

4种木兰属植物花粉萌发特性

俞芹, 王倩颖, 王宁杭, 王型力, 范李节, 张明如, 申亚梅

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

摘要: 以望春玉兰 *Magnolia biondii*, 长花玉兰 *Magnolia* ‘Changhua’, 丹馨玉兰 *Magnolia* ‘Danxin’, 黄山木兰 *Magnolia cylindrica* 等4种木兰属 *Magnolia* 植物为试验材料, 运用不同质量浓度蔗糖、硼酸、分子量为4000的聚乙二醇(PEG-4000)对花粉进行单因子及正交试验处理, 研究不同培养基、培养温度及培养时间对4种植物花粉萌发率的影响。结果表明: ①蔗糖、硼酸、PEG-4000对4种木兰属植物花粉萌发均有显著影响($P<0.05$)。不同植物所需适宜的离体培养基组分质量浓度不同, 望春玉兰为 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖+ $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸+ $200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000; 长花玉兰为 $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖+ $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸+ $200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000; 丹馨玉兰为 $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖+ $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸+ $150\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000; 黄山木兰为 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖+ $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸+ $250\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000。②4种植物花粉萌发最佳培养温度均为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度过高会抑制花粉萌发。③随着处理时间的延长, 4种植物花粉萌发率增加, 但达到最大萌发率所需时间有所不同, 其中望春玉兰和黄山木兰在培养9 h时萌发率最高, 萌发率分别为71.19%和59.82%, 而长花玉兰和丹馨玉兰在培养12 h时萌发率最高, 萌发率分别为44.50%和23.43%。图2表1参17

关键词: 林木育种学; 木兰属; 花粉; 离体培养; 萌发条件

中图分类号: S722.3; Q944.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2018)03-0505-06

Pollen germination characteristics of four *Magnolia* species

YU Qin, WANG Qianying, WANG Ninghang, WANG Xingli, FAN Lijie, ZHANG Mingru, SHEN Yamei

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To determine the effect of culture medium, temperature, and time on pollen germination rates, different materials: *Magnolia biondii*, *Magnolia* ‘Changhua’, *Magnolia* ‘Danxin’ and *Magnolia cylindrica* were used to study variation in pollen viability. Treatments of sucrose, H_3BO_3 and PEG-4000 were used to determine the effects on pollen germination with orthogonal experiments alone as well as for interactions. Results showed that (1) Different individuals need certain concentrations of the culture medium: *Magnolia biondii* was $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ sucrose + $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ H_3BO_3 + $200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000; *Magnolia* ‘Changhua’ was $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ sucrose + $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ H_3BO_3 + $200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000; *Magnolia* ‘Danxin’ was $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ sucrose + $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ H_3BO_3 + $150\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000 and *Magnolia cylindrica* was $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ sucrose + $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ H_3BO_3 + $250\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG-4000. (2) For pollen viability, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ was the best temperature, higher temperatures inhibited pollen viability. (3) At 9 h, *Magnolia biondii* (71.19%) and *Magnolia cylindrica* (59.82%) had the highest germination rates ($P<0.05$); whereas, at 12 h *Magnolia* ‘Changhua’ (44.50%) and *Magnolia* ‘Danxin’ (23.43%) had the highest germination rates ($P<0.05$). [Ch, 2 fig. 1 tab. 17 ref.]

Key words: forest tree breeding; *Magnolia*; pollen; in vitro culture; germination condition

木兰属 *Magnolia* 植物分布范围广, 多为高大乔木或灌木, 抗性强, 株型优美, 早春季节开花, 花色

收稿日期: 2017-05-16; 修回日期: 2017-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31400599); 浙江省“十三五”重大育种专项(2016C02056-12); 国家林业公益性行业科研专项(201504322)

作者简介: 俞芹, 从事园林植物遗传育种研究。E-mail: 1247557909@qq.com。通信作者: 申亚梅, 副教授, 博士, 从事园林植物遗传育种研究。E-mail: yameishen@zafu.edu.cn

艳丽,具有较高的观赏价值,在园林绿化中应用广泛^[1],具有广阔的市场价值。目前,杂交育种是木兰属新品种选育的主要手段之一,大部分种间杂交均表现为亲和^[2]。花粉活力的高低直接影响杂交育种工作的成败。花粉活力的测定方法有直接授粉、离体萌发、染色法等^[3]。直接授粉花粉生活力易受柱头可授性、授粉时期、花粉与柱头亲和性等因素影响^[4]。根据染色原理不同,染色法分为氯化三苯基四氮唑(TTC)、碘-碘化钾法、联苯胺法、醋酸洋红染色法等,该方法虽简单易操作,但所测得的花粉活力受花粉自身特性的影响较大,如花粉壁的厚度、花粉内各种酶活性的强弱等^[5],未成熟、衰老或败育的花粉仍能染色^[6]。离体培养法为花粉提供的条件与花粉在柱头内萌发的条件相似^[7],所得花粉活力与花粉在柱头上的活力最接近,是检测花粉活力的最佳方法。近年来,已有许多木兰属植物花粉形态、生活力及其储藏特性的相关研究,如二乔玉兰 *Magnolia soulangeana*^[8],天女木兰 *Magnolia sieboldii*^[9],紫玉兰 *Magnolia liliflora*^[10],景宁木兰 *Magnolia sinostellata*^[11]等,研究表明不同植物适宜的培养基组分及质量浓度要求不同,花粉离体培养中所需的萌发条件也不同。本研究在综合前人研究的基础上,以望春玉兰 *Magnolia biondii*,长花玉兰 *Magnolia* ‘Changhua’,丹馨玉兰 *Magnolia* ‘Danxin’,黄山木兰 *Magnolia cylindrica*等为试验材料,研究不同培养基组分、培养温度及时间对花粉萌发的影响。旨在筛选出各植物材料适宜的培养基及花粉萌发最佳条件,为木兰属植物的育种工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

望春玉兰、长花玉兰、丹馨玉兰、黄山木兰等4种木兰属植物均来自于浙江农林大学苗圃地,将所采集花药置于硫酸纸上,自然干燥24~36 h,待花药开裂后收集花粉,并放置于硅胶中干燥,-80℃条件下储藏备用。

1.2 试验设计

1.2.1 单因子试验 采用离体培养法。蔗糖质量浓度梯度为0,50,100,150,200 g·L⁻¹;硼酸质量浓度梯度为0,50,100,200,300 mg·L⁻¹;PEG-4000质量浓度梯度为0,150,200,250,300 g·L⁻¹。

1.2.2 正交试验 在单因子试验的基础上,选取对试验材料影响较大的培养基组分及质量浓度,进行L₃(3³)正交试验(表1),以得到最佳培养基组分。

1.2.3 最佳培养条件的确定 利用最佳培养基,把4种试验材料分别置于15,20,25,30,35℃下进行离体培养,培养12 h后,根据实验结果,确定最适萌发温度。在最适温度条件下,分别培养3,6,9,12,15 h,确定最佳培养条件。

1.3 试验方法

采用离体培养法,在双凹载玻片内滴入培养液,将充分混匀后的花粉均匀点入培养液中,将载玻片置于铺有湿润滤纸的培养皿内,25℃,8400 lx人工气候培养箱中培养12 h。在显微镜下观察统计,花粉管长度等于或超过花粉粒直径的花粉即视为已萌发。重复3次·处理⁻¹,观察视野3个·重复⁻¹,所统计的花粉粒不少于50粒·视野⁻¹。花粉萌发率=(萌发的花粉粒数/视野中花粉粒总数)×100%。

1.4 数据处理

使用Excel 2010对数据进行统计,利用SPSS 22.0对原始数据进行反正弦转换并进行单因素方差分析(Duncan's),各处理间差异显著性水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 不同培养基组分对4种木兰属植物花粉萌发的影响

2.1.1 蔗糖对花粉萌发的影响 试验结果表明:不同质量浓度蔗糖对4种木兰属植物花粉萌发率影响显著(图1A)。随着蔗糖质量浓度的增加,4种花粉萌发率均呈先增加后减小的变化趋势。不同植物最大萌发率及最适蔗糖质量浓度有所不同,望春玉兰花粉适宜的蔗糖质量浓度为50和100 g·L⁻¹,花粉萌发率分别为62.56%和68.87%,显著高于其他质量浓度处理下的萌发率(P<0.05);当蔗糖质量浓度超过100 g·L⁻¹时,望春玉兰花粉萌发率下降,但蔗糖溶液中花粉萌发率均高于对照。长花玉兰在100 g·L⁻¹的蔗糖溶液中,萌发率达最大,为18.02%,显著高于其他质量浓度处理(P<0.05);蔗糖质量浓度为

200 g·L⁻¹ 时, 花粉萌发率最低, 为 9.90%, 比对照低 1.92%。在各质量浓度蔗糖培养基上, 丹馨玉兰花粉萌发率均低于 10%, 蔗糖质量浓度为 0~100 g·L⁻¹ 时, 花粉萌发率差异不显著 ($P>0.05$); 而高质量浓度蔗糖溶液对丹馨玉兰花粉萌发起抑制作用, 150 和 200 g·L⁻¹ 蔗糖质量浓度下, 花粉萌发率显著低于对照, 分别降低了 3.47% 和 4.42%。黄山木兰花粉适宜的蔗糖质量浓度为 50~100 g·L⁻¹, 在此范围内花粉萌发率显著高于对照 ($P<0.05$), 在 200 g·L⁻¹ 蔗糖溶液中, 黄山木兰花粉萌发率最低, 为 2.46%, 低于对照 22.95%。

2.1.2 硼酸对花粉萌发的影响 硼酸对 4 种木兰属植物花粉萌发均有显著作用(图 1B)。其中, 望春玉兰花粉在 200 mg·L⁻¹ 硼酸的培养液中萌发率高达 79.63%, 显著高于其他质量浓度下花粉的萌发率 ($P<0.05$), 且比对照萌发率高 46.89%, 高质量浓度的硼酸培养液中花粉萌发率与对照无显著差异 ($P>0.05$)。在 0~200 mg·L⁻¹ 硼酸范围内, 长花玉兰花粉萌发率均随质量浓度的增加而上升, 其最适质量浓度为 200 mg·L⁻¹, 萌发率为 25.57%, 显著高于对照; 在 300 mg·L⁻¹ 硼酸条件下, 萌发率开始下降。丹馨玉兰花粉在各质量浓度硼酸条件下萌发率差异均不显著 ($P>0.05$), 当硼酸质量浓度为 50 和 100 mg·L⁻¹ 时, 花粉萌发率达最大, 分别为 13.22% 和 14.93%, 对照萌发率最低, 为 7.27%。黄山花粉萌发率随着硼酸质量浓度增大而增加, 在 100 mg·L⁻¹ 时, 其花粉萌发率达最大, 为 47.09%, 显著高于 200 mg·L⁻¹ 下的萌发率(28.47%), 与其他质量浓度培养液中的花粉萌发率差异不显著 ($P>0.05$)。

2.1.3 PEG-4000 对花粉萌发的影响 随着 PEG-4000 质量浓度的增加, 4 种木兰属植物花粉萌发率均呈先增加后减小的变化趋势(图 1C)。PEG-4000 的质量浓度为 200 和 250 g·L⁻¹ 时, 望春玉兰花粉萌发率达最大, 分别为 53.92% 和 51.21%, 显著高于其他质量浓度处理 ($P<0.05$)。长花玉兰花粉萌发的最适 PEG-4000 质量浓度为 150 g·L⁻¹, 之后随着 PEG-4000 质量浓度的增加, 花粉萌发率降低; 当质量浓度为 300 g·L⁻¹ 时, 花粉萌发率仅为 2.41%, 显著低于对照萌发率(13.60%)。可见高质量浓度的 PEG-4000 抑制长花玉兰花粉萌发。丹馨玉兰花粉在 PEG-4000 质量浓度为 150~250 g·L⁻¹ 时, 萌发率差异不显著 ($P>0.05$), 显著高于其他处理 ($P<0.05$); 质量浓度为 200 g·L⁻¹ 时萌发率最大, 为 17.29%; 300 g·L⁻¹ PEG-4000 抑制花粉萌发, 萌发率仅为 2.41%, 且低于对照(4.39%)。在 150 g·L⁻¹ PEG-4000 培养液中黄山木兰花粉萌发率达最大(42.39%), 显著高于其他质量浓度下花粉萌发率, 随着质量浓度增大, 萌发率呈逐渐递减趋势。

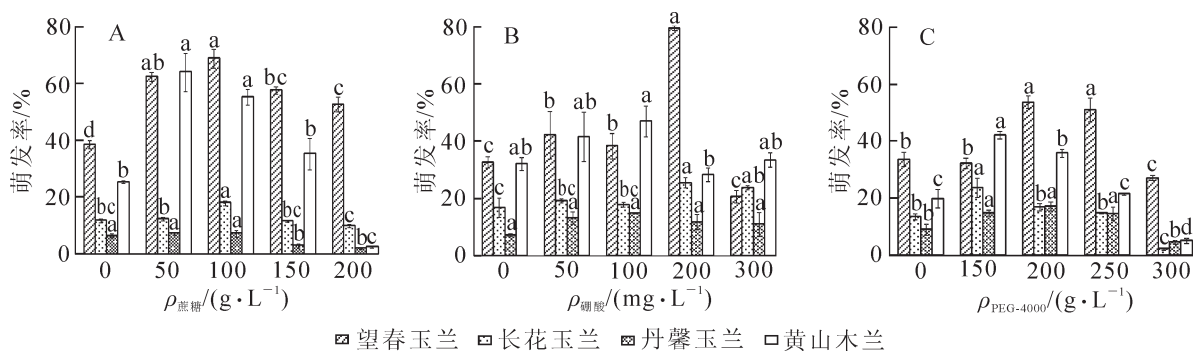


图 1 不同因素对 4 种木兰属植物花粉萌发率的影响

Figure 1 Effects of different factors on pollen germination rate of four *Magnolia* species

2.2 4 种木兰属植物花粉最佳萌发培养基的选择

在单因子试验的基础上, 进行 $L_9(3^3)$ 正交试验, 寻找最佳培养基组合。试验结果表明(表 1): 4 种木兰属植物花粉萌发对液体培养基组分的质量浓度存在差异, 这可能因不同基因型花粉自身的萌发特性而异。望春玉兰在 50 g·L⁻¹ 蔗糖+50 mg·L⁻¹ 硼酸+200 g·L⁻¹ PEG-4000 培养基下萌发率高于其他培养基, 高达 69.23%, 极差分析表明各因素对其花粉萌发率的影响依次为: 硼酸>蔗糖>PEG-4000。长花玉兰在 100 g·L⁻¹ 蔗糖+200 mg·L⁻¹ 硼酸+200 g·L⁻¹ PEG-4000 培养基下萌发率最高, 为 51.47%, 极差分析显示对其花粉萌发率的影响因素依次为: 蔗糖>PEG-4000>硼酸。丹馨玉兰在 100 g·L⁻¹ 蔗糖+100 mg·L⁻¹ 硼酸+150 g·L⁻¹ PEG-4000 培养基下萌发率最高, 为 29.79%, 极差分析显示对其花粉萌发率的影响因素依次为: 蔗糖>硼酸>PEG-4000。黄山木兰在 50 g·L⁻¹ 蔗糖+100 mg·L⁻¹ 硼酸+250 g·L⁻¹ PEG-4000 培养

基下萌发率最高,为69.54%,极差分析表明各因素对其花粉萌发率的影响依次为蔗糖>硼酸>PEG-4000。

表1 4种木兰属植物花粉正交试验的萌发率

Table 1 Pollen germination rate of four *Magnolia* species in orthogonal design experiment

编号	$\rho_{\text{蔗糖}}/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho_{\text{硼酸}}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho_{\text{PEG-4000}}/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	花粉萌发率/%			
				望春玉兰	长花玉兰	丹馨玉兰	黄山木兰
1	0	50	150	61.16 ± 4.05 abc	29.55 ± 3.89 bcd	12.24 ± 0.93 de	29.20 ± 4.73 c
2	0	100	200	58.34 ± 1.69 abc	20.74 ± 0.52 cd	11.95 ± 1.92 e	30.43 ± 2.14 c
3	0	200	250	54.95 ± 4.84 bc	18.78 ± 2.55 d	19.26 ± 2.83 bcd	18.36 ± 1.19 c
4	50	50	200	69.23 ± 5.48 a	35.85 ± 6.55 bc	21.09 ± 1.80 bc	50.02 ± 2.75 b
5	50	100	250	58.68 ± 1.38 abc	31.79 ± 3.63 bcd	16.50 ± 2.45 cde	69.54 ± 5.06 a
6	50	200	150	65.37 ± 0.62 abc	29.43 ± 4.89 bcd	18.12 ± 0.75 cde	64.64 ± 5.92 ab
7	100	50	250	68.50 ± 8.40 ab	37.66 ± 6.81 ab	25.58 ± 3.46 ab	56.37 ± 4.11 ab
8	100	100	150	52.86 ± 2.35 c	34.73 ± 6.68 bcd	29.79 ± 0.99 a	51.76 ± 9.96 b
9	100	200	200	65.86 ± 0.83 abc	51.47 ± 4.27 a	28.56 ± 2.80 a	50.85 ± 2.09 b
R (望春玉兰)	6.28	9.67	4.68				
R (长花玉兰)	18.27	1.13	6.61				
R (丹馨玉兰)	13.50	2.57	0.09				
R (黄山木兰)	35.40	5.96	4.77				

说明:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.3 4种木兰属植物花粉萌发最适条件

2.3.1 最适培养温度 不同温度对望春玉兰、长花玉兰、丹馨玉兰及黄山木兰花粉萌发率均有一定的影响(图3A)。15~25℃内,随着温度的升高,萌发率随之增加,25℃时各植物花粉萌发率显著高于其他温度处理萌发率($P<0.05$),依次为75.85%,31.85%,18.94%,61.14%;在25~35℃内,随着温度的上升,萌发率受到抑制,即温度过高或过低均不适合4种花粉萌发。由此可见:虽然4种不同遗传背景的花粉萌发率有较大差异,但其最适萌发温度相同。

2.3.2 最适培养时间 由试验结果可知(图3B):培养3h时,4种木兰属植物花粉均已萌发,6~9h萌发率迅速上升,12~15h萌发率趋于稳定。其中培养9h时,望春玉兰和黄山木兰花粉萌发率达到最大,分别为71.19%和59.82%,而长花玉兰和丹馨玉兰花粉萌发率在培养12h时达到最大,分别为44.50%,23.43%。4种植物花粉虽最适培养时间有所不同,但其萌发趋势几乎一致。



图2 不同培养条件下4种木兰属植物花粉萌发率的变化

Figure 2 Changes of different culture conditions on pollen germination rate of four *Magnolia* species

3 结论与讨论

蔗糖和硼酸是组成花粉离体培养基的基本成分,蔗糖为花粉代谢、跨膜运输等过程提供必要的能量,同时也是维持花粉内环境稳定的渗透调节物质^[12]。本研究结果表明,蔗糖对4种木兰属植物花粉萌发的影响水平不同,蔗糖在长花玉兰、丹馨玉兰及黄山木兰花粉萌发中具有主导作用,但对望春玉兰花粉萌发率影响水平次于硼酸,这可能与不同植物生物学特性相关。4种木兰属植物花粉萌发最适蔗糖质

量浓度(50~100 g·L⁻¹)与二乔玉兰^[8], 天女木兰^[9]结果相符。

硼元素在植物体内作为微量营养生长调节剂, 以花器官内含量居多, 且主要分布于柱头及子房, 硼对糖分的吸收具有促进作用, 参与果胶物质的合成, 且促进花粉管壁的形成, 从而加快花粉萌发生长^[13]。本研究中, 4种木兰属植物所需最适硼酸质量浓度不同, 但在含有硼酸的培养基中花粉萌发率均高于对照, 即花粉萌发需要硼元素的参与。正交试验结果表明: 望春玉兰花粉萌发所需硼酸质量浓度低于其他3种花粉, 可能由于蔗糖和PEG-4000的添加, 望春玉兰花粉对硼酸的需求量减少。长花玉兰在200 mg·L⁻¹硼酸溶液中萌发率达最大, 与景宁木兰研究结果相同^[11]; 丹馨玉兰、黄山木兰均在100 mg·L⁻¹硼酸溶液中萌发率达最大, 与二乔玉兰、天女木兰结果一致^[8-9]。由此可知: 100~200 mg·L⁻¹硼酸可促进木兰属植物花粉萌发生长。

PEG-4000作为高分子渗透剂, 在花粉萌发过程中, 通常改变花粉内膜结构, 提高内膜通透性, 从而促进花粉粒萌发^[14]。单因素试验表明: 4种木兰属植物最适PEG-4000质量浓度为150~250 g·L⁻¹, 对蜡梅 *Chimonanthus praecox*^[15]的研究发现, 低质量浓度PEG-4000对花粉离体萌发作用不显著, 而高浓度下, 花粉萌发率显著受到抑制, 本研究结果与此相一致。正交试验结果表明: PEG-4000在4种花粉萌发中均不是主导因子, 而若蜡梅花粉离体培养基内不含PEG-4000, 其花粉不萌发^[15], 可能由于不同科植物花粉萌发过程中所需营养不同。PEG-4000是首次应用于木兰属植物花粉离体萌发, 对同属其他植物花粉萌发有待进一步研究。

多数花粉萌发的最适温度为25℃^[16], 本研究结果与此相同。也有研究发现^[17]: 由于植物分布区不同, 其花粉萌发对温度的响应有所差异。望春玉兰和黄山木兰花粉在培养9h时萌发率达最大, 而长花玉兰和丹馨玉兰花粉最佳培养时间为12h, 在各自最适培养时间下, 对花粉其进行观察, 花粉管互不交错, 清晰, 便于统计。

4 参考文献

- [1] 王子华, 潘玉霞, 李庆有, 等. 木兰属植物育种研究进展[J]. 河北科技师范学院学报, 2011, **25**(4): 40 - 44. WANG Zihua, PAN Yuxia, LI Qingyou, et al. Research progress in breeding of *Magnolia* genus plant [J]. *J Hebei Norm Univ Sci Technol*, 2011, **25**(4): 40 - 44.
- [2] 王亚玲, 李勇, 张寿洲, 等. 木兰科植物的人工杂交[J]. 武汉植物学研究, 2003, **21**(6): 508 - 514. WANG Yaling, LI Yong, ZHANG Shouzhou, et al. The crossing result of Magnoliaceae [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2003, **21**(6): 508 - 514.
- [3] 张超仪, 耿兴敏. 6种杜鹃花属植物花粉活力测定方法的比较研究[J]. 植物科学学报, 2012, **30**(1): 92 - 99. ZHANG Chaoyi, GENG Xingmin. Comparative study on methods for testing pollen viability of the six species from genus *Rhododendron* [J]. *Plant Sci J*, 2012, **30**(1): 92 - 99.
- [4] 胡春, 刘左军, 李富香, 等. 钝裂银莲花花粉活力测定方法的研究[J]. 植物研究, 2013, **33**(5): 582 - 586. HU Chun, LIU Zuojun, LI Fuxiang, et al. Detection methods for pollen viability of *Anemone obtusiloba* [J]. *Bull Bot Res*, 2013, **33**(5): 582 - 586.
- [5] 苏芸芸, 王康才, 薛启. 不同产地藿香花粉活力与柱头可授性研究[J]. 草业学报, 2016, **25**(9): 189 - 196. SU Yunyun, WANG Kangcai, XUE Qi. Study of the pollen viability and stigma receptivity of *Agastache rugosa* from different areas [J]. *Acta Pratac Sin*, 2016, **25**(9): 189 - 196.
- [6] 李梅, 周兰英. 云南松花粉储藏温度及离体萌发条件[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(1): 63 - 67. LI Mei, ZHOU Lanying. Storage temperature and pollen viability of *Pinus yunnanensis* [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(1): 63 - 67.
- [7] 管雨, 贾文庆, 刘会超, 等. 木瓜花粉生活力测定及储藏特性[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(5): 790 - 794. GUAN Yu, JIA Wenqing, LIU Huichao, et al. Pollen viability and storage of *Chaenomeles sinensis* [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2012, **29**(5): 790 - 794.
- [8] 张亚利, 田振坤, 刘燕. 二乔玉兰花粉贮存条件的比较研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2006, **14**(4): 318 - 320. ZHANG Yali, TIAN Zhenkun, LIU Yan. Preservation methods of pollen of *Magnolia soulangeana* Soul.-Bod. [J]. *J*

- Trop Subtrop Bot*, 2006, **14**(4): 318 – 320.
- [9] 王子华, 张凤娟, 秦素平, 等. 天女木兰花粉形态特征及其生活力[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, **16**(6): 551 – 556.
WANG Zihua, ZHANG Fengjuan, QIN Suping, *et al.* Pollen morphology and viability of *Magnolia sieboldii* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2008, **16**(6): 551 – 556.
- [10] 刘会超, 贾文庆, 郭艳艳. 紫玉兰花粉的生活力测定及贮藏方法[J]. 贵州农业科学, 2011, **39**(7): 188 – 191.
LIU Huichao, JIA Wenqing, GUO Yanyan. The determination of *Magnolia liliiflora* pollen viability and its storage method [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2011, **39**(7): 188 – 191.
- [11] 卢璐, 余泽智, 刘雪燕, 等. 景宁木兰花粉萌发与贮藏特性研究[J]. 植物研究, 2014, **34**(2): 182 – 187.
LU Lu, YU Zezhi, LIU Xueyan, *et al.* Pollen germination and storage of *Magnolia sinostellata* [J]. *Bull Bot Res*, 2014, **34**(2): 182 – 187.
- [12] 叶要妹, 张佳祺, 张双凤, 等. 百日草自交系花粉萌发条件及花粉活力研究[J]. 华中农业大学学报, 2007, **26**(5): 693 – 696.
YE Yaomei, ZHANG Jiaqi, ZHANG Shuangfeng, *et al.* In vitro pollen germination of inbred lines of *Zinnia elegans* Jacq. [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2007, **26**(5): 693 – 696.
- [13] 胡珂雪, 张晓曼, 郑云凤. 四季报春花花粉萌发特性研究[J]. 西北林学院学报, 2017, **32**(2): 170 – 173.
HU Kexue, ZHANG Xiaoman, ZHENG Yunfeng. Characteristics of pollen germination of *Primula obconica* [J]. *J Northwest For Univ*, 2017, **32**(2): 170 – 173.
- [14] 赵宏波, 房伟民, 陈发棣. 梅花花粉离体萌发和花粉管生长研究[J]. 广西植物, 2007, **27**(3): 393 – 396.
ZHAO Hongbo, FANG Weimin, CHEN Fadi. Pollen germination in vitro of Mei flower [J]. *Guihaia*, 2007, **27**(3): 393 – 396.
- [15] 龚双姣, 马陶武, 刘强. 培养基组分及培养条件对蜡梅花粉萌发及花粉管生长的影响[J]. 西北植物学报, 2012, **32**(6): 1254 – 1260.
GONG Shuangjiao, MA Taowu, LIU Qiang. Effects of culture medium composition and culture conditions on pollen germination and pollen tube growth of *Chimonanthus praecox* [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2012, **32**(6): 1254 – 1260.
- [16] 彭向永, 刘俊祥, 李振坚, 等. 蒿柳花粉离体萌发及花粉管生长特性[J]. 北京林业大学学报, 2017, **39**(3): 81 – 86.
PENG Xiangyong, LIU Junxiang, LI Zhenjian, *et al.* Characteristics of pollen germination and pollen tube growth in *Salix viminalis* in vitro [J]. *J Beijing For Univ*, 2017, **39**(3): 81 – 86.
- [17] 郭磊, 张斌斌, 马瑞娟, 等. 温度对桃离体花药散粉及花粉萌发的影响[J]. 植物生理学报, 2014, **50**(3): 269 – 274.
GUO Lei, ZHANG Binbin, MA Ruijuan, *et al.* Effects of temperature on the pollen dissemination and germination of peach [J]. *Plant Physiol J*, 2014, **50**(3): 269 – 274.