

油料牡丹栽培和籽油加工研究进展

常雪^{1,2}, 盛寅生¹, 张俊杰¹, 任爱芝¹, 赵培宝^{1*}, 李多川³

(1. 聊城大学农学院, 山东聊城 252000; 2. 聊城市林业局, 山东聊城 252000; 3. 山东农业大学农业微生物省重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要 油料牡丹是我国特有的一种新型的木本油料作物, 适应性广、出油率高、油质优, 籽油富含不饱和脂肪酸, 特别是 α -亚麻酸, 并且其根可入药, 花既具有观赏性, 亦可制作花茶, 也具有较高药用价值。本文综述了油料牡丹的经济价值、籽油制备工艺、品种、种苗繁殖和栽培技术、病虫害综合防治等方面的研究进展, 分析了油料牡丹生产和研究过程存在的主要问题, 展望了牡丹产业发展前景, 以为油料牡丹产业化发展提供理论指导和技术支撑。

关键词 油料牡丹; 繁殖技术; 提取工艺; 病虫害

中图分类号 S565.9 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)01-0013-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress of Oilseed Peony Cultivation and Processing of Seed Oil

CHANG Xue^{1,2}, SHENG Yin-sheng¹, ZHANG Jun-jie¹ et al (1. Agricultural School of Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000; 2. Liaocheng Forest Bureau, Liaocheng, Shandong 252000)

Abstract Oilseed peony is a kind of newly developed woody oil crop, which is rich in unsaturated fatty acids, especially alpha-linolenic acid, which is characterized by high oil quality, high oil yield and wide adaptability. The root can take medicine, the flower has both ornamental and medicinal, making flower tea and so on, has the great industrialization benefit. The research progress of application value, seed oil extraction process, variety, seedling propagation, cultivation technique and integrated pest management of oilseed peony was reviewed, the main problems in production and research process were analyzed, future research direction was prospected to provide scientific and technique basis for the industrial development of oilseed peony.

Key words Oilseed peony; Breeding technology; Extraction process; Diseases and insect pests

油料牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.)属于芍药科(*Paeonia* ceae)芍药属(*Paeonia*),是对牡丹组中结实能力强,能够用来生产种籽、加工食用籽油品种(或品系)的统称^[1],通常产籽出油率为27%~33%,为我国所特有^[2-3]。2011年3月22日牡丹籽油获得新资源食品批准^[4],这意味着牡丹籽油可进入商业化生产和销售。牡丹籽油不饱和脂肪酸含量高达92%,尤其人体所必需的多元不饱和脂肪酸 α -亚麻酸含量高达42%以上^[5],该脂肪酸具有保护心血管及神经元、抗氧化、骨质疏松、炎症和癌症的功效^[6],同时牡丹花可制作花茶、饮料等,根(丹皮)可以入药,油料牡丹全身是宝,随着籽油批准为可食用油,油料牡丹产业得到快速发展^[7]。

1 油料牡丹的应用价值

1.1 油料牡丹的经济价值 衡量食用油质量好坏的重要指标是 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸的含量。研究表明,牡丹油中不饱和脂肪酸含量高于90%^[4],显著高于市场上主要销售种类中的橄榄油、大豆油、花生油等。特别是 α -亚麻酸含量高于40%,该不饱和脂肪酸是一种人体必需脂肪酸,但是人体不能自我合成^[8]。它是人体脑细胞和组织细胞的重要组成部分,能够保护心血管、神经元,具有抗氧化、骨质疏松、炎症和癌症的功效^[5]。老年人缺乏 α -亚麻酸易导致高血压、心脑血管疾病和老年痴呆症^[9]。牡丹籽油还具有抗衰老^[10-12]、降血脂^[13-14]、降血糖^[14-15]、保护肝损伤^[13,16-17]等功

能,可见,牡丹籽油是一种品质非常优良的高端食用油。同时据高婷婷^[18]、杨鹿等^[19]研究发现,因牡丹籽油抗氧化性强,更耐储存;牡丹籽油因具有防晒作用^[10,20],还可用于化妆品的生产,极大地提高了其经济价值。油料牡丹的产量和出油率也高于花生、大豆、油茶等油料作物(表1)。

表1 油料作物的产量与产油量

Table 1 Yield and oil production of oil crop

指标 Index	产量 Yield kg/hm ²	出油率 Oil yielding rate//%	产油量 Oil production kg/hm ²
油橄榄 Olive	4 800	15	720.0
花生 Peanut	3 300	42	1 386.0
油菜 Rape	2 250	35	787.5
大豆 Soybean	2 700	16	432.0
油茶 Oil tea	750	14	105.0
油料牡丹 Oil peony	3 750	20	750.0

除了牡丹籽有很高的经济价值外,油料牡丹的根(丹皮)和花均是传统的中药材,也可增加牡丹种植的经济效益。牡丹根中医上俗称丹皮,可清热凉血,活血散瘀,对热病发斑、吐血、痲疹肿毒等疾病有功效^[21]。牡丹花中含有紫云英苷、芍药花苷、没食子酸、丹皮酚等成分,可清热解毒、降低血压及抗肿瘤,主治血中伏火等^[22-23],油料牡丹的花可加工成花茶^[24]、饮料^[24-25]、果酒^[26-28]、花酱、糕点^[29]等。开花季节可进行观光旅游,带动第三产业发展。可见,油料牡丹全身是宝,油料牡丹产业具有极大的开发前景。

1.2 生态价值 油料牡丹是我国独有的多年生乡土小灌木。栽植成活以后,可以30~40年不换茬,牡丹栽培可节省大量人力、物力和财力。牡丹产籽寿命相当长,一般为30~

基金项目 山东省科技发展计划(2014GNC110020);山东省微生物重点实验室开放课题(SDKL2017015)。

作者简介 常雪(1987—),女,山东冠县人,工程师,硕士,从事林业资源和病虫害防治研究。*通信作者,副教授,博士,从事植物病理学研究。

收稿日期 2018-09-03

40年,有的甚至高达60年,可谓种植一次,就能收获一辈子,是名副其实的“铁杆庄稼”,而且油料牡丹适应范围广,耐干旱、瘠薄、盐碱,耐阴,抗寒能力强,对土地的选择性不高,可以做到不与粮争地,不与民争粮。油料牡丹具有发达的须根,对防止水土流失具有重要作用,因此大力发展油料牡丹也具有较好的生态价值^[30]。

2 油料牡丹籽油提取工艺

牡丹籽油的提取方法多样,各有优缺点。传统压榨方法较为简便实用,但需要进行特别除臭工序;超临界CO₂萃取法出油率最高,可以考虑作为牡丹籽油提取工艺的首选;亚临界技术具有能耗低、效率高、成本低、可以工业化大规模生产等优点,可以在较低温度下进行,能最大限度地保护油料中热敏性成分不被破坏,因此亚临界技术在牡丹籽油分离提取中具有极大的发展潜力^[31-38]。另外,牡丹籽油提取方法还包括超声辅助提取法^[39-40]、水代法^[41-42]、索氏提取法^[43-44]等新兴工艺。在牡丹籽油的精炼方面,采用活性白土进行二次脱色能够降低过氧化物和磷脂的含量,效果较好^[45-46]。

3 油料牡丹的品种与分布

结籽量大、出油率高、适应性广和生长势强是油料牡丹品种的主要选育指标,同时要单瓣花或重瓣化程度低。目前,我国油料牡丹主要栽培和推广品种是“凤丹”和“紫斑”两大品系。“凤丹”牡丹主要产于安徽亳州、铜陵一带,常见品种包括凤丹白、凤丹粉和凤丹紫等10余个品种。凤丹系列品种具有抗逆性强、适应性广的特点^[47],适合全国20多个省市种植,是目前山东、河南、安徽、四川等省的主要推广品种。“紫斑”牡丹,主要分布于甘肃中部、陕西秦岭中段以西和四川北部等北方半干旱地区,具有较强的耐寒性和耐旱性,据陈德忠^[48]记载共有30多个品种,可重点在西北地区推广。

4 油料牡丹的繁殖

油料牡丹种苗繁育要以早结籽、多产油为主要目的,尽量增加繁殖系数、培育壮苗,促进植株提早结实^[49]。目前生产上主要采用有性繁殖的方式,即播种繁殖、有性繁殖的牡丹对季节的依赖性强,结籽周期也较长,需要5~6年才开花结籽,且种子繁殖后代分化较大,难以保持种性稳定遗传,因此探索油料牡丹高效无性繁殖技术尤为重要^[50-51]。油料牡丹无性繁殖技术主要包括分株、扦插、嫁接和组培技术等。分株和嫁接是油料牡丹常用无性繁殖方法,但是繁殖系数低,规模化生产比较困难;以组织培养为基础的无性快繁技术还不成熟,正在探索研究中,一旦完整的技术体系建立起来将具有广阔的应用前景。

4.1 有性繁殖技术(播种繁殖)

4.1.1 采种。油料牡丹种子从8月下旬开始陆续成熟,宜根据成熟程度分期分批采收,不可过早或过晚。实践证明,当牡丹种子成熟度为80%时采集,其种子萌发率最高^[52]。一般以种皮呈红棕色或黄绿色,外果皮呈蟹黄色时采收为最佳。种子采收过早常因含水量高而霉烂或干瘪;采收过晚,种皮会转为黑色,种皮变厚,质地坚硬,出苗困难^[53]。种子采收后不能曝晒,要放在阴凉处堆放,每隔几天翻动1次,直

至果皮开裂散出种子^[54]。

4.1.2 种子播前处理。由于油料牡丹种子具有休眠特性,当年采收的种子需要一定时间的后熟,必须人为采用理化因素处理,以打破种子休眠^[55],包括低温、赤霉素浸种、温汤浸种等。有学者采用低温结合赤霉素处理可有效提高种子发芽率^[56-58]。播种前,需用50℃的温水浸种3~5d,浸好后捞出沥干,用多种灵拌种待播,以减轻病害发生。进行催芽的应在1/3露白时及时播种,不宜太晚。

4.1.3 播种。油料牡丹应在8月下旬至9月下旬播种最为适宜,播种过晚出苗慢,不整齐;播种过早,苗木过早长出地面,早春易受冻害^[52]。如不能及时播种,种子可用湿沙埋藏法处理。一般采用条播,宽窄行为好,窄行距20~30cm,宽行距40cm,株距3~5cm,深度5~6cm,播后稍镇压踏实,小水浇一遍透水,然后喷一遍牡丹专用地面处理除草剂,年前要保持地面见干见湿,10月下旬可覆盖地膜,以防旱保墒及提高地温,播种量为750~1125kg/hm²^[59-60]。

4.1.4 除草。牡丹长势慢,且有夏季休眠特性,夏秋季杂草竞争强,要搞好除草。春天可通过喷施牡丹专用土壤除草剂,控制杂草生长;夏秋季主要采取人工除草。

4.2 无性繁殖技术

4.2.1 分株繁殖。油料牡丹为丛生状灌木,萌蘖力较强。所谓分株繁殖就是利用牡丹分蘖力强的特性将大株牡丹分成多个小株,然后每株单独培养成1棵新的植株。分株繁殖方法为首先在距根较远处将植株挖起,适当晾晒,待植株根部失水变软后用锋利刀片劈开根部,注意不能伤着根芽,然后利用1000倍多菌灵对伤口进行消毒处理后定植^[61],分株繁殖不能在春季开展,最佳时间是在秋分和寒露之间,易于生根成活。

4.2.2 嫁接繁殖。嫁接是植物最重要的无性繁殖方法,可以提早结实和保持品种遗传特性,也能够实现植物苗木快速而高效地繁殖。油料牡丹的嫁接方法包括根接、枝接和芽接^[59],以根接成活率最高。嫁接时间以9月7—23日最为适宜,在嫁接时最适宜的气温为20~25℃,湿度大有利于成活和生根^[61-62]。砧木可选用牡丹根^[63-64]或者芍药^[65],接穗选择当年生健壮枝芽,现剪现用^[66],嫁接后要及时去除根砧上发出的根蘖,以防根蘖与接穗新芽竞争营养^[67]。

4.2.3 扦插繁殖。牡丹扦插成活率较低,在实际生产上使用不多^[68]。刘文兰等^[69]研究发现9—11月是紫斑牡丹扦插的最佳季节,温度和湿度是影响插条成活率的主要条件,同时采用800~1000mg/L的IBA处理插条能提高其扦插成活率;史倩倩等^[70]研究发现扦插基质会影响扦插成活率,通过对比发现采用珍珠岩纯基质扦插成活率最高,插穗采用500mg/L生根粉1号浸泡30min,扦插成活率最高。

4.2.4 组织培养。组织培养是植物快速繁殖的最有效手段之一,多个实验室开展了油料牡丹组培技术研究,主要围绕外植体诱导愈伤组织、生长调节激素的选用、培养基的优化开展研究。油料牡丹组织培养中常用的外植体为鳞芽^[71-72]、胚^[73-74]、顶芽^[75]、叶柄^[76]和茎段^[77]等;外植体灭菌可以选用

升汞^[74]、C₂H₅OH、高锰酸钾^[78]和次氯酸钠^[75];常用培养基为 MS 培养基^[79];植物生长调节剂通常选用细胞分裂素+2,4-D 或 萘乙酸。虽然油料牡丹的组织培养研究取得了显著成绩,但多数还只停留在实验室研究阶段,还未形成成熟的技术体系,在牡丹苗木繁育实践中应用还不多,可能与目前牡丹推广力度较小有关,牡丹组培的社会需求和经济效益较小。

5 病虫害综合防治

调查发现,油料牡丹常出现的病害有根部立枯病、根腐病和白绢病,叶部红斑病、炭疽病、锈病和轮纹斑点病等^[80-82],对于其发生规律和防治技术还缺乏研究,我们调查了鲁西北油料牡丹病害危害情况,发现在油料牡丹上主要有尖镰孢引起的根部病害和由炭疽菌、链格孢引起的叶部病害较为严重,并开展了木霉菌防治牡丹病害的研究,为生产绿色高端食用油提供技术支持。牡丹常见虫害有地下害虫、刺蛾类等,目前牡丹病虫害防治多采用化学防治,随着牡丹油的开发应用,牡丹用药应该控制,为此,有效地开展生物防治是保障牡丹种子产量、延长植株寿命和确保牡丹油安全的重要举措。

6 栽培技术

牡丹为多年生灌木,一次栽种,多年收益。牡丹前期生长慢,除草等环节伤苗严重,栽植密度需适当加大,一般栽植 5.25 万株/hm²,宽窄行栽植。定植可选用 2~3 年生大苗,促早封垄,减少除草等前期管理投入。牡丹定植时间为 8—9 月,栽植后浇一遍透水,10 d 后浇第二水,封冻前再浇一次水,能确保幼苗成活率。牡丹耐阴,林下栽植能改善牡丹后期长势,防止高温季节对休眠期牡丹的伤害。据山东东阿县试验示范基地试验,推行核桃-牡丹、杨树-牡丹立体栽培的地块牡丹长势良好。

7 结语

油料牡丹作为一种新兴的木本油料作物,具有广阔的开发和应用前景,对于改善油料品质、确保国家粮油安全具有重要意义。但是由于牡丹籽油产业是一种新兴产业,其相关基础理论研究和生产加工技术不成熟,还有许多亟待解决的问题。例如牡丹高产品种缺乏,值得大力开展优良品种选育工作;高效快速无性繁育技术还不成熟,包括组培、嫁接等都需要进一步研究;牡丹田杂草防除和病虫害绿色防控技术体系需要建立;牡丹籽油提取和加工技术需要改进等。这是下一步牡丹产业发展需要克服的理论和和技术问题,解决的好能推动油料牡丹产业快速发展,解决不好则会成为制约牡丹产业发展的瓶颈。

参考文献

- [1] 李育材. 中国油用牡丹工程的战略思考[J]. 中国工程科学, 2014, 16(10): 58-63.
- [2] 戚军超, 周海梅, 马锦琦, 等. 牡丹籽油化学成分 GC-MS 分析[J]. 粮食与油脂, 2005(11): 22-23.
- [3] 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.
- [4] 中华人民共和国卫生部. 公告 2011 年第 9 号[J]. 中国食品添加剂, 2011(2): 264.
- [5] 程安玮, 孙金月, 王维婷, 等. 牡丹籽油的研究进展[J]. 食品科学技术

- 学报, 2016, 34(3): 79-84.
- [6] KIM K B, NAM Y A, KIM H S, et al. α -Linolenic acid: Nutraceutical, pharmacological and toxicological evaluation [J]. Food and chemical toxicology, 2014, 70: 163-178.
- [7] 朱宗磊, 王凤山, 毛文岳. 新资源食品牡丹籽油[J]. 食品与药品, 2014(2): 133-136.
- [8] 杨静, 常蕊. α -亚麻酸的研究进展[J]. 农业工程, 2011(1): 72-76.
- [9] SANGIOVANNI J P, CHEW E Y. The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in health and disease of the retina[J]. Progress in retina and eye research, 2005, 24(1): 87-138.
- [10] 张萍. 牡丹籽油的制备、纯化、成分分析以及功效评价[D]. 北京: 首都师范大学, 2009.
- [11] 翟文婷, 朱献标, 李艳丽, 等. 牡丹籽油成分分析及其抗氧化活性研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2013, 26(2): 147-150.
- [12] 史国安, 郭香凤, 金宝磊, 等. 牡丹籽油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(4): 47-50, 107.
- [13] 王芸. 牡丹籽油营养成分及功能作用的研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [14] 董振兴, 彭代银, 宣自华, 等. 牡丹籽油降血脂、降血糖作用的实验研究[J]. 安徽医药, 2013, 17(8): 1286-1289.
- [15] 徐章华, 邵玉芬. α -亚麻酸对大鼠行为、视网膜及肝脏脂肪酸构成的影响[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(3): 301-303.
- [16] 姚思宇, 赵鹏, 李彬, 等. α -亚麻酸对小鼠免疫功能影响的实验研究[J]. 中国热带医学, 2007, 7(3): 334-336, 349.
- [17] 翟文婷, 朱献标, 李艳丽, 等. 牡丹籽油对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 中国油脂, 2013, 38(11): 43-45.
- [18] 高婷婷. 牡丹籽油成分分析及储藏条件研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [19] 杨鹿, 王洪新, 苏建辉, 等. 牡丹籽油优势抗氧化剂研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(2): 46-49.
- [20] 高婷婷, 王亚芸, 任建武. GC-MS 法分析牡丹籽油的成分及其防晒效果的评定[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 296-299.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 赵贵红. 牡丹花粉山药酸奶的研究[J]. 中国酿造, 2008(2): 92-94.
- [26] 赵贵红, 姚守国. 营养型牡丹梨酒的研制[J]. 酿酒, 2006, 33(4): 79-81.
- [27] 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.
- [28] 刘凤梅. 调配型牡丹葡萄酒的研制[J]. 现代农业科技, 2006(15): 9-10.
- [29] 潘胜利. 百花食谱之五牡丹花[J]. 园林, 2006(5): 48-49.
- [30] 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.
- [31] 李静. 牡丹籽油制备工艺及其稳定性研究[D]. 吉首: 吉首大学, 2014.
- [32] 彭瑶瑶, 王千千, 王爱梅, 等. 水酶法提取牡丹籽油的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(6): 12-17.
- [33] 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.
- [34] 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, 34(7): 72-74.
- [35] 邓瑞雪, 刘振, 秦琳琳, 等. 超临界 CO₂ 流体提取洛阳牡丹籽油工艺研究[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 142-145.
- [36] 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, 107.
- [37] 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 牡丹籽油超临界二氧化碳萃取工艺[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 144-150.
- [38] 史闯, 王斐, 殷钟意, 等. 牡丹籽脱皮及其仁油超临界 CO₂ 萃取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(15): 66-71.
- [39] 孙明哲. 牡丹籽油超声波辅助浸提工艺优化及其脂肪酸组成[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 182-185.
- [40] 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 牡丹籽油超声辅助提取工艺优化及其 GC-MS 分析[J]. 食品工业科技, 2009, 30(8): 198-201.
- [41] 刘普, 许芝凡, 刘一琼, 等. 超声辅助水代法提取牡丹籽油工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(6): 29-33.

- [42] 昌友权, 昌妍希, 郑鸿雁, 等. 超高压电裂解辅助水代法提取油牡丹籽油的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(7): 70-74.
- [43] 姚茂君, 李静. 牡丹籽油亚临界流体萃取工艺优化[J]. 食品科学, 2014, 31(14): 53-57.
- [44] 杨倩, 祁磊, 王金顺, 等. 亚临界萃取牡丹籽油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(5): 15-18.
- [45] 毛善巧, 李西俊. 牡丹籽油的研究进展及油用牡丹综合利用价值分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(5): 123-126.
- [46] 白喜婷, 朱文学, 罗磊, 等. 牡丹籽油的精炼及理化特性变化分析[J]. 食品科学, 2009, 29(8): 351-354.
- [47] 王佳. 杨山牡丹遗传多样性与江南牡丹品种资源研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [48] 陈德志. 中国紫斑牡丹[M]. 北京: 金盾出版社, 2003.
- [49] 张钦, 李春燕. 油用牡丹栽植技术[J]. 农业知识: 乡村季风, 2012(10): 58.
- [50] 郑相穆, 周阮宝, 谷丽萍, 等. 凤丹种子的休眠和萌发特性[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(4): 260-262.
- [51] 周仁超, 姚崇怀, 潘俊, 等. 紫斑牡丹种子休眠和萌发特性初步研究[J]. 湖北农业科学, 2002(1): 59-60.
- [52] 康真, 张雪莲, 刘藕莲, 等. 油用牡丹繁育和造林技术研究[J]. 农村经济与科技, 2014, 25(12): 54-55, 178.
- [53] 高见. 紫斑牡丹的繁殖栽培技术[J]. 特种经济动植物, 2007, 10(1): 29-30.
- [54] 刘建平. 浅析油用牡丹苗木繁育技术及发展前景[J]. 现代园艺, 2017(4): 30.
- [55] GENEVE R L. Impact of temperature on seed dormancy[J]. HortScience, 2003, 38(3): 336-341.
- [56] 成仿云, 杜秀娟. 低温与赤霉素处理对“凤丹”牡丹种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(4): 553-558.
- [57] 范丙友, 高水平, 史国安, 等. 赤霉素和低温打破牡丹上胚轴休眠技术研究[J]. 种子, 2007, 26(3): 1-3.
- [58] 刘秀贤, 张艳丽, 马宏, 等. 滇牡丹种子休眠解除效应研究[J]. 种子, 2013, 32(2): 9-12.
- [59] 沈改霞, 张新义. 浅谈牡丹的繁殖栽培技术[J]. 北方园艺, 2012(8): 63-66.
- [60] 张建华, 刁心军, 刘藕莲, 等. 湖北省野生牡丹的人工繁殖技术研究[J]. 湖北林业科技, 2012(6): 16-19.
- [61] 徐成文. 牡丹分株繁殖法[J]. 花木盆景: 花卉园艺, 2005(4): 25.
- [62] 郭亚珍, 庞静. 影响牡丹嫁接成活率的因素[J]. 中国花卉园艺, 2007(8): 17.
- [63] 王琼英. 紫斑牡丹嫁接育苗技术[J]. 林业实用技术, 2007(10): 45.
- [64] 胡中成, 蒋文娟, 马新乔, 等. 牡丹嫁接繁殖技术[J]. 浙江林业科技, 2006, 25(5): 34-36.
- [65] 刘改秀, 张西方. 牡丹嫁接成活率试验研究[J]. 现代农业科技, 2011(8): 181, 184.
- [66] 柴发喜. 紫斑牡丹快繁技术[J]. 中国林业, 2010(4): 56.
- [67] 杨荣, 王锋. 牡丹的嫁接技术[J]. 绿色科技, 2010(7): 101-102.
- [68] 薛杰, 侯西明. 实用牡丹繁殖技术[J]. 林业实用技术, 2003(1): 44-45.
- [69] 刘文兰, 唐红, 张亮, 等. 甘肃紫斑牡丹茎扦插繁殖技术初探[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(11): 19-22.
- [70] 史倩倩, 王雁, 周琳, 等. 生根粉及不同基质对牡丹传统品种扦插的影响[J]. 北方园艺, 2012(1): 91-96.
- [71] 唐豆豆, 李厚华, 张延龙, 等. “凤丹”牡丹组织培养研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 160-166.
- [72] 王新, 成仿云, 钟原, 等. 凤丹牡丹鳞芽离体培养与快繁技术[J]. 林业科学, 2016, 52(5): 101-110.
- [73] 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): 54-58.
- [74] 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.
- [75] 张桂花, 王洪梅, 王连祥. 牡丹组织培养技术研究[J]. 山东农业科学, 2001(5): 16-18.
- [76] 陈怡平, 丁兰, 赵敏桂. 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.
- [77] 朱向涛, 王雁, 吴倩, 等. 江南牡丹茎段愈伤组织诱导与植株再生[J]. 核农学报, 2015, 29(1): 56-62.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] 陈松. 油用牡丹常见病害与防治[J]. 山东林业科技, 2016(5): 89-93.
- [81] 韩本贵, 徐德平, 汪丽莎, 等. 油用牡丹病虫害综合防治技术[J]. 现代农业科技, 2014(13): 161, 164.
- [82] 杨娜. 油用牡丹栽培技术及主要病虫害防治措施[J]. 中国园艺文摘, 2014(10): 225-226.

(上接第5页)

- [11] 邵兴华, 张建忠. 红壤磷吸附解吸特性及环境效应研究[J]. 广东农业科学, 2007(11): 85-87.
- [12] 邱亚群. 湖南典型土壤磷的吸附解吸机制及磷流失控制研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [13] 夏汉平, 高子勤. 磷酸盐在土壤中的竞争吸附与解吸机制[J]. 应用生态学报, 1993, 4(1): 89-93.
- [14] KUO S, LOTSE E G. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by hematite and gibbsite[J]. Soil Sci, 1973, 116(6): 400-406.
- [15] SINGH B, GILKES R J. Phosphorus sorption in relation to soil properties for the major soil types of South-Western Australia[J]. Aust J, Soil Res, 1991, 29(5): 603-618.
- [16] 夏瑶, 娄运生, 杨超光, 等. 几种水稻土对磷的吸附与解吸特性研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1369-1374.
- [17] 宫春艳, 吴英, 徐明岗, 等. 红壤和褐土中磷的吸附及其对镉离子吸附-解吸的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6): 2258-2265.
- [18] 曹志洪, 李庆远. 黄土性土壤对磷的吸附与解吸[J]. 土壤学报, 1988, 25(3): 218-225.
- [19] 秦胜金, 张玉树, 胡晓霞, 等. 不同利用方式下土壤对磷的吸附-解吸特征[J]. 现代农业科技, 2011(24): 285-287, 291.
- [20] 肖懿, 唐家良, 朱波, 等. 丘陵区紫色土不同土地利用方式下磷的吸附解吸特性[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(1): 58-64.
- [21] 杨小燕, 杨淼焱, 王恩旭, 等. 黑土区不同林龄落叶松人工林土壤磷的吸附与解吸特性[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(5): 39-43.
- [22] 邱亚群, 甘国娟, 刘伟, 等. 不同利用方式土壤中磷的吸附与解吸特性[J]. 环境工程学报, 2013, 7(7): 2757-2762.
- [23] 赵庆雷, 吴修, 袁守江, 等. 长期不同施肥模式水稻田土壤磷吸附与解吸的动态研究[J]. 草业科学, 2014, 23(1): 113-121.
- [24] 贺春风, 杨巍, 王永敏, 等. 秸秆-膨润土-PAM改良材料对沙质土壤磷素吸附解吸的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(33): 79-84.
- [25] 罗敏, 王旭东. 不同肥力壤土的土壤颗粒分布及其磷素吸附-解吸规律[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 35-45.
- [26] YOUNG E O, ROSS D S. Phosphate release from seasonally flooded soils: A laboratory microcosm study[J]. Journal of environmental quality, 2001, 30(1): 91-101.
- [27] 王慧, 易珊, 付庆灵, 等. 铁氧化物-胡敏酸复合物对磷的吸附[J]. 植物营养与肥料科学, 2012, 18(5): 1144-1152.
- [28] 谢晶晶, 庆承松, 陈天虎, 等. 几种铁(氢)氧化物对溶液中磷的吸附作用对比研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(6): 535-538.
- [29] 陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 不同质地棉田土壤对磷吸附与解吸研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 303-307.
- [30] 陈亚东, 梁成华, 王延松, 等. 氧化还原条件对湿地土壤磷吸附与解吸特性的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(4): 724-729.