

文章编号:1001—7380(2022)03—0009—06

## 圆锥绣球‘石灰灯’种子形态及萌发特性研究

冯 景,邓衍明\*,齐香玉,陈双双,陈慧杰,刘廷利

(江苏省农业科学院休闲农业研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏 南京 210014)

**摘要:**针对圆锥绣球‘石灰灯’(*Hydrangea paniculata* ‘Limelight’)种子形态特征及萌发特性,测定了种子大小、含水量、吸水率,并研究了贮藏温度与消毒方法对种子萌发的影响。结果表明:‘石灰灯’种子不存在形态及物理休眠。种子成熟时胚发育完全,种皮透水性良好。初始含水量为4.3%,96 h时吸水达饱和状态,吸水率为37.7%;随着贮藏温度下降,种子发芽率呈上升趋势,超低温(-70℃)处理下发芽率最高(12.7%),且污染率最低(41.3%);不同消毒方式下,75% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH处理组中,种子污染率随消毒时间延长而显著降低,以消毒90 s效果最好,种子污染率和发芽率分别为16.0%和17.3%;15% NaClO处理组中,虽然种子污染率与发芽率随着消毒时间的延长差异不显著,但处理3 min的效果最佳,种子发芽率和污染率分别为22.7%和14.3%。

**关键词:**圆锥绣球;种子形态;种子休眠;萌发特性;发芽率;种子污染率

中图分类号:S604<sup>+</sup>.1;S685.99 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2022.03.002

## Studies on the seed morphology and germination characteristics of *Hydrangea paniculata* ‘Limelight’

Feng Jing, Deng Yanming\*, Qi Xiangyu, Chen Shuangshuang, Chen Huijie, Liu Tingli

(Institute of Leisure Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/ Jiangsu Provincial Key Laboratory for the Genetics and Improvement of Horticultural Crops, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In this paper, seed morphological and germination characteristics of *Hydrangea paniculata* ‘Limelight’ were studied, including seed size, water content, water absorption, and the effects of storage temperature and disinfection method on seed germination. The results showed that the seed did not exist morphological or physical dormancy. The embryos was fully develop in the mature seeds and the seed testa had good water permeability. The initial moisture content was 4.3%. After 96 h, water absorption reached saturation and the water absorption rate was 37.7%. With the decrease of storage temperature, the germination rate of seed showed an upward trend. Under the ultra-low temperature treatment (-70℃), the germination rate was the highest (12.7%) and the pollution rate was the lowest (41.3%). Under different disinfection treatment methods, the 75% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH treatment group’s seed contamination rate decreased significantly with the prolongation of the disinfection time, with the best effect, 16.0% seed contamination rate and 17.3% germination rate in 90 s duration disinfection. In the 15% NaClO treatment group, the seed contamination rate and germination rate had not significantly difference with the prolongation of disinfection time, but the best effect was obtained after disinfection for 3 minutes, and the seed germination rate and contamination rate were 22.7% and 14.3%, respectively.

**Key words:** *Hydrangea paniculata*; Seed morphology; Seed dormancy; Germination characteristic; Germination rate; Contamination rate

收稿日期:2022-03-20;修回日期:2022-04-06

**基金项目:**江苏省农业科技自主创新资金项目“绣球与乔木绣球种间杂交胚拯救技术研究”(CX(21)3022);江苏省林业科技创新与推广项目“绣球耐寒新品种引选与花色定制产品培育利用研究”(LYKJ-沭阳[2021]01);苏州市科技计划项目“绣球花色定制产品高效生产关键技术应用研究”(SNG201923);江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目“绣球花优质多抗新品种选育”(JBGS[2021]097)

**作者简介:**冯 景(1989-),男,江苏睢宁人,助理研究员,博士。研究方向为花卉种质创新与栽培生理。E-mail:fengj@jaas.ac.cn

\* **通信作者:**邓衍明(1976-),男,安徽滁州人,研究员,博士。研究方向为观赏植物遗传育种与栽培。E-mail:nksdym@163.com

圆锥绣球 (*Hydrangea paniculata* Sieb.) 为绣球花科 (Hydrangeaceae) 绣球属落叶灌木或小乔木, 原产中国, 其植株高大、花量多、花期长、适应性强、观赏价值高, 在欧美、日本已大量应用于庭院及园林绿化中; 此外, 圆锥绣球全株含粘液可做糊料, 药有清热抗疟、预防糖尿病肾病等效果<sup>[1-2]</sup>。秋季盛花期后, 圆锥绣球花的颜色逐渐从绿色转为古铜色, 且宿留枝头长久不落, 非常适合做干花。

种子的形态特征是鉴定种或品种的重要依据, 它不仅表达了较为稳定的遗传信息, 而且与种子的传播、贮藏、萌发等过程密切相关。萌发吸水是种子由休眠状态转变到生活状态的重要阶段, 种皮的机械障碍通过影响种子的吸水、透气功能来阻碍种子的萌发。如夏蜡梅种子外种皮致密坚硬, 透水能力较差, 通过刻伤种皮, 可加速吸水从而打破休眠<sup>[3]</sup>。除了种子自身的遗传特性外, 外界环境条件也影响着种子的萌发情况。种子在成熟、收获及贮藏过程中均会受微生物侵染, 在环境适宜条件下会造成种子霉烂乃至死亡<sup>[4]</sup>。贮藏温度与种子含水量是种子活力保持的两个重要条件, 研究表明, 低温贮藏有利于保持种子的生活力, 种子的耐贮性一般随贮藏温度降低而提高, 种子含水量每下降 1% 和温度每下降 10 ℃, 种子可以贮藏的时间就增加一倍, 而发芽率无明显降低<sup>[5]</sup>。刘燕等<sup>[6]</sup>对 18 个科 47 种园林花卉种子进行了液氮超低温贮藏, 结果表明 45 种花卉种子保存后都有一定发芽率且超低温保存对一些花卉种子萌发表现出促进作用。

通常认为自然条件下绣球由于自交不亲和而不能结实, 故生产上以扦插、分株、组织培养等无性繁殖为主。目前, 对绣球的研究集中在栽培技术、生理生化、分子机制、花色调控等方面<sup>[7-11]</sup>。然而, 人们对圆锥绣球种子生物学特性方面的研究甚少, 对其结实特性、种子是否能够正常萌发及萌发所需要的环境条件等均不甚清楚, 这在某种程度上限制了圆锥绣球种苗的培育和产业的发展。此外, 前期试验发现圆锥绣球‘石灰灯’能够自然结实, 但在种子萌发过程中霉变、腐烂现象严重, 导致种子发芽率极低。因此, 本文对圆锥绣球‘石灰灯’种子的形态特征及种子萌发特性进行研究, 以期为其种质资源的保存、优良实生种苗繁育和杂交育种提供理论依据和技术指导, 并为绣球属植物种子学研究提供新的资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

圆锥绣球‘石灰灯’ (*H. paniculata* Sieb. ‘Lime-light’) 果实于 2021 年 1 月采收于江苏省农业科学院院内 (32°02′06.6″N, 118°52′19.1″E), 经室温自然风干后, 先摇动果序使部分种子散出, 再把剩下果实置于研钵中轻轻碾碎果皮, 并用 50 目筛网筛出饱满的种子用于试验。收集好的种子置于 4 ℃ 冰箱备用。

### 1.2 研究方法

1.2.1 种子千粒重及形态观 随机选取 300 粒种子, 分别测量其长度和宽度, 精确到 0.01 mm; 采用百粒法测定种子的千粒重, 即从混合均匀的种子中随机抽取 100 粒, 重复 5 次, 使用千分之一电子天平分别称重后计算种子千粒重; 随机抽取种子 30 粒, 用体视显微镜 (SZX10, OLYMPUS Co., Tokyo, Japan) 观察种子外部形态并拍照, 然后用刀片剖开, 在相差显微镜 (BX43, OLYMPUS Co., Tokyo, Japan) 下观察种子的发育状况并区分饱满种子、干瘪种子和空粒种子, 统计种子的饱满率。

1.2.2 种子含水量的测定 参照国际种子检验规程<sup>[12]</sup>, 采用高温烘干法, 取 1 g 种子于 (130±2) ℃ 烘箱烘 4 h, 按下式计算种子含水量  $MC(\%) = (W_2 - W_3) / (W_2 - W_1) \times 100$ 。式中,  $W_1$  为样品盒及盒盖的烘干质量 (g),  $W_2$  为干燥前样品盒、盖及样品的质量 (g),  $W_3$  为干燥后样品盒、盖及样品的质量 (g)。重复 3 次, 取平均值。

1.2.3 种子吸水率测定 随机抽取 50 粒种子, 置于盛有超纯水的离心管中, 在 25 ℃ 条件下进行吸水试验。吸水过程中, 每隔 24 h 将种子取出后用滤纸吸干表面水分, 于千分之一电子天平上称质量, 直至恒质量, 重复 3 次。以种子初始含水量经换算得到种子在各吸水时间的含水量。另外计算种子不同时间的吸水率 ( $\%$ ):  $IFW = [(W_t - W_0) / W_0] \times 100$ 。式中,  $W_t$  为吸水时间  $t$  时的种子质量,  $W_0$  为种子吸水前的初始质量)。重复 3 次, 取平均值。

1.2.4 贮藏温度对种子萌发的影响 设置 4, -18, -70 ℃ 贮藏温度处理, 以室温为对照 (CK), 处理时间为 30 d。根据国际种子检验规程<sup>[12]</sup>, 随机抽取各处理的种子 50 粒, 置于放有浸湿脱脂棉的培养皿内, 在 25 ℃ 恒温光照培养箱内进行发芽试验, 重复 3 次。以胚根突破种皮且长度超过 2 mm 为发芽标

准,以连续 5 d 内没有新萌发种子作为发芽试验截止时间。试验结束后计算发芽率 ( $GR$ )、污染率 ( $CR$ )、平均发芽时间 ( $MGT$ )<sup>[13]</sup> 及发芽速度 ( $SG$ )<sup>[14]</sup>。其中, $GR=n/N\times 100\%$  (式中, $n$  为 30 d 内发芽的种子数, $N$  为供试种子数); $CR=c/N\times 100\%$  (式中, $c$  为 30 d 内污染的种子数, $N$  为供试种子数); $MGT=\sum [(D_n)/\sum n]$  (式中, $n$  为在  $D$  d 发芽的种子数, $D$  为开始发芽的天数); $SG=\sum (n/D)$  (式中, $n$  为在  $D$  d 发芽的种子数, $D$  为开始发芽的天数)。

1.2.5 消毒处理对种子萌发的影响 选用 75%  $C_2H_5OH$  和 15%  $NaClO$  作为种子消毒剂,根据不同消毒时间共设置 6 个处理(见表 1),以仅用超纯水处理的种子作为对照(CK)。处理后进行发芽试验,条件同贮藏温度对种子萌发影响的试验,发芽结束后计算发芽率、污染率。

表 1 消毒处理		
处理	消毒剂	消毒时间
1	75% $C_2H_5OH$	30 s
2	75% $C_2H_5OH$	60 s
3	75% $C_2H_5OH$	90 s
4	15% $NaClO$	1 min
5	15% $NaClO$	2 min
6	15% $NaClO$	3 min
CK	超纯水	—

1.3 数据处理

数据采用 SPSS (版本 23.0) 和 EXCEL (版本 2019) 软件进行分析。使用单因素方差分析 (ANOVA) 进行统计学分析,随后进行 Duncan 多重比较,  $P<0.05$  表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 种子的形态特征

圆锥绣球‘石灰灯’种子呈长柱型,扁平状,两端细长;种皮木质化,网脊型<sup>[15]</sup>,深褐色具光泽;种子合点端具翅并延伸至珠孔端;成熟种子胚乳饱满,乳白色或淡黄色,胚白色,直立,嵌入到胚乳中,几乎充满种腔(如图 1)。种子平均大小为 2.43 mm (长)  $\times$  0.69 mm (宽),种子千粒重为  $(0.21\pm0.02)$  g,种子饱满率为  $(26.33\pm1.72)\%$ 。

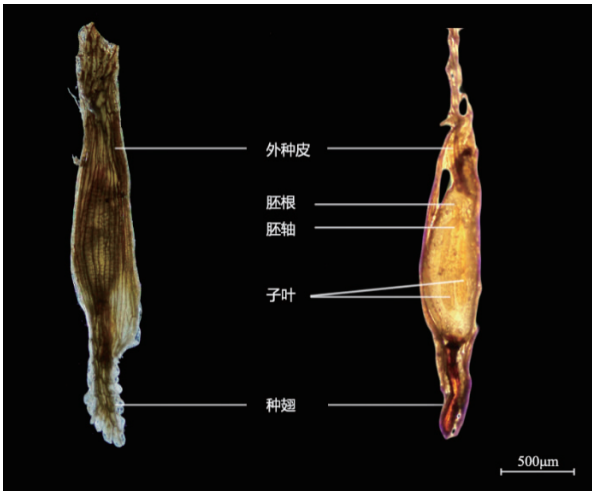


图 1 圆锥绣球‘石灰灯’种子形态及结构示意图

2.2 种子吸水率

圆锥绣球‘石灰灯’种子的初始含水量为 4.3%。由图 2 可知,种子的吸水过程可分为 3 个阶段:第 1 阶段为开始吸水后的 24 h 内,种子吸水率快速上升至 28.0%,主要是由种子吸胀作用所致;第 2 阶段为 24—48 h,种子吸水率继续上升,但速度趋缓;第 3 阶段为 48—114 h,种子吸水量基本不再增加,吸水速率处于基本稳定的状态;其中,吸水率在 96 h 时达到最大值,为 37.7%,此时种子达到吸水饱和状态。从种子吸水的整个过程来看,圆锥绣球‘石灰灯’种子吸胀作用时间较短,表明其种皮透水性良好。

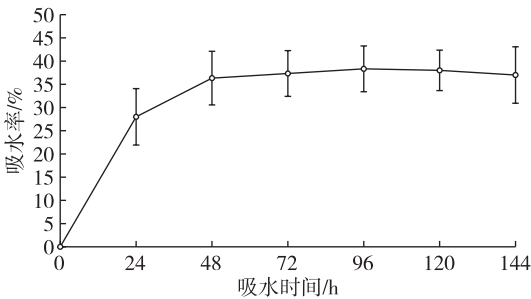


图 2 圆锥绣球‘石灰灯’种子吸水率的变化

2.3 种子萌发特性

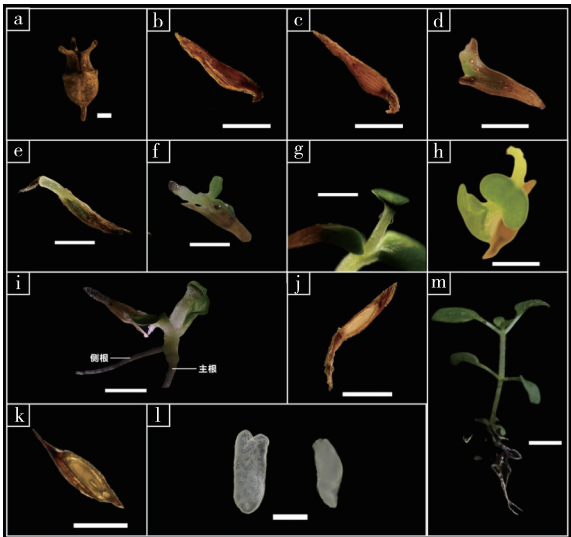
圆锥绣球‘石灰灯’种子于 25 ℃ 条件下吸水 3 d 时,种皮舒展,胚乳中的水分趋向饱和,组织处于吸胀状态(图 3-c);4 d 时,种子珠孔处开裂,胚根先端突破种孔(图 3-d);6 d 左右,胚轴伸长,胚部组织从种皮裂缝中开始显现出来(即露白)(图 3-e);种子萌动后,种胚细胞开始加速分裂和分化,生长速

度显著加快,子叶生长增粗的同时,子叶下部明显伸长,并将胚根和胚轴继续向种皮外推出(图 3-f);胚根继续伸长,胚乳逐渐被消耗,10 d 左右,子叶从种皮内露出;当胚根、子叶发育到一定程度,极性分化明显,子叶向上长,胚根向下长,胚根继续增粗伸长,形成主根;20 d 左右,随着幼根的继续伸长,上

胚轴及幼茎呈淡绿色(图 3-g);幼茎继续向上生长,先出叶对生,卵圆形,先端渐尖(图 3-h);待叶片慢慢长大,质地由柔软逐渐变硬,颜色也由浅绿色逐渐变为深绿色,23 d 左右即可形成健壮幼苗(图 3-m)。种子萌发进程见表 2。

表 2 圆锥绣球‘石灰灯’种子萌发进程

萌发阶段	时间/d																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I. 种子吸胀																									
II. 胚根伸长并突破种皮																									
III. 发育成根																									
IV. 胚轴伸长子叶露出																									
V. 胚芽发育成茎和叶																									
VI. 幼苗形成																									



a 成熟蒴果;b 吸水前的种子,种皮呈网脊状;c 吸水后的种子;d 胚根先端突破种孔;e 胚轴伸长;f 子叶露出;g 幼茎;h 初生叶;i 主根与侧根;j 无胚种子;k 剖开的正常种子,可见胚分化完全并充满种腔;l 正常胚(左)与畸形胚(右);m 完整幼苗。标尺:a:1 mm;b—j:0.5 mm;l:0.2 mm;m:5 mm。

图 3 圆锥绣球‘石灰灯’种子萌发过程中的形态特征

由表 3 可知,随着贮藏温度下降,种子发芽率呈上升趋势;-70 ℃ 条件下,种子发芽率为 12.7%,显著高于 4 ℃ 处理(6.0%, $P<0.05$ )。同时,-70 ℃ 条件下污染率最低,为 41.3%,显著低于其他处理。不同贮藏温度下种子的平均发芽时间(MGT)与发芽速度(SG)均不存在显著性差异,但以-70 ℃ 处理下的发芽速度最高且污染率最低。

表 3 贮藏温度对圆锥绣球‘石灰灯’种子萌发的影响

贮藏温度 /℃	发芽率 /%	平均发芽时间/d	发芽速度/(%/d)	污染率 /%
4	6.00±4.00 b	1.32±0.55 a	0.42±0.29 a	60.33±4.73 a
-18	7.33±3.06 ab	1.74±0.81 a	0.61±0.41 a	64.67±5.03 a
-70	12.67±3.06 a	2.11±0.41 a	0.75±0.26 a	41.33±4.16 b
室温(CK)	7.33±3.06 ab	1.74±0.70 a	0.44±0.27 a	62.00±7.21 a

注:采用 Duncan 多重比较分析,不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著性差异( $P<0.05$ )。

由表 4 可以看出,种子经 75%  $C_2H_5OH$  和 15%  $NaClO$  分别处理不同时间后,污染率均显著低于对照,发芽率均显著高于对照。其中,75%  $C_2H_5OH$  处理中,随着消毒时间的延长,种子污染率显著下降,而发芽率无明显变化;15%  $NaClO$  处理中,随着消毒时间的延长,外种皮明显褪色,种子污染率与发芽率均无显著性差异,但 15%  $NaClO$  处理 3 min 后种子发芽率最高,为 22.7%。与未经消毒处理的种子相比,发芽率提高了 15.3 %,污染率降低了 47.7%。

表 4 不同消毒处理下圆锥绣球‘石灰灯’种子污染和发芽情况

处理	污染率/%	发芽率/%
1	30.67±6.11 b	20.00±4.00 ab
2	26.67±15.14 bc	10.67±8.33 bc
3	16.00±3.06 c	17.33±10.07 abc
4	13.33±6.11 c	19.00±4.58 ab
5	18.67±6.11 bc	18.67±2.31 ab
6	14.33±2.08 c	22.67±2.31 a
CK	62.00±7.21 a	7.33±3.06 c

注:采用 Duncan 多重比较分析,不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著性差异( $P<0.05$ )。



### 3 讨论与结论

许多种子利用休眠来避开逆境,只有当生存环境变得适宜时才发芽。种子形态学和生理学的性质决定了休眠类型<sup>[16-18]</sup>。Baskin 把休眠分为5大类即生理休眠(physiological dormancy, PD)、形态休眠(morphological dormancy, MD)、形态生理休眠(morphophysiological dormancy, MPD)、物理休眠(physical dormancy, PY)和联合休眠(PY+PD)<sup>[19]</sup>。通常认为大部分落叶灌木的种子都具有生理休眠特性,需要低温层积来打破休眠,促进萌发。低温层积的时间因植物种类的不同而不同,一般为30—181 d。已有研究表明乔木绣球(*H. arborescens*)种子没有休眠(ND)<sup>[20]</sup>,而攀援绣球(*H. serratifolia*)种子具有生理休眠(PD)<sup>[21]</sup>。但对于圆锥绣球种子是否具有休眠尚存在争议。Greer 等<sup>[22]</sup>认为圆锥绣球‘Big Ben’和‘Pink Diamond’种子具有生理休眠(PD),需低温层积42 d打破休眠;但 Lu 等<sup>[23]</sup>认为圆锥绣球种子没有休眠。本研究发现,圆锥绣球种子成熟时蒴果顶端开裂,这种小而带翅的种子容易被风传播;果实成熟后胚已分化完全,即具有胚根、胚轴和子叶,且充满整个种腔,表明其不存在形态休眠。同时,种子吸水后种皮膨胀、软化,可以使更多的氧透过种皮进入种子内部,启动萌发过程,种子在48 h时基本达到吸水饱和状态,吸水时间较短,表明其种皮透水性良好,故不存在机械障碍。此外,本试验对未萌发种子解剖发现,大部分为无胚种子,无胚率为67%—80%,其余为无活力(胚畸形)的种子。因此,本研究表明圆锥绣球‘石灰灯’种子没有休眠,其萌发率低的原因主要在于种子发育不良且污染率较高。

因外部环境条件、母株营养状况、受精后胚胎败育等因素,均能导致瘪粒或无胚种子。无胚现象在自交与杂交过程中普遍存在,如兰科植物自交所产生的果实中接近2/3的种子无胚或胚畸形<sup>[24-25]</sup>,楸树早期表现的近交衰退作用致使大量胚珠在合子分裂前败育,从而造成杂交种子饱满率、发芽率低<sup>[26]</sup>。绣球种子产量通常很低(0—5粒饱满种子/果实)<sup>[27]</sup>,Reed 等<sup>[28]</sup>人对圆锥绣球3个品种自花授粉后结实和幼苗萌发情况的研究表明,自花授粉后可形成果实,但绝大部分(90%)种子败育,只有1个品种的种子萌发且发芽率仅为11.2%。这与本试验发现种子饱满率低、发芽率低的现象相符合,

但与陆乙卜等<sup>[29]</sup>对圆锥绣球种子发芽率的研究结果(80%以上)有不同。分析认为,这可能是由于试验所用品种差异或采种时间不同所致。

种子贮藏可以最大限度地延长种子寿命,对种质资源的保存具有重要意义。温度和含水量是种子在贮藏期间保持活力的2个关键因素。正常种子成熟时含水量极低,在低温下能够长期而稳定地保存。本试验中种子初始含水量为4.2%,在4种贮藏温度贮藏1个月,后-70℃贮藏温度下污染率显著低于其他3个温度处理。虽然-70℃处理下种子发芽率与4℃处理间存在显著性差异,但种子平均发芽时间与发芽速度并无明显变化,这可能是本试验贮藏时间较短,4种处理温度均能较好地保持种子活力所致。

不同植物种子适用的表面消毒剂不同。发芽前对种子进行消毒处理,选择合适的消毒剂和消毒时间是降低污染率、提高发芽率的关键因素之一。判断某种消毒方法是否合适,要综合考虑发芽率、污染率、平均发芽时间、发芽速度等因素<sup>[30]</sup>。本研究发现,消毒后‘石灰灯’种子培养过程中仍极易遭受污染,尽管在污染状态下有些种子仍能萌发,但幼苗极易死亡。有研究表明未经消毒处理的圆锥绣球种子萌发时的污染率高达100%<sup>[29]</sup>。本试验结果也表明,未经消毒处理的种子污染率在60%以上,这可能是圆锥绣球‘石灰灯’种子本身带菌较多所致。大花绣球与圆锥绣球种间杂交试验发现,内生菌存在于胚珠表面是造成杂种成活率低的主要原因<sup>[31]</sup>,也从侧面证实了这一点。本试验发现15% NaClO消毒3 min效果最好,且种子的发芽率最高;与未经消毒处理的种子相比,种子发芽率提高了15.3%,污染率降低了47.7%。因此,15% NaClO消毒3 min是圆锥绣球‘石灰灯’种子适宜的消毒方法。

#### 参考文献:

- [1] ZHANG S, MA J, SHENG L, et al. Total coumarins from *Hydrangea paniculata* show renal protective effects in lipopolysaccharide-induced acute kidney injury via anti-inflammatory and antioxidant activities[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2017, 8: 872.
- [2] ZHANG S, YANG J, LI H, et al. Skimmin, a coumarin, suppresses the streptozotocin-induced diabetic nephropathy in wistar rats[J]. *European Journal of Pharmacology*, 2012, 692(1): 78-83.
- [3] 赖小连, 颜立红, 颜玉娟, 等. 夏蜡梅种子形态结构和种子萌发研究[J]. *种子*, 2021, 40(2): 86-90.

- [4] 聂秀美. 贮藏年限对燕麦种子种带真菌和真菌毒素的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020: 1-9.
- [5] HARRINGTON J F. Drying, storage, and packaging seed to maintain germination and vigor [J]. Seed Technology Papers, 1959: 89-107.
- [6] 刘 燕, 周 慧, 方 标. 园林花卉种子超低温保存研究 [J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(4): 39-44.
- [7] 乔 谦, 王江勇, 陶吉寒. 绣球属植物研究进展 [J]. 农学学报, 2020, 10(4): 60-64.
- [8] 孙晓波, 苏家乐, 陈双双, 等. 大花绣球‘无尽夏’组育苗叶片再生植株的研究 [J]. 中国农学通报, 2020, 36(16): 67-72.
- [9] 陈双双, 齐香玉, 冯 景, 等. 基于流式细胞术和基因组 Survey 的绣球基因组大小及特征分析 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(12): 39-44.
- [10] 邓衍明, 韩 勇, 齐香玉, 等. 绣球属植物种质资源分析及其花色可调性和叶斑病抗性比较 [J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 90-100.
- [11] 陈双双, 齐香玉, 冯 景, 等. 铝处理下绣球实时荧光定量 PCR 内参基因筛选及验证 [J]. 华北农学报, 2021, 36(2): 9-18.
- [12] ISTA. International rules for seed testing [Z]. Switzerland; The International Seed Testing Association (ISTA). 2005
- [13] ELLIS R H, ROBERTS E H. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds [J]. Seed Science and Technology, 1981, 9(2): 373-409.
- [14] MAGUIRE I D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor [J]. Crop Science, 1962, 2(2): 176-177.
- [15] 张 梅, 刘 旭, 周惠龙, 等. 绣球属 29 种植物的种子微形态研究 [J]. 园艺学报, 2018, 45(6): 1147-1159.
- [16] NIKOLAEVA M G. On criteria to use in studies of seed evolution [J]. Seed Science Research, 2007, 14(4): 315-320.
- [17] WILLIS C G, BASKIN C C, BASKIN J M, et al. The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants [J]. New Phytologist, 2014, 203(1): 300-309.
- [18] 吴 玉, 周亚晶, 胡 惠, 等. 种子休眠与解除的分子机制研究进展 [J]. 种子, 2021, 40(5): 63-70.
- [19] BASKIN J M, BASKIN C. A classification system for seed dormancy [J]. Seed Science Research, 2004, 14(1): 1-16.
- [20] BASKIN C C, BASKIN J M. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination [J]. Crop Science, 2014, 40(2): 564.
- [21] FIGUEROA J, ARMESTO J J. Community-wide germination strategies in a temperate rainforest of southern Chile: ecological and evolutionary correlates [J]. Australian Journal of Botany, 2001, 49: 411-425.
- [22] GREER S P, RINEHART T A. In vitro germination and dormancy responses of *Hydrangea macrophylla* and *Hydrangea paniculata* seeds to ethyl methane sulfonate and cold treatment [J]. HortScience, 2009, 44(3): 764-769.
- [23] LU Y, ZHANG D, YI Y, et al. In vitro seed germination of *Hydrangea paniculata* Sieb [C]. New Orleans: ASHS, 2015.
- [24] 王晓静, 余 乐, 殷寿华. 授粉方式对流苏石斛结实率及种子活力的影响 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2009, 31(S1): 374-377.
- [25] BORBA E L, SEMIR J, SHEPHERD G J. Self-incompatibility, inbreeding depression and crossing potential in five Brazilian *Pleurothallis* (Orchidaceae) species [J]. Annals of Botany, 2001, 88(1): 89-99.
- [26] 樊莉丽. 楸树生殖生物学特性的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2012: 70-78.
- [27] ALEXANDER L. Ploidy level influences pollen tube growth and seed viability in interploidy crosses of *Hydrangea macrophylla* [J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 100.
- [28] REED S M. Compatibility studies in *Hydrangea* [J]. Journal of Environmental Horticulture, 2000, 18(1): 29-33.
- [29] 陆乙卜, 龚记熠, 肖 松, 等. 圆锥绣球种子离体萌发的培养条件 [J]. 贵州农业科学, 2015, 43(11): 34-37.
- [30] 董文科, 马晖玲, 陈春艳. 不同消毒剂对甘肃红豆草种子消毒效果及萌发的影响 [J]. 草原与草坪, 2015, 35(4): 80-83.
- [31] REED S M. Development of an in ovo embryo culture procedure for *Hydrangea* [J]. Journal of Environmental Horticulture, 2000, 18(1): 34-39.