

丹参种子种苗质量标准研究进展

张 玉 戚莹雪 王 蕾 王尧尧 李 佳 蒲高斌 张 芳 刘 谦 张永清

(山东中医药大学, 济南 250355)

摘要: 丹参临床药用价值极高, 目前主要依靠人工栽培满足需要。由于丹参种子种苗国家质量标准还未出台, 标准化工作严重滞后, 自产自销、假劣药材种子(苗)充斥市场, 致使药材质量逐年降低, 影响临床用药的安全性和有效性。因此, 对近年来丹参种子种苗的质量标准方面研究成果进行了综述, 从源头出发确保生产中苗全、苗壮, 为提高产量奠定基础。

关键词: 丹参; 种子; 种苗; 根段质量; 质量标准; 研究进展

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge.)为唇形科鼠尾草属多年生草本植物, 以干燥根及根茎入药^[1], 属于大宗药材之一。因市场需求量逐年大幅度增加, 山东、陕西、河北、河南等地均有大面积种植, 仅山东种植面积就达2万hm²。在生产实际中, 丹参繁殖方式多样, 既可用种子繁殖, 也可用根、茎及根茎繁殖, 以种子繁殖和根段繁殖常用。每种方式又分为直接、育苗移栽繁殖。不同产区由于气候、环境及传统习惯的差异而采用不同的繁殖方式, 如山东主要以育苗移栽为主, 河北主要以根段直播为主。为保证丹参药材的产量与质量, 对种子、种苗、根段等繁殖材料必须制定相应的质量标准^[2]。目前, 中药材种子、种苗质量标准研究尚处于起步阶段, 我国仅有人参、黄芪、甘草、黄芩4种中药材种子制定了国家标准^[3], 而丹参种子、种苗只有部分省份制定了省级质量标准, 国家标准至今尚未颁布实施。本文在文献检索、生产实际调查的基础上, 对丹参种子、种苗质量标准研究进展情况进行归纳总结, 并就相关问题进行了讨论, 以期对丹参种子、种苗质量国家标准的制定提供参考。

1 种子质量研究

丹参种子为小坚果, 三棱状长卵形, 灰黑色或茶褐色, 表面为黄色糠秕状蜡质层覆盖, 背面稍平, 腹面隆起成脊, 圆钝, 近基部收缩稍有凹陷; 果脐着生腹面纵脊下面, 近圆形, 边缘隆起, 密布灰白色蜡质斑, 中央有一条C形银白色细线。胚直生, 乳白色,

子叶2枚, 具一薄层胚乳。

丹参种子质量可以从颜色、大小、含水量、净度、发芽率等方面反映出来。种子成熟度与外观颜色密切相关, 成熟种子呈灰黑色或茶褐色, 成熟度越低外观颜色越浅^[4]。耿守保等^[5]发现丹参种子外观颜色影响种子萌发时热量和水分需求, 深色种子萌发的基础温度($T_b=1.53^{\circ}\text{C}$)和水势(-1.58MPa)均低于浅色种子($T_b=6.21^{\circ}\text{C}$ 、 -1.27MPa); 种子大小反映了种子的饱满度和成熟度, 影响幼苗大小和出苗早晚^[6-9], 而长宽比和纹饰网眼边长则可作为种质来源的鉴定依据^[10]。种子大小通常以千粒重表示, 可作为衡量丹参种子质量的直接指标^[11], 大小与其在植株上着生部位有关, 通常主果穗种子质量优于侧果穗, 中下部果穗种子质优。因此, 考虑到种子均一性, 应在1/2以上至2/3果壳枯黄时采收主果穗中下段种子^[12]。另外, 种子大小还与产区环境、采收期等相关, 贮藏时间和条件对种子质量有重要影响。丹参种子含油量高、亲水糖含量低, 易引起脂质过氧化而影响种子生活力, 降低含水量可提高种子耐藏性。成清琴等^[13]研究发现, 常温密封贮藏丹参种子的最适含水量约为7.5%。而李晓琳等^[14]研究表明, 丹参种子在含水量为5%、温度4℃时, 贮藏6个月的丹参种子活力能够基本保持不变。目前丹参种子除常温超干燥贮藏外, 还有超低温、超低氧等^[15]长期贮藏技术。

发芽率可直接反映种子的田间出苗率, 是体现种子质量的最重要指标之一。由于丹参种子自然条件下萌发率低, 内因可能与种子萌发过程中产生大量的氧自由基对质膜、酶系统、蛋白质合成有抑制

基金项目: 中医经方精准化及产业化关键技术示范研究(2016CYJS08A01); 荷兰片标准化建设(ZYBZH-C-JX-38)

通信作者: 张永清

作用有关^[16],外因则是光照、水分、温度及贮藏时间因素等。丹参属于广适型种子^[17-18],最适贮藏时间为6个月,最适覆土厚度为1.0cm,最适萌发温度为20~30℃,变温能有效促进萌发。研究表明,将种子用温水(30℃)浸种24h、0.3%的高锰酸钾(KMnO₄)溶液浸种6h^[11]、氯化钙(CaCl₂)及较低浓度的硝酸钾(KNO₃, 50~100mmol/L)浸种^[19]、预先冷冻、聚乙二醇(PEG)引发及赤霉素(GA₃)浸种^[20]等方式处理可明显提高发芽率。

生产中对种子质量的要求可通过种子质量标准来实现。李小玲等^[21]利用K聚类分析法建立了陕西商洛地区产丹参种子质量分级标准(1级、2级、3级),各指标分别为:净度(1级≥88%、2级85%~88%、3级≤85%),千粒重(1级≥1.57g、2级1.55~1.57g、3级≤1.55g),含水量(1级、2级、3级均为≤17%),发芽率(1级≥27%、2级20%~27%、3级≤20%),生活力(1级≥43%、2级40%~43%、3级≤40%)。魏良柱等^[22]通过检验陕西商洛不同产区54份丹参种子,测定了杂质、含水量、自然千粒重、发芽率、发芽势、饱满度和生活力7个指标,并且结合当地丹参种子质量现状,筛选合理指标,也建立了陕西商洛地区丹参种子分级标准(1级、2级、合格),各指标分别为:杂质(1级≤11.7%、2级≤16.1%、合格≤19.6%),干态千粒重(1级≥1.70g、2级≥1.61g、合格≥1.50g),发芽率(1级≥46.2%、2级≥36.8%、合格≥28.0%)。两种分级标准中可明显看出,同样是商洛地区丹参种子,在分级指标中千粒重、发芽率均存在明显差异,如魏良柱版2级种子千粒重相当于李小玲等^[21]中的1级种子重量,而合格种子发芽率(≥28%)相当于1级种子发芽率(≥27%),同地区丹参种子质量差异明显。淡红梅等^[23]研究制定了山东地区丹参种子质量分级标准[1级、2级、3级(不合格)],各指标分别为:发芽率(1级≥76%、2级≥31%、3级≥6%),净度(1级≥55.4%、2级≥53.1%、3级≥50.1%),千粒重(1级、2级、3级均为≥2.1g),水分(1级、2级、3级均为≤10.0%)。山东丹参种子质量分级标准与陕西商洛比较,两者在发芽率、净度方面存在明显差异,如山东地区1级种子发芽率(≥76%)是陕西1级种子(≥27%~46.2%)的1.6~2.8倍,山东地区种子个体可能相对较大;而陕

西种子对净度要求比山东地区要高;除净度以外,山东种子的其他指标要求均较高,可能与丹参产地、繁殖方式、生长环境及栽培措施有关。可见种子质量分级难度较大。

2 根段质量研究

根段也是丹参生产中常用的繁殖材料,对根段质量的要求包括长度、部位、直径等。仇劲等^[24]研究了根段部位、长度、直径等因素对发芽率的影响,结果发芽率由高到低顺序为:芦头(84%、96%,较显著)>中部根段(49%、70%)>下部根段(35%、69%),长度8cm(51%、75%)>6cm(49%、70%)>4cm(24%、65%),直径大于10mm(54%、88%)>5~10mm(49%、70%)>小于5mm(19%、53%),表明根的上部根段发芽较容易,而且根段越粗、越长则发芽率越高,这与根段的营养状况有关。因此,生产实际中根段育苗应优选直径5~10mm、长度6~8cm的中上部根段作种,可显著提高丹参的繁殖发芽率。李青苗等^[25]研究发现,采用直径为7~15mm种根,出苗齐,植株长势好(冠幅高达25.1cm),产量(1298.7kg/667m²)和丹参酮II A含量(高达0.239%)最高。因此,生产实践中对丹参根段进行适当处理能明显提高其产量和质量^[26-27]。

丹参药用部位为根及根茎,传统质量评价主要依据其外观颜色,有研究运用色差仪等颜色测试仪器将药材表面颜色与活性成分进行了相关性分析,并依据颜色制定了药材分级标准,为丹参药材质量快速评价提供了数字化依据^[28-29],因此,丹参根段表面颜色可作为快速检验药材质量优劣的评价指标。但目前有关根段的质量标准尚未有人制定。

3 种苗质量研究

种苗是植株继续生长发育的基础,其质量对药材的产量和有效成分积累有重要影响。影响种苗质量的因素主要是种苗大小、健壮度、芽头色、分根数等。经种苗收购站及市场调查发现,当地收购商按丹参种苗大小分级收购方式居多,分大把(100株为一捆,价格高)、小把(100株为一捆,价格低),价格每株0.04~0.1元不等,也有地方按斤收购。

姜卫卫等^[30]研究发现对于根头直径≤4mm的种苗,移栽时越大,质量等级越高,产量越高,丹参酮II A和隐丹参酮含量越高,但丹酚酸B、丹参素含量较低。桑波等^[31]利用主成分分析方法,研

究比较了幼苗叶片颜色(紫色、中间色、绿色)对植株出苗率、株高、冠幅、叶片数、根长、根粗、支根数及根鲜重等指标的影响,发现紫色叶片的幼苗无论地上部出苗率($49.38\% \pm 16.32\%$, 显著)、株高($29.93 \pm 10.00\text{cm}$, 较显著)、冠幅($52.68 \pm 18.29\text{cm}$)、叶片数(75.10 ± 23.95 个, 显著), 还是地下部主根长(高达 $24.92 \pm 21.53\text{cm}$, 显著)、主根直径($1.71 \pm 0.08\text{cm}$, 极显著)、支根数(高达 22.02 ± 31.44 个, 显著)、鲜重($0.265 \pm 0.007\text{kg}$, 显著)等指标均为最高, 而且药材产量也高于幼苗叶片为绿色类型植株(高达 3.53 倍), 但生殖生长(花枝数、开花率)则低于绿色类型植株, 综合各因素, 得出种苗质量: 紫色芽头(主成分分值为 22.971, 最优) > 中间色(主成分分值为 16.460, 次之) > 绿色芽头(主成分分值为 14.590, 最差)。吕海花等^[32]研究丹参种苗从萌芽到移栽 4 个不同发芽阶段对丹参种苗生物量及有效成分含量的影响中发现, 当丹参种苗芽根值为 0.25 (第 3 批)时, 与前 2 批相比, 脂溶性成分二氢丹参酮(0.42mg/g)、隐丹参酮(0.81mg/g)、丹参酮 I (0.59mg/g) 和丹参酮 II A (4.67mg/g) 同比增长至少分别为 75%、125%、47.5%、134.67%; 而当芽根值为 0.28 时(第 4 批), 与前 3 批相比, 水溶性成分迷迭香酸(0.42mg/g)、丹酚酸 B (0.42mg/g) 同比增长至少 12.4%、74.59%。因此当芽根值为 0.25~0.28 时, 丹参中脂溶性和水溶性成分达到或接近萌发阶段的最大值。张芳芳等^[33]以山东地区 26 份丹参种苗为材料, 依据根长、根粗分为 8 组, 移栽后在植株生长中期监测植株高度、地上分支数、花序数目等生长指标, 比较收获时各等级丹参药材产量, 利用 K 类中心聚类法建立了山东地区丹参种苗分级标准(1 级、2 级、3 级、4 级), 各等级为: 根长(1 级 $\geq 28\text{cm}$ 、2 级 $\geq 25\text{cm}$ 、3 级 $\geq 20\text{cm}$ 、4 级 $\geq 15\text{cm}$), 根直径(1 级 $\geq 8\text{mm}$ 、2 级 $\geq 5\text{mm}$ 、3 级 $\geq 4\text{mm}$ 、4 级 $\geq 2\text{mm}$), 分芽数(1 级 ≥ 8 个、2 级 ≥ 5 个、3 级 ≥ 2 个、4 级 ≥ 1 个), 从结果看上部根段是最佳繁殖材料, 此研究主要从产量进行比较, 对于品质方面未深入。通过上述研究成果, 结合生产实际得出: 当种苗为紫色芽头, 芽根值在 0.25~0.28 之间, 根长越长, 直径越粗且分芽数越多, 则移栽成活率越高, 产量和质量越好。应注意并非种苗越大越好, 足够大时可作药用, 应避免生产浪费。

4 种子、种苗质量标准制定

开展丹参人工栽培的早期, 对繁殖材料均有相应的质量要求, 但并未进行系统归纳与总结, 在栽培规模逐步扩大的同时, 丹参种子、种苗质量日渐受到重视, 种子、种苗质量标准研究才陆续开展起来。

目前, 丹参种子、种苗国家级质量标准尚未颁布, 仅四川、陕西等省制定了省级标准。其中四川省质量技术监督局于 2010 年发布了四川省丹参种子地方质量标准: 纯度(原种 $\geq 95.0\%$ 、良种 $\geq 90.0\%$), 净度 $\geq 90.0\%$, 发芽率 $\geq 25.0\%$, 水分 $25.0\% \sim 30.0\%$, 千粒重 $\geq 0.9\text{g}$; 丹参种苗地方质量标准: 苗高(种子培育 4~10cm、种根培育 3~8cm), 叶片数(种子培育 6~10 片、种根培育 4~8 片), 基径(种子培育 1.5~3.5mm、种根培育 2.0~4.0mm), 叶色(种子培育绿色、种根培育绿色浓绿), 根系(种子培育良好、无瘤肿, 种根培育良好、无瘤肿); 丹参种根质量标准: 纯度($\geq 98\%$), 净度($\geq 95\%$), 出苗率($\geq 85\%$), 水分($65\% \sim 75\%$), 种根直径(10~15mm), 种根长度(2.0~3.0cm), 杂色率($<2.0\%$), 另外规定了丹参种子、种苗及种根的质量要求和检验方法, 还定义了相关术语, 在此标准中, 种子方面规定了纯度、净度、发芽率、水分及千粒重指标, 种苗方面规定了种子培育种苗和种根培育种苗的苗高、叶片数、基茎、叶色及根系指标, 种根规定了纯度、净度、出苗率、水分、直径、长度、杂色率指标。陕西省于 2016 年发布了陕西省丹参种子地方质量标准(1 级、2 级、不合格), 各等级为: 纯度(1 级 $\geq 95\%$ 、2 级 $\geq 95\%$ 、不合格 $<95\%$), 发芽率(1 级 $\geq 55\%$ 、2 级 $55\% \sim 27\%$ 、不合格 $<27\%$), 发芽势(1 级 $\geq 49\%$ 、2 级 $49\% \sim 22\%$ 、不合格 $<22\%$), 发芽指数(1 级 ≥ 19 、2 级 $19 \sim 8$ 、不合格 <8), 生活力(1 级 $\geq 66\%$ 、2 级 $66\% \sim 31\%$ 、不合格 $<31\%$), 千粒重(1 级 $\geq 1.90\text{g}$ 、2 级 $1.90 \sim 1.60\text{g}$ 、不合格 $<1.60\text{g}$), 含水量(1 级 $\leq 10\%$ 、2 级 $\leq 10\%$ 、不合格 $<10\%$), 净度(1 级 $\geq 90\%$ 、2 级 $90\% \sim 80\%$ 、不合格 $<80\%$)。种苗地方质量标准(1 级、2 级、不合格), 各等级为: 根长(1 级 $\geq 10\text{cm}$ 、2 级 $\geq 10\text{cm}$ 、不合格 $<10\text{cm}$), 基径(1 级 $\geq 5\text{mm}$ 、2 级 $3 \sim 5\text{mm}$ 、不合格 $<3\text{mm}$), 根色(1 级深红色、2 级红色、不合格黄白色), 根系(1 级良好、无瘤肿, 2 级良好、无瘤肿, 不合格有节瘤), 芦头、顶芽(1 级完整无机械损伤、2 级完整

无机械损伤、不合格不完整有机械损伤)。种子地方质量标准方面:相比四川省,陕西省种子地方质量标准多了发芽率、发芽指数、生活力3项衡量内部质量的指标,并且四川省种子标准中在发芽率($\geq 25\%$,同比降低2.2倍)上要求过低会抑制产量,含水量(25.0%~30.0%,同比增加2.5倍)要求过高会诱使种子霉变而降低活力。种苗地方质量标准方面:四川省对叶片数量做了硬性要求,过于苛刻,因为育苗移栽繁殖时宜早春进行,此时叶片数并非越多越好;叶色在上述研究成果(桑波等^[31])中已表明紫色芽头种苗质量最优,并非绿色芽头;而陕西省种苗根长、基茎指标均为设置上限,生产中部分大种苗可当药材药用,应避免生产浪费。另外,两项省级种苗标准中均未涉及分芽数评价质量,也存在一定局限性。与张芳芳等^[33](根长 $\geq 28\text{cm}$,根直径 $\geq 8\text{mm}$)研究相比,陕西省种苗(根长 $\geq 10\text{cm}$,基茎 $\geq 5\text{mm}$)要求较低,说明不同产区种苗大小差异性比较明显。

5 结论

种子、种苗质量是影响丹参药材产量与质量的关键因素,制定丹参种子、种苗质量标准是保障种子、种苗质量,提高药材产量与质量的有效途径。由于丹参花期较长(5~8月),种子个体小,因此受自然条件影响大,采收较困难。而且种子萌发率低(自然条件下只有30%~40%)、出苗不齐、成熟度不一、贮藏与寿命、各地环境及栽培措施等问题,是制约丹参种子种苗繁殖的重要因素。但丹参种子、种苗质量标准如何制定,其内涵应该包括哪些内容,都有诸多需要商榷的问题。通过综述有关质量标准文献来看:丹参种子质量标准研究中,应把种子个体大小、颜色、含水量、净度、纯度、生活力、发芽率等综合考虑,严格区分陈种子与新种子,也可把贮藏期限指标考虑在内;在丹参种苗质量标准研究中,应把根长、根直径、株鲜重、支根数、芽色、分芽数等综合考虑,指标需有上、下限。另外根段繁殖、扦插繁殖生产中也常见,因此制定根段苗标准中应涉及长度、部位、直径等指标。扦插苗质量应考虑包括枝条选取、枝条截取部位、扦插方式与深度、移栽时间等。

中药材种子种苗的质量水平是衡量药材规范化种植的重要指标。但由于目前中药材市场品种混杂,市场规模小,导致种子纯度降低,种苗无分级,当

地药农采挖种苗后直接按捆或按斤销售,并未经分类出售,导致优质低售,价格制定不合理,经济效益低,药农生产积极性不高,因此丹参等大宗药材种子种苗质量标准制定及实施势在必行。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015年版一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 76-77
- [2] 崔红艳, 周海, 胡发龙, 等. 陇西中药材种子种苗市场现状及其发展对策[J]. 中国现代中药, 2014, 16(10): 848-851
- [3] 周海, 周瑞峰. 甘肃省中药材种子种苗市场现状及发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2016, 22(5): 67-70
- [4] 孙群, 梁宗锁, 李绍军, 等. 丹参种子形态结构与吸水萌发特性[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(10): 934-938
- [5] 耿守保, 魏永胜, 梁宗锁. 丹参种子的种皮颜色与萌发的水分和热量需求[J]. 西北农业学报, 2014, 23(10): 163-169
- [6] Du Y J, Huang Z L. Effects of seed mass and emergence time on seedling performance in *Castanopsis chinensis*[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 25(5): 2495-2501
- [7] Bonner F T. Importance of seed size in germination and seedling growth[J]. Plant Physiology, 1987, 7: 53-61
- [8] Farmer R E. Seed ecophysiology of temperate and boreal zone forest trees[M]. Delray Beach: St Lucie Press, 1997
- [9] Dyer A R. Maternal and sibling factors induce dormancy in dimorphic seed pairs of *Aegilops triuncialis*[J]. Plant Ecology, 2004, 172: 211-218
- [10] 王涛, 刘世勇, 江晓波, 等. 不同产地丹参种子形态及萌发特性的研究[J]. 四川农业大学学报, 2014, 32(3): 293-297
- [11] 单成钢, 张教洪, 王光超, 等. 丹参种子特性研究[J]. 中国现代中药, 2013, 15(8): 680-684
- [12] 李颖, 李军德, 李丰胜, 等. 丹参与白花丹参的种子生物学特性研究[J]. 中国现代中药, 2016, 18(12): 1612-1615
- [13] 成清琴, 王磊, 陈娟, 等. 丹参种子的超干贮藏研究[J]. 中草药, 2010, 41(5): 825-829
- [14] 李晓琳, 展晓日, 李颖, 等. 丹参种子的生物学特性[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(18): 27-30
- [15] 卫士美, 史俊民, 贾生平, 等. 丹参种子长期贮藏技术[J]. 种子科技, 2012(10): 34
- [16] Dhindsa R S. Enzymes of glutathione metabolism, oxidation injury, and protein synthesis in *Tortula ruralis*[J]. Biophys, 1978, 188: 210-213
- [17] 李先恩. 药用植物种子生物学特性多样性的概述[J]. 中国中药杂志, 1994, 19(9): 515-531
- [18] 和根强, 薛润光, 郭承刚, 等. 丹参种子的萌发特性研究[J]. 种子, 2014, 33(4): 82-85
- [19] 马宏亮, 秦民坚, 刘立贤. 丹参陈种子对发芽质量的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2006, 20(4): 15-17
- [20] 孙群, 梁宗锁, 李绍军, 等. 丹参种子形态结构与吸水萌发特性[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(10): 934-938
- [21] 李小玲, 华智锐. 商洛丹参种子品质检验与质量标准的探讨[J]. 浙

转基因抗虫玉米 MON810 转化事件的研究及应用

杨 双

(辽宁省沈阳市农业科学院, 沈阳 110034)

摘要:目前全球被批准商业化的玉米转化事件达 148 个, 转基因抗虫玉米中 MON810 转化事件的商业化程度最高, 全球有 26 个国家和地区批准其用于种植或饲料食品加工。我国从 2002 年开始允许进口 MON810 品系转基因玉米用于饲料食品的加工原料。鉴于 MON810 在中国的专利将在 2020 年过期, 为了进一步应用该转化事件, 本文综述了有关 MON810 转化事件的分子生物学特征、检测方法、杀虫效果、安全评价、国内外应用现状, 供相关从业者参考。

关键词:抗虫玉米; 转化事件; MON810

转基因育种技术包括基因分离、基因克隆、载体构建、遗传转化、转化事件筛选、品种选育等环节, 其核心技术是遗传转化, 即将外源基因转入受体基因组中。目前转基因玉米常用的遗传转化方法是基因枪法和农杆菌介导法。转化时外源基因随机插入到受体材料的基因组中, 不同的插入位点产生不同的转化事件, 因此每次转化反应一般产生几十个至上千个转化事件。在品种选育前需要从中筛选出外源基因表达水平和表达模式符合商业化用途的转化事件。同一个转化事件可以通过常规杂交手段导入其他玉米材料中, 进而选育出不同品种, 成为某个转化事件的品系。转化事件不易被修饰改造而被重新申请专利, 所以转化事件具备很难绕过或者规避的技术优势, 因此转化事件是转基因育种知识产权保护的重点, 也是转基因产品检测中鉴定转基因品系的关键^[1]。目前全球被批准商业化的玉米转化事

件达 148 个, 转基因抗虫玉米中 MON810 转化事件的商业化程度最高, 全球有 26 个国家和地区批准其用于种植或饲料食品加工。鉴于 MON810 在中国的专利将在 2020 年过期, 为了进一步应用该转化事件, 本文综述了有关 MON810 转化事件的分子生物学特征、检测方法、杀虫效果、安全评价、国内外应用现状, 供相关从业者参考。

1 MON810 的分子生物学特征及检测技术

MON810 是美国孟山都公司于 1993 年研发成功, 1996 年美国批准其进行商业化种植。其外源基因来源于苏云金芽孢杆菌库斯塔克亚种 HD-1 菌种 (*Bacillus thuringiensis* subsp. *Kurstaki* HD-1) 的 *CryA b* 基因, 经基因修饰后接入质粒载体 PV-ZMBK07 中, 通过基因枪法实现遗传转化。

1.1 MON810 的分子生物学特征 MON810 转化事件的插入序列包含 CaMV 35S 启动子 (299bp), 经

江农业科学, 2013 (8): 961-963

[22] 魏良柱, 邢丙聪, 孙瑞泽, 等. 商洛地区丹参种子质量现状分析及评价方法建立 [J]. 种子, 2016, 35 (3): 89-92

[23] 淡红梅, 李先恩. 甘草、丹参、牛膝种子检验规程与质量分级标准的研究 [D]. 北京: 中国协和医科大学, 2006

[24] 仇劲, 马利红, 刘政波, 等. 丹参根段繁殖的发芽率试验研究 [J]. 山东农业科学, 2016, 48 (3): 73-75

[25] 李青苗, 张美, 周先建, 等. 种根粗度对丹参出苗及药材产量和质量的影响研究 [J]. 中药与临床, 2011, 2 (4): 8-10

[26] 仇劲, 马利红, 李国清, 等. 不同根段繁殖处理对丹参产量和品质的影响 [J]. 中药材, 2016, 39 (7): 1469-1471

[27] 田伟, 周巧梅, 温春秀, 等. 丹参根段不同处理的对比试验研究 [J]. 现代中药研究与实践, 2006, 20 (3): 18-20

[28] 牛敏, 刘红燕, 刘谦, 等. 4 个栽培年限丹参颜色与 9 种活性成分含量的相关性 [J]. 中成药, 2017, 39 (1): 131-135

[29] 王海, 严铸云, 沈昱翔, 等. 丹参药材的颜色特征与有效成分的相关性研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2014, 25 (3): 333-338

[30] 姜卫卫, 张永清. 山东地区丹参规范化种植关键技术研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2005

[31] 桑波, 胡晶红, 刘谦, 等. 基于芽头颜色差异的丹参优良品系筛选研究 [J]. 山东中医杂志, 2015, 34 (2): 131-134

[32] 吕海花, 刘伟, 杨帆, 等. 不同发芽阶段对丹参种苗生物量及活性成分含量的影响 [J]. 时珍国医国药, 2017, 28 (6): 1454-1456

[33] 张芳芳, 张永清, 顾正位, 等. 山东地区丹参种苗质量分级标准研究 [J]. 山东中医药大学学报, 2012, 36 (3): 236-239

(修回日期: 2018-03-27)