

研究报告

Research Report

一串红新品种红运的选育与 SRAP 鉴定

傅巧娟* 李春楠 沈国正 陈一 赵福康

杭州市农业科学研究院, 杭州, 310024

* 通讯作者, fqjwxj@126.com

摘要 一串红品种神州红种子用 ^{60}Co γ 射线 150 Gy 辐射诱变处理, 诱变后代材料经多代选择, 育成了新品种红运, 2016年1月通过浙江省非主要农作物品种审定委员会的审定。与原品种神州红相比, 红运的开花期、株型、花序性状及耐热性等均有明显改善。SRAP分析的结果显示, 在所用的61对SRAP引物组合中有35对呈现多态性, 二者的遗传相似系数为0.960, 说明辐射诱变处理引起了一串红遗传物质的变异。本研究的结果证明, 辐射诱变对一串红是一种有效的育种途径, SRAP技术是分析辐射诱变的有效方法。

关键词 一串红育种, 辐射诱变, 新品种红运, SRAP

Breeding and SRAP Identification of a New Scarlet Sage Variety Hongyun

Fu Qiaojuan* Li Chunnan Shen Guozheng Chen Yi Zhao Fukang

Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, 310024

* Corresponding author, fqjwxj@126.com

DOI: 10.13271/j.mpb.016.002053

Abstract A new scarlet sage (*Salvia splendens*) variety Hongyun was obtained by several generation selections from the progeny of the variety Shenzhouhong carried by ^{60}Co γ -ray radiation with 150 Gy. Hongyun was approved to release by Non-major Crop Identification Committee of Zhejiang Province in January 2016. Compared with its original variety Shenzhouhong, Hongyun was significantly improved in flowering time, plant shape, inflorescence character and heat resistance trait. SRAP (sequence-related amplified polymorphism) analysis showed that 35 of 61 pairs of primer combinations tested in total were polymorphic and the genetic similarity coefficient between them was 0.960, suggesting that the genetic variation was happened after γ -ray irradiation. Our results could prove that ^{60}Co γ -ray irradiation was a kind of effective breeding approach for *Salvia splendens* and the SRAP was an efficient method for analysis of ^{60}Co γ -ray-induced mutations.

Keywords Scarlet sage (*Salvia splendens*) breeding, Mutation by radiation, New variety Hongyun, SRAP

一串红(*Salvia splendens*)又称爆竹红、象牙红、西洋红等, 是唇形科(Labiatae)鼠尾草属(*Salvia* L.)多年生草本植物, 常作一、二年生栽培; 尽管在中国栽培历史较短, 但已成为重要的节日花坛花之一, 在城市美化的应用上也是最普遍的, 品种以花萼、花冠色泽红艳的为主。近年来, 中国的一串红育种研究工作已陆续开展, 但自主育成的品种仍有限(惠长敏等, 2004; 傅巧娟等, 2009; 李娟娟等, 2014; 陈洪伟等, 2014; 张

秀芳等, 2014; 崔荣峰等, 2016; 董爱香等, 2016), 且以中高型居多, 每年所需的一串红种子仍主要依靠进口。辐射诱变是目前花卉育种过程中一种非常重要的手段, ^{60}Co γ 射线是最常用的辐射诱变源(高键和卢惠萍, 2000), 但在一串红品种选育上的应用却未见报道。

本研究以自主一串红品种神州红为材料, 用150 Gy ^{60}Co γ 射线处理种子, 通过田间多代系统选育, 最终育成了新品种红运(陈一等, 2016)。本研究将着重介

绍其选育经过、主要特征特性以及栽培技术要点,并采用本课题组在一串红上建立的 SRAP (Sequence-related amplified polymorphism) 标记(沈国正等, 2011) 揭示其遗传物质的变异。

1 结果与分析

1.1 选育过程

红运是以神州红种子经 150 Gy ^{60}Co γ 射线辐射处理, 在田间通过 6 代系统选育而成的一串红新品种(表 1)。2008 年 3 月, 自主品种神州红种子 1 000 粒左右, 经 ^{60}Co γ 射线 150 Gy 处理后, 于 2008 年秋季, 播种形成 M1, 采用单株授粉混合采种的方法, 共收到种子 500 余粒。取 M1 代种子播种形成 M2 群体, 此代出现了明显的变异(包括株型, 叶片及花的性状等的变异), 采用单株选择法对变异植株进行单株留种。将 M2 代选择的变异单株种子播种, 形成对应的 M3 株系圃, 根据选育目标继续进行选择, 获得一个株型矮、开花早、花序紧凑的株系 FS08-2-h。将株系 FS08-2-h 的种子播种, 形成 M4 群体, 淘汰不符合选育目标的植株, 其余植株单株授粉混合采收。依次累推, 在 M6 代, 获得稳定性好, 株型矮, 叶色深,

始花早, 花序紧凑, 花冠长, 观赏效果佳, 抗热性好的新品系, 定名为‘红运’。2013-2014 年开展两年多点区域品比试验, 2016 年 1 月通过了浙江省非主要农作物品种审定委员会的审定。

1.2 主要特征特性及 SRAP 标记鉴定

在春季大棚种植条件下, 红运从播种至始花 94 d, 始花至谢花(观花期) 59 d, 主花序观花期 31 d。株型紧凑, 矮生, 盛花期(一次分枝开花期)平均株高 17.3 cm, 冠幅 21.7 cm; 叶片深绿色, 叶脉下陷明显, 叶柄较长; 花红色, 花序长平均 14.5 cm, 花间长较短, 花序紧凑, 花冠及花萼均较长, 分别平均 4.2 cm、1.8 cm。在浙江本地夏季高温季节, 花萼留存率、植株成活率较高, 观花期长, 耐热性较好。

为检测新品种红运的遗传物质是否发生变化, 采用本课题组已建立的 SRAP 标记进行比较, 不同引物组合的扩增情况如下(表 2)。可以发现, 所用的 61 对 SRAP 引物组合中, 有 35 对引物组合显示出二者间的多态性; 在神州红中扩增得到 705 条带, 在红运中扩增到 699 条带, 其中 674 条带未显示二者间的多态性, 遗传相似系数为 0.960。迁移位置有差异

表 1 红运的选育过程

Table 1 Selection of Hongyun

种植年份 Planting year	选育工作描述 Selection description
2008 年春 Spring 2008	自主品种神州红种子 1 000 粒左右, 用 ^{60}Co γ 射线 150 Gy 辐射处理 About 1 000 seeds of Shenzhouhong were treated by ^{60}Co γ -ray radiation with 150 Gy
2008 年秋 Autumn 2008	种植形成 M1 群体, 获得种子 500 余粒 The M1 population was formed and more than 500 seeds were obtained
2009 年春 Spring 2009	考察变异情况, 从 M2 群体中选择变异单株留种 Mutant plants were selected from M2 group through investigation of variation and seeds were obtained
2010 年春 Spring 2010	形成 M3 株系圃, 选择优良变异株系 FS08-2-h M3 strain nursery was formed, and the well variant strain FS08-2-h was selected
2010 年秋 Autumn 2010	继续从 FS08-2-h-h 株系中选择优良单株, 单株授粉混合采收 The excellent individual plants were selected from the FS08-2-h-h lines with individual pollination and mixed seed harvesting
2011 年春 Spring 2011	根据育种目标从该株系 M5 群体中选择优良单株 According to the breeding objective, the excellent individual plants were selected from the M5 population of the strain
2012 年春 Spring 2012	获得稳定优良株系 FS09, 定名为‘红运’ The stable strain FS09 was obtained and named ‘Hongyun’
2013~2014 年 2013~2014	参加多点品比与区试 Variety comparison and regional test were carried out
2016 年 1 月 January 2016	浙江省非主要农作物品种审定 Hongyun was approved to release by Non-major Crop Identification Committee of Zhejiang province

表 2 不同 SRAP 引物组合的扩增情况

Table 2 Amplification results of different SRAP primer combinations

引物组合 Primer combination	红运 Hongyun	神州红 Shenzhouhong	引物组合 Primer combination	红运 Hongyun	神州红 Shenzhouhong	引物组合 Primer combination	红运 Hongyun	神州红 Shenzhouhong
F1R1	11	11	F3R6	10	10	F6R4	10	9
F1R2	15	15	F3R7	10	10	F6R5	14	14
F1R3	14	14	F3R8	9	9	F6R6	7	8
F1R4	16	16	F4R1	14	12	F6R7	9	9
F1R5	10	11	F4R2	6	7	F6R8	16	13
F1R6	11	10	F4R3	11	10	F7R1	10	10
F1R7	19	17	F4R4	13	12	F7R2	12	12
F1R8	13	12	F4R5	14	13	F7R3	17	17
F2R1	10	13	F4R6	11	11	F7R4	10	12
F2R2	9	9	F4R7	13	13	F7R5	14	18
F2R3	11	11	F4R8	11	12	F7R6	8	7
F2R4	9	10	F5R1	10	10	F8R1	17	16
F2R5	17	19	F5R2	12	12	F8R2	9	11
F2R6	8	8	F5R3	11	14	F8R3	14	15
F2R7	14	15	F5R4	7	8	F8R4	10	10
F2R8	10	7	F5R5	13	11	F8R5	11	12
F3R1	11	11	F5R6	7	7	F8R6	14	13
F3R2	9	10	F5R7	8	8	F8R7	5	6
F3R3	7	6	F5R8	11	10	F8R8	14	16
F3R4	17	17	F6R1	14	14	-	-	-
F3R5	12	12	F6R2	10	10	合计	699	705
						Total		

的条带中,新品种红运既有插入带,也有缺失带,这一结果表明,与亲本神州红相比,红运在基因组上多个位点发生了基因片段的插入、缺失或重组等改变,这些变化用 SRAP 标记均可有效鉴别。图中显示的是其中 5 对引物组合在神州红与红运间所揭示的扩增片段差异(图 1)。

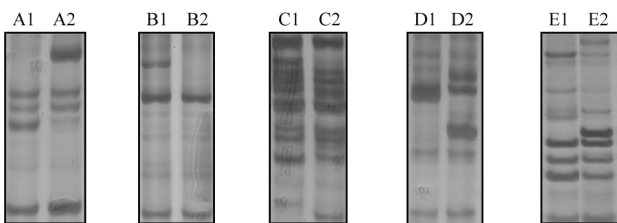


图 1 5 对引物组合在神州红(1)和红运(2)间显示的多态性
注: 引物组合 A: F1R6; B: F2R4; C: F2R5; D: F6R2; E: F8R1
Figure 1 Polymorphism between Shenzhouhong (1) and Hongyun (2) showed by 5 primer combinations
Note: Primer combinations A: F1R6; B: F2R4; C: F2R5; D: F6R2; E: F8R1

1.3 栽培技术要点

1.3.1 适时播种, 培育壮苗

红运抗热性较强,可供“五一”和国庆节应用。播种期可分别选在 1 月初和 6 月底,育苗基质以选择专用育苗泥炭、容器采用 200 孔育苗盘为佳,点播后适当覆盖或不覆盖,浇透水,置于温度 20℃~23℃、相对湿度 90%以上的催芽室中催芽。种子发芽后,移至温室中,逐渐降低湿度,增加光照强度。一对真叶展开后,基质保持干湿交替,全光照并增强通风,防止幼苗的徒长及病虫害的发生。

1.3.2 适时定植, 加强田间管理

待幼苗 2 对真叶完全展开后进行定植。定植容器一般选择φ12~14 cm 的花盆,基质应选择既保水又疏松的园土或泥炭土等,同时可拌入 0.1%~0.5%的腐熟有机肥作基肥,定植后浇透水。早春栽培时应注意保温;光照强、气温高时应适当遮荫、降温,促进幼苗正常生长。一般一周后进行正常的田间管理。

1.3.3 合理肥水

根据基质情况,适时浇水,做到干透浇透。在开花前可根据栽培条件,选择适宜的肥料(复合肥,尿素或花多多等)进行追肥,追肥的原则是“薄肥勤施”,开花后视植株生长情况施用复合肥或花多多 20-20-20 等。

1.3.4 加强病虫害防治

以防为主,防治结合。在整个生长过程中,常发生的虫害主要有红蜘蛛、白粉虱、蚜虫、蜗牛等,可采用专用的低毒农药进行喷杀。常发生的病害有茎腐病、叶斑病等,可用广谱性杀菌剂百菌清、多菌灵等进行预防控制。同时,注意棚内的通风排水,控制温、湿度,及时清除病株、残株败叶及杂草,减少病虫害侵染源。

2 讨论

辐射诱变育种是一种行之有效的育种方法,一次处理能产生较多的表型变异材料,同时产生染色体变异和基因突变,增加变异类型,也缩短育种年限(彭绿春等, 2007)。在花卉品种选育过程中,中国已广泛地应用了辐射诱变育种技术,并取得了可喜的成果,其中仅在月季(许肇梅等, 1986)、菊花(杨保安等, 1996)、美人蕉等植物上育成的新品种就有近百个(杨兆民和张璐, 2011)。 ^{60}Co γ 射线是诱变育种中常用的辐射诱变源(黄桂丹, 2016),利用 ^{60}Co γ 射线诱发突变,选择有观赏价值的新品种,是一种行之有效的方法,但在一串红育种研究上报道较少(傅巧娟等, 2009)。本研究通过 ^{60}Co γ 射线 150 Gy 处理一串红种子,结合田间选择,培育出了新品种红运,该品种在开花期、株型、花序性状及耐热性等指标上均明显优于其亲本品种,说明辐射诱变在一串红上也是一项有效的育种技术,通过辐射诱变育种同样可以创造出新材料或选育出新品种。

DNA 标记是基因组分子水平上遗传多态性的直接反映,利用 DNA 标记技术从分子水平上对变异材料进行分析,有助于进一步证明诱变的获得以及阐明诱变的机理(傅巧娟等, 2012)。近年来,利用分子标记手段研究辐射诱变的遗传变异已经在小麦(来德娥等, 2012)、马铃薯(黄团等, 2010)、砀山酥梨(王妍炜等, 2010)、猕猴桃(刘平平等, 2016)、苦瓜(黄如葵等, 2015)、黑芝麻(孙建等, 2014)、兰花(任羽等, 2016; 蒋彧, 2013)、菊花(邢莉莉等, 2009)、蕨类植物(叶晓青等, 2016)等作物中有了相关报道,所用的标记主要是 SSR、SRAP、ISSR 和 RAPD 等,其中 SRAP 标记具有

简单、高效、高共显性、重复性好等特点(房超等, 2011; 谢春花等, 2012)。本研究对 ^{60}Co γ 射线诱变选育的一串红品种红运进行了 SRAP 标记的分析,结果显示,诱变品种与其亲本相比,在 DNA 水平上已发生了明显的变异,表现为既有缺失条带也有新增条带,表明经辐射诱变育成的新品种的基因组位点可能产生了缺失、插入、重复、倒位、易位等 DNA 重组变化。SRAP 标记检测的是基因可阅读框功能区域多态性,这些多态性可能与重要目标性状基因是直接相关的(Riaz et al., 2001),从而导致了表型上的差异,当然,本研究中获得的多态位点是否与特异表型性状相关联,仍有待进一步研究。

3 材料与方法

3.1 材料与选育方法

自主品种神州红种子采用 150 Gy ^{60}Co γ 射线进行辐射处理,处理后的种子采用专用育苗泥炭、200 孔育苗盘进行育苗,移植于 ϕ 12~14 cm 的花盆中进行常规栽培管理(详见栽培技术要点)。根据矮生、花期早且长、花色好、花序长、观赏效果佳、抗逆性好等选育目标与对照相比,选择优良变异材料,通过多年多代单株留种、两年多点区试,最终获得稳定性、一致性好,特异性明显的新品种(详见选育过程)。

3.2 DNA 提取和质量检测

取幼嫩的叶片按照 Doyle (1987) 的 CTAB 改良法提取基因组总 DNA,经琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 完整性,紫外分光光度计检测 DNA 的质量和浓度。统一稀释到 50 ng/ μL , -20°C 保存备用。

3.3 SRAP 扩增与检测

一串红 SRAP-PCR 体系为:1 \times PCR 缓冲液、2 mmol/L MgCl_2 、0.2 mmol/L dNTPs、0.4 $\mu\text{mol/L}$ 引物、50 ng 模板 DNA 和 1 U *Taq* DNA 聚合酶,用无菌水补足至 25 μL 。其中引物根据 Li 等(2001)的设计原则,设计正反向引物各 8 条(表3)。扩增程序为:94 $^\circ\text{C}$ 5 min,94 $^\circ\text{C}$ 45 s,35 $^\circ\text{C}$ 1 min,72 $^\circ\text{C}$ 1 min 30 s,共 5 个循环;94 $^\circ\text{C}$ 45 s,50 $^\circ\text{C}$ 1 min,72 $^\circ\text{C}$ 1 min 30 s,共 35 个循环;72 $^\circ\text{C}$ 延伸 10 min,4 $^\circ\text{C}$ 保存。扩增产物参照 Bassam 等(1991)的方法,采用 8%聚丙烯酰胺凝胶电泳分离,110 V 恒压约 120 min,银染显影(方卫国等, 2000)。引物合成和相关试剂均购自上海生工生物工程有限公司。

表 3 SRAP 正反引物序列

Table 3 Sequences of SRAP forward and reverse primers

编号 Code	引物序列(5'-3') Primer (5'-3')
F1	F: TGAGTCCAAACCGGATA
R1	R: GACTGCGTACGAATTAAT
F2	F: TGAGTCCAAACCGGAGC
R2	R: GACTGCGTACGAATTTGC
F3	F: TGAGTCCAAACCGGAAT
R3	R: GACTGCGTACGAATTGAC
F4	F: TGAGTCCAAACCGGACC
R4	R: GACTGCGTACGAATTTGA
F5	F: TGAGTCCAAACCGGAAG
R5	R: GACTGCGTACGAATTAAC
F6	F: TGAGTCCAAACCGGTAA
R6	R: GACTGCGTACGAATTGCA
F7	F: TGAGTCCAAACCGGTCC
R7	R: GACTGCGTACGAATTCAT
F8	F: TGAGTCCAAACCGGTGC
R8	R: GACTGCGTACGAATTAGC

3.4 数据统计与处理

统计凝胶上清晰、易读取的 SRAP 扩增条带,以相同迁移位置上有带记为 1,无带记为 0,建立原始数据矩阵。运用 NTSYS-pc2.1 软件处理数据,计算遗传相似系数(GS)。

致谢

本研究由浙江省花卉新品种选育重大科技专项重点项目(2012C12909-12)和杭州市科技计划项目(20140932H04)共同资助。

作者贡献

傅巧娟是项目主要负责人,负责项目设计及新品种选育,并完成论文初稿的写作和后期的修改,李春楠为项目负责人之一,负责分子标记鉴定及论文修改,沈国正、陈一和赵福康参与项目实施及论文修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

参考文献

- Bassam B., Caetano-Anolles G., and Gresshoff P.M., 1991, Fast and sensitive silver staining of DNA in polyacrylamide gels, *Analytical Biochemistry*, 196(1): 80-83
- Chen H.W., Wang H.L., Hong P.P., Shi A.P., and Liu K.F., 2014, A new *Salvia splendens* cultivar 'Cailinghong', *Yuanyi Xuebao (Acta Horticulturae Sinica)*, 41(9): 1955-1956 (陈洪

伟,王红利,洪培培,石爱平,刘克锋,2014,一串红新品种'彩铃红',*园艺学报*, 41(9): 1955-1956)

- Chen Y., Li C.N., Fu Q.J., Zhao F.K., and Sun Y., 2016, A new scarlet sage cultivar 'Hongyun', *Yuanyi Xuebao (Acta Horticulturae Sinica)*, 43(S2): 2789-2790 (陈一,李春楠,傅巧娟,赵福康,孙瑶,2016,一串红新品种'红运',*园艺学报*, 43(S2): 2789-2790)
- Cui R.F., Zhao Z.N., Xin H.B., Qin H.L., and Dong A.X., 2016, A new *Salvia splendens* cultivar 'Shijihong', *Yuanyi Xuebao (Acta Horticulturae Sinica)*, 43(S2): 2787-2788 (崔荣峰,赵正楠,辛海波,秦贺兰,董爱香,2016,一串红新品种'世纪红',*园艺学报*, 43(S2): 2787-2788)
- Dong A.X., Zhao Z.N., Cui R.F., Xin H.B., and Qin H.L., 2016, A new *Salvia splendens* cultivar 'Qiji', *Yuanyi Xuebao (Acta Horticulturae Sinica)*, 43(S2): 2785-2786 (董爱香,赵正楠,崔荣峰,辛海波,秦贺兰,2016,一串红新品种'奇迹',*园艺学报*, 43(S2): 2785-2786)
- Doyle J.A., and Doyle J.L., 1987, A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue, *Phytochemical Bulletin*, 19(1): 11-15
- Fang C., Li Y.J., Shuai B., Liu D.C., Liu X.J., Liang G.Y., and Yang H., 2011, SRAP analysis of genetic diversity in eggplant and relative species, *Xinan Nongye Xuebao (Southwest China Journal of Agricultural Sciences)*, 24(5): 1853-1860 (房超,李跃建,帅波,刘独臣,刘小俊,梁根云,杨宏,2011,茄子及其近缘野生种遗传多样性的 SRAP 分析, *西南农业学报*, 24(5): 1853-1860)
- Fang W.G., Wei Y.T., and Pei Y., 2000, An effective silver staining protocol for DNA, *Yichuan (Hereditas)*, 22(3): 167-168 (方卫国,韦宇拓,裴炎,2000,一种新的 DNA 银染方法, *遗传*, 22(3): 167-168)
- Fu Q.J., Chen Y., Zhao H.P., and Liu H., 2009, Effects of ^{60}Co γ -ray treatment on seed germination and seedling formation in *Salvia splendens*, *Zhejiang Nongye Xuebao (Acta Agriculturae Zhejiangensis)*, 21(2): 135-138 (傅巧娟,陈一,赵杭苹,刘辉,2009, ^{60}Co γ -射线处理对一串红种子发芽及幼苗形成的影响, *浙江农业学报*, 21(2): 135-138)
- Fu Q.J., Shen G.Z., Chen Y., and Zhao H.P., 2009, A new scarlet sage cultivar 'Shenzhouhong', *Yuanyi Xuebao (Acta Horticulturae Sinica)*, 36(10): 1557-1558 (傅巧娟,沈国正,陈一,赵杭苹,2009,一串红新品种'神州红',*园艺学报*, 36(10): 1557-1558)
- Fu Q.J., Shen G.Z., Li C.N., and Cui H.R., 2012, Breeding of a new scarlet sage variety Shenzhouhong and its identification by SRAP, *Henong Xuebao (Journal of Nuclear Agricultural Sciences)*, 26(4): 656-659 (傅巧娟,沈国正,李春楠,崔海瑞,2012,一串红新品种神州红的选育与 SRAP 鉴定, *核农学报*, 26(4): 656-659)
- Gao J., and Lu H.P., 2000, Progress of study on radiation breeding

- of ornamental plants, *Anhui Nongye Daxue Xuebao* (Journal of Anhui Agricultural University), 27(3): 228-230 (高键, 卢惠萍, 2000, 花卉辐射诱变育种研究进展(综述), *安徽农业大学学报*, 27(3): 228-230)
- Huang G.D., 2016, Research progress for ^{60}Co - γ ray radiation breeding, *Linye Yu Huanjing Kexue* (Forestry and Environmental Science), 32(2): 107-111 (黄桂丹, 2016, ^{60}Co - γ 射线辐射育种研究进展, *林业与环境科学*, 32(2): 107-111)
- Huang R.K., Huang X.J., Liang J.Z., Huang Y.H., Ju X.X., Chen X.F., Feng C.C., Chen Z.D., and Liu X.L., 2015, Germplasm innovation of *Momodica charantiawia* irradiation mutation and marker-assisted selection, *Nanfang Nongye Xuebao* (Journal of Southern Agriculture), 46(3): 376-380 (黄如葵, 黄熊娟, 梁家作, 黄玉辉, 琺茜茜, 陈小凤, 冯诚诚, 陈振东, 刘杏连, 2015, 利用辐射诱变及分子标记辅助筛选进行苦瓜种质创新, *南方农业学报*, 46(3): 376-380)
- Huang T., Deng K.P., Lei Z.G., and Huang X.Q., 2010, Molecular identification of potato mutants induced by ^{60}Co - γ radiation, *Guizhou Nongye Kexue* (Guizhou Agricultural Science), 38(8): 8-10 (黄团, 邓宽平, 雷尊国, 黄先群, 2010, 马铃薯 ^{60}Co - γ 辐射诱变突变的分子鉴定, *贵州农业科学*, 38(8): 8-10)
- Hui C.M., Hang X., Liang C.H., Zheng C.Y., Ma C.Y., and Liu L.B., 2004, A new variety of scarlet sage 'Zhongchuanhong', *Yuanyi Xuebao* (Acta Horticulturae Sinica), 31(2): 281-281 (惠长敏, 韩翔, 梁朝晖, 郑春雨, 马春阳, 刘立波, 2004, 一串红新品种 '中串红', *园艺学报*, 31(2): 281-281)
- Jiang Y., He J.R., Liu F., Wang H.E., and Zhou B.P., 2013, ISSR analysis of *Cymbidium 'longchangsu'* seedlings in vitro and mutagenic progenies by radiation, *Henongxue Bao* (Journal of Nuclear Agricultural Sciences), 27(9): 1247-1252 (蒋彧, 何俊蓉, 刘菲, 王海娥, 卓碧萍, 2013, ^{60}Co - γ 辐射兰花春剑隆昌素根状茎分化苗的 ISSR 分析, *核农学报*, 27(9): 1247-1252)
- Lai D.E., Zhao P., Wang M., and Zhang C.Y., 2012, Screening quality mutants of wheat radiated by ^{60}Co - γ ray and molecular identification, *Zhongzi (Seed)*, 31(5): 5-10 (来德娥, 赵平, 王敏, 张从宇, 2012, ^{60}Co - γ 射线诱变小麦品质突变体的筛选及分子标记检测, *种子*, 31(5): 5-10)
- Li G., and Quiros C.F., 2001, Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in *Brassica*, *Theor. Appl. Genet.*, 103(2-3): 455-461
- Li J.J., Liu K.F., Shi A.P., Chen H.W., Wang H.L., and Hong P.P., 2014, A new *Salvia splendens* cultivar 'Hongse Lianren', *Yuanyi Xuebao* (Acta Horticulturae Sinica), 41(3): 605-606 (李娟娟, 刘克锋, 石爱平, 陈洪伟, 王红利, 洪培培, 2014, 一串红新品种 '红色恋人', *园艺学报*, 41(3): 605-606)
- Liu P.P., Ye K.Y., Gong H.J., Wang F.M., Mo Q.H., Jiang Q.S., and Li J.W., 2016, Study on ISSR molecular marker of kiwifruit mutational plant induced by ^{60}Co - γ ray, *Xinanzhong Nongye Xuebao* (Southwest China Journal of Agricultural Sciences), 29(10): 2457-2462 (刘平平, 叶开玉, 龚弘娟, 王发明, 莫权辉, 蒋桥生, 李洁维, 2016, 猕猴桃 ^{60}Co - γ 射线辐射诱变植株变异的 ISSR 分子标记研究, *西南农业学报*, 29(10): 2457-2462)
- Peng L.C., Huang L.P., Yu C.X., Wang Y.Y., and Li Z.L., 2007, Initial research of irradiation breeding on orchid, *Yunnan Nongye Daxue Xuebao* (Journal of Yunnan Agricultural University), 22(3): 332-336 (彭绿春, 黄丽萍, 余朝秀, 王玉英, 李枝林, 2007, 四种兰花辐射育种研究初报, *云南农业大学学报*, 22(3): 332-336)
- Ren Y., Pan B.C., Lu S.J., Zhang Z.Q., and Kong X., 2016, SRAP analysis of *Dendrobium* tissue culture seedlings based on ^{60}Co - γ -ray radiation, *Zhongguo Nongxue Tongbao* (Chinese Agricultural Science Bulletin), 32(31): 85-89 (任羽, 潘丙成, 陆顺教, 张志群, 孔霞, 2016, ^{60}Co - γ 辐射石斛兰组培苗的 SRAP 分析, *中国农学通报*, 32(31): 85-89)
- Riaz A., Li G., Quresh Z., Swati M.S., and Quiros C.F., 2001, Genetic diversity of oilseed *Brassica napus* inbred lines based on sequence-related amplified polymorphism and its relation to hybrid performance, *Plant Breeding*, 120(5): 411-415
- Shen G.Z., Li C.N., Fu Q.J., Liu J.Y., and Cui H.R., 2011, Establishment of SRAP marker and cultivar identification in *Salvia splendens*, *Zhejiang Nongye Xuebao* (Acta Agriculturae Zhejiangensis), 23(1): 84-89 (沈国正, 李春楠, 傅巧娟, 刘继业, 崔海瑞, 2011, 一串红 SRAP 标记的建立与品种鉴定, *浙江农业学报*, 23(1): 84-89)
- Sun J., Tu Y.Q., Le M.W., Rao Y.L., Yan T.X., Yan X.W., and Zhou H.Y., 2014, SRAP analysis of DNA variation in black sesame variety Ganzhi No.9 bred via radiation mutation, *Jiangxi Nongye Xuebao* (Acta Agriculturae Jiangxi), 26(10): 1-4 (孙建, 涂玉琴, 乐美旺, 饶月亮, 颜廷献, 颜小文, 周红英, 2014, 辐射诱变育成的黑芝麻品种赣芝 9 号 DNA 变异的 SRAP 分析, *江西农业学报*, 26(10): 1-4)
- Wang Y.W., Ye Z.F., Heng W., and Zhu L.W., 2010, Effect of ^{60}Co - γ -ray radiation on mutation of Chinese pear cultivar Dangshansuli and its detection by RAPD marker, *Anhui Nongye Daxue Xuebao* (Journal of Anhui Agricultural University), 37(3): 552-557 (王妍炜, 叶振风, 衡伟, 朱立武, 2010, 砀山酥梨 ^{60}Co - γ 射线辐射诱变效应及其 RAPD 标记检测, *安徽农业大学学报*, 37(3): 552-557)
- Xie C.H., Li X.L., Luan C.Y., Yang J., Chen F.J., and Li Z.Y., 2012, SRAP analysis of genetic diversity of riparian plant *distylium chinense* in Hubei province, *Zhiwu Yanjiu* (Bulletin of Botanical Research), 32(3): 311-319 (谢春花, 李晓玲, 栾春艳, 杨进, 陈发菊, 李争艳, 2012, 湖北河岸带植物中

- 华蚊母树遗传多样性的 SRAP 分析, 植物研究, 32(3): 311-319)
- Xing L.L., Chen F.D., and Miao H.B., 2009, Meiosis and ISSR analysis on genetic variation of ^{60}Co γ -rays irradiated variants of cut *Chrysanthemum*, *Henong Xuebao* (Journal of Nuclear Agricultural Sciences), 23(4): 587-591 (邢莉莉, 陈发棣, 缪恒彬, 2009, 切花菊‘长紫’辐照后代减数分裂行为及 ISSR 遗传变异分析, 核农学报, 23(4): 587-591)
- Xu Z.M., Zhao G., Gu D.X., and Yang Z.Q., 1987, The selection of new rose variety “Chaiye Star” et al., *Henan Kexue* (Henan Science), (3): 157-161 (许肇梅, 赵光, 谷德祥, 杨宗渠, 1987, “彩叶明星”等月季新品种的辐射选育, 河南科学, (3): 157-161)
- Yang B.A., Fang J.L., Zhang J.W., Wang B.N., and Guo S.H., 1996, Breeding of the new fourteen *Chrysanthemum* varieties of “Xiaguang” etc. by combination of radiation induction and tissue culture, *Henan Kexue* (Henan Science), 14(1): 57-60 (杨保安, 范家霖, 张建伟, 王柏楠, 郭淑红, 1996, 辐射与组培复合育成“霞光”等 14 个菊花新品种, 河南科学, 14(1): 57-60)
- Yang Z.M., and Zhang L., 2011, Radiation mutation breeding in agriculture technology application and analysis, *Jiyin Zuxue Yu Yingyong Shengwuxue* (Genomics and Applied Biology), 30(1): 87-91 (杨兆民, 张璐, 2011, 辐射诱变技术在农业育种中的应用与探析, 基因组学与应用生物学, 30(1): 87-91)
- Ye X.Q., She J.M., Jia X.P., Liang L.J., and Liu X.Q., 2016, Effect of ^{60}Co - γ rays irradiation on shooting from the green globular bodies in pteridophyte, *Henong Xuebao* (Journal of Nuclear Agricultural Sciences), 30(5): 835-840 (叶晓青, 佘建明, 贾新平, 梁丽建, 刘晓青, 2016, ^{60}Co - γ 射线辐照对蕨类植物绿色球状体成苗的影响, 核农学报, 30(5): 835-840)
- Zhang X.F., Wang H.L., Chen H.W., Yao A.M., Shi A.P., and Liu K.F., 2014, A new *Salvia splendens* cultivar ‘Hongse Lianqu’, *Yuanyi Xuebao* (Acta Horticulturae Sinica), 41(4): 811-812 (张秀芳, 王红利, 陈洪伟, 姚爱敏, 石爱平, 刘克锋, 2014, 一串红新品种‘红色恋曲’, 园艺学报, 41(4): 811-812)