

# 萱草属植物育种研究进展

李金霞<sup>1,2</sup>, 储博彦<sup>1,2</sup>, 尹新彦<sup>1,2</sup>, 赵玉芬<sup>1,2</sup>

(1. 河北省林业科学研究院, 河北 石家庄 050061; 2. 河北省林木良种工程技术研究中心, 河北 石家庄 050061)

**摘要:**萱草是优良的园林绿化材料, 有着广泛的应用前景。该研究从国内外育种概况及育种技术 2 个方面对萱草属育种进展进行了综述, 重点介绍了常规杂交、倍性育种、体细胞融合、辐射诱变及分子育种的技术与方法, 并对我国萱草属育种方向进行了展望, 以期加快我国萱草属育种进程, 早日培育出具有自主知识产权的萱草新种质。

**关键词:**萱草属; 杂交; 倍性育种; 体细胞融合; 辐射诱变; 分子育种

**中图分类号:**S 682.1<sup>+</sup>9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)10-0192-06

萱草属(*Hemerocallis* L.) 是百合科(Liliaceae)多年生草本植物, 约有 15 原种, 分布于中欧及东亚, 中国原产 10 种<sup>[1]</sup>。萱草属植物根茎常肉质, 单花期 1 d, 花朵开放时间不同, 有的朝开夕凋, 有的夕开次日清晨或午后凋谢<sup>[2]</sup>。萱草属有星形、圆形、蜘蛛形等多种花型<sup>[3]</sup>, 花色囊括了除蓝、绿、棕、纯黑之外的所有颜色及其颜色组合<sup>[4]</sup>, 观赏价值极高, 同时又具有较强的抗性, 适应范围极广, 作为园林绿化的优秀材料, 具有广阔的应用前景。

关于萱草的分类, 各国研究者分类标准不一。熊治延等<sup>[5-6]</sup>根据细胞学分类研究将 11 个萱草品种分为四大类, 杜娥等<sup>[7]</sup>提出了大花萱草的 5 级分类标准。目前, 全世界萱草品种已经超过 4 万余个<sup>[7]</sup>, 我国拥有丰富的萱草野生种质, 也是最早进行萱草观赏栽培的国家<sup>[8]</sup>, 但是极度缺乏具有自主知识产权的优良品种, 与西方观赏园艺较为发达的国家相比差距甚大。因此, 对国内外萱草属育种进展进行总结, 了解并掌握最先进的萱草育种技术, 对我国萱草属植物育种研究意义重大。

## 1 国内外研究概况

### 1.1 国内概况

春秋时期的《诗经》最早记载了“蘼草”, 后又简称为“援草”<sup>[9]</sup>。东汉的《说文解字》将萱草注释为

“令人忘忧草也”;《宜男花颂》中有“草号宜男, 既晔且贞”的诗句<sup>[10]</sup>。唐代《初学记》总结了前人典籍记录, 对萱草进行了系统的描述, 定名为“萱草”<sup>[11]</sup>。明代《群芳谱》对萱草进行了整理分类, 按花期分为春花类、夏花类、秋花类、冬花类 4 种, 按花的性状又分为红、黄、紫、白、麝香以及座叶和单叶等多种<sup>[12]</sup>。

20 世纪 70 年代, 我国开始了萱草的育种研究。中国科学院北京植物园于 1974 年开始进行萱草的杂交育种工作, 培育成 60 余个新品种<sup>[13]</sup>; 经过后续反复杂交选育, 1978 年选育出了多个萱草多倍体新品种<sup>[14]</sup>。此后, 国内萱草的育种工作进展较为缓慢。1994 年, 何立珍等<sup>[15]</sup>用秋水仙素处理黄花菜的组培苗, 培育出了第一个四倍体黄花菜品种‘大花长嘴子’。2006 年, 申家恒等<sup>[16]</sup>通过常规石蜡切片途径对黄花菜的受精生物学进行了系统分析, 为黄花菜利用花粉管通道法进行转基因育种提供了技术支持。2013 年, 雷媛<sup>[17]</sup>对大花萱草 23 个不同倍性品种的杂交亲和性进行了研究, 并进一步对杂交不亲和的影响因素进行了分析。目前, 国内萱草育种研究主要集中在野生资源的开发利用和杂交亲和性研究等方面, 我国自主的萱草育种工作才刚刚起步。

### 1.2 国外概况

中世纪末期, 我国部分萱草原种传入欧洲, 成为重要的庭院花卉<sup>[18]</sup>。1753 年瑞典植物学家建立了萱草属<sup>[19]</sup>。1759 年, 萱草引入英国, 许多园艺工作者培育出了许多优良新品种, 后被引入美国<sup>[20]</sup>。1890 年, 大部分原产中国的萱草都引种到了欧美国家, 系统的萱草杂交育种工作由此开始, 来自中国的萱草原种成为现代萱草园艺品种的重要亲本<sup>[21]</sup>。

**第一作者简介:**李金霞(1978-), 女, 硕士, 高级工程师, 现主要从事园林植物育种与繁育技术等研究工作。E-mail: lijinx-ia299@163.com.

**基金项目:**河北省林业科学技术研究资助项目(1208432)。

**收稿日期:**2016-12-12

1946年美国成立萱草协会<sup>[22]</sup>,欧美国家涌现出一批重要的育种者及其育种成果。

19世纪末期,西方兴起了培育萱草新品种的群众性活动<sup>[20]</sup>。1892年,GEORGE用黄花菜与大苞萱草杂交得到了内外花被均为橙黄色带有香味且能二次开花的新品种‘Apricot’<sup>[23]</sup>。1920年,STORT培育出世界上第一个红色萱草品种,随之,粉色系列、常绿系列、彩斑系列等先后问世,极大丰富了萱草种质<sup>[24]</sup>。1963年,GRIESBACH<sup>[25]</sup>用秋水仙素诱导刚萌发的实生苗获得了萱草四倍体。1980年,TAKAHASHI<sup>[26]</sup>用扫描电镜观察了大苞萱草的花粉显微结构,发现其花粉粒外壁结构完整,不存在畸形或发育不全的问题。1998年,AUSTIN<sup>[27]</sup>指出萱草二倍体品种和四倍体品种杂交后,通过胚挽救技术可以获得三倍体杂交种。2003年,AZIZ等<sup>[28]</sup>首次通过基因枪转化获得了‘金娃娃’转基因植株,开启了萱草转基因育种的序幕。目前,国外萱草育种工作已深入并集中在太空辐射诱变、转基因技术等方面,并致力于重瓣品种及六倍体品种的育种研究。

## 2 育种技术

### 2.1 常规杂交

常规授粉杂交是增加物种变异的重要途径,是培育萱草新品种的基本手段<sup>[29]</sup>。目前,萱草的常规杂交主要集中在3个方面:一是萱草品种与黄花菜的杂交,目的是筛选出开花时间中等或花期延长的新品种;二是萱草品种间的授粉杂交,以选育出花色丰富、花型多样的新种质为目的;三是远缘杂交及子代与亲本的回交研究,目的是探索杂交败育的原因。

YASUMOTO等<sup>[30]</sup>用不同开花时间的萱草和黄花菜进行了杂交试验,发现杂交亲和障碍普遍存在,且花朵形态差异较大的品种之间杂交亲和障碍并不一定大。祝鹏芳等<sup>[31]</sup>以4个大花萱草品种为母本与黄花菜进行了杂交,发现常规杂交结实率较低,大花萱草与黄花菜存在严重的生殖隔离;进一步深入研究<sup>[32]</sup>发现,2 g·L<sup>-1</sup>氯化钠、5 g·L<sup>-1</sup>硼酸和50 g·L<sup>-1</sup>蔗糖涂抹柱头均能提高杂交亲和性。刘金郎<sup>[33]</sup>进行了黄花菜6个品种的自交和杂交试验,结果显示,马莲黄花为父本的杂交组合亲和力和最好;渠县黄花、线黄花、沙宛金针和马莲黄花4个品种的自交亲和性依次降低。赵月婵等<sup>[34]</sup>对黄花菜胚囊在受精前后的超微结构进行了系统观察。刘永庆等<sup>[35]</sup>以黄花菜13个品种进行了杂交授粉,研究发现黄花菜属于典型的异花授粉繁育机制,母本的选配

对杂交结实性影响较大。MATSUOKA等<sup>[36]</sup>以白天开花的萱草与夜间开花的黄花菜进行了杂交,得到的杂种后代单朵花期延长到16 h以上。NITTA等<sup>[37]</sup>为研究萱草花朵开闭时间的遗传机制,以不同开花时间的萱草和黄花菜品种进行了杂交,发现F<sub>1</sub>和F<sub>2</sub>的开花时间分别呈现出早晚高峰;F<sub>1</sub>开花时间比例约为1:1,F<sub>2</sub>约为3:1;说明花朵开闭这一性状是受不同的主基因控制的。贾贺燕等<sup>[38]</sup>以夜间开花的3个黄花菜品种和白天开花的4个萱草品种进行了杂交试验,阐明了萱草属花朵开放和闭合的规律:萱草的开花性状受一个主基因控制,白天开花为隐性,夜间开花为显性,且控制单朵花期的基因属于核基因。HASEGAWA等<sup>[39]</sup>以不同开花时间的萱草和黄花菜品种进行了杂交,发现F<sub>1</sub>开花和凋谢时间呈不连续的双峰分布,推测萱草开花时间的表型效应是受少数几个基因控制的。

KAWANO<sup>[40]</sup>发现*Hemerocallis middendorffii*和*Hemerocallis yezoensis*及其地理距离较近的种能发生天然杂交,称为“基因渗透”现象,经遗传学检测,这一群体及其杂交后代都是二倍体。赵完璧<sup>[41]</sup>进行了不同品种大花萱草的杂交授粉,选育出了200多个优良新品种。雷媛<sup>[17]</sup>研究发现23个不同倍性萱草品种正反交结实性差异较大,其中二倍体和三倍体组合最为明显;二倍体与二倍体品种,四倍体与四倍体品种之间的杂交坐果率较高,进一步的播种试验表明,其种子出苗率也较高。贾贺燕等<sup>[42]</sup>进行了萱草113个品种的杂交授粉试验,结果表明二倍体×四倍体的杂交结实率介于二倍体×二倍体、四倍体×四倍体之间。高超利<sup>[43]</sup>用大花萱草品种‘金娃娃’与‘红宝’进行了杂交,同时对杂交后代300余个株系从生物学特性、生态习性、核型3个方面进行了系统分析。金立敏等<sup>[44]</sup>以14个大花萱草品种进行了自交与杂交,发现可以通过改善环境条件来提高杂交组合的结实率。王雪芹等<sup>[45]</sup>利用北京植物园2012年引进的105个萱草新优品种杂交获得了700余株杂交苗,试验还发现二倍体品种间的杂交结实率与种子萌发率均高于四倍体品种。金立敏等<sup>[46]</sup>以10个大花萱草大花、小花、单瓣、重瓣品种为材料进行了杂交试验,发现大花品种的单果结实数大于小花品种;另外,8月以后播种可以显著提高杂交种子出苗率。

AHN等<sup>[47]</sup>进行了萱草和百合的远缘杂交,发现其存在严重的杂交障碍。通过离体授粉、切割花柱等方式使授粉子房存活期达到10~12 d,并发现

胚珠培养的最佳时间为 12 d,最后通过子房切片培养法诱导出了愈伤组织并形成了完整植株。YASU-MOTO 等<sup>[48]</sup>以  $F_1$  代与亲本萱草和黄花菜进行了回交试验,回交结实率低于 50%,但高于  $F_1$  的自交结实率。深入研究发现是由于亲本与子代的 Dobzhansky-Muller 隐形基因不融合导致的胚败育。HIROTA 等<sup>[49]</sup>以黄花菜白天开花与夜晚开花品种的杂种  $F_1$  和  $F_2$  代为材料,研究了花色与花香对传粉昆虫的吸引作用,发现燕尾蝶优先访问红色或橙色的花,而天蛾优先访问黄色花,但二者对花香的反应并没有明显差异。

## 2.2 倍性育种

作为较为进化的一个类群,多倍体品种普遍存在于自然界中。多倍体品种的出现可以使一个物种在极短的时间里产生质的进化<sup>[29]</sup>。萱草的倍性育种方法包括 2 种:人工诱导多倍体和多倍体相互杂交<sup>[50]</sup>。

何立珍等<sup>[51]</sup>以黄花菜的花径和幼叶为试材,经组织培养、秋水仙素处理,得到了同源四倍体试管苗。CHEN 等<sup>[52]</sup>用秋水仙素处理萱草的愈伤组织,得到了四倍体与八倍体植株,且  $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  是诱导四倍体的最适浓度。TRAUB<sup>[53]</sup>在 10 年的时间里共注册了 35 个常绿四倍体萱草新品种,但其抗寒能力大多不足以抵御北方严冬的气候。GRIESBACH 等<sup>[54]</sup>用秋水仙素处理的方法培育出大约 100 个四倍体萱草植株,且这些品种都具有冬季休眠的特性,具有较强的抗寒性。CALLAWAY 等<sup>[55]</sup>培育出了带有金边的四倍体萱草新品种。PODWYSZYŃSKA 等<sup>[56]</sup>对秋水仙素诱导二倍体萱草的倍性水平和倍性嵌合体的位置进行了系统研究,发现得到的新植株大多为四倍体,包括扇形嵌合体 and 周缘嵌合体。SAITO 等<sup>[57]</sup>用流式细胞仪测定了大花萱草的染色体倍性。AUSTIN<sup>[27]</sup>研究发现,萱草二倍体品种可以用秋水仙素处理成四倍体,用加倍得到的同源四倍体再与萱草其它四倍体品种杂交,可以获得杂交种子;萱草二倍体和四倍体品种杂交后,通过胚挽救技术可以获得三倍体杂交后代。

LI 等<sup>[58]</sup>用萱草四倍体和二倍体进行杂交试验,同样运用胚挽救技术得到了三倍体杂交植株。熊治延<sup>[59]</sup>发现获得的三倍体杂交苗绝大多数来自特定的一个杂交组合,说明三倍体合子的存活受遗传因素的影响。CHANDLER<sup>[60]</sup>对萱草二倍体和三倍体植株小孢子的发生进行了研究,发现三倍体都是二倍体的同源多倍体,且三倍体不育的原因是 3 组染色体联会紊乱。

## 2.3 体细胞融合

体细胞融合技术可以克服有性杂交过程中的生殖隔离障碍,为物种间的遗传物质交换提供可能。另外,在杂交种的细胞分裂与增殖过程中,来自双亲的核基因和叶绿体、线粒体 DNA 等质基因都有可能进行重组,产生新的遗传系统<sup>[29]</sup>。

ZHOU<sup>[61]</sup>对萱草花粉母细胞原生质体培养进行系统研究,发现预冷的单核花粉在 K3 培养基上诱导分裂生成团簇多细胞,其显微结构表明,初期原生质体是否均等分裂是决定各品种形态差异的重要因素。LING 等<sup>[62]</sup>从二倍体 *Hemerocallis* × ‘Red Magic’叶肉细胞中分离出原生质体,并成功建立了原生质体愈伤组织器官发生途径,为萱草的原生质体融合提供了技术支持。STOUT 等<sup>[63]</sup>用 K3 培养基成功将萱草花粉原生质体的单核母细胞诱导成细胞团,发现萱草的杂交障碍存在于受精前,花粉管不能完全伸长到子房。NARAIN<sup>[64]</sup>首次进行了萱草属植物花粉母细胞的细胞融合研究。

## 2.4 辐射诱变

辐射诱变育种技术实现基因突变的方式有基因的点突变和染色体片段缺失、增添、易位等结构的变异 2 种方式,可以有效打破物种原基因库的限制,创造新种质<sup>[29]</sup>。目前,萱草的辐射诱变研究仅有航空诱变的 2 篇报道,利用空间辐射进行萱草的定向育种仍是难题。

1992 年,LEVINE 等<sup>[65]</sup>进行了 *Hemerocallis* cv. Autumn Blaze 4 个无性系的空间诱变育种,研究发现空间辐射打破了株丛的顶端优势,促进了分枝的生长。除航天因素外,试验结果还受到植株生理多样性及环境异质性的影响。1999 年,KRIKORIAN<sup>[66]</sup>进行了黄花菜体细胞胚的空间辐射育种,发现太空辐射易对细胞分裂及 DNA 修复产生诱变作用,但其诱变作用的结果是不可控的。

## 2.5 分子育种

分子育种技术包括分子辅助选择和基因工程 2 个方面。分子育种可以对植物的遗传性状进行定向的改造,实现多种植物公用某一段或几段基因,提高育种的准确性与可操作性<sup>[29]</sup>。目前,有关萱草的分子育种报道多为一些基础性研究工作,这均为萱草新种质的培育奠定了基础并提供了一定的数据参考。

FULLMER<sup>[67]</sup>研究发现黄花菜的花粉孢子管核分裂方式为直接分裂形成 6~8 个核。SAITO 等<sup>[68]</sup>研究了百合科广谱 DNA 合成抑制剂对悬浮培养的

萱草杂交种原生质体的影响,发现六主轴的毒素中,CIPC与微核化细胞感染程度不同,为萱草的转基因育种提供了技术支持。PANAVAS等<sup>[69]</sup>通过分子标记技术定位出了控制萱草花瓣凋谢的目的基因。申家恒等<sup>[16]</sup>通过常规石蜡切片途径对黄花菜的受精生物学进行了系统分析,为黄花菜利用花粉管通道法进行转基因育种提供了技术支持。AN等<sup>[70]</sup>以萱草的冷胁迫为出发点,搜索、鉴定了相关的mRNA,并深入研究了其抗寒性遗传基因调控模式,为进一步探索萱草的低温应答遗传基因及其作用相关的基因元件提供了理论依据。MIYAKE等<sup>[71]</sup>分别对黄花菜和萱草的微卫星坐标多态性的隔离进行了观察,为进一步的分子标记育种奠定了基础。郑楠等<sup>[72]</sup>、王霞霞<sup>[73]</sup>、高洁<sup>[74]</sup>都对萱草的农杆菌介导转基因技术进行了研究,期望能够建立稳定的萱草遗传转化体系。

### 3 育种方向及展望

经过数代科研人员的研究探索,萱草育种取得了骄人的成果。目前,萱草的育种目标主要集中在4个方面:1)蓝色花萱草品种的选育;2)四倍体重瓣及蜘蛛型萱草品种的选育;3)单朵花期超过24h的萱草品种的培育;4)抗锈病及叶枯病萱草品种的培育。如今,国内对于萱草属植物的系统育种工作刚刚起步,我国大部分萱草种质资源尚处于野生或未改良开发的状态,而且萱草属普遍存在着种及品种间杂交亲和性低的特性。因此,充分结合体细胞融合、辐射诱变及分子育种等现代育种技术,以我国萱草原生种为亲本,克服种间杂交亲和障碍,打破萱草育种的瓶颈,培育出具有自主知识产权的优良品种,是育种工作者研究内容的重中之重。

#### 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编写委员会. 中国植物志(第十四卷)[M]. 北京:科学出版社,1980:52-62.
- [2] 刘燕. 园林花卉学[M]. 北京:中国林业出版社,2009.
- [3] 何琦,高亦珂,高淑滢. 萱草育种研究进展[J]. 黑龙江农业科学,2011(3):137-140.
- [4] 董文珂,刘辉. 萱草属商业育种的进展与趋势[C]. 中国观赏园艺研究进展,2015:29-35.
- [5] 熊治延,陈心启,洪德元. 萱草属中国特有种的细胞分类研究[J]. 植物分类学报,1997,35(3):215-218.
- [6] XIONG Z Y, CHEN X Q. Numerical cytotaxonomic studies of *Hemerocallis* (Liliaceae) from China[J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1998,36(3):206-215.
- [7] 杜娥,张志国,马力. 大花萱草品种分类标准初探[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(10):85-88.
- [8] 黎海利,董丽. 萱草种质资源研究概况[J]. 北方园艺,2007(8):58-60.
- [9] 蔡曾煜. 黄花菜·萱草·大花萱草[J]. 中国花卉盆景,2010(7):4-10.
- [10] 郭振东. 解忧佳品黄花菜[J]. 家庭中医药,2008(6):69.
- [11] 王钊,储丽红,于翠,等. 中国萱草文化探究[C]. 中国观赏园艺研究进展,2012:564-567.
- [12] 丁献华. 萱草的文化意蕴及其在园林绿化中的应用优势[J]. 黑龙江农业科学,2016(1):110-112.
- [13] 孙徐磊,武荣花. 萱草属植物研究进展[J]. 河南农业科学,2016,45(4):7-11.
- [14] 龙雅宜,龚维忠. 多倍体萱草新品种的选育[J]. 园艺学报,1981,8(1):51-58.
- [15] 何立珍,周朴华,刘选民. 黄花菜同源四倍体与二倍体形态及细胞遗传学分析[J]. 河南农学院学报,1994,20(4):332-336.
- [16] 申家恒,申业,王艳杰. 等. 黄花菜受精过程各阶段的持续时间的研究[C]. 第六届全国植物结构与生殖生物学学术研讨会论文摘要集,2006.
- [17] 雷媛. 不同倍性大花萱草杂交亲和性的研究[D]. 太谷:山西农业大学,2013.
- [18] 金立敏. 优良的庭院花卉:大花萱草[J]. 中国花卉盆景,2008(1):4-5.
- [19] 孔红. 萱草属分类研究史简介[J]. 天水师范学院学报,1991(1):77-78.
- [20] 陈丽飞,董然. 萱草属植物研究进展[J]. 北方园艺,2007(6):66-69.
- [21] 王雪芹,郭翎. 萱草新品种的推广和育种[J]. 北京园林,2016(1):31-41.
- [22] 刘昕,刘树英,孙叶迎,等. 萱草属植物研究进展[J]. 黑龙江农业科学,2014(3):138-141.
- [23] TOMKINS J P, WOOD T C, BAMES L S, et al. Evaluation of genetic variation in the daylily (*Hemerocallis* spp.) using AFLP markers[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2001,102(4):489-496.
- [24] 张敦方. 园林植物育种学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1990.
- [25] GRIESBACH R J. Induction of polyploidy in newly-germinated *Hemerocallis* seedlings[J]. Hemerocallis J, 1963,17:70-75.
- [26] TAKAHASHI M. On the development of the reticulate structure of Pollen (Liliaceae)[J]. Grana, 1980,19(1):3-5.
- [27] AUSTIN B. Engineering superior daylilies[J]. American Nurseryman, 1998,187(1):24-29.
- [28] AZIZ A N, SAUVÉ R J, ZHOU S. Genetic transformation of *Stella De Oro* daylily by particle bombardment[J]. Can. J. Plant Sci., 2003, 83:873-876.
- [29] 程金水,刘青林. 园林植物遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社,2010.
- [30] YASUMOTO A A, YAHARA T. Post-pollination reproductive isolation between diurnally and nocturnally flowering daylilies, *Hemerocallis fulva* and *Hemerocallis citrina* [J]. Journal of Plant Research, 2006,119(6):617-623.
- [31] 祝鹏芳,张利欣,刘莉. 大花萱草与黄花菜杂交亲和性及其幼胚离体培养[J]. 北方园艺,2008(8):190-191.
- [32] 祝鹏芳,张利欣,王亚斌,等. 花柱处理对大花萱草品种间杂交亲和性的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(2):231-233.

- [33] 刘金郎. 黄花菜不同品种杂交亲和力和研究[J]. 北方园艺, 2005(5): 64-65.
- [34] 赵月婵, 申家恒, 王艳杰, 等. 黄花菜胚囊受精前后的超微结构观察[J]. 园艺学报, 2013, 40(2): 292-298.
- [35] 刘永庆, 沈美娟. 黄花菜品种杂交试验[J]. 长江蔬菜, 1991(6): 35-36.
- [36] MATSUOKA M, HOTTA M. Classification of *Heimerocallis* in Japan and its vicinity[J]. Acta Phytotax Geobot, 1966, 22: 25-43.
- [37] NITTA K, YASUMOTO A, YAHARA T. Variation of flower opening and closing times in F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> hybrids of daylily (*Heimerocallidaceae*) and nightlily[J]. American Journal of Botany, 2010, 97(2): 261-267.
- [38] 贾贺燕, 高亦珂, 何琦, 等. 昼夜开花萱草杂交后代花朵开闭时间[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(7): 100-104.
- [39] HASEGAWA M, YAHARA T, YASUMOTO A, et al. Bimodal distribution of flowering time in a natural hybrid population of daylily (*Heimerocallis fulva*) and nightlily (*Heimerocallis citrina*) [J]. Journal of Plant Research, 2006, 119(1): 63-68.
- [40] KAWANO S. On the natural hybrid population of *Heimerocallis* [J]. Canadian Journal of Botany, 2011, 39(3): 667-681.
- [41] 赵完璧. 大花萱草种间杂交育种[J]. 中国花卉园艺, 2007(22): 27-27.
- [42] 贾贺燕, 王雪琴, 王佳, 等. 113个萱草品种间杂交结实性研究[C]. 中国观赏园艺研究进展, 2012: 92-97.
- [43] 高超利. 两个大花萱草品种杂交后代形态学和细胞学研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [44] 金立敏, 周玉珍, 郭志海, 等. 大花萱草自交、杂交及不同栽培环境结实率比较[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(13): 2760-2763.
- [45] 王雪芹, 郭翎. 萱草新品种的推广和育种[J]. 北京园林, 2016(1): 31-41.
- [46] 金立敏, 张文婧, 霍尧, 等. 萱草不同品种杂交亲和性及其种子萌芽力研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(6): 2471-2472.
- [47] AHN M S, LEE K J, JEONG J S, et al. Investigation on pollination methods for the intergeneric hybrid between *Heimerocallis* and *Lilium* [J]. Acta Horticulturae, 2003, 620: 305-310.
- [48] YASUMOTO A A, YAHARA T. Reproductive isolation on inter-specific backcross of F<sub>1</sub> pollen to parental species, *Heimerocallis fulva* and *H. citrina* (*Heimerocallidaceae*) [J]. Journal of Plant Research, 2008, 121(3): 287-291.
- [49] HIROTA S K, NITTA K, KIM Y, et al. Relative role of flower color and scent on pollinator attraction: Experimental tests using F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> hybrids of daylily and nightlily[J]. PLoS One, 2012, 7(6): 69.
- [50] 王惠萍. 关于萱草属植物倍性育种的相关研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2015.
- [51] 何立珍, 刘选明, 周朴华. 黄花菜 HAC-大花长嘴子花同源四倍体的选育[J]. 湖南农业科学, 1993(4): 23-24.
- [52] CHEN C H, YVONNE C, GOEDEN KALLEMEYN. *In vitro* induction of tetraploid plants from colchicine-treated diploid daylily callus [J]. Euphytica, 1979, 28: 705-709.
- [53] TRAUB H P. Colchicine-induced *Heimerocallis polyploids* and their breeding behavior[J]. Plant Life, 1951(7): 83-116.
- [54] GRIESBACH R A, VOTH P D. On dormancy and seed germination in *heimerocausis* [J]. Botanical Gazette, 1957, 118(4): 223-237.
- [55] CALLAWAY D J, CALLAWAY M B. Breeding ornamental plants [M]. Portland, Ore.: Timber Press, 2000: 49-73.
- [56] PODWYSZYŃSKA M, GABRYSEWSKA E, SOCHACKI D, et al. Histogenic identification by cytological analysis of colchicine-induced polyploids of *Heimerocallis* [J]. Acta Horticulturae, 2011, 886 (886): 247-252.
- [57] SAITO H, NAKANO M. Partial synchronization of cell division and micronucleation in suspension-cultured cells of *Heimerocallis hybrida*: The effects of hydroxyurea and various spindle toxins[J]. Breeding Science, 2001, 51(4): 285-291.
- [58] LI Z W, PINKHAM L, CAMPBELL N F, et al. Development of triploid daylily (*Heimerocallis*) germplasm by embryo rescue [J]. Euphytica, 2009, 169(3): 313-318.
- [59] 熊治廷. 北萱草与大苞萱草区分为不同物种的核型证据[J]. 植物分类学报, 1998, 36(1): 153-157.
- [60] CHANDLER C. Microsporogenesis in triploid and diploid plants of *Heimerocallis fulva* [J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1940(8): 649-672.
- [61] ZHOU C. Cell divisions in pollen protoplast culture of *Heimerocallis fulva* L. [J]. Plant Science, 1989, 62(2): 229-235.
- [62] LING J T, SAUVE R J. Isolation and culture of daylily mesophyll protoplasts[J]. Plant Cell Reports, 1995, 15(3-4): 293-296.
- [63] STOUT A B, CHANDLER C. Pollen-tube behavior in *Heimerocallis* with special reference to incompatibilities [J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1933, 60(6): 397-416.
- [64] NARAIN P. Cytomixis in the pollen mother cells of *Heimerocallis* Linn [J]. Current Science, 1979, 94(6): 512-516.
- [65] LEVINE H G, KRIKORIAN A D. Shoot growth in aseptically cultivated daylily and Haplopappus plantlets after a 5-day spaceflight[J]. Physiologia Plantarum, 1992, 86(3): 349-59.
- [66] KRIKORIAN A D. Somatic embryos of daylily in space [J]. Advances in Space Research the Official Journal of the Committee on Space Research, 1999, 23(12): 1987-97.
- [67] FULLMER E L. The development of the microsporangia and microspores of *Heimerocallis fulva* [J]. Botanical Gazette, 1999, 28(2): 81-88.
- [68] SAITO H, NAKANO M. Partial synchronization of cell division and micronucleation in suspension-cultured cells of *Heimerocallis hybrida*: The effects of Hydroxyurea and various spindle toxins[J]. Breeding Science, 2001, 51(4): 285-291.
- [69] PANAVALAS T, PIKULA A, REID P D, et al. Identification of senescence-associated genes from daylily petals[J]. Plant Molecular Biology, 1999, 40(2): 237-248.
- [70] AN F X, LIANG Y, LI J, et al. Construction and significance analysis of the MicroRNA expression profile of *Heimerocallis fulva* at low temperature[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2014, 78(3): 378-83.
- [71] MIYAKE T, YAHARA T. Isolation of polymorphic microsatellite loci in *Heimerocallis fulva*, and *Heimerocallis citrina*, (*Heimerocallidaceae*) [J]. Molecular Ecology Notes, 2006, 6(3): 909-911.
- [72] 郑楠, 王霞霞, 曹冬梅. 农杆菌介导萱草植株 *CHS* 基因的转化[J]. 中国园艺文摘, 2015(2): 5-11.

[73] 王霞霞. 萱草植株再生及农杆菌介导的 *CHS* 基因转化的研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.

[74] 高洁. 萱草再生体系的优化及农杆菌介导的遗传转化体系的建立 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.

## Research Progress of Breeding *Hemerocallis* L.

LI Jinxia<sup>1,2</sup>, CHU Boyan<sup>1,2</sup>, YIN Xinyan<sup>1,2</sup>, ZHAO Yufen<sup>1,2</sup>

(1. Hebei Academy of Forestry Science, Shijiazhuang, Hebei 050061; 2. Hebei Engineering Center for Trees Varieties, Shijiazhuang, Hebei 050061)

**Abstract:** *Hemerocallis* L. is an excellent landscaping material with wide application prospect. This research reviewed from two aspects of breeding state at home and abroad and breeding technology. Techniques and methods of cross breeding, ploidy breeding, somatic fusion, radiation-induced mutation and molecular breeding were mainly introduced. Breeding directions were put forward to speed up the *Hemerocallis* L. process of China, aimed at cultivating new germplasm resources with independent intellectual property.

**Keywords:** *Hemerocallis* L.; cross breeding; ploidy breeding; somatic fusion; radiation-induced mutation; molecular breeding

# 欢迎订阅 2017 年《北方园艺》

全国自然科学(中文)核心期刊  
中国农业核心期刊  
全国优秀农业期刊  
中国北方优秀期刊  
黑龙江省优秀科技期刊  
美国化学文摘社(CAS)收录期刊  
黑龙江省农家书屋推荐目录  
2015、2016年期刊数字影响力100强

主管: 黑龙江省农业科学院  
主办: 黑龙江省园艺学会、黑龙江省农业科学院  
刊号: ISSN 1001-0009 CN 23-1247/S  
广告经营许可证号: 2301070000009  
邮发代号: 14-150 半月刊 每月 15、30 日出版  
单价: 15.00 元 全年: 360.00 元

## 全国各地邮局均可订阅 或直接向编辑部汇款订阅

汇集前沿学术成果, 传播先进实用技术。本刊内容丰富、栏目新颖、技术实用、信息全面。涵盖园艺学的蔬菜、果树、瓜类、花卉、植保等研究领域的新成果、新技术、新品种、新经验。竭诚欢迎全国各地科研院所人员、大专院校师生, 各省、市、县、乡、镇农业技术推广人员、农民科技示范户等踊跃订阅。

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部

邮编: 150086 电话: 0451-86674276 信箱: bfybjb@163.com 网址: www.haasep.cn