



网络出版日期:2021-11-19

doi:10.7606/j.issn.1004-1389.2021.12.008

网络出版地址:<https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20211117.1135.014.html>

宁夏 5 个野生酸枣种群遗传变异性分析

王 博,严亮亮,宋丽华

(宁夏大学农学院,银川 750021)

摘要 以收集到的宁夏 5 个野生酸枣种群及 3 个栽培品种的叶片和果实为材料,测定其表型性状、生理和果实时品质指标,分析种群的遗传多样性。结果表明:5 个野生酸枣种群的表型性状平均变异系数为 4.46%,果实品质平均变异系数为 3.49%,叶片生理指标平均变异系数为 15.89%,说明果实的遗传性状变化较小,而叶片的变化较大;5 个野生酸枣种群遗传变异性大小的顺序为中宁县牛首山种群>中卫市日照山种群>银川市贺兰山滚钟口种群>灵武市白芨滩种群>吴忠市红寺堡种群。聚类分析表明,3 个栽培品种为第Ⅰ类;5 个野生酸枣种群中,中卫市日照山种群与中宁县牛首山种群为第Ⅱ类;银川市贺兰山滚钟口种群与灵武市白芨滩种群为第Ⅲ类;吴忠市红寺堡种群为第Ⅳ类。

关键词 野生酸枣;种群;遗传变异性

中图分类号 S665.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)12-1824-11

酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)为鼠李科枣属植物,是枣的变种,适应强,具有显著的生态、经济价值。与其他大多数果树的野生种不同,野生酸枣树在等位基因多样性、表型性状和采后品质方面差异较大^[1],对非生物胁迫具有良好的耐受性,是中国北方地区栽培枣树的优良砧木,也是植被恢复、景观建设的良好候选树种。酸枣与栽培枣树品种容易杂交,是培育枣树新品种和改良枣树品质性状的遗传变异资源^[2-3]。张建英等^[4]对 23 个酸枣无性系的综合性状进行研究,结果表明酸枣果实形状多为圆形和近圆形,单果质量多分布在 2.0~3.0 g,食用率大多高于野生酸枣。杨雷^[5]采用灰色关联分析方法对 70 份酸枣种质资源的 5 个果实数量性状进行评价,筛选出 10 个综合性状较好的酸枣种质。2006 年对 149 份酸枣种质果实的 9 个主要数量性状进行概率分级,提出了酸枣的 5 级分级标准^[6],这些研究为酸枣的资源保护和开发利用提供了指导与参考。酸枣的适应性强,果实的开发利用价值也较高,但目前对酸枣资源调查及其保护与遗传改良利用方面的研究报道较少。本研究在实地调查的基础上,以采集到的宁夏不同生态立地分布的野生酸枣为

材料,分析宁夏野生酸枣群体的分布、表型性状等,并与栽培枣品种进行对比,探讨野生酸枣的遗传多样性差异,以期为酸枣资源的保护和开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试验方法

在对宁夏野生酸枣实地勘察的基础上,选取宁夏吴忠市红寺堡区、银川市贺兰山滚钟口、灵武市白芨滩、中宁县牛首山以及中卫市日照山 5 个种群(以下分别用 WZ、HLS、LW、ZN、ZW 表示),这 5 个地区的野生酸枣分布面积较大,而且较集中成片,具有代表性。

试验材料为 5 个种群野生酸枣植株的成熟功能叶片与果实,成熟叶片用于测定叶片生理生态指标,果实用于测定品质指标。并采集宁夏 3 个栽培枣品种:‘灵武长枣’‘中宁小枣’‘同心圆枣’(分别用 LWCZ、ZNXZ、TXYZ 表示),与野生酸枣各个指标进行比较。各种群基本信息与地理分布见表 1 及图 1。

2019 年 7 月进行叶片采集,9 月待果实成熟后进行采集。7 月对宁夏 5 个不同生态种群野生

收稿日期:2020-11-03 修回日期:2021-02-18

基金项目:宁夏自然科学基金(2021AAC03110);宁夏重点研发计划(2018BFH03015)。

第一作者:王 博,男,硕士研究生,从事果树栽培生理研究。E-mail:1175431300@qq.com

通信作者:宋丽华,女,教授,硕士生导师,主要从事林木良种繁育和经济林栽培生理研究。E-mail:slh382@126.com

酸枣调查、记录、挂牌等,每个种群随机标记30棵长势基本一致的健康植株,距离间隔10 m以上,按照东西南北方向采集健康无病虫害的成熟功能

叶片,带回实验室测定。9月依据第1次采叶样时确定的GPS定位信息,采集每棵树的果实,带回实验室。

表1 宁夏野生酸枣种群基本地理信息

Table 1 Geographic information of wild jujube population in Ningxia

位置 Location	代码 Population coding	地理坐标 Geographic coordinates	年降水量/mm Precipitation	海拔/m Altitude	年均蒸发量/mm Annual average evaporation	年均气温/℃ Annual average temperature	采样地地貌类型 Geographical type of sampling site
中卫市日照山 ^[7] Zhongwei Rizhao Mountain	ZW	E 105°23'26"~105°23'40" N 37°38'38"~37°38'48"	188.4	1 274~1 293	1 913.2	7.2	山地 Mountain
灵武市白芨滩 ^[8] Lingwu Baijitan	LW	E 106°31'45"~106°31'59" N 38°04'42"~38°04'47"	255.2	1 311~1 349	1 933.3	8.8	沙地 desert
银川市贺兰山滚钟口 ^[9] Gunzhongkou of Helan Mountain	HLS	E 105°57'08"~105°57'32" N 38°36'04"~38°36'17"	320.5	1 297~1 318	1 988.6	10.6	荒漠戈壁 Gobi
吴忠市红寺堡 ^[10] Wuzhong Hongsibu	WZ	E 106°21'22"~106°22'08" N 37°30'21"~37°30'29"	251.2	1 275~1 294	2 387.2	8	荒漠草原 Desertsteppe
中宁县牛首山 ^[11] Zhongning Niushou Mountain	ZN	E 105°57'58"~105°58'36" N 37°43'43"~37°44'03"	202.1	1 122~1 210	1 947.1	7.6	山地 Mountain

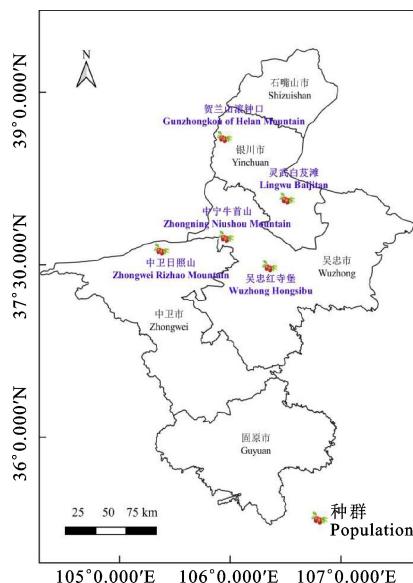


图1 宁夏野生酸枣种群分布

Fig. 1 Distribution map of wild jujube population in Ningxia

1.2 叶片和果实表型、生理、品质指标测定

采用巴比妥酸(TBA)显色法测定丙二醛(MDA)含量^[12];采用NBT还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性^[13];采用愈创木酚法测定(POD)过氧化物酶活性^[14];采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性^[15];采用茚三酮法测定脯氨酸含量^[16];采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[17];采用NaOH溶液滴定法测定有机酸含量^[18];采用钼蓝比色法测定维生素C含量^[19];用游标卡尺(GB/T14899-94)测定叶片长、叶片宽、果实纵横径,激光叶面积仪(YMJ-C)测定叶面积;电子分析天平测量果实时单果质量。

1.3 数据处理

所有数据采用Microsoft Excel 2016进行整理与分析,用SPSS 20.0、Origin与R语言进行作图与统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同野生酸枣种群表型遗传变异性分析

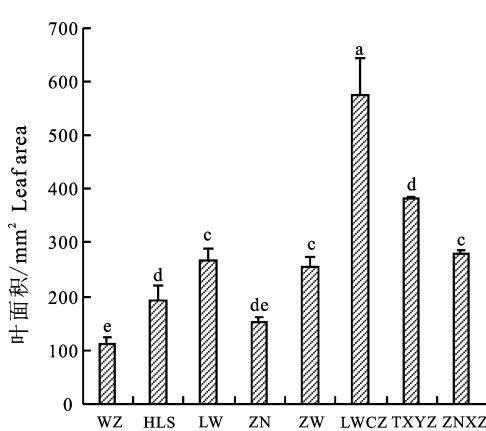
2.1.1 叶片表型性状分析 由图2、3和4可知,5个野生酸枣种群的单叶面积与叶片鲜质量均存在显著性差异($P_{\text{面积}}=0.014<0.05$, $P_{\text{叶片鲜质量}}=0.011<0.05$)。其中灵武白芨滩种群的单叶面积和叶片鲜质量最大,分别为266.71 mm²和0.079 g,但栽培枣品种的叶面积与叶片鲜质量均大于野生酸枣,如‘中宁小枣’的叶面积280.32 mm²,‘同心圆枣’的叶片鲜质量为0.141 g。



图2 不同野生酸枣种群叶片表型对比

Fig. 2 Comparison of leaf phenotypes of different wild jujube populations

2.1.2 果实表型性状分析 由图5、6和7可知,5个野生酸枣种群果实纵径、横径之间均存在极



柱形上方不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下同

Different lowercase letters above the bars indicate significant differences ($P<0.05$), and different uppercase letters indicate extremely significant differences ($P<0.01$). The same below

图3 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶面积对比

Fig. 3 Comparison of leaf area of different wild jujube populations and cultivated jujube varieties

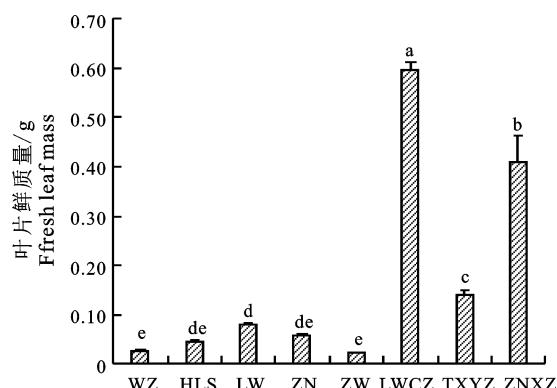


图4 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的单叶鲜质量对比

Fig. 4 Comparison of fresh mass of single leaf of different wild jujube populations and cultivated jujube varieties

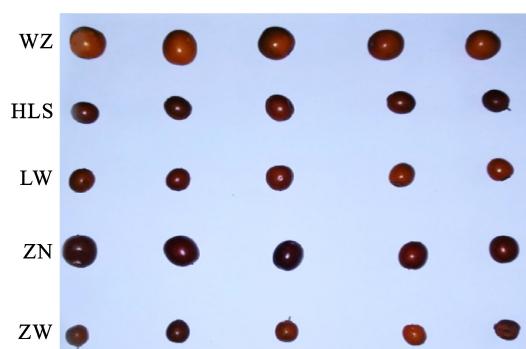


图5 不同野生酸枣种群果实表型对比

Fig. 5 Comparison of fruit phenotypes of different wild jujube populations

显著性差异($P_{\text{纵径}}=0.004<0.01, P_{\text{横径}}=0.005<0.01$)。果实纵径和横径均表现为中宁牛首山种群>吴忠红寺堡种群>贺兰山滚钟口种群>灵武白芨滩种群>中卫日照山种群。果实纵横径最大的均为中宁牛首山种群(纵径 15.36 mm, 横径 15.14 mm), 栽培枣果实纵横径均大于野生酸枣, 其中‘中宁小枣’纵横径均最小(纵径 38.42 mm, 横径 20.71 mm)。

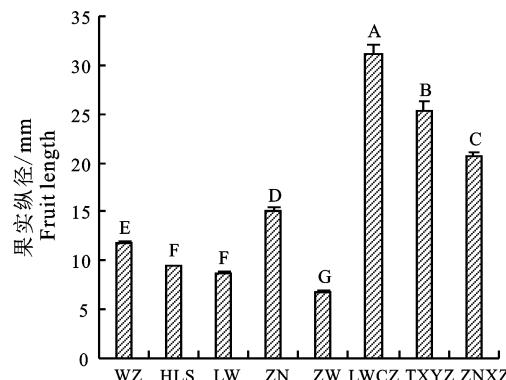


图6 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的果实纵径对比

Fig. 6 Comparison of fruit longitudinal diameters of different wild jujube populations and cultivated jujube varieties

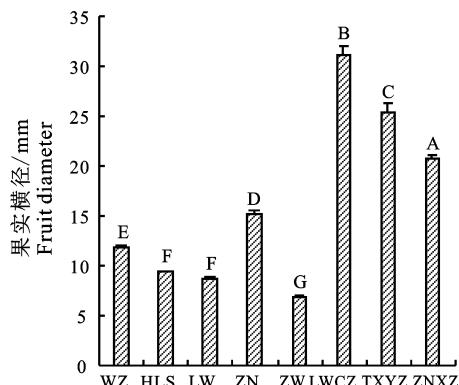


图7 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的果实横径对比

Fig. 7 Comparison of fruit transverse diameters of different wild jujube populations and cultivated jujube varieties

由图8可知,5个野生酸枣种群的单果质量之间均存在差异,吴忠红寺堡种群与中宁牛首山种群之间差异不显著($P_{\text{单果质量}}=0.341>0.05$),贺兰山滚钟口种群与灵武白芨滩种群之间差异不显著($P_{\text{单果质量}}=0.054>0.05$),其余各种群之间均存在显著差异性($P_{\text{单果质量}}=0.011<0.05$)。各种群野生酸枣单果质量表现为吴忠红寺堡种群>中宁牛首山种群>贺兰山滚钟口种群>灵武白芨滩种

群>中卫日照山种群。野生酸枣单果质量最大的是吴忠红寺堡种群(1.03 g),栽培枣最小的是‘中宁小枣’(20.71 g),栽培枣单果质量均大于野生酸枣。

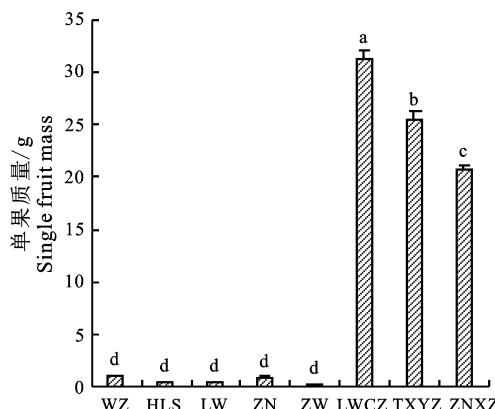


图8 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的果实单果质量对比

Fig. 8 Comparison of individual fruit mass of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

由表2可知,各种群野生酸枣果实横径变异系数较小,为0.48%~2.65%,果实纵径变异系数较小,为0.47%~2.23%,果实纵横径变异系数最大的均是中卫日照山种群,最小的均是贺兰山滚钟口种群;果实单果质量变异系数较小,为0.53%~8.33%。变异系数最大的是灵武白芨滩种群,最小的是吴忠红寺堡种群;叶面积变异系数较小,为3.78%~12.8%。变异系数最大的是贺兰山滚钟口种群,最小的是中宁牛首山种群;叶片鲜质量变异系数较大,为3.18%~15.45%。变异系数最大的是吴忠红寺堡种群,最小的是中宁牛首山种群。

野生酸枣表型指标中,变异系数最大的是叶片鲜质量,为12.27%;最小的是果实纵径,为1.76%。说明果实在长期的进化过程中遗传性状较为稳定,受到外界环境的影响变化较小,而叶片受到的影响较大。

表2 宁夏不同野生酸枣种群的表型变异性分析

Table 2 Phenotypic variability analysis of different wild wild jujube populations in Ningxia

指标 Index	WZ			HLS			LW			ZN			ZW			
	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	
纵径 Longitudinal diameter	12.6708	0.1535	0.0121	10.9642	0.0521	0.0047	10.4555	0.2101	0.0201	15.3553	0.1659	0.0108	7.2427	0.1619	0.0223	
横径 Cross diameter	11.8854	0.1207	0.0102	9.5026	0.0452	0.0048	8.6373	0.1993	0.0231	15.1407	0.2967	0.0196	6.8267	0.1812	0.0265	
单果质量 Single fruit mass	1.0280	0.0054	0.0053	0.5028	0.0085	0.0169	0.4238	0.0353	0.0833	0.9722	0.0729	0.075	0.2914	0.0068	0.0233	
叶片鲜质量 Fresh leaf mass	0.0247	0.0038	0.1545	0.0452	0.0037	0.0814	0.0786	0.0043	0.0551	0.0572	0.0018	0.0318	0.0221	0.0011	0.0516	
叶面积 Leaf area	112.52679	300.8	0.0827	191.557224.5173	0.1280	266.766319.1604	0.0718	153.81635.8067	0.0378	253.343715.9964	0.0631					
平均变异系数 Average coefficient of variation		0.0531			0.0472			0.0507			0.0351			0.0374		

2.2 不同野生酸枣种群的几个生理指标遗传变异性分析

由图9可知,各野生酸枣种群的脯氨酸含量存在显著差异性($P=0.011<0.05$)。其叶片脯氨酸含量表现为灵武白芨滩种群>中宁牛首山种群>吴忠红寺堡种群>贺兰山滚钟口种群>中卫日照山种群。野生酸枣种群的脯氨酸含量均高于栽培枣品种,其中中卫市日照山种群的脯氨酸含量最低(8.94 $\mu\text{g/g}$),而栽培枣品种‘中宁小枣’的脯氨酸含量最高(8.54 $\mu\text{g/g}$),但仅和中卫日照山种群的含量相近。

由图10可知,5个种群酸枣叶片丙二醛含量均存在差异,其中贺兰山滚钟口种群、吴忠红寺堡

种群之间差异不显著($P=0.925>0.05$),其余各品种群之间均存在显著差异($P=0.012<0.05$)。酸枣叶片丙二醛含量表现为灵武白芨滩种群>吴忠红寺堡种群>贺兰山滚钟口种群>中卫日照山种群>中宁牛首山种群。除中宁牛首山种群外其余各野生种群丙二醛含量均高于栽培枣,野生酸枣种群丙二醛含量最低的是中宁牛首山种群(5.99 mmol/g),低于3个栽培枣,其余各野生种群均高于栽培枣,栽培枣丙二醛含量最高的是‘中宁小枣’(9.70 mmol/g)。

由图11可知,各种群野生酸枣叶片均存在差异,其中贺兰山滚钟口种群与中宁牛首山种群之间差异不显著($P=0.058>0.05$),其余各种群之

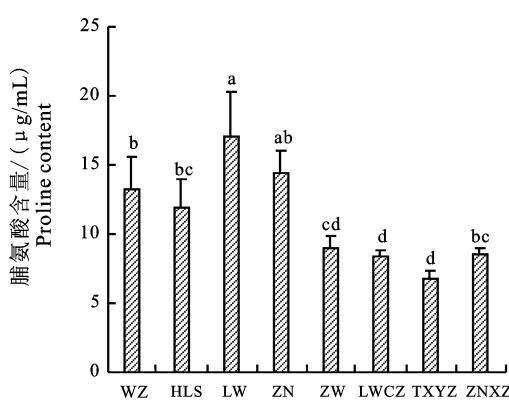


图 9 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶片脯氨酸含量对比

Fig. 9 Comparison of leaf proline content of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

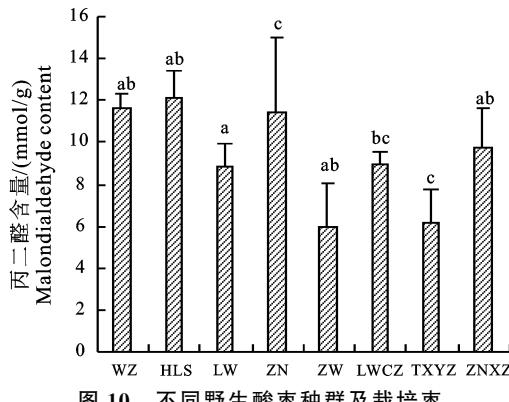


图 10 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶片丙二醛含量对比

Fig. 10 Comparison of malondialdehyde content in leaves of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

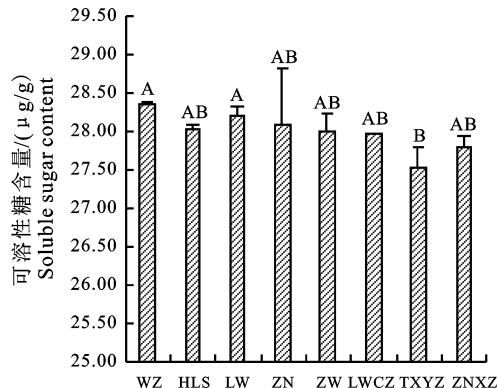


图 11 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶片可溶性糖含量对比

Fig. 11 Comparison of soluble sugar content in leaves of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

间存在极显著性差异($P = 0.001 < 0.01$)。可溶性糖含量表现为吴忠红寺堡种群>灵武白芨滩种群>中宁牛首山种群>贺兰山滚钟口种群>中卫日照山种群。各野生酸枣种群叶片可溶性糖含量均略高于栽培枣,野生酸枣叶片可溶性糖含量最低的是中卫日照山(27.99 $\mu\text{g/g}$),栽培枣最高的是‘灵武长枣’(27.96 $\mu\text{g/g}$)。

由图 12 可知,各种群野生酸枣叶片 POD 活性均存在差异,其中贺兰山滚钟口种群与中宁牛首山种群之间差异不显著($P = 0.5332 > 0.05$),其他种群之间差异均显著($P = 0.021 < 0.05$)。叶片 POD 活性呈现为中宁牛首山种群>中卫日照山种群>贺兰山滚钟口种群>吴忠红寺堡种群>灵武白芨滩种群。各野生酸枣种群叶片可溶性糖含量均明显高于栽培枣,野生酸枣叶片可溶性糖含量最低的是灵武白芨滩种群[25.67 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$],栽培枣最高的是‘同心圆枣’[5.47 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$]。

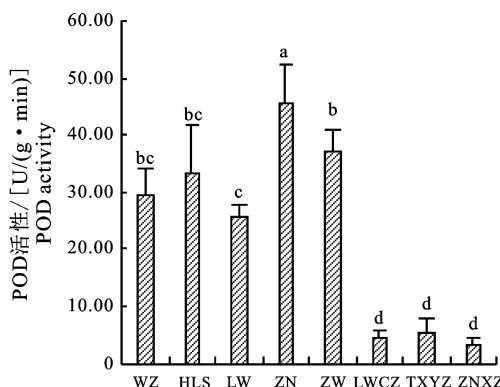


图 12 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶片 POD 活性对比

Fig. 12 Comparison of leaf POD activities of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

由图 13 可知,各种群酸枣叶片 SOD 活力之间均存在显著性差异($P = 0.003 < 0.01$)。酸枣叶片 SOD 活力呈现中宁牛首山种群>中卫日照山种群>贺兰山滚钟口种群>吴忠红寺堡种群>灵武白芨滩种群。各野生酸枣种群 SOD 活力均高于栽培枣,野生酸枣 SOD 活力最高的是中宁牛首山种群[33.95 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{h})$],栽培枣最高的是‘同心圆枣’[11.91 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{h})$]。

由图 14 可知,吴忠红寺堡种群与灵武白芨滩种群之间 CAT 活力差异不显著($P = 0.646 > 0.05$),其余野生酸枣种群之间均存在显著性差异

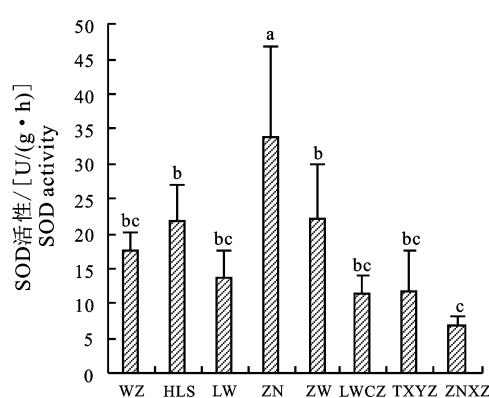


图 13 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶片 SOD 活性对比

Fig. 13 Comparison of SOD activity in leaves of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

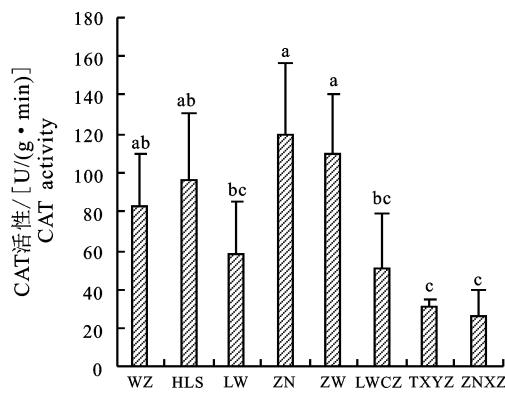


图 14 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的叶片 CAT 活性对比

Fig. 14 Comparison of CAT activity in leaves of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

($P=0.021<0.05$)。各种群酸枣叶片 CAT 活性依次呈现中宁牛首山种群>中卫日照山种群>贺兰山滚钟口种群>吴忠红寺堡种群>灵武白芨滩种群。各野生酸枣种群叶片 CAT 活性均高于栽培枣,野生酸枣叶片 CAT 活性最低的是中宁牛首山[119.19 U/(g·min)],栽培枣最高的是‘灵武长枣’[51.10 U/(g·min)]。

由表 3 可知,各种群野生酸枣叶片脯氨酸含量变异系数幅度比较大,为 8.55%~15.54%。变异程度最大的是灵武白芨滩种群,最小的是中卫日照山种群;叶片丙二醛含量变异系数比较大,为 4.38%~28.07%。变异系数最大的是中卫日照山种群,最小的是吴忠红寺堡种群;叶片可溶性糖含量变异系数较小,为 0.19%~2.12%。变异系

数最大的是中卫日照山种群,最小的是贺兰山滚钟口种群;叶片 POD 活性变异系数较大,为 6.02%~21.04%。变异系数最大的是中宁牛首山种群,最小的是灵武白芨滩种群;叶片 SOD 活性变异系数较大,为 11.74%~31.36%。变异系数最大的是灵武白芨滩种群,最小的是吴忠红寺堡种群;叶片 CAT 活性变异系数较小,为 22.67%~36.91%。变异系数最大的是贺兰山滚钟口种群,最小的是灵武白芨滩种群。

野生酸枣叶片生理指标变异性最大的是 MDA 含量,为 23.69%;变异性最小的是叶片可溶性糖含量,为 1.93%。

2.3 不同野生酸枣种群果实主要营养品质遗传变异性分析

果实的含糖量为衡量果实内在品质的一个重要指标,含糖量的多少决定果实的口感。由图 15 可知,各种群之间果实可溶性糖含量均存在极显著性差异($P=0.007<0.01$)。各种群野生酸枣果实可溶性糖含量大小为中宁牛首山种群>中卫日照山种群>灵武白芨滩种群>吴忠红寺堡种群>贺兰山滚钟口种群,中宁牛首山种群与中卫日照山种群立地条件相似,果实可溶性糖含量接近。由表 4 可见,5 个野生种群中灵武白芨滩种群立地条件最苛刻,可溶性糖含量也最低。果实可溶性糖含量最高的是中宁牛首山(43.21 μg/g),栽培枣最低的是‘中宁小枣’(45.90 μg/g)。

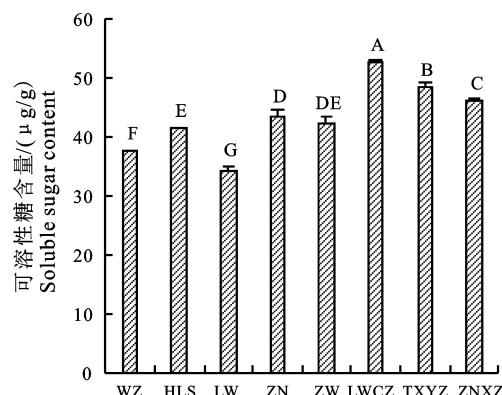


图 15 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的果实可溶性糖含量对比

Fig. 15 Comparison of the soluble sugar content of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

果实的有机酸含量是衡量果实内在品质的另一个重要指标。由图 16 可知,贺兰山滚钟口种群与灵武白芨滩种群之间差异不显著($P=0.072>$

0.05),其余各种群之间均存在极显著差异($P=0.006<0.01$)。各种群野生酸枣果实有机酸含量大小为中卫日照山种群>中宁牛首山种群>吴忠红寺堡种群>贺兰山滚钟口种群>灵武白芨滩种

群。野生酸枣种群果实有机酸含量均显著大于栽培枣,野生酸枣有机酸含量最小的是灵武白芨滩种群(2.02%),栽培枣最大的是‘中宁小枣’(0.53%)。

表 3 宁夏不同野生酸枣种群的生理指标变异性分析

Table 3 Variability analysis of physiological index of different wild jujube populations in Ningxia

种群 Population 指标 Index	WZ			HLS			LW			ZN			ZW		
	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
脯氨酸 Proline	13.2142	1.9508	0.1476	11.9206	1.6608	0.1393	17.0947	2.6570	0.1554	14.4643	1.2942	0.0895	8.9430	0.7645	0.0855
丙二醛 Malondialdehyde	11.6371	0.5101	0.0438	12.1111	1.0722	0.0885	8.8033	0.9565	0.1087	11.3900	2.9709	0.2608	5.9916	1.6819	0.2807
叶片可溶性糖 Solublesugar	28.3655	3.2100	0.0863	28.0265	0.0528	0.0019	28.2080	0.0903	0.0032	28.0415	0.1972	0.0070	28.0880	0.5958	0.0212
POD	37.2083	3.1988	0.0860	29.3056	4.0508	0.1382	25.6667	1.5456	0.0602	33.1944	6.9855	0.2104	45.6111	5.3030	0.1163
SOD	17.5504	2.0601	0.1174	21.7931	4.1602	0.1909	33.9547	10.6488	0.3136	13.7066	3.3208	0.2423	22.0214	6.3475	0.2882
CAT	96.6047	28.2644	0.2926	58.6263	21.6416	0.3691	109.797	24.8892	0.2267	83.4205	21.1534	0.2536	119.1870	29.9085	0.2509
平均变异系数 Average coefficient of variation			0.1290			0.1547			0.1425			0.1948			0.1738

表 4 宁夏不同野生酸枣种群的果实品质变异性分析

Table 4 Variability analysis of fruit quality of different wild jujube populations in Ningxia

种群 Population 指标 Index	WZ			HLS			LW			ZN			ZW		
	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均数 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
可溶性糖 Solublesugar	37.6260	0.0732	0.0019	41.4892	0.0445	0.0011	34.0073	0.6230	0.0183	43.2140	1.1186	0.0259	42.1700	0.9860	0.0234
有机酸 Organicacid	3.3891	0.2675	0.0789	2.3774	0.2032	0.0855	2.0212	0.0418	0.0207	5.4337	0.5629	0.1036	6.1640	0.2052	0.0333
维生素 C Vitamin C	4.6210	0.0447	0.0097	4.0249	0.0489	0.0122	2.2459	0.0318	0.0142	3.3819	0.2908	0.0860	3.5762	0.0314	0.0088
平均变异系数 Average coefficient of variation			0.0302			0.0329			0.0177			0.0718			0.0218

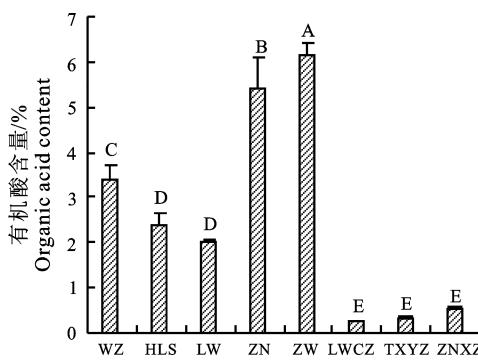


图 16 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的果实有机酸含量对比

Fig. 16 Comparison of organic acid content in fruits of different wild wild jujube populations and cultivated jujube varieties

由图 17 可知,中宁牛首山种群与中卫日照山种群之间果实维生素 C 含量差异不显著($P=0.400>0.05$),其余各种群之间均存在显著性差异($P=0.027<0.05$)。各种群酸枣果实维生素 C 含量大小为吴忠红寺堡种群>贺兰山滚钟口种群>灵武白芨滩种群>中卫日照山种群>中宁牛首山种群。野生酸枣维生素 C 含量均高于栽培

枣,野生酸枣最低的是灵武白芨滩种群(3.38 mg/g),栽培枣最高的‘灵武长枣’(2.87 mg/g)。

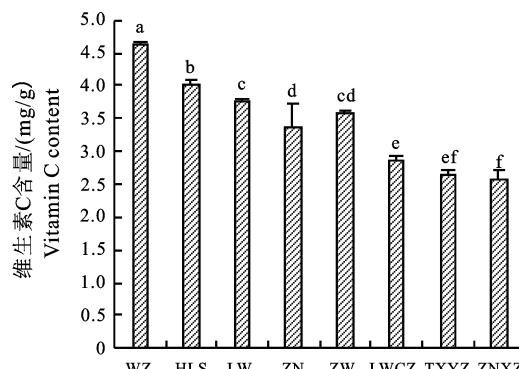


图 17 不同野生酸枣种群及栽培枣品种的果实维生素 C 含量对比

Fig. 17 Comparison of vitamin C content in fruits of different wild jujube populations and cultivated jujube varieties

由表 4 可知,各种群野生酸枣果实可溶性糖含量变异系数较小,为 0.11%~2.59%。变异系数最大的是中宁牛首山种群,最小的是贺兰山滚钟口种群;果实有机酸含量变异系数较小,为

2.07%~10.36%。变异系数最大的是中宁牛首山种群,最小的是灵武白芨滩种群;果实维生素C含量变异系数较小,为0.97%~10.36%。变异系数最大的是中宁牛首山种群,最小的是吴忠红寺堡种群。

野生酸枣果实品质变异性最大的是果实维生素C含量,为9.39%;最小的是果实可溶性糖含量,为2.48%。

2.4 不同野生酸枣种群遗传变异性综合评价分析

综合上述各指标变异性分析得到表5,由表5各个种群平均变异系数可知,遗传变异性大小表现为中宁牛首山种群>中卫日照山种群>贺兰山滚钟口种群>灵武白芨滩种群>吴忠红寺堡种群。变异系数说明各种群长期进化过程中遗传性状的多样性,变异系数越大表明遗传多样性越大。

表5 各种群平均变异系数分析

Table 5 Analysis of average coefficient of variation groups

种群 Population	平均变异系数 Average coefficient of variation	排序 Order
WZ	0.080 6	5
HLS	0.090 2	3
LW	0.083 8	4
ZN	0.103 8	1
ZW	0.092 5	2

表6 各种群欧氏遗传距离分析

Table 6 Euclidean genetic distance analysis of various population

种群 Population	WZ	HLS	LW	ZN	ZW	LWCZ	TXYZ	ZNXZ
WZ	0.000	92.376	46.464	156.254	143.316	144.696	147.603	147.614
HLS		0.000	44.224	118.557	88.466	206.543	204.853	203.914
LW			0.000	88.262	107.405	284.724	286.911	287.055
ZN				0.000	31.286	173.736	175.039	174.698
ZW					0.000	276.092	278.888	279.320
LWCZ						0.000	31.922	23.279
TXYZ							0.000	12.513
ZNXZ								0.000

3 讨论与结论

本试验对宁夏5个种群野生酸枣叶片与果实表型性状、叶片生理指标与果实品质指标进行了变异系数分析,在表型变异分析中变异性最大的是叶片鲜质量,为12.27%;最小的是果实纵径,为1.76%,平均为4.46%。果实品质变异系数分析

不同种群内因光照、温度、水分等非生物环境因子的差异可能对植物相关性状产生较大影响,也可能由于种群之间缺少基因交流,多样性来源绝大部分仅限于种群内因而导致种群之间遗传多样性出现较大差异。

通过计算5个野生酸枣种群与3个栽培枣14个指标的欧氏距离(表6)可知,贺兰山滚钟口种群与灵武白芨滩种群遗传距离最近,为44.224;中宁牛首山种群与中卫日照山种群遗传距离最近,为31.286;与吴忠红寺堡种群距离最近的是灵武白芨滩种群,距离46.464。栽培枣‘灵武长枣’与‘中宁小枣’遗传距离最近,为23.279;‘同心圆枣’与‘中宁小枣’遗传距离最近,为12.513;‘灵武长枣’与‘同心圆枣’遗传距离为31.922。遗传距离越近说明种群之间存在较大的基因交流,越远说明产生基因交流的概率越小。

利用表型性状、生理指标与品质指标,运用SPSS中的平均连接(组间)方法对5个野生种群与3个栽培枣的14个指标进行聚类分析(图18),当遗传距离等于2.5(图中红线)的时候,聚类结果将其分为4类,第Ⅰ类是3个栽培枣;第Ⅱ类是中卫日照山种群与中宁牛首山种群;第Ⅲ类是贺兰山滚钟口种群与灵武白芨滩种群;第Ⅳ类是吴忠红寺堡种群。这与欧氏遗传距离分析结果一致。

中变异性最大的是果实维生素C含量,为9.39%;最小的是果实可溶性糖含量,为2.48%,平均为3.49%。由此看出:果实在长期的进化过程中遗传性状较为稳定,有利于直接选择不同用途的果实利用类型,而叶片性状具有大量的遗传信息和丰富的选择性,这与杨雷等^[6]、周俊义等^[20]及邓荣华等^[21]研究结果基本一致。

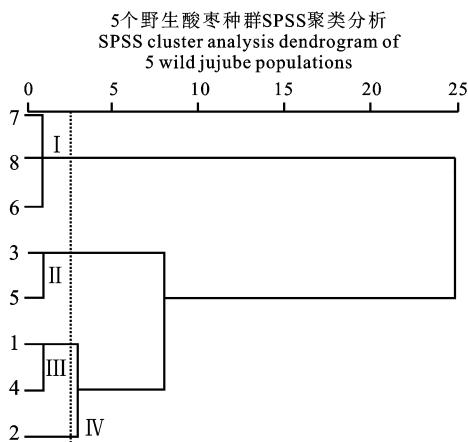


图 18 5个种群所有性状聚类分析
Fig. 18 Dendrogram of 5 populations based on all traits

本试验通过对宁夏境内 5 个野生酸枣种群叶片和果实的表型性状、生理生态适应性进行遗传变异分析, 主要结论如下:

宁夏 5 个野生酸枣种群叶片与果实相关性状存在差异性, 表型性状平均变异性为 4.46%, 果实品质平均变异性为 3.49%, 叶片生理指标平均变异性为 15.89%。

遗传变异性大小为中宁县牛首山种群>中卫市日照山种群>银川市贺兰山滚钟口种群>灵武市白芨滩种群>吴忠市红寺堡种群。

通过计算欧氏遗传距离与 SPSS 中平均连接(组间)法将 5 个野生酸枣种群与 3 个栽培枣品种分为 4 类: 第Ⅰ类是 3 个栽培枣; 第Ⅱ类是中卫市日照山种群与中宁县牛首山种群; 第Ⅲ类是银川市贺兰山滚钟口种群与灵武市白芨滩种群; 第Ⅳ类是吴忠市红寺堡种群。

参考文献 Reference:

- [1] CHUNMEI ZH, HUANG J, YIN X, et al. Genetic diversity and population structure of sour jujube, *Ziziphus acidojujuba* [J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2015, 11(1): 1-12.
- [2] 刘孟军, 王玖瑞, 刘平, 等. 中国枣生产与科研成就及前沿进展 [J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1683-1698.
- [3] LIU M J, WANG J R, LIU P, et al. Chinese jujube production and scientific research achievements and frontier progress [J]. *Acta Horticulture*, 2015, 42(9): 1683-1698.
- [4] SUN X, HUANG J, BAI Y, et al. The jujube genome provides insights into genome evolution and the domestication of sweetness/acidity taste in fruit trees [J]. *PLoS Genetics*, 2016, 12(12): 1006433.
- [5] 北林业科技, 2010(6): 10-13.
- [6] ZHANG J Y, MAO X H, HUANG Y. Comprehensive character evaluation of wild jujube germplasm resources [J]. *Hebei Forestry Science and Technology*, 2010(6): 10-13.
- [7] 杨雷. 酸枣种质资源果实营养成分分析及种质评价 [D]. 河北保定: 河北农业大学, 2004.
- [8] YANG L. Analysis of the nutrient components of wild jujube germplasm resources and evaluation of the germplasm [D]. Baoding Hebei: Hebei Agricultural University, 2004.
- [9] 杨雷, 周俊义, 刘平, 等. 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(1): 34-37.
- [10] YANG L, ZHOU J Y, LIU P, et al. Variation and probability classification of main quantitative characters of wild jujube germplasm resources [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2006(1): 34-37.
- [11] 卿明亮, 匡顺, 张雨佳, 等. 贺兰山不同坡位油松林的土壤呼吸特征 [J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(9): 59-67.
- [12] QING M L, KUANG SH, ZHANG Y J, et al. Characteristics of soil respiration in *Pinus tabulaeformis* forests at different slope positions in Helan mountain [J]. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2019, 39(9): 59-67.
- [13] 王生鑫, 包淑萍, 陈丹, 等. 宁夏红寺堡扬黄灌区农业灌溉用水分析 [J]. 水科学与工程技术, 2013(6): 76-80.
- [14] WANG SH X, BAO SH P, CHEN D, et al. Analysis of agricultural irrigation water in hongsibao Yanghuang irrigation district in Ningxia [J]. *Water Science and Engineering Technology*, 2013(6): 76-80.
- [15] 王燕, 张大治. 宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区半翅目昆虫多样性及区系研究 [J]. 四川动物, 2015, 34(4): 534-540.
- [16] WANG Y, ZHANG D ZH. Study on hemiptera insect diversity and fauna in Baijitan national nature reserve in Lingwu, Ningxia [J]. *Sichuan Zoology*, 2015, 34(4): 534-540.
- [17] 梁晓婕, 王亚军, 李越鲲, 等. 宁夏枸杞果实形态特征与气象因子的相关性 [J]. 北方园艺, 2019(17): 118-125.
- [18] LIANG X J, WANG Y J, LI Y K, et al. The correlation between fruit morphological characteristics and meteorological factors of *Lycium barbarum* in Ningxia [J]. *Northern Horticulture*, 2019(17): 118-125.
- [19] 张明鑫, 谢树春, 李陇堂. 宁夏中卫市沙坡头区近 13 年土地利用空间布局变化及环境健康效应 [J]. 经济地理, 2016, 36(2): 176-181.
- [20] ZHANG M X, XIE SH CH, LI L T. Spatial layout changes of land use and environmental health effects in Shapotou district, Zhongwei city, Ningxia in the past 13 years [J]. *Economic Geography*, 2016, 36(2): 176-181.
- [21] 夏子贤. 植物丙二醛含量测定 [J]. 农家科技, 2011, 21(1): 41-43.
- [22] XIA Z X. Determination of plant malondialdehyde content [J]. *Nongjia Science and Technology*, 2011, 21(1): 41-43.

- [13] 刘雅琳,余金明,刘英.蔬果中超氧化物歧化酶活性测定及保鲜作用探究[J].南方农业,2020,14(12):120-122.
LIU Y L, SHE J M, LIU Y. Determination of superoxide dismutase activity in vegetables and fruits and exploration of their fresh-keeping effect [J]. *Southern Agriculture*, 2020,14(12):120-122.
- [14] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006;51-53.
GAO J F. Experimental Guidance of Plant Physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006;51-53.
- [15] 杨兰芳,庞静,彭小兰,等.紫外分光光度法测定植物过氧化氢酶活性[J].现代农业科技,2009(20):159-165.
YANG L F, PANG J, PENG X L, et al. Determination of plant catalase activity by ultraviolet spectrophotometry[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009 (20): 159-165.
- [16] 王士杰,李晨光,何颖,等.桔梗的组织培养及抗盐碱性研究[J].人参研究,2020,32(4):36-39.
WANG SH J, LI CH G, HE Y, et al. Tissue culture of *Platycodon grandiflorum* and its salt-alkali resistance[J]. *Ginseng Research*, 2020,32(4):36-39.
- [17] 张述伟,宗营杰,方春燕,等.蒽酮比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J].食品研究与开发,2020,41(7):196-200.
ZHANG SH W, ZONG Y J, FANG CH Y, et al. Optimization of the anthrone colorimetric method for rapid determination of soluble sugar content in barley leaves[J]. *Food Research and Development*, 2020,41(7):196-200.
- [18] 梅映学.碱蓬内生菌高Y1-1对镉和/或铝胁迫下水稻幼苗内源激素及有机酸含量的影响[D].沈阳:沈阳师范大学,2017.
MEI Y X. Effects of *Suaeda physalis* endophyte Gao Y1-1 on the endogenous hormones and organic acid content of rice seedlings under cadmium and/or aluminum stress[D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2017.
- [19] 柳青,刘继伟,黄广学,等.钼蓝比色法测定特菜中还原型维C含量的研究[J].农产品加工,2019(4):56-59.
LIU Q, LIU J W, HUANG G X, et al. Molybdenum blue colorimetric method to determine the content of reduced vitamin C in special vegetables[J]. *Agricultural Products Processing*, 2019(4):56-59.
- [20] 周俊义,杨雷,刘平,等.酸枣种质资源果实主要数量性状变异及相关性研究[J].中国农学通报,2005(10):271-272,275.
ZHOU J Y, YANG L, LIU P, et al. Study on variation and correlation of main quantitative characters of wild jujube germplasm resources [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005(10):271-272,275.
- [21] 邓荣华,高瑞如,刘后鑫,等.自然干旱梯度下的酸枣表型变异[J].生态学报,2016,36(10):2954-2961.
DENG R H, GAO R R, LIU H X, et al. Phenotypic variation of wild jujube under natural drought gradient[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016,36(10):2954-2961.

Analysis of Genetic Diversity of Five Wild *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* Populations in Ningxia

WANG Bo, YAN Liangliang and SONG Lihua

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract Taking leaves and fruits of five wild *Ziziphus jujuba* var. *Spinosa* populations in Ningxia as materials, the phenotypic trait, fruit quality, and genetic diversity differences among populations were determined and the genetic diversity of the populations was analyzed. The results showed that the average variability of the populations' phenotypic traits was 4.46%, the average variability of fruit quality was 3.49%, and the average variability of leaf physiological indices was 15.89%, which indicated that the variation of genetic traits in the fruits was small, but the variation of leaf was great. The order of genetic variability among the five wild populations was Zhongning Niushoushan population > Zhongwei Rizhaoshan population > Helanshan Gunzhongkou population > Lingwu Baijitan population > Wuzhong Hongsibu population. From the cluster analysis it indicated that the three cultivated jujuba varieties were class I, Zhongwei Rizhaoshan population and Zhongning Niushoushan populations were class II, Yinchuan Helanshan Gunzhongkou populations and Lingwu Baijitan populations were class III, and the Wuzhong Hongsibao populations were class IV.

Key words Wild *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*; Population; Genetic variability

Received 2020-11-03

Returned 2021-02-18

Foundation item Ningxia Natural Science Foundation(No. 2021AAC03110); Ningxia Key Research and Development Project(No. 2018BFH03015).

First author WANG Bo, male, master student. Research area: fruit cultivation physiology. E-mail: 1175431300@qq.com

Corresponding author SONG Lihua, female, professor, master supervisor. Research area: forest breeding and forest cultivation in physiology. E-mail: slh382@126.com

(责任编辑:郭柏寿 Responsible editor:GUO Baishou)