

86份酸枣种质资源筛选和遗传多样性分析

李世鹏, 陈叶, 郭明欣, 田珊, 刘红霞, 赵旭升* (洛阳师范学院生命科学学院, 河南洛阳 471934)

摘要 [目的]综合酸枣种质资源主要农艺性状评价和遗传多样性分析结果,筛选优良酸枣种质资源。[方法]对86份酸枣种质资源的15个农艺性状进行表型鉴定,并利用9个ISSR标记进行遗传多样性分析。[结果]通过对15个农艺性状综合评价,从86份酸枣种质资源中筛选出5份优良种质资源。9对ISSR引物共扩增出20条多态性条带,多态性信息量(polymorphism information content, PIC)为0.60~0.81,平均值为0.70。在遗传系数0.57的水平上86份酸枣种质资源被分为两大类,其中79份种质资源聚为A类,7份种质资源聚为B类。[结论]该研究为酸枣种质资源分类、鉴定和新品种选育等提供理论依据。

关键词 酸枣;农艺性状;ISSR标记;遗传多样性

中图分类号 S603 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)11-0051-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.11.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Screening and Genetic Diversity Analysis of 86 Sour Jujube Germplasm Resources

LI Shi-peng, CHEN Ye, GUO Ming-xin et al (College of Life Science, Luoyang Normal University, Luoyang, Henan 471934)

Abstract [Objective] The main agronomic traits and genetic diversity analysis results were studied to screen the excellent sour jujube germplasm resources. [Method] 15 agronomic traits of 86 sour jujube germplasm resources were identified, and 9 inter-simple sequence repeat (ISSR) primers were used for genetic diversity analysis. [Result] Through the comprehensive evaluation of 15 agronomic traits, 5 excellent germplasm resources were selected from 86 sour jujube individuals. A total of 20 polymorphic bands were amplified by 9 ISSR primers. The polymorphism information content (PIC) ranged from 0.60 to 0.81 with an average of 0.70. Clustering analysis showed that the 86 sour jujube germplasm resources could be divided into 2 groups at the genetic similarity coefficient of 0.57, 79 sour jujube individuals were grouped into class A and 7 sour jujube individuals were grouped into class B. [Conclusion] This study provides a useful basis for the classification, identification and variety selection of sour jujube germplasm resources.

Key words Sour jujube; Agronomic traits; ISSR; Genetic diversity

酸枣(*Z. acidujuba* C. Y. Cheng et M. J. Liu)为鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Ziziphus* Mill)植物,原产于我国,主要分布于我国北方各省,多生长于丘陵、山区^[1-2]。酸枣是栽培枣的原始野生种,具有耐旱、耐寒、耐碱等特点,是栽培枣最主要的砧木^[3-5]。酸枣仁具有较高的药用价值,味酸、性平,具有补肝宁心、镇静安神、敛汗、生津等功效,是一种药食同源食品^[6]。《神农本草经》中记载酸枣能够治疗“心腹寒热,邪结气聚,四肢酸痛痹痺”,可以起到“安五脏,轻身延年”的作用。现代药理研究表明,酸枣仁含有皂苷、黄酮、生物碱和脂肪酸等多种活性物质^[7-12]。

酸枣类型众多,种植资源丰富。杨雷^[13]对149份酸枣种质资源的生物学性状和营养成分进行了系统分析,从中筛选出10份可用于鲜食、加工用的种质资源。孙亚强等^[14]对60份酸枣资源的7个果实表型性状和13个品质性状进行相关性分析。结果表明,酸枣主要农艺性状遗传变异丰富能够为枣树育种提供优良的亲本材料和嫁接砧木。随着分子生物学技术的发展,人们开始利用分子标记对酸枣的遗传多样性进行研究。张春梅^[15]利用双抑制PCR技术开发了10对酸枣SSR多态性引物,并对43份酸枣材料进行了遗传多样性分析。张鹏飞等^[16]利用7个SSR标记对16份枣品种和17份酸枣材料的遗传多样性进行分析。结果表明,酸枣的遗传多样性高于枣,酸枣与枣之间基因交流比较频繁。

ISSR(inter-simple sequence repeat)简单序列重复技术是一种基于微卫星序列的分子标记,以16~25bp的重复序列作为引物扩增相邻反向重复序列之间的区域^[17]。ISSR具有操作简便、无需预知基因组序列、引物多态性高等特点,是研究遗传多样性、系统发育和进化生物学的一种快速、简单且廉价的方法^[18]。枣基因组包含高密度简单序列重复序列^[19],因此非常适合使用ISSR标记进行遗传多样性分析。笔者对收集的86份酸枣种质资源的单果重、可食率、果实风味等15个主要果实性状进行分析,并利用ISSR标记进行遗传多样性分析,旨在为酸枣种质资源创新、新品种选育和分子标记辅助育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 86份酸枣种质资源收集于新疆、河南、山西等地区,于2016年嫁接到洛阳师范学院枣树种质资源圃。供试材料编号为US01~86。

1.2 试验方法

1.2.1 果实性状调查 2017年9月下旬至10月上旬收集各供试材料脆熟期枣果用于表型性状调查。调查果实性状包括单果重、果实纵径、果实横径、果形指数、单核重、果核纵径、果核横径、果核指数和可食率9个果实品质性状;果肉质地、粗细、风味、汁液和异味5个感官性状。各性状调查标准参照《枣种质资源描述规范和数据标准》^[20]。

1.2.2 DNA提取与检测 2017年5月中旬采集各供试材料的幼嫩叶片1~2g,采用CTAB法^[21]提取基因组总DNA。用NanoDrop2000检测DNA质量,并稀释至50ng/μL。

1.2.3 ISSR引物合成与分析 根据British Columbia大学公

基金项目 河南省自然科学基金项目(162300410198);河南省科技开放合作计划项目(172106000049)。

作者简介 李世鹏(1986—),男,河南开封人,讲师,博士,从事枣树遗传育种研究。*通信作者,教授,硕士,从事林木育种研究。

收稿日期 2018-12-07

布的100条ISSR引物,由华大基因公司合成。PCR反应体系(10 μ L):2.0 μ L基因组DNA,0.4 μ L引物(10 μ mol/L),0.8 μ L dNTP (2.5 mmol/L),1.0 μ L 10 \times Buffer,0.2 μ L *Taq* DNA Polymerase (Solarbio 公司)和5.6 μ L ddH₂O。ISSR扩增在Applied Biosystems公司2720 Thermal Cycler型PCR仪上进行。ISSR扩增程序:94 $^{\circ}$ C预变性3 min,然后94 $^{\circ}$ C变性30 s,50/55 $^{\circ}$ C退火30 s,72 $^{\circ}$ C延伸1.5 min,35个循环,最后72 $^{\circ}$ C延伸10 min。扩增产物用2%琼脂糖凝胶进行电泳分离,在凝胶成像分析仪(BIO-RADGEIDOCXR+)下拍照。

1.3 数据分析 根据ISSR扩增产物在琼脂糖凝胶上的相对位置,对多态性条带进行记录,分别以“1”和“0”表示同一位置条带的有无,建立原始数据,用NTSYS-pc 2.10e软件进行聚类分析^[22]。

ISSR位点的多态性信息量(poly-morphism information content, PIC)按如下计算公式进行计算: $PIC = 1 - \sum P_i^2$,式中, P_i 表示第*i*个等位位点出现的频率^[23]。

2 结果与分析

2.1 酸枣资源果实品质性状分析 对收集的86份酸枣资源的单果重、果实纵径、果实横径、果形指数、单核重、果核纵径、果核横径、果核指数和可食率9个重要果实性状进行分析(图1)。结果表明,单果重变异系数最高,为42.09%,变异范围为0.99~11.37 g;单核重变异系数次之,为27.66%,变异范围为0.19~0.87 g。可食率的变异系数最小,为4.91%,变异范围为69.95%~95.00%。其他果实品质性状的变异系数在10.81%~19.10%(表1)。

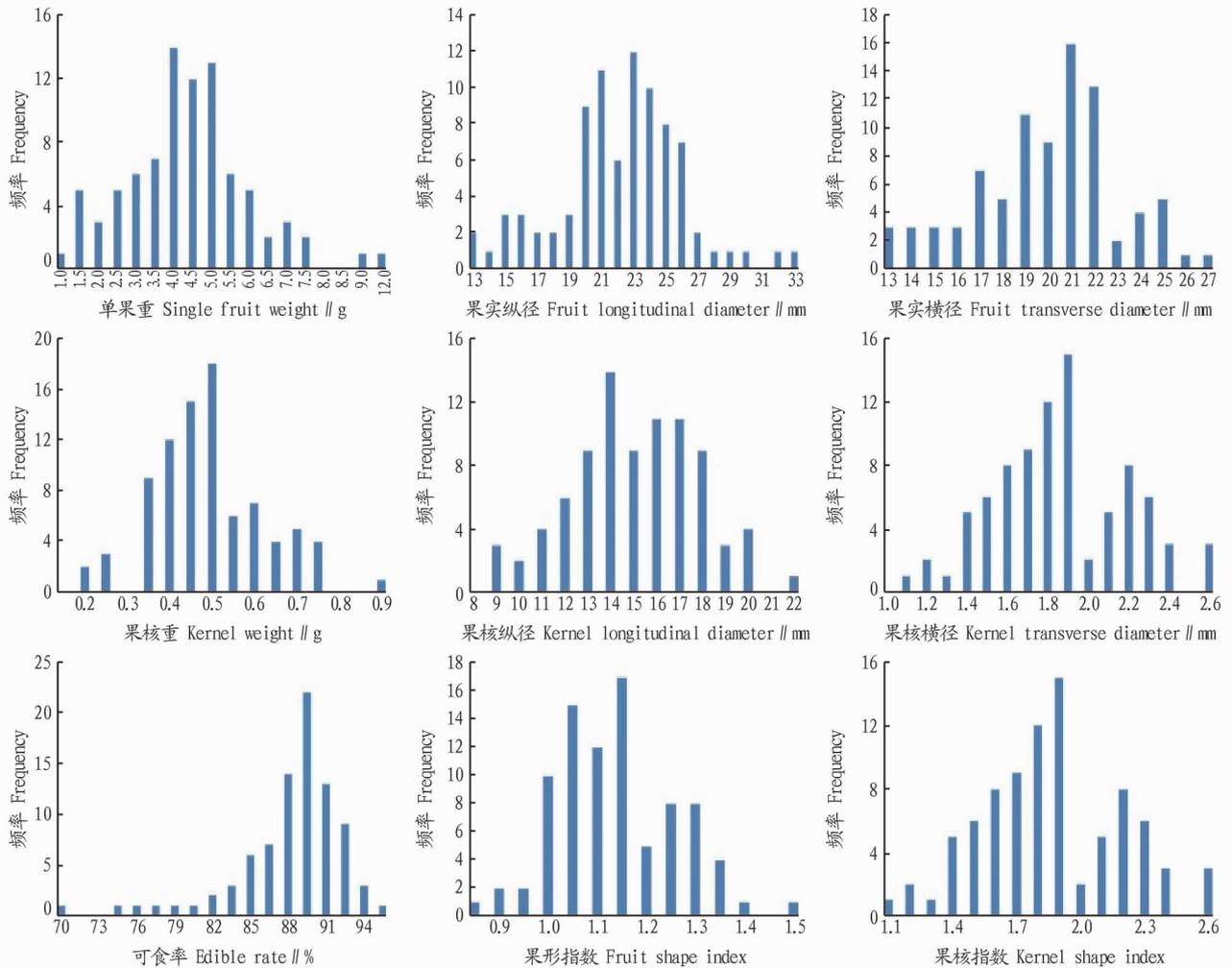


图1 86份酸枣资源单果重、果实纵径、果实横径、果核重、果核纵径、果核横径、可食率、果形指数和果核指数频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of single fruit weight, fruit longitudinal diameter, fruit diameter, kernel weight, kernel longitudinal diameter, kernel transverse diameter, edible rate, fruit shape index and kernel shape index in 86 sour jujube germplasm resources

通过分析果肉质地、粗细、风味、汁液和异味5个感官性状对上述种质资源进行口感综合评价。结果表明,果肉质地以致密为主,其中较致密和致密型所占比例分别为43.0%和24.4%。果肉粗细以中等为主,所占比例为62.8%。果肉汁液以中等或偏少为主,汁液较多的种质仅占3.5%。果实风味以酸、酸甜为主,风味较好的甜酸型占19.8%,未发现甜型

的酸枣材料。少部分酸枣(20.9%)存在苦味或青草味等异味的酸枣材料。

上述结果表明,酸枣种质资源遗传变异丰富,综合上述9个果实品质性状和5个口感性状,从中筛选出5份大果型、可食率高、口感好的优良种质资源(表3)。

表 1 86 份酸枣种质资源果实品质性状分析

Table 1 Analysis of fruit quality traits in 86 sour jujube germplasm resources

| 项目 Item | 单果重 Single fruit weight//g | 果实纵径 Fruit longitudinal diameter mm | 果实横径 Fruit transverse diameter mm | 果形指数 Fruit shape index | 单核重 Kernel weight//g | 果核纵径 Kernel longitudinal diameter//mm | 果核横径 Kernel transverse diameter mm | 果核指数 Kernel shape index | 可食率 Edible rate % |
|------------|----------------------------------|---|---|------------------------------|----------------------------|--|--|----------------------------------|----------------------------|
| 最大值 Max | 11.37 | 32.36 | 26.42 | 1.49 | 0.87 | 21.30 | 11.00 | 2.55 | 95.00 |
| 最小值 Min | 0.99 | 12.50 | 12.01 | 0.82 | 0.19 | 8.28 | 5.84 | 1.07 | 69.95 |
| 极差 Range | 10.38 | 19.86 | 14.41 | 0.67 | 0.68 | 13.02 | 5.16 | 1.48 | 25.05 |
| 平均值 Mean | 4.11 | 21.62 | 19.47 | 1.11 | 0.47 | 14.50 | 8.04 | 1.81 | 87.40 |
| 标准差 SD | 1.73 | 3.88 | 3.12 | 0.12 | 0.13 | 2.77 | 0.91 | 0.33 | 4.30 |
| 变异系数 CV//% | 42.09 | 17.95 | 16.02 | 10.81 | 27.66 | 19.10 | 11.32 | 18.23 | 4.91 |

表 2 86 份酸枣种质资源口感综合评价

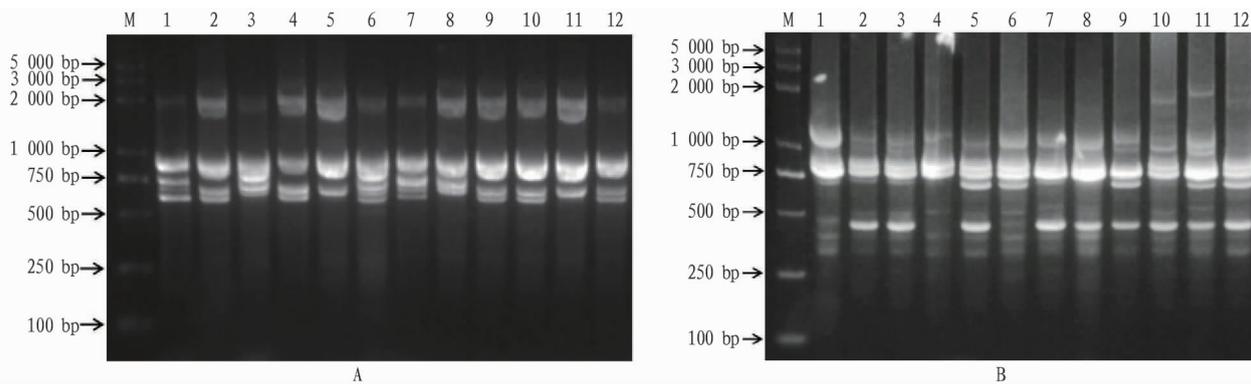
Table 2 Comprehensive analysis of the taste of 86 sour jujube germplasm resources

| 口感性状 Taste character | 性状描述 Description | 数量 Number//份 | 比例 Ratio//% |
|-------------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| 果肉质地 Fruit texture | 疏松 | 16 | 18.6 |
| | 酥脆 | 12 | 14.0 |
| | 较致密 | 37 | 43.0 |
| 果肉粗细 Fruit thickness | 致密 | 21 | 24.4 |
| | 细 | 1 | 1.2 |
| | 中 | 54 | 62.8 |
| 果肉汁液 Fruit juices | 粗 | 31 | 36.0 |
| | 少 | 29 | 33.7 |
| | 中 | 54 | 62.8 |
| 果实风味 Fruit flavour | 多 | 3 | 3.5 |
| | 极酸 | 4 | 4.7 |
| | 酸 | 24 | 28.0 |
| | 酸甜 | 40 | 46.5 |
| 异味 Peculiar smell | 甜酸 | 17 | 19.8 |
| | 甜 | 0 | 0.0 |
| | 无 | 68 | 79.1 |
| | 有 | 18 | 20.9 |

2.2 酸枣种质资源遗传多样性分析 为了进一步研究酸枣种质资源的遗传多样性,利用 ISSR 标记对 86 份酸枣种质资源

源的遗传变异和亲缘关系进行研究。利用 12 份酸枣种质资源对 100 个 ISSR 引物进行扩增,从中筛选出 25 个能扩增出多态性条带的引物(图 2)。根据扩增效果,从中选出 9 个多态性和重复性好的引物用于 86 份酸枣种质资源的分析(表 4)。9 个引物在 86 份种质中共扩增出 29 条带,其中多态性条带为 20 条,占总条带数的 69%。每个引物扩增出的条带数为 2~5 条,平均条带数为 3.2 条。每个引物具有多态性条带 2~3 条,平均多态性条带数为 2.2 条。各引物 PIC 值为 0.60~0.81,平均值为 0.70。

基于 9 对 ISSR 引物的扩增结果,对 86 份酸枣种质资源进行遗传多样性分析。由图 3 可知,86 份种质资源在遗传系数 0.57 的水平上被分为两大类。A 类包括 79 份种质资源, B 类包括剩余的 7 份种质资源。A 类种质资源在遗传系数 0.62 的水平上进一步被分为 4 个亚类:A-1 包括 37 份种质资源,A-2 包括 38 份种质资源,A-3 和 A-4 分别包括 3 份和 1 份种质资源。B 类种质资源在遗传系数 0.59 的水平上被进一步分为 2 个亚类,B-1 和 B-2 分别包括 5 份和 2 份种质资源。5 份优良种质资源中 US60 属于 A-1 亚类,US40、US51 和 US86 属于 A-2 亚类,US73 属于 B-1 亚类,遗传系数在 0.56~0.80。



Note: M. D2000 plus DNA Ladder

图 2 引物 JISSR25 (A) 和 JISSR27 (B) 对 12 份酸枣种质资源的扩增结果

Fig. 2 Amplification products from 12 sour jujube germplasm resources using primer JISSR25 (A) and JISSR27 (B)

3 结论与讨论

酸枣多为灌木或小乔木,抗逆性极强,且酸枣仁具有较高的药用价值^[24]。武媛林^[25]对 62 份酸枣种质资源的果实性状、营养成分及其种仁的生物学性状、药用成分含量等进行了系统分析,将酸枣分为适合于鲜食、药用、鲜食药用兼用

3 种类型。王僧虎等^[26]从邢台山区的野生酸枣资源中选育出一个优良加工制汁、药用酸枣新品种邢州 1 号。邢州 1 号质地致密、较脆、汁液适中、味酸甜,平均单果重 3.0 g,可食率 81.2%。王春桐^[27]从山东济南南部山区野生酸枣资源中筛选出一个极早熟鲜食新品种‘脆酸枣’。该品种肉质致密、

脆、汁液多、酸甜适口,单果重 6.1 g,可食率 87%。张建英等^[28]从野生酸枣中筛选到 2 个优良酸枣鲜食品种:‘蓝猫 1 号’和‘蓝猫 2 号’。2 个品种单果重为 4.86 和 4.78 g,可食率均为 89%。上述研究筛选到的酸枣品种与枣树主要栽培

种相比果实较小、可食率较低^[25-28]。该研究从 86 份酸枣种质资源中筛选出 5 份优良鲜食酸枣种质资源。其中,US86 单果重达 11.17 g,可食率为 95%,这说明酸枣优良品种选育仍有较大的潜力。

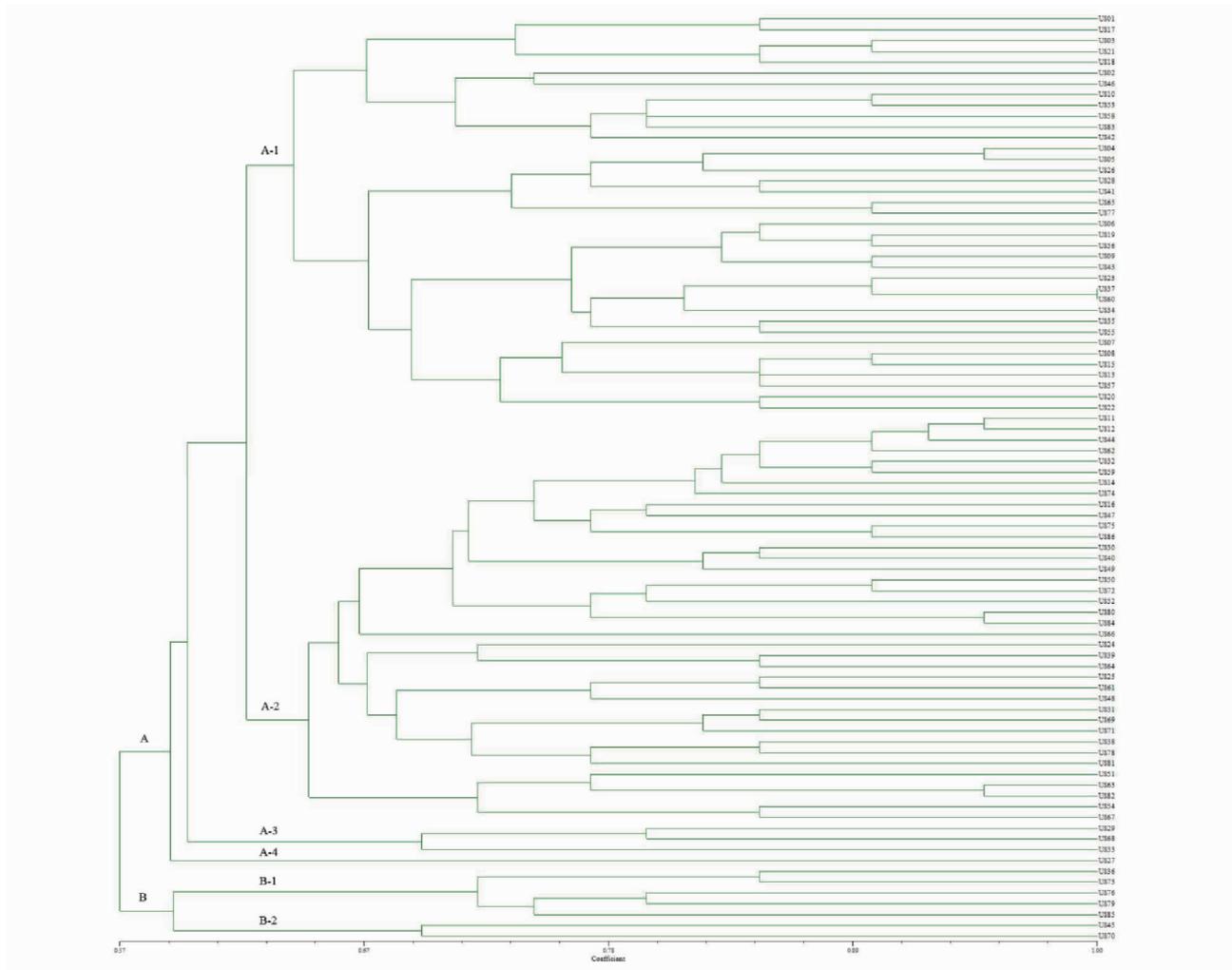


图 3 86 份酸枣种质资源聚类分析

Fig. 3 Dendrogram of 86 sour jujube germplasm resources

表 3 5 份优良酸枣种质资源品质性状

Table 3 Quality traits of five high quality sour jujube germplasm resources

| 样品编号 Code | 单果重 Single fruit weight//g | 果实纵径 Fruit longitudinal diameter//mm | 果实横径 Fruit transverse diameter//mm | 果形指数 Fruit shape index | 果核重 Kernel weight g | 果核纵径 Kernel longitudinal diameter//mm | 果核横径 Kernel transverse diameter//mm |
|--------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|--|--|
| US40 | 4.03±0.25 | 21.66±0.61 | 19.42±0.63 | 1.12 | 0.39±0.04 | 14.40±0.77 | 8.22±0.51 |
| US51 | 4.53±0.56 | 20.76±1.11 | 21.46±0.95 | 0.97 | 0.39±0.05 | 12.13±0.62 | 7.87±0.54 |
| US60 | 3.87±0.71 | 22.79±1.38 | 18.76±1.43 | 1.22 | 0.41±0.08 | 15.96±1.21 | 7.64±0.65 |
| US73 | 5.06±0.63 | 25.35±1.07 | 20.93±1.08 | 1.21 | 0.54±0.10 | 16.07±1.14 | 8.52±0.65 |
| US86 | 11.17±2.77 | 32.36±1.91 | 26.42±1.59 | 1.23 | 0.56±0.05 | 19.92±0.98 | 7.90±0.65 |

| 样品编号 Code | 核形指数 Kernel shape index | 可食率 Edible rate % | 果肉质地 Fruit texture | 果肉粗细 Fruit thickness | 果肉汁液 Fruit juices | 果实风味 Fruit flavour | 异味 Peculiar smell |
|--------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| US40 | 1.75 | 90.33 | 致密 | 中 | 多 | 甜酸 | 无 |
| US51 | 1.54 | 91.35 | 致密 | 中 | 中 | 甜酸 | 无 |
| US60 | 2.09 | 89.34 | 较致密 | 中 | 中 | 甜酸 | 无 |
| US73 | 1.89 | 89.24 | 较致密 | 中 | 中 | 酸甜 | 无 |
| US86 | 2.52 | 95.00 | 致密 | 中 | 多 | 甜酸 | 无 |

表 4 9 个 ISSR 引物扩增结果

Table 4 The result of amplifying by nine ISSR primers

| 引物名称 Primer name | 引物序列 Sequence (5'—3') | 退火温度 Annealing temperature //°C | 片段大小 Allele range bp | 扩增总条带数 Total number of bands | 多态性条带数 Number of polymorphic bands | 多态信息量 PIC |
|---------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| JISSR11 | GAGAGAGAGAGAGAC | 50 | 550~600 | 2 | 2 | 0.73 |
| JISSR24 | CTTCACTTCACTTCA | 50 | 400~750 | 3 | 2 | 0.67 |
| JISSR25 | ACACACACACACACT | 50 | 650~950 | 5 | 3 | 0.78 |
| JISSR27 | ACACACACACACACAG | 50 | 450~950 | 3 | 2 | 0.69 |
| JISSR43 | AGAGAGAGAGAGAGATC | 55 | 350~600 | 5 | 3 | 0.81 |
| JISSR46 | AGAGAGAGAGAGAGATA | 55 | 400~750 | 3 | 2 | 0.66 |
| JISSR47 | AGAGAGAGAGAGAGAGGA | 55 | 550~1 500 | 4 | 2 | 0.73 |
| JISSR55 | GAGAGAGAGAGAGATT | 55 | 200~400 | 2 | 2 | 0.63 |
| JISSR66 | CTCTCTCTCTCTCTAC | 55 | 550~700 | 2 | 2 | 0.60 |
| 合计 Total | | | | 29 | 20 | |
| 平均数 Average | | | | 3.2 | 2.2 | 0.70 |

酸枣分布广泛、表型变异丰富,目前酸枣新品种的选育主要依靠形态学鉴定。利用分子标记构建酸枣种质资源的指纹图谱有助于酸枣种质资源的鉴定。根据 25 个 ISSR 引物的扩增结果,选择 PIC 值最高的 4 个引物 JISSR11、JISSR25、JISSR43 和 JISSR47 可以鉴定出 63 份酸枣种质资源。这些特异性条带可以作为酸枣种质资源鉴定和新品种选育的分子依据。

参考文献

- [1] 曲泽洲,王永惠. 中国果树志:枣卷 [M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [2] 张春梅. 酸枣 SSR 引物开发及遗传多样性研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [3] 刘孟军,汪民. 中国枣种质资源 [M]. 北京:中国林业出版社,2009.
- [4] ISLAM M B, SIMMONS M P. A thorny dilemma: Testing alternative intrageneric classifications within *Ziziphus* (Rhamnaceae) [J]. *Systematic botany*, 2006, 31(4): 826-842.
- [5] ZHANG C M, HUANG J, YIN X, et al. Genetic diversity and population structure of sour jujube, *Ziziphus acidujuba* [J]. *Tree genetics & genomes*, 2015, 11(1): 809.
- [6] 南京中医药大学. 中药大辞典:下册 [S]. 2 版. 上海:上海科学技术出版社,2006:3577-3579.
- [7] 张雪,丁长河,李和平. 酸枣仁的化学成分和药理作用研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2009, 30(3): 348-350.
- [8] 张明春,解军波,李婷,等. 复合酶法提取酸枣仁黄酮研究 [J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 174-177.
- [9] 王卫记,罗建光,孔令义. HPLC-ESI-MSⁿ 分析酸枣仁有效部位的化学成分 [J]. *中国中药杂志*, 2009, 34(21): 2768-2772.
- [10] 赵连红,乔卫,许岚. 酸枣仁中生物碱抗惊厥作用的实验研究 [J]. *天津药学*, 2007, 19(1): 4-5.
- [11] 耿欣,李廷利. 酸枣仁主要化学成分及药理作用研究进展 [J]. *中医学报*, 2016, 44(5): 84-86.
- [12] 闫艳,杜晨晖,李小菊,等. HPLC-DAD-ELSD 法同时测定酸枣仁中斯皮诺素、酸枣仁皂苷 A 和 B 的含量 [J]. *药物分析杂志*, 2011, 31(1):

30-33.

- [13] 杨雷. 酸枣种质资源果实营养成分分析及种质评价 [D]. 保定:河北农业大学,2004.
- [14] 孙亚强,吴翠云,王德,等. 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.
- [15] 张春梅. 酸枣 SSR 引物开发及遗传多样性研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [16] 张鹏飞,尉东峰,刘亚令,等. 枣与酸枣的 SSR 遗传多样性研究 [J]. *华北农学报*, 2015, 30(2): 150-155.
- [17] ZIETKIEWICZ E, RAFALSKI A, LABUDA D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification [J]. *Genomics*, 1994, 20(2): 176-183.
- [18] REDDY M P, SARLA N, SIDDIQI E A. Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding [J]. *Euphytica*, 2002, 128(1): 9-17.
- [19] LIU M J, ZHAO J, CAI Q L, et al. The complex jujube genome provides insights into fruit tree biology [J]. *Nature communications*, 2014, 5: 1-14.
- [20] 李登科. 枣种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [21] LIAN C L, WADUD M A, GENG Q F, et al. An improved technique for isolating codominant compound microsatellite markers [J]. *Journal of plant research*, 2006, 119(4): 415-417.
- [22] ROHLF F J. NTSYS-pc: Numerical taxonomy system. Ver. 2. 1 [M]. New York: Applied Biostatistics Inc., 1998.
- [23] BOTSTEIN D, WHITE R L, SKOLNICK M, et al. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms [J]. *American journal of human genetics*, 1980, 32(3): 314-331.
- [24] 曹景权, 许向一. 野生酸枣的类型与利用 [J]. *河北果树*, 2011(1): 49-50.
- [25] 武媛林. 酸枣种质资源的评价及选优 [D]. 保定:河北农业大学,2008.
- [26] 王僧虎, 石晓云. 酸枣优良新品种邢州 1 号的选育 [J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(20): 4545-4548.
- [27] 王春桐. 酸枣极早熟新品种脆酸枣的选育 [J]. *中国果业信息*, 2008(1): 55.
- [28] 张建英, 毛向红, 张莹莹, 等. 酸枣新品种“蓝猫 1 号”和“蓝猫 2 号”的选育 [J]. *果树学报*, 2017, 34(6): 775-777.

(上接第 50 页)

补充 9 h。由于该试验为单次试验,试验结果有待于在同茬口进行验证。

参考文献

- [1] 杨娜,郭维明,陈发棣,等. 光周期对秋菊品种“神马”花芽分化和开花的影响 [J]. *园艺学报*, 2007, 34(4): 965-972.
- [2] 苏文华,张光飞,李秀华,等. 光强和光质对灯笼花生生长与总黄酮量影响的研究 [J]. *中草药*, 2006, 37(8): 1244-1247.
- [3] 孙洪助,孙文华,刘士辉,等. 不同光质对作物形态建成和生长发育的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(27): 17-20.

- [4] 祁娟霞,韦峰,张亚红,等. 不同补光时间对温室番茄生长发育的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(8): 245-248.
- [5] 张子鹏,温健新,黄爱政,等. LED 灯补光对温室甜椒产量及品质的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(29): 24-25, 29.
- [6] 李海达,吉家曾,郑桂建,等. 不同 LED 补光光源对樱桃番茄产量和品质的影响 [J]. *广东农业科学*, 2014, 41(14): 37-40.
- [7] 丁小涛,姜玉萍,王虹,等. LED 株间补光对番茄生长和果实品质的影响 [J]. *上海农业学报*, 2016, 32(6): 48-51.
- [8] 李进,顾绘,许逢美. 环境因子对甜椒组培生根培养的影响 [J]. *辣椒杂志*, 2004(4): 36-37.
- [9] 刘文科,杨其长,邱志平,等. 不同 LED 光质对生菜生长和营养品质的影响 [J]. *蔬菜*, 2012(11): 63-65.