

# 革质花盘亚组野生牡丹资源的调查 及保护利用建议

徐兴兴<sup>1</sup>, 成仿云<sup>1</sup>, 彭丽平<sup>1</sup>, 鲜宏利<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>北京林业大学园林学院, 北京 100083; <sup>2</sup>陕西省林业厅, 西安 710082)

**摘要:**革质花盘亚组野生种参与了栽培牡丹的起源,在生物多样性保护和牡丹品种改良中具有重要价值。为了科学合理地保护和开发利用我国特有的野生牡丹资源,本研究通过野外实地调查,结合文献记录,在全国尺度上对革质花盘亚组野生牡丹资源的生物学特性、地理分布特点进行了系统分析。结果表明:革质花盘亚组共有5个野生种和1个杂交种,分布在秦巴山区、陕甘黄土高原和川西北黄土高原地区,其中陕西省野生牡丹资源最为丰富,并在陕西省商南县和旬阳县发现了卵叶牡丹新的原生地分布点;同时对革质花盘亚组的种群特征进行了分析,并针对革质花盘亚组种质资源的药用、观赏和油用潜在利用价值和濒危现状提出了开发利用建议和保护对策。

**关键词:**牡丹;野生资源;革质花盘亚组;地理分布;保护

## Suggestions on Conservation and Utilization of Wild Tree Peony Resources of Subsect. Vagintae Based on Recent Investigation

XU Xing-xing<sup>1</sup>, CHENG Fang-yun<sup>1</sup>, PENG Li-ping<sup>1</sup>, XIAN Hong-li<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

<sup>2</sup> Forestry Department of Shaanxi Province, Xi'an 710082)

**Abstract:** Wild species of Subsect. Vagintae native to China were involved in the origin of the cultivated tree peonies, so they have extremely important value in conservation of biodiversity and improving varieties of tree peony. Based on recent field survey and literatures, we investigated the biological characteristics and the natural geographic distribution of wild tree peony species of Subsect. Vagintae at national scale in order to provide reasonable references for protection and utilization of wild tree peony resources. The results show that there are 5 wild species and 1 hybrid species in China. They mainly distribute in Qin-ling and Bashan mountains, and also the forests of the Loess Plateaus in Shaanxi, Gansu and Northwestern Sichuan. In these area, Shaanxi Province has abundant wild tree peony resources, and the newly records of *Paonia qiui* Y. L. Pei & D. Y. Hong were found in Shangnan and Xunyang county of Shaanxi Province. The population characteristics of Subsect. Vagintae were analyzed and the prospect for exploitation and utilization and scientific conservation strategies of wild resources of Subsect. Vagintae were discussed.

**Key words:** tree peony; wild resources; Subsect. Vagintae; geographic distribution; conservation

野生牡丹是中国特有的珍贵种质资源,也是我国生物多样性保护的关键类群之一<sup>[1]</sup>。牡丹隶属芍药科(Paeoniaceae F. Rudolphi)芍药属(*Paonia* L.)牡丹组(Sect. Moutan),该组是芍药属中唯一的木本类

群,进一步分为革质花盘亚组(Subsect. Vagintae)和肉质花盘亚组(Subsect. Delavayanae)<sup>[2]</sup>。其中革质花盘亚组主要包括矮牡丹(*P. jishanensis* T. Hong & W. Z. Zhao)、卵叶牡丹(*P. qiui* Y. L. pei & D. Y. Hong)、杨山

收稿日期:2016-03-01 修回日期:2016-04-05 网络出版日期:2016-12-14

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20161214.1049.016.html>

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31471898);企业横向课题(2014HXFWYL016)

第一作者主要研究方向为园林植物种质资源研究。E-mail: xuxingxing0317@126.com

通信作者:成仿云,主要研究方向为园林植物资源与育种。E-mail: chengfy8@263.net

牡丹(凤丹)(*P. ostii* F. Hong & J. X. Zhang)、紫斑牡丹(*P. rockii*(S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li)、四川牡丹(*P. decomposita* Hand. - Mazz. )<sup>[3-8]</sup>以及延安牡丹(*P. yananensis* T. Hong & M. R. Li)。延安牡丹的分类地位存在较大争议,J. H. Yuan 等<sup>[9]</sup>通过形态学、叶绿体基因片段和 SSR 分子标记的综合分析,证明延安牡丹是以延安万花山当地的矮牡丹为母系亲本,以其邻近区域分布的紫斑牡丹为父系亲本杂交起源的,是一个分类学上的杂交种。革质花盘亚组野生牡丹主要分布在我国秦巴山地、陕甘黄土高原与川西北黄土高原地区<sup>[4-7]</sup>,该亚组野生牡丹拥有非常丰富的性状和遗传变异,是与栽培牡丹的关系最为密切的遗传资源,在形态学水平<sup>[10-11]</sup>和分子水平上<sup>[12-13]</sup>均揭示了该亚组的野生种参与了栽培牡丹的起源,因此革质花盘亚组的野生种在生物多样性保护、系统演化和牡丹品种改良等一系列研究中具有更重要的价值。

从 20 世纪 50 年代开始,中国陆续开展了牡丹种质资源的野外调查和植物分类学工作,越来越多的牡丹新种、亚种等相关研究相继发表<sup>[14-17]</sup>,尤其是洪德元的系统研究,使我们对野生牡丹资源的本底有了清晰的认识<sup>[18-19]</sup>。然而近年来由于缺乏保护意识,人为长期过度采挖,生态环境的严重破坏以及自身遗传特性的局限,野生牡丹的分布范围和居群数量都在急剧减少,矮牡丹、紫斑牡丹、卵叶牡丹、四川牡丹和杨山牡丹均被列为国家濒危保护植物<sup>[20-21]</sup>,同时随着对牡丹籽油的发现与应用<sup>[22-23]</sup>,牡丹野生种也是开发牡丹油用新品种的重要种质资源,因此对野生牡丹资源的保护与开发利用是当前牡丹科学研究的方向。虽然近期一些学者进行了野生牡丹资源的调查工作,但多局限于在区域尺度上,如在山系<sup>[24]</sup>、省级尺度<sup>[25-26]</sup>等范围内,对革质花盘

亚组野生资源在全国尺度上的生存现状及物种分布格局尚缺乏详细而系统的研究。为此,本研究在全国范围内对革质花盘亚组野生牡丹资源开展了野外调查,并总结分析了该亚组野生资源的种类、生物学特性、地理分布特点及潜在利用价值,旨在为牡丹野生资源的保护和合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

在查阅中国数字植物标本馆牡丹植物标本记录和参考文献的基础上,于 2006 – 2015 年间,我们以黄土高原-秦巴山地-川西北高原为基本线路,对陕西省、甘肃省、山西省、湖南省、河南省、湖北省、安徽省的牡丹野生资源进行实地调查,在调查过程中记录野生牡丹分布地的经纬度和海拔、生境特征、形态特征、繁衍方式、居群数量等信息,同时采集凭证标本。利用地理信息系统软件( ArcGIS 10.0 )绘制其地理分布图,并基于地理分布数据,利用 ArcGIS 10.0 将物种分布数据和居群分布数据分别与中国行政区划图进行关联,采用 Nature break ( Jenks ) 分割方法<sup>[27]</sup>对物种丰富度和居群丰富度进行分级,绘制革质花盘亚组野生资源在省级的物种丰富度和居群丰富度地理分布图,进而进行相关分析与研究。

2 结果与分析

2.1 种类及生物学特性

通过调查,革质花盘亚组的野生牡丹主要有矮牡丹、卵叶牡丹、杨山牡丹、紫斑牡丹和四川牡丹以及延安牡丹杂交种。革质花盘亚组牡丹均为落叶灌木,花期 4 月中旬到 5 月,果期 8 月,该亚组野生种拥有非常丰富的形态性状和不同的繁衍方式(表 1)。

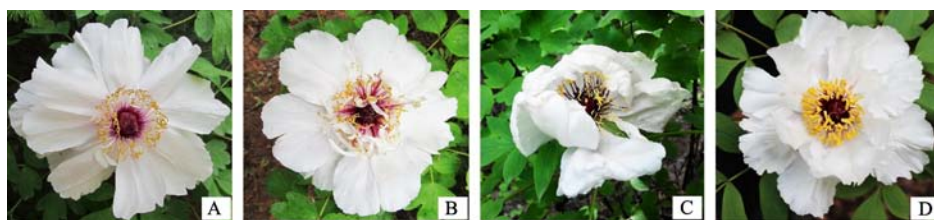
表 1 革质花盘亚组野生种的形态特征和繁衍方式

Table 1 Morphological characters and regeneration type of Subsect. Vagintae

种名 Species	小叶数 No. of leaflets	叶色 Leaf color	花色 Flower color	心皮数 No. of carpels	心皮颜色 Carpel color	花期 Flowering	繁衍方式 Regeneration type
矮牡丹 <i>P. jishanensis</i> T. Hong & W. Z. Zhao	9	深绿色	白色	5	暗紫红色	4 月中旬 至 5 月初	兼性营养繁殖
卵叶牡丹 <i>P. quii</i> Y. L. Pei & D. Y. Hong	9	紫红色	粉色	3 ~ 5	暗紫红色	4 月中旬 至 5 月初	兼性营养繁殖
杨山牡丹 <i>P. ostii</i> T. Hong & J. X. Zhang	9 ~ 15	绿色	白色或基部 有粉红色晕	5 ~ 8	暗紫红色	4 月中旬至 5 月中旬	有性繁殖
紫斑牡丹 <i>P. rockii</i> (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li	15 以上	绿色	花瓣白色或粉色, 具紫色斑	5	黄白色, 紫红色	5 月	有性繁殖
四川牡丹 <i>P. decomposita</i> Hand. - Mazz.	33 以上	绿色	粉红色	4 ~ 6	白色	4 月下旬 至 5 月	有性繁殖
延安牡丹 <i>P. yananensis</i> T. Hong & M. R. Li	9 ~ 15	绿色	常见白色和粉色,花 瓣基部常带紫色斑	5	紫红色	5 月	兼性营养繁殖和 有性繁殖

**2.1.1 革质花盘亚组各物种的主要特征** 矮牡丹植株高 0.5 ~ 1.5 m, 小叶通常 9 枚, 近圆形或卵形, 但在陕西延安、山西永济和河南济源居群中均发现随每出复叶的顶生小叶分裂程度的不同而表现出小叶 9、11、15 枚的变化。不同居群在花部性状上变异也非常丰富, 主要表现在花径、花丝颜色及瓣化等方面: 延安万花山居群矮牡丹单朵花直径 10 ~ 13 cm; 花瓣倒卵形, 顶端波状裂; 雄蕊数量 80 ~ 100, 花丝长约 12 mm, 花丝中下部紫红色, 上部白色, 花药线型 (图 1A)。同时发现延安万花山矮牡丹常常具有与花瓣颜色相同的瓣化雄蕊, 花丝增粗为扁平状 (图 1B)。山西永济居群花直径 12 ~ 19 cm; 花瓣阔椭圆形, 顶端微凹; 雄蕊数量 50 ~ 70, 花丝 10 ~ 15 mm, 深褐红色, 接近顶部渐变成白色, 花药线型 (图 1C); 河南济源居群花直径 8 ~ 12 cm, 花瓣近圆形稍皱, 顶端波状裂; 雄蕊数量大于 100, 花丝 6 ~ 9 mm, 花丝暗紫红色, 近顶部白色, 花药圆柱形 (图 1D)。另外在陕西新发现的宜川居群内未发现成年开花植株。

紫斑牡丹植株高大, 株高 0.5 ~ 2.0 m, 香气浓郁, 二回或三回羽状复叶, 小叶 15 枚以上, 在形态上已完全分化为 2 个异域亚种, 小叶卵状披针形或披针形, 大多数小叶不裂为紫斑牡丹原亚种 (*P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. *rockii*), 小叶卵圆形, 多分裂的为太白山紫斑牡丹 (*P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. *taibaishanica* D. Y. Hong)。花部性状具有丰富的变异, 主要表现在花色及花瓣基部斑块等方面: 实地野外调查发现, 在湖北保康大水林场居群同时存在白色 (图 2A、D) 和花瓣基部为粉色的个体 (图 2B、C); 花瓣数量大于 10 枚; 花瓣基部斑块形状有近三角形 (图 2A、B) 和卵圆形 (图 2C、D)。在陕西富县和甘泉居群均同时存在白色 (图 2E、H)、花瓣基部为粉色 (图 2F、I) 和粉色的个体 (图 2G、J); 花瓣均约 10 枚; 富县居群花瓣内侧基部斑块为倒卵形 (图 2E、G) 和三角形 (图 2F), 甘泉居群花瓣基部斑块为卵圆形 (图 2H、I、J)。心皮和花丝大部分为黄白色, 但在保康大水发现有心皮和花丝均为紫红色的植株 (图 2D)。



A: 陕西延安万花山矮牡丹 (无瓣化雄蕊); B: 陕西延安万花山矮牡丹 (雄蕊瓣化); C: 山西永济矮牡丹; D: 河南济源矮牡丹

A: Wanhushan population in Shaanxi (stamen without petaloid), B: Wanhushan population in Shaanxi (stamen petaloid),

C: Yongji population in Shanxi, D: Jiuyuan population in Henan

图 1 矮牡丹不同居群的花部特征

Fig. 1 Floral characteristics of *P. jishanensis* T. Hong & W. Z. Zhao



A、B、C 和 D: 湖北保康大水林场紫斑牡丹原亚种不同花色和色斑的个体; E、F 和 G:

陕西富县太白山紫斑牡丹不同花色和色斑的个体; H、I 和 J: 陕西甘泉太白山紫斑牡丹不同花色的个体

A, B, C and D: The individuals with different flower colors and patches of baokang population in Hubei (*P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. *rockii*), E, F and G: The individuals with different flower colors and patches of fu population in Shaanxi (*P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. *taibaishanica* D. Y. Hong), H, I and J: The individuals with different flower colors of ganquan population in Shaanxi (*P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. *taibaishanica* D. Y. Hong)

图 2 紫斑牡丹不同居群的花部特征

Fig. 2 Floral characteristics of *P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li



实地调查过程中,在陕西省太白县马耳山(图 3A)、旬邑县暗门子沟(图 3B)、黄龙县的寺山(图 3C)和耀县马角山(图 3D)新发现了太白山紫斑牡丹的野生居群,花部性状变异较小,花瓣均为白色,心皮黄白色。同时在陕西省商南县山坡道旁还发现了一株花瓣具有披针形粉色斑、心皮紫红色的紫斑牡丹原亚种(图 3E)。

卵叶牡丹与矮牡丹形态特征极其相似,植株矮小,开花较早,主要区别在花为粉色,小叶 9 枚,表面多紫红晕,但是在郁闭度高的林下或果期,卵叶牡丹叶片表面的紫红色晕通常会消失。心皮数通常为 5,但在本次实地调查过程中,在陕西商南县八宝寨山居群同时发现心皮数分别为 3、4 和 5 的卵叶牡丹植株,密被白色柔毛。

杨山牡丹的形态特征在不同居群间和居群内变异较小,株高 1.0~2.0 m,二回羽状复叶,小叶 9~15 枚,卵状披针形,花瓣白色或基部有粉红色晕;花丝、柱头及房衣均为暗紫红色。心皮数通常为 5,但在陕西商南县二郎庙居群同时发现了心皮数分别为 5、6、7 和 8 的植株。

四川牡丹株高 0.5~1.5 m,三回三出复叶,小叶

33 枚以上,小叶菱状卵形,顶生小叶 3 裂。花瓣粉红色,心皮和花丝均为白色。心皮数为 4,柱头黄白色。延安牡丹的形态特征表现为介于矮牡丹和紫斑牡丹之间连续过渡状态,例如矮牡丹的小叶数多为 9,紫斑牡丹小叶数多为 15 以上,而延安牡丹的小叶为 9~15 枚,花丝、柱头和房衣为紫红色,花丝瓣化等特征相近于矮牡丹,花瓣基部具有紫色斑的特征明显相近于紫斑牡丹。

**2.1.2 革质花盘亚组的繁殖方式** 革质花盘亚组牡丹的繁衍更新方式常见有性繁殖和兼性营养繁殖两种方式。矮牡丹和卵叶牡丹为兼性营养繁殖,比如在陕西省商南县新发现的野生卵叶牡丹以营养繁殖为主,具有根出条现象,根状茎从植株的根颈部产生,横向伸展在表土层中,慢慢形成独立植株,有性繁殖为辅(图 4)。杨山牡丹、紫斑牡丹和四川牡丹为专性种子繁殖,结实性较强,母株周围常有数目不等的实生苗。

## 2.2 分布区域及其生境特征

**2.2.1 水平分布** 中国革质花盘亚组野生牡丹资源集中分布在秦巴山区、陕甘黄土高原和川西北黄土高原地区(表 2),位于 101.943 5~117.7872 E,

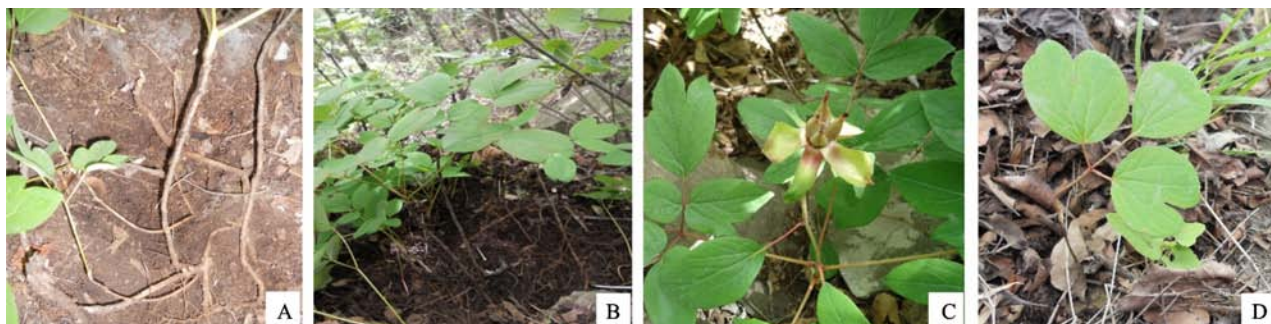


A: 太白县马耳山太白山紫斑牡丹; B: 旬邑县暗门子沟太白山紫斑牡丹; C: 黄龙县寺山太白山紫斑牡丹;  
D: 耀县马角山太白山紫斑牡丹; E: 商南县紫斑牡丹原亚种(紫红色心皮)

A: Maershan population, B: Xunyi population, C: Huanglong population, D: Majueshan population, E: Plant from Shangnan (purple carpel)

图 3 陕西省新发现的野生紫斑牡丹的花部特征

Fig. 3 Floral characteristics of *P. rockii* (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li newly discovered in Shaanxi province



A: 根出条; B: 根出条形成的无性系植株; C: 蓇葖果; D: 实生苗

A: Rhizome, B: Clonal plantlets from the rhizomes, C: Follicle, D: Seedling

图 4 陕西省商南县卵叶牡丹的兼性营养生殖

Fig. 4 Regeneration type of *P. qiui* Y. L. Pei & D. Y. Hong of Shangnan County in Shaanxi province

表 2 牡丹组革质花盘亚组野生资源分布

Table 2 Distribution of Subsect. Vagintae of wild tree peonies in China

种名 Species	居群编号 Population code	分布地点 Distribution location	海拔 (m) Altitude	生境 Habitat	居群大小 Size
矮牡丹 <i>P. jishanensis</i> T. Hong & W. Z. Zhao	P1	陕西省延安市	1066	风景区疏林下	56
	P2	陕西省宜川县 **	752	自然林下	16
	P3	陕西省宜川县 **	950	自然林下	40
	P4	陕西省宜川县 **	1066 ~ 1366	自然林下	21
	P5	陕西省华阴市 **	895	自然林下	50 ~ 80
	P6	陕西省华阴市	1300	风景区林下	6
	P7	河南省济源市	1054	自然林下	70
	P8	山西省永济市	1000 ~ 1650	自然林下	26
	P9	山西省稷山县	1200	自然林下	31
	P10	山西省稷山县	1250	自然林下	35
卵叶牡丹 <i>P. qiui</i> Y. L. Pei & D. Y. Hong	P11	陕西省商南县 **	944 ~ 1050	自然林下	300 ~ 400
	P12	陕西省商南县 **	770 ~ 804	自然林下	80 ~ 100
	P13	陕西省旬阳县 **	1525	自然林下	40
	P14	湖北省保康县	500	风景区道旁	30
	P15	湖北省神农架	1561	山坡道旁	5
杨山牡丹 <i>P. ostii</i> T. Hong & J. X. Zhang	P16	陕西省商南县 **	810	自然林下	117
	P17	陕西省商南县 **	608	自然林下	> 500
	P18	陕西省商南县 **	1080	山坡灌丛	4
	P19	陕西省洋县 **	1373	保护区林下	3
	P20	陕西省眉县 **	1556	自然林下	11
	P21	陕西省略阳县 **	1300	山坡道旁	4
	P22	陕西省镇坪县 **	1055	山坡道旁	20
	P23	湖北省保康县	1742	山坡道旁	34
	P24	湖北省保康县	1622	山坡道旁	10
	P25	河南省内乡县	1025	自然林下	30
	P26	河南省辉县	901	风景区林下	40
	P27	安徽省巢湖市	282	风景区悬崖	1
	P28	甘肃省两当县	1500	自然林缘	3
太白山紫斑牡丹 <i>P. rockii</i> (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. <i>taibaishanica</i> D. Y. Hong	P29	陕西省延安市	1215	风景区林下	3
	P30	陕西省富县	1237	自然林下	22
	P31	陕西省甘泉县	1370 ~ 1444	自然疏林下	32
	P32	陕西省眉县	1245 ~ 1646	自然林下	8
	P33	陕西省眉县	1000	保护区林下	15
	P34	甘肃省天水市	1393 ~ 1553	自然林下	6
	P35	甘肃省合水县	1312 ~ 1362	自然林下	28
	P36	陕西省黄龙县 **	1172	自然疏林下	13
	P37	陕西省旬邑县 **	1728	山坡灌丛	21
	P38	陕西省耀县 **	1134 ~ 1252	自然林下	30 ~ 50
	P39	陕西省太白县 **	1417 ~ 1709	自然林下	5

表 2(续)

种名 Species	居群编号 Population code	分布地点 Distribution location	海拔( m) Altitude	生境 Habitat	居群大小 Size
紫斑牡丹原亚种 <i>P. rockii</i> (S. G. Haw & Lauener) T. Hong & J. J. Li subsp. <i>rockii</i>	P40	陕西省太白县 **	1400 ~ 1600	自然林下	50 ~ 100
	P41	陕西省太白县 **	1055	山坡道旁	50 ~ 70
	P42	陕西省留坝县 **	1200	自然林下	30 ~ 50
	P43	陕西省洋县 **	1341	自然林下	50
	P44	陕西省略阳县	1300	山坡道旁	28
	P45	陕西省略阳县	1144	自然林下	20
	P46	河南省内乡县	1348 ~ 1568	自然林下	24
	P47	河南省嵩县	1200	自然林下	3
	P48	河南省栾川县	1100 ~ 1200	自然林下	12
	P49	湖北省保康县	1377	山坡道旁	6
	P50	湖北省神农架	1561	山坡道旁	50 ~ 100
	P51	湖北省保康县	1622	山坡道旁	> 100
	P52	湖北省保康县	1742	山坡道旁	> 100
	P53	甘肃省成县	1724 ~ 1755	风景区林下	6
	P54	甘肃省两当县	1505 ~ 1670	自然林下	30
	P55	甘肃省徽县	1557 ~ 1594	自然林下	26
	P56	甘肃省徽县	1200 ~ 1373	自然林下	30 ~ 50
	P57	甘肃省文县	1675	自然林下	30 ~ 50
	P58	甘肃省漳县	1881 ~ 1942	自然林下	30 ~ 50
四川牡丹 <i>P. decomposita</i> Hand. -Mazz.	P59	甘肃省成县	1197 ~ 1429	自然林下	6
	P60	四川省马尔康县	2550	自然林下	11
	P61	四川省马尔康县 *	2471	自然林下	-
	P62	四川省马尔康县 *	2501	自然林下	-
	P63	四川省金川县 *	2146	自然林下	-
	P64	四川省黑水县 *	2143	灌丛	-
	P65	四川省理县 *	2148	灌丛	-
	P66	四川省理县 *	2218	自然林下	-
	P67	甘肃省文县 ×	-	-	-
延安牡丹 <i>P. yananensis</i> T. Hong & M. R. Li	P68	陕西省延安市	1215	风景区林下	38

\*\* :表示实地调查新发现的居群; \* :表示实地调查未采集到,资源分布来源于参考文献[28]; × :表示资源分布来源于参考文献[4]; - :表示未调查。居群大小只是根据实地调查估计

\*\* :represents the newly discovered population, \* :represents no samples were collected,and the distribution information obtained from the reference [28], × :represents the distribution information obtained from the reference [4], - :represents no results. The population size was estimated according to field investigations

31. 3206 ~ 36. 5207 N 之间,但各地区分布的种类数量和居群数量很不均衡(图 5),图 5 中不同颜色的圆形和三角形分别代表不同的牡丹野生种,其中实心圆和三角形为实地考察分布有野生牡丹的地点,蓝色空心圆为实地调查未采集到,牡丹资源分布信息来源于参考文献[4]和[28]。

秦巴山区位于秦岭与大巴山之间,是我国南北气候的分水岭地带,特殊的地理位置使得该区域具有复杂的生态环境特点,成为我国暖温带与北亚热

带地区牡丹资源分化最为明显、居群数量分布最多的地区。主要分布有紫斑牡丹、杨山牡丹和卵叶牡丹 3 个野生种。陕甘黄土高原地区,气候属大陆性暖温带半湿润气候类型,具有典型黄土丘陵沟壑地形。主要分布有太白山紫斑牡丹、矮牡丹 2 个野生种,延安牡丹杂交种为该地区特有。川西北黄土高原地区位于青藏高原的东南部,气候特点系大陆性季风高原型气候,为四川牡丹的生存和繁衍提供了优越条件。



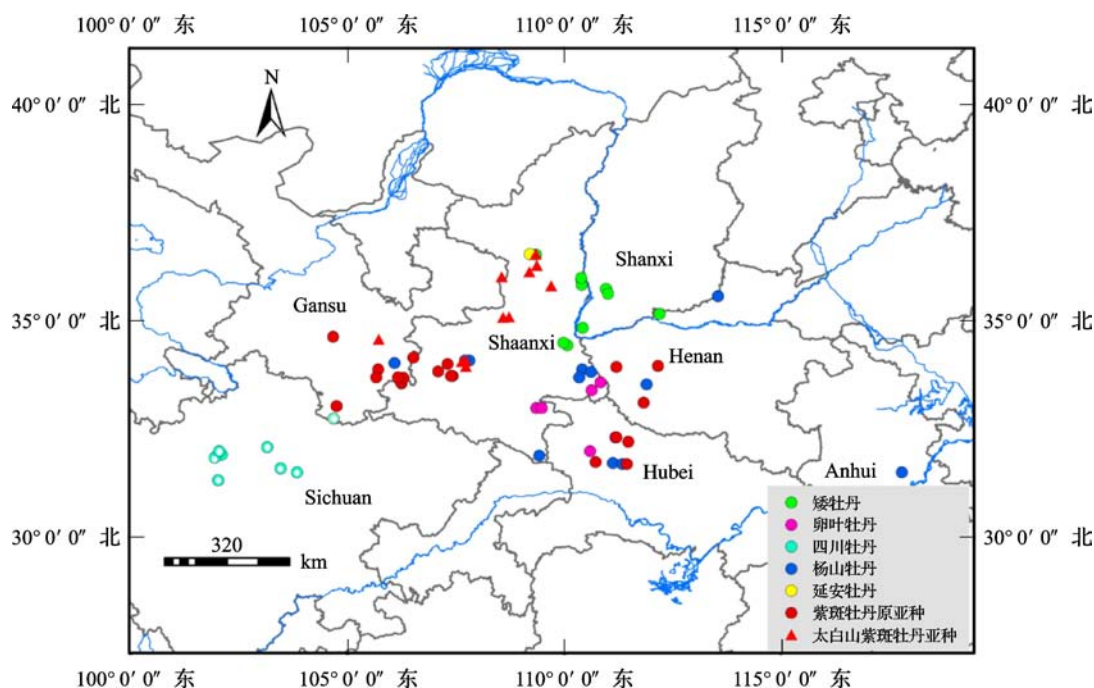
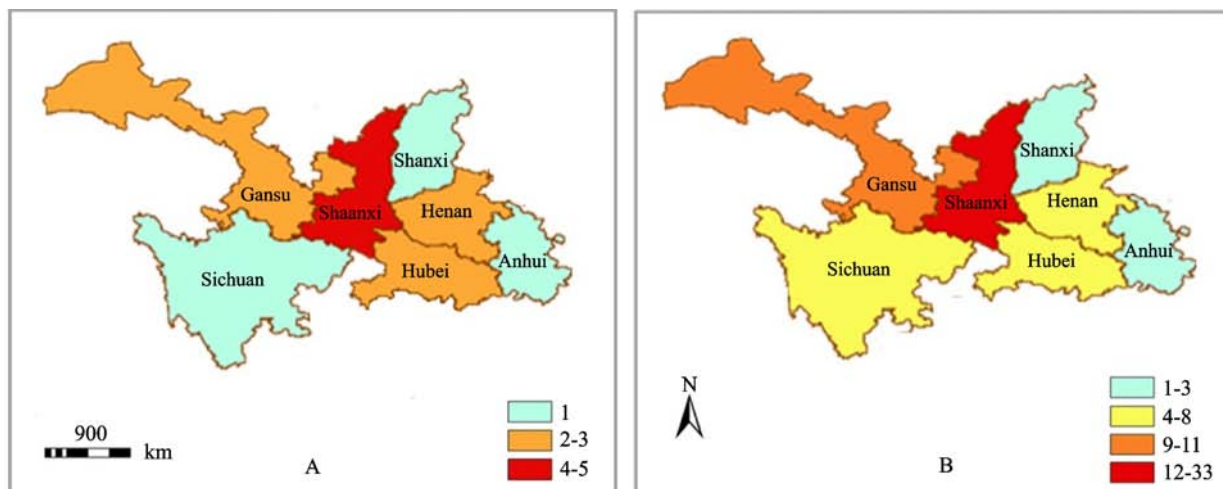


图5 牡丹组革质花盘亚组野生牡丹资源分布

Fig. 5 Distribution of Subsect. Vagintae of wild tree peonies in China

基于牡丹组革质花盘亚组野生资源地理分布的数据,绘制在省级的物种丰富度和居群丰富度地理分布图。在省级尺度上,革质花盘亚组物种丰富度(图6A)等级最高的区域为陕西省(5种)。以往文献均未记载陕西省有卵叶牡丹分布,本次野外调查时,在陕西省商南县和旬阳县均发现有卵叶牡丹分布。其次为甘肃省(3种)、湖北省(3种)和河南省(3种)3个区域。居群丰富度(图6B)与物种丰富度在

省级尺度上分布格局基本一致,根据记录的革质花盘亚组居群分布点数据,最高的区域为陕西省有32个居群,其中包括22个在陕西省新发现的分布点:4个(P2~P5)矮牡丹居群,3个(P11~P13)卵叶牡丹居群,7个(P16~P22)杨山牡丹居群,8个(P36~P43)紫斑牡丹居群(表2)。次高值区域为甘肃省发现11个野生居群。此外,湖北省(8个)、四川省(7个)和河南省(6个)的居群丰富度也较高。



A:物种丰富度分布图;1~5:分布的物种个数;B:居群丰富度分布图;1~33:分布的居群个数

A: Distribution of species richness, 1-5: the number of species, B: Distribution of population richness, 1-33: the number of population

图6 牡丹组革质花盘亚组省级尺度丰富度分布格局

Fig. 6 Distribution patterns of Subsect. Vagintae richness at province scale

调查发现,不同野生牡丹种类具有明显的地域分布差异。紫斑牡丹是该亚组中分布范围最广、发现野生居群数量(31 个)最多的物种,主要分布在秦岭地区并向南北呈延伸分布。秦岭山脉作为地理障碍使居群间的地理距离变远,太白山紫斑牡丹(11 个)局限于秦岭北坡以北,紫斑牡丹原亚种(20 个)见于秦岭南坡以南,居群间数量各不相同,在太白县新发现的 2 个居群,成年植株超过 50 株,而在陕西太白县马耳山新发现的居群仅在岩石缝隙中发现 5 株。杨山牡丹适应性较强、分布较广,因为药农大量采挖,居群数量仅为 13 个,零星分布在陕西商南县、眉县,甘肃两当,湖北保康,河南内乡、辉县,安徽巢湖银屏山等地。矮牡丹、卵叶牡丹和四川牡丹分布范围均较狭窄。矮牡丹(10 个)主要分布于陕西省东北部的华阴市、延安万花山和山西省南部的稷山、永济一带以及河南省北部的济源等地,被黄河流域隔离成不同居群,而且居群数量及居群中个体数量已明显减少,其中陕西华山居群仅发现 6 株矮牡丹,在实地调查过程中未找到文献记载分布在铜川北郊黄龙山的矮牡丹野生居群。卵叶牡丹局限在陕西省与湖北省交界处,仅发现 5 个居群,资源数量更加稀少,尤其在湖北保康县的卵叶牡丹野生居群急剧减少。四川牡丹(8 个)仅分布在四川西北部和甘肃南部。延安牡丹杂交种仅见于陕西省延安万花山上,长势较好,资源保存较为完好(表 2)。

**2.2.2 垂直分布** 牡丹组革质花盘亚组野生植物集中分布在海拔 500 ~ 2000 m 的中山区,也有少量分布在海拔 2000 m 以上的高山区。其中矮牡丹、卵叶牡丹、杨山牡丹主要分布于海拔 500 ~ 1650 m 处。紫斑牡丹从太白山国家森林公园的 1000 m 到甘肃省漳县新寺镇 1942 m 均有分布,垂直分布范围较广。四川牡丹分布的海拔最高,多在 2000 ~ 2550 m 的区域(表 2)。

**2.2.3 生境特点** 从植被类型来看,牡丹组革质花盘亚组主要生长在以壳斗科栎属为建群树种的温带落叶阔叶林及针阔混交林中,常见植被类型有栓皮栎(*Quercus variabilis* Blume)林、槲子栎(*Q. baronii*)林、辽东栎(*Q. liaotungensis* Koidz.)林等。该亚组植物大多生长在半阳坡、半阴坡、阴坡中,位于中上坡,山顶一般没有,喜阴凉湿润环境。对土壤的适应幅度较大,在山地褐土、山地淋溶褐土、山地棕壤上都能生长,卵叶牡丹和紫斑牡丹有的植株甚至生在陡峭的石壁或岩缝中,具有较强的耐瘠薄能力。紫斑牡丹因为具有广泛的分布区域,不同居群间的生境条件存在明显差异,如在陕西旬邑县(P37)新发现的太白山紫斑

牡丹野生居群分布在半阳坡(东南坡)的辽东栎林下,在陕西耀县马角山(P38)新发现的太白山紫斑牡丹野生居群分布在半阴坡(东北坡)和阴坡的槲栎(*Q. aliena* Blume)林下,在湖北神农架林区(P50)的紫斑牡丹原亚种分布在巴山松(*Pinus henryi* Mast.) + 华山松(*P. armandii* Franch.) + 槲栎针阔混交林中。卵叶牡丹多分布在混交林中,如在陕西旬阳县新发现的卵叶牡丹野生居群分布半阴坡(东北坡)的油松(*P. tabuliformis* Garrière) + 青冈栎(*Cyclobalanops glauca* (Thunb.) Oerst.)针阔混交林中,在陕西商南县新发现的野生居群多分布在阳坡和半阳坡(东南坡)的毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.) + 栓皮栎常绿阔叶混交林中。

### 3 讨论

#### 3.1 革质花盘亚组野生牡丹资源的地理分布特点

中国独特的地理、地貌和复杂的自然环境为牡丹野生资源提供了适宜的生境,革质花盘亚组牡丹资源集中分布在秦巴山区、陕甘黄土高原和川西北黄土高原地区,位于亚热带到暖温带气候过渡区,该地区生物多样性极其丰富,具有大量的特有植物。在调查范围内,革质花盘亚组野生牡丹资源主要生长在以壳斗科栎属为建群树种、海拔 500 ~ 2000 m 的中山区。该亚组植物大多生长在半阳坡、半阴坡、阴坡中,位于中上坡,山顶一般没有,喜阴凉湿润,具有一定的耐荫能力,在进行牡丹适应性引种驯化时,需适当遮荫,以满足对光照的需求。对土壤的适应幅度较大,在山地褐土、山地淋溶褐土、山地棕壤上都能生长,喜微酸性土壤,有的卵叶牡丹和紫斑牡丹甚至生在陡峭的石壁或岩缝中,具有较强的耐瘠薄能力,说明生态适应性强。

另外调查结果显示,牡丹组革质花盘亚组物种丰富度与居群丰富度在省级尺度上分布格局基本一致,等级最高的区域均为陕西省,随着野外实地调查,在陕西省发现了 22 个新的分布点,说明陕西省野生牡丹资源蕴藏量比较大,遗传多样性也较丰富,是牡丹的最适宜生长区。这是因为陕西省地处我国黄河中游,呈现出南北较长、东西狭窄的形状,从而引起境内南北气候的区域差异,造成了境内南北自然地理综合特征的不同。陕西省从北到南可分为陕北黄土高原、关中平原及由秦巴山系组成的陕南山地 3 个地貌区<sup>[29]</sup>,这与革质花盘亚组植物的集中分布区相互重叠,从而使该省成为了拥有牡丹资源最丰富的省份。文献记载卵叶牡丹仅零星分布于湖北神农架松柏镇和保康县,河南西峡县亦见<sup>[4,17]</sup>,但本次野外调查过程中,在陕西省首次



发现了 3 个卵叶牡丹的野生居群,这是该种在我国新的原生地分布点,扩大了卵叶牡丹的适宜生境范围,跨越  $109.3580^{\circ} \sim 111.4551^{\circ} \text{E}$ ,  $31.7360^{\circ} \sim 33.6734^{\circ} \text{N}$  的范围,地处中纬度北亚热带季风区,气温偏凉且多雨,独特的地理环境为分布范围较狭窄的卵叶牡丹生存和繁衍提供了优越条件。

### 3.2 革质花盘亚组野生牡丹资源的开发利用前景

革质花盘亚组牡丹是中国野生花卉资源的重要组成部分,生态适应性范围广,同时不同环境条件和生境类型使该亚组牡丹拥有非常丰富的形态性状和遗传变异,尤其紫斑牡丹不同居群和居群内在花部性状变异丰富,挖掘并利用这些优良性状或基因对于牡丹新品种选育和种质创新显得尤为必要,但目前开发利用程度较低,因此对革质花盘亚组野生牡丹资源尚需深入的评价,发掘其潜在的利用价值。

**3.2.1 药用价值** 野生牡丹的应用最早始于药用价值,牡丹的根可入药,俗称“丹皮”,牡丹根皮中含有的丹皮酚为主要药用成分,具有清热解毒、抗菌消炎、镇痛等功能。革质花盘亚组的野生牡丹均具有较高的药用价值,经过定量分析比较,杨山牡丹的丹皮酚含量最高<sup>[30]</sup>,为选育高产优质的药用栽培品种提供育种材料。

**3.2.2 观赏价值** 通过对革质花盘亚组野生资源的调查,发现该组牡丹具有很高的观赏价值,有待于进一步引种栽培和推广,并应用于园林绿化中。其中卵叶牡丹不仅具有早花、植株低矮、株型圆润、叶片带紫红色晕等重要的观赏价值,而且本课题组把卵叶牡丹成功引种到北京鹫峰国家森林公园多年,已进行了大量的种间杂交试验,卵叶牡丹表现出很强的育性<sup>[31]</sup>,是培育早花品种、矮型和特殊叶色的优秀母本材料,同时将少数植株引种到福建省政和县镇前镇栽培,生长表现良好,表明卵叶牡丹的生态适应性很强,是一种具有很大开发潜力的牡丹种质资源。紫斑牡丹分布范围最广,在形态上已完全分化为 2 个异域亚种,具有丰富的遗传多样性,其植株高大,花瓣基部具有丰富多变的色斑,香味浓郁,具有较强的耐寒抗旱特性和适应性,通过引种栽培试验,已在北京、黑龙江<sup>[32]</sup>、拉萨<sup>[33]</sup>驯化成功,是北方园林花卉的重要资源。因此,紫斑牡丹野生种既可作为观赏花卉应用于景观绿化,在植物造景中作为中层花灌木,也可作为培育抗逆性品种的育种材料,表现出十分广阔的应用前景。四川牡丹是形态特征介于革质花盘亚组和肉质花盘亚组之间的一个种,生长在海拔 2000 m 以上的区域,花粉红色,枝叶纤细,是选育抗逆性强且具有

观赏性的花卉育种原始材料。延安牡丹是矮牡丹和紫斑牡丹杂交起源的,在形态特征和繁衍方式上同时具 2 个亲本的性状,并且栽培历史悠久,是与牡丹栽培品种形成具有重要关系的杂交种<sup>[34]</sup>,因此延安牡丹的变异类型具有复杂的观赏园艺性状,如花丝瓣化等,在园林绿化应用上具有较高的开发价值,同时也为牡丹育种中改良园艺性状提供了良好材料。

**3.2.3 油用价值** 2011 年国家卫生部批准牡丹籽油为新资源食品,牡丹籽油作为一种新型的木本食用油,具有多种保健功能,因此牡丹除可用作药用和观赏栽培外,还可作为木本油料植物资源进行开发利用,其综合利用产业链长,附加值高,具有很高的经济效益<sup>[22-23]</sup>。目前加快高产优质油用牡丹的良种选育,是油用牡丹产业发展中亟待解决的关键问题。李子璇等<sup>[35]</sup>对陕西省旬阳县野生紫斑牡丹的种仁、种皮中的脂肪酸组成进行了分析,结果显示紫斑牡丹含有丰富的不饱和脂肪酸,尤其  $\alpha$ -亚麻酸含量高达 31.56%。杨勇等<sup>[28]</sup>对 7 个四川牡丹野生居群的种仁出油率和籽油中脂肪酸相对含量进行了测定,结果显示四川牡丹平均种仁出油率为  $32.23\% \pm 1.96\%$ ,籽油中不饱和脂肪酸相对含量高达 91.94% ~ 93.70%。张延龙等<sup>[36]</sup>对我国不同野生牡丹籽油主要脂肪酸成分进行了分析,结果显示杨山牡丹种籽的出油率最高。因此,通过对野生牡丹资源籽油成分和出油率的分析发现,紫斑牡丹、四川牡丹和杨山牡丹为专性种子繁殖,具有种子结实量大、出油率高、籽油品质优等优点,在油用牡丹生产与育种上均具有较大的开发价值。

### 3.3 革质花盘亚组野生牡丹资源的保护

北宋欧阳修在《洛阳牡丹记》中提到“牡丹大抵丹(今陕西宜川)延(延安)以西及褒斜道(陕西南部秦巴山地)中尤多,与荆棘无异,土人皆取以为薪”<sup>[37]</sup>。根据上述记载,野生牡丹在陕西省曾经分布很广,但现在野生资源遭到严重破坏,革质花盘亚组野生牡丹的分布范围已大为缩小,多呈岛屿式分布,居群内植株很少。如在实地调查中发现,杨山牡丹长期以来被滥采乱挖作为药用栽培,居群数量急剧减少为 13 个。矮牡丹分布范围较狭窄,居群数量为 10 个,同时陕西华山居群仅发现 6 株矮牡丹,原先有记载的分布在铜川北郊黄龙山的矮牡丹野生居群<sup>[38]</sup>已经灭绝。卵叶牡丹仅发现 5 个居群,本次调查中在陕西省商南县和旬阳县新发现的卵叶牡丹野生居群均位于交通闭塞的偏远山区,多零星分布。因此野生牡丹种质资源的保护形势严峻,刻不容缓,我们只有对野生资源采取有效的保护措施,才能防止其优良基

因的丢失,维持物种的遗传多样性,从而为牡丹野生资源的开发利用奠定基础,因此我们提出以下几方面的保护对策。

首先,严禁野生采挖,鼓励生产栽培。建议政府和科研机构能够通过宣传、示范和推广等形式,指导当地群众掌握牡丹的栽培技术,变野生采挖为有计划的生产种植,对于一些具有特殊优良性状的野生牡丹先繁殖后开发,从而促进中国牡丹产业的可持续发展。

其次,野生牡丹资源的就地保护和迁地保护。自然保护区已经成为我国生物多样性就地保护的最主要场所和珍稀濒危物种的最后避难所,对分布有野生牡丹资源的太白山、长青、子午岭及神农架等国家级自然保护区加强建设的同时,还应在野生牡丹资源丰富的保护空缺区域建立新的保护区或原生境保护点,比如牡丹的适宜生长区陕西省的商南县和旬阳县,山西的稷山县等,通过禁止挖采进行封育保护,使种群逐渐得到恢复。同时积极开展迁地保护,结合不同野生牡丹种的自然繁殖特性<sup>[39]</sup>,适宜生境的气候特点,开展引种驯化及栽培试验,建立种质资源圃,也可在植物园建立迁地保护中心。另外也可贮藏野生牡丹的种子、根、花粉等器官、组织或试管苗于种质资源库内,以便长期保存优良基因,从而实现对濒危野生牡丹资源的保护和可持续利用。

最后,开展濒危机制的研究。对濒危机制的探讨,还需要在对革质花盘亚组野生牡丹资源进行长期记录和监测的基础上,结合生物学特性和种群结构,利用 DNA 分子标记对其遗传多样性和群体遗传结构进行研究,从而更深入地探索野生牡丹的濒危机制,为制定科学的保护措施提供依据。

#### 参考文献

- [1] 陈灵芝. 中国的生物多样性: 现状及其保护对策 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 164-205
- [2] Stern F C. A study of the genus *Paeonia* [M]. London: The Royal Horticulture Society, 1946: 46-47
- [3] Haw S G, Lauener L A. A review of the infraspecific taxa of *Paeonia suffruticosa* Andrews [J]. Edinb J Bot, 1990, 47(3): 273-281
- [4] 王莲英. 中国牡丹品种图志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1997: 7-10
- [5] 李嘉珏. 中国牡丹与芍药 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 1-71
- [6] 成仿云, 李嘉珏, 陈德忠, 等. 中国紫斑牡丹 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 20-29
- [7] 李嘉珏, 张西方, 赵孝庆. 中国牡丹 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2011: 16-22
- [8] Cheng F Y. Advances in the breeding of tree peonies and a cultivar system for the cultivar group [J]. Int J Plant Breed, 2007, 1(2): 89-104
- [9] Yuan J H, Cheng F Y, Zhou S L. Hybrid origin of *Paeonia yananensis* revealed by microsatellite markers, chloroplast gene sequences, and morphological characteristic [J]. Int J Plant Sci, 2010, 171(4): 409-420
- [10] 李嘉珏. 中国牡丹起源的研究 [J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(2): 22-26
- [11] 袁涛, 王连英. 几个野生牡丹种的花粉形态及其演化、分类的探讨 [J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(1): 17-21
- [12] Yuan J H, Cornille A, Giraud T, et al. Independent domestications of cultivated tree peonies from different wild peony species [J]. Mol Ecol, 2014, 23(1): 82-95
- [13] 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]. Proc Soc Lond B Bio, 2014, 281: 20141687
- [14] 方文培. 中国芍药属的研究 [J]. 植物分类学报, 1958, 7(4): 297-323
- [15] 洪涛, 张家勋, 李嘉珏, 等. 中国野生牡丹研究 (一) 芍药属牡丹组新分类群 [J]. 植物研究, 1992, 12(3): 223-234
- [16] 洪涛, 齐安·鲁普·奥蒂斯. 中国野生牡丹研究 (二) 芍药属牡丹组新分类群 [J]. 植物研究, 1994, 14(3): 237-240
- [17] 裴颜龙, 洪德元. 卵叶牡丹—芍药属一新种 [J]. 植物分类学报, 1995, 33(1): 91-93
- [18] 洪德元, 潘开玉. 芍药属牡丹组的分类历史和分类处理 [J]. 植物分类学报, 1999, 37(4): 351-368
- [19] Hong D Y, Pan K Y, Turland N J. Paeoniaceae [M]. Flora of China (vol. 6). Beijing: Science Press and Missouri Botanical Garden Press, 2001: 127-132
- [20] 傅立国. 中国植物红皮书——稀有和濒危植物 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 532-533
- [21] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录 (第一卷) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 323
- [22] 周琳, 王雁. 我国油用牡丹开发利用现状及产业化发展对策 [J]. 世界林业研究, 2014, 27(1): 68-71
- [23] 韩继刚, 李晓青, 刘焰, 等. 牡丹油用价值及其应用前景 [J]. 粮食与油脂, 2014, 27(5): 21-25
- [24] 蔡祖国, 赵一鹏, 李红运, 等. 济源太行山区野生牡丹资源初步研究 [J]. 河南科技学院学报: 自然科学版, 2007, 35(3): 42-44
- [25] 张建华, 李洪喜, 习心军, 等. 湖北省野生牡丹种质资源调查 [J]. 湖北林业科技, 2011(2): 43-46
- [26] 张晓晓. 陕西野生牡丹资源调查 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014
- [27] 张殷波, 杜昊东, 金效华, 等. 中国野生兰科植物物种多样性与地理分布 [J]. 科学通报, 2015, 60(2): 179-188
- [28] 杨勇, 刘佳坤, 曾秀丽, 等. 四川牡丹部分野生居群种子脂肪酸组分比较 [J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1807-1814
- [29] 傅志军. 陕西省珍稀濒危植物及其保护与利用 [J]. 自然资源, 1994(2): 60-66
- [30] 韩小燕, 刘政安, 王亮生. 牡丹野生种与主要药用品种的药效成分含量比较 [J]. 中药材, 2008, 31(3): 327-331
- [31] 韩欣. 牡丹杂交亲本选择及  $F_1$  代遗传表现 [D]. 北京: 北京林业大学, 2014
- [32] 高秀芹, 赵利群, 郑国庆, 等. 紫斑牡丹引种及生物学特性 [J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(1): 25-16
- [33] 邓岚. 牡丹在拉萨的引种驯化初探 [J]. 西藏农业科技, 2014, 36(3): 21-24
- [34] 袁军辉. 紫斑牡丹及延安牡丹起源研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009
- [35] 李子璇, 秦公伟, 何建华, 等. 紫斑牡丹种仁种皮中脂肪酸组成比较分析 [J]. 种子, 2010, 29(1): 34-36
- [36] 张延龙, 韩雪源, 牛立新, 等. 9 种野生牡丹籽油主要脂肪酸成分分析 [J]. 中国粮油学报, 2015, 30(4): 72-79
- [37] 戴蕃璠. 中国牡丹的起源、培育及其分布的探讨 [J]. 西南师范大学学报, 1987, 10(4): 95-101
- [38] 张峰. 濒危植物矮牡丹濒危原因分析 [J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1436-1440
- [39] 成仿云, 李嘉珏, 陈德忠. 中国野生牡丹自然繁殖特性的研究 [J]. 园艺学报, 1997, 24(2): 180-184