

利用 ISSR 分子标记研究櫻桃李野生类型的遗传多样性及亲缘关系*

李玲¹, 黄峥¹, 崔大方¹, 王永刚², 许正³, 贺涛¹

(1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642;

2. 新疆农业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830091;

3. 新疆伊犁哈萨克自治州林业科学研究所, 新疆 伊宁 835000)

摘要: 利用 ISSR 分子标记技术对产于中国天山的 40 个櫻桃李 (*Prunus divaricata* Ldb.) 野生类型遗传多样性进行研究。通过遗传多样性研究及 UPGMA 聚类分析显示, 野生櫻桃李种下类群间遗传多样性有差异, 平均多样性指数 (I) 为 0.488, 遗传相似系数 (H_s) 介于 0.504~0.851 之间, 平均为 0.678, 遗传距离 (GD) 的范围在 0.127 0~0.604 2 之间, 等位基因数 (N_a) 和有效等位基因数 (N_e) 分别为 1.908 和 1.571, 而平均 Nei 基因多样性指数为 0.17, 平均 Shannon 信息指数 (I) 为 0.22 则显示其群体遗传多样性较低; 分子标记下的聚类结果, 可将中国天山产的 40 个櫻桃李野生类型归为 4 大类, 结合形态学特征分析, 研究表明中国天山的 40 个野生櫻桃李可划分为 4 个变种, 即矮生櫻桃李 *P. divaricata* var. *humila* (N. R. Cui et L. Wang) D. F. Cui, comb. nov.、黑果櫻桃李 *P. divaricata* var. *nigrooarp* (N. R. Cui et L. Wang) D. F. Cui, comb. nov.、红果櫻桃李 *P. divaricata* var. *phoenicea* (Z. Xu) D. F. Cui, comb. nov. 和黄果櫻桃李 *P. divaricata* var. *luteola* (N. R. Cui) D. F. Cui, comb. nov.。

关键词: 櫻桃李; 分子标记; 遗传多样性; 亲缘关系

中图分类号: Q949.7 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2015) 02-0112-06

Genetic Diversity and the Genetic Relationship Among Wild Types of *Prunus divaricata* By Using ISSR Molecular Markers

LI Ling¹, HUANG Zheng¹, CUI Dafang¹, WANG Yonggang², XU Zheng³, HE Tao¹

(1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Ulumuqi 830091, China;

3. Academy of Forestry, Yili Kazak Autonomous Prefecture of Xinjiang, Yining 835000, China)

Abstract: This paper used ISSR Molecular Markers to study the genetic diversity and the genetic relationship among 40 types of *Prunus divaricata* which originated in Tianshan Mountain of China. The study of genetic diversity and the analysis of UPGMA cluster showed that the 40 types of *P. divaricate* have genetic diversity, the average diversity index (I) was 0.488, the genetic similarity coefficient (H_s) ranged from 0.504 to 0.851 with an average of 0.678, the genetic distance (GD) varied between 0.127 0 and 0.604 2, the number of alleles (N_a) and effective alleles (N_e) was 1.908 and 1.571 respectively, and the population has a low genetic diversity because of the average Nei's gene diversity index and the average Shannon's information index (I) was 0.17 and 0.22; The 40 types of *P. divaricate* can be classified into 4 groups from the clustering results of molecular markers, combined with morphological analysis. The results showed that the 40 types of *P. divaricate* can be divided into four varieties, which were included

* 收稿日期: 2014-03-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31370246)

作者简介: 李玲 (1984 年生), 女; 研究方向: 系统与进化植物学; 通讯作者: 崔大方; E-mail: cuidf@scau.edu.cn

P. divaricata var. *humila* (N. R. Cui et L. Wang) D. F. Cui, comb. nov., *P. divaricata* var. *nigrocarpa* (N. R. Cui et L. Wang) D. F. Cui, comb. nov., *P. divaricata* var. *phoenicea* (Z. Xu) D. F. Cui, comb. nov. and *P. divaricata* var. *luteola* (N. R. Cui) D. F. Cui, comb. nov..

Key words: *Prunus divaricata*; microsatellite markers; genetic diversity; genetic relationships

櫻桃李 (*Prunus divaricata* Ldb.) 是一种珍贵的果树资源, 其园艺品种在欧美广泛栽培。野生櫻桃李分布于中亚天山、高加索、土库曼、帕米尔、伊朗、小亚细亚等山区, 新疆伊犁天山是野生櫻桃李分布区的最东端^[1-2]。在我国, 仅分布于新疆伊犁谷地以北博罗霍洛山南麓的霍城县大西沟和小西沟的 10 多条支沟中^[2-3]。在《中国珍稀濒危保护植物名录》中, 它被列为国家 II 级重点保护物种, 是具有生物多样性国际意义的优先保护物种^[2,4]。由于长期以种子繁殖以及复杂多变的地形气候, 野生櫻桃李在长期的演化过程中形成了丰富多变的类型。1984-1990 年, 崔乃然、王磊等^[5-6]对新疆伊犁地区野果林中的野生果树进行调查, 将新疆野生櫻桃李划分为 21 个类型; 2006 年, 王磊等^[7]分析了新疆櫻桃李植物群落的组成结构和物种多样性特征, 并把样方群落分别归属于 4 种群落亚群系; 2007 年, 王磊等^[8]又增加了 19 个新的野生櫻桃李种下类型, 种下类型增加为 40 个, 同时对其形态学特征做了详细记载。近年来许多学者对新疆野生櫻桃李的生态学、表型性状与优良品系的形态特征, 及遗传多样性进行了分析^[9-11]。然而, 用分子标记技术对櫻桃李野生类型的遗传多样

性研究尚未见报道。

ISSR (inter-simple sequence repeat) 是一种近年来应用较为广泛的遗传标记技术, 它来源于植物基因组中丰富的简单序列重复 (simple sequence repeat, SSR), 由 2~4 个随机的核苷酸锚定在微卫星序列的 3' 或 5' 端, 由此组成的单引物进行重复序列间 DNA 的 PCR 扩增^[12]。ISSR 免去了测序和引物设计, 具有普遍适用性, 多态性高, 稳定性和可重复性强, 因此非常适合于种间和种下关系的分析, 被广泛应用于物种亲缘关系和遗传多样性研究^[13-14]。本研究利用 ISSR 分子标记技术对中国天山櫻桃李野生类型的遗传多样性进行研究, 旨在为野生櫻桃李种质资源的合理利用和櫻桃李育种改良的早期选择提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

本研究中的 40 个櫻桃李野生类型材料采自于新疆新源县天山野果林资源圃, 取新鲜叶片, 放入硅胶袋中干燥保存, 用于分析櫻桃李野生类型的遗传多样性 (表 1)。

表 1 櫻桃李野生类型材料信息

Table 1 Information about the types of *Prunus divaricata*

编号	名称	拉丁名	果色	编号	名称	拉丁名	果色
1	红圆果櫻桃李	form. <i>erythrobriculata</i> Z. Xu et L. Wan	枣红色	21	桔黄肉櫻桃李	form. <i>auraria</i> Z. Xu et L. Wang	紫黑色
2	美丽櫻桃李	form. <i>calorcarpa</i> N. R. Cui et L. Wang	鲜红色	22	黄绿肉櫻桃李	form. <i>glaba</i> Xu et L. Wang	紫黑色
3	晚花櫻桃李	form. <i>opsefloreana</i> Z. Xu et L. Wang	紫红色	23	垂枝櫻桃李	form. <i>pendula</i> Bailey	紫黑色
4	大卵圆櫻桃李	form. <i>macroovoida</i> Z. Xu et L. Wang	黑红色	24	矮生櫻桃李	form. <i>humila</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
5	枣红櫻桃李	form. <i>ziziphicolora</i> Z. Xu et L. Wang	枣红色	25	丰产大果櫻桃李	form. <i>morecarpa</i> Z. Xu et L. Wang	黑红色
6	卵形櫻桃李	form. <i>ovata</i> N. R. Cui et L. Wang	深红色	26	高柱头櫻桃李	form. <i>longistigna</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
7	玫瑰红櫻桃李	form. <i>rosea</i> Z. Xu et L. Wang	玫瑰红色	27	小卵形櫻桃李	form. <i>microcarpa</i> Z. Xu et L. Wang	紫黑色
8	红果櫻桃李	form. <i>phoenicea</i> Z. Xu	深红色	28	大叶櫻桃李	form. <i>macrophylla</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
9	红果大花櫻桃李	form. <i>erythrocarpa</i> Z. Xu et L. Wang	枣红色	29	早花櫻桃李	form. <i>praecoeflora</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
10	红果圆锥櫻桃李	form. <i>punicocarpa</i> N. R. Cui et Wang	大红色	30	小花櫻桃李	form. <i>micrantha</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
11	红近圆櫻桃李	form. <i>huochengensis</i> Z. Xu et L. Wang	玫瑰红色	31	圆锥型櫻桃李	form. <i>paniculata</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
12	红椭圆櫻桃李	form. <i>elliptica</i> Z. Xu et L. Wang	玫瑰红色	32	圆果櫻桃李	form. <i>orbiculata</i> N. R. Cui et L. Wang	大红色
13	扁圆凸顶櫻桃李	form. <i>rubra</i> Z. Xu et L. Wang	玫瑰红色	33	黑卵圆櫻桃李	form. <i>nigroovata</i> Z. Xu et L. Wang	紫黑色
14	红心櫻桃李	form. <i>erythrocardata</i> N. R. Cui et L. Wang	深红色	34	大花櫻桃李	form. <i>grandiflora</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色
15	桃红櫻桃李	form. <i>purunicolora</i> Z. Xu et L. Wang	桃红色	35	双花櫻桃李	form. <i>biflora</i> Z. Xu et L. Wang	紫黑色
16	多花櫻桃李	form. <i>multiflora</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色	36	大黑扁圆櫻桃李	form. <i>macronigraocarpa</i> Z. Xu et L. Wang	紫黑色
17	大果櫻桃李	form. <i>macrocarpa</i> Z. Xu et L. Wang	紫红色	37	黄果櫻桃李	form. <i>luteola</i> N. R. Cui	黄色
18	心形櫻桃李	form. <i>cardata</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色	38	红霞櫻桃李	form. <i>armeniaca</i> N. R. Cui et L. Wang	淡黄色
19	突尖櫻桃李	form. <i>mucronata</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色	39	玉黄果櫻桃李	form. <i>suconea</i> Z. Xu	黄色
20	黑果櫻桃李	form. <i>nigrocarpa</i> N. R. Cui et L. Wang	紫黑色	40	淡黄櫻桃李	form. <i>diluteocitrea</i> Z. Xu et L. Wang	淡黄色

1.2 方法

采用改良的 CTAB 法提取植物基因组 DNA^[15-16]。用 $w = 1\%$ 的琼脂糖凝胶电泳和紫外分光光度计检测其质量及浓度, 放至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存。

ISSR 引物序列来源于加拿大哥伦比亚大学, 引物由上海生工合成。实验从 100 条引物中筛选出 12 对扩增带型清晰, 重复性好的引物序列用于 ISSR-PCR 反应。

实验采用的 20 μL ISSR-PCR 扩增反应体系为: 模板 DNA (30 $\text{ng}/\mu\text{L}$) 2 μL ; 10 \times buffer (含 Mg^{2+}) 2 μL ; Taq 聚合酶 (5 U) 0.2 μL ; dNTP (0.2 μM) 0.6 μL ; 引物 (10 $\mu\text{mol}/\text{L}$) 0.6 μL , 去离子水 14.6 μL 。

扩增程序为: 94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min, 1 个循环, 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s; 特定温度下退火 30 s (不同引物退火温度略有不同); 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 90 s; 40 个循环; 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 7 min; 终止反应, 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

ISSR-PCR 产物在 $w = 2\%$ 琼脂糖凝胶上电泳 1 h, 电压设定为 100 V。用凝胶成像系统观察并成像分析。

1.3 数据统计

对每个样品的扩增条带按有或无记录, 存在扩增条带赋值 1, 否则赋值 0, 构成“0, 1”原始数据矩阵, 输入 Ntsys-pc 2.10e 软件和 PopGene32 进行分析^[17-18]。

利用 PopGene32 软件计算的遗传多样性参数包括: 平均有效等位基因数 (N_e)、Nei 基因多样性指数 (H_e)、多态位点百分率 $P(\%)$ 、Shannon 信息指数 (I)、遗传相似系数 (H_s) 和遗传距离 (GD)。采用 Ntsys-pc 2.10e 软件通过类平均聚类法 (UPGMA) 进行聚类分析^[19], 构建聚类图。

2 实验结果

2.1 ISSR 扩增结果

利用红果櫻桃李、黄果櫻桃李和紫果櫻桃李 3 份材料从 100 个 ISSR 引物进行了筛选, 淘汰扩增效果差、带型不易辨认的引物; 最终确定 12 个能扩增出清晰条带且重复性高的引物用于研究 40 份材料的遗传多样性。引物 853 产生的 40 个 ISSR 櫻桃李野生类型扩增带纹 (图 1)。

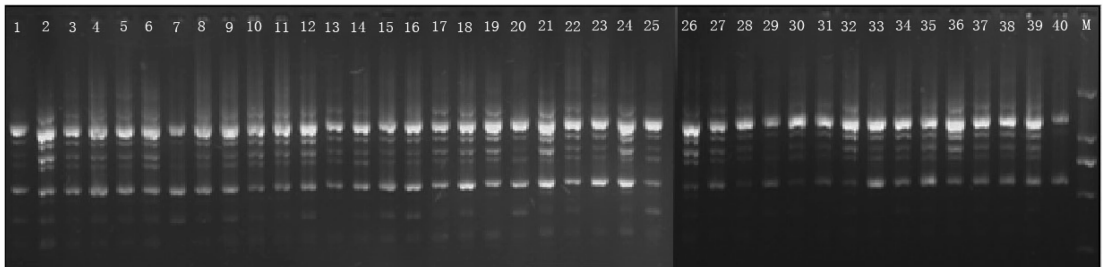


图 1 引物 853 对 40 份野櫻桃李类型总 DNA 的 ISSR 扩增结果

Fig. 1 Primer 853 ISSR amplification results to the total DNA of the 40 types of *Prunus divaricata*

M: Gene Ruler TM200bp DNA Ladder Plus; 1-40: 分别为 1-40 号样本总 DNA 的 ISSR 扩增结果

使用该 12 条引物进行 PCR 扩增, 结果如下: ISSR 扩增全部櫻桃李野生类型材料中产生不同相对分子质量的扩增带 6~27 条不等, 平均每条引物可扩增 11.8 条, 扩增产物大小介于 500~2 000 bp 之间; 12 个引物共扩增出 141 条带, 其中多态性最为丰富的引物为 821, 扩增出了多达 27 条的多态性条带, 引物 861 仅扩增出 6 条带; 部分引物在所有供试材料样本中获得了共同条带, 引物 861 和 853 的多态性最低, 分别为 33.33% 和 57.14%; 其中有 5 个引物条带的多态性达到 100%。在所有 141 条多态性条带中, 只有 13 条是共有的, 多态性程度达 90.78%。12 个引物序列及扩增产物多态

性水平情况见表 2。

2.2 櫻桃李野生类型间遗传多样性水平分析

用 POPGEN32 软件进行櫻桃李野生类型间多样性分析, 结果显示: 40 个櫻桃李野生类型间的遗传多样性有所差异, 平均多样性指数 (I) 为 0.488, 平均 Nei 基因多样性指数为 0.17, 平均 Shannon 信息指数 (I) 为 0.22, 等位基因数 (N_a) 和有效等位基因数 (N_e) 分别为 1.908 和 1.571, 遗传距离 (GD) 的范围在 0.1270~0.604 2 之间, 各类型间的遗传相似系数 (H_s) 介于 0.504~0.851, 平均为 0.678。其中, 扁圆凸顶櫻桃李和红心櫻桃李 2 个类型之间的遗传相似系数

表 2 引物序列及扩增条带数

Table 2 The primers sequences and amplification bands

引物编号	引物序列(5'-3')	总条带	多态性条带	多态性条带比率/%
816	CAC ACA CAC ACA CAC AT	13	13	100.00
821	GTG TGT GTG TGT GTG TT	27	27	100.00
822	TCT CTC TCT CTC TCT CA	12	11	91.67
827	ACA CAC ACA CAC ACA CG	10	10	100.00
849	GTG TGT GTG TGT GTG TYA	12	11	91.67
851	GTG TGT GTG TGT GTG TYG	10	10	100.00
852	TCT CTC TCT CTC TCT CRA	11	11	100.00
853	TCT CTC TCT CTC TCT CRT	7	4	57.14
855	ACA CAC ACA CAC ACA CYT	8	7	87.50
857	ACA CAC ACA CAC ACA CYG	13	11	84.62
861	ACC ACC ACC ACC ACC ACC	6	2	33.33
891	HVH TGT GTG TGT GTG TG	12	11	91.67
合计	-	141	128	-
平均	-	11.75	10.67	90.78

最大(0.851 1)且遗传距离最小(0.128 3),显示它们具有较小的遗传差异。枣红櫻桃李和黑果櫻桃李,淡黄櫻桃李和大果櫻桃李这两对之间的遗传相似系数均为最小(0.504),它们彼此存在较大的遗传差异。

2.3 櫻桃李野生类型间聚类分析结果

按 UPGMA 聚类法进行类型间遗传距离矩阵分析,形成 40 个供试櫻桃李野生类型的亲缘关系聚类图(图 2)。

从图 2 可以看出:40 个类型可划分为 4 大集群。黑果櫻桃李和圆锥型櫻桃李两个类型聚成类群 I,矮生櫻桃李单独为类群 II,淡黄櫻桃李等 19 个类型聚成类群 III,其余的类型聚成类群 IV。在第 III 大集群下又分为 2 个亚类群(用 i、ii 表示)。其中亚类群 i 包括 4 个类型,淡黄櫻桃李和红霞櫻桃李聚为一支,玉黄果櫻桃李和黑卵圆櫻桃李聚为一支;

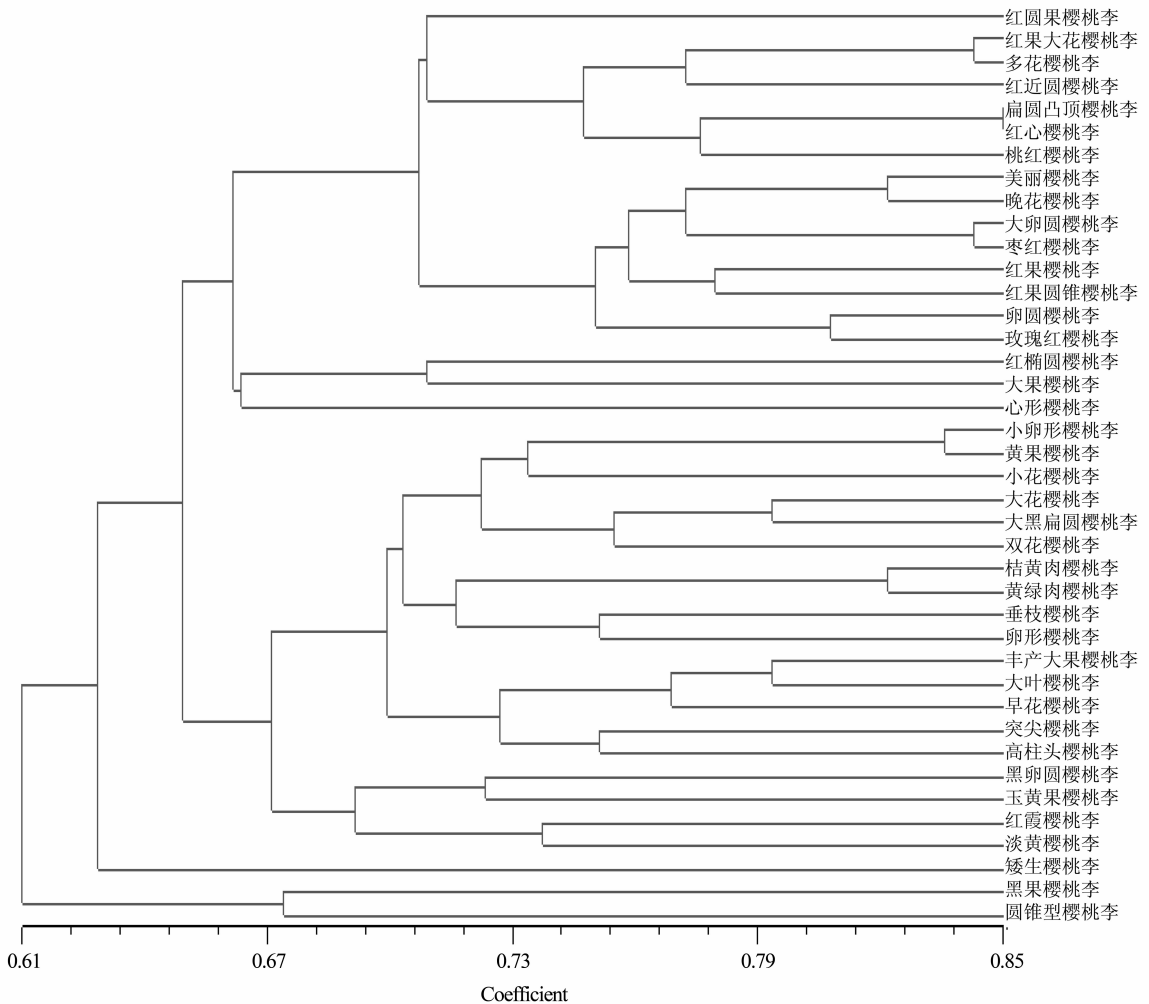


图 2 基于 ISSR 标记的 40 个櫻桃李野生类型亲缘关系聚类图

Fig. 2 40 Types of *Prunus divaricata* related clustering figure based on ISSR markers

亚类群 ii 包括 15 个类型,其中高柱头樱桃李等 5 个类型聚为一支,卵形樱桃李等 10 个类型聚为一支。大类群 IV 下共有 18 个类型,可分成两为亚类群,其中亚类群 i 包括心形樱桃李、大果樱桃李和红椭圆樱桃李 3 个类型(大果樱桃李和红椭圆樱桃李关系较近,与心形樱桃李关系较远);亚类群 ii 包括两个小支,一支包括红圆果樱桃李等 7 个类型,另一支包括美丽樱桃李等 8 个类型。

3 讨论

3.1 樱桃李野生类型的遗传多样性分析

ISSR 分析结果对各野生类型有较好的区分,说明 ISSR 技术对物种下类型的区分鉴定及亲缘关系研究有较好的应用前景。遗传参数中的平均 Nei 基因多样性指数以及平均 Shannon 指数均可反应群体的遗传多样性高低,指数越大,遗传多样性越高。野生樱桃李的平均 Nei 基因多样性指数仅为 0.17,平均 Shannon 信息指数(I)为 0.22,它们远低于天山野果林同生境中野苹果的 0.543 8 和 1.019 1^[20]、野杏的 0.287 和 0.458^[21]以及野核桃的 0.490 1 和 0.683 2^[22],但却又高于同生境中野生欧洲李的 0.060 9 和 0.092 1^[23]。由此可得,物种的地理分布范围往往是决定植物物种遗传多样性的主要因素之一,自然分布范围广的物种通常趋向于具有更高的遗传多样性^[24-26],反之则具有相对较低的遗传多样性。因此,分布范围极狭小的野生樱桃李遗传多样性指数低便不难理解。再进一步与李属的梅和杏等相比较,其中沈玉英^[27]运用 REMAP 分子标记对 84 个梅品种进行的遗传多样性分析得出其基因多样性指数为 0.437 3,平均 Shannon 信息指数(I)为 0.628 3,而何天明^[28]在对中国普通杏进行的 SSR 遗传多样性分析中也得出了基因多样性指数为 0.264,平均 Shannon 信息指数(I)是 0.417,这两组数据同样明显高于野生樱桃李的 0.17 和 0.22,由此可见樱桃李野生类型遗传多样性丰富度较低,遗传基础较为单一,今后樱桃李的产业发展要更加注重野生种质资源收集、保存,防止遗传多样性和优良种质基因的进一步丢失。

另外,王磊等^[7]将中国天山野果林樱桃李类群归为樱桃李群系(*P. divaricata* Form.),并将其分为了 4 个亚群系,通过物种多样性指数计算显示出整个野樱桃李群系处于比较简单的群落结构中,易受外界干扰,与天山野果林同生境中的新疆野苹果、野杏、野山楂群落均处于群落的顶级阶段。此结论与本文中 ISSR 分析所得出的上述遗传多样性结论基

本一致。

3.2 樱桃李野生类型的亲缘关系与分类

自然分布区的环境条件多样性以及长期的自然选择,使得野生樱桃李产生出了极其丰富的变异^[5,8]。果色的众多类型即可反映出这一点。在樱桃李的 40 个野生类型中,紫黑色果实类型占 45%,且果色较为单一,渐变类型少,而黄色和红色类型数量颜色多样,果色有渐变的趋势。

通过分析聚类图可发现,18 个红色类型中有 16 个聚在第 IV 类群,另 2 个分布在第 III 类群;4 个黄色类型都分布在第 III 类群,其中 3 个类型聚在同一支上,另 1 个类型分布在较远的分支;18 个紫黑色类型分布较散,除第 IV 类群有 2 个类型分布外,主要分布于第 I、II、III 类群分布,且各类群之间亲缘关系较远。

红色类型大多聚类在一大分支上,说明红色类型间亲缘关系较近而容易聚类,并逐渐演变成黑色系的一大类变型;而黄色类型则存在于黑色类型的分支中,推测黄色系为黑色系的一小类变型。在黑色系分化出红黄两色系后,种群内部的基因交流导致部分红色系和黄色系均有少数类型间杂于紫黑色类型中。黑色系多为稳定的紫黑色,果色较为少变。而红色类型中多变的果色可能是环境因素和遗传因素的综合结果。

按 UPGMA 聚类法进行类型间遗传距离矩阵分析,结合形态学特征分析,樱桃李 40 个野生类型的亲缘关系树状图聚类结果表明,植株高矮和果实颜色是樱桃李种下分类的重要性状。本研究结果将樱桃李 40 个野生类型归为 4 个变种,即矮生樱桃李 *P. divaricata* var. *humila* (N. R. Cui et L. Wang) D. F. Cui, comb. nov.、黑果樱桃李 *P. divaricata* var. *nigrooarp* (N. R. Cui et L. Wang) D. F. Cui, comb. nov.、红果樱桃李 *P. divaricata* var. *phoenicea* (Z. Xu) D. F. Cui, comb. nov. 和黄果樱桃李 *P. divaricata* var. *luteola* (N. R. Cui) D. F. Cui, comb. nov.

参考文献:

- [1] 俞德浚. 中国果树分类学[M]. 北京:中国农业出版社,1979:58-60.
- [2] 林培钧,崔乃然. 天山野果林资源-伊犁野果林综合研究[M]. 北京:中国林业出版社,2000:163-177.
- [3] 张新时. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题[J]. 植物学报,1973,(2):240-253.
- [4] 国家环保总局,中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录(第一册)[M]. 北京:科学出版社,

- 1987.
- [5] 崔乃然,王磊,林培钧,等. 新疆野生櫻桃李的新类型[J]. 八一农学院学报,1990,13(3):78-88.
- [6] 林培钧,林德佩,王磊,等. 新疆果树的野生近缘种[J]. 八一农学院学报,1984,7(4):25-32.
- [7] 王磊,陈考科,崔大方,等. 新疆西天山野櫻桃李植物群落类型(群系)及物种多样性分析[J]. 干旱区地理,2006,29(6):850-855.
- [8] 王磊,许正,廖康,等. 新疆野生櫻桃李的生态——生物学研究 II [J]. 新疆农业科学,2007,44(1):6-17.
- [9] 张士康,肖正春,张卫明,等. 我国野生櫻桃李的生态学研究[J]. 中国野生植物资源,2004,23(2):1-3.
- [10] 丛桂芝,何琼,车风斌,等. 新疆伊犁野生櫻桃李表型多样的聚类分析及优良品系的形态特征[J]. 东北林业大学学报,2007,35(12):13-15.
- [11] 刘崇琪,陈学森,王金政,等. 新疆野生櫻桃李果实部分表型性状的遗传多样性分析[J]. 园艺学报,2008,35(9):1261-1268.
- [12] ZIETKIEWICZ E, RAFALSKI A, LABUDA D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase Chain reaction amplification [J]. Genomics, 1999, 20: 176-183.
- [13] 田胜尼,王峥峰,高三红,等. 用 ISSR 分子标记检测不同尾矿废弃地白茅居群的遗传多样性[J]. 中山大学学报:自然科学版,2006,45(4):87-92.
- [14] 李飞飞,羊海军,崔大方. 利用 SSR 及 ISSR 分子标记研究苜蓿属及其近缘植物的亲缘关系[J]. 中山大学学报:自然科学版,2014,53(1):113-120.
- [15] DOYLE J J, DAVIS J I, SORENG R J, et al. Chloroplast DNA inversions and the origin of the grass family (Poaceae)[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences USA,1992,89:7722-7726.
- [16] ROHLF F J. NTSYS P C: Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version (1.08) [M]. NY, USA:Exeter-Software Setauket, 1993.
- [17] YEH F C, YANG R C, BOYLE T. POPGENE version 1o31, Microsoft windows-based freeware for population genetic analysis[M]. Edmonton: University of Alberta, Canada,1999.
- [18] 朱根发,李冬梅,郭振飞. 中国墨兰品种遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 中山大学学报:自然科学版,2009,48(3):69-73.
- [19] NEI M, LIW H. Mathematical model for studying genetic variation interms of restriction endonucleases [J]. Proc Nell Acad Sci,1979,76:5269-5273.
- [20] 李飞飞,崔大方,廖文波,等. 中国新疆野苹果 (*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.) 种群地理分布格局及其遗传关系研究[J]. 干旱区地理,2011,34(6):926-931.
- [21] 何天明,陈学森,许正,等. 利用 SSR 标记对伊犁河谷野杏种群遗传结构的分析[C]//中国园艺学会第十届会员代表大会暨学术讨论会论文集,2005:121-131.
- [22] 王肇延. 新疆野核桃资源及遗传多样性的分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学林学与园艺学院,2011.
- [23] 耿文娟. 野生欧洲李种质资源特性及亲缘关系研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学林学与园艺学院,2011.
- [24] KARRON J D. A compareison of levels of genetic polymorphism and self-compatibility in geographically restricted and widespred plant[J]. Evolutionary Ecology, 1987,1: 47-58.
- [25] HAMRICK J L, GODT M J W. Effect of life history traits on genetic diversity in plant species[J]. Biological Sciences,1996,351:1291-1298.
- [26] WANG Yiling, ZHAO Guifang. Population structure of *Clintonia udensis* (Liliaceae) in China[J]. Acta Botanica Yunnanica,2007,29(3):293-299.
- [27] 沈玉英. 基于 REMAP 和 IRAP 分子标记的梅 (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) 遗传多样性分析[D]. 南京:南京农业大学,2010.
- [28] 何天明. 中国普通杏 (*Prunus armeniaca*) 种质资源遗传多样性及紫杏 (*P. dasycarpa*) 起源研究[D]. 济南:山东农业大学园艺科学与工程学院,2006.