

李霞,王顺利. 球根花卉风信子的研究进展[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):5-9.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.002

球根花卉风信子的研究进展

李霞,王顺利

(北京农学院城乡发展学院,北京 102206)

摘要:风信子是一种重要的秋植球根花卉和早春装点城市园林的常见园林植物,同时由于其栽培繁殖方式多样,土培或水培均能达到很好的观赏效果,亦是一种重要的室内观赏花卉。本文整理汇总了国内外近年来在风信子种质资源、生物学特性、次生代谢、栽培繁殖、育种和基础生物学方面的研究进展,以期为该植物的基础研究和园林应用提供参考。

关键词:风信子;种质资源;生物学特性;栽培技术;园林应用;次生代谢;育种

中图分类号: S682.2⁺90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)11-0005-05

风信子(*Hyacinthus orientalis*)是一种重要的秋植球根花卉和早春装点城市园林的常见园林植物,同时由于其栽培繁殖方式多样,土培或水培均能达到很好的观赏效果,亦是一种重要的室内观赏花卉。目前在球根花卉世界中,风信子的栽培面积名列第5位。本文整理汇总了国内外近年在风信子种质资源、栽培繁殖和重要观赏性状等方面的研究进展,以期为该植物的基础研究和园林应用提供参考。

收稿日期:2017-01-19

基金项目:2015年北京农学院大北农青年教师科研基金(编号:15ZK008);2015年北京农学院青年科学基金(编号:2117516008)。

作者简介:李霞(1985—),女,湖南益阳人,博士,讲师,研究方向为园林植物栽培与应用、园林植物遗传育种。E-mail:lixia5966@163.com。

通信作者:王顺利,博士,副教授,研究方向为园林植物栽培、园林植物遗传育种和农林废弃物资源化利用。E-mail:wangshunli80@163.com。

1 种质资源及遗传多样性研究

风信子属于百合科风信子属,原产于中亚和西亚,最初在土耳其栽培,继而传入荷兰。1999年,Pfossner和Speta根据系统发育关系,将其重新划分为1个单独的科,即风信子科(Hyacinthaceae),而风信子也成为风信子科的模式属。该科含41属,500~700种,大部分是含有球根或块根的草本植物,以地中海和南美洲分布最多^[1]。

风信子属共有3个种,分别为*H. litwinowii*、*H. orientalis*和*H. transcaspicus*。其中*H. orientalis*是唯一重要的园艺花卉,其原始种花色为白色和蓝色。现在市场上可见的所有品种都是由该种基因突变或杂交而来。1786年已记载2000余个风信子品种,18世纪后期出现了粉色、红色、紫色和黄色花品种^[2]。由于风信子的不同品种是由1个原种发展而来的,因此其品种间的遗传变异差异细微。品种分类是进行育种的重要基础工作。风信子虽然品种繁多,但尚未形成较为统一

[46]寇太记,徐晓峰,朱建国,等. CO₂浓度升高和施氮条件下小麦根际呼吸对土壤呼吸的贡献[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2533-2538.

[47]Drake J E,Stoy P C,Jackson R B,et al. Fine-root respiration in a loblolly pine (*Pinus taeda* L.) forest exposed to elevated CO₂ and N fertilization[J]. Plant, Cell and Environment, 2008, 31(11):1663-1672.

[48]寇太记,朱建国,谢祖彬,等. CO₂浓度增加和不同氮肥水平对冬小麦根系呼吸及生物量的影响[J]. 植物生态学报,2008,32(4):922-931.

[49]Daepf M,Suter D,Almeida J P F,et al. Yield response of *Lolium perenne* swards to free air CO₂ enrichment increased over six years in a high N input system on fertile soil[J]. Global Change Biology, 2000,6(7):805-816.

[50]Suter D,Frehner M,Fischer B U,et al. Elevated CO₂ increase carbon allocation to the roots of *Lolium perenne* under free-air CO₂ enrichment but not in a controlled environment[J]. New Phytologist,2002,154(1):65-75.

[51]Lagomarsino A,de Angelis P,Moscatelli M,et al. The influence of

temperature and labile C substrates on heterotrophic respiration in response to elevated CO₂ and nitrogen fertilization[J]. Plant and Soil,2009,317(1/2):223-234.

[52]Lynch D J,Matamala R,Iversen C M,et al. Stored carbon partly fuels fine-root respiration but is not used for production of new fine roots[J]. New Phytologist,2013,199(2):420-430.

[53]Thorne M A,Frank D A. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses[J]. Plant Ecology,2009,200(2):205-215.

[54]Burton A J,Pregitzer K S. Measurement carbon dioxide concentration does not affect root respiration of nine tree species in the field[J]. Tree Physiology,2002,22(1):67-72.

[55]Bloemen J,Teskey R O,McGuire M A,et al. Root xylem CO₂ flux: an important but unaccounted-for component of root respiration[J]. Trees,2016,30(2):343-352.

[56]Salomón R,Valbuena-Carabaña M,Rodríguez-Calcerrada J,et al. Xylem and soil CO₂ fluxes in a *Quercus pyrenaica* Willd. coppice: root respiration increases with clonal size[J]. Annals of Forest Science,2015,72(8):1065-1078.

的科学分类方法。部分学者按种源将其分为罗马系和荷兰品系,此种分类方法缺乏试验数据的支撑;或按花色将其分为白色系、浅蓝色系、深蓝色系、紫色系、粉色系、红色系、黄色系和橙色系。胡风荣等通过简单重复序列区间(inter-simple sequence repeat,简称 ISSR)分析发现,相同色系的品种几乎聚为 1 类,说明同色系风信子品种间亲缘关系较近^[3]。基于染色体数目及形态的核型分析工作是进行品种分类最直观和简便的研究方法。风信子起源简单,与其他花卉相比,其染色体组成更易阐明。目前所有关于风信子染色体组成方面的报道都认为,风信子的染色体基数为 $X=8$,染色体类型为 2B 型,最为常见的是三倍体和四倍体,并存在许多非整倍体,如染色体数目为 $2n=23$, $2n=25$, $2n=30$, $2n=31$ 的品种^[4]。风信子的染色体可以分为长、中、短 3 类,不同花色的二倍体均形成 8 个二价体,且形态相同,同源染色体有四价体、三价体和二价体。虽然有较小的染色体存在,但并未发现异染色质富集的 B 染色体的存在,而且相同品种间染色体数目稳定。C 带分析证明,带型在不同品种间的多态性较低,仅依靠核型参数无法将丰富的风信子品种区分开^[5]。

2 生物学特性研究

风信子地下的层状鳞茎是其主要的养分储藏和繁殖器官。风信子的鳞片由鞘叶和叶片基部膨大而成,生存期可达 3~4 年,大的鳞茎可含 3 个世代的鳞片。已有研究表明,种球大小对风信子的生长具有显著影响,由不同等级的种球长成的植株,生长表现出一定的规律性,即种球越大,出苗越整齐,出苗时间也相对较早,平均株高越高,花葶越高,观赏价值越高^[6-7]。

风信子耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐水湿,但不耐热。在夏季炎热时期茎叶枯黄,进入休眠阶段,其鳞茎内部开始进行花芽分化。花芽分化过程前后共约 60 d,一般品种在 7 月底均已完成。李玉萍结合石蜡切片观察,认为其花芽分化可分为未分化期(5 月下旬)、花序原基分化期(6 月上旬)、花序轴伸长生长期(6 月中旬)和小花分化期(7 月上旬)^[8]。值得注意的是,激素对风信子花芽分化具有重要影响。陆文梁等通过对外源激素及外植体年龄的控制,成功诱导风信子再生花芽不断分化花被片,在此基础上,通过对风信子再生花芽不断分化花被片的表现型与拟南芥中 *AG* 基因突变后无性生殖花的表现型进行比较,为在分子水平上研究激素对 *AG* 同源基因的表达调控建立了良好的试验系统^[9]。

部分研究者对花芽分化时期碳水化合物及营养成分的库源转化进行了研究。风信子开花时,植株地上部分,尤其是花芽中,含有较多的可溶性糖和蔗糖,用来提供开花所需的营养,所以花期可溶性总糖、蔗糖含量最高。随着花后打去小花,地下鳞茎生长加速,叶片中的糖含量也逐渐下降,究其原因可能是可溶性糖转换成贮藏物贮存在鳞茎中^[8]。曹彬彬采用放射性同位素标记的方法证明,在风信子生长初期至开花期,鳞茎干物质的增长幅度不大,根叶干物质增长迅速;花谢后,鳞茎干物质迅速累积,增长速度达到最高峰,根叶干物质的增长明显变慢;生长末期,鳞茎的干物质增长速度趋于平缓,根叶干物质逐渐被消耗^[10]。在生长初期和开花期分期施氮有利于鳞茎的干物质增长,在开花期一次性施氮有

利于根叶花的干物质增长^[10]。

风信子适应性较强,不同地区学者对风信子的引种栽培技术进行了探讨。美国研究者通过在伊萨卡、长岛和南卡罗来纳州(这些地区代表了美国不同的低温区域)进行风信子露地种植发现,风信子能够在上述 3 地正常生长,纬度越低,花期越早,且在寒地苗期对植株进行覆盖对花卉品质无显著影响。我国学者在昆明、南京、长沙和北京等地也开展了风信子的引种观察,发现风信子在上述地点均能够正常生长开花。但随着纬度增加,初花期逐渐变晚,分别为 2 月上旬、3 月初、3 月中旬和 4 月初^[11-14]。其中在北京需进行覆膜栽培,使用碎木屑和腐熟基质在苗期进行覆盖的栽培效果最好,开花后品质与对照组无明显差异。综上所述,风信子能够在我国亚热带地区广泛栽培,而在温带地区需进行特殊保护地栽培^[14]。

3 次生代谢研究

风信子花色丰富且花香浓郁,因此其花色和花香是 2 个非常重要的观赏品质。花色和花香的形成依赖于次生代谢物质,研究者对于这 2 个重要的风信子观赏品质进行了大量分析。在花香方面,王江勇等采用顶空固相微萃取和气相色谱联用技术(GC-MS)对风信子的 2 个品种分别进行了挥发性气体成分种类和含量的测定,从 2 个品种中均检测出 51 种香气成分,主要成分按相对含量高低排序依次为萜烯类、酯类和醇类^[15]。王妍采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)比较了不同颜色的风信子鲜花在不同开花期的香气成分,其中从紫色风信子的初开期中共分离出 31 个色谱峰,主要成分为(*E*)-罗勒烯(35.21%)、苯乙醇(14.93%)和乙酸苄基酯(14.67%),而盛开期中主要花香物质为苯乙醇(26.15%)、(*E*)-罗勒烯(24.17%)和乙酸苄基酯(20.67%)。并发现水杨酸能够改变花香物质的代谢,经水杨酸处理后的紫色风信子鲜花中的部分酯类、苄基酯、苯乙醇和部分萜烯类的相对含量发生了明显的变化^[16]。

花青素和类胡萝卜素是决定植物呈色的重要色素物质^[17],陶秀花等通过石油醚测试,证实风信子花瓣中不含类胡萝卜素。白色和黄色风信子品种主要通过黄酮类物质呈色,因此风信子品种中缺少亮黄色品种,黄色以浅黄为主^[18]。风信子是研究花色代谢的理想材料,其内含有 3 条重要的色素代谢通路,即矢车菊素、飞燕草色素和天竺葵色素。其中决定红色、粉色品种呈色的主要色素物质为天竺葵素和矢车菊素,而蓝色品种中主要为飞燕草色素^[19-21]。值得注意的是,蓝色风信子品种 Sky Line 花瓣中并未检测到飞燕草素,但其花朵呈现蓝色。由此推测,除色素成分决定呈色外,应该还有其他因素,如金属离子、细胞 pH 值等决定风信子花瓣的最终呈色^[18]。

4 繁殖与组培研究

风信子在我国大部分地区能够作为早春重要花卉在园林中进行应用。但我国目前尚无专门企业进行风信子育种及种苗繁殖,每年都要从荷兰进口大量种球,品种退化情况非常严重,鳞茎逐年萎缩,植株变小,品质变差。因此,开展良种繁育工作是风信子研究中非常重要的一项工作。

在种子繁殖方面,风信子为典型的虫媒花,花谢后有些品种自然结实较多,有些品种结实很少。风信子种子生活力较高,为中小粒种子,种子千粒鲜质量 46.47 ~ 57.03 g,干质量 12.43 ~ 18.63 g,种子含水量较低,为 3.73% ~ 4.08%^[22]。风信子种子采收后具有较长的休眠期,采用低温层积催芽或一定浓度的赤霉素处理可促进其种子的萌发^[22]。由于风信子种子要在播种后 4 ~ 5 年才能萌发,因此在生产中多用分球、鳞茎扦插和组织培养的方式进行扩繁。

分球繁殖:将生长在风信子母球边缘的子球分离进行栽植,培育 2 ~ 3 年即可开花。风信子的自然分球率低,种植 1 年仅可分生 2 ~ 3 个小球^[23]。不同品种、同一品种不同等级的风信子在收获种球数量、质量方面都存在明显差异^[24]。熊瑜等报道,安娜玛丽和海姆之城的 1、2 级种球均能分球,其繁殖系数分别为 1.25、2.80,但 3 ~ 5 级别母球无法成球^[7]。生产中往往采用茎盘切沟、挖孔等方法促进其结球。张成成对 10 个品种风信子的挖孔繁殖方式进行了探索,证明不同挖孔时间对风信子的生长繁殖具有明显的影响。挖孔时间越早,风信子鳞茎繁殖系数越大、产量增长率越高。生产上可于当年 8 月初进行人工挖孔繁殖,10 月中旬即可在愈伤组织上产生不定芽;翌年 1 月底 2 月初出苗,3—4 月开花,挖孔后的种球不再开花^[25]。

鳞茎扦插:进行扦插繁殖时,大部分学者选择将鳞片消毒后切取 0.5 cm 的小段,刘勇刚等将鳞片消毒后切掉鳞片边缘,将中间部分切成 5 mm² 的小块,取得了很好的扦插效果^[26]。一般而言,繁殖能力强的品种所形成小鳞茎的质量更好。黎超等以从荷兰引进的风信子安娜玛丽种球为试验材料,进行了鳞片扦插试验,结果表明,不同类型的鳞片增殖系数和小鳞茎质量不同,小鳞片形成的小鳞茎数量多、质量轻,大鳞片形成的小鳞茎数量少但质量较重^[27]。罗风霞等对 5 个品种的增殖系数进行排序,从高到低依次为 Delfts Blue、Aiolos、Fondant、Anna Marie、Wood - stock。0.5 mg/L IAA 对小鳞茎的数量增殖作用最好,1.0 mg/L NAA 对小鳞茎的质量增长具有明显的促进作用。在扦插基质方面,以珍珠岩、泥炭体积比 = 1 : 1 最佳,草炭、蛭石、珍珠岩体积比 = 1 : 1 : 1 以及素河沙较好,蛭石较差^[28]。在组织培养方面,关于风信子组织培养的报道较多,如外植体种类、外植体预处理、培养基、碳源种类等,且有较为全面的综述性报道^[29],本文在此不再进行详细综述。

5 栽培技术研究

5.1 促成栽培

目前生产上主要通过调节温度来进行风信子盆花的促成栽培。研究证明,将种球进行冷藏处理对风信子开花有促成作用。熊瑜等以风信子种球安娜玛丽、海姆之城为材料,通过储藏与梯度冷处理试验,研究了冷藏时间长短与花期调节的关系。结果表明,冷处理时间的长短决定风信子开花的早晚与花葶高度,即在 6 ~ 12 周的冷处理过程中,冷处理时间越长,种植后植株生长时间越短,开花越早,花葶越高,而花葶越高,切花品质就越好^[7]。王文通等报道,在 7 ~ 9 ℃ 的低温及黑暗环境中生根栽培一段时间,可使风信子根系强壮,还能保证种球得到足够的冷处理时间,使种球在后期能够正常长叶

及开花^[30]。向文等报道,在叶面喷施不同浓度的细胞分裂素可使风信子的株高增加,增加叶长和叶面积,延长风信子的花期。其中以喷施 50 mg/L 的细胞分裂素为佳,显著地提高了叶长和叶面积,使白珍珠花期延长为 5 d,蓝星花期延长为 4 d^[31]。

5.2 水培

水培风信子具有营养和水分供应充足均衡、管理方便、植株生长速度快、观赏品质好、不易感病的优点,又因为其年宵花身份,在国内和国际花卉市场上占有越来越重要的地位。研究发现,营养液处理在控制植株徒长、调整冠幅、增加花葶直径、增大叶面积、提高叶片叶绿素含量等方面都有良好效果,但不同品种对不同营养液配方的适应性有差异。李凤童等报道,营养液处理会短暂阻碍根系的生长,但缓苗期过后能够促进根系生长加快,其中 Hoagland 营养液配方效果最为明显,且芽的生长与根系生长存在一定相关性^[32]。赵娇娇等报道,在 2.5 mmol/L 磷、钾营养水培条件下,风信子的整体观赏价值相对较高^[33]。张鸽香等认为在水培过程中,施加 20 ~ 50 mg/L 水杨酸可提高风信子盛花期的叶绿素相对含量、可溶性蛋白及可溶性糖含量,降低丙二醛含量,有效延缓风信子的衰老,改善其观赏品质^[34]。此外,水培风信子往往随着植株生长,后期植株过高,花枝倒伏,观赏价值明显降低。通过施加 200 mg/L 多效唑,能够在不影响其观赏品质的前提下,有效起到矮化作用^[35]。

5.3 病害及防治

在风信子的常规栽培中,常有病虫害发生,虫害主要包括刺足根螨、马铃薯蚜、球根粉螨、烟蓟马、线虫等;病害主要包括根腐病、花叶病、黄腐病、灰霉病、菌核病、软腐病以及病毒病等^[36]。近年来,随着风信子栽培面积的不断扩大,病虫害的发生日趋严重,已成为限制风信子生产的重要因素之一。

朱丽梅等以 14 个风信子品种为调查对象,对其进行了贮藏期、生长期和种球收获期的病害调查,并进行了田间抗病性评价,检测出风信子青霉病和曲霉病 2 种病害。在贮藏期和种球收获期,14 个风信子品种均有青霉病发生,其中 China Pink 和 Red Magic 的发病率和感病指数较低,为这 2 种病害的抗病品种。该病害可用 50% 甲基硫菌灵 500 ~ 1 000 倍液或 50% 多菌灵 800 ~ 1 000 倍液防治^[36]。

李冰等通过对病原进行 16S rDNA 序列同源性分析,确定了风信子软腐病病原为胡萝卜软腐欧文氏菌胡萝卜软腐致病变种 (*Erwinia carotovora* ssp. *carotovora*),且杀毒矾的抑菌效果最好,有效浓度为 0.64 μg/mL 时细菌停止生长^[37]。邵秀玲等设计并合成了风信子黄腐病病菌实时荧光 PCR 引物和探针,在国内首次建立了风信子黄腐病病菌的实时荧光 PCR 检测体系,能够有效地减少风信子黄腐病病菌进入中国的风险^[38]。尖孢镰刀菌是风信子鳞茎流胶的重要病原物。Miyamoto 等报道,施加 2% 乙烯利或 1.5% 茉莉酸能够通过促进鳞茎中的糖代谢通路使其流胶,但具体防治措施目前尚不明确^[39]。

6 育种学研究

我国没有自主知识产权的风信子品种,栽培品种全部从国外进口,每年需从荷兰进口 400 万 ~ 500 万粒种球以满足

国内市场需求。因此,开展新品种的选育以及自主知识产权品种的研发成为目前国内发展风信子的必然之路。

6.1 杂交育种

杂交育种是观赏植物育种最为重要的育种手段,对风信子杂交育种的研究主要集中在花粉生活力、杂交亲和性及杂种胚拯救方面。

风信子花粉萌发依赖于糖,最佳的为乳糖,其次为葡萄糖,其中乳糖培养基萌发最快,伸长也最为迅速^[40]。不同品种间花粉活力存在较大差异,介于 33.99% ~ 97.99% 之间^[41]。花粉的贮藏特性在品种间也有很大差异,如蓝巨人花粉贮藏 45 d 后,花粉生活力仍达 71.62%,而白珍珠储藏仅 20 d 后,花粉生活力由 33.99% 降为 0^[42]。风信子花粉短期贮藏的最佳方式是 4 ℃ 低温贮藏,且各品种花粉耐贮藏的能力不同^[41]。

风信子品种间的杂交亲和性具有较大差异,李玉萍进行了 140 个杂交组合,发现有的组合正反交均表现出较高的亲和性,有的组合正交亲和性高于反交亲和性,有的组合反交亲和性高于正交,也有的组合亲和性为 0^[8]。在不同品种风信子之间,自交亲和性存在差异,从 0 到 97% 不等,结实率大于 30% 的组合从高到低依次为 Fondante × Atlantic (61.2%)、Fondante × Fondante (54.0%)、Carnegie × Carnegie (42.6%)、JanBos × JanBos (36.0%)、Carnegie × Atlantic (32.7%)、Atlantic × Fondante (30.0%)。适宜风信子杂交幼胚离体培养的初代培养基为 MS + 100 mg/L 谷氨酰胺,其次为 MS + 0.2 mg/L IBA + 0.02 mg/L 6-BA + 100 mg/L 谷氨酰胺和 MS + 0.5 mg/L IBA + 0.05 mg/L 6-BA,它们的幼胚平均成活率分别为 91.33%、84.00%、77.87%^[43]。在杂种鉴定方面,胡风荣等利用 ISSR 分子标记研究,对 Ostara × Fondant、Sky Jacket × Fondant、White Pearl × Blue Jacket 杂交组合进行了鉴定,其真实杂种率分别为 92%、41%、100%,显示 ISSR 分子标记方法可以用于风信子杂种后代真实性的鉴定^[44]。

6.2 非常规育种

风信子的非常规育种手段主要包括诱变育种和分子育种,目前尚无对风信子诱变育成新品种的报道,但研究者对诱变育种的参数进行了研究,探讨了诱变剂量。从生长指标和生理指标来看,⁶⁰Co-γ 射线辐射剂量 5 ~ 20 Gy 对风信子造成了一定的伤害。另外,不同品种对辐射的敏感性也存在较大差异。10、20 Gy 处理后鳞茎在田间表现出植株矮小、生长受抑制现象,后期储藏时鳞茎质量明显减少。因此,在今后实际应用⁶⁰Co-γ 射线辐射风信子时应适当降低剂量^[25]。在倍性诱变育种方面,组培条件下,秋水仙素对风信子小鳞茎生长和分化起到抑制作用,随着浓度的增高,抑制作用增强,浓度为 0.1% 处理 96 h 时风信子死亡率最高,0.1% 秋水仙素处理 48 h 的变异率最高^[25]。与其他球根类花卉相比,风信子分子生物学层面的研究较少,表达序列标签(expressed sequence tag,简称 EST)片段、克隆基因及转录组学的信息相对匮乏。Sato 等筛选了风信子基因表达过程中的内参基因,证明 actin 基因的表达呈非组成型,而 18S RNA 的表达较为稳定,可用于后续基因的表达分析^[45]。祁银燕等以蓝色风信子完全露出的花蕾为材料,利用逆转录 PCR(RT-PCR)和 cDNA 末端快速扩增技术(rapid amplification of cDNA ends,简称 RACE)

技术,获得风信子 *DFR* 基因的全长 cDNA,该 cDNA 全长 1 252 bp,开放阅读框为 1 098 bp,编码 366 个氨基酸^[46]。研究者利用 cDNA array 技术筛选出一批在花芽再生早期对激素起响应的基因,并扩增了风信子花和花器官特征的决定基因 *HAG1*、*HOM1*、*HPII* 和 *HAP2*。证明在花芽再生过程中,高浓度的激素激活了心皮和雌蕊决定 *HAG1* 基因的表达,抑制胚珠特征决定 *HOM1* 基因的表达,丰富了激素调节花发育分子机制的资料^[47-48]。

在转基因育种方面,目前仅见 Popowich 等利用转基因育种手段培育了风信子抗病新品种^[49]。其研究证明,MS 加 2.2 μmol/L 6-BA 和 0.3 μmol/L NAA 能够使再生率达到 95%。利用该再生体系将 *preprothaumatin II* 基因转入风信子 Edison 和 Chine Pink,转基因植物与野生型的观赏品质无明显变化,但其球根增强了对 *Botrytis cinerea* 和 *Fusarium culmorum* 的抗性^[49]。

7 风信子研究展望

近年来,风信子在我国大部分地区被广泛应用,已成为早春最为重要的室外露地草本花卉之一^[50]。但与同为球根花卉的郁金香、百合、葡萄风信子、唐菖蒲等植物相比,相关研究报道较少。尤其在种球生物学和育种学方面,亟待大力开展相关研究。目前我国风信子种球主要依赖进口,进口种球存在价格昂贵、生产成本低、风险大等诸多问题。针对以上现象,一方面应加快我国风信子种球国产化的进程,如针对常用品种,制定相应的脱毒原种球生产技术规程,实现高效、快速繁殖。另一方面,种球质量是决定风信子观赏品质的最重要因素,种球活力是构成种球质量的最重要指标,种球活力的高低在生产上表现为贮藏寿命、劣变速度、抗逆反应、萌发态势、代谢活动情况。因此,应积极借鉴其他球根花卉中的研究结果,大力开展种球活力层面的研究。在育种方面,快速发展的生物技术,如诱变、组培、倍性和分子育种等手段,与传统选种、杂交育种方法的有机结合,将会极大地促进风信子的育种进程。

参考文献:

- [1] Bährle - Rapp M. *Hyacinthus orientalis* [M]. Heidelberg: Springer, 2007.
- [2] Darlington C D, Hair J B, Hurcombe R. History of garden hyacinthus [J]. Heredity, 1951, 5(2): 22.
- [3] 胡风荣, 胡月苗, 王 斐, 等. 利用 ISSR 分子标记分析 29 个风信子品种的遗传多样性 [J]. 分子植物育种, 2015, 13(2): 379 - 385.
- [4] Johnson M A T. Polyploidy and karyotype variation in Turkish *Bellevalia* (Hyacinthaceae) [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2003, 143(1): 87 - 98.
- [5] Hu F, Ren C, Bao R, et al. Chromosomes analysis of five diploid garden Hyacinth species [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 131(1): 82 - 87.
- [6] 戴一卿. 几个风信子品种的生长与繁殖研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [7] 熊 瑜, 史益敏. 风信子生物学特性与种球繁殖研究 [J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2007, 25(3): 293 - 297.

- [8]李玉萍. 风信子(*Hyacinthus orientalis* L.)繁殖生物学研究[D]. 南京:南京林业大学,2011.
- [9]张宪省,李全梓,李兴国,等. 风信子 *HAG1* 基因的克隆与表达[J]. 中国科学(生命科学),2000,30(4):376-381.
- [10]曹彬彬. 应用核素¹⁵N 研究风信子 N、P、K 的吸收与分配[D]. 上海:上海交通大学,2010.
- [11]贾文杰,崔光芬,王祥宁,等. 不同风信子品种在云南昆明地区的物候期及生长特性分析[J]. 农业科技与信息(现代园林),2014(8):75-79.
- [12]蒋辉,任意. 不同风信子品种在长沙地区引种试验[C]//湖南省园艺学会 2013 年学术年会. 常德,2013.
- [13]王春彦,李玉萍,罗凤霞,等. 不同风信子品种在南京地区的物候期及生长特性分析[J]. 植物资源与环境学报,2009,18(4):66-71.
- [14]陈进勇,桑敏,赵世伟. 绿化有机物覆盖对风信子生长发育的影响[M]. 北京:中国林业出版社,2015:355-360.
- [15]王江勇,于兰岭,齐雪龙,等. 风信子与欧洲水仙香气差别的 GC-MS 初探[J]. 北京农学院学报,2013,28(1):46-49.
- [16]王妍. 基于代谢组学的植物挥发物的分析方法研究与应用[D]. 杭州:浙江工业大学,2009.
- [17]Tanaka Y, Sasaki N, Ohmiya A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids [J]. The Plant Journal, 2008,54(4):733-749.
- [18]陶秀花,袁媛,徐怡倩,等. 风信子花瓣花色苷组成分析[J]. 园艺学报,2015,42(2):301-310.
- [19]Hosokawa K, Fukunaga Y, Fukushi E, et al. Acylated anthocyanins from red *Hyacinthus orientalis* [J]. Phytochemistry, 1995,39(6):1437-1441.
- [20]Hosokawa K, Fukunaga Y, Fukushi E, et al. Five acylated pelargonidin glucosides in the red flowers of *Hyacinthus orientalis* [J]. Phytochemistry, 1995,40(2):567-571.
- [21]Hosokawa K, Fukunaga Y, Fukushi E, et al. Seven acylated anthocyanins in the blue flowers of *Hyacinthus orientalis* [J]. Phytochemistry, 1995,38(5):1293-1298.
- [22]李玉萍,苗淑杏,罗凤霞. 风信子种子品质初探[J]. 金陵科技学院学报,2014(2):58-61.
- [23]李玉萍,冯英娜,罗凤霞. 风信子种子萌发习性研究[J]. 江苏农业科学,2012,40(12):194-196.
- [24]彭慧菊,娄晓鸣,吕文涛,等. 种球规格对盆栽风信子年宵花开花的影响[J]. 现代园艺,2016(21):8-9.
- [25]张成成. 风信子育种与繁殖研究[D]. 上海:上海交通大学,2010.
- [26]刘勇刚,徐子勤. 风信子的组织培养和植株再生[J]. 西北大学学报(自然科学版),2001,31(3):255-258.
- [27]黎超,苗淑杏,李玉萍. 风信子安娜玛丽鳞片扦插繁殖试验研究[J]. 现代农业科技,2014(23):171-173.
- [28]罗凤霞,孙莉莉,杨春起,等. 风信子鳞片扦插繁殖技术研究[J]. 北方园艺,2008(1):124-126.
- [29]李玉萍,孙莉莉,王春彦,等. 风信子组织培养研究进展[J]. 江苏农业科学,2009(5):69-72.
- [30]王文通,罗竹新. 风信子促成栽培研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(27):14890-14891.
- [31]向文,饶治国. 喷施细胞分裂素对盆栽风信子生长和开花的影响[J]. 安徽农业科学,2014(15):4579,4685.
- [32]李凤童,陈秀兰,刘春贵,等. 不同配方营养液对水培风信子生长及观赏品质的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(10):130-134.
- [33]赵娇娇,王波,纪玲,等. 不同水培条件对风信子生长的影响[J]. 中国园艺文摘,2012(8):14-16,35.
- [34]张鸽香,周丽琴. 水杨酸对水培风信子生长及开花的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(5):20-24.
- [35]张鸽香,侯飞飞. 叶面喷施多效唑对盆栽风信子生长与开花的影响[J]. 林业科技开发,2012,26(2):32-35.
- [36]朱丽梅,李玉萍,罗凤霞,等. 不同品种风信子的病害调查及抗病性鉴定[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):212-214.
- [37]李冰,马晓红,沈强,等. 风信子软腐病原的鉴定和杀菌剂试验[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2011,29(5):20-24,48.
- [38]邵秀玲,甘琴华,赵文军,等. 利用实时荧光 PCR 技术检测风信子黄腐病菌[J]. 植物检疫,2009,23(5):25-27.
- [39]Miyamoto K, Kotake T, Boncela A J, et al. Hormonal regulation of gummosis and composition of gums from bulbs of hyacinth (*Hyacinthus orientalis*) [J]. Journal of Plant Physiology, 2015,174(3):1-4.
- [40]裴建宇. 糖在球根花卉花粉萌发及低温保存过程中的作用机制[D]. 南京:南京林业大学,2012.
- [41]李玉萍,罗凤霞,王春彦,等. 风信子花粉萌发及贮藏性研究[J]. 西北植物学报,2010,30(12):2484-2489.
- [42]陶懿伟,许洁婷,史益敏. 风信子花粉活力与育性[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2004,22(4):416-419.
- [43]李玉萍,王春彦,罗凤霞,等. 风信子品种间杂交与幼胚离体培养研究[J]. 西北植物学报,2011,31(1):186-191.
- [44]胡凤荣,何国仁,王斐,等. 利用 ISSR 分子标记方法鉴定风信子杂种后代[J]. 分子植物育种,2015(6):1336-1342.
- [45]Sato A, Saitou K, Okubo H. Estimation of actin and 18S rRNA as internal controls of RNA in hyacinth (*Hyacinthus orientalis* L.) [J]. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 2005,50(1):103-108.
- [46]祁银燕,刘雅莉,李莉,等. 风信子 *DFR* 基因全长 cDNA 的克隆及序列分析[J]. 中国农学通报,2009,25(24):62-67.
- [47]Li Q Z, Li X G, Bai S N, et al. Isolation and expression of *HAP2*, a homolog of *AP2* in *Hyacinthus orientalis* L. [J]. Developmental & Reproductive Biology, 2001,10(1):69-75.
- [48]宿红艳,李全梓,李兴国,等. 风信子 *HoMADS2* 基因的克隆及表达分析[J]. Journal of Genetics and Genomics, 2005,32(11):1191-1198.
- [49]Popowich E A, Firsov A P, Mitouchkina T Y, et al. Agrobacterium-mediated transformation of *Hyacinthus orientalis* with *thaumatin II* gene to control fungal diseases [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2007,90(3):237-244.
- [50]娄晓鸣,吕文涛,陆桂梅. 种球冷处理时间对水培风信子性状的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):256-258.