

黄薇花粉活力及柱头可授性

罗卿清, 郑钢, 顾翠花, 顾帆, 陈凯, 郑绍宇

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

摘要:【目的】研究不同条件下, 黄薇 *Heimia myrtifolia* 的花粉萌发及花粉管生长情况。【方法】以黄薇为材料, 采用花粉离体萌发法研究不同温度、蔗糖质量浓度和硼酸质量浓度对黄薇花粉萌发及花粉管生长的影响; 用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性, 研究不同质量浓度萘乙酸、赤霉素、6-苄基腺嘌呤对黄薇柱头可授性的影响, 并对黄薇花粉与柱头进行电镜扫描观察。【结果】①不同温度、蔗糖质量浓度、硼酸质量浓度对黄薇花粉的萌发生长影响差异明显, 培养黄薇花粉适宜温度为 35 ℃, 蔗糖适宜质量浓度为 50.0~150.0 g·L⁻¹, 硼酸适宜质量浓度为 0.5~1.0 g·L⁻¹; ②黄薇柱头可授性受时间影响, 在开花 6~8 h 柱头可授性最强; ③不同植物生长调节剂对黄薇柱头可授性影响差异明显, 提高黄薇柱头可授性最适质量浓度为萘乙酸 10.0 mg·L⁻¹、赤霉素 200.0~400.0 mg·L⁻¹、6-苄基腺嘌呤 20.0 mg·L⁻¹; ④黄薇柱头直径为 425.78~546.93 μm, 花粉极轴长为 23.15~26.74 μm, 赤道轴长为 18.02~20.03 μm, 属小型花粉。【结论】黄薇人工授粉的最佳时期在开花后 6~8 h, 结合一定质量浓度的植物生长调节剂, 可以有效提高结实率。图 3 表 3 参 18

关键词:园艺学; 黄薇; 花粉活力; 花粉管生长; 柱头可授性

中图分类号: Q944.44; S685.99 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2020)01-0182-06

Pollen viability and stigma receptivity of *Heimia myrtifolia*

LUO Qingqing, ZHENG Gang, GU Cuihua, GU Fan, CHEN Kai, ZHENG Shaoyu

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

Abstract: [Objective]To determine the effects of different temperatures, sucrose concentrations, and boric acid concentrations on pollen germination and pollen tube growth of *Heimia myrtifolia*, and study the effects of different concentrations of naphthalacetic acid(NAA), gibberellin (GA₃), and 6-benzyladenine (6-BA) on stigma receptivity of *H. myrtifolia*. [Method]In vitro pollen germination, the agar medium germination and benzidine-hydrogen peroxide methods were used. The stigma and pollen were observed under a scanning electron microscope. [Result]The effects of different temperatures, sucrose concentrations, and boric acid concentrations on pollen germination and on pollen tube growth were significantly different ($P<0.05$). Suitable concentrations of boric acid and sucrose on pollen germination ranged from 0.05% to 0.10% and on pollen tube growth ranged from 5% to 15%. The suitable storage temperature was 35 ℃. The stigma of *H. myrtifolia* had different receptivity during the blooming period with the highest receptivity 6–8 hours after blooming. The effects of the hormone with different concentrations of NAA, GA₃, and 6-BA on pollen viability and growth of *H. myrtifolia* were significantly different ($P<0.05$) with the optimum concentrations being 10.0 mg·L⁻¹ NAA, 200.0–400.0 mg·L⁻¹ GA₃, and 20.0 mg·L⁻¹ 6-BA. Stigma diameter of *H. myrtifolia* pollen ranged from 425.78 μm to 546.93 μm. Scanning electron microscopy of the *H. myrtifolia* pollen showed that the polar axis length ranged from 23.15 μm to 26.74 μm, and the equatorial axis length ranged from 18.02 μm to 20.03 μm qualifying it as a small-sized pollen. [Conclusion]The optimum time for artificial pollination of *H. myrtifolia* was 6–8 hours after anthesis,

收稿日期: 2018-12-11; 修回日期: 2019-05-09

基金项目: 浙江省新苗人才计划项目(2018R412014)

作者简介: 罗卿清, 从事园林植物育种研究。E-mail: luoqingqing1998@163.com。通信作者: 郑钢, 实验师, 从事园林植物种质创新、遗传育种研究。E-mail: 305788868@qq.com

and hormone stimulation of a specific concentration could effectively improve the seed setting rate. [Ch, 3 fig. 3 tab. 18 ref.]

Key words: horticulture; *Heimia myrtifolia*; pollen viability; pollen tube growth; stigma receptivity

从有性生殖角度来看, 植物的生物学特性与传粉条件相适应; 而有效的传粉是以鲜花粉的活力、可靠的传播媒介和可授期的花朵柱头为前提的^[1]。花粉持续活力的时间与柱头可授期共同对植物的传粉受精和植株发育起重要作用, 特别在异花授粉和远缘杂交方面的影响程度更高^[2], 了解花粉培养、储藏及活力测定的方法是提高植物杂交育种效率的前提条件^[3]。黄薇 *Heimia myrtifolia* 为千屈菜科 Lythraceae 黄薇属 *Heimia* 灌木, 原产南美洲和非洲的热带、亚热带地区, 人类的迁移致使南亚、东亚地区有零星分布, 在中国上海、广西、浙江等地均有引种, 用于园林观赏及河道美化等方面。对黄薇的研究主要集中在生物应用方面^[4-5], 目前未见黄薇在杂交育种方面的报道。本研究采用花粉离体萌发法研究不同温度、蔗糖质量浓度和硼酸(H_3BO_4)质量浓度对黄薇花粉萌发及花粉管生长的影响; 用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性, 研究不同质量浓度萘乙酸(NAA)、赤霉素(GA₃)、6-苄基腺嘌呤(6-BA)对黄薇柱头可授性的影响, 并对黄薇花粉与柱头进行电镜扫描观察, 为黄薇杂交育种亲本选配提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黄薇花单生叶腋, 花瓣 5~6, 倒广卵形, 长 3~4 mm, 金黄色; 花萼钟形, 裂片间有角状附属物; 花、果期 7 月^[6]。于 2014 年 8 月由杭州植物园引进, 经过扦插繁殖成批量小苗种植于浙江农林大学东湖校区平山植物苗圃。植株生长良好, 可正常开花结实。试验分别在 2015 年 7 月 10~25 日, 2016 年 7 月 12 日至 8 月 25 日进行。

1.2 方法

1.2.1 花粉采集 在 7:00~8:00 采集黄薇未散粉的花药置于干燥箱内干燥 2 h, 常温下自然散粉后过 80 目分子筛收集花粉。

1.2.2 花粉萌发培养基配制及培养 采用琼脂培养基萌发法检测花粉萌发率, 培养基于 121 °C 高温灭菌 20 min, 冷却至常温后备用。硼酸(H_3BO_4)处理: 以 100.0 g·L⁻¹ 蔗糖, 8.0 g·L⁻¹ 琼脂为基本培养基, 分别添加 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 g·L⁻¹ 的硼酸, 在 30 °C 下进行培养; 蔗糖处理: 以 1.0 g·L⁻¹ 的硼酸, 8.0 g·L⁻¹ 琼脂为基本培养基, 分别添加 0、50.0、100.0、150.0、200.0、250.0 g·L⁻¹ 的蔗糖, 30 °C 下培养; 温度处理: 培养基为 150.0 g·L⁻¹ 蔗糖 + 20.0 mg·L⁻¹ H_3BO_4 + 20.0 mg·L⁻¹ $CaCl_2$ + 100.0 g·L⁻¹ PEG 4000, 设置 10、15、20、25、30、35、40 °C 共 7 个温度梯度, 3 种处理均将培养基滴加在凹形载玻片上, 采集的花粉用毛笔均匀撒在培养基上, 放置于铺有湿润滤纸的培养皿中, 盖上保鲜膜, 置于光照培养箱内, 光照强度 2 000 lx, 培养 6 h。

1.2.3 柱头采集及处理 柱头采集和处理参考 KHO 等^[7]的方法, 提前选取即将开放、松蕾情况相同、长势良好的花朵, 标记挂牌, 次日清晨 6:00 摘取黄薇鲜花, 用镊子去除花瓣和雄蕊, 取出柱头, 分别装入含 6-BA、GA₃、NAA 等 3 种植物生长调节剂溶液的 5 mL 离心管中。6-BA 的质量浓度设为 1.0、5.0、10.0、15.0、20.0 mg·L⁻¹; GA₃ 的质量浓度设为 100.0、200.0、400.0、600.0 mg·L⁻¹, NAA 的质量浓度设为 1.0、5.0、10.0、15.0、20.0 mg·L⁻¹, 以蒸馏水浸泡为参照, 4 °C 保存 12 h 后, 柱头在 4.0 mol·L⁻¹ 氢氧化钠(NaOH)溶液中常温处理 6 h, 经蒸馏水洗净后用质量浓度为 0.1% 水溶性苯胺蓝染色 1 h。摘取开花 1、2、4、6、8、12、24 h 的黄薇花朵, 用镊子取出柱头, 用福尔马林-乙醇-醋酸混合固定液(FAA)固定 24 h, 其余染色步骤如上。

1.2.4 花粉萌发和柱头可授性检测 花粉萌发后在 ZEISS Imager A2 荧光显微镜下观察花粉萌发状况, 观察不同视角花粉个数大于 50, 重复 5 次, 拍照并记录, 花粉萌发率=(萌发花粉/花粉总数)×100%。用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性^[8]。将处理后的柱头放入 4.0 mol·L⁻¹NaOH 溶液中常温处理 6 h, 浸入盛有联苯胺-过氧化氢反应液(1% 联苯胺:3% 过氧化氢:水为 4:11:22, 体积比)染色 1 h, 随后取出并移置载玻片上, 滴加体积分数为 50% 中性甘油, 盖片压片, 用 ZEISS Imager A2 荧光显微镜进行观察^[9];

反应液呈蓝色并伴有少量的气泡，表明柱头具有可授性；反应液无变化，则柱头无可授性^[10]。每处理重复5次，并拍照。

1.2.5 花粉和柱头的扫描电镜观察 黄薇花粉和柱头经过硅胶干燥，雌蕊经 FAA 固定 24 h 以上，乙醇溶液梯度脱水。临界点干燥后，固定于样品台上，离子溅射仪镀金，在 S-3700N Hitachi 扫描电镜下观察拍照。选取 5 个花粉或柱头，重复 3 次。利用 Image-Pro plus 6.0, Photoshop CS6, SPSS 19.0 分析处理图像及数据。

2 结果与分析

2.1 黄薇花粉萌发率观察

2.1.1 温度对黄薇花粉萌发的影响 由表 1 可见：花粉萌发率及花粉管长度在 10~15 ℃呈上升趋势，15~35 ℃时花粉萌发率达 25%~30%，花粉管长度处于上升趋势，在 30~35 ℃时花粉萌发率和花粉管长度达最高值。温度为 40 ℃时花粉萌发率和花粉管长度显著下降，且花粉萌发率降至最低，干瘪花粉粒数量增多，花粉粒脱水严重。可见，温度对黄薇花粉萌发率影响较为显著，适宜的温度为 35 ℃。

2.1.2 硼酸质量浓度对黄薇花粉萌发的影响 由表 2 可见：硼酸质量浓度对黄薇花粉萌发率与花粉管生长影响差异显著。硼酸质量浓度为 0~0.5 g·L⁻¹ 时，花粉萌发率和花粉管生长随着硼酸质量浓度提高而呈上升趋势，花粉萌发率在 0.5 g·L⁻¹ 时达最高值为 39.60%，相较对照 (24.20%) 高出 15.40%；硼酸质量浓度为 0.5~2.5 g·L⁻¹ 时，花粉萌发率和花粉管生长，随着硼酸质量浓度提高呈下降趋势，高于 1.0 g·L⁻¹ 时，对黄薇花粉萌发和花粉管生长具有明显抑制作用，2.5 g·L⁻¹ 时，花粉萌发率与花粉管长度均降至最低，花粉萌发率比对照降低了 13.80%，花粉管长度相比对照减少了 102.67 μm。因此，当硼酸质量浓度为 0.5~1.0 g·L⁻¹ 时，对黄薇花粉萌发和花粉管生长具有明显促进作用。

2.1.3 蔗糖质量浓度对黄薇花粉萌发的影响 由表 3 可见：不同质量浓度蔗糖对黄薇花粉萌发与花粉管生长的影响差异显著。蔗糖质量浓度为 50.0 g·L⁻¹ 时，花粉萌发率和花粉管长达最大值，花粉萌发率相比对照高出 40.60%，花粉管长度相比对照长 308.86 μm。黄薇花粉萌发及生长随着蔗糖质量浓度上升呈下降趋势，在 250.0 g·L⁻¹ 降至最低，花粉萌发率比对照低 0.40%，花粉管长仅为 5.38 μm。因此，有效促进黄薇花粉萌发及花粉管生长的蔗糖质量浓度为 50.0~150.0 g·L⁻¹，最佳蔗糖质量浓度为 50.0 g·L⁻¹。

2.2 柱头与花粉的扫描电镜观察

由图 1 可见：柱头平面为椭圆形，中部明显凹陷，辐射对称，表面密布不规则突起，柱头直径为 425.78~546.93 μm，表面突起高度为 24.42~29.13 μm；花粉以多粒形式存在，赤道面观为椭圆形，两端钝尖，近极面和

表 1 温度对黄薇花粉萌发和花粉管生长的影响

Table 1 Effect of temperature on pollen germination and pollen tube growth of *H. myrtifolia*

温度/℃	花粉萌发率/%	花粉管长度/μm
10	16.60 ± 3.57 bc	74.13 ± 5.01 e
15	25.80 ± 5.76 b	123.27 ± 6.77 d
20	29.40 ± 2.30 a	152.33 ± 3.22 cd
25	28.20 ± 4.55 a	167.75 ± 5.93 bc
30	29.60 ± 6.43 a	199.58 ± 7.94 b
35	29.80 ± 3.03 a	245.73 ± 18.19 a
40	10.40 ± 2.70 c	144.07 ± 6.24 cd

说明：数据均为平均值±标准误；同列不同字母表示 0.05 水平差异显著

表 2 硼酸对黄薇花粉萌发和花粉管生长的影响

Table 2 Effect of boric acid on pollen germination and pollen tube growth of *H. myrtifolia*

硼酸浓度/(g·L ⁻¹)	花粉萌发率/%	花粉管长度/μm
0(ck)	24.20 ± 2.71 b	132.08 ± 10.38 bc
0.5	39.60 ± 3.64 a	281.44 ± 8.93 a
1.0	27.00 ± 2.47 b	170.20 ± 21.48 b
1.5	19.80 ± 1.07 bc	105.45 ± 14.06 cd
2.0	10.60 ± 1.43 c	64.65 ± 8.74 de
2.5	10.40 ± 2.20 c	29.41 ± 1.14 e

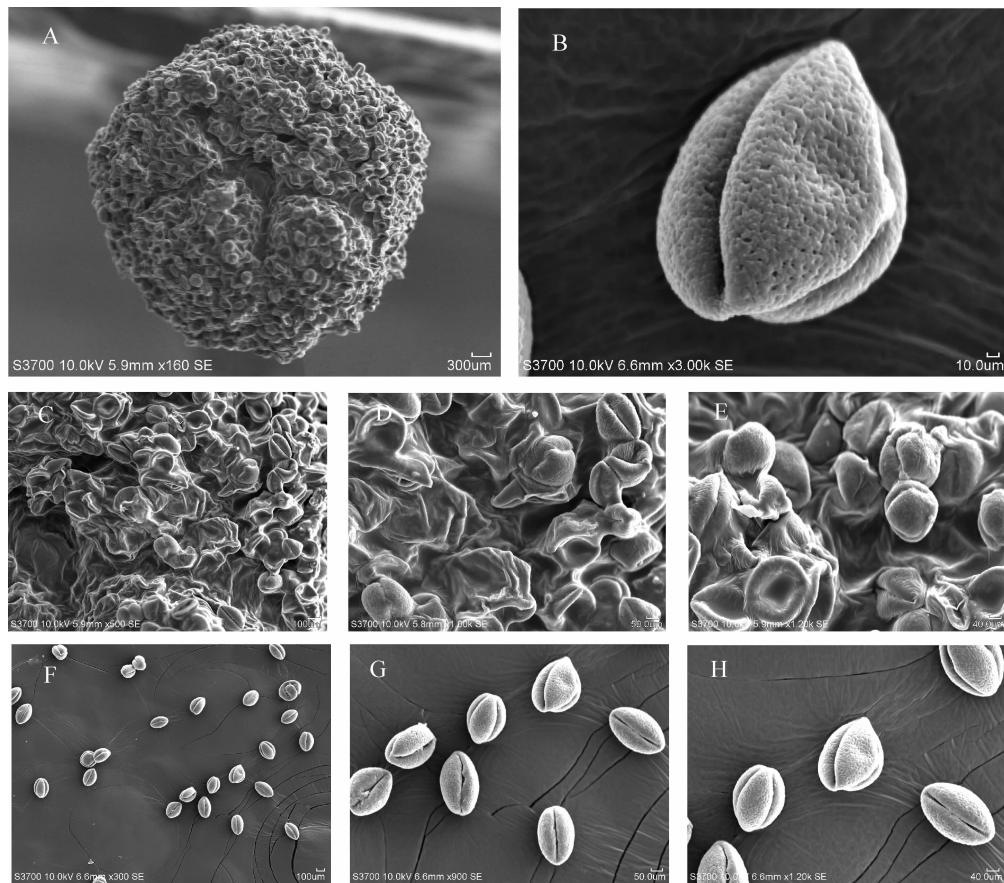
说明：数据均为平均值±标准误；同列不同字母表示 0.05 水平差异显著

表 3 蔗糖对黄薇花粉萌发和花粉管生长的影响

Table 3 Effect of sucrose on pollen germination and pollen tube growth of *H. myrtifolia*

蔗糖质量浓度/(g·L ⁻¹)	花粉萌发率/%	花粉管长度/μm
0(ck)	1.60 ± 0.51 b	22.34 ± 7.35 d
50.0	42.20 ± 2.75 a	331.20 ± 18.60 a
100.0	27.65 ± 7.81 a	217.17 ± 22.92 b
150.0	29.00 ± 4.44 a	86.47 ± 2.76 c
200.0	9.60 ± 2.40 b	33.98 ± 1.06 d
250.0	1.20 ± 1.20 b	5.38 ± 5.38 d

说明：数据均为平均值±标准误；同列不同字母表示 0.05 水平差异显著



A. 柱头; B. 花粉粒赤道面观; C. 柱头中心区域; D. 柱头表面突起; E. 柱头表面凹陷; F~H. 花粉群形态

图 1 柱头与花粉扫描电镜观察

Figure 1 Scanning electron microscopic observation of stigma and pollen

远极面相同, 三裂圆形, 花粉表面平滑, 密布细孔, 极轴长为 23.15~26.74 μm , 赤道轴长为 18.02~20.03 μm , 花粉较小。

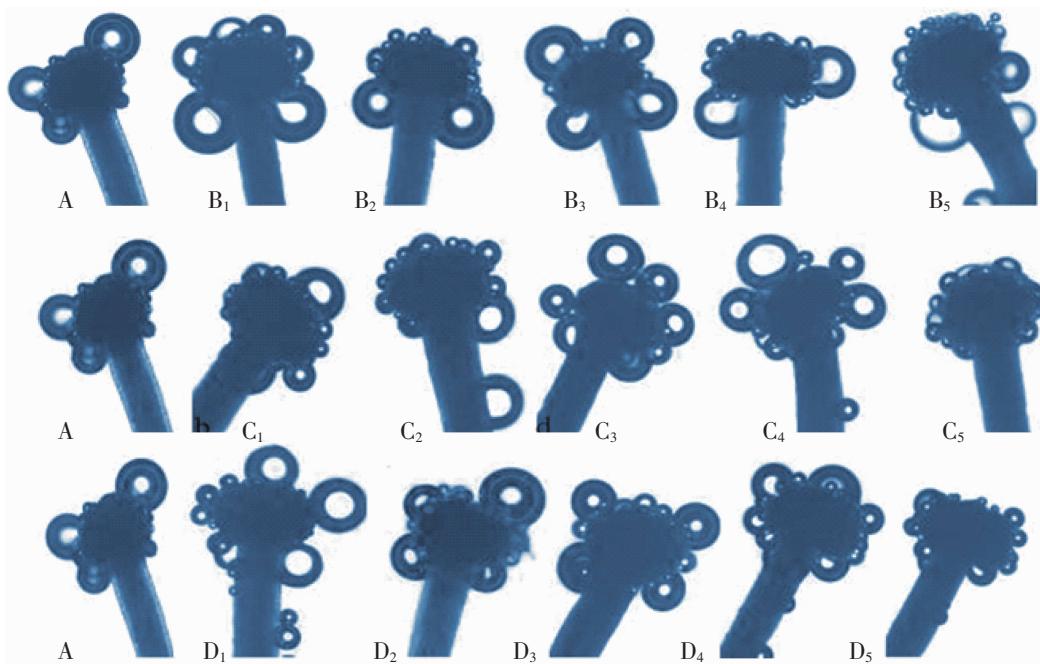
2.3 柱头荧光显微镜观察

2.3.1 植物生长调节剂对黄薇柱头可授性的影响 由图 2 显示: 对照柱头气泡明显低于 6-BA 浸泡处理后的柱头; 不同质量浓度 6-BA 浸泡 12 h 后, 柱头周边气泡数量增多, 当 6-BA 质量浓度为 20.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 柱头气泡数量明显增多, 此时柱头的可授性最好。100.0~400.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ GA₃ 处理的柱头相较于对照气泡增多, 柱头可授性明显提高; 当质量浓度达到 600.0~800.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 柱头气泡减少, 甚至停止反应, 气泡消失。200.0~400.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ GA₃ 利于增强柱头的可授性。NAA 浸泡处理后的柱头气泡数随着质量浓度增加呈现先升后降的趋势, NAA 质量浓度为 1.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时柱头反应最为剧烈, 气泡最多; 1.0~10.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内, 柱头可授性增强; 当 NAA 质量浓度大于 10.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时柱头反应减弱, 可授性降低, 20.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 柱头反应较低。

2.3.2 自然条件下黄薇柱头可授性的动态变化 由图 3 可见: 在自然条件下, 黄薇在 6:00 左右花瓣展开, 柱头已经直立且伸出, 顶端呈嫩绿色; 11:00~12:30 柱头开始产生黏液, 开花 6 h 时柱头上已粘染大量花粉; 开花 24 h 时柱头弯曲变褐色, 柱头黏性消失; 开花 48 h 时柱头彻底萎蔫, 花瓣干枯掉落。开花 1~8 h 柱头可授性逐渐增强, 在开花 6~8 h 时柱头可授性达到最强, 随后下降, 开花 24 h 的柱头基本不产生气泡。

3 讨论与结论

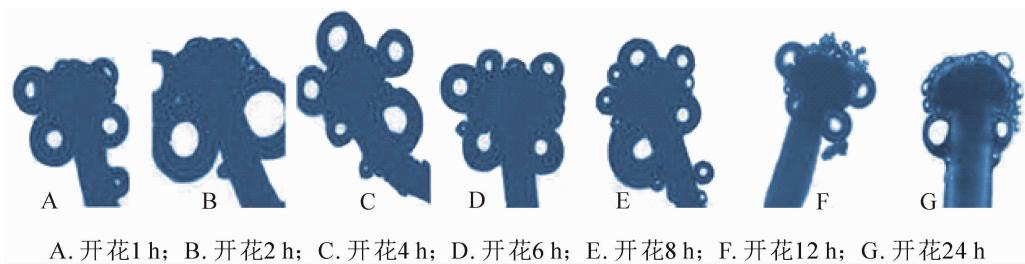
花粉保持活力时间的长短, 同时受到遗传基因和环境因素的影响^[11], 温度过高或过低, 均会对花粉萌发生长产生影响。本研究表明: 黄薇花粉在 15~35 °C 条件下, 花粉萌发及生长良好, 10 与 40 °C 时花



A. ck; B₁~B₅ 分别表示 1.0、5.0、10.0、15.0、20.0 mg·L⁻¹6-BA; C₁~C₅ 分别表示 100.0、200.0、400.0、600.0、800.0 mg·L⁻¹GA₃; D₁~D₅ 分别表示 1.0、5.0、10.0、15.0、20.0 mg·L⁻¹NAA

图 2 植物生长调节剂不同质量浓度对黄薇柱头可授性的影响

Figure 2 Effects of plant growth regulators and concentrations on stigma receptivity of *H. myrtifolia*



A. 开花1 h; B. 开花2 h; C. 开花4 h; D. 开花6 h; E. 开花8 h; F. 开花12 h; G. 开花24 h

图 3 不同时段黄薇柱头可授性

Figure 3 Stigma receptivity of *H. myrtifolia* at different periods

粉萌发及生长受到抑制, 这与桃 *Prunus persica*^[12] 和玉米 *Zea mays*^[13] 中观察到的现象一致。多重因素对花粉的离体萌发产生影响, 其中蔗糖和硼酸是花粉萌发的重要因素。本研究表明: 促进黄薇花粉萌发生长硼酸适宜质量浓度为 0.5~1.0 mg·L⁻¹, 蔗糖适宜质量浓度为 50.0~150.0 mg·L⁻¹, 这与四季报春 *Primula obconica* 花粉一致^[14]。柱头可授期是植物花正常成熟的重要时期, 对花传粉率及受精过程起着重要的作用^[15~16], 不同植物的柱头可授期长短差异较大, 即使种内不同品种的植物柱头可授期也有较大差异。通过外源植物生长调节剂可有效提高柱头可授性或促进柱头增长。本研究表明: 黄薇柱头在开花 48 h 时柱头彻底萎蔫, 花瓣干枯掉落, 失去可授性。通过 6-BA、GA₃ 和 NAA 等 3 种植物生长调节剂处理能够有效提高黄薇柱头可授性, 20.0 mg·L⁻¹6-BA, 200.0~400.0 mg·L⁻¹GA₃ 及 10.0 mg·L⁻¹NAA 处理都可显著提高黄薇柱头可授性。在杂交育种中花粉的结构、大小对杂交授粉受精成功与否有着重要关系, 花粉粒与柱头的结构性差异会直接造成杂交不亲和问题^[17~18]。本研究表明: 黄薇花粉的赤道轴、极轴长均小于 30 μm, 属于小型花粉, 如与其他属植物进行远缘杂交时, 应选择黄薇作为父本, 并且尽量选取花型较小, 柱头较短的植物与黄薇进行杂交, 从而提高杂交成功率。

4 参考文献

- [1] 陈家宽, 杨继. 植物生物进化学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1994.
- [2] 罗长维, 李昆, 陈友, 等. 膏桐花粉活力与柱头可授性及其生殖特性研究[J]. 西北植物学报, 2007, 27(10): 1994~2001.

- LUO Changwei, LI Kun, CHEN You, et al. Pollen viability, stigma receptivity and reproductive features of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2007, **27**(10): 1994 – 2001.
- [3] 贾文庆, 王艳丽, 刘会超. 垂丝紫荆花粉贮藏及生活力研究[J]. 西北农业学报, 2014, **23**(9): 221 – 224.
- JIA Wenqing, WANG Yanli, LIU Huichao. Studies on storage method and viability determination of *Cercis racemosa* pollen [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 2014, **23**(9): 221 – 224.
- [4] CHIDANANDA S R, ATUL N J, TROY S, et al. Alkaloids from *Heimia salicifolia* [J]. *Phytochemistry*, 2008, **69**(8): 1756 – 1762.
- [5] GUZMAN H E, SEGURA C D, DE H R. Antihypertensive effect of *Heimia salicifolia* (H.B.K) Alkaloids [J]. *Pharmacologyonline*, 2006, **3**: 817 – 823.
- [6] 方文培, 张泽荣. 中国植物志: 第 52 卷第 2 分册[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] KHO YO, BAER J. Observing pollen tubes by means of fluorescence [J]. *Euphytica*, 1968, **17**(2): 298 – 302.
- [8] 赵宏波, 周莉花, 郝日明. 夏蜡梅和光叶红蜡梅花发育特性和柱头可授性[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26**(3): 302 – 307.
- ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Rimeng. Flower development and pistil receptivity in *Sinocalycanthus chinensis* and *Calycanthus floridus* var. *oblongifolius* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(3): 302 – 307.
- [9] 胡杏, 鞠易倩, 叶远俊, 等. 紫薇×大花紫薇不同育性株系花粉生活力及柱头可授性对比分析[J]. 河南农业大学学报, 2014, **48**(2): 145 – 149.
- HU Xing, JU Yiqian, YE Yuanjun, et al. Comparative investigation on the pollen viability and stigma receptivity of different hybrids between *Lagerstroemia indica* and *L. speciosa* [J]. *J Henan Agric Univ*, 2014, **48**(2): 145 – 149.
- [10] 赵宏波, 陈发棣, 房伟民. 菊属植物花粉生活力检测方法的比较[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23**(4): 406 – 409.
- ZHAO Hongbo, CHEN Fadi, FANG Weimin. Detection methods of pollen viability of *Dendranthema* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23**(4): 406 – 409.
- [11] 胡适宜. 被子植物胚胎学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982.
- [12] 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.
- [13] 降志兵, 陶洪斌, 吴拓, 等. 高温对玉米花粉活力的影响[J]. 中国农业大学学报, 2016, **21**(3): 25 – 29.
- JIANG Zhibing, TAO Hongbin, WU Tuo, et al. Effects of high temperature on maize pollen viability [J]. *J China Agric Univ*, 2016, **21**(3): 25 – 29.
- [14] 胡珂雪, 张晓曼, 郑云凤. 四季报春花粉萌发特性研究[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.
- [15] 王卫, 杨水平, 崔广林, 等. 青蒿花粉活力及柱头可授性研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, **37**(2): 2 – 7.
- WANG Wei, YANG Shuiping, CUI Guanglin, et al. Pollen viability and stigma receptivity of *Artemisia annua* L. [J]. *J Southwest Univ Nat Sci Ed*, 2015, **37**(2): 2 – 7.
- [16] 韩玉娜, 梁冬, 申玉贤, 等. 3 个苜蓿材料花粉活力和柱头可授性比较[J]. 中国草地学报, 2016, **38**(5): 8 – 12.
- HAN Yuna, LIANG Dong, SHEN Yuxian, et al. Study on pollen viability and stigma receptivity of three *Alfalfa* cultivars [J]. *Chin J Grassland*, 2016, **38**(5): 8 – 12.
- [17] 蔡明, 孟锐, 潘会堂, 等. 紫薇属与散沫花属远缘杂交亲和性的研究[J]. 园艺学报, 2010, **37**(4): 637 – 642.
- CAI Ming, MENG Rui, PAN Huitang, et al. Intergeneric cross-compatibility between *Lagerstroemia* and *Lawsonia* [J]. *Acta Hortic Sin*, 2010, **37**(4): 637 – 642.
- [18] 李红, 石凤翎, 崔秀萍, 等. 苜蓿雄性不育系花柱与柱头形态结构观察研究[J]. 内蒙古大学学报, 2003, **34**(6): 672 – 673.
- LI Hong, SHI Fengling, CUI Xiuping, et al. Observations on the morphological structure of style and stigma of male sterile line of *Medicago varia* Martin. ev. [J]. *Acta Sci Nat Univ Nei Mongol*, 2003, **34**(6): 672 – 673.