

四川牡丹部分野生居群种子脂肪酸组分比较

杨 勇¹, 刘佳坤^{2,*}, 曾秀丽³, 吴 云², 宋会兴², 刘光立^{2,**}

(¹四川农业大学玉米研究所, 农业部西南玉米生物学与遗传育种重点实验室, 成都 611130; ²四川农业大学风景园林学院, 成都 611130; ³西藏自治区农牧科学院蔬菜研究所, 拉萨 850030)

摘 要: 四川牡丹 (*Paeonia decomposita* Hand.-Mazz.) 结实量大, 专性种子繁殖, 具油用开发潜力。对 7 个不同野生居群的四川牡丹种子千粒质量、种仁出油率、籽油中脂肪酸组成及相对含量进行了测定, 并探讨其与土壤因子的相关性。结果表明: 四川牡丹不同居群种子千粒质量平均为 (311.65 ± 46.45) g, 平均种仁出油率 $32.23\% \pm 1.96\%$, 居群间差异显著 ($P < 0.05$); 籽油中共检测到 7 种主要脂肪酸: 棕榈酸、十七烷酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸和花生一烯酸, 其中不饱和脂肪酸相对含量高达 91.94% ~ 93.70%, 亚麻酸相对含量高达 40.45% ~ 47.68%, 不同居群籽油脂脂肪酸组分相对含量存在差异; 土壤有效钾含量与种子出油率呈显著负相关 ($P < 0.05$), 土壤有机质、全氮含量与亚油酸含量呈显著负相关 ($P < 0.05$), 其他脂肪酸组分与土壤因子相关性不显著。

关键词: 四川牡丹; 野生居群; 牡丹籽油; 脂肪酸组分; 不饱和脂肪酸

中图分类号: S 685.11

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 09-1807-08

A Comparative Study on Composition of Seed Oil Fatty Acids of Some Wild Populations of *Paeonia decomposita*

YANG Yong¹, LIU Jia-kun^{2,*}, ZENG Xiu-li³, WU Yun², SONG Hui-xing², and LIU Guang-li^{2,**}

(¹Maize Research Institute of Sichuan Agricultural University, Key Laboratory of Maize Biology and Genetic Breeding on Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China; ²School of Landscape Architecture of Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; ³Institute of Vegetables, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China)

Abstract: *Paeonia decomposita* is potentially usable for developing oilseed peony, because of its large seed yield and obligate seed reproduction. We studied the 1 000-seed weight, kernel oil yield, composition and relative content of fatty acids in 7 wild populations, and measured their correlations with soil factors. The results showed that: Mean 1 000-seed weight was (311.65 ± 46.45) g; Mean kernel oil yield was $32.23\% \pm 1.96\%$, differences were significant among populations. Seven fatty acids were detected, including i.e. palmitic acid, heptadecanoic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid and *cis*-8-eicosenoic acid; Unsaturated fatty acids accounted for 91.94% – 93.70%, the relative were different among populations. Soil available potassium content had significant negative correlation with oil yield; Both soil organic matter and total nitrogen content had negative correlation with linoleic

收稿日期: 2015 - 07 - 07; 修回日期: 2015 - 08 - 25

基金项目: 四川省教育厅重点课题 (201ZA0009)

* 共同第一作者。

** 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liugl_1@163.com)

acid content. There was no significant correlation between soil factors and other oil constituents.

Key words: *Paeonia decomposita*; wild population; peony seed oil; composition of fatty acids; unsaturated fatty acids

2011 年中国卫生部发布了“关于批准元宝枫籽油和牡丹籽油作为新资源食品的公告”，标志着牡丹籽油正式成为中国的一种食用油。研究表明，牡丹籽油具有抗肿瘤、抗炎、改善心血管和调节免疫等医疗保健功能（Cleland et al., 2003; 吴国豪, 2007; 韩宏毅和王剑, 2010; 刘立新, 2010），现有研究主要集中在‘凤丹’牡丹（韩雪源 等, 2014; 李晓青 等, 2014）和结实率较高的紫斑牡丹品种（陈慧玲 等, 2014; 王占营 等, 2014），有关野生牡丹种子脂肪酸组分以及影响因素的研究鲜有报道。

四川牡丹（*Paeonia decomposita*）分布于四川西北部的大渡河、岷江上游河谷地带，是中国特有的国家二级濒危保护植物（傅立国和金鉴明, 1992），因其分布区域狭窄和偏远，前人对其研究主要集中在分类学（于玲 等, 1998; 周仁超和姚崇怀, 2002; 林启冰 等, 2004; 张金梅 等, 2008）、生态学（马莘 等, 2011）、遗传学（王士泉和张大明, 2008）、种子萌发特性（景新明 等, 1995; Jing & Zheng, 1999）及生理生化（Song et al., 2012; 宋会兴 等, 2012; 杨勇 等, 2013）等方面。四川牡丹为专性种子繁殖（成仿云 等, 1997），结实量大，作为开发牡丹籽油的新资源可能具有一定潜力。

本试验中通过比较四川牡丹部分野生居群种子的脂肪酸组分，探究野生四川牡丹种子脂肪酸组分的构成特点，并分析脂肪酸组分与土壤因子的相互关系，以期四川牡丹油用开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2014 年 8 月至 9 月在四川牡丹野生居群分布区四川省甘孜州和阿坝州采集 7 个居群（表 1）成熟果荚。每个居群选取 15 株蓇葖果数量超过 3 个的植株，每个植株采集 3 个蓇葖果，用网袋封装，实验室内自然风干，果荚自然开裂后收取种子，在烘箱中 46 °C 烘干 48 h。称取种子千粒质量。种子去皮后，粉碎过 40 目筛，备用。采集各居群四川牡丹植株周围 0 ~ 30 cm 土层土壤样品，去除杂物后，混合均匀装袋，带回实验室。

1.2 牡丹种子出油率与脂肪酸组分分析及土壤理化性质测定

牡丹种子出油率测定采用超临界 CO₂ 萃取法（邓瑞雪 等, 2010）。

牡丹籽油脂脂肪酸组分分析采用 GC-MS 法（韩雪源 等, 2014）。

将采集的土壤样品置于洁净、干燥、通风的室内阴干，去除杂物过 2 mm 筛后装入密封袋保存备用。土壤 pH 测定参考成斌斌（2014）的方法，有机质测定参考钱宝等（2011）的方法，全氮、有效氮、有效磷、全钾、有效钾测定参考鲁如坤（1999）的方法，全磷测定参考魏丽红（2009）的方法。

利用 SPSS 19.0 和 Excel 2010 对数据进行方差分析、相关性分析。

表 1 不同居群地理信息
Table 1 Geographic information of different populations

| 居群代码 Code of population | 采样点 Sampling site | 经度 Longitude | 纬度 Latitude | 海拔/m Elevation | 生境 Biotope | 主要伴生植物 Main accompanying plant |
|-------------------------------|---|-----------------|----------------|-------------------|---|---|
| MS | 马尔康县松岗 Songgang, Maerkang County | 102.1018 | 31.9138 | 2 544 | 林内, 灌丛, 山坡 Forests, thickets, hillsides | 麻栎、槲子栎、散生栒子等 <i>Quercus dentata</i> , <i>Q. baronii</i> , <i>Cotoneaster divaricatus</i> etc |
| MB | 马尔康县白湾 Baiwan, Maerkang County | 101.9435 | 31.8452 | 2 471 | 林内, 灌丛, 山坡 Forests, thickets, hillsides | 黄栌、槭树、小叶蔷薇等 <i>Cotinus coggygia</i> , <i>Acer</i> spp., <i>Rosa willmottiae</i> etc |
| MJ | 马尔康县脚木足 Jiaomuzu, Maerkang County | 102.039 | 31.9889 | 2 501 | 林内, 灌丛 Forests, thickets | 青杨、野花椒、小叶蔷薇等 <i>Populus cathayana</i> , <i>Zanthoxylum simulans</i> , <i>Rosa willmottiae</i> etc |
| JM | 金川县末末扎 Momozha, Jinchuan County | 102.0164 | 31.3206 | 2 146 | 林内 Forests | 青杨、槭树、野蔷薇等 <i>Populus cayhayana</i> , <i>Acer</i> spp., <i>Rosa</i> spp. etc |
| HX | 黑水县西尔 Xi'er, Heishui County | 103.1566 | 32.0841 | 2 143 | 灌丛 Thickets | 小叶蔷薇、平枝栒子, 野花椒等 <i>Rosa willmottiae</i> , <i>Cotoneaster horizontalis</i> , <i>Zanthoxylum simulans</i> etc |
| LT | 理县桃坪 Taoping, Li County | 103.4597 | 31.592 | 2 148 | 灌丛, 山坡 Thickets, hillsides | 蚝猪刺、野花椒、小叶蔷薇等 <i>Berberis julianae</i> , <i>Zanthoxylum simulans</i> , <i>Rosa willmottiae</i> etc |
| LG | 理县甘堡 Ganbao, Li County | 103.8392 | 31.4967 | 2 218 | 林内, 灌丛, 山坡 Forests, thickets, hillsides | 麻栎、榉树、小叶蔷薇等 <i>Quercus dentata</i> , <i>Zelkova schuneideriana</i> , <i>Rosa willmottiae</i> etc |

2 结果与分析

2.1 不同居群四川牡丹种子千粒质量、出油率及脂肪酸组分分析

如表 2 所示, 四川牡丹 7 个居群种子千粒质量差异显著, LT 居群最大, 为 398.94 g ± 68.95 g, JM 居群最小, 为 213.08 g ± 18.49 g。HX 居群千粒质量变异系数最大, JM 居群变异系数最小。不同居群四川牡丹出油率平均 32.23%, MJ 居群最高, 达 36.64%, LT 居群最低, 仅有 29.24%。

表 2 四川牡丹 7 个居群种子千粒质量、出油率、脂肪酸组成及相对含量
Table 2 The 1 000-seed weight, oil yield, composition and relative content of fatty acids of
Paeonia decomposita seed from 7 populations

| 居群 Code of population | 千粒质量/g 1 000-seed weight | 出油率/% Oil yield | 相对含量/% Relative content | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| | | | 饱和脂肪酸 Saturated fatty acids | | | 不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids | | | |
| | | | 棕榈酸 Palmitic acid | 十七烷酸 Heptadecanoic acid | 硬脂酸 Stearic acid | 油酸 Oleic acid | 亚油酸 Linoleic acid | 亚麻酸 Linolenic acid | 花生一烯酸 <i>cis</i> -8-eicosenoic acid |
| MS | 290.48 ± 29.47 cd | 32.81 ± 1.36 bc | 4.71 | 0.13 | 1.32 | 29.17 | 23.85 | 40.45 | 0.23 |
| MB | 250.75 ± 22.74 de | 34.09 ± 1.89 b | 4.69 | 0.12 | 1.37 | 28.44 | 23.03 | 41.93 | 0.21 |
| MJ | 254.33 ± 40.20 de | 36.64 ± 0.97 a | 5.07 | 0.13 | 1.69 | 26.93 | 19.10 | 46.43 | 0.23 |
| JM | 213.08 ± 18.49 e | 31.37 ± 1.25 cd | 5.76 | 0.14 | 1.75 | 26.69 | 19.44 | 45.61 | 0.19 |
| HX | 354.34 ± 65.06 ab | 31.41 ± 1.18 c | 4.76 | 0.13 | 1.44 | 26.88 | 19.52 | 46.77 | 0.22 |
| LT | 398.94 ± 68.95 a | 29.24 ± 1.24 d | 4.78 | 微量 | Trace | 24.85 | 20.64 | 47.68 | 0.21 |
| LG | 320.96 ± 51.29 bc | 30.03 ± 0.86 d | 4.71 | 0.13 | 1.32 | 29.14 | 23.80 | 40.46 | 0.23 |

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different small letters indicate significant difference ($P < 0.05$) .

四川牡丹籽油中检测到 7 种脂肪酸成分, 其中包含不饱和脂肪酸 4 种: 亚麻酸、油酸、亚油酸和花生一烯酸, 但花生一烯酸相对含量较少, 不足 1%。饱和脂肪酸 3 种: 棕榈酸、十七烷酸和硬脂酸, 十七烷酸相对含量小于 1%。不同居群牡丹籽油中 7 种脂肪酸的总相对含量较为接近, 平均值为 99.77%。不饱和脂肪酸相对含量基本稳定在 92% ~ 94% 之间。饱和脂肪酸相对含量最高的为 JM 居群 (7.76%), 其次是 MJ 居群 (7.02%), 其他 5 个居群相对含量较一致, 且都低于 6.5%。

四川牡丹籽油不饱和脂肪酸中相对含量最高的是亚麻酸, 平均为 44.1%, 居群间差异显著, 含量最高的为 LT 居群 (47.68%), 最低为 MS 居群 (40.45%)。其次是油酸, 平均为 27.44%, MS 居群最高 (29.17%), LT 居群最低 (24.85%)。再次是亚油酸相, 最高的为 MS 居群 (23.85%), MJ 居群最低 (19.10%)。饱和脂肪酸中棕榈酸相对含量最高, 不同居群中棕榈酸平均含量为 4.93%, 占饱和脂肪酸总量的 70% 左右, 含量最高为 JM 居群 (5.76%), 最低是 MB 居群 (4.69%)。硬脂酸相对含量平均为 1.50%, JM 居群最高 (1.75%), MS 居群和 LG 居群最低 (1.32%)。

2.2 四川牡丹居群种子千粒质量、出油率及脂肪酸组分与土壤化学性质的关系

如表 3, 四川牡丹不同居群的土壤 pH 均大于 7, 土壤均偏碱性。7 个居群土壤全氮含量在 0.57 ~ 3.58 g · kg⁻¹ 之间, 碱解氮含量 31.93 ~ 304.60 mg · kg⁻¹, 土壤有机质含量在 11.17 ~ 69.99 g · kg⁻¹ 之间, 且这 3 个指标在各居群之间差异显著, 说明不同居群的土壤肥力水平差异较大。土壤全磷、有效磷、全钾含量在各个居群间差异显著; 有效钾含量在各个居群之间较为一致 (约 150 mg · kg⁻¹), 差异不显著。

利用 SPSS19.0 对四川牡丹种子千粒质量、出油率、5 种相对含量超过 1% 的脂肪酸以及不饱和脂肪酸含量与各土壤因子进行了两两相关分析。结果显示, 种子千粒质量与土壤各因子相关性均不显著; 出油率与土壤有效钾含量呈显著负相关, 相关系数为 -0.842*, 出油率与其它土壤因子相关性不显著; 亚油酸含量与土壤有机质及全氮含量表现为显著负相关, 相关系数分别为 -0.760* 和 -0.787*; 其他脂肪酸组分与土壤各因子相关性未到显著水平。

表 3 四川牡丹野生居群土壤数据
Table 3 Soil data from different population of *Paeonia decomposita*

| 居群 Population | pH | 有机质/ (g · kg ⁻¹) Organic matter | 全氮/ (g · kg ⁻¹) Total nitrogen | 碱解氮/ (mg · kg ⁻¹) Avaible-N | 全磷/ (g · kg ⁻¹) Total phosphorus | 有效磷/ (mg · kg ⁻¹) Avaible-P | 全钾/ (g · kg ⁻¹) Total potassium | 有效钾/ (mg · kg ⁻¹) Avaible-K |
|------------------|----------------|---|--|---|--|---|---|---|
| MS | 7.48 ± 0.08 ab | 21.92 ± 0.61 f | 1.19 ± 0.04 f | 102.53 ± 1.50 f | 1.51 ± 0.01 a | 5.29 ± 0.04 c | 24.92 ± 0.45 ab | 154.07 ± 3.17 a |
| MB | 8.04 ± 0.03 a | 11.17 ± 1.08 g | 0.57 ± 0.01 g | 31.93 ± 0.51 g | 0.95 ± 0.07 bc | 2.91 ± 0.03 f | 25.17 ± 0.01 ab | 146.14 ± 1.82 a |
| MJ | 7.46 ± 0.02 ab | 64.42 ± 1.05 b | 3.15 ± 0.02 b | 287.10 ± 3.14 b | 1.04 ± 0.18 b | 5.65 ± 0.03 b | 22.18 ± 0.34 b | 150.72 ± 0.31 a |
| JM | 7.59 ± 0.06 ab | 33.20 ± 0.78 d | 1.81 ± 0.04 d | 112.77 ± 1.45 e | 1.05 ± 0.18 b | 3.29 ± 0.02 e | 33.85 ± 1.47 a | 137.75 ± 26.86 a |
| HX | 7.53 ± 0.75 ab | 69.99 ± 1.42 a | 3.58 ± 0.06 a | 304.60 ± 4.81 a | 1.55 ± 0.02 a | 9.45 ± 0.19 a | 26.80 ± 0.01 ab | 154.82 ± 3.24 a |
| LT | 7.57 ± 0.02 ab | 42.22 ± 0.62 c | 2.22 ± 0.04 c | 171.93 ± 3.65 c | 0.75 ± 0.01 cd | 3.20 ± 0.09 e | 26.43 ± 0.51 ab | 152.34 ± 0.95 a |
| LP | 7.20 ± 0.05 b | 26.76 ± 0.48 e | 1.26 ± 0.02 e | 120.83 ± 1.72 d | 0.65 ± 0.11 d | 4.15 ± 0.07 d | 31.71 ± 0.68 ab | 153.34 ± 0.68 a |

注: 同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters indicate significant difference in the same column ($P < 0.05$).

3 讨论

在查阅相关资料 (Hong, 1997; 刘光立, 2013) 后总结发现, 四川牡丹主要分布在四川省阿坝州和甘孜州部分县。前人共发现四川牡丹资源分布较为集中的居群 16 个, 基本沿大渡河和岷江的干

旱河谷地带分布, 北到松潘县镇江关 (N103.7123°, E32.3330°), 南到康定县舍联 (N102.1837°, E30.2371°), 西到丹巴县革什扎 (N101.9277°, E30.9422°), 同时镇江关也是四川牡丹分布的最东端。所有居群中康定县舍联海拔最低 (1 931 m), 小金县扶边海拔最高 (2 843 m), 四川牡丹的分布海拔基本在 2 000 ~ 2 800 m; 多见于东南坡、西南坡, 极少见分布于南坡和北坡。本次试验中共采集以上居群中的 7 个居群的种子作为材料, 采用比例约占所有发现居群的 40%。采样尽量覆盖四川牡丹的分布区域, 尽量避免采集成年开花个体数量较少的居群, 以利于其自然繁殖更新。另外四川牡丹各个居群种子成熟时间存在差异, 部分居群采集种子时果荚已经开裂, 种子散落, 未能采集到足够数量种子以供后期试验, 故放弃了这些居群。

四川牡丹各个居群间种子千粒质量存在显著差异, 理县桃坪 (LT) 居群种子千粒质量最大, 是金川末末扎 (JM) 居群的 1.86 倍。刘光立 (2013) 研究发现四川牡丹居群间存在较高的遗传多样性, 遗传背景的差异可能是导致四川牡丹不同居群间种子千粒质量存在显著差异的重要原因, 另外居群所处小环境的土壤营养状况、气象条件以及种子的成熟度对种子千粒质量也会产生影响 (韩雪源 等, 2014; 李晓青 等, 2014; Li et al., 2015)。本研究中利用的 7 个居群四川牡丹种子平均千粒质量为 (311.65 ± 46.45) g, 人工栽培条件下的‘凤丹’和紫斑牡丹油用品种的千粒质量分别为: (303.70 ± 65.19) g 和 (325.73 ± 59.18) g (李晓青 等, 2014; 王占营 等, 2014), 四川牡丹种子千粒质量与现在主栽油用牡丹品种的种子千粒质量接近。

四川牡丹不同居群间种仁出油率也存在显著差异, 马尔康县的 3 个居群出油率较高, 均大于 32.5%, 另外 4 个居群出油率均低于 31.5%, 同时发现马尔康县的 3 个居群所处海拔 (2 471 ~ 2 544 m) 较另外 4 个居群 (2 143 ~ 2 218 m) 高约 300 m。前人研究发现随着海拔升高, 光照强度增加, 有利于提高种子出油率 (Darwish, 2014), 本研究结果也支持这一观点。四川牡丹种子的出油率在 29.24% ~ 36.64% 之间, 平均为 $32.23\% \pm 1.96\%$, 同样采取超临界 CO₂ 萃取法提取, ‘凤丹’种子出油率最高为 30.70% (邓瑞雪 等, 2010; 史国安 等, 2013), 说明四川牡丹种子含油量高于现在的主栽油用牡丹品种‘凤丹’。

试验共测得四川牡丹籽油中脂肪酸 7 种, 其中主要脂肪酸 (相对含量 $\geq 1\%$) 5 种: 棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸, 与栽培牡丹试验结果 (史国安 等, 2013; 韩雪源 等, 2014) 一致。四川牡丹总不饱和脂肪酸相对含量在 7 个居群之间较为一致, 但同时也发现, 各个居群之间亚麻酸、油酸和亚油酸相对含量存在差异。前人关于其他油料作物 (张礼凤 等, 2008; 张垚 等, 2008; 赵利 等, 2008) 的研究发现, 油菜、大豆、胡麻等油料作物品种间脂肪酸组分存在较大差异, 因此推测四川牡丹各居群间亚麻酸、油酸和亚油酸含量存在差异可能与其遗传背景不同有关。对四川牡丹籽油成分的分析发现其不饱和脂肪酸含量在 91.94% ~ 93.70% 之间, 平均 $93.19\% \pm 0.50\%$, 高于主栽油用牡丹品种 (多个产地‘凤丹’平均为 $89.39\% \pm 2.51\%$, 多个产地紫斑牡丹油用品种平均为 $92.57\% \pm 0.59\%$); 四川牡丹亚麻酸相对含量平均为 44.19%, 油酸为 27.44%, 亚油酸为 21.34%, 与‘凤丹’和紫斑牡丹油用品种接近 (王昌涛 等, 2009; 易军鹏 等, 2009; 翟文婷 等, 2013; 李晓青 等, 2014; Li et al., 2015)。

本研究中发现四川牡丹种子出油率与土壤中有效钾含量呈显著负相关, 前人关于脂肪酸成分与土壤的研究发现脂肪酸的合成需要钾肥的量仅次于氮肥 (张兴旺, 2002), 植物缺少钾肥将不能正常合成淀粉和脂肪酸 (吕忠恕, 1982), 因此推测四川牡丹在种子形成和成熟期对土壤中有效钾的吸收和利用速率较高, 大于土壤分解产生的有效钾, 导致土壤中有效钾含量较低。本研究中发现亚油酸含量与土壤有机质、全氮含量呈显著负相关, 因此推测有机质与氮肥含量高不利于四川牡丹亚

油酸的积累。

综上所述,四川牡丹作为一种尚未被重视的野生牡丹资源,千粒质量与主栽油用牡丹品种接近,出油率和油脂品质较主栽油用牡丹品种有一定优势,在油用牡丹生产与育种上具有较大的开发价值。

References

- Chen Hui-ling, Li Hong-xi, Zhang Jian-hua, Zhang Xin-ye, Dai Jun-hua, Li Zhen-fang, Zhou Guo-qing, Yang Yan-ling. 2014. The growth adaptation and seed-bearing characteristics of *Paeonia rockii* 'Baokang Ziban' in Hubei Province. China Forestry Science and Technology, 28 (4): 43 - 46. (in Chinese)
- 陈慧玲, 李洪喜, 张建华, 张新叶, 戴均华, 李振芳, 周国清, 杨彦伶. 2014. '保康紫斑' 牡丹生长适应性及结籽性状. 林业科技开发, 28 (4): 43 - 46.
- Cheng Bin-bin. 2014. The determination of soil pH. Chemistry Teaching and Learning, 34 (4): 95 - 97. (in Chinese)
- 成斌斌. 2014. 土壤 pH 的测定. 化学与生活, 34 (4): 95 - 97.
- Cheng Fang-yun, Li Jia-jue, Chen De-zhong. 1997. The natural propagation characteristics of wild tree peony species in China. Acta Horticulturae Sinica, 24 (2): 180 - 184. (in Chinese)
- 成仿云, 李嘉钰, 陈德忠. 1997. 中国野生牡丹自然繁殖特性研究. 园艺学报, 24 (2): 180 - 184.
- Cleland L G, James M J, Proudman S M. 2003. The role of fish oils in the treatment of rheumatoid arthritis. Drugs, 63 (9): 845 - 853.
- Darwish M S A. 2014. Essential oil variation and trace metals content in garden sage (*Salvia officinalis* L.) grown at different environmental conditions. Journal of Agricultural Science, 6 (3): 209 - 214.
- Deng Rui-xue, Liu Zhen, Qin Lin-lin, Wang Li, Liu Xue-qin, Liu Pu. 2010. Optimization of supercritical CO₂ extraction and analysis of chemical composition of peony seed oil. Food Science, 31 (10): 142 - 145. (in Chinese)
- 邓瑞雪, 刘 振, 秦琳琳, 王 莉, 刘雪琴, 刘 普. 2010. 超临界 CO₂ 流体提取洛阳牡丹籽油工艺研究. 食品科学, 31 (10): 142 - 145.
- Fu Li-guo, Jin Jian-ming. 1992. China plant red data book - Rare and endangered plants. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 傅立国, 金鉴明. 1992. 中国植物红皮书——稀有濒危植物. 北京: 科学出版社.
- Han Hong-yi, Wang Jian. 2010. Polyunsaturated fatty acids and its physiological function. Chinese Journal of Clinical Research, 23 (6): 523 - 525. (in Chinese)
- 韩宏毅, 王 剑. 2010. 多不饱和脂肪酸及其生理功能. 中国临床研究, 23 (6): 523 - 525.
- Han Xue-yuan, Zhang Yan-long, Niu Li-xin, Luo Jian-rang. 2014. Fatty acid composition of 'Fengdan' peony seed oils from different growing regions. Food Science, 35 (22): 181 - 184. (in Chinese)
- 韩雪源, 张延龙, 牛立新, 罗建让. 2014. 不同产地 '凤丹' 牡丹籽油主要脂肪酸成分分析. 食品科学, 35 (22): 181 - 184.
- Hong D Y. 1997. Note on *Paeonia decomposita* Hand.-Mazz. Kew Bulletin, 52 (4): 957 - 963.
- Jing Xin-ming, Zheng Guang-hua, Pei Yan-long, Hong De-yuan. 1995. A study on the relationship between seed germination of wild *Paeonia rockii* and *P. szechuannica* and their endangerment. Chinese Biodiversity, 3 (2): 84 - 87. (in Chinese)
- 景新明, 郑光华, 裴颜龙, 洪德元. 1995. 野生紫斑牡丹和四川牡丹种子萌发特性及与其濒危的关系. 生物多样性, 3 (2): 84 - 87.
- Jing X M, Zheng G H. 1999. The characteristics in seed germination and dormancy of four wild species of tree peonies and their bearing on endangerment. Acta Phytophysiological Sinica, 25 (3): 214 - 221.
- Li S S, Wang L S, Shu Q Y, Wu J, Chen L G, Shao S, Yin D D. 2015. Fatty acid composition of developing tree peony (*Paeonia* section Moutan DC.) seeds and transcriptome analysis during seed development. BioMed Central Genomics, DOI: 10.1186/s12864-015-1429-0.
- Li Xiao-qing, Han Ji-gang, Liu Zhao, Liu Qing-hua, Hu Yong-hong. 2014. Economic characteristics investigation and seed oil fatty acid composition analysis of *paeonia ostii* plants in different areas. Cereals & Oils, 27 (4): 43 - 46. (in Chinese)
- 李晓青, 韩继刚, 刘 滔, 刘庆华, 胡永红. 2014. 不同地区凤丹经济性状及其籽油脂脂肪酸成分分析. 粮食与油脂, 27 (4): 43 - 46.
- Lin Qi-bing, Zhou Zhi-qin, Zhao Xuan, Pan Kai-yu, Hong De-yuan. 2004. Interspecific relationships among the wild species of *Paeonia* Sect. *Moutan* DC. based on DNA sequences of *Adh* gene family. Acta Horticulturae Sinica, 31 (5): 627 - 632. (in Chinese)

- 林启冰, 周志钦, 赵 宣, 潘开玉, 洪德元. 2004. 基于 *Adh* 基因家族序列的牡丹组 (*Sect. Moutan* DC.) 种间关系. 园艺学报, 31 (5): 627 - 632.
- Liu Guang-li. 2013. Studies on genetic diversity of *Paeonia decomposita* in natural populations [Ph. D. Dissertation]. Chengdu: Sichuan Agricultural University. (in Chinese)
- 刘光立. 2013. 四川牡丹 (*Paeonia decomposita*) 自然居群遗传多样性研究 [博士论文]. 成都: 四川农业大学.
- Liu Li-xin. 2010. Effect of omega-3 fatty acids on endothelial functions in hypertension patients with carotid arterial atherosclerosis. The Chinese Journal of Clinical Pharmacology, 26 (5): 330 - 333. (in Chinese)
- 刘立新. 2010. Omega-3 脂肪酸对高血压合并颈动脉粥样硬化患者血管内皮功能的影响. 中国临床药理学杂志, 26 (5): 330 - 333.
- Lu Ru-kun. 1999. Methods of agricultural chemical analysis in soil. Beijing: China Science and Technology Press. (in Chinese)
- 鲁如坤. 1999. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国科学技术出版社.
- Lü Zhong-shu. 1982. Fruit tree physiology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House. (in Chinese)
- 吕忠恕. 1982. 果树生理. 上海: 上海科学技术出版社.
- Ma Xin, Xia Ying, Ma Qing-qing, Song Hui-xing. 2011. An analysis on niche and degree of spatial association of *Paeonia decomposita* community. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition, 28 (4): 57 - 61. (in Chinese)
- 马 莘, 夏 颖, 马庆庆, 宋会兴. 2011. 四川牡丹群落物种生态位及空间关联度分析. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 28 (4): 57 - 61.
- Qian Bao, Liu Ling, Xiao Xiao. 2011. Comparative tests on different methods for content of soil organic matter. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 39 (1): 34 - 38. (in Chinese)
- 钱 宝, 刘 凌, 肖 潇. 2011. 土壤有机质测定方法对比分析. 河海大学学报: 自然科学版, 39 (1): 34 - 38.
- Shi Guo-an, Guo Xiang-feng, Jin Bao-lei, Huang Hai-xia, Wang Wei, Zhang Shu-xia, Wang Feng-lou. 2013. Optimization of supercritical CO₂ extraction and analysis of antioxidation activity of peony seed oil. Journal of the Chinese Cereals and oil Association, 28 (4): 47 - 50. (in Chinese)
- 史国安, 郭香凤, 金宝磊, 黄海霞, 王 玮, 张淑霞, 王凤楼. 2013. 牡丹籽油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及抗氧化活性的研究. 中国粮油学报, 28 (4): 47 - 50.
- Song H X, Liu G L, Chen Q B. 2012. Effects of aqueous extracts of *Paeonia decomposita* seeds on germination and some metabolic activities associated with growth of wheat seedlings. Acta Biologica Hungarica, 63 (3): 362 - 371.
- Song Hui-xing, Liu Guang-li, Gao Su-ping, Chen Qi-bing. 2012. Effects of crude extracts of *Paeonia decomposita* seeds on germination and activities of antioxidant enzyme of *Brassica pekinensis*. Acta Horticulturae Sinica, 39 (2): 376 - 380. (in Chinese)
- 宋会兴, 刘光立, 高素萍, 陈其兵. 2012. 四川牡丹种子浸提液内源抑制物活性初探. 园艺学报, 39 (2): 376 - 380.
- Wang Chang-tao, Zhang Ping, Dong Yin-mao. 2009. The technique of the extraction of oil from peony seed with supercritical CO₂ extraction method and the analysis of the composition. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 24 (8): 96 - 99. (in Chinese)
- 王昌涛, 张 萍, 董银卯. 2009. 超临界 CO₂ 提取牡丹籽油的工艺以及成分分析. 中国粮油学报, 24 (8): 96 - 99.
- Wang Shi-quan, Zhang Da-ming. 2008. Meiotic abnormalities of the fifth pair of chromosomes in *Paeonia decomposita* and *P. intermedia*. Journal of Systematics and Evolution, 46 (2): 155 - 162. (in Chinese)
- 王士泉, 张大明. 2008. 四川牡丹和块根芍药第五号染色体异常的减数分裂证据. 植物分类学报, 46 (2): 155 - 162.
- Wang Zhan-ying, Wang Er-qiang, Guo Ya-zhen, Liu Hong-fan, Wang Xiao-hui, Han Kun. 2014. Preliminary report on screening of oil-purpose peony from northwest variety group in Luoyang region. Acta Agriculturae Jiangxi, 26 (7): 32 - 34. (in Chinese)
- 王占营, 王二强, 郭亚珍, 刘红凡, 王晓晖, 韩 鲲. 2014. 洛阳地区西北品种群油用型牡丹筛选初报. 江西农业学报, 26 (7): 32 - 34.
- Wei Li-hong. 2009. Comparison of decomposition and colorimetry methods in determination of soil total phosphorus. Journal of Liaoning Agricultural Vocation-Technical College, 11 (2): 1 - 3. (in Chinese)
- 魏丽红. 2009. 土壤全磷测定中样品分解与比色方法的比较研究. 辽宁农业职业技术学院学报, 11 (2): 1 - 3.
- Wu Guo-hao. 2007. Nutritional support in the treatment of inflammatory bowel disease. Chinese Journal of Practical Surgery, 27 (3): 197 - 199. (in

- Chinese)
- 吴国豪. 2007. 营养支持在炎症性肠疾病治疗中的价值. 中国实用外科杂志, 27 (3): 197 - 199.
- Yang Yong, Liu Guang-li, Song Hui-xing, Chen Ya-ling. 2013. Effects of *Paeonia decomposita* endosperm extracts on seeds germination and seedling growth of *Brassica campestris*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 26 (1): 89 - 92. (in Chinese)
- 杨 勇, 刘光立, 宋会兴, 陈娅龄. 2013. 四川牡丹胚乳浸提液对油菜种子萌发与幼苗生长的影响. 西南农业学报, 26 (1): 89 - 92.
- Yi Jun-peng, Zhu Wen-xue, Ma Hai-le, Wang Yi-fen. 2009. Optimization of microwave-assisted extraction of oil from *Paeonia suffruticosa* Andr. seeds using response surface analysis. *Food Science*, 30 (14): 99 - 104. (in Chinese)
- 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 王易芬. 2009. 响应面法优化微波提取牡丹籽油的工艺研究. 食品科学, 30 (14): 99 - 104.
- Yu Ling, He Li-xia, Li Jia-jue, Cheng Fang-yun. 1998. Comparative studies on protein zones of wild tree peony species. *Acta Horticulturae Sinica*, 25 (1): 99 - 101. (in Chinese)
- 于 玲, 何丽霞, 李嘉珏, 成仿云. 1998. 牡丹野生种间蛋白质谱带的比较研究. 园艺学报, 25 (1): 99 - 101.
- Zhai Wen-ting, Zhu Xian-biao, Li Yan-li, Xu Hui. 2013. Chemical constituents and antioxidant activity of peony seed oil. *Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering Edition*, 26 (2): 147 - 150. (in Chinese)
- 翟文婷, 朱献标, 李艳丽, 许 卉. 2013. 牡丹籽油成分分析及其抗氧化活性研究. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 26 (2): 147 - 150.
- Zhao Li, Dang Zhan-hai, Zhang Jian-ping, Guan Tian-xia, Tian Cai-ping. 2008. Study on quality characters and correlation of different types of flax germplasm. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 26 (5): 6 - 9, 16. (in Chinese)
- 赵 利, 党占海, 张建平, 关天霞, 田彩萍. 2008. 不同类型胡麻品种资源品质特征及其相关性研究. 干旱地区农业研究, 26 (5): 6 - 9, 16.
- Zhang Jin-mei, Wang Jian-xiu, Xia Tao, Zhou Shi-liang. 2008. Application of clarification the species problem of *Paeonia* Sect. *Moutan* DC. based on the phylogenetic analysis of DNA barcode technology. *Science in China: Series C*, 38 (12): 1166 - 1176. (in Chinese)
- 张金梅, 王建秀, 夏 涛, 周世良. 2008. 基于系统发育分析的 DNA 条形码技术在澄清芍药属牡丹组物种问题中的应用. 中国科学: C 辑: 生命科学, 38 (12): 1166 - 1176.
- Zhang Li-feng, Li Wei, Wang Jian-cheng, Xu Ran, Wang Cai-jie, Dai Hai-ying. 2008. Fat content and composition of fatty acid of soybean cultivars in Huanghuaihai region of China. *Soybean Science*, 27 (5): 755 - 759. (in Chinese)
- 张礼凤, 李 伟, 王建成, 徐 冉, 王彩洁, 戴海英. 2008. 黄淮海地区大豆品种脂肪酸组成成分及其变化规律. 大豆科学, 27 (5): 755 - 759.
- Zhang Xing-wang. 2002. Fertilizer characteristics of trees and fertilization methods. *Yunnan Forestry*, (4): 17. (in Chinese)
- 张兴旺. 2002. 核桃树的需肥特性和施肥方法. 云南林业, (4): 17.
- Zhang Yao, Li Yun-chang, Mei De-sheng, Hu Qiong. 2008. Advance in lipid research of rapeseed. *Chinese Bulletin of Botany*, 24 (4): 435 - 443. (in Chinese)
- 张 堃, 李云昌, 梅德圣, 胡 琼. 2008. 油菜油脂研究进展. 植物学通报, 24 (4): 435 - 443.
- Zhou Ren-chao, Yao Chong-huai. 2002. Studies on phylogeny of *Paenonia* Section *Moutan* Subsection *vaginatae*. *Bulletin of Botanical Research*, 22 (1): 72 - 75. (in Chinese)
- 周仁超, 姚崇怀. 2002. 芍药属牡丹组革质花盘亚组的系统演化探讨. 植物研究, 22 (1): 72 - 75.