多吨。

酸枣仁的品质除了与遗传背景有关外, 还受到产地和环境的影响, 表现出了不同的产地特征。酸枣果实品质、果核等表观性状以及酸枣仁功能成分存在地理差异。陕北作为我国酸枣的重要产区, 是我国优质药用酸枣仁(陕北酸枣仁)基地, 有着丰富的酸枣种质资源, 然而目前对于该地区的酸枣品质缺乏综合分析和评价限制了酸枣产业的发展。研究以 26 个采样点的酸枣资源为试材, 通过变异系数分析、相关性分析、聚类分析、概率分级、主成分分析等方法, 对陕北酸枣品质进行了综合评价, 以为陕北酸枣资源的开发和利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选取陕北黄河沿岸甘泉、延长、延川、清涧、佳县、吴堡、绥德 7 个种源的 24 个采样点选取生长条件(阳坡)基本一致野生酸枣树采集酸枣果实 2.5 kg(附表 1), 将山东泰安设为参比种源。

1.2 主要仪器与试剂

W201B 旋转蒸发仪, 上海申生科技有限公司; DK-926 电热恒温水浴锅,; UV-2550 型紫外分光光度计, 日本岛津(香港)有限公司; KQ-250DB 数控超声波清洗器; 索氏提取器。

1.3 试验方法

1.3.1 酸枣表观性状的测定

(1) 酸枣果实表观性状的测定: 在上述酸枣种源的采样点中标记生长基本一致的野生本土酸枣树。在果实完熟期, 选取各样株的树冠外围东、南、西、北方位发育正常的全红果 30 个, 记录果实颜色、形状。利用游标卡尺(精度 0.01 mm)测定果实横径、果实纵径与电子天平(精度 0.01 g)测量单果重, 计算可食率与果形指数。具体计算公式如下:

$$\text{果形指数} = \text{果实纵径} / \text{果实横径}$$

$$\text{可食率} = \text{果肉质量} / \text{果实质量}$$

(2) 酸枣核与酸枣仁表观性状的测定: 将上述样品洗净后脱去果肉得果核, 记录核纹、果核形状, 测量单核重、核纵径、核横径并计算核形指数。后砸去果核得酸枣仁, 记录种仁颜色、种仁饱满度。测量仁纵径、仁横径、仁形指数、50 粒仁重、仁厚度、计算含仁率、双仁率、出仁率。具体计算公式如下:

核型指数=果核纵径/果核横径

仁型指数=仁纵径/仁横径

双仁率=(双仁的果核数/总果核数)×100%

含仁率=(含有种仁的果核数/总果核数)×100%

出仁率=(种仁重/果核重)×100%

1.3.2 酸枣仁功能成分测定

(1) 酸枣仁脂肪酸含量测定：将索氏提取器的提脂烧瓶和滤纸筒提前烘干至恒重，并精确称量滤纸筒质量得 M1。后将上述酸枣仁粉末置于 40 °C 烘箱至恒重，称取约 5.0 g 的酸枣仁粉末置于滤纸筒内并称得 M2，再将纸筒放入索氏提取筒内，加 15 倍量石油醚使纸筒完全浸没，索氏提取器 80 °C 回流提取 2 次，每次 3 h，至纸筒周围浸泡液呈无色，回收溶剂，待装有脱脂粉末的滤纸筒挥发至无醚味后，烘干至恒重后称量得 M3，将提取液减压抽滤后旋转蒸发，计算得率。设置三个重复，取平均值。

脂肪酸得率(%)=[(M2-M3)/(M2-M1)]×100%

式中：M1 为空滤纸筒的质量，g；M2 为酸枣仁粉末和滤纸筒的质量，g；M3 为脱脂酸枣粉末和滤纸筒的质量，g。

(2) 酸枣仁总黄酮含量测定：精密称取酸枣仁 0.50 g，加入 70%乙醇 20 mL，40 °C 超声提取 60 min，离心 10 min，重复提取 2 次，合并上清液，用 70%乙醇定容。精密称取 10 mg 芦丁溶于 70%乙醇并定容，制成芦丁标准液，分别吸取 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8 mL 标准液，并使用 70%乙醇定容至 1 mL，加亚硝酸钠（0.5 mol/L）0.5 mL。加三氯化铝溶液（0.3 mol/L）0.5 mL，再加入氢氧化钠（1 mol/L）1 mL，摇匀静置 15 min。在波长 510 nm 处检测吸光度 A，绘制标准曲线，得标准曲线为 $A=1.0086C+0.0145$ ， $R^2=0.9974$ ，在 0.1~0.8 mg/mL 范围内有良好的线性关系（附图 1）。精确移取 1 mL 提取液，重复上述步骤，根据标准曲线计算黄酮含量，设置 3 个生物学重复。

(3) 酸枣仁总皂苷含量测定：精密称取酸枣仁样品种仁（ 2.000 ± 0.005 g）3 份，加 10 倍量 75%乙醇，超声提取 50 min，离心 10 min，重复提取 2 次，将上清液 100 °C 水浴将醇蒸干至无醇味，残渣用水饱和正丁醇萃取 2 次，合并正丁醇层。后水浴蒸干，用 70%甲醇溶解残渣，用甲醇定容至刻度，待测。准确称取酸枣仁皂苷 A 2.5 mg，甲醇溶解定容。分别取上述标准液 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mL 于 10 mL 离心管中，补充 70%甲醇至 1 mL，加 5%香草醛冰醋酸溶液 0.2 mL，高氯酸 0.8 mL，60 °C 水浴加热，后冰水冷却，加冰醋酸 5 mL。测定其吸光度 A（ $\lambda=592$ nm）。如图 2-2 所示，得标准曲线为 $A=0.935C+0.0024$ ， $R^2=0.9994$ ，在 0.1~0.7 mg/mL 范围内有良好的线性关系（附图 2）。精密吸取样品待测液 1 mL 于 10 mL 离心管中，重复上述步骤，根据标准曲线计算总皂苷的含量。所得值是 3 个生物学重复的平均值。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2020 与 IBM SPSS Statistics 20 进行数据整理、单因素方差分析差异与显著性分析、相关性分析、采用聚类分析（欧式距离 ward 法）、主成分分析等。利用 Origin 与 R 语言进行作图与统计分析。

2 结果与分析

2.1 酸枣果实及种仁特征指数分布

成熟的酸枣果实形状多为椭圆形（49.61%）或卵圆形（26.19%），也有少量圆形、扁圆形（表 1）。颜色多为深红色（72.47%）或桔红色（13.45%），枣核主要为纺锤形（40.31%），少数为长尖形（1.98%）。从种核的核纹来看，核纹深短核纹居多（69.83%），无明显核纹占比少（2.65%），仅在甘泉种源有少量存在。酸枣仁颜色多为桔红色种仁（38.83%）、紫红色种仁（36.68%），棕红色占比最小，为 5.27%。酸枣仁多为饱满种仁（81.33%），较饱满（17.35%），干瘪极少（1.52%）。

表 1 酸枣定性表述性状频率统计

Table 1 The frequency of qualitative characters for sour jujube

性状 Characters	性状描述 Description	分布频率% Frequency	性状 Characters	性状描述 Description	分布频率% Frequency
果实形状 Fruit shape	圆形 Globose	7.86	核纹 Stone wrinkle	无明显 Obscure	2.65
	扁圆形 Oblate	16.34		浅短 shallow and short	8.54
	椭圆形 Ellipse	49.61		深短 Deep and short	69.83
	卵圆形 Ovate	26.19		深长 Deep and long	11.1
果实颜色 Fruit color	桔红 Orange-red	13.45	种仁颜色 Seed color	浅长 Shallow and long	7.88
	红 Red	10.44		桔红 Orange-red	38.83
	深红 Deep-red	72.47		红 Red	19.22
果核形状 Stone shape	棕红 Brown-red	3.64	种仁饱满度 Seed fullness	紫红 Purplish-red	36.68
	圆形 Globose	24.66		棕红 Brown-red	5.27
	椭圆形 Ellipse	28.57		饱满 Full	81.33
	圆锥形 Conical	4.54		较饱满 Fuller	17.35
	纺锤形 Spindle shaped	40.31		干瘪 Wizeded	1.52
	长尖形 Long pointed shaped	1.98			

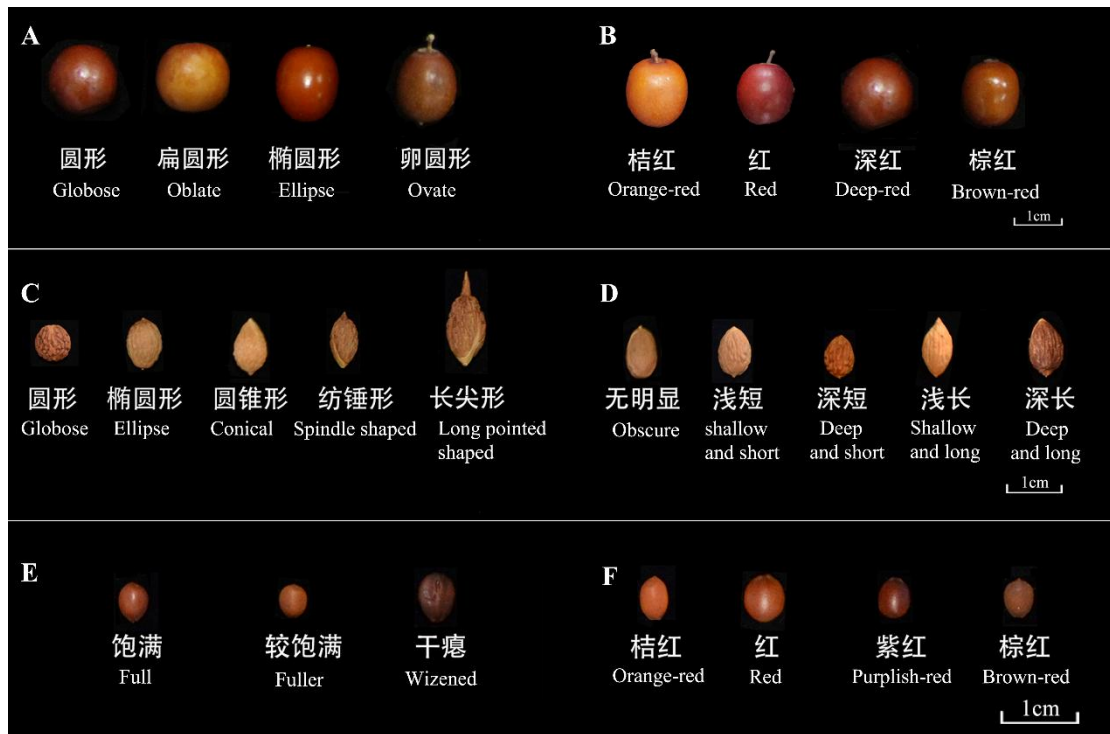


图 1 不同种源酸枣果实、果核及种仁形态表征。(A-B) 果实形状与颜色; (C-D) 果核形状与核纹; (E-F) 种仁饱满度和颜色。

Fig. 1 Morphological characterization of fruit, core and kernel of sour jujube from different provenances. (A-B) The shape and color of sour jujube fruits; (C-D) Stone shape and wrinkle; (E-F) The fullness and color of seeds.

分析结果表明 21 个酸枣性状指标的变异存在显著差异 (表 2), 其中, 双仁率的变异范围 (1.15%~28.71%) 最大, 其平均值为 11.28%。出仁率的变异范围次之, 最大值为 21.54%, 最小值为 7.24%, 平均值为 16.34%。果形指数的变异范围最小, 最大值为 1.45, 最小值为 0.78, 平均值为 1.10。21 个酸枣性状的变异系数均大于 10%, 酸枣变异丰富, 存在较大的筛选潜力。

表 2 酸枣性状的种源间变异分析

Table 2 Analysis of interspecific variation of characters of sour jujube

性状 Characters	最小值 MIN	最大值 MAX	均值 AVE	标准差 SD	变异系数 (%) CV
单果重 Fruit weight/g	0.28	2.11	0.94	0.34	36.28
果实横径 Fruit horizontal diameter/mm	7.60	15.62	11.58	1.44	12.43
果实纵径 Fruit vertical diameter/mm	7.70	18.97	12.66	1.80	14.19
果形指数 Fruit shape index	0.78	1.45	1.10	0.11	10.16
单核重 Single stone weight/g	0.02	0.61	0.27	0.08	28.91
核纵径 Vertical length of stone/mm	5.59	17.72	10.17	1.87	18.37
核横径 Stone width/mm	3.53	10.05	6.96	0.83	11.96
核型指数 Stone index	0.80	3.22	1.48	0.32	21.59
10粒核重 10 stones weight/g	1.26	9.95	2.60	0.71	27.29

性状 Characters	最小值 MIN	最大值 MAX	均值 AVE	标准差 SD	变异系数 (%) CV
仁纵径 Seed longitudinal diameter/mm	3.96	10.26	6.10	0.98	16.09
仁横径 Seed transverse diameter/mm	3.02	7.33	4.89	0.58	11.93
仁厚度 Seed thickness/mm	1.04	3.31	2.40	0.32	13.19
仁形指数 Seed shape index	0.78	1.89	1.25	0.15	11.68
50粒仁重 50 seeds weight/g	1.08	3.95	1.86	0.55	29.56
可食率 Edibility rate%	66.29	89.01	76.41	11.56	15.13
出仁率 Kernel rate%	7.24	21.54	16.34	3.04	18.59
含仁率 Ratio of containing seeds%	40.06	99.01	90.33	12.22	13.52
双仁率 Double kernels rate%	1.15	28.71	11.28	6.16	54.61
脂肪酸 Fatty acid%	17.86	29.68	23.47	3.01	12.80
总皂苷 Total saponin mg/g	3.45	10.56	6.49	2.01	31.01
总黄酮 Total flavonoid mg/g	4.69	10.72	6.95	1.50	21.58

2.2 不同种源酸枣仁表观性状表现

不同种源酸枣仁表型特征分析显示,山东的50粒仁重最大显著高于其他种源,甘泉(1.49 g)最小。山东种源的种仁纵径(7.30 mm)和横径(5.36 mm)均是最大的,佳县的种仁纵径(5.19 mm)和横径(4.44 mm)均是最小的。在仁厚度方面,吴堡(2.56 mm)最大,显著大于其余7个种源,甘泉最小。仁形指数表现为:山东>甘泉>清涧>延川>吴堡>绥德>延长>佳县(1.19),其中,山东显著高于其余7个种源,山东酸枣仁多为椭圆形而陕北酸枣仁呈近圆形(图2)。在8个种源中,延长的可食率最高为79.48%,显著性高于其他种源。延长位居2位为76.38%,佳县可食率(50.79%)最小。不同种源酸枣出仁率、含仁率、双仁率差异均不显著(图3)。

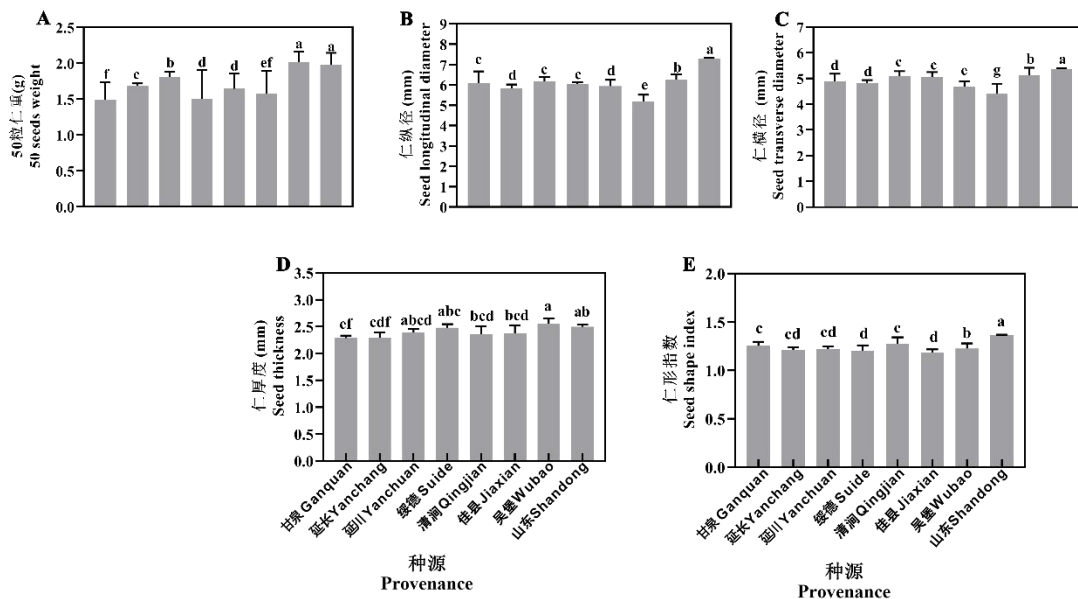


图2 不同种源酸枣仁表型性状的比较

(注:不同字母表示差异显著 $P < 0.05$)

Fig2 Comparison of phenotypic traits of sour jujube seed from different provenances

(Different letters represent significant differences $P<0.05$)

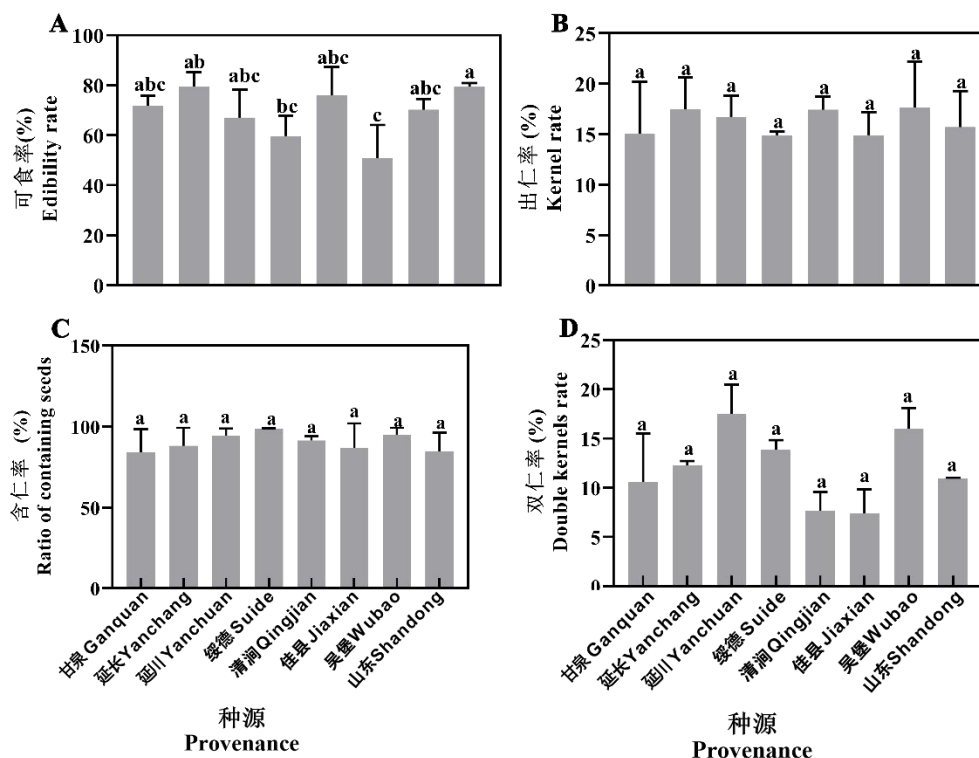


图 3 不同种源产量性状比较

(注：不同字母表示差异显著 $P<0.05$)

Fig 3 Comparison of yield traits from different provenances

(Different letters represent significant differences $P<0.05$)

2.3 不同种源酸枣仁主要品质代谢物差异分析

为了进一步评价不同种源的酸枣仁的品质，对酸枣仁主要品质代谢物脂肪酸、总黄酮和总皂苷进行了测定分析。其中，吴堡的酸枣仁脂肪酸含量最高为 24.54%，而甘泉（21.65%）最低。甘泉总皂苷含量显著性高于其余 6 个种源，为 8.35 mg/g，延长（6.55 mg/g）次之。绥德酸枣仁总皂苷含量最小，为 4.50 mg/g。陕北 7 个种源的酸枣仁总黄酮含量为：绥德的酸枣仁总黄酮含量最大，为 8.55 mg/g，显著性高于吴堡等 5 个种源。甘泉含量最小，为 5.12 mg/g，显著性低于其他 6 个种源。

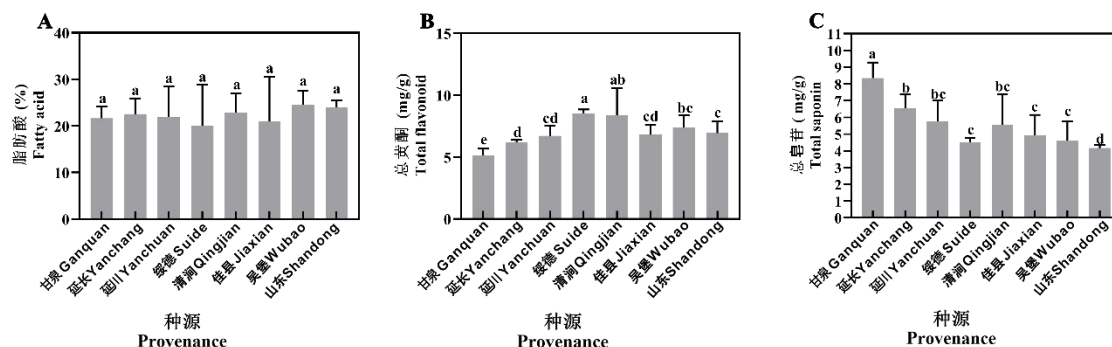


图 4 不同种源酸枣仁功能成分含量

(注: 不同字母表示差异显著 $P<0.05$)

Fig 4 The content of functional components of jujube seed from different sources
(Different letters represent significant differences $P<0.05$)

2.4 酸枣种源聚类分析

基于 17 个酸枣表观性状及 3 个主要品质成分含量指标, 对 7 个陕北酸枣种源及参比种源山东种源进行聚类分析, 并计算各类群酸枣的表观性状与功能成分含量均值 (图 5、附表 2)。结果显示, 8 个种源的酸枣被划分为三个类别, 其中第一类别中包含甘泉、延长、清涧以及佳县, 其中佳县与其他三个种源的特征相差较远。第二类别中干旱延川、吴堡和绥德。该类别中单果重、果实横径、果实纵径、单核重, 核纵径、核横径、50 粒仁重、仁横径、仁纵径等均在 3 类中最小。酸枣仁总黄酮、总皂苷、脂肪酸含量表现中等。第三个类别中仅有山东产区。该类表现为单果重、果实横径、果实纵径、果形指数、核纵径、核横径、核型指数、50 粒仁重、仁厚度均大于第一、二类别。在产量性状方面, 出仁率、含仁率、双仁率均低于第一、二类别; 酸枣仁脂肪酸、总皂苷含量高于其他类, 总黄酮含量中等。

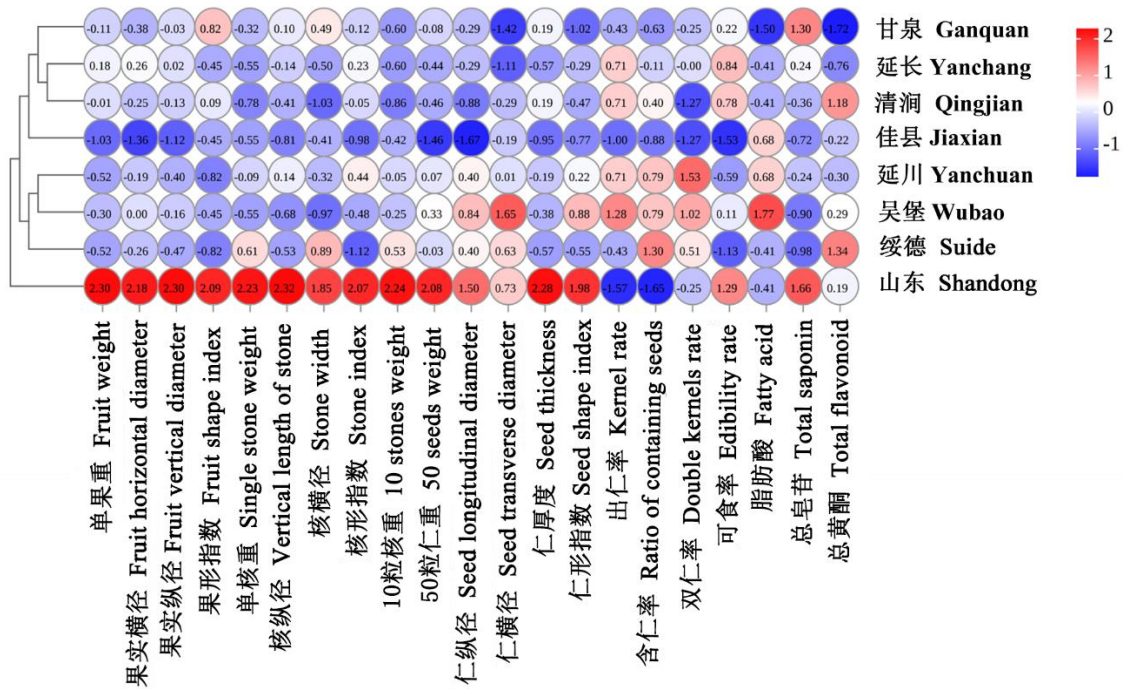


图5 基于酸枣表型性状和功能成分的8个种源的聚类分析

Fig 5 Cluster analysis of 8 provenances based on the phenotypic and functional components of jujube

2.5 酸枣表观性状与功能成分相关性分析

探究不同产地酸枣仁主要品质指标与表观指标的相关性, 有助于通过直观表型初步评价酸枣的综合品质。通过对 7 个产区的 21 个品质指标的组内相关性分析显示, 单果重、果实横径、果实纵径、果形指数、单核重、核纵径、核型指数、仁纵径、仁厚度、仁形指数指标

呈现高度正相关性 ($P<0.01$)。其中, 出仁率与含仁率相关度高, 可食率与单果重、果实横纵径以及核形指数高度相关 ($P<0.01$)。因此, 在筛选含仁率高的酸枣种质资源可参考单果重、果实横纵径以及核形指数等直观指标。此外, 脂肪酸和总黄酮均与酸枣仁横径有较高的相关性, 而总皂苷则与单果重、果实纵径、果形指数、核纵径、核型指数以及仁厚度相关性高 (图 6)。基于酸枣仁品质指标之间的相关性, 可以为酸枣特定功能性代谢物的开发提供表观筛选的依据。

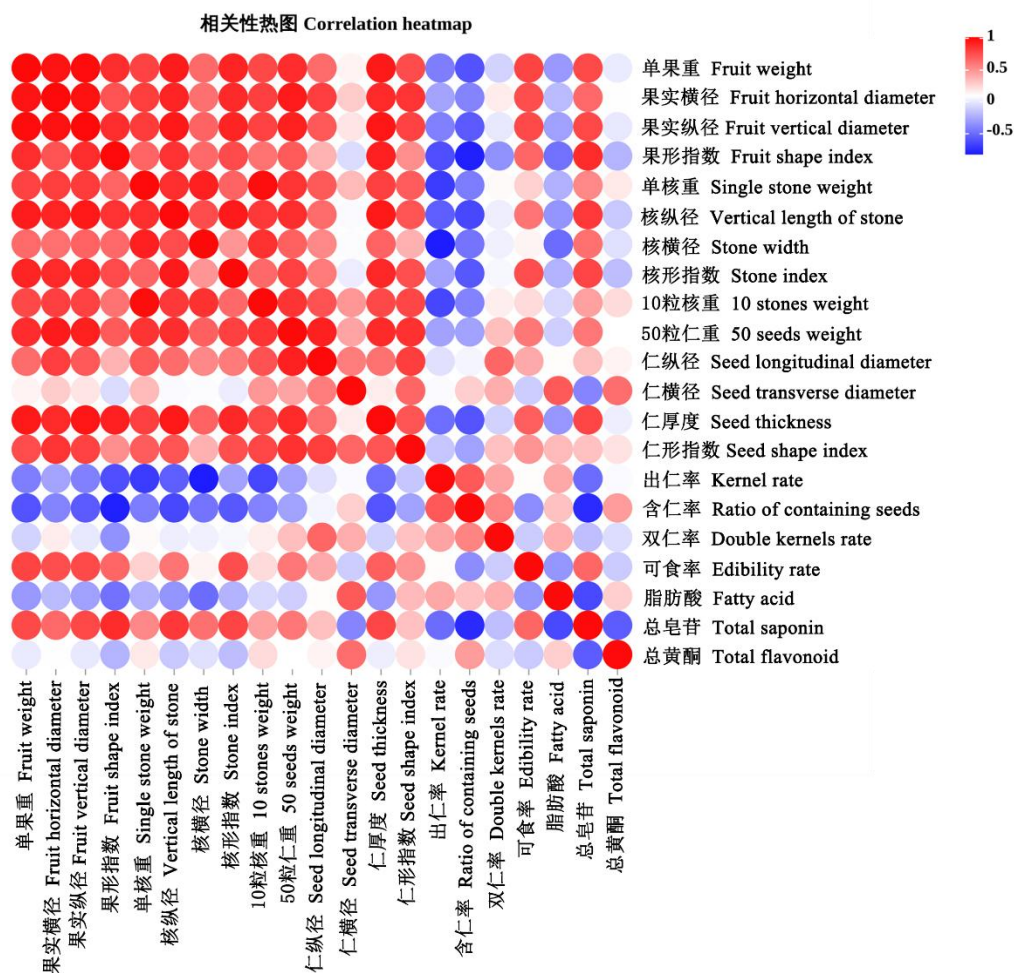


图 6 不同产地酸枣仁主要品质指标与表观指标的相关性分析

Fig. 6 Correlation analysis between main quality index and apparent index of sour jujube kernel from different producing areas

2.6 酸枣种源质量综合评价

基于主成分分析的酸枣种源综合评价。对陕北地区7个种源及山东种源的野生酸枣的21个性状指标进行主成分分析, 结果表明 (表4), 以特征值大于1提取主成分, 可以得到3个主成分, 累计贡献率为87.15%, 表明这3个主成分可以基本包含陕北以及山东种源酸枣21个性状指标的大部分信息。其中, 第1主成分的贡献率为57.675%, 果实纵径、单果重、果实横径、核纵径、仁厚度、50粒仁重、核型指数、单核重、果形指数、10粒核重的特征向量的绝对值较大, 在0.85以上, 表明该主成分与酸枣果实、果核的大小和重量相关。第2成分

的贡献率为18.822%，仁形指数、酸枣仁总皂苷、仁纵径、仁横径、酸枣仁脂肪酸、酸枣仁总黄酮、双仁率的特征向量绝对值较大，均大于0.5，表明第2主成分主要反映酸枣仁大小和功能成分的性状特征。第3主成分的贡献率为10.653%，其中，出仁率、双仁率、可食率的特征向量绝对值较大，均大于0.45，表明该主成分与酸枣的产量性状特征相关。第4主成分的特征向量为6.353%，其中，酸枣仁总黄酮含量、双仁率、核横径的特征向量绝对值较大，均大于0.4，表明该主成分主要反映果核和酸枣仁的性状特征。

表 4 酸枣表型性状和功能成分的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of phenotypic traits and functional components of sour

jujubes

性状指标 Character index	各主成分的载荷Load of each principal component		
	1	2	3
果实纵径FVD	0.985	-0.009	0.109
核纵径VLS	0.976	-0.092	0.001
单果重FHD	0.969	-0.062	0.095
仁厚度ST	0.963	-0.066	0.008
果实横径FHD	0.948	0.157	0.209
50粒仁重50SW	0.927	0.293	0.153
核型指数SI	0.897	-0.101	0.267
单核重SSW	0.888	0.211	-0.328
果形指数FSI	0.871	-0.373	-0.104
10粒核重10SW	0.861	0.333	-0.342
仁形指数SSI	0.784	0.505	0.123
酸枣仁总皂苷TS	0.783	-0.575	0.130
核横径SW	0.766	-0.048	-0.426
仁纵径SLD	0.721	0.548	0.269
可食率ER	0.654	-0.240	0.589
含仁率RCS	-0.597	0.581	0.330
仁横径STD	0.218	0.906	-0.170
酸枣仁脂肪酸FA	-0.191	0.723	-0.370
酸枣仁总黄酮TF	-0.035	0.657	-0.243
双仁率DKR	0.029	0.643	0.468
出仁率KR	-0.518	0.217	0.810
特征值 Characteristic value	12.112	3.953	2.237
贡献率% Contribution rate	57.675	18.822	10.653
累计贡献率% Cumulative contribution rate	57.675	76.498	87.150

单果重 SFM；果实横径 FHD；果实纵径 FVD；果形指数 FSI；单核重 SSW；核纵径 VLS；核横径 SW；核

型指数 SI; 10 粒核重 10SW; 50 粒仁重 50SW; 仁纵径 SLD; 仁横径 STD; 仁厚度 ST; 仁形指数 SSI; 出仁率 KR; 含仁率 RCS; 双仁率 DKR; 可食率 ER; 脂肪酸 FA; 总皂苷 TS; 总黄酮 TF

le fruit mass, SFM; Fruit horizontal diameter, FHD; Fruit vertical diameter FVD; Fruit shape index, FSI; Single stone weight, SSW; Vertical length of stone, VLS; Stone width, SW; Stone index, SI; 10 stones weight, 10SW; 50 seed weight, 50SW; Seed longitudinal diameter SLD; Seed transverse diameter, STD; Seed thickness, ST; Seed shape index, SSI; Kernel rate, KR; Rate of containing seeds, RCS; Double kernels rate, DKR; Edible rate, ER; Fatty acid, FA; Total saponin, TS; Total flavonoid, TF

基于主成分分析的特征向量值及标准化的数据，将标准化的 21 个酸枣指标数据代入提取出的 4 个主成分中，各主成分的贡献率得出各主成分的权重系数分别为 3.480、1.988、1.496、1.155，带入各主成分得分计算公式得酸枣种源的综合得分（表 5）。由于第一主成分与酸枣果实、果核的大小和重量相关，且贡献率大，山东种源果实、果核大，所以综合得分最高的为山东种源。

对各个主成分的得分进行排序。第 1 主成分前三名分别为山东、甘泉、延长，其果实、种核性状优，酸枣大。第 2 主成分的前 3 名为吴堡、绥德、延长，主要特征为酸枣仁大、酸枣仁功能成分含量高。第 3 主成分的前 3 名为山东、吴堡、延川其产量性状表现优秀。第 4 主成分的前 3 名分别为：清涧、佳县、吴堡。将酸枣种源综合得分与酸枣各性状进行相关性分析表明（表 6）：综合得分与 13 个酸枣性状显著性相关，其中与单果重、10 粒核重、50 粒仁重等 10 个性状极显著正相关（ $P>0.01$ ），与果型指数、核横径等 3 个性状显著正相关（ $P>0.05$ ）。表明综合得分能概括酸枣大部分性状表现情况。

表 5 不同种源综合评价得分与排名

Table 5 Comprehensive evaluation scores and rankings of different provenances

种源 Provenance	各主成分得分 Scores for each principal component				综合得分 Score	排名 Ranking
	1	2	3	4		
	甘泉Ganquan	0.202	-3.278	-9.213		
延长Yanchang	-0.696	-1.365	-5.715	0.007	-1.639	6
延川Yanchuan	-0.804	1.284	1.575	-1.180	-1.278	3
绥德Suide	-1.262	1.985	-1.983	-1.181	-1.411	4
清涧Qingjian	-1.340	-0.745	-6.385	2.006	-1.767	7
佳县Jiaxian	-3.312	-0.949	-24.646	0.630	-3.030	8
吴堡Wubu	-1.044	2.820	4.605	0.600	-1.015	2
山东Shandong	8.256	0.249	41.763	0.390	3.852	1

表 6 综合得分与酸枣性状相关系数

Table 6 Correlation coefficient between comprehensive score and sour jujube characters

性状 Character	相关系数 Correlation coefficient	性状 Character	相关系数 Correlation coefficient
-----------------	---------------------------------	-----------------	---------------------------------

单果重 SFM	0.947**	仁横径 STD	0.387
果实横径 FHD	0.962**	仁厚度 ST	0.939**
果实纵径 FVD	0.970**	仁形指数 SSI	0.870**
果形指数 FSI	0.793*	出仁率 KR	-0.464
单核重 SSW	0.905**	含仁率 RCS	-0.487
核纵径 VLS	0.940**	双仁率 DKR	0.126
核横径 SW	0.728*	可食率 ER	0.611
核型指数 SI	0.866**	脂肪酸 FA	-0.044
10 粒核重 10SW	0.902**	总皂苷 TS	0.658
50 粒仁重 50SW	0.961**	总黄酮 TF	0.101
仁纵径 SLD	0.799*		

(‘*’表示显著相关 $P < 0.05$, ‘**’表示极显著相关 $P < 0.01$)

(‘*’indicates significant correlation $P < 0.05$, ‘**’indicates highly significant correlation $P < 0.01$)

3 讨论

3.1 酸枣表型性状的多样性研究

不同产地酸枣仁生长环境多样,酸枣因海拔、土壤类型、气候等因素影响,酸枣的植株类型、果实、果核、种仁等在表型性状上有较大差异。本文的主要通过陕北 24 个种源酸枣的品质评价评估陕北作为新的酸枣产区的可行性和优势,为相关地区发展酸枣产业提供参考。李柯帆等对山西省 26 个不同产地酸枣进行遗传多样性分析表明山西不同产地酸枣具有丰富的多样性^[10]。酸枣的果实性状变异十分丰富,单果重悬殊(2~15 g),果肉可食率 72%~92 %^[11]。研究结果表明 21 个酸枣性状指标的变异系数均大于 10%,证明酸枣变异丰富,存在较大的筛选潜力。李晓兰等对山西 8 个地区酸枣表型性状进行多样性分析,结果表明酸枣表型性状的变异系数为 10.60%~37.71 %,其中单果重的变异系数最大,种仁宽的最小^[12]。刘青柏等于辽西朝阳地区收集 51 份酸枣资源,发现酸枣果实变异系数在 7.69%~84.36 %之间,各主要性状均符合正态分布^[13]。高林森等探究不同地区野生酸枣果实生物学性状与生态环境的关系,结果表明酸枣各性状存在较大地理差异,变异系数最大的性状是单果质量^[14]。张玉等对黄骅 18 份酸枣种质进行果实性状变异分析,结果表明单果质量的变异系数最大,为 30.12%^[15]。武延生等对 85 份酸枣种质的数量性状测量发现,核壳重存在变异范围,为 0.20~0.25 g 之间,单核重的变异系数为 0.247^[16],郑强卿等发现大部分核型指数在 1.2~1.3 之间,约占 40%^[17]。辽西地区酸枣仁表观性状变异显著,其仁纵径在 0.45~0.99 cm 之间,仁横径的变异范围为 0.42~0.75 cm,千仁质量变异系数最大,为 34.27%,说明酸枣仁在表观性状上存在较大变异^[13]。

3.2 酸枣仁功能成分的多样性研究

本研究对不同种源酸枣仁主要品质代谢物脂肪酸、总黄酮和总皂苷进行了测定分析。结果显示佳县的酸枣仁脂肪酸含量最高为 24.12%,而甘泉(21.65%)最低。总皂苷含量范围为 8.35 -4.50 mg/g。绥德的酸枣仁总黄酮含量最大,为 8.55 mg/g,甘泉含量最小为 5.12 mg/g。

不同产地的酸枣仁功能成分含量有显著差异,如酸枣仁中维生素 C 含量多分布在 300~400 mg/100 g (FW) 之间,而陕西酸枣样品却达到 511.44 mg/100 g (FW) [18]。杜丽峰等采用 HPLC 法发现不同产地酸枣仁皂苷含量有很大差异,陕西酸枣仁中皂苷含量高[19]。薛晓芳等研究表明,不同枣种质间黄酮含量的变异系数达到 68.26% [4];武延生等研究表明,不同产地酸枣仁中酸枣仁皂苷 A 的含量存在明显差异,其中河北邢台酸枣仁中酸枣仁皂苷 A 的含量最高[20]。周赛男等对 7 个种源酸枣仁总皂苷和总黄酮含量进行测定,结果表明不同产区间的酸枣仁功能成分含量差异不明显,斯皮诺素含量差异较大,酸枣仁皂苷 A 含量高的种源多集中在山东、河北以及陕西[21]。另外,李虹等结果表明,不同种源酸枣仁脂肪酸得率不存在显著性差异,生酸枣仁的脂肪酸含量陕西地区含量最高[22]。

3.3 酸枣多样性综合评价

酸枣的多样性综合评价多基于酸枣的表观形态特征和营养成分的综合评价体系,单从某一指标进行酸枣品质评价,很难准确客观地反映其真实情况做出合理筛选。在酸枣的多样性综合评价中,学者多采用概率分级法、主成分分析、灰色关联分析及隶属函数法等方法进行评价。

概率分级法是将植物的数量性状进行合理分级,对优良植物资源的科学筛选与评价具有指导价值。杨雷等对酸枣 9 个主要的数量性状进行概率分级,筛选出了大果型、高可食率、高可溶性糖、高可滴定酸、高 Vc、高多糖、高双仁率、高出仁率、高千仁重等多种酸枣资源[23]。刘青柏等对 51 个酸枣种质的 12 个主要性状指标(变异系数>15%)按照概率分级法,利用各性状的均值与标准差,筛选出大果型、高双仁率、高 Vc、长核、高还原糖等多种酸枣种质[13]。

主成分分析采用了降维的思想,它可以把多个指标转换成几个不相关的综合指标,这样简化后的指标可以最大程度地反映出原来指标的大部分信息,该方法既能够反映原来指标的信息,又能够简化筛选程序,多用于植物优良种质、种源的选择研究中[24]。孙亚强等利用主成分分析对 60 份酸枣样品 7 个果实质量性状和 13 个数量性状进行分析得到 4 个主成分,结果表明:可根据第 1 主成分筛选大果型酸枣,第 4 主成分可用于选育品质的酸枣[25]。

隶属函数法是根据模糊数学的隶属函数公式将各指标的平均值换算成隶属函数值,从而进行综合评价。郑强卿对来自陕西、河北等种源的 15 种酸枣种子的双仁率、可溶性蛋白、核纵径等种子性状指标进行隶属函数法综合评价,结果表明陕西种源的综合评分较高[17]。灰色关联度分析法指的是将原始数据进行无量纲化处理,并找出各指标的关联度,以关联度的大小来对关联度进行排序,关联度越大,二者之间的关系就越紧密。路娟利用灰色关联度法针对酸枣仁皂苷、黄酮、脂肪酸、多糖等功能成分评价酸枣仁的质量,结果表明河北省、辽宁省的酸枣仁质量较佳[26,27]。

4 结论

陕北是酸枣的主要产地,随着酸枣仁药用需求的增加,陕北酸枣产业不断发展。但酸枣

资源变异丰富、植株类型多样,不同种源酸枣特性尚不明确,酸枣仁品质优劣也众说纷纭,这导致该地区仁用酸枣选育难度较大。本研究以种源为切入点,选取陕北黄河流域7个酸枣种源为研究对象,以山东种源为参比种源,分析对比不同种源酸枣果实、果核、种仁表观性状和酸枣仁功能成分之间差异,建立酸枣种仁评价体系。酸枣综合质量评价中山东、吴堡和延川得分最高。其中,山东种源果实、果核、种仁较大,吴堡种源功能成分含量较高、种仁较大,延川种源的仁用丰产潜力相对较高。可根据对酸枣的不同需求选择不同种源的酸枣材料,同时为陕北地区酸枣仁质量评价及产品开发提供数据支撑。

参考文献 References

[1]段开行,王晓玲,毛永民,王瑶,任勇响,任柳柳,申连英. 酸枣种质资源果实数量性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报,2023,50(12):2568-2576.

DUAN Kaihang, WANG Xiaoling, MAO Yongmin, WANG Yao, REN Yongxiang, REN Liuliu, SHEN Lianying. Analysis of genetic diversity of sour jujube genetic resources based on quantitative characters[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2023, 50 (12): 2568-2576.

[2]刘丽,王永康,苏万龙,赵爱玲,任海燕,薛晓芳,石美娟,李登科. 中国酸枣种质资源收集保存、鉴定评价及筛选利用进展[J]. 西北农业学报,2024,33(02):191-200.

LIU Li, WANG Yongkang, SU Wanlong, ZHAO Ailing, REN Haiyan, XUE Xiaofang, SHI Meijuan, LI Dengke. Advance of research in conservation, evaluation, utilization of sour jujube genetic resources in China[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2024, 33 (02): 191-200.

[3]杨思雨,冷秀梅,刘晋,徐文华,袁勇贵,孙丽霞,李勇,侯正华,徐治,戴恒,陈素珍,伊恩,杜心雨,徐心然,仲瑾,张静,吴婷,汪秀琴. 酸枣仁汤合黄连温胆汤治疗成人慢性失眠症及辅助苯二氮卓类药物撤药的作用:一项多中心、前瞻性队列研究[J]. 南京中医药大学学报,2023,39(12):1224-1231.

YANG Siyu, LENG Xiumei, LIU Jin, XU Wenhua, YUAN Yonggui, SUN Lixia, LI Yong, HOU Zhenghua, XU Zhi, DAI Heng, CHEN Suzhen, JAN D. Reinhardt, DU Xinyu, XU Xinran, ZHONG Jin, ZHANG Jing, WU Ting, WANG Xiuqin. Treatment of adult chronic insomnia and the effect of assisting Benzodiazepine withdrawal with a combination of suanzaoren decoction and Huanglian Wendan decoction: A multicenter, prospective cohort study[J]. *Nanjing Univ Tradit Chin Med*, 2023, 39 (12): 1224-1231.

[4]薛晓芳,弓桂花,赵爱玲,任海燕,王永康,李登科. 枣和酸枣不同器官黄酮含量比较及抗氧化能力分析[J]. 中国果树,2020,(01):59-63.

XUE Xiaofang, GONG Guihua, ZHAO Ailing, REN Haiyan, WANG Yongkang, LI Dengke. Comparison of flavonoid contents and antioxidant capacities in different organs of Chinese jujube and sour jujube[J]. *China Fruits*, 2020, (01): 59-63.

[5]王红坤,何金铭,颜岳衡,汪子皓,李若暄,王艳艳. 酸枣仁汤对焦虑大鼠海马离子型谷氨酸受体的表达及突触可塑性的作用研究[J]. 中国中药杂志,2023,48(20):5583-5591.

WANG Hongkun, HE Jinming, YAN Yueheng, WANG Zihao, LI Ruoxuan, WANG Yanyan. Effect of Suanzaoren decoction on expression of ionotropic glutamate receptors and synaptic plasticity in hippocampus of anxiety rats[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2023, 48 (20): 5583-5591.

[6]熊艳丽,陈晓铤,丁海玲. 酸枣仁汤加减治疗高血压合并睡眠障碍的临床效果[J]. 内蒙古中医药,2022,41(03):34-35.

XIONG Yanli, CHEN Xiaoting, DING Hailing. Clinical effect of the addition and subtraction of sour jujube nut soup in the treatment of hypertension combined with sleep disorder[J]. Inner Mongolia Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 41(03): 34-35.

[7]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[J]. 北方园艺,2023,(16):34-42.

LI Shuyi, MAO Yongmin, WANG Xiaoling, QIU Xiaojing, LI Zhihui, SHEN Lianying. Investigation on genetic resources of *Ziziphus jujube*[J]. Northern Horticulture, 2023, (16): 34-42.

[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[J]. 中国农业科技导报,2023,25(06):50-58.

WANG Xiangdong, LIANG Daqi, MA Yanzhi. Comparison and comprehensive evaluation of fruit and seed kernel quality of sour jujube (*Ziziphus acidujuba* C.Y. Cheng et M.J.Liu) from different producing areas[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25 (06): 50-58.

[9]杨冲,李宪松,刘孟军. 酸枣的营养成分及开发利用研究进展[J]. 北方园艺,2017,(05):184-188.

YANG Chong, LI Xiansong, LIU Mengjun. Research progress on chemical constituents and utilization of sour jujube (*Z. acidujuba* Cheng et Liu)[J]. Northern Horticulture, 2017, (05): 184-188.

[10]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[J]. 中国药学杂志,2022,57(03):192-202.

LI Kefan, DING Wen, LI Xiaolan, WANG Feng, DU Chenhui, YAN Yan, PEI Xiangping. Correlation analysis between chemical components and genetic diversity of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* from different areas in Shanxi Province[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2022, 57 (03): 192-202.

[11]张建英,毛向红,黄岩. 酸枣种质资源综合性状评价[J]. 河北林业科技,2010,(06):10-13.

ZHANG Jianying, MAO Xianghong, HUANG Yan. Comprehensive character evaluation of Sour jujube genetic resources[J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2010(6):10-13.

[12]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[J]. 分子植物育种,2023,21(02):666-672.

Li Xiaolan, Ding Wen, Duan Huizhu, Du Chenhui, Yan Yan, Pei Xiangping. Genetic diversity of *Ziziphus jujuba* genetic resources based on morphological trait[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21 (02): 666-672.

[13]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[J]. 林业科学,2016,52(04):38-47.

Liu Qingbai, Liu Mingguo, Xiao Deping, Ji Lianjun, Yang Yuling. Main fruit characteristics of *Ziziphus acidujuba* genetic resources in Chaoyang, Western Liaoning Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52 (04): 38-47.

[14]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[J]. 果树资源学报,2022,3(02):13-17.

GAO Linsen, GUO Ye, ZHU Qingqing, LI Yali, WEN Jigeng. Analysis and evaluation of main economic characters of sour jujube fruits in Hebei Province[J]. Journal of Fruit Resources, 2022, 3 (02): 13-17.

[15]张玉,刘颖,王玖瑞. 黄骅古贝壳堤酸枣种质果实性状变异[J]. 北方园艺,2020,(08):24-31.

ZHANG Yu, LIU Ying, WANG Jiurui. Variation of fruit traits of *Ziziphus acidujuba* germplasms at Huanghua Ancient Chenier[J]. Northern Horticulture, 2020, (08): 24-31.

[16]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[J]. 邢台学院学报,2022,37(02):177-182.

WU Yansheng, LI Huan, WU Lina, NIU Weitao, DONG Xiaoxia, WANG Senghu. Distribution and correlation of

- quantitative traits of wild sour jujube fruit, kernel shell and kernel[J]. Journal of Xingtai University, 2022, 37(02):177-182.
- [17]郑强卿,李鹏程,李铭,陈奇凌,王晶晶. 酸枣种子性状及营养成分分析[J]. 湖北农业科学,2014,53(01):102-105.
- ZHENG Qiangqing, LI Pengcheng, LI Ming, CHEN Qiling, WANG Jingjing. Analyzing the characters and nourishment components of sour jujube seed resources[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53 (01): 102-105.
- [18]郑强卿,李鹏程,李铭,陈奇凌,王晶晶. 隶属函数法综合评价不同产地酸枣的种子性状[J]. 贵州农业科学,2013,41(04):25-28.
- ZHENG Qiangqing, LI Pengcheng, LI Ming, CHEN Qiling, WANG Jingjing. Comprehensive evaluation on seed characters of sour jujube from different producing areas by subordinate function method[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2013, 41 (04): 25-28.
- [19]杜丽峰,梁宗锁. 不同产地酸枣仁皂苷含量的测定[J]. 陕西中医学院学报,2006,(05):65-66.
- DU Lifeng, LIANG Zongsuo. Determination of saponin content of sour jujube kernel from different origins[J]. Journal of Shaanxi College of Traditional Chinese Medicine, 2006, (05): 65-66.
- [20]武延生,董丽丽,王僧虎,李敏,于玲,牛伟涛,石晓云. 不同产地的酸枣仁中酸枣仁皂苷 A 含量的比较研究[J]. 黑龙江农业科学,2013,(11):108-111.
- WU Yansheng, DONG Lili, WANG Senghu, LI Min, YU Ling, NIU Weitao, SHI Xiaoyun. Comparison of the content of jujuboside a in seeds of jujube from different regions[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013, (11): 108-111.
- [21]周赛男,陈安家,郭宝林,张庆英,秦小龙. 不同产区酸枣仁中斯皮诺素、6"-阿魏酰斯皮诺素、酸枣仁皂苷 A、酸枣仁皂苷 B 的含量测定[J]. 中草药,2019,50(11):2712-2717.
- ZHOU Sainan, CHEN Anjia, GUO Baolin, ZHANG Qingying, QIN Xiaolong. Determination of two flavonoids and two saponins in Ziziphi spinosae semen from different producing areas[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50 (11): 2712-2717.
- [22]李虹,黄晓欣,刘勇,田卉玄,王泽亿,王宇航. 基于电子舌技术的生炒酸枣仁滋味比较[J]. 中国现代中药,2022,24(01):122-127.
- LI Hong, HUANG Xiao-xin, LIU Yong, TIAN Huixuan, WANG Zeyi, WANG Yuhang. Taste comparison between raw and fried Ziziphi spinosae semen based on electronic tongue technology[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24 (01): 122-127.
- [23]杨雷,周俊义,刘平,赵智慧,杨莉,李莉,郝保春. 酸枣种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J]. 河北农业大学学报,2006,(01):34-37.
- YANG Lei, ZHOU Junyi, LIU Ping, ZHAO Zhihui, YANG Li, LI Li, HAO Baochun. Variation and probability grading of main quantitative characters of sour jujube germplasm resource[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2006, (01): 34-37.
- [24]田贺,张志东,李亚东,吴林,刘海广. 主成分分析法在茶藨属植物果实品质评价指标上的应用研究[J]. 吉林农业大学学报,2009,31(05):632-636.
- TIAN He, ZHANG Zhidong, LI Yadong, WU Lin, LIU Haiguang. Application of principal component analysis in quality evaluation indices of fruit quality for ribes[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31 (05): 632-636.
- [25]孙亚强,吴翠云,王德,王志强. 酸枣种质资源果实若干性状的多元统计分析[J]. 江西农业学报,2015,27(12):29-32.

SUN Yaqiang, WU Cuiyun, WANG De, WANG Zhiqiang. Multivariate statistic analysis of fruit phenotypic traits and quality of sour jujube genetic resources[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2015, 27 (12): 29-32.

[26]路娟,王维宁,赵娟,刘晓秋. 灰关联度法评价中药酸枣仁的质量[J]. *沈阳药科大学学报*, 2011,28(07):549-554.

LU Juan, WANG Weining, ZHAO Juan, LIU Xiaoqiu. Quality evaluation of *Ziziphi spinosae* semen by grey incidence degree method[J]. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 2011, 28 (07): 549-554.

[27] 毕景歆, 吴梦嘉, 张跃武, 张春梅. 枣和酸枣 AsA 积累特点及关键功能基因鉴定[J]. *果树学报* 2023, 40, 1823-1831.

Bi Jingxin, WU Mengjia, ZHANG Yuewu, ZHANG Chunmei. Analysis of ascorbic acid in jujube/sour jujube and identification of key function genes[J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40, 1823-1831.