

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201702027

引文格式: 柴弋霞, 蔡梦颖, 金晓玲, 等. 紫花含笑传粉生物学初探 [J]. 广西植物, 2017, 37(10):1322-1329

CHAI YX, CAI MY, JIN XL, et al. Pollination biology of *Michelia crassipes* [J]. *Guihaia*, 2017, 37(10):1322-1329

紫花含笑传粉生物学初探

柴弋霞¹, 蔡梦颖¹, 金晓玲^{1*}, 张冬林^{1,2}

(1. 中南林业科技大学 风景园林学院, 长沙 410004; 2. *University of Georgia*, Athens 30602, Georgia, USA)

摘要: 紫花含笑 (*Michelia crassipes*) 花色艳丽、花香浓郁, 为解释其在自然条件下结实率低的原因和判断最佳杂交时期, 该研究从传粉生物学入手, 通过观察紫花含笑开花动态, 运用异交指数 (OCI)、花粉胚珠比 (P/O)、花粉和柱头活性、人工授粉试验等方法对其繁育系统进行了检测, 并记录访花昆虫的种类和行为。结果表明: (1) 紫花含笑花期在 4—5 月, 持续 50 d 左右, 单花花期 4~5 d。(2) 雌雄同花, 雌蕊先成熟, 雄蕊空间位置高于雌蕊。(3) OCI 等于 4, P/O 为 2671±123。(4) 套袋实验表明紫花含笑能进行少量的自花传粉, 人工异花授粉结实率和种子质量显著高于人工自花授粉和自然条件下, 且不存在无融合生殖。(5) 开花后 36 h 雌蕊群弯曲分泌粘液时, 与含笑 (*M. figo*) 杂交结实率最高达 85.7%, 为最佳授粉时期。(6) 有效访花者主要有东方蜜蜂、黑纹食蚜蝇和独角仙, 访花频率易受天气影响。综上说明, 紫花含笑繁育系统以异交为主, 部分自交亲和需要传粉者, 存在一定近交衰退, 自然条件下结实率低, 主要受传粉昆虫和雌雄异熟限制, 最佳授粉期的确定能够提高其杂交成功率。该研究结果为紫花含笑资源保护和杂交育种奠定了基础。

关键词: 紫花含笑, 繁育系统, 传粉生物学, 杂交育种, 木兰科

中图分类号: Q949.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)10-1322-08

Pollination biology of *Michelia crassipes*

CHAI Yi-Xia¹, CAI Meng-Ying¹, JIN Xiao-Ling^{1*}, ZHANG Dong-Lin^{1,2}

(1. *College of Landscape architecture, Central South University of Forestry and Technology*, Changsha 410004, China; 2. *University of Georgia*, Athens 30602, GA, USA)

Abstract: *Michelia crassipes*, a small tree to low shrub in *Magnoliaceae*, is a great ornamental plant with fragrant and dark purple flowers. It is a great ornamental germplasm resource for breeding *Magnolia* plants for container production. In order to explain the main reasons for the low natural seed rate of *M. crassipes* and determine optimum pollinating time for *Magnolia* cross breeding, the pollination biology of *M. crassipes* was studied. We attempted to study the floral character through field observation in Changsha. We also estimate the type of breeding system by out-crossing index (OCI), the

收稿日期: 2017-05-15 修回日期: 2017-06-25

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项项目 (201404710); 湖南省研究生科研创新项目资助 (CX2017B403); 中南林业科技大学研究生科技创新基金资助项目 (CX2017B11); 湖南省“十二五”重点学科 (湘教发 [2011] 76 号) [Supported by Special Project of National Forestry Public Welfare Industry (201404710); Hunan Provincial Innovation Foundation for Postgraduate (CX2017B403); Scientific Innovation Fund for Graduate of Central South University of Forestry and Technology (CX2017B11); Key Discipline of Hunan Province in the 12th Five-Year ([2011] 76)].

作者简介: 柴弋霞 (1993-), 女, 江西上饶人, 硕士研究生, 主要从事木兰科植物遗传育种研究, (E-mail) 904777920@qq.com。

* **通信作者:** 金晓玲, 教授, 博士生导师, 主要从事园林植物遗传育种研究, (E-mail) 121191638@qq.com。

pollen-ovule ratio(P/O), pollen viability and the stigma receptivity. And artificial pollination experiments were carried out. The visitors and their behaviors were observed and recorded. The results were as follows: (1) The florescence of the *M. crassipes* was from mid-April to late May, lasting for approximately 50 d. Each flower opened for 4–5 d. (2) *M. crassipes* was a typical species that monoecious with protogyny and herkogamy, and stamen was higher than pistil on spatial location. However, pistils were ready before stamens. (3) The outcrossing index (OCI) was four and pollen/ovule ratio (P/O) was $2,671 \pm 123$, which indicated that *M. crassipes* should be majorly classified as an allogamous plant. (4) The artificial pollination revealed that spontaneous self-pollination phenomenon was existed and no apomixis phenomenon under field conditions. The fruiting rates and seed quality of artificial cross-pollination were significantly higher than that of natural and self-pollination. (5) The optimal time to pollinate *M. Crassipes* with *M. figo* was 36 h after flowering when the gynoecium began to bend and secrete mucus, with the highest successful fruiting rate of 85.7%. (6) The effective pollinators mainly were *Apis cerana*, *Episyrphus balteatus* and *Allomyrina dichotoma* whose frequency of pollination was low and easily affected by weather. In conclusion, the breeding system of *M. crassipes* was self-pollination, and mainly cross-pollination which requires pollinators. In addition, inbreeding depression was existed to some extent. And its fruit-setting rate was limited by pollinators and herkogamy under natural conditions. The success rate of hybridization could be raised by determining the optimum pollination time. The results can promote for protecting the resources *M. Crassipes* and hybridization of *Magnolia*.

Key words: *Michelia crassipes*, breeding system, pollination biology, cross-breeding, *Magnolia*

传粉是植物进行有性生殖的必经阶段,一般是指花粉借助一定的载体,经过一定的空间,从雄性结构传送到柱头,继而萌发的过程,与植物结实密切相关。传粉生物学是研究与传粉有关的各项生物学规律的一门学科,主要包括对植物开花物候、繁育系统、花各部位特征、访问者种类及频率的研究。因此,植物传粉生物学的研究是开展植物育种的前提,关系到植物本身的遗传育种特点、种子生产方法和栽培管理技术等重要内容,更是植物资源保护和杂交育种的理论基础(罗晓莹等,2011)。但迄今为止,仅有少数学者对木兰科濒危植物传粉生物学进行了研究,如王洁(2012)揭示了凹叶厚朴雌雄异熟和异位、花粉受精前障碍是导致其结实率低的主要原因;孙燕(2015)和赖家业等(2007)研究表明光叶木兰和单性木兰濒危原因是受传粉昆虫限制,花粉生活力低且柱头可授性时间短。

紫花含笑(*Michelia crassipes*)为木兰科(Magnoliaceae)含笑属(*Michelia*)常绿灌木或小乔木。零星分布于广东北部、湖南南部、广西东北部以及江西,自然资源稀缺(刘玉壶,2004)。因其花色艳丽、花香浓郁,具有较高的观赏价值,所以多次被用来作为木兰科杂交育种的优良亲本(龚洵等,2003;李颖婕等,2013;邵文豪等 2015, 2015, 2016)。然而,紫

花含笑在自然条件下结实率低,种子质量差,严重制约了种群繁衍。目前,关于紫花含笑的研究主要集中在形态特征、生理特性(方小平等,2010)、遗传背景(温强,2014)和杂交育种(龚洵等,2001;王亚玲等,2003)等方面,但未有从传粉生物学角度结合其对结实率和杂交育种的影响进行探讨。因此,紫花含笑传粉生物学特征是否与自然结实率低有密切关系,最佳授粉期确定是否能提高杂交成功率均值得深入研究。本研究以紫花含笑为对象开展传粉生物学研究,揭示紫花含笑自然条件下结实率低的原因和判断最佳杂交时期,为其资源保护和杂交育种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

在湖南省林业厅林场(113°2'45.89" E, 28°6'56.32" N, 112 m),选择8年生半自然状态的、长势良好的紫花含笑,大量片植于山顶和零星散植山坡的东南面。该地位于长沙市南郊,属于亚热带季风气候,年平均气温 16.8 °C,年平均降雨量 1 422.4 mm,酸性土壤。林场面积达 13.3 hm²,四周保留原有的香樟自然林带,植被 290 余种,主要伴生树种有

樟科、木兰科、山茶科、蔷薇科、杜鹃科、壳斗科、金缕梅科、竹类等。

1.2 方法

1.2.1 开花动态的观察 在 2015—2016 年每年的 4—5 月,开花前随机标记大小相似的植株 20 株,依据 Dafni (1992) 的方法记录开花过程;盛花期随机标记 20 朵花蕾,观察并记录开花动态,计算单花花期。

1.2.2 柱头可授性和花粉活力检测 参考吉利等 (2011) 对紫花含笑的花粉萌发研究方法,采用蔗糖 $150 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} + 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HBO}_3 + 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 培养基,将不同开花状态的花粉置于 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 培养 8 h,每个处理 3 个重复,各取 5 个视野在 Ni-kon YS100 光学显微镜下统计花粉萌发率。

采用联苯胺—过氧化氢法对五种状态下花朵的柱头可授性进行测定,以产生气泡的数量、速度和被染色的深浅来判断柱头的活性。

1.2.3 繁育系统测定

1.2.3.1 异交指数 (Out-crossing index, OCI) 的估算 盛花期随机选择 21 朵花,按照 Dafni 的标准测量花部特征 (包括花朵直径,雌雄蕊成熟时间间隔,柱头与花药的空间间隔)。

1.2.3.2 花粉胚珠比 (Pollen-ovule ration, P/O) 的估算 随机选取 9 朵未散粉花朵,将雄蕊取下分别装于洁净的小瓶中,待花粉管全部裂开加入 10 mL 蒸馏水,磁力搅拌器下振荡 5 min 制成花粉悬浮液,取 $1 \mu\text{L}$ 滴于载玻片上,在 Nikon YS100 光学显微镜下统计全部花粉数,每一处理重复 5 次求得平均值。同时将子房壁用解剖刀切开,在光学显微镜下先统计每个子房胚珠数,再计算单朵花胚珠数平均值,最后计算 P/O。

1.2.3.3 人工授粉实验 (1) 在 2015—2016 年盛花期,选取花蕾状态的紫花含笑进行套袋,人工授粉。处理方式:①不去雄,不套袋,检测自然条件下是否结实;②去雄,套袋,检测是否存在无融合生殖;③不去雄,套袋,检测是否能自动自花授粉;④去雄,套袋,人工自花授粉;⑤去雄,套袋,人工异花授粉。(2) 以紫花含笑为母本,含笑为父本,选取五个开花状态下紫花含笑为母本,分别与含笑进行杂交实验。以上每处理 21 朵花,3 个重复。每隔 10 d 观察 1 次,果实成熟后统计座果率、结籽率和千粒重三项指标。座果率 = 果实总数/各处理个数;结籽率 = 果

实中种子数/胚珠总数。

1.2.4 访花昆虫行为和访花频率的观测 在紫花含笑盛花期随机选取 21 株植株,每天从 8:00—18:00,每小时观测访花者种类、停留时间和访花行为。收集访花昆虫带回实验室制成标本鉴定,并同时记录天气情况。统计各访花者单位时间内访花次数,分析一天中不同昆虫的访花规律。

1.3 数据处理

利用 Excel 2007 软件进行统计及图表绘制,用 SPSS 19.0 软件对花粉活力、坐果率、结籽率及千粒重进行单因素方差 (One-way ANOVA) 分析,统计数据用平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 开花动态

紫花含笑种群花期在 4—5 月,持续时间为 50 d 左右。始花期在 4 月初,在 4 月下旬达到盛花期,5 月下旬为谢花期 (表 1)。从花期降雨频率观测结果来看,紫花含笑花期内降雨频率较高,达 46.2%。

紫花含笑单花花期 4~5 d,开花前花蕾被苞片包裹 (A);苞片开裂,露出紫色的花被片,雄蕊紧靠柱头 (B);36 h 后,花被片逐渐打开,雄蕊离开柱头,雌蕊群弯曲成一定角度,并分泌粘液 (C);48~60 h 后花被片张开,雄蕊群开始散粉,雌蕊群逐渐收拢 (D);4~5 d 后花被片水平张开甚至脱落,雄蕊枯萎脱落,雌蕊群靠近柱头,柱头授粉成功后呈褐色 (E)。

2.2 花粉活力与柱头可授性

紫花含笑为雌蕊先熟,各阶段的花粉生活力与柱头可授性具有显著差异 (表 2)。开花初期雌雄蕊的活性极低,开花后 36 h 左右柱头活性达到最高,处于最佳授粉期 (状态三)。开花后第 48~60 h (状态四),雄蕊开始散粉,花粉活力达到最高,柱头活性逐渐下降。开花第 4~5 天后 (状态五),花粉和柱头活力均较低。

2.3 繁育系统

2.3.1 异交指数 (OCI) 紫花含笑的花朵直径为 $(28.5 \pm 2.0) \text{ mm}$, $N=21$,花为两性花,雌蕊先成熟,雄蕊高于雌蕊,花朵螺旋状着生在枝上。异交指数 $\text{OCI}=4$,根据 Dafin 的标准,其繁育系统为异交为主,部分自交亲和,异交需要传粉者。

表 1 紫花含笑花期物候和气象因子观测结果

Table 1 Flowering phenology and climate factors of *Michelia crassipes*

年份 Year	始花期 Initial flower stage	该月降雨频率 Rainfall frequency (%)	盛花期 Profuse flower stage	该月降雨频率 Rainfall frequency (%)	末花期 Final flower stage
2015	4.18	46.2	5.1	58.1	5.26
2016	4.22	66.7	5.4	58.1	5.31

2.3.2 花粉胚珠比(P/O) 紫花含笑单花花粉量较大,为(160 260 ± 246)(N=21),每心皮具有2枚胚珠(图1:F),胚珠总数为(60 ± 2)(N=21)枚,平均胚珠比P/O为(2 671±123)(在2 108~195 525之间)。根据Cruden(1997)的标准,判定其繁育系统为专性异交。

2.3.3 人工授粉实验 授粉实验结果表明:各处理紫花含笑坐果率存在显著差异($P=0.000<0.001$)。其中人工异交授粉处理的坐果率最高,达(80.95 ± 1.67)%,人工自花授粉次之。直接套袋自交坐果率低,表明紫花含笑能进行少量的自发传粉。去雄套袋后无结籽,表明不存在无融合生殖。人工异交种子的千粒重和结籽率表现出明显优势。以上结果表明紫花含笑繁育系统为部分自交亲和,有时需要传粉者,人工异花授粉能够提高结实率。

选取不同状态下紫花含笑与含笑进行杂交实验,在状态三柱头活力最高时进行杂交(表5),其坐果率(85.7%)和结籽率(88.23%)显著高于其他时期($P<0.05$),为最佳授粉期。

2.4 访花昆虫及行为观测

根据引种栽培地观测可知,紫花含笑的传粉昆虫主要有4种,其中大型的东方蜜蜂(*Apis cerana*)和黑纹食蚜蝇(*Episyrphus balteatus*)通过花朵顶部或花瓣间隙进入花朵内取食花粉,停留2~3 min后,在群落中飞行,将花粉带到另一朵花内进行授粉(图2:A,B);甲虫类的独角仙(*Allomyrina dichotoma*)进入花朵内,通过触角、口器等携带花粉在柱头上自上而下的授粉,停留时间长且多宿住在花朵内(图2:C);德国小蠊类(*Blattella germanica*)主要在花朵内活动或邻近的花朵间,通过身体移动带走花粉,停留时间在30 min以上,但其最大的危害是啃食花瓣和叶片,传粉作用差(图2:D)。

表 2 紫花含笑花粉活力和柱头可授性

Table 2 Pollen viability and stigma receptivity of *Michelia crassipes*

开花状态 Flowering status	花粉活力 Pollen viability (%)	柱头可授性 Stigma receptivity
状态一 Status One	3.31±0.33e	+
状态二 Status Two	43.21±0.67c	+++
状态三 Status Three	58.73±1.56b	++++
状态四 Status Four	88.6±1.67a	++
状态五 Status Five	4.59±0.33d	-

注:“++++”表示柱头可授性最强,“+++”表示柱头可授性强,“++”表示柱头可授性较强,“+”表示柱头可授,“-”表示柱头不可授。不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note:“++++” Stigmas with the highest receptivity, “+++” Stigmas with high receptivity, “++” Stigmas with a little high receptivity, “+” Stigmas with receptivity, “-” Stigmas without receptivity. Different letters indicated significant differences ($P<0.05$). The same below.

表 3 紫花含笑杂交指数测定结果

Table 3 Parameters describing the outcrossing index of *Michelia crassipes*

测定指标 Parameter	观测结果 Result	表现 Evaluation	繁育系统类型 Breeding system
花冠直径 Corolla diameter (mm)	(28.5±2.0)>6	3	部分自交亲和,异交,需要传粉者 Partially self-compatibility and cross pollination, requires the pollinator
雌雄时间距离 Temporal distance	雌蕊早熟 Protogyny	0	
雌雄空间距离 Spatially distance	空间分离 Spatial separation	1	
杂交指数 Outcrossing index		4	

表 4 去雄、套袋及人工授粉实验结果
Table 4 Results under different pollination
and bagged treatments

处理 Treatment	座果率% Fruit-setting rate	结籽率 Seed-setting rate (%)	千粒重 1 000-grain weight (g)
自然授粉 Open pollination	33.33±0.86c	65.71±0.75c	116.82±0.80b
去雄,套袋 Emasculated, bagged	0e	0e	0d
不去雄,套袋 Unemasculated, bagged	9.52±0.67d	46.67±0.23d	115.1±0.33c
去雄,套袋,人工自 花授粉 Emasculated and bagged, hand self-pollination	57.14±1.03b	75±1.20b	115.86±1.02bc
去雄,套袋,人工异 交授粉 Emasculated and bagged, hand cross-pollination	80.95±1.67a	77.78±0.89a	121.46±1.36a

一天中访花频率较高主要集中在上午 11:00—12:00 和下午 14:00—15:00,受温度和光照的影响,访花频率出现双峰值(图 3)。东方蜜蜂和独角仙访问频率较高,黑纹食蚜蝇的访问频率次之,德国小蠊类传粉效率最差。

3 讨论与结论

3.1 紫花含笑开花物候对传粉的影响

开花物候期是植物生命活动中一个重要的时期,能够影响植物的传粉效率和结实率。张爱勤等(2011)的研究中发现,因苜蓿花期与昆虫活动不遇,而导致苜蓿种子产量极低。本研究中紫花含笑的花期为 4 月中旬至 5 月底,此时有大量昆虫开始活动。但紫花含笑的花瓣在雌蕊成熟前未完全打开,不利于昆虫进入,且有效传粉昆虫种类少,传粉效率低。此外,刘芬等(2013)认为,天气影响植物传粉,阴雨天气降低了昆虫访花的频率,从而降低了异交的可能性。紫花含笑花期在春夏季,易出现连续的雷雨天气,不利于昆虫传粉,导致结实率低。昆虫的访问频率和行为决定了其传粉效率。紫花含笑 4 种传粉昆虫中,东方蜜蜂、黑纹食蚜蝇和独角仙是有效传粉者,而德国小蠊类传粉作用差。但东

表 5 不同开花状态下紫花含笑 ×
含笑座果率和结实率
Table 5 Fruit-setting rate and seed rate
of *Michelia crassipes* × *M. figo*

处理 Treatment	座果率 Fruit-setting rate (%)	结籽率 Seed-setting rate (%)	千粒重 1 000-grain weight (g)
去雄,套袋,在状态一与 含笑人工杂交授粉 Emasculated and bagged, hand cross-pollination under the Status One (pollen from <i>Michelia figo</i>)	23.8±0.98d	59.26±1.28d	116.33±1.95b
去雄,套袋,在状态二与 含笑人工杂交授粉 Emasculated and bagged, hand cross-pollination under the Status Two (pollen from <i>Michelia figo</i>)	61.9±1.2b	70.96±0.67b	120.33±1.35a
去雄,套袋,在状态三与 含笑人工杂交授粉 Emasculated and bagged, hand cross-pollination under the Status Three (pollen from <i>Michelia figo</i>)	85.7±0.9a	88.23±1.23a	122.87±0.96a
去雄,套袋,在状态四与 含笑人工杂交授粉 Emasculated and bagged, hand cross-pollination under the Status Four (pollen from <i>Michelia figo</i>)	42.9±1.53c	66.67±1.67c	116.16±2.33b
去雄,套袋,在状态五与 含笑人工杂交授粉 Emasculated and bagged, hand cross-pollination under the Status Five (pollen from <i>Michelia figo</i>)	0e	0e	0c

方蜜蜂的访问频率受温度和光照影响,且在花间停留时间短。黑纹食蚜蝇的访问频率低,独角仙虽访问频率高,但其活动范围小。这与孙燕(2015)对光叶木兰的传粉昆虫研究结果相同。因此,紫花含笑坐果率低主要外因是受天气影响和有效传粉者少,访问频率低。

3.2 紫花含笑繁育系统特征

植物繁育系统是受内部遗传机制和外部环境条件共同相互作用,在决定植物有性繁殖和遗传进化方向上,起着重要作用。植物繁育系统的检测常通过 OCI、P/O 值和控制授粉的方法。本研究中紫花含笑 OCI 为 4,结合人工授粉实验表明繁育系统

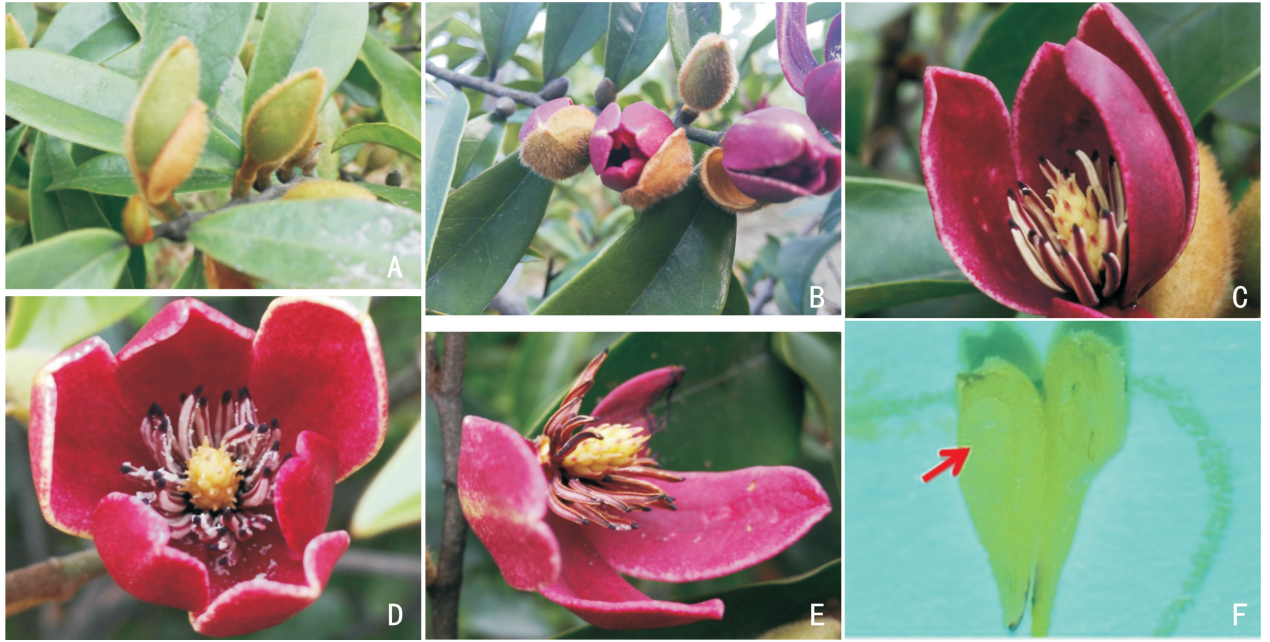


图 1 紫花含笑单花开花物候 A. 花蕾被苞片包裹; B. 苞片脱落; C. 雌蕊弯曲分泌粘液; D. 雄蕊分散, 花药开裂; E. 花被完全打开甚至脱落; F. 胚珠观测。

Fig. 1 Flowering phenology of *Michelia crassipes* A. Flower buds; B. Bracts gradually opened to form a split; C. Stigmas were bending and secreting mucus; D. Stamens aparted from each other and anthers dehiscing; E. Tepals fully opened and even fell off; F. Observation of ovule.

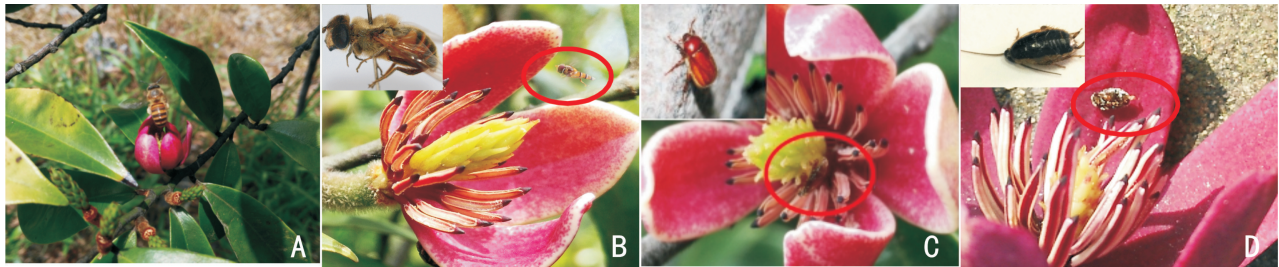


图 2 紫花含笑访花者 A. 东方蜜蜂; B. 黑纹食蚜蝇; C. 独角仙; D. 德国小蠊类。

Fig. 2 Visitors of flowers in *Michelia crassipes* A. *Apis cerana*; B. *Episyrphus balteatus*; C. *Allomyrina dichotoma*; D. *Blattella germanica*.

类型为部分自交亲和, 异交需要传粉者。而根据 P/O 值得到紫花含笑为专性异交, 结果与前两者不完全一致。原因是 P/O 值的测定具有简单易行的特点, 但缺乏准确性, 有些自花授粉的植物 P/O 值显著高于 Cruden 的标准或与异花授粉植物 P/O 值重叠, 其较高的 P/O 值是为了补偿雄蕊开裂后掉落所影响的雄性功能(吴佩纹等, 2016)。同时较大的花粉量, 可以弥补在自然条件下传粉效率低的弊

端, 是使其适应环境从而保证生殖成功的有效对策, 李志成等(2015)研究发现在艾比湖沙拐枣也有这一现象。由此推断紫花含笑的繁育系统为异交为主, 部分自交亲和, 需要传粉者。殷东生等(2016)认为判断有性生殖能力的重要标准是结实率的高低。授粉实验表明, 紫花含笑不存在无融合生殖。不去雄套袋处理有少量结实, 说明紫花含笑具备自花授粉的能力。花朵的螺旋状着生方式, 以及雄蕊略高

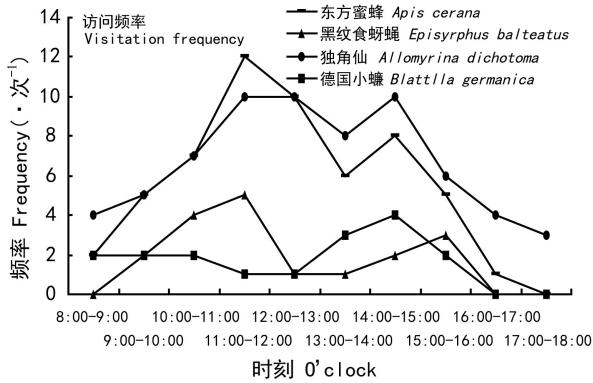


图3 不同昆虫访花频率

Fig. 3 Visiting frequency of pollinators with *Michelia crassipes*

于柱头,使自花授粉存在可能。雄蕊成熟时,在重力作用下花粉会落在柱头上,加上风力影响使得自花授粉更加容易,但由于雌雄蕊成熟时间存在差异,导致自花授粉结实率较低。自然条件下的结实率远高于套袋处理,说明紫花含笑需要依靠传粉者完成授粉。自然条件下结实率显著低于人工授粉,说明自然条件下紫花含笑结实率存在花粉限制,这与对传粉昆虫的研究结果一致。人工异交授粉结实率和种子质量显著高于人工自花授粉,表明紫花含笑具有一定的近交衰退。综上,紫花含笑繁育系统以异交为主,部分自交亲和,需要传粉者。

3.3 紫花含笑传粉生物学对杂交育种的意义

传粉生物学的研究,关系到植物遗传和进化,对有性繁殖和育种具有重要意义(彭东辉等,2012)。植物繁育系统有多种适应方式来保证异株异花受精,如:雌雄异位、雌雄异熟以及自交不亲和等。根据阮成江和姜国斌(2006)对雌雄异位的划分,紫花含笑属于柱头缩入式雌雄异位,即雌雄蕊的成熟存在一定的空间和时间距离。研究证明这是植物促进异交、避免自交的策略,是其长期进化的一种繁殖机制。因此这是紫花含笑结实率低的主要内因,但能为紫花含笑的人工杂交育种提供有利的条件。植物的授粉时间与种子的形成和其质量有关,如Hanson(1961)、Strickler(1996)指出苜蓿授粉时间与种子形成有关,单花在开放的第2天被授粉,每荚果内种子千粒重最大,这可能与柱头活

力有关。本研究中不同开花状态下紫花含笑与含笑杂交,在开花后2~3 d(状态三),坐果率最高在85%以上,且高于王亚玲等的杂交研究结果(60%),确定为最佳授粉期。这表明最佳授粉期的确定有利于提高杂交育种的成功率,为今后紫花含笑杂交育种提供参考。

综上所述,有效传粉者的缺乏和雌雄蕊的空间及时间异位且存在一定近交衰退共同影响紫花含笑自然结实率。其中,雌雄性器官空间分离和成熟时间的不遇及一定近交衰退是主要内因,缺乏有效传粉者是重要外因。其繁育系统以异交为主,部分自交亲和,需要传粉者;在最佳可授期杂交能够有效提高杂交成功率。在今后的研究中,可以根据紫花含笑传粉生物学的特点开展更进一步的杂交育种工作,丰富含笑属植物种类。

参考文献:

- CRUDEN RW, 1997. Pollen-ovulations: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants [J]. *Evolution*, 31:32-46.
- DAFNI A, 1992. *Pollinationecology: a practical approach* [M]. Oxford:Oxford University Press.
- FANG XP, LI CY, HU GP, 2010. Studies on the cold resistance of four Magnoliaceae species in Guizhou Province [J]. *For Res*, 23(6):862-865. [方小平,李昌艳,胡光平,2010.贵州4种木兰科植物幼苗的抗寒性研究[J]. *林业科学研究*,23(6):862-865.]
- GONG X, PAN YZ, YANG ZY, 2001. The cross-compatibility of Magnoliaceae [J]. *Acta Bot Yunnan*, 23(3):339-344. [龚洵,潘跃芝,杨志云,2001.木兰科植物的杂交亲和性[J]. *云南植物研究*,23(3):339-344.]
- GONG X, ZHANG GL, PAN YZ, et al, 2003. Three new varieties of *Michelia* [J]. *Acta Horti Sin*,30(1):123. [龚洵,张国莉,潘跃芝,等,2003.含笑新品种-郁金香含笑、丹芯含笑和沁芳含笑[J]. *园艺学报*,30(1):123.]
- HANSON CH, 1961. Longevity of pollen and ovaries of *Alfalfa* [J]. *Crop Sci*, (1):114-116.
- JIL SUN WB, 2011. Study on pollen germination of *Michelia crassipes*, *M. calcicola* and their F1 hybrids [J]. *Plant Sci J*, 29(6):691-695. [吉利,孙卫邦,2011.紫花含笑(♀)、灰岩含笑(♂)及其杂种F1代花粉萌发试验研究[J]. *植物科学学报*,29(6):691-695.]
- LAI JY, PAN CL, QIN WG, et al, 2007. Pollination ecology of rare and endangered species *Kmeria septentrionalis* [J]. *Guihaia*,27(5):736-740. [赖家业,潘春柳,覃文更,等,2007.珍稀濒危植物单性木兰传粉生态学研究[J]. *广西植物*,27(5):736-740.]

- LI YJ, PAN YZ, GONG X, 2013. A new hybrid cultivar of *Michelia* 'Yunxia' [J]. *Acta Horti Sin*, 40(5):1007-1009. [李颖婕, 潘跃芝, 龚洵, 2013. 含笑新品种'云霞'[J]. 园艺学报, 40(5):1007-1009.]
- LIU YH, 2004. *Magnolias of China* [M]. Beijing: Science and Technology Press. [刘玉壶, 2004. 中国木兰 [M]. 北京: 科学技术出版社.]
- LI ZC, LI J, LÜ HY, et al, 2015. Floral syndrome and breeding systems of *Calligonum ebinuricum* [J]. *Acta Horti Sin*, 42(5):939-949. [李志成, 李进, 吕海英, 等, 2015. 艾比湖沙拐枣的花部特征与繁育系统 [J]. 园艺学报, 42(5):939-949.]
- LIU YH, 2004. *Magnolias of China* [M]. Beijing: Science and Technology Press. [刘玉壶, 2004. 中国木兰 [M]. 北京: 科学技术出版社.]
- LIU F, LI QJ, WANG CX, et al, 2013. Floral characteristics and breeding systems of an endangered species *Cypripedium japonicum* [J]. *Sci Silv Sin*, 49(1):53-60. [刘芬, 李全键, 王彩霞, 等, 2013. 濒危植物扇脉杓兰的花部特征与繁育系统 [J]. 林业科学, 49(1):53-60.]
- LUO XY, TANG GD, MO LJ, et al, 2011. Pollination biology of *Camellia changii* [J]. *Chin J Ecol*, 30(3):552-557. [罗晓莹, 唐光大, 莫罗坚, 等, 2011. 杜鹃红山茶的传粉生物学 [J]. 生态学杂志, 30(3):552-557.]
- PENG DH, LAN SR, WU SS, 2012. Studies on pollination biology of *Melastoma sanguineum* Sims (Melastomataceae) [J]. *J Trop & Subtrop Bot*, 20(6):618-625. [彭东辉, 兰思仁, 吴沙沙, 2012. 毛萼传粉生物学研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 20(6):618-625.]
- PIAS B, GUOTIAN P, 2001. Flowering phenology and pollen-ovule ratio in coastal dune communities near Eurosiberian Mediterranean borders in the NW Iberian Peninsula [J]. *Flora*, 19(6):475-482.
- RUAN CJ, JIANG GB, 2006. Adaptive significance of herkogamy and floral behaviour [J]. *Acta Phytocol Sin*, 30(2):210-220. [阮成江, 姜国斌, 2006. 雌雄异位和花部行为适应意义的研究进展 [J]. 植物生态学报, 30(2):210-220.]
- SHAO WH, JANG JM, DONG RX, et al, 2015. A new variety, *Michelia* 'Mengyuan' [J]. *Sci Silv Sin*, 51(10):155-155. [邵文豪, 姜景民, 董汝湘, 等, 2015. 含笑新品种'梦缘'[J]. 林业科学, 51(10):155-155.]
- SHAO WH, JANG JM, DONG RX, 2015. A new *Michelia* cultivar 'Mengzi' [J]. *Acta Horti Sin*, 42(9):1863-1864. [邵文豪, 姜景民, 董汝湘, 2015. 含笑新品种'梦紫'[J]. 园艺学报, 42(9):1863-1864.]
- SHAO WH, JANG JM, DONG RX, 2016. A new *Michelia* cultivar 'Mengxing' [J]. *Acta Horti Sin*, 43(6):1219-1220. [邵文豪, 姜景民, 董汝湘, 2016. 含笑新品种'梦星'[J]. 园艺学报, 43(6):1219-1220.]
- SUN Y, 2015. Study on reproductive biology of the rare and protected plant *Magnolia dawsoniana* [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University: 1-55. [孙燕, 2015. 珍惜保护植物光叶木兰生殖生物学研究 [D]. 成都: 四川农业大学: 1-55.]
- STRICKLER K, 1996. Seed and bee yields as a function of forager populations: alfalfa pollination as a model system [J]. *Kansas Entomol Soc*, 69(4):201-215.
- WANG J, 2012. Breeding system of *Magnolia officinalis* subsp. *Biloba* and its endangered cause analysis of reproductive biology [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry: 1-96. [王洁, 2012. 木兰科植物的人工杂交 [D]. 北京: 中国林业科学研究院: 1-96.]
- WANG YL, LI Y, ZHANG SZ, et al, 2003. The crossing result of Magnoliaceae [J]. *J Wuhan Bot Res*, 21(6):508-514. [王亚玲, 李勇, 张寿洲, 等, 2003. 木兰科植物的人工杂交 [J]. 武汉植物学研究, 21(6):508-514.]
- WEN Q, SONG XC, TIAN J, et al, 2014. Molecular identification of new cultivated varieties in *Michelia crassipes* and the relationship analysis with four relative *Michelia* species [J]. *Mol Plant Breed*, 12(3):509-516. [温强, 宋晓琛, 田径, 等, 2014. 紫花含笑新品种鉴别及与4种含笑属植物亲缘关系分析 [J]. 分子植物育种, 12(3):509-516.]
- WU PW, GAO SP, ZHANG S, et al, 2016. Pollination biology and the breeding system of *Plumbago auriculata* low seed-set ratio [J]. *Guihaia*, 36(1):107-113. [吴佩纹, 高素萍, 张硕, 等, 2016. 蓝花丹结实率低的传粉生物学和繁育系统初探 [J]. 广西植物, 36(1):107-113.]
- YIN DS, WEI XH, SHEN HL, 2016. Floral syndrome and breeding system of *Physocarpus amurensis* [J]. *J Beijing For Univ*, 38(1):67-73. [殷东生, 魏晓慧, 沈海龙, 2016. 风箱果的花部综合特征及繁育系统研究 [J]. 北京林业大学学报, 38(1):67-73.]
- ZHANG AQ, HE S, MA SJ, 2011. Study on control of flowering time and pollination efficiency of *Alfalfa* [J]. *Chin J Grassl*, 3(2):7-11. [张爱勤, 何爽, 马生军, 2011. 苜蓿花期调控与传粉效率的研究 [J]. 中国草地学报, 3(2):7-11.]