

丹参种质资源与优良品种选育研究进展[△]

王晨, 李佳, 张永清*

(山东中医药大学药学院, 济南 250355)

[摘要] 对丹参种质资源遗传多样性、不同种质之间产量与质量差异、各种育种方式及其取得的进展等进行归纳总结, 指出存在的问题和解决途径, 旨在为深化相关研究、加快丹参育种进度提供参考。

[关键词] 丹参; 种质资源; 遗传多样性; 良种选育

丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge. 为唇形科鼠尾草属植物, 以干燥根及根茎药用, 属于临床常用中药^[1], 在四川、山东、陕西、河南等地均有大面积种植。优良品种选育和推广是提高丹参药材产量、保证质量的有效途径。但目前该工作起步伊始, 面临着诸多问题, 严重限制了生产发展。为总结经验、深化相关研究, 本文归纳总结了丹参种质资源与优良品种选育研究进展情况。

1 丹参种质资源遗传变异研究

1.1 种内变异

迄今报道丹参种内有2个变种1个变型, 包括原变种 *S. miltiorrhiza* var. *miltiorrhiza*、单叶丹参 *S. miltiorrhiza* var. *charbommellii* 和白花丹参 *S. miltiorrhiza* f. *alba*。原变种为奇数羽状复叶、花萼钟形、花冠紫蓝色、小叶卵圆或椭圆或宽披针形, 主要分布于陕西、四川、河北、河南、山东、山西等地; 单叶丹参多为单叶、花萼钟形、花冠较大、紫色, 主要分布于河北、山西、陕西、河南和山东; 白花丹参为花冠白色或淡黄色、奇数羽状复叶、叶色淡绿, 为山东特产。三者根部形态几无区别, 均作药用^[2]。

1.2 不同产地与居群丹参遗传多样性分析

分析不同产地与居群丹参遗传多样性, 对于揭示遗传基础、开展种质鉴定具有重要意义。赵华英等^[3]对山东7个产地及河北安国产丹参的水溶蛋白进行了凝胶电泳分析, 结果表明所有产地的谱带都是6条, 显示出种的一致性, 但谱带深浅有差异,

说明产地、环境、年限对水溶蛋白的种类与含量均有影响。郭宝林等^[4]采用RAPD技术对44个(9个居群)丹参样本进行分析, 结果显示不同居群内多态位点比率为55.0%, 样本可聚为6个主要分支组和3个组外个体, 遗传差异的80.44%存在于居群内, 8.29%来自于组内居群间, 11.27%的遗传差异来自于组间, 说明丹参居群内遗传多样性十分丰富, 地区间居群遗传分化不均衡。郝岗平等^[5]采用AFLP技术对山东15个不同产地的丹参样本进行分析, 结果显示当相似系数为0.48左右时, 样本可聚为2大类, 第1大类是白花丹参, 第2大类是栽培和野生样本, 提示丹参和白花丹参之间亲缘关系较远。王冰等^[6]研究发现, 27个不同地理居群丹参多态性带比率为90.15%, Nei's多样性指数 H_e 为0.2612, Shannon多样性指数 I 为0.4033, 27个居群遗传相似性系数为0.504~0.789, 聚类后样本可分为7个主要分支组和1个组外个体, 7个主要分支组大致按地域聚在一起, 说明我国野生丹参居群间存在较高多态性。温春秀等^[7]经AFLP分析发现, 55份不同来源丹参之间的相似系数为0.23~0.76, 可聚类为4个主要类群, 同一地区种质表现有极大变异, 组内遗传相似系数高于组间。李廷春^[8]利用SRAP反应体系对5个丹参主产区的6个种群进行了遗传多样性分析, 发现36对多态性引物组合共产生782条多态性条带, 平均每个引物组合产生21.7条多态性条带, 显示了较高多态性, 聚类分析将供试材料分为两大类,

[△][基金项目] 山东省科技发展计划项目“山东道地药材资源质量控制科技平台建设”课题(2008GG2NS02022)。

*[通讯作者] 张永清, Email: zyzq622003@126.com

I类为山东临沂白花丹参, II类分为A、B两小类。徐红等^[9]采用RAPD与ISSR标记对4个产地野生丹参、6个产地栽培丹参共计50个样本进行了分析, 结果DNA标记共检测了102个位点, 多态条带比率(P)为95.10%, 栽培丹参P值高于野生者; 居群的总遗传变异Ht为0.2389。6个产地栽培丹参的P值为85.29%, 4个产地野生丹参的P值为60.78%, 提示不同产地丹参遗传背景不同, 遗传分化明显, 存在丰富的遗传多样性, 且多态条带比率与基因多样性指数表现出的变化趋势一致。宋振巧等^[10]利用ISSR引物对山东5地5个居群72份丹参材料进行了群体遗传结构研究, 结果8个ISSR引物在5个居群中共扩增出219个位点, 平均可扩增出27条带, 在种级水平及5个居群水平多态性位点百分比分别为98.63%、81.28%、66.67%、66.21%、51.14%和50.68%。种级水平的Nei基因多样性和Shannon信息指数大于各居群, 5个居群间存在部分基因交流。王庆浩等^[11]采用分子标记TRAP研究了河南方城、四川中江、陕西商州和江苏射阳等地丹参的遗传变异, 结果筛选的6对引物扩增出203个条带, 其中多态性条带为43, 占21.1%, 4个产地丹参被聚类为2类群3亚群, 各地供试材料间遗传一致性平均为0.9245, 遗传距离平均为0.0788, 显示丹参种质亲缘关系很近, 不同居群内既蕴藏了遗传变异又保持了较高遗传稳定性。王维婷等^[12]利用SRAP分子标记技术对48个不同来源丹参进行了类群划分, 利用筛选到的15对SRAP引物组合从材料中检测到了120个等位位点, 聚类分析可将其分为两大类群, 每一类群包含3个亚群, 认为不同种群间遗传距离与空间距离之间的关系较为复杂, 不同地区种质遗传分化不均衡。刘谦等^[13]研究了山东3个丹参主产区25个种质的植株形态特征与遗传变异, 发现不同种质形态特征指标变异程度不同, 其中茎分枝数变异最大, 其次为花枝数目, 叶片长宽比值差异最小; 主成分分析共提取出了3个主成分, 三者方差贡献率大于85%; AFLP遗传多样性显示, 不同引物组合的遗传多样性指数分布于0.96~1.69, 平均为1.36, Simpson指数分布于0.52~0.87, 平均为0.70, 表明山东丹参遗传多样性比较显著, 其遗传变异与地理环境密切相关, 地理位置相近居群遗传相似度高。

2 丹参不同种质比较研究

2.1 不同产地或居群比较

不同产地或居群丹参的生物量与活性成分含量具有明显差异, 一方面是环境条件影响植株代谢的结果, 另一方面也与种质的分化与变异有关。李力等^[14]对全国8个主产地丹参活性成分进行了含量测定, 结果丹参酮II_A、隐丹参酮及丹参酮I的含量范围分别为0.10%~0.40%、0.04%~0.46%、0.03%~0.15%, 不同产地以丹参酮II_A、隐丹参酮含量差异较大, 丹参酮I含量变异不大, 隐丹参酮及丹参酮I含量并不完全与丹参酮II_A含量呈正相关。唐晓清等^[15]分析了不同居群丹参生物量与活性成分含量, 发现四川中江丹参单株生物量, 山西丹参丹参酮II_A、四川中江丹参隐丹参酮和总丹参酮、河北高茎类型丹参素、四倍体丹参丹酚酸B和总丹酚酸含量分别高于其他样品。以单株生物量和各活性成分含量乘积为考察指标, 四川中江丹参各成分单株乘积值均高于其他样品。何春娥等^[16]比较了紫花丹参(陕西商洛、安国、河南)、白花丹参(山东)4份种质同地种植根中微量元素含量, 发现以山东白花丹参根中钙、铁、锌、锰、铜、钡、锂、钴、镍、汞等10种微量元素含量是最高的, 且锌、锰、铜、镍、汞等微量元素含量显著高于其他3种紫花丹参, 3种紫花丹参之间, 除陕西商洛产者根中钾和钼含量较低、镍含量较高外, 其他19种微量元素含量都较接近。黄敬群等^[17]测定了5个产地丹参中丹参素、原儿茶醛含量, 发现不同产地有一定差异。陈震等^[18]将不同产地丹参引种到同一块试验地中, 发现其产量和质量差异很大。陈幸等^[19]对四川中江、山东、河南栽培丹参比较分析结果显示, 各地丹参丹参酮II_A含量大致相同, 在3个中江丹参中有2个含量最高, 1个含量最低。林佳等^[20]对不同地区、不同生长方式13个丹参样品的分析结果显示, 不同地区丹参酮II_A含量差异较大, 同一地区野生品的含量高于栽培品。张月江等^[21]研究发现, 4个产地丹参药材性状与丹参酮II_A含量有显著差异, 丹参酮II_A含量高低次序为河北平山野生丹参、徐水丹参、安国丹参、四川丹参。金樟照等^[22]分析了不同产地丹参水溶性与脂溶性成分指纹图谱, 发现脂溶性与水溶性成分指纹图谱随产地不同而变化, 脂溶性与水溶性成分含量高低无内在关系。王守柏等^[23]将不同种源丹参引种到江苏省进行比较, 认为

四川中江与安徽亳州家种丹参为江苏地区最适合种植品种。

2.2 不同类型或品种的比较

丹参种质出现分化与变异后,人们依据植株形态特征的不同将其划分为不同的类型或品种,并对这些类型或品种进行了比较研究,从而为良种选育提供了丰富的原始材料。张兴国等^[24]比较了大叶型、小叶型和野生型丹参品种资源特性,发现不同类型间生物学性状及生产力、抗病性、商品产量特性等具有统计学意义($P < 0.001$),生态适应性、植株特征、花粉粒、染色体、同功酶和品质特性等均有显著差别,认为小叶型丹参为优质高产新品种。田伟等^[25]收集了山东、河北丹参资源,经纯化筛选出了圆叶、狭叶、矮茎和高茎4个品系,通过生物学性状、产量比较,发现矮茎丹参优于其他种质。田伟等^[26]引入12个丹参种质作为选优原始材料,依据生物学性状和产量筛选出了山东-3、山东-8、山东-9等3个优良种质,药材产量分别比对照提高50.31%、33.96%、28.30%,丹参酮Ⅱ_A含量分别为2.905, 2.198, 2.119 mg·g⁻¹。曹珍等^[27]测定了不同地区15个品种丹参丹参酮Ⅱ_A和丹酚酸B含量,结果仅有5个品种丹参酮Ⅱ_A含量达到《中国药典》规定标准,而丹酚酸B含量普遍高于《中国药典》,丹参酮Ⅱ_A与丹酚酸B之间没有正比关系;河南卢氏皱叶丹参及四川中江丹参品质较好。唐晓清等^[28-29]对丹参原型、皱叶型、单叶型和小叶型等4种类型丹参的遗传差异性及生物量与成分的相关性进行了研究,发现4种类型根内丹参酮Ⅱ_A、隐丹参酮、丹参素、丹酚酸B、总丹参酮、总丹酚酸含量及后期生物量均存在一定差异,生物量与有效成分间的相关性分析显示生物量与成分间呈负相关,脂溶性成分间、水溶性成分间均存在较好的相关性,以小叶型最佳,其脂溶性和水溶性成分量均高于其他3种类型。代云桃等^[30]对不同产地不同品种丹参的浸出物、丹参酮Ⅱ_A、水溶性酚酸类成分含量进行了分析测定,发现同一产地不同品种间脂溶性成分丹参酮Ⅱ_A含量,无花丹参是紫花丹参的2倍、白花丹参的3倍;水溶性酚酸类成分含量差异不大;水浸出物含量,无花丹参是白花丹参的2倍而略高于紫花丹参。因此,品种间比较,无花丹参最好,紫花丹参次之,白花丹参最差。同一品种(紫花丹参)不同产地间相比,陕西丹参质量最好、山西次之。

唐晓清等^[31]还对4个丹参类型的脂溶性成分进行了聚类分析,结果显示4个类型脂溶性成分类别基本一致,其中小叶型隐丹参酮与丹参酮Ⅱ_A比值、隐丹参酮含量与其他3个类型相差较大,显示小叶型独自成为一个类群。张红瑞等^[32]对河南方城裕丹参5个变异类型的形态特征、生物学性状、营养器官组织结构进行了分析,并对其根部成分含量进行了测定,发现各类型间性状差异明显,根中丹参酮Ⅱ_A和丹酚酸B含量均高于《中国药典》标准。杭亮等^[33]探讨了紫花与白花丹参根、茎、叶、花等部位有效成分的分布特征,发现总丹参酮、总黄酮、总酚酸含量在紫花和白花丹参根和叶中较高,而在茎中较低。白花丹参多数部位有效成分含量高于紫花丹参,是值得进一步开发利用的种质资源。张红瑞等^[34]根据植株叶形将裕丹参划分为多叶型、小叶型、三叶形和普通型等变异类型,测定了其主根丹参酮Ⅱ_A和丹酚酸B含量,发现丹参酮Ⅱ_A、丹酚酸B含量分别以小叶型、三叶型较高。孙磊等^[35]比较了红参、一窝团、系参三个丹参品种中的丹参酚酸B含量,发现系参含量最高(7.64%),比红参(3.92%)高了近2倍。田宇红等^[36]测定了陕西安康产12种不同形态丹参丹参酮Ⅱ_A、隐丹参酮和丹参酮I含量,发现安丹Ⅱ号脂溶性成分含量最高,其中丹参酮Ⅱ_A含量为0.7085%、隐丹参酮含量为0.1951%、丹参酮I含量为0.0076%。

3 丹参优良品种选育研究

3.1 选择育种

丹参种质复杂多样,野生和栽培群体中都存在很多的变异类型,从现有种质中进行系统选育是进行丹参种质改良的重要手段。陕西商洛天士力丹参基地经多年实践,从不同居群中优选出脂溶性成分含量高的多根类型和作为饮片利用的优质高产的粗根类型丹参,目前已在生产上推广应用。唐晓清等^[37]将来自于江苏盐城和柘塘、安徽亳州的丹参混合栽培,收获自然杂交种子进行繁殖,根据根皮红色程度、根生物量共筛选出原型、皱叶型、小叶型、单叶型4个材料,比较研究发现小叶型丹参酮Ⅱ_A含量最高,皱叶型丹参素含量最高。小叶型不仅有效成分含量高,而且生物量也高,是最佳种质材料。周巧梅等^[38]依据生物学性状与产量筛选了12个丹参品系,发现山东-3、山东-8和山东-9为优质种质,其中山东-3长势粗壮、丹参酮Ⅱ_A含量最高。在此

基础上,进一步选育出了丹优1号、丹优2号等新品种,其中丹优1号的丹酚酸B含量是《中国药典》规定标准含量的3.87倍,丹优2号产量、含量均较高^[39]。

3.2 杂交育种

杂交育种可使不同种质间基因广泛交流,产生优秀的杂交个体,是选育良种的重要方式。舒志明等^[40]对丹参不育株系Sh-B的植物学特征进行了观察,根据花器官及花药形态、大小、花丝长度可划分为Sh-B1、Sh-B2和Sh-B3等3个类型。选择不育系作母本,陕西丹参作父本,通过对后代F1表现调查,发现不同组合育性存在明显差异,其中有两个杂交种的丹参酮II_A含量分别为0.66%和0.65%,表现出超亲优势。刘竟飞^[41]对丹参2个不同品种进行杂交,鉴定得到h-1等几个杂交种株系,观察比较了其田间农艺性状及根部活性成分含量。对杂交种F1代大量扩繁后,采用秋水仙碱进行化学诱导异源多倍体,鉴定得到hz4-3、hz4-11等7个异源四倍体株系,为进一步选育异源多倍体优良品种奠定了基础。

3.3 多倍体育种

高山林等^[42]在组织培养条件下利用添加秋水仙碱处理进行了丹参多倍体诱发,得到同源四倍体,对四倍体试管苗进行移栽及田间农艺性状初步鉴定和主要化学成分测定,发现所获四倍体植株均不同程度地表现出多倍体植株的典型特征,主要化学成分含量亦大多高于原植株。经连续3年田间农艺性状观察记载,已鉴定确认的多倍体株系均表现出明显的多倍体特征,选出的优良品系61-2-22表现为生长势旺、叶较宽大、叶片粗糙皱折、较厚、茎较粗呈淡紫色、育性低、部分不育、根系较旺但分枝多、呈紫红色^[43]。进一步研究发现^[44-47],多倍体品系根部药材质量均有较大幅度提高,多个品系的丹参酮含量高于对照品种,其中优良品系61-2-22根部产量比原常规品种高出50%~70%,有效成分高出70%~100%。陈力等^[48]采用同样的秋水仙碱处理方法,利用白花丹参未成熟种子获得了17株同源四倍体,其中1株为四倍体非整倍体,经种植观察,四倍体白花丹参在株高、冠幅、叶片大小与厚度、叶柄绒毛、花、花药、花粉粒大小等方面都明显大或高于原二倍体,每株根条数和根粗与倍性呈正相关,根部药材产量四倍体株系间虽有显著差异,但

多数株系都高于二倍体对照,其中4、5号四倍体单株根部药材产量是二倍体的3.19倍,多酚酸、丹参酮等主要活性成分也都高于二倍体对照。南开大学开展的丹参三倍化育种新技术,可使丹参单株总产量超过传统二倍体丹参产量的30%~50%,最高产量超过2000g,而目前国内种植的二倍体丹参单株药材产量平均仅有200~300g。

3.4 航天育种

王志芬等^[49]、单成钢等^[50]将丹参种子搭载卫星返地后进行田间种植观测,发现航天搭载造成DNA变异,种子发芽率和出苗率提高,促进幼苗发育,花期提前,花苔长和花蕾数增加,叶片生长受抑制,单株结实率降低,千粒重、地上分支数增加,根鲜重提高。朱艳英等^[51]对第4代太空组和地面组丹参药用部分元素种类和含量进行了分析测定,发现太空丹参元素种类没有变化,但Cu/Zn比值由地面组的0.68提高到1.0,Cr、Mn、Fe含量分别提高了0.6、0.5、0.3倍。

3.5 基因工程育种

陈海敏等^[52]在根癌农杆菌介导下,利用叶盘法转化丹参,将来自葡萄的白藜芦醇合酶(RS)基因导入丹参,共得到45棵卡那霉素抗性植株,经PCR和PCR-Southern杂交检测,确定葡萄RS基因已整合到部分转基因丹参苗的基因组中。张荫麟等^[53]以根癌农杆菌感染丹参无菌苗或胚细胞诱导获得冠瘿组织,筛选出丹参高产株系Ca,其丹参酮含量是生药的1.9倍。利用选出的高产株系在配合诱导子诱导进行液体静止培养,可能是生产丹参酮的可行途径。

4 讨论与小结

丹参属于多年生异花传粉植物,生态适应强,广泛分布,种植历史较长,具有世代重叠特征,因此具有显著的遗传多样性。其种内变异有2变种、1变型。不同居群或不同产地丹参的遗传多样性,既体现在形态特征方面,也体现在蛋白质与DNA分子水平上,活性成分种类与含量也有差异。由于取样数量、地点等不同,RAPD、AFLP、ISSR等分析与聚类结果并不一致,各地之间丹参种质的亲缘关系难以理清,但总体显示出其遗传多样性具有地理起源渐变群的显著特点,相隔较远的种群分化程度往往较大。

各丹参产地均有丰富的种质资源,人们为了从中选育出优良品种,往往依据其形态特征差异分为

几类进行了药材产量与质量的比较研究,发现不同种质类型之间药材产量与活性成分含量相差悬殊,据此差异从中选育出了一些优良类型,经定向培育和选择育种形成了优良品种,如河北培育出了丹优1号、丹优2号等。这些优良品种在提高丹参药材产量与质量方面发挥了积极作用。但导致丹参药材产量与质量大幅度下降的丹参根结线虫病在许多地区均有发生,并且没有很好的防治方法,而开展丹参抗病育种是解决此问题的良好途径,也是以后需要加强研究的方向。

为加速丹参优良品种选育的进度,目前杂交育种、多倍体育种、航天育种及基因工程育种等方面的工作均有开展,也取得了一定的进展,但这些育种方式的采用需要慎重。丹参药材作为特殊商品,生产中必须贯彻质量第一的原则,但丹参药材质量是一个复杂的问题,目前尚无合理的评价方法。在这种情况下,良种选育不宜倡导使遗传特性改变过大的方式。除非作为工业原料用于提取某种成分,否则不能仅以活性成分含量作为评价药材质量的唯一指标。

任何一个良种都有其适应环境,离开此环境,其优良特性往往无法体现。因此,丹参良种选育需要注意产地适宜性的研究,明确新品种的最佳推广区域,不能盲目引种。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典[S]. 一部. 北京:中国医药科技出版社,2010:250-251.
- [2] 李建秀,孙秀霞,周凤琴,等. 山东丹参类药用植物新资源[J]. 山东中医学院学报,1995,19(3):190-191.
- [3] 赵华英,李允尧,霍德兰,等. 不同产地不同丹参品种的蛋白电泳观察[J]. 山东大学学报(医学版),2002,40(3):284.
- [4] 郭宝林,林生,冯毓秀,等. 丹参主要居群的遗传关系及药材道地性的初步研究[J]. 中草药,2002,33(12):1113-1116.
- [5] 郝岗平,孙立彦,史仁玖,等. 山东产丹参遗传多样性的扩增片段长度多态性指纹分析[J]. 时珍国医国药,2007,18(1):51-53.
- [6] 王冰,张勇,陈成彬,等. 中国不同地理居群丹参遗传多样性分析[J]. 中国中药杂志,2007,32(19):1988-1991.
- [7] 温春秀,吴志明,田伟,等. 丹参种质资源遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 华北农学报,2007,22(S):122-125.
- [8] 李廷春,樊洪泓,高正良,等. 丹参遗传多样性的 SRAP 标记分析[J]. 核农学报,2008,22(5):576-580.
- [9] 徐红,王燕燕,王峰涛,等. 不同产地丹参遗传关系的 DNA 标记分析[J]. 时珍国医国药,2008,19(12):2970-2972.
- [10] 宋振巧,王建华,王洪刚,等. 山东丹参(*Salvia miltiorrhiza*)不同地理居群的遗传多样性[J]. 生态学报,2008,28(11):5370-5376.
- [11] 王庆浩,张伯礼. 不同产地丹参的 TRAP 分子标记研究[J]. 药学学报,2009,44(8):927-930.
- [12] 王维婷,单成钢,倪大鹏,等. 不同来源丹参种质遗传多样性的 SRAP 标记分析[J]. 中草药,2010,41(4):632-635.
- [13] 刘谦,李佳,王集会,等. 山东地区丹参种质多样性分析[J]. 山东中医药大学学报,2011,35(2):102-104,107.
- [14] 李力,姜子洋,陈万生,等. 不同产地丹参中 3 种丹参酮含量变异[J]. 第二军医大学学报,2000,21(8):753-755.
- [15] 唐晓清,王康才,陈暄,等. 丹参不同居群的生物量与活性成分含量分析[J]. 中国中药杂志,2007,32(23):2485-2488.
- [16] 何春娥,魏建和,陈士林,等. 四个产地丹参种质根中微量元素含量的分析比较[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(3):801-803.
- [17] 黄敬群,张秀巧,郭军,等. 高效液相色谱法测定 5 种不同产地丹参中丹参素和原儿茶醛含量[J]. 安徽中医学院学报,2005,24(1):37-40.
- [18] 陈震,杨文婧,宋洪涛,等. 丹参生长与隐丹参酮含量的关系[J]. 中药通报,1983,8(1):2.
- [19] 陈幸,黎万涛,夏文娟,等. 四川中江丹参与其它产地丹参化学成分的比较研究[J]. 中国中药杂志,1997,22(9):522-524.
- [20] 林佳,徐丽珍,李琰,等. 不同产地丹参中丹参酮 II_A 的含量比较[J]. 中国中药杂志,2002,(2):153-154.
- [21] 张月江,赵淑明,冯艳荣,等. 四种不同产地丹参的质量考察[J]. 时珍国医国药,2003,14(1):18-19.
- [22] 金樟照,祝明,张文婷,等. 不同产地丹参水溶性成份和脂溶性成分指纹图谱测定及相关性研究[J]. 中草药,2004,35(10):1174-1177.
- [23] 王守楠,陈宝儿,黄钢,等. 不同种质丹参的评价[J]. 江苏药学与临床研究,2003,11(2):32-33.
- [24] 张兴国,王义明,罗国安,等. 丹参品种资源特性的研究[J]. 中草药,2002,33(8):742-747.
- [25] 田伟,谢晓亮,彭卫欣,等. 不同丹参种质田间比较试验[J]. 现代中药研究与实践,2004,18(1):22-24.
- [26] 田伟,温春秀,彭卫欣,等. 不同丹参种质资源引种及比较研究[J]. 吉林农业大学学报,2005,27(3):284-288.
- [27] 曹珍,温春秀,赵建成,等. 不同种质丹参的药材有效成

- 分比较[J]. 河北农业科学,2006,10(4):20-22.
- [28] 唐晓清,王康才,陈暄,等. 丹参不同栽培农家类型的 AFLP 鉴定[J]. 药物生物技术,2006,13(3):182-186.
- [29] 唐晓清,王康才,陈暄,等. 丹参不同栽培类型的生物量与水溶性、脂溶性成分积累的相关性研究[J]. 中草药,2006,37(5):753-758.
- [30] 代云桃,秦雪梅,郭小青,等. 不同产地不同品种丹参药材内在质量评价[J]. 山西医科大学学报,2006,37(7):716-719.
- [31] 唐晓清,王康才,陈暄,等. 丹参四个栽培类型的脂溶性成分的聚类分析[J]. 天然产物研究与开发,2007,19:748-752.
- [32] 张红瑞,李志敏,高致明,等. 裕丹参变异类型分析[J]. 河南农业大学学报,2007,41(4):421-424.
- [33] 杭亮,王俊儒,杨东风,等. 紫花丹参和白花丹参不同部位有效成分的分布特征[J]. 2008,36(12):217-222.
- [34] 张红瑞,李志敏,高致明,等. 不同变异类型裕丹参中丹参酮Ⅱ_A及丹酚酸 B 含量的比较研究[J]. 时珍国医国药,2009,20(5):1173-1174.
- [35] 孙磊,陈靖,王晶,等. 不同品种丹参中丹酚酸 B 含量比较[J]. 宁夏医科大学学报,2010,32(6):733-735.
- [36] 田宇红,王喆之,强小利. HPLC 法测定 12 种不同形态丹参脂溶性成分[J]. 光谱实验室,2010,27(1):87-89.
- [37] 唐晓清,王康才,杨杰,等. 江苏优质栽培丹参新品种的选育[J]. 江西农业学报,2007,19(4):65~68.
- [38] 周巧梅,田伟,温春秀,等. 优质丹参新品系的筛选[J]. 河北农业科学,2007,11(1):97-99.
- [39] 谢晓亮,周巧梅. 药用植物研究中心优良品种简介[J]. 河北农业科技,2008,(6):59.
- [40] 舒志明,梁宗锁,孙群,等. 丹参不育系 Sh-B 的植物学特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(7):175-179.
- [41] 刘竞飞,高山林,黄和平,等. 丹参杂交育种及其异源四倍体的诱导与鉴定[J]. 药物生物技术,2009,16(3):260-264.
- [42] 高山林,徐德然,蔡朝晖,等. 丹参同源四倍体新物种的培育[J]. 中国药科大学学报,1992,23(4):224-228.
- [43] 高山林,朱丹妮,蔡朝晖,等. 丹参四倍体优良新品系 61-2-22 的选育与鉴定[J]. 中国中药杂志,1995,20(6):333-335.
- [44] 朱丹妮,高山林,蔡朝晖,等. 丹参多倍体株系中三种丹参酮含量的比较[J]. 药物生物技术,1996,3(1):22-26.
- [45] 高山林,朱丹妮,蔡朝晖,等. 丹参多倍体性状和药材质量的关系[J]. 植物资源与环境,1996,5(2):1-4.
- [46] 朱丹妮,高山林,卞云云,等. 丹参四倍体优良品系有效成分的含量测定及药理学试验[J]. 植物资源与环境学报,2001,10(2):7-10.
- [47] 艾建国,高山林. 丹参同源四倍体的诱导、鉴定及有效成分的含量测定[J]. 药物生物技术,2003,10(6):372-376.
- [48] 陈力,李秀兰. 白花丹参同源四倍体的诱导与鉴定[J]. 中草药,2009,40(12):1995-1997.
- [49] 王志芬,单成钢,苏学合,等. 丹参种子航天搭载的诱变效应研究[J]. 现代中药研究与实践,2007,21(4):6-8.
- [50] 单成钢,倪大鹏,王维婷,等. 丹参种子航天搭载的生物学效应[J]. 核农学报,2009,23(6):947-950.
- [51] 朱艳英,郭西华,王志宙,等. 第 4 代航天育种丹参的 XRF 分析[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(4):1134-1135.
- [52] 陈海敏,徐妙云,李刚强,等. 白藜芦醇合酶基因的克隆及丹参的转化[J]. 中草药,2007,37(8):1235-1238.
- [53] 张荫麟,宋经元,赵保华,等. 丹参的冠瘿组织培养和丹参酮的产生[J]. 生物工程学报,1995,11(2):150-152.

(收稿日期 2011-10-12)