

凤仙花属植物育种研究进展

刘娜¹, 潘远智^{1,2}, 贾菊琴³

(1. 四川农业大学 林学院园艺学院 四川 雅安 625014; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 3. 湖北省宜昌市猇亭区园林绿化管理处 湖北 宜昌 443007)

摘要: 凤仙花属植物具有很高的观赏价值, 已广泛应用于园林中。综合有关文献, 重点从凤仙花属种质资源、育种过程中性状改良和技术创新等方面综述了国内外近几十年来的研究现状, 并结合存在的问题对其今后育种方向和目标提出了建议。

关键词: 凤仙花属; 性状改良; 育种

中图分类号: S 681.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2007)08-0061-04

凤仙花属(*Impatiens* L.)属于凤仙花科(Balsaminaceae), 是我国民间栽培已久的草花。欧美等国家在 20 世纪初从其品种选育、生理生化、育种技术等方面开展了大量研究, 其中荷兰的育种与繁殖中心(CPRO-DLO)在其观赏性状及抗性育种方面做出了重要贡献, 主要代表品种有诺华公司推出的 'Impulse'、'Blitz 2000'、'Cajun'、花叶凤仙(cv. *variegata*)等; 美国 Panleche Ranch 公司推出了 'Kientler'、重瓣凤仙(cv. *appleblossom*)等盆栽凤仙新品种。近年来日本育出了新几内亚凤仙矮性盆栽品种系列。我国凤仙花属植物资源丰富, 分布广泛, 但几乎未被开发利用, 现大面积栽培的品种除观赏并药用的凤仙(*Impatiens balsamina* L.)外大多从国外引进。但我国地域辽阔、地理生态环境差异较大, 引入品种多数存在生态适宜性问题^[1]。

1 凤仙花属植物资源

国际上, 植物学家对凤仙花属研究起步较晚, 对该属分类迄今还没有一个比较合理的分类系统。目前, 对凤仙花属植物种类的整理和分类主要参考的是 Hooker J D(1908)的专著《巴黎国家历史博物馆植物标本室中的凤仙花属植物》^[2]一书。

凤仙花属是凤仙花科中最大的属, 它由林奈于 1753 年建立。全世界约有凤仙花属植物 900 余种, 主要分布于亚洲热带和亚热带及非洲山区, 少数产于欧洲和亚洲温带地区及北美洲。其中已知苏门答腊有 29 种, 尼泊尔 40 种^[3], 印度 200 种^[4], 马达加斯加 130 余种。我国已知的凤仙花属植物约有 220 余种, 主要集中分布于西南部和西北部山区, 尤以云南、四川、贵州和西藏的种类最多。

凤仙花属植物的地理分布具有明显的地域性, 分布在中国的大多数凤仙花属均为我国或某一省区狭域特有种^[2], 尤其在四川、云南、贵州和广西等地的石灰岩地

区这种特有现象更为显著。如四川峨眉山的 14 种凤仙花中, 有 12 个特有种(如红雉凤仙 *I. oxyanthera* Hook. f.、紫萼凤仙 *I. platychlaena* Hook. f.、白花凤仙 *I. wilsonii* Hook. f.、峨眉凤仙 *I. omeiana* Hook. f.、华丽凤仙 *I. faberi* Hook. f. 等); 台湾产的 3 种全部为特有种^[2](棣慕华凤仙 *I. devolii* Huang、紫花凤仙 *I. purpurea* Hand. Mazz.、黄花凤仙 *I. tatemonii* Hayata)。

2 凤仙花属植物性状改良

2.1 花色改良

凤仙花属植物花色丰富, 色彩鲜艳, 有红、白、紫、雪青、大红、洋红、桔红、玫瑰红、粉红等色。人们已对其色素的合成及各种色素在育种过程中的汇集进行了深入研究。Davis D W 等(1958 年)认为: ①花色由不同基因单位控制的花色素苷所致, 凤仙花属植物的所有花色都有复杂的基因序列; ②确定了复杂颜色的基因组: 绿茎植物中 HP^s , HP^s , HP^s —玫瑰红; LP^s , LP^s , 或 LP^s —淡紫色; 红茎植物中 HP^r , HP^r , 或 HP^r —红色; LP^r , LP^r 或 LP^r —紫色; LHP^r —红紫色。Alston R E 等(1958 年)发现凤仙花植物的众多花色范围是受三座位(H, L, P)基因控制的。H, L 基因分别控制花瓣中少量天竺葵色素和锦葵色素衍生物的产生, 作为唯一显性基因的 P 引导着天竺葵色素进入花瓣, 矢车菊色素和甲基花青素进入萼片。从而可推知凤仙花属花色基因的调节影响着花色素苷的性质和数量, 这为花色的筛选和控制提供了有力工具。Hagen C W(1959 年)认为等位基因 P, P^s , P^r 控制着花瓣花色素的量, 而不影响黄酮醇的产生, 基因 H 影响山奈酚量的减少。Arnold A W^[3] 等认为萘乙酸(NA A), 三碘苯甲酸(TIBA), 赤霉素(GA), 苯丙咪唑和氮杂鸟嘌呤等化合物影响着花色素的形成。Miles C D^[4] 等从凤仙花的花瓣中提取了包含催化酚类化合物糖基化的酶类, 该酶类可以催促使对苯二酚糖基化成乌索素, 催化至少 3 种不同的黄酮醇糖基化成 3-单酸甘油酯。这些研究使在分子水平上调控凤仙花属植物花色成为可能。

另外, 汤泽生等成功发现了凤仙花染色体的大规模

第一作者简介: 刘娜(1982-), 女, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向为园林植物种质资源及应用。E-mail: liuna424615@126.com。

基金项目: 四川省教育厅基金资助项目(2005A002)。

收稿日期: 2007-03-14

不规则变异, 这种变异为种子培育的植株性状(如花朵、果实大小以及色泽)改变奠定了基础。北京师范大学花卉育种研究室已培育出凤仙花新品种, 新增了黄、藕荷等花色, 有的一朵花上有多种颜色。

2.2 花型、花期等改良

凤仙花属植物的花型丰富, 有单瓣型(Single); 较原始, 花型较小; 蔷薇型(Rose Double); 较进化, 花朵较大, 重瓣, 宛如盛开的蔷薇; 山茶型(Camellia Double); 更进化, 花特大, 花瓣重叠匀整, 形如“文瓣”类山茶之状, 长势较强; 平顶型(Flat-Topped); 通称“平顶凤”, 花大在枝顶, 极重瓣似茶花, 腋花似蔷薇重瓣状, 长势较弱。凤仙花属植物花期大多在7~9月。

国外对凤仙花属植物花芽分化及成花诱导生理做了大量研究。Sawhney S^[7] 研究发现2个短日照周期对凤仙(*Impatiens balsamina* L. var. Rose)的花芽萌动是必须的, 当植物受到一个短日照(SD)处理+16或20 h长日照(LD)时, 花芽开始萌动; 在补充光周期循环中, 随着暗周期的延长, 花芽萌动加速, 受诱导的花数目增加, 从而推知局部长短日照交替处理对成花诱导是必要的。Kumar S^[8] 发现, 在无诱导光周期条件下, 二羟苯丙氨酸和儿茶酚胺类似于赤霉素对凤仙花花诱导的作用, 认为在酚类(如儿茶酚胺 100 mg/L)中混合 100 mg/L GA₃对花芽数目的增加有协同作用。Sawhney S^[9] 研究发现改变光周期的长度对凤仙花的开花是必要的(2个8 h光周期: 花芽萌动, 4个8 h光周期: 花开放), 一部分花诱导的光周期必要条件可以被包含4 h或更多小时暗期的长日照所取代; 暗期越短, 诱导越弱, 伸展生长越慢, 但其叶片分化越多。Nanda K K^[10] 试验发现, 在无诱导条件下, phosfon D 和矮壮素减少了凤仙花所需的短日照数, 增加了花芽和花的数目, 推迟了其向营养生长的逆转。Battey N H^[11] 认为: 凤仙花原基发展为叶, 花或器官中间物能够通过光周期调节。Sylvie Pouteau^[12,13] 等发现, 当凤仙(*I. balsamina* cv. Dwarf)^[12]从诱导条件(SSD)转移到无诱导条件(LD)时, 发生成花逆转, 可能是在不利条件下叶片不能作为提供诱导信号的固定源, 并且缺少分生组织参与; 凤仙花已成为研究成花逆转的最好材料^[14]。通过在不同光周期处理下植物结构的变化研究, 发现花序发育从上到下递减程度是对诱导信号量减少的反应, 从而推测植物开花的进程依靠诱导信号的量^[15]。Tooke F^[16] 等发现叶获得的信号对花的维护起作用; 当叶获得的信号被限制时, 花瓣的萌动时间被延长, 进而推知叶获得的信号在花发育过程中有连续不断和定量的作用。这些都为凤仙的花期研究提供了依据, 但对其成花诱导的过程及其机理还需进一步研究。

此外, 汤泽生^[17] 等已培育出西航1号(花多, 常具一大型重瓣性强的、类似蔷薇状的花, 其花瓣为26~60片不等)、西航2号(花多, 主茎基部为红色, 其顶端为一朵

类似蔷薇状的大花, 无雌雄蕊; 其余的花多为复瓣, 个别花瓣可达20瓣)凤仙, 花期长, 多数在6~8月开花。这在很大程度上为进一步改良凤仙花属植物花色、花期提供了有力的工具。

2.3 株型改良

凤仙花属株型变化多样, 有直立形、平展形和扭曲形等。按不同品种株高常分超矮群(仅20 cm)、矮生群(25~35 cm)、中高群(35~65 cm)、高大群(70~80 cm以上)4个类型。

对株型的改良多集中于应用植物生长调节剂对植株的影响研究。Weiger J^[18,19] 试验发现赤霉素能诱使凤仙花茎的伸长生长; 另外使用甲磺酸乙酯(0.08 mol/L)处理凤仙花(*Impatiens platypetala*)种子后, 在其M₂代产生了矮生植株, 并推测这种性状是由单一隐性基因控制的。万茜等^[20,21] 研究发现: 喷施矮壮素(1.0 g/L CCC)后, 植株节间短缩, 苗壮; 花序节间长度缩短。B₉(100 mg/kg)缩短节间距, 有显著增大花径的效果, 而在B₉(100 mg/kg)基础上配合施用CCC(5 000 mg/kg)则明显减小花径。向太和^[22] 等利用野生型发根农杆菌K₅₉₉对凤仙花进行活体感染实验表明, 发根农杆菌K₅₉₉可使切割后的凤仙花子叶形成不定根, 并利用PCT技术验证了再生的毛状根中含有发根农杆菌RiT-DNA序列, 获得的转基因根为凤仙花的矮化育种研究提供了前提材料。张涛^[23] 等以低能N⁺注入凤仙种子后获得了高茎、矮茎2个变异品系, 为凤仙花属植物株型改良育种提供了方向。此外, Shane M^[24] 在凤仙花近交衰退研究中发现, 近交会造成叶片数减少和高度降低, 但近交使节间变短, 为矮株凤仙花的育种提供了一条可行途径。

汤泽生^[25] 等对经“神舟4号”卫星搭载后的SP₂代凤仙花的形态变异研究结果表明: 子叶数目除有两片的外, 还有3片和4片的, 而且出现连生子叶、杯状子叶和大小不等子叶。出现线状披针形真叶, 其小孢子母细胞减数分裂不正常, 小孢子不育。茎的分枝上, 有的不分枝, 仅具主茎; 有的分枝多达40枝以上。花的结构上出现花瓣增多和花叶化现象。在SP₃代子叶变化的研究发现: 在苗期的子叶数目和形态呈多种变化, 除绝大多数为正常的2片子叶外, 还出现了少数3子叶、漏斗状子叶(杯状子叶)和连生子叶。在子叶变异的植株中, 有的植株叶片大小、花的形态和育性发生了变化, 没有结果, 不能通过有性繁殖后代。子叶的变异是遗传原因还是生理影响尚需进一步研究^[26]。但是航天诱导能够持续对凤仙花SP₃代的形态和生理生化方面造成影响^[27]。胡宏友^[28] 等利用不同稀释倍数(V 污水: V 自来水=1:0; 1:1; 1:2)的城市生活污水浇灌凤仙花, 发现其处理提高了凤仙花盆栽土壤养分含量和土壤酶活性, 使根系活性和叶绿素含量提高, 使凤仙的观赏度提高了。

在国外, 一些国家推出了一系列新品种。如美国推

出的‘马戏团’(1972 Circus)系列及‘非凡’系列(即新几内亚凤仙花系列)等。

3 育种技术的发展

3.1 杂交育种

大多数凤仙花属植物采用的是混合交配育种(以杂交育种为主)。主要是品种间或品种与原始种之间的杂交。早期的新几内亚凤仙比较单薄瘦长,开花也很少,但是花色明快、花形也大。通过最初的品种间杂交选育,现代新几内亚凤仙的花形非常大,分枝性良好,而且易栽培。荷兰、美国、日本等已推出了许多矮型、抗性强的新几内亚凤仙系列。

3.2 分子育种

向太和^[2]等试验发现,利用野生型的发根农杆菌K₅₉₉可使切割后的凤仙花子叶形成不定根,生根频率为91%;并验证了再生的毛状根中含有发根农杆菌T-DNA序列,获得的转基因根为进一步开展凤仙花的矮化育种研究提供了前提材料。

3.3 诱变育种

3.3.1 植物离子注入诱变育种 北京师范大学花卉育种研究室采用离子注入生物育种技术培育凤仙花新品种,使凤仙花在花色、花型、株型等多方面出现变异,改善了观赏效果。张涛^[23]等以低能N注入凤仙花种子后获得了高茎、矮茎2个变异品系。试验证明适当剂量的低能N注入能够在基因水平引起凤仙花的变异。

3.3.2 空间诱变育种(航天诱变育种) 目前,由汤泽生等利用航天诱变技术以爆裂型凤仙花为材料,已培育出西航1号、西航2号凤仙花。并对航天诱变凤仙花SP₁、SP₂、SP₃代植株的形态结构、生理变化及其遗传性进行了一系列的研究^[29-31],为凤仙花育种提供了新的方向。

3.4 多倍体育种

凤仙花属植物染色体基数小,多倍体易诱导产生,且具有提高观赏品种等良效。凤仙花幼苗生长点经秋水仙碱水溶液处理,已成功诱导出4倍体凤仙(2n=4x=28)和四倍体何氏凤仙(*I. holstii* 2n=4x=32),苏丹凤仙(*I. sultanii* 2n=4x=32)等,表现出叶、花大、茎粗的特点。

4 展望

目前,我国在对凤仙花属植物育种等方面的研究虽取得了一些成绩,但在基础研究、新品种创制等方面还存在一定问题;其分类学研究处于起步阶段;分子水平研究还处于初级阶段,对本属的基因资源了解甚少;新品种的培育水平与国际相比差距较大;在资源方面,有较多种类都处于自生自灭状态等。因此,在未来的凤仙花属植物育种中应加强以下几方面的工作:

进一步加强种质资源的调查、收集和保护,尤其对一些濒危种类,如白花凤仙、山地凤仙、华丽凤仙(*Impatiens faberi* Hook.f.),紫萼凤仙、棣慕华凤仙等应尽快进行迁地保护或建立无性系种质库,避免资源消失与流失。

加强野生的凤仙花属植物的引种驯化,尤其是耐湿热种类。充分利用我国现有的种质资源结合先进技术,为选育观赏价值高的花卉优良品种提供丰富的基因资源。

在观赏性状改良方面,色、香、形的新颖独特是未来花卉发展的趋势之一,应充分利用育种技术进行品种改良,筛选合理的、科学的育种亲本,配置组合以便选育出生长周期短、耐湿热等适应我国特殊生境的品种。

参考文献

[1] 叶剑秋. 国际流行组合盆栽主花材系列: 重瓣何氏凤仙花[J]. 时尚专送, 2005(5): 51.

[2] 中国科学院中国植物志编辑委员会(陈艺林). 中国植物志[M]. 47卷, 第二册. 北京: 科学出版社, 2002: 3.

[3] Balsaminaceae H. H. An enumeration of the flowering plants of Nepa[J]. British Museum(Natural History), 1979, 2: 78-80.

[4] Bju S D. Chronicles of discoveries[M]. The pursuit of plants India, 1999.

[5] Amol A W, Albert L S. Chemical Factors Affecting Anthocyanin Formation and Morphogenesis in Cultured Hypocotyl Segments of *Impatiens balsamina*[J]. Plant Physiology, 1964, 39(5): 307-312.

[6] Miles C D, Hagen C W. The Differentiation of Pigmentation in Flower Parts. IV. Flavonoid Elaborating Enzymes From Petals of *Impatiens balsamina*[J]. Plant Physiology, 1968, 43(9): 1347-1354.

[7] Sawhney S, Sawhney N, Nanda K K. Partial substitution by long days of short days required for floral induction in *Impatiens balsamina*[J]. Plant and Cell Physiology, 1972, 13(6): 1113-1115.

[8] Kumar S, Sharma R, Nanda K K. Effects of gibberellic acid and some diphenols on the flowering of *Impatiens balsamina* L. a qualitative short day plant[J]. Plant and Cell Physiology, 1978, 19(3): 471-479.

[9] Sawhney S, Sawhney N, Nanda K K. Effect of varying lengths of inductive and supplementary non-inductive photoperiods on vegetative growth and flowering of *Impatiens balsamina*[J]. Plant and Cell Physiology, 1978, 19(4): 647-653.

[10] Nanda K K, Krishnamoorthy H N, Lata K. Effect of decapitation, phosphon D and cycocel on the flowering of *Impatiens balsamina* exposed to varying numbers of short days[J]. Plant and Cell Physiology, 1969, 10(2): 357-362.

[11] Battey N H, Lyndon R F. Determination and Differentiation of Leaf and Petal Primordia in *Impatiens balsamina*[J]. Annals of Botany, 1988, 61(1): 9-16.

[12] Pouteau S, Nicholls D, Tooke F. The induction and maintenance of flowering in *Impatiens*[J]. Development, 1997, 124(17): 3343-3351.

[13] Tooke F, Pouteau S, Battey N. Non-reversion of *Impatiens* in the absence of meristem commitment[J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49(327): 1681-1688.

[14] 白素兰, 谢中稳. 植物成化逆转[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(3): 252-257.

[15] Pouteau S, Tooke F, Battey N. Quantitative Control of Inflorescence Formation in *Impatiens balsamina*[J]. Plant Physiology, 1998, 118(11): 1191-1201.

[16] Tooke F, Battey N H. A Leaf-Derived Signal Is a Quantitative Determinant of Floral Form in *Impatiens*[J]. The Plant Cell, 2000, 12(12): 1837-1847.

[17] 汤泽生, 杨军. 姹紫嫣红的西航1号、西航2号凤仙花[J]. 技术与市场, 2006(2): 21.

[18] Wéger J. Interaction of Gibberellic Acid and Indoleacetic Acid in *Impatiens*[J]. Science, 1959, 129(3353): 896-897.

[19] Weigle J L, Butler J K. Induced dwarf mutant in *Impatiens platyptala*[J]. The Journal of Heredity, 1983, 74(3): 200.

[20] 万茜, 胡志辉. B₅和 CCC 对盆栽凤仙花矮化效应研究[J]. 上海蔬菜, 2002(4): 40-41.

[21] 万茜, 胡志辉. CCC 对凤仙花生长与开花的影响[J]. 种子, 2002(2): 38.

[22] 向太和, 王利琳. 发根农杆菌 K₅₉₉对大豆、黄瓜和凤仙花活体感染生

中图分类号: S 436.421.1⁺9 文献标识码: B 文章编号: 1001-0009(2007)08-0064-01

大棚黄瓜病毒的发生及防治对策

郎士荣

伊春市伊春区对山农场地处黑龙江省伊春市汤旺河畔, 属于第四积温带, 是无公害蔬菜生产基地之一, 对山农场有大棚黄瓜 13.3 hm², 大棚集中连片, 是大棚黄瓜的主要生产地, 每年可向市场提供安全、优质的黄瓜 1 200 t, 因此黄瓜品质的好坏直接影响着农民的收益和市场的供需状况。

大棚黄瓜病毒病是影响伊春区对山农场大棚黄瓜产量和品质的主要病害之一, 2000、2001 和 2002 年发病的棚数分别占大棚总数的 60%、55% 和 68% (每栋大棚的面积为 780.39 m²), 发病率分别为 40%、48% 和 30%。严重影响了大棚黄瓜的产量和品质, 影响农民的经济效益, 为此对伊春区黄瓜病毒病的发生情况进行了跟踪观察, 找出防治的方法。

1 症状

黄瓜病毒病在伊春地区主要表现为花叶皱缩, 果实染病表现为果实变形, 顶部尖, 刺瘤变大, 瓜条颜色为深绿和浅绿相间, 疣状斑块, 果面凹凸不平, 发病重的节间缩短, 簇生小叶, 不结瓜。

2 侵染源

黄瓜病毒病由黄瓜花叶病毒 CMV 侵染所致, 通过接触和人为生产活动及昆虫传播侵染其他植株。

3 发病条件及规律

据连续几年的观察试验得知: 一是春季大棚黄瓜定植时 (一般是 4 月中下旬) 地温较低, 影响了根系的伸长,

从而影响营养物质的吸收, 导致叶片皱缩。二是 5 月上旬气温升高后, 温度管理不当, 致使棚内高温干旱, 此时又突然大水漫灌且水温较低时, 容易发生病害。三是施用未腐熟的有机肥, 致使病毒病的增多。据当地观察, 大多数农户施用了未腐熟的鸡粪导致大棚黄瓜根部受氨气危害, 影响营养物质的正常吸收, 从而影响整个植株, 加剧了病毒病的发生。据测算, 施用未腐熟的鸡粪发生病毒病的概率会增加 30%。

4 防治措施

4.1 生态防治

施用腐熟的有机肥或采用配方施肥技术, 平衡施肥, 避免因营养失衡造成的植株易感病。

4.2 安装滴灌设施

2004 年以来, 伊春区大力推广节水滴灌技术, 棚区都安装了滴灌设备, 实施节水灌溉, 摒弃了原来的大水漫灌, 从而使黄瓜病毒病得到了有效遏止, 2004 年发病率控制在 5% 以内, 2005 年仅个别植株发病, 2006 年全部控制了发病。

4.3 种子消毒

在病毒病高发的棚区, 育苗前进行种子消毒, 将种子放在 10% 的磷酸三钠溶液中浸种 20 min, 然后用清水洗净, 再催芽播种。

4.4 防治蚜虫

发现有蚜虫及时灭蚜, 可喷洒 50% 灭蚜松乳油 2 500 倍液、或用生物农药虫螨克乳油 2 000 倍液, 也可用吡虫啉可湿性粉剂 2 000 倍液喷雾。

4.5 药剂防治

发病期要及时打药。在发现中心病株后及时拔除, 并用 20% 病毒 A 可湿性粉剂 500 倍或 1.5% 植病灵 2 号乳油 1 000 倍, 5% 菌毒清 50 mL, 或 0.5% 抗毒丰菇类蛋白多糖水剂 300 倍液喷雾。

参考文献

[1] 王久兴 贺桂欣. 蔬菜病虫害诊治原色图谱 [M]. 北京: 科学技术文献出版社.

(作者单位: 黑龙江伊春市伊春区农业技术推广站 153000)

作者简介: 郎士荣 (1962-), 女, 大专, 农艺师, 现从事农业技术推广工作。E-mail: kjitgzx_3433@163.com.

收稿日期: 2007-04-20

根的研究 [J]. 遗传, 2005, 27(5): 783-786

[23] 张涛, 王淑芳. 低能 N⁺ 注入凤仙花的变异检测 [J]. 北京师范大学学报, 2006, 42(2): 171-173.

[24] Heschel M S, Hausmann N, Schmitt J. Testing for Stress-dependent Inbreeding Depression in *Impatiens Capensis* (Balsaminaceae) [J]. American Journal of Botany, 2005, 92(8): 1322-1329.

[25] 汤泽生, 杨军, 陈德灿, 等. 航天诱变凤仙花 SP₂ 代形态变异的研究 [J]. 激光生物学报, 2006, 15(1): 31-34.

[26] 陈德灿, 汤泽生. 航天诱导凤仙花 SP₃ 代子叶变化的研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(3): 202-206.

[27] 陈德灿, 汤泽生. 航天诱导凤仙花 SP₃ 代植株形态及生理的研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(9): 1834-1836.

[28] 胡宏友, 卢昌义. 污水灌溉对凤仙花植物——土壤系统影响的研究 [J]. 厦门大学学报, 2005, 44(4): 584-588.

[29] 汤泽生, 杨军. 航天诱导的凤仙花突变株性状及减数分裂过程的研究 [J]. 核农学报, 2004, 18(4): 289-293.

[30] 赵燕, 汤泽生. 航天诱变凤仙花小孢子母细胞减数分裂的研究 [J]. 生物学杂志, 2004, 21(6): 32-34.

[31] 王祖秀, 汤泽生. 航天诱变凤仙花嵌合突变体 (SP₂) 的形态及减数分裂的观察 [J]. 西华师范大学学报, 2005, 25(4): 422-425.

[32] 汤泽生, 杨军. 航天诱变凤仙花 SP₁ 代花、果实和种子的研究 [J]. 西华师范大学学报, 2005, 26(1): 47-51.

[33] 汤泽生, 陈德灿. 航天诱变凤仙花院 3 突变株后代小孢子变化的研究 [J]. 西华师范大学学报, 2005, 26(4): 358-363.