

油用牡丹利用与研究进展*

张涛, 高天姝, 白瑞英, 黄兴琳, 郭楠, 陆俊杏, 罗安才
(重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 401331)

摘要:对油用牡丹在医药、食品加工、组织培养、遗传多样性、分子生物学研究等方面的国内外研究进展进行了概括和综述。油用牡丹被广泛应用于医药工业、食品工业、高级化妆品和润滑油制造等行业。油用牡丹籽油为新资源食品,主要成分为不饱和脂肪酸;根部(丹皮)是一种传统中药材;花则可用于制作饮料、茶、酒、食品添加剂、化妆品等。目前,油用牡丹的组织培养已经取得了一定的成果,并通过组织培养获得了再生植株;多种分子生物学技术已经应用于品种鉴定、遗传多样性分析、指纹图谱构建、功能基因克隆等方面,为进一步开展油用牡丹种质资源分类鉴定、加速育种进程等奠定了基础。但我国油用牡丹产业尚处于起步阶段,应该加大研究和开发力度,以不断促进油用牡丹产业的发展。

关键词:牡丹; α -亚麻酸; 组织培养; 遗传多样性; 分子生物学

中图分类号: Q949.93

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2015)02-0143-07

油用牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.)属于芍药科(Paeoniaceae)芍药属(*Paeonia*)牡丹组(Sect. Moutan DC.),为多年生落叶小灌木,是中国传统名花,观赏价值极高;根部(丹皮)是中国传统中药材;牡丹籽油富含 α -亚麻酸。而 α -亚麻酸属 ω -3系列不饱和脂肪酸,是DHA和EPA的前体物质和人体必需脂肪酸,具有增强智力、提高记忆力、预防心肌梗塞、降低血脂和促进胰岛素分泌等诸多生理功能^[1-3]。2011年3月,原卫生部批准牡丹籽油为新资源食品,因而牡丹已成为集观赏价值、油用价值和药用价值为一身的特有油料植物资源。目前用于栽培的油用牡丹主要为“紫斑”和“凤丹”两个牡丹品种群。“紫斑”牡丹耐寒性、耐旱性较强,主要分布于四川北部、甘肃中部及陕西秦岭中段以西等地;“凤丹”牡丹具有植株高大、耐湿热、结实率高、适应性强、病虫害少等特点,分布于中国大部分地区,特别是在河南洛阳、山东菏泽、安徽铜陵、四川彭州等地有大面积种植^[4]。近些年来,由于牡丹籽油的保健价值越来越被人们重视,相关研究也取得了一些进展,本文主要综述了“凤丹”和“紫斑”牡丹品种群的利用与研究进展,旨在为油用牡丹的进一步开发与利用提供参考。

1 开发利用价值

1.1 油用价值

α -亚麻酸为人体必需脂肪酸,是维持大脑和神经功能所必需的因子,由于哺乳类动物缺少 ω -3脂肪酸去饱和酶,无法自身合成此类不饱和脂肪酸,必须从食物中获取^[5]。目前 α -亚麻酸主要来源于深海鱼油,但中国深海鱼油资源较为贫乏;中国人群日常食用的植物油虽然含有较为丰富的亚油酸,但 α -亚麻酸的含量却只有5%左右,致使中国人群膳食中普遍缺乏 α -亚麻酸。因此,挖掘和开发富含 α -亚麻酸的油用牡丹资源具有重要的应用价值。大量研究表明,牡丹籽油富含 α -亚麻酸,含量高达57.93%,若采用超临界萃取技术,其 α -亚麻酸含量可达66.85%^[6-7]。此外,牡丹籽油中含有抗癌活性很强的奇数碳脂肪酸如C₁₇、C₁₅等,还含有独特香气的山俞酸(含量为0.166%)和少量环状结构的脂肪酸^[8]。毒理学研究表明,油用牡丹籽油无急性毒性、遗传性毒性和亚急性毒性,具有较高的食用安全性^[9]。油用牡丹是一种良好的木本油料资源,牡丹籽油可广泛应用于食品工业、医药工业、高级化妆品和润滑油制造等行业,具有广阔的开发和应用前景。

* 收稿日期:2014-02-20 修回日期:2014-10-03 网络出版时间:2015-01-22 11:56

资助项目:国家自然科学基金(No. 31171588/2012);活性物质生物技术教育部工程研究中心开放基金(No. GCZX 2012-1/2012);重庆市农业科技成果转化资金项目(No. cstc2014jcsf-nycgzhA80012/2014)

作者简介:张涛,男,教授,博士,研究方向为植物遗传与细胞生物学,E-mail:zht2188@126.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20150122.1156.017.html>

1.2 药用价值

油用牡丹根部(丹皮)是一种传统中药材,含有牡丹酚、牡丹酚苷、牡丹酚原苷、芍药苷等生物活性物质,可以“清热凉血,活血散癖”,用于治疗热病发斑、吐血、痈疡肿毒等疾病^[10]。牡丹酚作为牡丹的主要药用成分,具有抗动脉粥样硬化、抗惊厥及增强免疫功能等重要作用^[11]。据《本草纲目》记载,牡丹花是清热解毒的传统药材,其味苦、性平,具有和血、生血、凉血之功效,主治血中伏火、除烦热。牡丹花含有芍药花苷、没食子酸、紫云英苷、丹皮酚等有效成分,对降低血压、镇咳及抗肿瘤等具有较高活性^[12-13]。此外,油用牡丹花中还含有原花色素,而该物质是目前世界上已知的抗氧化活性最强的物质,抗氧化能力是 V_E 的 10 倍、 V_C 的 20 倍,对人体具有很强的保健作用^[14]。

1.3 其他用途

以油用牡丹鲜花发酵液和浸渍液加适量蔗糖、蜂蜜、柠檬酸等,经特殊工艺可制作成不添加任何色素和防腐剂的纯天然牡丹花汁饮料^[15]。以油用牡丹花粉、山药、牛奶等为原料制成的牡丹花粉山药饮料不仅具有牡丹花粉特有的清香,而且增加了酸奶制品的风味^[16]。油用牡丹花经揉搓、干燥等工艺可制成具有安神、养血、降压等功效的牡丹花茶;以牡丹鲜花、多种鲜果为原料,佐以蔗糖、蜂蜜等经发酵可制作牡丹花果酒;油用牡丹花粉烘干后用超微粉碎机粉碎,可作为用于饮料、糕点、冷冻食品、糖果等食品的食品添加剂^[15,17-18]。此外,油用牡丹花中含有丰富的类黄酮、精油及酚类物质,具有较强的清除自由基能力,可用于制作高档化妆品^[19]。油用牡丹花瓣水提液清除超氧阴离子的活性可达 75%~85%,是一种新的高效天然抗氧化剂和用于化妆品的良好原料^[20]。

2 组织培养

油用牡丹组织培养中常用的外植体为顶芽、腋芽、萌蘖芽、花芽、萌生条等,外植体表面灭菌的常用消毒剂有酒精、次氯酸盐、 $HgCl_2$ 等,常用的基本培养基有 MS、改良 MS 等培养基^[21]。植物生长调节剂是影响牡丹油用丹形态发生的主要因素,BAP 能够促进不定芽的发生,单独使用 GA_3 对组培苗的生长以及叶片和腋芽的生长与分化都没有促进作用,而与 BAP 配合使用则能提高增殖率并促进植株生长^[22]。将 IAA、NAA 与 BAP 配合使用,在提高组培苗增殖率的同时也导致愈伤组织的形成^[23]。大量研究发现,油用牡丹组培中比较容易诱导产生愈伤组织,但由愈伤组织进一步分化产生不定芽却比较困难。Demoise 和 Partanen 分别以合子胚为材料诱导形成愈伤组织,并得到了二倍体和四倍体的混合细胞团,但却没有器官发生或形态发生的后续报道^[24-25]。NAA 对愈伤组织的诱导作用明显大于 BAP,NAA 浓度稍高于 BAP 浓度时诱导效果比较理想,其中土芽和顶芽的诱导率最高^[26]。李玉龙等以嫩叶和叶柄为外植体,诱导产生愈伤组织并分化出不定芽,并获得少量再生植株^[27]。“凤丹”牡丹子叶的出愈率最高可达 93%,子叶来源的愈伤组织 60 d 时的分化率达 78%,再生苗生根率达 56%,平均根数 4.25 条,平均根长 4.31 cm^[28]。此外,外植体生理状态和发育年龄与愈伤组织形成难易程度有关,发育年龄相对较低的子叶和叶柄组织比较容易脱分化形成愈伤组织^[29]。在油用牡丹组织培养中,由愈伤组织分化形成再生植株还需要进一步的深入研究。

油用牡丹种子需要打破休眠后才能萌发,而胚培养技术可以缩短种子休眠期,提高萌发率并提早萌发。用处于不同生长时期的种胚(授粉后 23~45 d)为外植体进行胚培养,约 25% 的鱼雷形胚和心形胚可以形成植株,而取自成熟胚在无激素的 1/2 MS 和 MS 培养基上均能形成正常小植株;在愈伤组织诱导培养基中培养 3 周后,心形胚、鱼雷形胚及成熟种胚的愈伤诱导率分别为 60%、80% 和 100%^[30]。“紫斑”牡丹种胚在 1/2 MS+BA 1.0 $mg \cdot L^{-1}$ + IAA 1.0 $mg \cdot L^{-1}$ 的培养基上可以较快生长并分化出不定芽,不定芽在 1/2 MS+BA 1.0 $mg \cdot L^{-1}$ + IAA 0.2 $mg \cdot L^{-1}$ 培养基上可快速繁殖,平均增殖倍数达 6.5^[31]。胚珠发育时期是影响牡丹幼胚离体生长的重要因素,早期胚珠(花后 48 d 以内)极难培养成功,而花后 60 d 以后的胚珠可以培养成苗,“紫斑”牡丹和杨山牡丹花后 90 d 的近成熟胚离体培养成苗率分别达 71.6% 和 63.6%^[32]。近些年来,油用牡丹体细胞胚胎发生研究也取得了一定进展。在“凤丹”牡丹合子胚、胚轴、子叶等 3 种外植体中,合子胚的体胚诱导率最高,其中花后 110 d 合子胚是诱导最佳时期,诱导率为 33%,利用 90 $g \cdot L^{-1}$ 的蔗糖溶液处理合子胚 2 h 后体胚诱导率达 38.33%^[33]。

生根质量不高和生根率较低是目前油用牡丹离体快繁中存在的主要问题。IBA 是目前组培苗诱导生根的常用植物生长调节剂,但 IBA 剂量和诱导时间的差异亦会导致组培苗的生根质量或效果不同,有时也需与 IAA

或 NAA 配合使用^[34]。“凤丹”牡丹种胚诱导丛生芽的最佳生根培养基为 1/2MS+IBA 1.5 mg·L⁻¹+NAA 0.5 mg·L⁻¹,生根率达 60.17%^[35]。有研究发现,茎段伸长较多的组培苗比茎段未伸长的组培苗生根率低。相关研究人员认为可能是伸长茎段中过多的 GA₃影响了生根,也可能是由于茎段的伸长减少了组培苗基部的生根位点,将伸长茎段基部的腋芽去掉后可以使生根率得到提高;茎段未伸长的组培苗保留其基部的腋芽则能促进生根,他们认为可能是腋芽中过高浓度的内源 BAP 导致生根困难^[36]。培养基中的光照、蔗糖浓度、环境温度、AC 含量等都是影响牡丹生根的重要因素。蔗糖浓度在 20~40 g·L⁻¹范围内组培苗的生根率、根长和根数都较高;当蔗糖浓度低于 10 g·L⁻¹时,生根率、根长和根数都很低^[37]。生根培养基中添加 2.0 mg·L⁻¹的 AC 可使生根条数增加 3.1 条左右,且根的颜色也变为白色,表明 AC 能明显改善生根质量^[38]。短期低温能够促进牡丹组培苗生根,先用 2℃低温对未生根苗进行 1 周冷处理,生根率明显高于未经冷处理的材料;暗培养也可促进生根,暗处理后生根率最高达 83.3%;此外,红光等长波光对根系的生长发育有明显的促进作用,其根系诱导率高且根系发达^[37,39-40]。尽管油用牡丹组织培养技术存在许多需要研究和解决的问题,但利用组织培养技术进行快速繁殖已成为油用牡丹商品化及产业化发展的必然趋势。

3 遗传多样性研究

中国蕴藏着极为丰富的牡丹基因资源,利用分子标记技术对牡丹资源进行遗传多样性分析研究,对于进一步开展牡丹种质资源的合理开发与利用等具有重要的意义。目前应用于油用牡丹品种鉴定、遗传多样性和指纹图谱构建等方面的分子标记技术主要有 RAPD、ISSR、AFLP 和 SRAP 等技术。野生与栽培牡丹种质资源亲缘关系的 RAPD 研究表明,革质花盘亚组各野生种与栽培品种间的亲缘关系较近^[41]。“紫斑”牡丹 ISSR 多态性分析结果表明,16 个“紫斑”牡丹品种可分为 4 类,但不同相似系数的遗传聚类划分与花色、花型之间并非完全具有相关性^[42]。紫牡丹远缘杂交后代幼苗的形态标记和 ISSR 标记鉴定结果表明,16 株杂交牡丹中有 12 株的 ISSR 标记与形态标记结果表现一致,表明形态标记结合 ISSR 分子标记手段可用于牡丹杂交后代的早期鉴定^[43]。此外,人们利用 ISSR 标记技术研究了中原牡丹品种初级核心种质和遗传多样性,并构建了中原牡丹核心种质^[44]。牡丹矮化品种的亲缘关系 AFLP 分析结果表明,革质花盘亚组与栽培牡丹亲缘关系从近到远依次为杨山牡丹、矮牡丹、“紫斑”牡丹和卵叶牡丹;同时,还发现多数选育地相同的牡丹种质亲缘关系较近,当其他性状相差不大时,株高相近的品种间亲缘关系相对较近^[45-46]。SRAP 多态性分析结果表明,受试品种之间含有较为丰富的遗传多态性,但部分花型相同的品种相聚,而部分花型不同的品种亦相聚,说明聚类结果与牡丹品种的花型间具有一定的相关性,但并非完全一致的关系^[47]。此外,人们利用了 EST-SSR、TRAP 以及叶绿体 DNA 标记等方法开展了牡丹品种遗传多样性研究^[48-50];并利用 CDDP 分子标记技术,对 10 个花色群体构成的 299 份菏泽牡丹品种资源进行了遗传多样性分析,为深入研究牡丹花色的演变过程等提供了依据^[51]。这些分子标记研究成果的取得对于进一步开展种质资源分类鉴定、加速油用牡丹育种进程等具有重要的参考价值。

4 分子生物学研究

目前,人们已开展了许多牡丹相关基因克隆与功能分析研究。有研究者全长克隆了牡丹 *NCED* 基因,且荧光定量 PCR 分析结果表明,该基因在牡丹根和雄蕊中表达量较高,在叶和萼片中最低;外源 ABA 处理花瓣中的表达量与内源 ABA 含量变化具有相同趋势,因而研究者推测该基因可能是调控内源 ABA 的主要基因^[52]。王彦杰等人则从花瓣中克隆了牡丹泛素延伸蛋白基因的 cDNA 片段,荧光定量 PCR 分析表明,该基因在牡丹不同组织间表达较为稳定^[53]。张扬等人从牡丹花芽中获得了牡丹类脱水素基因,该基因在花芽内休眠解除前期随着低温处理时间的延长其表达呈上调趋势,表明该基因可能参与了牡丹花芽的内休眠过程^[54]。任磊等人从牡丹雄蕊中获得了柠檬酸合成酶全长基因 *PsCS*,与葡萄的相似性达 89.4%^[55];此外,还从牡丹花瓣中获得了 1 个 *SE-PALLATA* 基因 *PsMADS5*,该基因在花瓣中的表达量最高,其次是心皮,再次是萼片,在雄蕊中表达量最低^[56]。周琳等人获得了一个牡丹查耳酮合酶基因 *Ps-CHS1*,荧光定量 PCR 分析表明,*Ps-CHS1* 基因在花瓣中的表达量最高,其次是萼片、叶片和雄蕊,在心皮中表达量最低^[57];通过农杆菌介导法将 *Ps-CHS1* 基因转入烟草, T₁ 代转基因植株表型和色素分析显示,花瓣中总黄酮和黄酮含量较野生型增加 3 倍,而花青素含量和花色强度呈现降低趋势,表明 *Ps-CHS1* 基因参与了牡丹花色素的合成^[58]。Wang 等人从牡丹花瓣中克隆了 3 个牡丹乙烯信

号通路关键转录因子 *PsEIL1*、*PsEIL2* 和 *PsEIL3*, *PsEIL1* 基因在采后初期花瓣中转录水平较低,随着花瓣衰老其基因表达量达到最高,而 *PsEIL2* 和 *PsEIL3* 基因转录水平逐渐增加,全面开放阶段达到最高,随着花瓣的枯萎逐渐下降;*PsEIL1* 基因的转录表达不受外源乙烯或 1-MCP 的影响,而外源乙烯可以显著提高 *PsEIL2* 和 *PsEIL3* 基因的转录水平,1-MCP 可强烈抑制 *PsEIL3* 基因的转录表达^[59]。尽管分子生物学研究主要以观赏品种为主,但这些成功克隆的基因为进一步开展油用牡丹相关研究奠定了基础。

5 结论

中国油用牡丹资源十分丰富,适合栽培种植的范围广泛,目前全国油用牡丹种植面积已达 30 多万亩,主要分布在山东、安徽、河南、湖北、甘肃等地。油用牡丹作为一种新型的木本油料作物,应用前景十分广阔,但由于中国油用牡丹产业尚属起步阶段,有待进一步研究和开发利用。首先,应利用中国丰富的油用牡丹自然资源,广泛开展种质资源鉴定评价及优异资源的挖掘与筛选;其次,在此基础上,加强油用牡丹组织培养、重要性状的遗传分析和分子生物学研究等工作,并进一步完善油用牡丹重要活性物质成分的提取工艺技术,并针对其开发与利用价值,进行特用或专用型品种的遗传改良和育种研究,不断促进油用牡丹产业的发展。

参考文献:

- [1] 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.
Hong D Y, Pan K Y. Taxonomical history and revision of *Paeonia* sect. Moutan (*paeoniaceae*) [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1999, 37(4): 351-368.
- [2] Lunn J, Theobald H E. The health effects of dietary unsaturated fatty acids[J]. Nutrition Bulletin, 2006, 31(3): 178-224.
- [3] Kris-Etherton P M, Hecker K D, Binkoski A E. Polyunsaturated fatty acids and cardiovascular health[J]. Nutrition Reviews, 2004, 62(11): 414-426.
- [4] 李嘉珏. 中国牡丹品种图志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 8-9.
Li J J. Chinese tree peony[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005: 8-9.
- [5] McLennan P L, Abeywardena M Y, Charnock J S. Dietary fish oil prevents ventricular fibrillation following coronary artery occlusion and reperfusion[J]. American Heart Journal, 1988, 116(3): 709-717.
- [6] 刘建华,程传格,王晓,等.牡丹籽油中脂肪酸的组成分析[J]. 化学分析计量, 2006, 15(6): 30-31.
Liu J H, Cheng C G, Wang X, et al. Analysis of fatty acids in *paeonia suffruticosa* Andr. seeds[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2006, 15(6): 30-31.
- [7] 王昌涛,张萍,董银卯.超临界 CO₂ 提取牡丹籽油的工艺以及成分分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 96-99.
Wang C T, Zhang P, Dong Y M. The technique of the extraction of oil from peony seed with supercritical CO₂ extraction method and the analysis of the composition[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(8): 96-99.
- [8] 周海梅,马锦琦,苗春雨,等.牡丹籽油的理化指标和脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2009, 4(7): 72-74.
Zhou H M, Ma J Q, Miao C Y, et al. Physicochemical indexes and fatty acid composition of peony seed oil[J]. China Oils and Fats, 2009, 4(7): 72-74.
- [9] 朱文学,李欣,刘少阳,等.牡丹籽油的毒理学研究[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 248-251.
Zhu W X, Li X, Liu S Y, et al. Toxicological assessment of peony seed oil [J]. Food Science, 2010, 31(11): 248-251.
- [10] 时侠清,张子学.凤凰山牡丹药用器官的愈伤组织培养[J]. 核农学报, 2005, 19(3): 186-190.
Shi X Q, Zhang Z X. Callus culture of peony (fenghuang mountains) medicine organ[J]. Acta Agriculturae Nucl-eatae Sinica, 2005, 19(3): 186-19.
- [11] 李逢春,周晓玲,磨红玲,等.丹皮酚注射液增强免疫功能的实验研究[J]. 中国中西医结合杂志, 1994, 14(1): 37-38.
Li F C, Zhou X L, Mo H L, et al. A study of paeonol injection on immune functions in rats[J]. Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 1994, 14(1): 37-38.
- [12] 刘建华,董福英,王晓,等.牡丹花营养成分分析及其评价[J]. 山东科学, 1999, 12(4): 60-62.
Liu J H, Dong F Y, Wang X, et al. The analysis and appreciation for the nutritions of peony flower[J]. Shandong Science, 1999, 12(4): 60-62.
- [13] 王晓,时新刚,郑成超,等.牡丹花提取物清除活性氧及对·OH 引发的 DNA 损伤的保护作用[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(7): 55-58.
Wang X, Shi X G, Zheng C C, et al. Effects of extract from peony flowers on removal of reactive oxygen species and

- preventing DNA damage caused by hydroxyl radical[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(7): 55-58.
- [14] 赵贵红,姚守国. 营养型牡丹梨酒的研制[J]. 酿酒, 2006, 33(4): 79-81.
- Zhao G H, Yao S G. Preparation of peony and pear wine [J]. Liquor Making, 2006, 33(4): 79-81.
- [15] 游玉明,杨帆,熊运海. 牡丹花的综合利用与开发前景[J]. 北方园艺, 2011(1): 67-69.
- You Y M, Yang F, Xiong Y H. Comprehensive utilization and development prospect of peony flowers [J]. Northern Horticulture, 2011(1): 67-69.
- [16] 赵贵红. 牡丹花粉山药酸奶的研究[J]. 中国酿造, 2008 (3): 92-94.
- Zhao G H. Study on the peony pollen-yam yogurt[J]. China Brewing, 2008(3): 92-94.
- [17] 赵贵红. 营养型牡丹发酵酒-花香的提取技术研究[J]. 食品工业, 2006(4): 20-21.
- Zhao G H. Study on technology of distill potpourri in nutritious peony wine processing [J]. The Food Industry, 2006(4): 20-21.
- [18] 张怡,梁静,郑宝东. 我国13种食用花卉加工品质和保健品质的研究[J]. 福建农业学报, 2005(20): 113-116.
- Zhang Y, Liang J, Zheng B D. Processing quality and health-caring quality of thirteen edible flowers in China [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2005 (20): 113-116.
- [19] 郭香凤,史国安. 牡丹花水提液对氧自由基的清除作用[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(1): 37-38.
- Guo X F, Shi G A. The Scavenging of oxygen free radical by the water extracts of peony flowers [J]. Plant Physiology Communications, 2004, 40(1): 37-38.
- [20] 冯志文,杨霞光,潘剑,等. 6个品种牡丹花瓣的抗氧化活性分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37 (1): 205-210.
- Fen Z W, Yang X G, Pan J. Antioxidation analysis of extracts from petals of 6 tree peonies *in vitro* [J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2009, 37(1): 205-210.
- [21] 李萍,成仿云. 牡丹组织培养技术的研究进展[J]. 北方园艺, 2007(11): 102-106.
- Li P, Cheng F Y. Progress in tissue culture techniques for tree peony [J]. Northern Horticulture, 2007(11): 102-106.
- [22] Bouza L, Jacques M, Miginiac E. *In vitro* propagation of *Paeonia suffruticosa* Andr. cv. 'Mme de Vatry': developmental effects of exogenous hormones during the multiplication phase [J]. Scientia Horticulturae, 1994, 57: 241-251.
- [23] 孔祥生,张妙霞. 牡丹离体快繁技术研究[J]. 北方园艺, 1998(4): 87-89.
- Kong X S, Zhang M X. Research on rapid propagation technology for tree peony [J]. Northern Horticulture, 1998(4): 87-89.
- [24] Demoise C F, Partanen, C R. Effects of subculturing and physical condition of medium on the nuclear behavior of plant tissue culture [J]. American Journal of Botany, 1969, 56(2): 147-152.
- [25] Partanen C R. Cytological behavior of plant tissues *in vitro* as a reflection of potentialities *in vivo* [C]//Mc-Cutchan Pub Corp. Proceeding of International Conference of Plant Tissue Culture. California: Berkeley, 1965: 1-9.
- [26] 陈怡平,丁兰,赵敏桂,等. 用紫斑牡丹不同外植体诱导愈伤组织的研究[J]. 西北师范大学学报:自然科学版, 2001, 37 (3): 66-69.
- Chen Y P, Ding L, Zhao M G. The study of inducing callus with different organs of *Paeonia rockii* T. Hong et J. J. Li [J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science Edition, 2001, 37 (3): 66-69.
- [27] 李玉龙,吴德玉,潘淑龙,等. 牡丹试管苗繁殖技术的研究[J]. 科学通报, 1984(8): 500-502.
- Li Y L, Wu D Y, Pan S L, et al. *In vitro* Propagation of *Paeonia suffruticosa* [J]. Chinese science Bulletin, 1984 (8): 500-502.
- [28] 张改娜,黄华,邢继亮,等. 牡丹品种凤丹白子叶离体再生研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(4): 68-70.
- Zhang G N, Huang H, Xing J Y, et al. Plant regeneration from cotyledon of tree peony fengdan [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(4): 68-70.
- [29] 张子学,丁为群,时惟静,等. 凤丹组织培养研究[J]. 现代中药研究与实践, 2004, 18(1): 18-21.
- Zhang Z X, Ding W Q, Shi W J, et al. Studies on tissue culture of tree peony feng dan [J]. Research and Practice of Chinese Medicines, 2004, 18(1): 18-21.
- [30] Brukhin V B, Batygina T B. Embryo culture and somatic embryogenesis in culture of *Paeonia anomala* [J]. Phytomorphology, 1994, 44(34): 151-157.
- [31] 周仁超,姚崇怀. 紫斑牡丹胚培养与植株再生[J]. 亚热带植物科学, 2001, 30(3): 60.
- Zhou R C, Yao C H. Embryo culture and plantlet regeneration of *Paeonia rockii* [J]. Subtropical Plant Science, 2001, 30(3): 60.
- [32] 何桂梅,成仿云,李萍. 两种牡丹胚珠与幼胚离体培养的初步研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 185.
- He G M, Cheng F Y, Li P. Preliminary studies on culture *in vitro* of ovule and immature embryo of two tree-peony cultivars [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(1): 185.
- [33] 朱向涛,王雁,彭镇华,等. 牡丹'凤丹'体细胞胚发生技术[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(5): 55-58.

- Zhu X T, Wang Y, Peng Z H, et al. Somatic embryogenesis of *Paeonia suffruticosa* 'fengdan' [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(5): 55-58.
- [34] Wang H Y, He S L, Tanaka M, et al. Effect of IBA concentration, carbon source, substrate, and light source on root induction ability of tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) plantlets *in vitro* [J]. European Journal of Horticultural Science, 2012(77): 122-128.
- [35] 贾文庆, 刘会超. 牡丹“凤丹”胚不定芽诱导和生根研究 [J]. 北方园艺, 2009(3): 69-71.
Jia W Q, Liu H C. 'Fengdan' embryo culture and plantlet regeneration of peony [J]. Northern Horticulture, 2009 (3): 69-71.
- [36] Bouza L, Jacques M, Miginiac E. Requirements for *in vitro* rooting of *Paeonia suffruticosa* Andr. cv. Mme de Vatry [J]. Scientia Horticulturae, 1994(58): 223-233.
- [37] 陈笑蕾. 牡丹组织培养的初步研究 [D]. 河南: 河南农业大学, 2004.
Cheng X L. The preliminary research on tissue culture of *Paeonia suffruticosa* [D]. Henan: Henan Agricultural University, 2004.
- [38] 李艳敏, 罗晓芳. 牡丹离体培养与快速繁殖研究进展 [J]. 西南林学院学报, 2004, 24(1): 70-73.
Li Y M, Luo X F. Research development of *in vitro* breeding and fast propagation of *Paeonia* spp. [J]. Journal of Southwest Forestry College, 2004, 24(1): 70-73.
- [39] Beruto M, Lanteri L, Portogallo C. Micropropagation of tree peony (*Paeonia suffruticosa*) [J]. Plant Cell Tissue And Organ Culture, 2004, 79: 249-255.
- [40] 安佰义. 牡丹组培离体再生系统的建立 [D]. 辽宁: 东北林业大学, 2005
An B Y. Establishment of regeneration system *in vitro* of tree peony [D]. Liaoning: Northeast Forestry University, 2005.
- [41] 孟丽, 郑国生. 部分野生与栽培牡丹种质资源亲缘关系的 RAPD 研究 [J]. 林业科学, 2004, 40(5): 110-115.
Meng L, Zheng G S. Phylogenetic relationship analysis among chinese wild species and cultivars of *Paeonia* sect. moutan using rapd markers [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(5): 110-115.
- [42] 杨美玲, 唐红. 紫斑牡丹遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. 西北植物学报, 2012, 32(4): 693-697.
Yang M L, Tang H. Genetic diversity of *Paeonia rockii* revealed by ISSR [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(4): 693-697.
- [43] 吴蕊, 张秀新, 薛璟祺, 等. 紫牡丹远缘杂交后代幼苗的形态标记和 ISSR 标记鉴定 [J]. 园艺学报, 2011, 38(12): 2325-2332.
Wu R, Zhang X X, Xue J Q, et al. Early identification of the descendents from distant hybridization of *Paeonia delavayi* by morphological and ISSR markers [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(12): 2325-2332.
- [44] 李保印, 周秀梅, 张启翔. 中原牡丹品种资源的核心种质构建研究 [J]. 华北农学报, 2011, 26(3): 100-105.
Li B Y, Zhou X M, Zhang Q X. Establishment of core collection for tree peony cultivars from central China [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2011, 26(3): 100-105.
- [45] 侯小改, 尹伟伦, 李嘉珏, 等. 牡丹矮化品种亲缘关系的 AFLP 分析 [J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 73-77.
Hou X G, Yin W L, Li J J. Phylogenetic relationship of dwarf tree peony cultivars by AFLP analysis [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(5): 73-77.
- [46] 侯小改, 尹伟伦, 李嘉珏, 等. 部分牡丹品种遗传多样性的 AFLP 分析 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1709-1715.
Hou X G, Yin W L, Li J J. AFLP analysis of genetic diversity of 30 tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(8): 1709-1715.
- [47] 王娟, 郭大龙, 侯小改, 等. 不同花型牡丹品种亲缘关系的 SRAP 分析 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(28): 167-171.
Wang J, Guo D L, Hou Xi G, et al. SRAP analysis of genetic relationships of the different tree peony flower forms [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(28): 167-171.
- [48] 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): 303-305.
- [49] Zhang J J, Shu Q Y, Liu Z A, et al. Two EST-derived marker systems for cultivar identification in tree peony [J]. Plant Cell Reports, 2012, 31: 299-310.
- [50] Suo Z L, Zhang C H, Zheng Y Q, et al. Revealing genetic diversity of tree peonies at micro-evolution level with hyper-variable chloroplast markers and floral traits [J]. Plant Cell Reports, 2012, 31(12): 2199-2213.
- [51] 李莹莹, 郑成淑. 利用 CDDP 标记的菏泽牡丹品种资源的遗传多样性 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(13): 2739-2750.
Li Y Y, Zheng C S. Genetic diversity of tree peony cultivar resources in heze revealed by CDDP marker [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(13): 2739-2750.
- [52] 王晓庆, 张超, 王彦杰, 等. 牡丹 *NCED* 基因的克隆和表达分析 [J]. 园艺学报, 2012, 39(10): 2033-2044.
Wang X Q, Zhang C, Wang Y J, et al. Isolation and expression of 9-cis epoxycarotenoid dioxygenase gene in tree peony [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(10): 2033-2044.

- [53] 王彦杰,张超,王晓庆,等. 牡丹泛素延伸蛋白基因片段克隆与表达分析[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版, 2013,34(1):79-83.
Wang Y J,Zhang C,Wang XQ,et al. Cloning and expression analysis of the ubiquitin extension protein gene fragment of *Paeonia suffruticosa* [J]. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition, 2013, 34 (1):79-83.
- [54] 张扬,盖树鹏,刘春英,等. 牡丹类 *PsDHN-YSK2* 基因全长 cDNA 的克隆与表达分析[J]. 中国农学通报,2012,28 (16):219-224
Zhang Y,Gai S P,Liu C Y,et al. Cloning and expression analysis of *PsDHN-YSK2*-like dehydrin gene in tree peony [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28 (16):219-224.
- [55] 任磊,王雁,周琳,等. 牡丹 *PsCS* 基因的克隆及序列分析 [J]. 生物技术通报,2011(9):81-85.
Ren L,Wang Y,Zhou L,et al. Cloning and sequence analysis of *PsCS* gene in tree peony[J]. Biotechnology Bulletin,2011(9):81-85.
- [56] 任磊,王雁,周琳,等. 牡丹 *PsMADS5* 基因的克隆、表达及载体构建[J]. 核农学报,2011,25(5):939-944.
Ren L,Wang Y,Zhou L,et al. Cloning, expression and vector construction of *PsMADS5* gene in tree peony[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25 (5): 939-944.
- [57] 周琳,王雁,彭镇华. 牡丹查耳酮合酶基因 *Ps-CHS1* 的克隆及其组织特异性表达[J]. 园艺学报,2010,37(8):1295-1302.
Zhou L,Wang Y,Peng Z H. Isolation and tissue-specific expression of chalcone synthase gene *Ps-CHS1* in tree peony [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37 (8): 1295-1302.
- [58] Zhou L, Wang Y, Ren L, et al. Overexpression of *Ps-CHI1*, a homologue of the chalcone isomerase gene from tree peony (*Paeonia suffruticosa*), reduces the intensity of flower pigmentation in transgenic tobacco[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2014, 116:285-295.
- [59] Wang Y J,Zhang Co,Jia P Y,et al. Isolation and expression analysis of three *EIN3-like* genes in tree peony (*Paeonia suffruticosa*) [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2013, 112(2):181-190.

Utilization and Research Progress of Oil Tree Peony

ZHANG Tao, GAO Tianshu, BAI Ruiying, HUANG Xinglin, GUO Nan, LU Junxing, LUO Ancai
(College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: In this paper, the worldwide research progresses referring to oil tree peony in pharmaceutical, food processing, tissue culture, molecular markers, gene cloning and expression analysis and other aspects have been summarized and reviewed. Tree peony was a perennial deciduous shrubs, it was widely exploited in medicine, foodstuff and industry. As a novel foodstuff with the main component of unsaturated fatty acid, the peony seed oil was already used in industries of foodstuff, medicine and cosmetics. The root of peony was a traditional Chinese herbal medicine, and its flower was exploited in making beverage, tea, wine, food additives and cosmetic. The tissue culture of peony had made some progress in plant regeneration. Currently, a variety of molecular biology techniques were applied to species identification, genetic diversity, fingerprint construction and functional gene cloning, and provided important reference for further classification and identification of germplasm resources and accelerating of peony breeding. But China's oil tree peony industry is still in the initial stage, we should strengthen the research and utilization in order to promote the development of oil tree peony.

Key words: tree peony; α -linolenic acid; tissue culture; genetic diversity; molecular biology

(责任编辑 方 兴)