

# 丹参开花与繁育特性研究

宋振巧, 王建华, 王洪刚\*, 赵夫娟, 郝力武

(山东农业大学农学院, 山东泰安 271018)

**摘 要:** 通过田间观察和人工授粉等方法, 对丹参 (*Salvia miltiorrhiza* Bge.) 的开花生物学和繁育特性进行了初步研究。结果表明: 丹参为无限开花植物, 总状花序上通常有两性花近 50 朵, 单花花期 5 ~ 7 d, 从花前 2 d 到开花 6 h 花粉活力和柱头可授性都较大, 两者有效可遇期约为 1.5 d, 可同花自交; 丹参自交结实和自然结实主要是通过同株异花传粉获得; 结合花粉 胚珠比、杂交指数以及繁育处理的结果认为, 丹参不存在无融合生殖, 繁育类型为兼性异交, 自交亲和, 需要传粉者; 传粉媒介主要是蜂类。初步推断丹参为常异花授粉植物, 并对丹参育种中适宜采用的杂交方法及育种途径进行了探讨。

**关键词:** 丹参; 传粉生物学; 繁育; 访花昆虫

中图分类号: S 567.5<sup>+</sup>3 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2009) 06-0905-06

## Studies of the Floral Biology, Breeding Characters of *Salvia miltiorrhiza*

SONG Zhen-qiao, WANG Jian-hua, WANG Hong-gang\*, ZHAO Fu-juan, and HAO Li-wu

(Agronomy College, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

**Abstract:** Field observations and artificial pollination experiments were conducted on the floral biology, pollination process and breeding characters of *Salvia miltiorrhiza*. The flowers were bisexual and never-ending, with fifty in a raceme. The blossom of a single flower could last approximately 5 - 7 days. Pollination peak last from 2 days before blossom to 6 hours after blossom, and the higher stigma receptive stage was the same time. Self-pollination was possible by temporal and spatial superposition of male and female organs for 2 days within the same flower. Seed set percentage of autogamous selfing in isolation without emasculation condition and geitonogamous selfing mainly pollinated through different flower in one plant. The results indicated that no apomixis occurred, the breeding system was outcrossing with self-compatibility and pollinators were needed based on the pollen-ovule ratio (P/O), out-crossing index and the results of emasculation, bagging and artificial pollination studies. The most frequent floral visitors were bees. It was inferred elementary that *S. miltiorrhiza* belong to often cross-pollinated plant. The crossing method and breeding strategy were discussed.

**Key words:** *Salvia miltiorrhiza*; pollination biology; breeding system; pollination insect

丹参 (*Salvia miltiorrhiza* Bge.) 为唇形科鼠尾草属多年生植物, 其根及根茎是我国常用的大宗中药材, 具有镇静安神, 消肿止痛, 祛瘀生新, 活血调经等功效 (卫生部药典委员会, 2005)。以往对丹参的研究侧重在形态分类 (张兴国等, 2002; 舒志明等, 2007)、遗传多样性 (郭宝林等, 2002; 汪红和王强, 2005)、基因克隆 (崔光红等, 2007) 等方面, 至今未见品种登记或审定, 对其传粉研究也仅有初步的观察报道 (李今, 2001; 刘文婷, 2004)。作者对泰山野生驯化丹参进行研究, 旨在揭示丹参的生殖与传粉、繁育等自然特性, 为制定杂交技术和培育新品种提供科学依据。

收稿日期: 2008 - 12 - 26; 修回日期: 2009 - 02 - 27

基金项目: 山东省农业良种工程项目 [2007] 217-12

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: hgwang@sdau.edu.cn)

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2007 年 4 月 11 月在山东农业大学药用植物园进行。试验材料来自泰山野生丹参 (*Salvia miltiorrhiza*), 由山东农业大学药用植物研究室王建华教授鉴定, 材料经过驯化并栽培多年。

### 1.2 方法

1.2.1 开花习性观察 在自然条件下, 随机选取 10~15 株丹参, 对 30 朵幼嫩的花蕾挂牌, 连续数天定位观察并记录其单花和单株的开放进程, 直至花瓣脱落。开花当天从 7:30 至 18:30, 每隔 3 h 观察记录唇瓣、花冠、柱头、花药等部位的形态变化。

1.2.2 花粉活力、柱头可授性与有性繁育的测定 花粉活力的测定方法: 分别采集处于不同发育时期 (花前 48 h、花前 24 h、花后 1、3、6、9、24、48 h) 的新鲜花朵, 将 1~2 滴 0.5% TTC (2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride) 溶液置于花粉样品中, 充分混匀后盖上盖玻片, 置于湿润培养皿中, 37℃ 下置 20 min 后在显微镜下观察, 若花粉变红则表明有活力, 若红色浅或无变化或变黑色则表明为无活力。在显微镜下分别计数一个视野中花粉的总数和有生活力的 (深红色) 花粉数, 每朵花检测 5 个视野, 按下式计算有生活力花粉的比例用以代表花粉活力: 即花粉活力 (%) = (变深红色的花粉数目 / 花粉总数) × 100。每朵花统计花粉数 > 500 粒, 每个时期重复 10 朵花。

柱头可授性的检测方法: 选择处于同一时期 (开花前 48 h) 的 240 个花蕾, 去雄套袋, 分 8 个不同时间 (花前 48 和 24 h, 花后 1、3、6、9、24 和 48 h) 进行授粉套袋, 每组 30 个花。花粉采自当天开放的花朵。待种子成熟后摘袋统计结籽率。

单花花粉量、胚珠数和花粉 胚珠比率 (P/O) 的测定: 参考 Cruden (1977) 的方法, 随机选取即将开放的花蕾从中取下花药, 然后解剖花药, 将全部花粉移入装有 1 mL 蒸馏水的离心管中, 在振荡器下振荡 60 s 后, 用移液枪吸取 1 μL 的花粉液于载玻片上, 在显微镜下观察花粉数并计数为 a, 每个花药重复 10 次, 取平均值 乘以花药数, 得出每朵花的花粉量, 即为  $\frac{a}{10} \times 1000 \times 2$  (丹参 4 枚花药, 2 枚退化)。同时将每朵花的子房置于载玻片上在解剖镜 (40×) 下进行解剖, 观察并统计胚珠数 O。每一朵花的花粉 胚珠比 (P/O) 用其单花的花粉量除以其子房中的胚珠数得出。

杂交指数 (outcrossing index, OI) 估算: 按照 Dafni (1993) 的标准进行花序直径、花朵大小和开花行为的测量及繁育的评判。

1.2.3 套袋、去雄及人工授粉 6 个处理: 不去雄、不套袋, 用于检测自然传粉情况; 去雄、不套袋, 检测自然条件下异花传粉情况; 不去雄、套袋, 检测自然条件下的自交结实, 分单花、2 朵和多花套袋; 去雄、套袋、异株异花授粉, 检测杂交是否亲和; 去雄、套袋、同株异花授粉, 检测同株异花之间人工授粉是否受精; 去雄、套袋、不授粉, 检测是否有无融合生殖现象。种子成熟后统计结果数、结籽数与结实率。结果数为结有成熟种子的果实数量, 结籽数为统计所有果实中的成熟种子数, 结实率为成熟种子数占试验小花的理论结籽数的比例, 理论结籽数 = 试验小花数 × 4。

1.2.4 传粉昆虫的调查 选取 5 株开花植株, 每株选 5 个新开的花序挂牌, 连续观察 5 d, 每天 7:00—18:00 观察, 统计 15 min · h<sup>-1</sup> 内在标记花序上出现的昆虫数量和种类, 对每种昆虫记录访花速率、停留时间。访花速率、停留时间是随机观察 10 只访花昆虫在 15 min 内访问的花朵数和在花中停留时间的平均值。观察不同天气条件对主要传粉昆虫访花行为的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 丹参的开花习性与花期划分

丹参为无限开花植物。在山东泰安, 5 月初开花, 持续到 10 月下旬植株几近枯萎时, 一般开花 3

荏左右。花序长形，为顶生和腋生的轮伞花序，每轮有花 3~10 朵，6~8 轮排列成疏离的总状花序，每花序小花 50 朵左右，不同期开放，密被白色柔毛和蜜腺。单株可着生数百到数千朵花。

丹参小花从现蕾到开花大约生长期为 5~7 d；小花开放时间约 2 d，早晨 8:00—10:00 之间开花数最多，整个花序持续开放时间 12~16 d。开花顺序为自下而上。依据开花进程（图版，a），将单花花期分为 5 个时期：（1）花蕾期（孕蕾到开花前 48 h）：花前 48 h 花朵长度在 1.5 cm 左右，花冠露出花萼约 0.5 cm，花蕾未见明显膨大，椭圆形，花瓣蓝紫色，柱头呈浅紫白色，花药为淡紫色。

（2）初开期（花前 24 h）：花朵长度在 2.1 cm 左右，花冠露出花萼约 1 cm，花蕾明显膨大呈近圆形，花瓣蓝紫色中间略见白色，柱头、花药为紫色，多数植株上的花药已开裂并少量散粉。（3）盛花期（开花当天）：花朵长度在 2.5~3.0 cm，花冠露出花萼约 1.8 cm，上下两唇形花瓣逐步张开，初开时上唇与下唇的夹角近 90°；一直持续到花后 6 h 左右，夹角变小约为 70°；花冠蓝紫色，柱头蓝紫色伸出花冠约 1.0 cm，分叉；花药紫色开裂散粉。（4）衰落期（持续 1 d）：花冠萎蔫、柱头顶端弯曲，花药花粉散出，花药呈瘦小瘪状。上唇与下唇的夹角继续变小，下唇前沿上卷或下翻。（5）凋谢期：花粉基本散尽，花药全部萎缩，柱头与花药的颜色加深，呈深紫色。

## 2.2 丹参花粉活力与柱头可授性检测

用 0.5% TTC 对花粉进行染色，发现不同时期的花粉活力差异明显（表 1）。花前 48 h 近 73.15% 的花粉具有活力，开花前 24 h 达到最高活力时期，大多数植株在这个时期花药开裂散粉。花粉活力在开花当天 6 h 内可维持较高水平，能保持在 60% 以上。花后 9 h 花粉活力明显下降，降至约 38.55%，到花后 24 h 还有 27.8% 的花粉具有活力，花后 48 h 花粉基本散尽。说明花粉活力持续时间较长，从花前 48 h 到花后 6 h 都具有较高的活力。

表 1 丹参不同花期的花粉活力与柱头可授性

Table 1 Pollen viability and stigma receptivity of *S. miltiorrhiza*

开花前 /h Before blossom	开花后 /h After blossom	花粉活力 / % Pollen viability	结实率 / % Percentage of setting
48		73.15	48.91
24		92.18	56.03
	1	88.63	71.25
	3	75.17	64.13
	6	64.34	72.73
	9	38.55	34.09
	24	27.80	15.91
	48	-	12.50

利用田间授粉结实检测柱头可授性发现，从开花前 48 h 到开花前近 50% 的柱头具有活力，开花后柱头活力迅速升高，达到 70% 以上，高活力状态可维持 6 h 左右，9 h 后显著下降，花后 24 h 仅有 15.91% 的柱头结实（表 1）。若以 50% 为判断有活力的标准，从花前 2 d 到开花 6 h 花粉活力和柱头可授性较大，两者有一定的重叠期，约为 2.5 d。但自然条件下丹参花药多在花前 1 d 开裂并少量散粉，此时花粉活力和柱头可授性都较高，两者可自交结实。直到花后 9 h 花粉活力和柱头可授性降低，结实率下降，因此两者有效可遇期约为 1.5 d，其中以开花到花后 6 h 内花粉活力和柱头可授性最强。

## 2.3 丹参有性繁育特性研究

2.3.1 花粉/胚珠比（P/O） 花粉胚珠比是单花的花粉量与胚珠数之比。本研究共测量和统计了 20 个花药的花粉量，观察结果表明丹参每个花药的花粉量变化幅度较大，从 7 800 个到 14 000 个不等，平均为 9 728.2 个。丹参每朵花具雄蕊 4 个，其中 2 个退化，因此丹参每朵花的花粉量平均为  $(19\,456.4 \pm 3\,064.74)$  个。每朵花胚珠数平均为 4，花粉/胚珠比（P/O）为  $4\,864.1 \pm 766.18$ 。依据 Cruden（1977）的标准，繁育属于专性异交类型。

2.3.2 杂交指数（OCI） 丹参花冠口直径 1.5~2.5 cm，大于 6 mm，表现值为 3。具雌雄两性花，在柱头可授期有雄花花药开裂散粉，其赋值为 0；开花后雌雄器官在空间位置明显分离，但在花前有的花药开裂散粉，柱头和花药有授粉的可能，赋值为 0。丹参杂交指数 OCI 累计分值等于 3。根据 Dafni（1993）的标准，丹参的繁育习性为兼性异交，部分自交亲和，需要传粉者。

2.3.3 套袋、去雄及人工授粉的试验结果 对丹参基本繁育特性进行了套袋和人工授粉试验 (表2), 套袋花朵数是指在同一个纸袋内套入的花朵数量, 在自交授粉试验中分3种处理, 分别是单花、两朵花、7~8朵花, 其它试验均为单花套袋。试验表明, 不去雄套袋情况下, 单花自交可结实(15.4%), 且随着同一套袋内小花数的增多, 自交结实率逐渐提高, 7~8花时自交结实率可达39.2%, 表明丹参具有一定的自交亲和性, 但同株异花结实率较高。自然条件下丹参的异交结实率(40.9%)比自交结实率(39.2%)略高, 但人工辅助授粉条件下异交结实率(异株异花授粉)78.3%明显高于人工自交结实率(同株异花授粉)46.43%。以上结果说明丹参更倾向于异交结实。另外人工辅助传粉的结实率高于自然条件下的异花、自花以及自然结实率(42.86%), 说明人工辅助授粉可提高柱头上的花粉粒数量, 使结实率提高。此外丹参在开花前去雄套袋隔离传粉条件下, 结实率为0, 表明丹参不能进行无融合生殖。

表2 丹参不同繁育处理的结实率

Table 2 Bagging cum seed set percentage of *S. miltiorrhiza* in different breeding kinds

处理方法 Pollination treatment	套袋花朵数 Number of flowers bagged	试验小花数 Number of flowers	结果数 Number of fruits	结籽数 Number of seeds	结实率 / % Seed set percentage
不去雄, 不套袋, 自然传粉 Natural pollinatio		21	20	36	42.86
去雄, 不套袋, 自然异花传粉 Natural pollinatio after masculation		33	31	54	40.90
不去雄, 套袋, 自交授粉 Isolation without emasculation	1	13	3	8	15.40
	2	8	5	7	21.80
	7~8	21	10	33	39.20
去雄, 套袋, 人工异株异花授粉 Manual cross pollination	1	25	20	78	78.00
去雄, 套袋, 人工同株异花授粉 Manual geitonogamy	1	21	15	39	46.43
去雄, 套袋, 不授粉 Isolation after emasculation	1	23	0	0	0

## 2.4 传粉方式与传粉昆虫

开花期连续观察5d(7:00—18:00), 发现到丹参访花昆虫共7种, 分属于4目6科, 其中膜翅目最多, 包括木蜂科的黄胸木蜂(*Xylocopa appendianata*)、蜜蜂总科的鳞棒腹蜂(*Rhopalum elissabumica*)以及胡蜂科的普通长足胡蜂(*Polistes olivaceus*)共3种。鳞翅目有菜粉蝶(*Pieris rapae*)和黄粉蝶两种, 双翅目、半翅目各1种, 分别是食蚜蝇科黑带食蚜蝇(*Episyrphus*)和蝽科菜蝽(*Eurydemia pulchra*)。访花昆虫中鳞棒腹蜂(图版, b)占87.96%, 为主要的传粉者, 黄胸木蜂(图版, c)占8.33%, 菜粉蝶占3.70%。访花顺序都是自下而上, 同株异花传粉的机会较大。

鳞棒腹蜂为采花蜜的昆虫, 访花高峰期在9:30—15:30气温较高的时间段, 阴天或下雨天的访问活动明显下降。其单花停留时间为69.93s, 平均访花频率0.33次·min<sup>-1</sup>。鳞棒腹蜂在采粉过程中其腿部聚集了大量花粉, 在多数情况下会直接落在柱头或花药上采集花粉, 由于花药与柱头相距较近, 在采粉过程中虫体尤其是腿部与柱头接触进行传粉。

黄胸木蜂的访花高峰期在8:00—17:00气温较高的时间段, 阴天时其数量也基本不变, 多采集花萼部位的花蜜。所访问的多为花后1~24h的花, 单花停留时间为2.563s, 平均访花频率为3.714次·min<sup>-1</sup>。黄胸木蜂在访花时将喙从侧面直接刺于萼筒内吸取花蜜, 由于体型较大, 吸蜜时将花冠上唇压弯, 使花药与柱头接触, 完成传粉或者虫体上带有大量花粉接触到柱头时参与传粉。

其它昆虫主要采集花蜜, 而且访花频率非常低, 其传粉的可能性更小。



图版说明：a 丹参单花开放进程；b 丹参的传粉昆虫鳞棒腹蜂；c 传粉昆虫黄胸木蜂。

**Explanation of plates:** a Blossom process of *S. miltiorrhiza*; b The floral visitors for *Rhopalum elissa burnica*; c The floral visitors *Xylocopa appendianata*.

### 3 讨论

#### 3.1 丹参花粉活力、柱头可授性与杂交技术的制定

研究表明：丹参从花前 2 d 到花后 6 h 都具有较高的活力，花粉寿命约 3 d，另外丹参的花粉为中型花粉、花粉发育整齐、花粉量大，丹参柱头在开花前 2 d 到开花后 6 h 内均有较强的可授性，以开花到花后 6 h 内最强，其结实率可达 70%。两者有效可遇期约为 1.5 d。

丹参为雌雄同花植物，2 枚花药较大，去雄方便，并且异交结实率高，因此丹参的杂交育种具有较强的可操作性。根据花粉活力和柱头可授期，初步拟定丹参的杂交技术为：选用开花前 2 d 的花朵去雄，去雄 2 d 后，采集开花当天的花粉，在 8:00—14:00 授粉，结实率高。

#### 3.2 丹参的授粉习性与育种方法的探讨

从单花生物学特征来看，丹参花在未开放之前柱头与花药接触，利于自花花粉落置到柱头上，单花套袋自交具有一定结实率，多花套袋自交（39.2%）和人工同株异花传粉的结实率也较高，说明丹参较高的自交结实率主要是通过同株异花传粉。自然结实率（42.86%）与多花套袋自交结实率（39.2%）接近，推测原因可能是丹参植株同时开放的花朵有数百至数千个，主要传粉昆虫的访花顺序都是自下而上，同株异花传粉的机会大，丹参自然结实可能主要是通过同株异花自交进行的。

人工控制授粉结果显示，人工同株异花授粉结实率（46.43%）低于人工异交授粉的结实率（78%），表明该种具有一定自交亲和性，但异交结实较高。根据花部形态特征估算（Dafni, 1993），丹参 OC 值为 3，表明繁育为兼性异交类型。而按照 Cruden（1977）花粉与胚珠比（P/O）的观点，丹参的 P/O 为  $4\ 864.1 \pm 766.18$ ，繁育应属于专性异交的类型。其原因可能是丹参的单花花粉量虽大，但受限於传粉昆虫数量与种类少，导致异交结实率较低。综合以上研究结果初步推断丹参的繁育习性为兼性异交，自交亲和，需要传粉者。

根据庄文庆（1993）介绍的天然异交率的测定方法，丹参异交率介于 5%~50%，初步推断丹参属于常异花授粉植物。本研究结果与刘文婷（2004）利用杂交结实的分析结果一致，但也有报道认为丹参属于异花授粉植物（李今，2001），因此对此还有待于进一步的研究。

根据本研究结果和已有相关文献，都可以看出丹参不属于自花授粉植物，具有较高比例的异交率

(田伟等, 2004; 唐晓清等, 2006), 因此直接利用丹参的自然变异进行系统育种是丹参初期最有效的育种方法, 在此基础上可采用组合育种, 利用优良基因型相互杂交, 在其自交后代中选择符合育种目标的优良重组个体。此外在进行系统育种和杂交育种时, 由于丹参有一定的自然异交率, 应进行适当的隔离才能保证选择效率。

## References

- Chinese pharmacopoeia committee. 2005. Pharmacopoeia of the People's Republic of China Volume I. Beijing: Chemical Industry Press: 52. (in Chinese)
- 卫生部药典委员会. 2005. 中国药典一部. 北京: 化学工业出版社: 52
- Cruden R W. 1977. Pollen:ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*, 31: 32 - 46.
- Cui Guang-hong, Huang Lu-qi, Tang Xiao-jing, Qiu De-you, Wang Xue-yong, Fu Gui-fang. 2007. Functional genomics studies of *Salvia miltiorrhiza*. Establish cDNA microarray of *S. miltiorrhiza*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 32 (12): 1137 - 1141. (in Chinese)
- 崔光红, 黄璐琦, 唐晓晶, 邱德有, 王学勇, 付桂芳. 2007. 丹参功能基因组学研究 ( ) —cDNA 芯片的构建. *中国中药杂志*, 32 (12): 1137 - 1141.
- Dafni A. 1993. *Pollination Ecology: A practical approach*. Oxford: Oxford University Press: 59 - 89.
- Guo Bao-lin, Lin Sheng, Feng Yu-xiu, Zhao Yang-jing. 2002. Primary research on genetic relationship among main populations of *Salvia miltiorrhiza* and genuineness of herb. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 33 (12): 1113 - 1116. (in Chinese)
- 郭宝林, 林生, 冯毓秀, 赵杨景. 2002. 丹参主要居群的遗传关系及药材道地性的初步研究. *中草药*, 33 (12): 1113 - 1116.
- Li Jin. 2001. *Pollination Factors in Salvia miltiorrhiza Bge*. *Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition*, 22 (2): 58 - 60. (in Chinese)
- 李今. 2001. 药用植物丹参传粉因子的研究. *首都师范大学学报: 自然科学版*, 22 (2): 58 - 60.
- Liu Wen-ting. 2004. Study on biological characteristic of *Salvia miltiorrhizae* Bunge [M.D. Dissertation]. Yangling: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: 49 - 53. (in Chinese)
- 刘文婷. 2004. 丹参的生物学特性研究 [硕士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学: 49 - 53.
- Shu Zhiming, Liang Zong-suo, Sun Qun, Ye Zheng-liang, Zhang Xing-wu, Fu Liang-liang. 2007. Comparison and evaluation of biological traits in different *Salvia miltiorrhiza* germplasm. *Journal of Xi'an University of Arts & Science: Nat Sci Ed*, 10 (2): 24 - 29. (in Chinese)
- 舒志明, 梁宗锁, 孙群, 叶正良, 张兴悟, 付亮亮. 2007. 不同丹参种质生物学性状比较与评价. *西安文理学院学报: 自然科学版*, 10 (2): 24 - 29.
- Tang Xiao-qing, Wang Kang-cai, Chen Xuan, Wu Jian, Xu Bo-yang. 2006. AFLP analysis of different cultivars of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Pharmaceutical Biotechnology*, 13 (3): 182 - 186. (in Chinese)
- 唐晓清, 王康才, 陈暄, 吴建, 余伯阳. 2006. 丹参不同栽培农家类型的 AFLP 鉴定. *药物生物技术*, 13 (3): 182 - 186.
- Tian Wei, Xie Xiao-liang, Peng Wei-xin, Liu Ming. 2004. Comparison of different varieties of *Salvia miltiorrhiza* in fields. *Research and Practice of Chinese Medicines*, 18 (1): 22 - 24. (in Chinese)
- 田伟, 谢晓亮, 彭卫欣, 刘铭. 2004. 不同丹参种质田间比较试验. *现代中药研究与实践*, 18 (1): 22 - 24.
- Wang Hong, Wang Qiang. 2005. Analysis of rDNA-ITS sequences of radix et rhizoma *Salvia miltiorrhiza* and plants of *Salvia* L. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 36 (9): 1381 - 1385. (in Chinese)
- 汪红, 王强. 2005. 丹参及鼠尾草属植物的 rDNA-ITS 序列分析. *中草药*, 36 (9): 1381 - 1385.
- Zhang Xing-guo, Wang Yiming, Luo Guo-an, Cheng Fang-xu. 2002. Studies on resource characteristics of *Salvia miltiorrhiza* varieties. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 33 (8): 742 - 747. (in Chinese)
- 张兴国, 王义明, 罗国安, 程方叙. 2002. 丹参品种资源特性的研究. *中草药*, 33 (8): 742 - 747.
- Zhuang Wen-qing. 1993. *Genetic breeding in medicinal plants*. Beijing: Agriculture Press: 15 - 24. (in Chinese)
- 庄文庆. 1993. 药用植物育种学. 北京: 农业出版社: 15 - 24.