

野生牡丹种质资源现状及保护建议

王顺利, 卢睿雯, 任秀霞, 薛璟祺, 王芳, 张秀新*

中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 国家花卉改良中心, 中国农业科学院牡丹研究中心, 农业农村部花卉生物学与种质创制重点实验室(北方), 北京 100081

摘要 野生牡丹为中国特有植物, 是培育优异牡丹品种的重要资源。针对野生牡丹资源破坏严重, 多数野生种处于濒危状态的现状, 基于文献调研、原生境实地考察、电话咨询及团队对野生牡丹长期繁育的研究, 总结了野生牡丹分类、目前分布区域和存在数量及其在育种中的应用。同时, 综述了野生牡丹起源进化和油用与食用价值开发等方面研究进展, 结合野生牡丹收集保存的现状和本团队野生牡丹研究进展, 提出了具体保护策略。

关键词 芍药属; 牡丹; 野生牡丹; 资源现状

牡丹作为中国的传统名花, 因其花大色艳、雍容华贵, 素有“国色天香”“花中之王”的美誉, 不仅深受中国人民的喜爱, 而且在国际市场上也备受青睐^[1]。牡丹(*Paeonia suffruticosa*)属于芍药科(Paeoniaceae)芍药属(*Paeonia*)牡丹组(*Paeonia* section *Moutan* DC.)的多年生木本植物, 组内包括9个野生种和1个包含千余个品种的栽培种^[2]。目前, 在世界很多国家都有保存或种植。芍药属在全世界范围内包括34个种和26个亚种, 除牡丹组外, 还包括芍药组(*Paeonia* sect. *Paeonia* DC., 多年生草本, 从西班牙和非洲西北部向东, 到中国和日本都有分布, 包括22个种和13个亚种)和北美芍药组(*Paeonia* sect. *Oneapia* Lindley)(多年生草本, 主要分布

在美洲和墨西哥, 包括2个种)^[2-4]。

中国牡丹观赏和栽培始于隋代, 兴盛于唐代, 据《洛阳牡丹记》《天彭牡丹谱》和《亳州牡丹史》等古籍记载, 中国古代牡丹品种超过260个^[5]。自唐代以来, 观赏牡丹在历史上相继形成西安、洛阳、彭城、亳州、菏泽等5个著名的栽培中心。经过上千年的发展, 目前中国牡丹在不同地域形成了中原牡丹品种群、西北牡丹品种群、江南牡丹品种群和西南牡丹品种群等四大品种群, 约1400个品种^[6]。日本是最早引进中国牡丹的国家, 育种家经过系统选育, 培育出了日本牡丹品种群, 其突出特点是花色鲜艳、重瓣性不高、花瓣质地厚、花朵直上。研究发现, 中国栽培牡丹的传统品种是由中原牡丹、紫斑

收稿日期: 2022-08-18; 修回日期: 2022-10-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1200205); 国家中药材产业技术体系项目(CARS-21)

作者简介: 王顺利, 副研究员, 研究方向为牡丹种质资源收集与遗传育种, 电子信箱: wangshunli@caas.cn; 卢睿雯(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为牡丹食品研发, 电子信箱: luruiwen00june@163.com; 张秀新(通信作者), 研究员, 研究方向为牡丹种质资源收集与遗传育种, 电子信箱: zhangxiuxin@caas.cn

引用格式: 王顺利, 卢睿雯, 任秀霞, 等. 野生牡丹种质资源现状及保护建议[J]. 科技导报, 2023, 41(4): 23-30; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.04.003

牡丹、卵叶牡丹、凤丹和矮牡丹等5个野生种经自然杂交后选育而来^[7]。

除了观赏价值,牡丹最早是作为药用植物记载于公元2世纪东汉时期的医药著作《神农本草经》,具有凉血祛瘀的功效。据《中华人民共和国药典(2020年版)》记载,含有牡丹皮的制剂有84种,牡丹皮是中国常用大宗中药材^[8]。牡丹籽富含大量的不饱和脂肪酸,特别是 α -亚麻酸^[9]。2011年,原国家卫生部批准牡丹籽油可以作为新资源食品。2014年,国家食品药品监督管理总局发布了《关于发布已使用化妆品原料名称目录的通告》,将牡丹籽油、牡丹花、牡丹根等列为可用化妆品目录。自此,牡丹产业得到了快速发展。近年来,全面牡丹最高种植面积达到了300万亩(1亩=667 m²)以上。人们对野生牡丹的重视程度也逐渐加强,野生牡丹采集和研究力度逐步加大。野生牡丹籽粒脂肪酸含量变化、野生牡丹种子和花瓣酚酸类物质含量与抗氧化性活性、滇牡丹和大花黄牡丹遗传多样性、牡丹组植物系统进化、滇牡丹和紫斑牡丹花色遗传变异等问题逐步得到揭示^[8-15]。但是由于人类对野生牡丹植株、根皮和种子的大量采挖,野生牡丹原生境的破坏和牡丹自身种子休眠等原因,造成了88.9%的野生牡丹濒危。针对野生牡丹生存现状,中国科学院院士洪德元等^[2]2017年曾发表野生牡丹的生存状况和保护的论文,呼吁有关部门高度重视野生牡丹濒危的问题,尽快制定野生牡丹切实可行的保护策略。因此,加强野生牡丹资源保护和繁育,对于保护国家牡丹种业芯片和提高野生牡丹利用效率等意义重大。

1 野生牡丹种质资源分类系统与分布和保存现状

1.1 野生牡丹分类系统与系统进化

野生牡丹是牡丹遗传资源的宝库,其分类一直是研究热点。根据野生牡丹花盘质地和形状的不同将野生牡丹组分为革质花盘亚组和肉质花盘亚组,前者主要分布于陕甘黄土高原、秦巴山地、川西北高原,后者主要分布于青藏高原东部、云贵高原

地区^[6]。目前学界普遍认可的李嘉珏和洪德元分类方案均承认牡丹组含9个野生种及1个栽培种(图1),但二者在具体种类的划分上有所区别(表1^[2,6])。洪德元分类系统中肉质花盘亚组仅包括滇牡丹(*P. delavayi*)和大花黄牡丹(*P. ludlowii*),而李嘉珏分类系统中包括紫牡丹(*P. delavayi*)、黄牡丹(*P. lutea*)、狭叶牡丹(*P. potavinii*)和大花黄牡丹^[2,6]。叶绿体DNA分子标记和核微卫星(nuclear microsatellite, nSSR)等技术尚不能区分滇牡丹和大花黄牡丹的遗传界限^[10]。因此,肉质花盘亚组中的牡丹分类还需要基因组学等技术进一步研究,最终揭示野生牡丹各成员的地位。



图1 部分野生牡丹

野生牡丹遗传多样性及系统演化研究对芍药属植物的起源演化探索、资源收集与保护、品种选育与产业开发至关重要。目前,利用乙醇脱氢酶基因(alcohol dehydrogenase genes)、甘油-3-磷酸乙酰转移酶基因(glycerol-3-phosphate acyltransferase)等基因构建系统进化树,叶绿体和细胞核DNA序列分析,序列相关扩增多态性,简单序列多态性(simple sequence repeat, SSR),表达序列标签-简单序列多态性(expressed sequence tag-simple sequence repeat, EST-SSR)等分子标记技术,细胞学标记,生化标记等方法基本明晰了芍药属不同种之间的亲缘关系^[16-24],也为上述野生牡丹分类提供了理论支撑。

表1 李嘉珏和洪德元的牡丹组分类方案^[2,6]

分类方案	李嘉珏	洪德元
	牡丹 <i>Paeonia suffruticosa</i> Andrews(栽培种)	牡丹 <i>Paeonia suffruticosa</i> Andrews(栽培种)
	—	中原牡丹 <i>P. cathayana</i>
	矮牡丹 <i>P. jishanensis</i>	矮牡丹 <i>P. jishanensis</i>
	卵叶牡丹 <i>P. qiui</i>	卵叶牡丹 <i>P. qiui</i>
	杨山牡丹 <i>P. ostii</i>	凤丹 <i>P. ostii</i>
革质花盘亚组	紫斑牡丹 <i>P. rockii</i>	紫斑牡丹 <i>P. rockii</i>
	紫斑牡丹模式亚种 <i>P. rockii</i> subsp. <i>rockii</i>	紫斑牡丹模式亚种 <i>P. rockii</i> subsp. <i>rockii</i>
	太白山紫斑牡丹 <i>P. rockii</i> subsp. <i>atava</i>	太白山紫斑牡丹 <i>P. rockii</i> subsp. <i>atava</i>
	四川牡丹 <i>P. decomposita</i>	四川牡丹 <i>P. decomposita</i>
	四川牡丹模式亚种 <i>P. decomposita</i> subsp. <i>decomposita</i>	—
	四川牡丹圆裂亚种 <i>P. decomposita</i> subsp. <i>rotundiloba</i>	圆裂牡丹 <i>P. rotundiloba</i>
肉质花盘亚组	紫牡丹 <i>P. delavayi</i>	滇牡丹 <i>P. delavayi</i>
	黄牡丹 <i>P. lutea</i>	—
	狭叶牡丹 <i>P. potaninii</i>	—
	大花黄牡丹 <i>P. ludlowii</i>	大花黄牡丹 <i>P. ludlowii</i>

1.2 野生牡丹种质资源分布现状

为了提高野生牡丹资源保护力度,《国家重点保护野生植物(新版)》已将四川牡丹(*P. decomposita*)、滇牡丹、矮牡丹(*P. jishanensis*)、大花黄牡丹、卵叶牡丹(*P. qiui*)、紫斑牡丹(*P. rockii*)和牡丹(*P. suffruticosa*)等7个野生种列为国家Ⅱ级保护植物。厘清野生牡丹资源分布现状,对于资源科学保护具有十分重要的意义。

基于文献调研、实地考察和电话咨询等,本研究详细整理了野生牡丹的分布区域和存在数量。参与传统牡丹品种形成的中原牡丹可能分布在河南嵩县,目前已经没有野生植株存在。野生凤丹(*P. ostii*)仅有安徽巢湖银屏山悬崖上的1株。卵叶牡丹分布在湖北保康后坪镇、陕西旬阳白柳镇、湖北神农架山屯岩、河南西峡县等,仅存5个居群,个体数量不超过600株。四川牡丹主要分布在四川大渡河流域的马尔康、金川、丹巴和康定,何兴金等对四川牡丹8个居群调查发现,其原生境的个体数量已不足500株。野生紫斑牡丹主要分布在湖北西部、河南西部、陕西秦岭,北至志丹、甘肃东南部、四川北部,分布点30个以上,但个体数量不足1000株。圆裂牡丹主要分布在四川岷江流域的黑水、松潘、茂县、汶川、理县等,共10个居群,总数约190

株。大花黄牡丹主要分布在西藏米林、隆子等,尚存6个居群。矮牡丹主要分布在山西稷山和永济、河南济源、陕西华阴和铜川等地。虽然矮牡丹居群很少,但是居群内的个体还较多,且具有无性繁殖能力。

滇牡丹分布范围较大,包括云南的中部和西北部、四川西部及西藏东南部,如澄江梁王山、大力海东乡、丽江玉龙雪山、丽江干海子、香格里拉县、德钦县、四川木里、四川雅江和四川盐源等。同时,滇牡丹可在多种生境中出现,特别是在灌丛和疏林中常见,但在相当茂密的云南松等林中及云杉原始森林中也能见到,尚不属于濒危物种。滇牡丹生态幅相当宽,可能由于其纺锤状加粗的根既能储水又能储存营养而致。

综上,由于野生牡丹生长周期长、居群数目较小且遗传多样性水平低和种子结实率低、种子休眠等自身因素,以及人为大面积破坏自然植被、滥采乱挖野生牡丹资源等外界因素,导致野生牡丹植物数量的急剧减少。洪德元等^[2]认为中原牡丹已经灭绝,野生凤丹处在极危等级,紫斑牡丹、卵叶牡丹、四川牡丹和圆裂牡丹处于濒危状态;大花黄牡丹和矮牡丹应属于易危等级。因此,加强野生牡丹保护与繁育对于保护牡丹种业“芯片”刻不容缓。

1.3 野生牡丹种质资源保护现状

常用的资源保存一般包括原生境保护(可建立自然保护区)和迁地保护等2种方式,迁地保护可采用建立牡丹基因库、专类园、种质资源圃等方式,主要依靠政府部门、企业、高校和研究单位等参与。目前,对滇牡丹、大花黄牡丹等野生牡丹的保护基本已经建立了自然保护区和迁地保护。

中国洛阳国家牡丹基因库是国内收集牡丹种类较全的国家级的牡丹基因库,占地面积1200亩,库内保存了部分野生牡丹种质资源及1350个国内外牡丹品种。牡丹专类园也是保存牡丹资源的重要方式,从大西北的乌鲁木齐到东北的黑龙江都建有牡丹专类园。国家植物园较好地保存了大多数野生牡丹资源和国内外牡丹核心品种。

科研单位建立牡丹种质资源圃也是保存野生牡丹种质资源的重要手段之一。中国农业科学院蔬菜花卉研究所牡丹课题组通过对野生牡丹繁育技术研究,建成了世界野生牡丹数量最多、观赏和专用性品种资源最丰富的基因库,涵盖全部野生种、80%的中国栽培品种和60%的国际栽培品种,活体植株10万株,有效解决了野生牡丹濒危的难题(图2)。甘肃省林业科技推广站总工程师何丽霞带领团队依托兰州地理优势,建立兰州市紫斑牡丹国家林木种质资源库。资源圃共收集中原、西北、江南、西南及国外牡丹种群的主要品种105个,野



图2 中国农业科学院蔬菜花卉研究所种质资源圃保存的野生牡丹

生牡丹原种9个,共计29个居群,及团队培育的纯黄色、橙色等牡丹新品种150多个。北京林业大学成仿云率领团队在北京延庆大榆树镇阜高营村建设了占地500亩的国色牡丹园,拥有200多个紫斑牡丹品种、紫斑牡丹和野生牡丹等野生种及引进澳大利亚高代杂种等。另外,西北地区张延龙团队和中原地区候小改团队也分别建立牡丹种质资源圃,有效保存了大部分牡丹品种和野生种。后续,可将牡丹种质资源圃的产学研三者融合,提升资源圃的社会、经济和生态效益。

2 野生牡丹种质资源的创新利用

野生牡丹资源在牡丹花色育种上发挥了重要作用,最早由欧美人利用。1897年法国育种专家Henry利用黄牡丹与革质花盘亚组的普通牡丹(*P. 'Villede Saint-Denis'*)杂交成功,育成黄色系牡丹‘金阁’;Lemoine利用类似杂交,育成了‘金晃’‘金阳’和‘金帝’等黄色系品种,形成了欧洲牡丹种群,约有牡丹品种110个左右。20世纪三四十年代,美国Saunders等育种家在吸收中国、日本和欧洲牡丹品种优点基础上,利用黄牡丹、紫牡丹与日本牡丹品种杂交,培育出了‘金色年华’(Age of Gold)‘正午’(High Noon)‘黑海盜’(Black Priate)和‘中国龙’(Chinese Dragon)等品种,形成了美国牡丹种群,这些品种仍然是当今的流行品种。

国内牡丹育种也从20世纪末开始,利用滇牡丹开展了相关育种工作,先后育成了一批黄色、橙色和复色系牡丹新品种(图3),实现橙色、黄色、复色牡丹育种的新突破。后续,野生牡丹仍然是新优牡丹花色、株型和抗性育种的重要材料。株型育种上,可利用野生矮牡丹、卵叶牡丹植株较矮小,培育矮小的盆栽牡丹;利用紫斑牡丹植株高大、花枝长、抗性强等特性,培育抗性强的切花牡丹和树牡丹。目前,利用紫斑牡丹特点,优质紫斑牡丹切花品种‘京玉红’‘粉面桃腮’‘京粉岚’及‘京冠辉红’等已成功育成。



图3 国内育种专家利用滇牡丹培育出的优异牡丹品种

近年来,野生牡丹籽粒脂肪酸组分和质量分数、酚类化合物组成和含量等都被详细研究。研究发现,野生牡丹中存在14种脂肪酸(表2^[9]),革质花盘亚组的矮牡丹、凤丹、紫斑牡丹栽培种(cultivated *P. rockii* ssp. *rockii*)、紫斑牡丹模式亚种(*P.*

rockii ssp. *rockii*)、太白山紫斑牡丹(*P. rockii* ssp. *atava*)、四川牡丹和圆裂牡丹(*P. rotundiloba*)中的 α -亚麻酸是籽油中的主要成分,其中四川牡丹和紫斑牡丹 α -亚麻酸含量最高,肉质花盘亚组中滇牡丹和大花黄牡丹的油酸含量较高^[9]。

通过比较8种野生牡丹和“凤丹”牡丹中的脂肪酸和酚酸等物质的含量发现,矮牡丹 α -亚麻酸含量最高,可达51.96%,卵叶牡丹白藜芦醇含量最高,达到2.12 mg/g,滇牡丹中酚酸类物质含量最高的是 β -gentiobiosylpaeoniflorin,达到26.23 mg/g,而“凤丹”中的中芍药苷含量最高,为23.66 mg/g^[25]。此外,“凤丹”牡丹籽粒中还含有丰富的儿茶素、没食子酸等酚酸类物质;花瓣中含有丰富的黄酮苷等物质,可以用于天然抗氧化剂相关产品的研发^[12-13]。相关研究为野生牡丹在油用牡丹育种和相关产品研发等提供了良好的理论基础。未来,野生牡丹作为木本油料作物对保障国家食用油安全也十分重要。

表2 不同野生牡丹籽粒中脂肪酸组分分析

脂肪酸组成	革质花盘亚组				
	矮牡丹	凤丹	紫斑牡丹栽培种	紫斑牡丹模式亚种	太白山紫斑牡丹
棕榈酸(C16:0)	10.92 ± 0.43	14.55 ± 0.88	13.30 ± 1.1	13.86 ± 0.38	14.88 ± 1.18
硬脂酸(C18:0)	3.53 ± 0.07	4.67 ± 0.39	4.65 ± 0.36	4.54 ± 0.28	9.56 ± 1.51
油酸(C18:1 Δ 9)	39.01 ± 3.22	41.59 ± 2.49	48.35 ± 4.45	55.70 ± 2.87	45.23 ± 2.88
亚油酸(C18:2 Δ 9,12)	40.30 ± 1.26	59.41 ± 1.51	35.61 ± 1.35	39.42 ± 2.29	34.01 ± 1.76
α -亚麻酸(C18:3 Δ 9,12,15)	85.51 ± 1.53	83.43 ± 2.27	90.57 ± 2.47	94.47 ± 4.76	87.80 ± 2.04
十四碳酸(C14:0)	0.23 ± 0.04	0.27 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.14 ± 0.007	0.29 ± 0.04
十五烷酸(C15:0)	0.13 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.01
棕榈酸(C16:1 Δ 7)	0.16 ± 0.03	0.16 ± 0.01	0.12 ± 0.03	0.09 ± 0.004	0.13 ± 0.02
棕榈油酸(C16:1 Δ 9)	0.29 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.37 ± 0.003	0.28 ± 0.01
十七碳酸(C17:0)	0.30 ± 0.02	0.22 ± 0.00	0.28 ± 0.01	0.49 ± 0.02	0.27 ± 0.01
十七碳烯酸(C17:1 Δ 10)	0.23 ± 0.01	0.14 ± 0.003	0.19 ± 0.006	0.49 ± 0.01	0.16 ± 0.01
十八碳烯酸(C18:1 Δ 11)	1.10 ± 0.20	0.99 ± 0.01	0.73 ± 0.01	1.16 ± 0.02	0.39 ± 0.01
花生酸(C20:0)	0.79 ± 0.01	0.82 ± 0.003	0.73 ± 0.01	0.79 ± 0.02	0.54 ± 0.01
二十碳烯酸(C20:1 Δ 11)	0.47 ± 0.004	0.48 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.30 ± 0.004	0.31 ± 0.006
总脂肪酸质量分数/(mg·g ⁻¹)	183.0	207.1	195.3	212.0	194.0
总脂肪酸百分含量/%	18.3	20.7	19.5	21.2	19.4
饱和脂肪酸质量分数/(mg·g ⁻¹)	15.9	20.5	19.1	20.0	25.7
饱和脂肪酸/总脂肪酸	8.7	10.0	9.8	9.4	13.2
不饱和脂肪酸质量分数/(mg·g ⁻¹)	167.1	186.6	176.2	192.0	168.3
不饱和脂肪酸/总脂肪酸	91.3	90.0	90.2	90.6	86.8
ω 6/ ω 3	0.5	0.7	0.4	0.4	0.4

表2 不同野生牡丹籽粒中脂肪酸组分分析(种子干重/(mg·g⁻¹))⁹⁾(续)

脂肪酸组成	革质花盘亚组		肉质花盘亚组	
	四川牡丹	圆裂牡丹	滇牡丹	大花黄牡丹
棕榈酸(C16:0)	14.24 ± 1.35	11.23 ± 0.71	8.53 ± 0.92	16.15 ± 1.79
硬脂酸(C18:0)	4.40 ± 0.48	4.55 ± 0.23	1.96 ± 0.10	3.47 ± 0.52
油酸(C18:1Δ9)	59.34 ± 1.87	46.90 ± 4.32	50.91 ± 1.26	62.58 ± 1.94
亚油酸(C18:2Δ9,12)	34.49 ± 1.39	36.81 ± 1.57	11.03 ± 1.54	26.93 ± 2.84
α-亚麻酸(C18:3Δ9,12,15)	114.70 ± 1.18	97.54 ± 3.81	34.71 ± 4.45	40.71 ± 4.14
十四碳酸(C14:0)	0.10 ± 0.005	0.14 ± 0.01	0.09 ± 0.004	1.00 ± 0.007
十五烷酸(C15:0)	0.11 ± 0.01	0.06 ± 0.006	0.05 ± 0.004	0.05 ± 0.008
棕榈酸(C16:1Δ7)	0.16 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.10 ± 0.009	0.07 ± 0.01
棕榈油酸(C16:1Δ9)	0.28 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.20 ± 0.02
十七碳酸(C17:0)	0.33 ± 0.009	0.39 ± 0.01	0.21 ± 0.002	0.64 ± 0.01
十七碳烯酸(C17:1Δ10)	0.29 ± 0.005	0.26 ± 0.01	0.23 ± 0.008	0.43 ± 0.01
十八碳烯酸(C18:1Δ11)	1.08 ± 0.03	0.79 ± 0.02	0.71 ± 0.004	0.42 ± 0.01
花生酸(C20:0)	0.85 ± 0.01	0.34 ± 0.006	0.44 ± 0.002	0.37 ± 0.006
二十碳烯酸(C20:1Δ11)	0.46 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.34 ± 0.002	0.28 ± 0.006
总脂肪酸质量分数/(mg·g ⁻¹)	230.8	200.2	109.5	152.6
总脂肪酸百分含量/%	23.1	20.0	11.0	15.3
饱和脂肪酸质量分数/(mg·g ⁻¹)	20.0	16.7	10.9	20.8
饱和脂肪酸/总脂肪酸	8.7	8.4	10.3	13.6
不饱和脂肪酸质量分数/(mg·g ⁻¹)	210.8	183.5	98.6	131.8
不饱和脂肪酸/总脂肪酸	91.3	91.6	89.7	86.4
ω6/ω3	0.3	0.4	0.3	0.7

3 牡丹种质资源保护建议

牡丹为木本植物,现有资源保存以露地保存为主,涉及土地、劳力和管理成本,其保存成本较高、难度大。牡丹种植还存在连作障碍问题,一旦有植株死亡,无法及时补种。如果利用换土补栽,则大大增加养护成本,且补种种苗的成活率也不高。此外,不同野生牡丹对环境的要求存在差异,无法实现一个地点保存所有野生种,这进一步增加了保护成本和难度。同时,牡丹组织培养技术尚未完全攻克,无法实现濒危野生牡丹的快速扩繁。另外,有部分野生牡丹已经灭绝,如何利用先进技术手段,监测现存牡丹野生种也极为重要。针对上述难题,提出以下4点保护建议。

3.1 加强野生牡丹保护力度,提高保护意识

人为因素导致的生境破坏与私自采挖是野生牡丹面临濒危的一大原因,政府和科研机构应加强宣传、示范,严禁私自采挖野生牡丹,加强野生牡丹

保护力度。野生牡丹可采用就地保护、迁地保护、封育保护、设立自然保护区、先繁育后开发等方式。对于从事科学研究的研究人员和相关单位也应遵守相关规定,不应因实验需要破坏或采挖野生牡丹,但可在不影响植株生长的情况下,通过采集成熟种子和叶片等器官来繁育野生牡丹,利用繁育的野生牡丹开展研究,鼓励繁育的野生牡丹返回原地驯化。因此,野生牡丹保护应采用保护加繁育两种手段。未来,野生牡丹组织培养快繁和种子种苗繁育是加速野生牡丹繁育的主要手段。

对于现存野生牡丹的生长情况,可借助无人机遥感检测等先进的仪器和设备对野生牡丹的居群、分布、资源数量进行系统调查分析和持续监测,查明野生牡丹现状,研究其最适环境、居群动态、遗传多样性、繁殖生物学特征,制定精准保护方案,做到科学保护。

3.2 加强濒危机制研究,高效繁育野生牡丹

利用表型组、转录组、蛋白质组等多组学手段,

深入研究野生牡丹繁殖生物学特征,解析野生牡丹濒危原因与机制,恢复其合适的生境。加强种子休眠与萌发的分子机制研究,提高种子萌发率,通过种子种苗繁育,解决物种濒危问题。对于兼性营养繁殖的矮牡丹和滇牡丹,应研究其传粉机制和营养繁殖机制,快速扩繁分布狭窄且结实率低的野生牡丹。通过高效繁育野生牡丹,解决其濒危的难题。

3.3 加强种质多元化保存技术研究,高效保护

野生牡丹

参照作物和蔬菜等资源保存手段,加强野生牡丹组织培养快繁技术、种子、种苗及特异器官的超低温保存技术,建立从露地整株保存、迁地保护到超低温保存、试管苗离体保存等多元化保存技术,降低保存成本。特别需要说明的是,尽管迁地保护是野生牡丹保存的重要手段,但应通过离体快繁或种子扩繁等手段繁育野生牡丹,代替传统采挖建立异地保存。建立各类资源DNA指纹图谱,完成资源精准鉴定。通过保存DNA、RNA和花粉等,来保存野生牡丹基因资源。同时,还可考虑通过资源交换等多种方式将流失至国外的野生牡丹资源引回国内,丰富野生牡丹的生物多样性和基因资源。

3.4 加快构建种质资源共享服务平台,提升野生牡丹基础研究

积极搭建种质资源共享服务平台。集中各单位优势力量和地理位置繁育不同的野生牡丹,利用繁育的野生牡丹,通过资源共享服务,共同开展野生牡丹繁育、育种等方面的攻关,解析野生牡丹重要生物学问题,提高资源利用效率,并完成对原生地的野生牡丹资源的保护,进一步提升野生牡丹基础研究。

参考文献(References)

- [1] Wang S L, Beruto M, Xue J Q, et al. Molecular cloning and potential function prediction of homologous *SOC1* genes in tree peony[J]. *Plant Cell Reports*, 2015, 34(8): 1459-1471.
- [2] 洪德元,周世良,何兴金,等.野生牡丹的生存状况和保护[J].*生物多样性*, 2017, 25(7): 781-793.
- [3] Hong D Y. *Peonies of the world: Taxonomy and phyto-ography*[M]. Richmond: Kew, 2010.
- [4] Hong D Y. *Peonies of the world: Polymorphism and diversity*. [M]. Richmond: Kew, 2012.
- [5] 陈平平.我国宋代牡丹品种和数目的再研究[J].*自然科学史研究*, 1999, 18(4): 326-336.
- [6] 李嘉珏.中国牡丹与芍药[M].北京:中国林业出版社, 1999.
- [7] Zhou S L, Zou X H, Zhou Z Q, et al. Multiple species of wild tree peonies gave rise to the 'king of flowers', *Paeonia suffruticosa* Andrews[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014, 281(1797): 20141687.
- [8] 国家药典委员会.中华人民共和国药典-三部2020年版[M].北京:中国医药科技出版社, 2020.
- [9] Yu S Y, Du S B, Yuan J H, et al. Fatty acid profile in the seeds and seed tissues of *Paeonia* L. species as new oil plant resources[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 26944.
- [10] Zhang J M, López-Pujol J, Gong X, et al. Population genetic dynamics of Himalayan-Hengduan tree peonies, *Paeonia* subsect. *Delavayanae*[J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2018, 125: 62-77.
- [11] Shi Q Q, Zhou L, Wang Y, et al. Transcriptomic analysis of *Paeonia delavayi* wild population flowers to identify differentially expressed genes involved in purple-red and yellow petal pigmentatio[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0135038.
- [12] Zhang X X, Zhang G, Jin M, et al. Variation in phenolic content, profile, and antioxidant activity of seeds among different *Paeonia ostii* cultivated populations in China [J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2018, 15(5): e1800093.
- [13] Zhang X X, Shi Q Q, Ji D, et al. Determination of the phenolic content, profile, and antioxidant activity of seeds from nine tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) species native to China[J]. *Food Research International*, 2017, 97: 141-148.
- [14] Xiang J, Yang C, Beta T, et al. Phenolic profile and antioxidant activity of the edible tree peony flower and underlying mechanisms of preventive effect on H₂O₂-induced oxidative damage in caco-2 cells[J]. *Foods*, 2019, 8(10): E471.
- [15] Shi Q, Li L, Zhang X, et al. Biochemical and comparative transcriptomic analyses identify candidate genes related to variegation formation in *Paeonia rockii*[J]. *Molecules*, 2017, 22(8): E1364.
- [16] Zhao X, Zhou Z H, Lin Q B, et al. Phylogenetic analysis of *Paeonia* sect. *Moutan* (Paeoniaceae) based on multiple DNA fragments and morphological data [J]. *Journal*

- of Systematics and Evolution, 2017(46): 563–572.
- [17] Sang T, Donoghue M J, Zhang D. 1997. Evolution of alcohol dehydrogenase genes in peonies (*Paeonia*): Phylogenetic relationships of putative nonhybrid species[J]. Molecular Biology and Evolution, 1997(14): 994–1007.
- [18] Tank D C, Sang T. Phylogenetic utility of the glycerol-3-phosphate acyltransferase gene: Evolution and implications in *Paeonia* (Paeoniaceae)[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2001, 19(3): 421–429.
- [19] Han X Y, Wang L S, Shu Q Y, et al. Molecular characterization of tree peony germplasm using sequence-related amplified polymorphism markers[J]. Biochemical Genetics, 2008, 46(3): 162–179.
- [20] Hou X G, Guo D L, Wang J. Development and characterization of EST-SSR markers in *Paeonia suffruticosa* (Paeoniaceae)[J]. American Journal of Botany, 2011, 98(11): e303–e305.
- [21] 周仁超, 姚崇怀. 芍药属牡丹组革质花盘亚组的系统演化探讨[J]. 植物研究, 2002, 22(1): 72–75.
- [22] 于玲, 何丽霞, 李嘉珏, 等. 牡丹野生种间蛋白质谱带的比较研究[J]. 园艺学报, 1998, 25(1): 99–101.
- [23] 安宗燕, 唐红, 李婉茹. 基于 EST-SSR 的紫斑牡丹品种遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(20): 6744–6752.
- [24] 郭琪, 郭大龙, 郭丽丽, 等. SSR 分子标记在牡丹亲缘关系研究中的应用与研究进展[J]. 植物学报, 2015, 50(5): 652–664.
- [25] Mao Y, Han J, Tian F, et al. Chemical composition analysis, sensory, and feasibility study of tree peony seed[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(2): 553–561.

Current status of wild tree peony germplasm resources and suggestions for their conservation

WANG Shunli, LU Ruiwen, REN Xiuxia, XUE Jingqi, WANG Fang, ZHANG Xiuxin*

Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Science; National Flower Improvement Center; Center of Peony, Chinese Academy of Agricultural Science; Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Flower Crops (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China

Abstract Tree peonies are deciduous subshrubs in the *Paeonia* section of Moutan from the Paeoniaceae and include nine wild species and one cultivated specie with more than one thousand cultivars. All of tree peony wild species are native to China, and they are the important parental resources for excellent variety breeding of tree peony. In view of severely damaged and endangered status of wild tree peony species, based on the reference of literatures, investigation of their original habitat, telephone consulting, and team research findings about wild tree peony species, we summarized the classification, current distribution regions and numbers of wild species, and its application in genetic breeding of tree peony. In addition, we reviewed the contribution of wild species on phylogenetic evolution of tree peony, and the development of their oil and edible value. Finally, according to the current status of collection and conservation of wild species and research progress of wild species in our team, we summarized the conservation strategies of wild tree peony species and it provides reference for conserving wild tree peony species in the future.

Keywords *Paeonia*; tree peony; wild species of tree peony; present state of tree peony resources ●



(责任编辑 刘志远)