

白花野牡丹的开花进程、花部形态特征及访花昆虫观察

金红^{1,①}, 焦根林¹, 陈刚²

(1. 深圳市中国科学院仙湖植物园, 广东 深圳 518004; 2. 肇庆学院生命科学学院, 广东 肇庆 526061)

摘要: 为了解白花野牡丹(*Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou)的开花进程、花部形态特征及访花昆虫的种类和访花行为, 分别于2011年和2012年对栽培于深圳市中国科学院仙湖植物园的白花野牡丹花期进行观察和统计分析。结果表明: 白花野牡丹的单花花期约12 h, 7:00雌蕊柱头从即将开放的花蕾中伸出, 8:00左右花朵半开放, 8:30左右花瓣完全展开, 16:00左右花瓣开始闭合, 19:00左右花瓣完全闭合, 翌日花瓣不再开放并逐渐萎焉, 至第4天花部完全脱落。白花野牡丹的花序为近头状的伞房花序, 每个花序有3~8朵花; 雌蕊1枚; 雄蕊2轮(5+5, 6+6), 内轮雄蕊较短, 而外轮雄蕊较长; 不分泌花蜜。白花野牡丹花期的访花昆虫有2目5科13种, 其中传粉昆虫有2科6种, 包括领木蜂(*Xylocopa collaris* Lepeletier)、东亚无垫蜂[*Amegilla* (*Zonamegilla*) *parhypate* Liefstinck]、蓝彩带蜂(*Nomia chalybeata* Smith)、彩带蜂(*Nomia* sp.)、中华蜜蜂(*Apis cerana cerana* Fabricius)和绿芦蜂(*Pithitis smaragdula* Smith)。这6种传粉昆虫的访花行为、访花规律及传粉效率各异, 其中, 领木蜂、东亚无垫蜂、中华蜜蜂和绿芦蜂的日活动规律为单峰型, 访花高峰期均在10:00或11:00; 而蓝彩带蜂和彩带蜂的日活动规律为双峰型, 2个访花高峰期分别在10:00和15:00。花瓣开始松动时, 小体型的中华蜜蜂和绿芦蜂开始传粉; 随着花瓣继续开放, 中等体型的蓝彩带蜂和彩带蜂成为主要传粉者; 花瓣完全开放后, 大体型的领木蜂和东亚无垫蜂成为主要传粉者。研究结果显示: 白花野牡丹花粉是传粉昆虫的惟一报酬; 各传粉昆虫的访花行为与白花野牡丹的开花进程密切相关, 因此, 可以有效保证白花野牡丹的繁殖。

关键词: 白花野牡丹; 开花进程; 花部形态; 访花昆虫; 访花行为; 传粉昆虫

中图分类号: Q944.43; Q948.12⁺2.6 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)02-0073-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.02.11

Observation on flowering process, floral morphology and flower visiting insects of *Melastoma candidum* f. *albiflorum* JIN Hong^{1,①}, JIAO Genlin¹, CHEN Gang² (1. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen and Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518004, China; 2. College of Life Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(2): 73-79

Abstract: In order to understand flowering process, floral morphology, type and behavior of flower visiting insects of *Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou, flowering stage of *M. candidum* f. *albiflorum* cultivated in Fairy Lake Botanical Garden of Shenzhen and Chinese Academy of Sciences was observed and statistic analyzed in 2011 and 2012, respectively. The results show that florescence of its single flower is about 12 h, pistil stigmas extend from upcoming opening buds at 7:00, flowers open half at about 8:00, petals fully open at about 8:30 and become close at about 16:00, completely close at about 19:00, petals are no longer opening in the next day and wilt gradually, flowers fall completely until the 4th day. Inflorescence of *M. candidum* f. *albiflorum* is subcapitate corymb, each inflorescence has 3-8 flowers; one pistil; two rounds stamens (5+5, 6+6), stamens on inner round are short, while those on outer round are long; non secret nectar. There are 13 flower visiting insects belonging to 5 families in 2 orders at flowering stage of *M. candidum* f. *albiflorum*, in which, pollinating insects are 6 species in 2 families, including *Xylocopa collaris* Lepeletier, *Amegilla* (*Zonamegilla*) *parhypate* Liefstinck, *Nomia*

收稿日期: 2014-10-13

基金项目: 深圳市城市管理局资助项目(201318)

作者简介: 金红(1974—), 女, 辽宁本溪人, 博士, 高级工程师, 主要从事植物多样性保护研究。

①通信作者 E-mail: 601711582@qq.com

chalybeata Smith, *Nomia* sp., *Apis cerana cerana* Fabricius and *Pithitis smaragdula* Smith. Flower visiting behavior, flower visiting rule and pollinating efficiency of these 6 pollinating insects are different. In which, daily action rules of *X. collaris*, *A. (Zonamegilla) parhypate*, *A. cerana cerana* and *P. smaragdula* are single peak type, their peaks of visiting flowers all are at 10:00 or 11:00, while those of *N. chalybeata* and *Nomia* sp. are double peak type, their two peaks of visiting flowers are at 10:00 and 15:00, respectively. When petals start to loose, *A. cerana cerana* and *P. smaragdula* with small size start to pollinate; with petals opening continually, *N. chalybeata* and *Nomia* sp. with medium size are main pollinators, and after petals fully opening, *X. collaris* and *A. (Zonamegilla) parhypate* with big size are main pollinators. It is concluded that pollen of *M. candidum* f. *albiflorum* is only reward to pollinating insects. Flower visiting behaviors of different pollinating insects are closely related to flowering process of *M. candidum* f. *albiflorum*, which can effectively ensure its propagation.

Key words: *Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou; flowering process; floral morphology; flower visiting insect; flower visiting behavior; pollinating insect

虫媒植物通过蜜腺、花粉、颜色、气味等花部综合特征吸引访花昆虫并为其传粉,不同植物的花能够吸引不同种类的昆虫,有时会形成恒定的传粉关系^[1]。虫媒植物必须依赖传粉昆虫的活动才能完成胚珠的受精过程,这类植物的开花生物学特征对访花昆虫的活动规律和花粉传递机制具有重要影响,同时访花昆虫的行为对植物成功生殖也具有决定性作用^[2]。对不同植物的传粉生物学和传粉生态学研究结果^[3]表明:缺乏传粉者或传粉昆虫数量不足可造成虫媒植物的传粉效率下降,直接导致种子产量和后代变异率降低,形成生殖障碍,进而导致物种濒危。

白花野牡丹 (*Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou) 别名白花山石榴、白九螺仔花,为野牡丹科 (*Melastomataceae*) 野牡丹属 (*Melastoma* Linn.) 常绿小灌木^[4-5],主要生于低海拔的山坡松林下或开阔的灌草丛中,数量稀少;其花瓣纯白色,全年均可开花结果,观赏价值和药用价值俱佳^[6]。由于白花野牡丹野生种群数量稀少但应用价值较高,因此提高生殖成功率成为其人工栽培过程中的关键因素。白花野牡丹为虫媒植物,因此其开花动态和传粉昆虫的访花特性对其繁殖具有重要作用。目前,对白花野牡丹传粉生物学特性的研究尚未见报道,仅见其同属植物野牡丹 (*M. malabathricum* Linn.)^[7-9]、多花野牡丹 (*M. affine* D. Don)^[10-13]、地蕊 (*M. dodecandrum* Lour.)^[14] 和毛蕊 (*M. sanguineum* Sims.)^[15] 等种类的相关研究报道。

鉴于此,作者对栽培于深圳市中国科学院仙湖植物园的白花野牡丹的开花进程、花部形态及其访花昆虫的访花行为和活动规律进行了详细观察和研究,并与同属植物访花昆虫的访花行为和活动规律进行比较,以明确白花野牡丹的开花特点和访花昆虫种类,

为该种的生殖生物学研究及其物种保护和利用提供基础研究资料。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

供观察的白花野牡丹引种自台湾,种植于深圳市中国科学院仙湖植物园;地理坐标为东经 114°10′、北纬 22°35′,海拔 122 m。属亚热带海洋性气候,四季温和、雨量充沛、太阳辐射量丰富;年均气温 22.3 °C,年均降水量 1 924.7 mm,年均降水日数 146 d,年均日照时数 2 060 h。土壤类型以赤红壤为主,质地为砾质砂壤土^[16-17]。

1.2 方法

1.2.1 开花进程及花部形态特征的观察 分别于 2011 年和 2012 年的 6 月至 7 月,选择晴朗天气进行观察。在花蕾期,随机选取 10 株样株,每天分别在各样株的分枝顶端标记 2 朵即将开放的花蕾,每天共标记 20 朵;从 7:00 至 19:00 定时观察记录所标记花朵的开放状态,每隔 0.5 h 观察 1 次,每朵标记花均连续观察 5 d,重复 3 次。用千分尺对已开放花朵的各部位结构进行仔细测量,并使用 Nikon SMZ18 解剖镜 (日本 Nikon 公司) 进行花部形态特征观察。

1.2.2 花蜜分泌状况的监测 参考彭东辉等^[15]的方法检测花蜜分泌状况。分别于 2011 年和 2012 年的 6 月至 7 月,于开花前一天在 10 株样株分枝顶端选择 30 朵花的花蕾,用细眼纱网分别套袋,从 7:00 至 17:00 定时用 10 μL 微吸管检测花蜜分泌状况,每隔 2 h 检测 1 次;每次检测后,被检测的花朵必须继续套袋。

1.2.3 访花昆虫种类及其访花行为观察 分别于2011年7月和2012年7月对盛花期白花野牡丹的访花昆虫种类及其访花行为进行观察。于晴天的7:00至17:00对随机标记的10朵花进行观察,记录访花昆虫的种类、数量及访花行为,以及每种访花昆虫在每朵花上的停留时间及每朵花的受访情况,记录每种访花昆虫的单花访问频率,重复观察10 d。访花昆虫的单花访问频率记为单位时间(1 h)内1朵花上昆虫的访问次数。划取面积为2 m²的样方,观察样方内传粉昆虫的日活动规律,从7:00至17:00的每个整点记录样方内各种访花昆虫的数量,重复观察10 d。用白网捕捉各种访花昆虫并制作标本,凭证标本存放于深圳市中国科学院仙湖植物园植保室。

2 结果和分析

2.1 白花野牡丹的开花进程

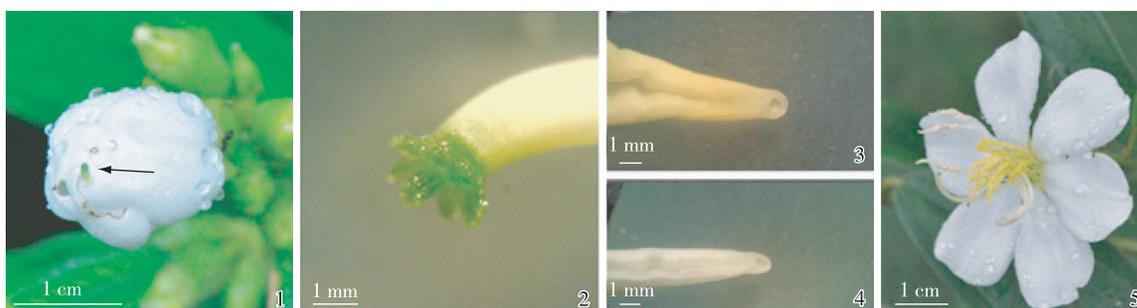
观察结果表明:白花野牡丹的单花花期为12 h。

开花当日7:00,雌蕊柱头已经从即将开放的花蕾中伸出(图1-1),柱头较湿润(图1-2)并具有可授性,短雄蕊和长雄蕊的花粉囊均已开裂(图1-3,4);7:30左右部分花瓣松开;8:00左右花朵呈半开放状态;8:30左右花瓣展开,花朵完全开放(图1-5);16:00左右花瓣边缘稍微往上翘,花瓣开始闭合;19:00左右花瓣完全闭合。

开花翌日,闭合的花瓣不再开放,且花瓣开始萎蔫。开花翌日19:00,一些花的花瓣和雄蕊脱落,仅雌蕊宿存;其中,花瓣和雄蕊部分脱落的花占15.6%,花瓣和雄蕊全部脱落的花占2.1%。

开花第3天,萎蔫花朵的花部继续脱落,通常花瓣最先脱落,然后是雄蕊,花柱最后脱落。在开花第3天19:00,大部分花的花瓣、雄蕊和花柱均已完全脱落,其中花瓣、雄蕊和花柱全部脱落的花占78.2%,仅21.8%的花仍宿存雌蕊。

开花第4天7:00,所有标记花朵的花瓣、雄蕊和花柱均已全部脱落。



1: 花蕾即将开放,箭头示柱头 Flower bud opening soon, the arrow showing stigma; 2: 黏性柱头 Sticky stigma; 3: 短雄蕊的开裂花药 Dehiscent anther of short stamen; 4: 长雄蕊的开裂花药 Dehiscent anther of long stamen; 5: 花完全开放 Flower fully opening.

图1 白花野牡丹开花进程中花部的形态变化
Fig. 1 Change of floral morphology of *Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou during flowering process

2.2 白花野牡丹的花部形态特征

花部形态特征观察结果表明:白花野牡丹的花序为近头状的伞房花序,生于分枝顶端,每个花序有3~8朵花,稀单生,基部具叶状总苞2枚;苞片、花梗及花萼密被鳞片状糙伏毛;花数5或6,萼筒长约1 cm,裂片长三角形,两面均被毛;花瓣白色,倒卵形,先端圆形,密被缘毛;花冠直径(5.62±0.39) cm。雌蕊1枚,长(3.04±0.12) cm。花柱淡绿色,呈弧形弯曲,柱头点尖、绿色,高于雄蕊。雄蕊2轮(5+5,6+6),异型。外轮雄蕊5或6枚,较长,花丝淡黄绿色,药隔基部伸

长成弯曲的白色药隔附属物,末端具2深裂;外轮雄蕊向花瓣一侧弯曲,使白色的花粉囊远离花的中心。内轮雄蕊5或6枚,较短,花丝淡黄绿色,花粉囊为黄色,聚集在花中央,药隔不延伸,花药基部具1对小瘤。外轮雄蕊的花丝长(1.18±0.16) cm,花粉囊长(0.96±0.06) cm;内轮雄蕊的花丝长(1.01±0.08) cm,花粉囊长(0.84±0.05) cm。花蜜检测结果显示白花野牡丹的花不分泌花蜜。

2.3 白花野牡丹花期的访花昆虫及其传粉行为分析

2.3.1 访花昆虫种类 经过整理和鉴定,初步查明

白花野牡丹的访花昆虫共有13种,分属于2目5科。其中,鞘翅目(Coleoptera)仅有金龟科(Scarabaeidae)的中华弧丽金龟(*Popillia quadriguttata* Fabricius)(图2-1)1种;膜翅目(Hymenoptera)种类最多,共有4科12种,包括蚁科(Formicidae)的黄琼蚁(*Oecophylla smaragdina* Fabricius)(图2-2),胡蜂科(Vespidae)的叉胸侧异腹胡蜂(*Parapolybia nodosa* van der Vecht)(图2-3)、印度侧异腹胡蜂(*P. indica* Saussure)(图2-4)、点马蜂[*Polistes stigma* (Fabricius)](图2-5)、

墨胸胡蜂(*Vespa velutina nigrithorax* Buysson)(图2-6)和黑尾胡蜂(*V. ducalis* Smith)(图2-7),隧蜂科(Haliotidae)的蓝彩带蜂(*Nomia chalybeata* Smith)(图2-8)和彩带蜂(*Nomia* sp.)(图2-9),蜜蜂科(Apidae)的领木蜂(*Xylocopa collaris* Lepeletier)(图2-10)、东亚无垫蜂[*Amegilla* (*Zonamegilla*) *parhypate* Lieftinck](图2-11)、中华蜜蜂(*Apis cerana cerana* Fabricius)(图2-12)和绿芦蜂(*Pithitis smaragdula* Smith)(图2-13)。



1: 中华弧丽金龟 *Popillia quadriguttata* Fabricius; 2: 黄琼蚁 *Oecophylla smaragdina* Fabricius; 3: 叉胸侧异腹胡蜂 *Parapolybia nodosa* van der Vecht; 4: 印度侧异腹胡蜂 *P. indica* Saussure; 5: 点马蜂 *Polistes stigma* (Fabricius); 6: 墨胸胡蜂 *Vespa velutina nigrithorax* Buysson; 7: 黑尾胡蜂 *V. ducalis* Smith; 8: 蓝彩带蜂 *Nomia chalybeata* Smith; 9: 彩带蜂 *Nomia* sp.; 10: 领木蜂 *Xylocopa collaris* Lepeletier; 11: 东亚无垫蜂 *Amegilla* (*Zonamegilla*) *parhypate* Lieftinck; 12: 中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* Fabricius; 13: 绿芦蜂 *Pithitis smaragdula* Smith.

图2 白花野牡丹花期出现的访花昆虫

Fig. 2 Flower visiting insects appearing at flowering stage of *Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou

2.3.2 传粉昆虫及其传粉行为 对白花野牡丹访花昆虫的访花行为进行观察,结果表明:中华弧丽金龟在访花时咬噬雄蕊,黄琼蚁和墨胸胡蜂在访花时咬噬花瓣,黑尾胡蜂在访花时咬噬花蕊,而叉胸侧异腹胡蜂、印度侧异腹胡蜂和点马蜂仅在白花野牡丹的花瓣

和花蕾上短暂停留,因此,这7种访花昆虫均不具有传粉功能。然而,领木蜂、东亚无垫蜂、蓝彩带蜂、彩带蜂、中华蜜蜂和绿芦蜂6种访花昆虫具有传粉功能,为白花野牡丹的传粉昆虫,它们的具体访花行为见表1。

表1 白花野牡丹花期传粉昆虫的访花行为比较

Table 1 Comparison on flower visiting behaviors of pollinating insects at flowering stage of *Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou

传粉昆虫种类 Species of pollinating insects	每次访花所需时间/s Time for each visiting flower		平均单花访问频率/h ⁻¹ Average visiting frequency to single flower
	最短 The shortest	最长 The longest	
领木蜂 <i>Xylocopa collaris</i>	1	9	0.25
东亚无垫蜂 <i>Amegilla</i> (<i>Zonamegilla</i>) <i>parhypate</i>	7	39	0.06
蓝彩带蜂 <i>Nomia chalybeata</i>	9	85	0.48
彩带蜂 <i>Nomia</i> sp.	5	61	0.11
中华蜜蜂 <i>Apis cerana cerana</i>	2	6	0.07
绿芦蜂 <i>Pithitis smaragdula</i>	2	7	0.02

领木蜂身长约2.3 cm,其在访花时常伴有翅膀震动发出的嗡嗡声,并直接飞到花内轮的黄色雄蕊上,降落时腹部常压在1或2根白色外轮雄蕊上,有时也直接压在柱头上。与此同时,领木蜂用足抓住黄色雄蕊,通过口器和足相互作用,将花粉从花粉囊中挤出。随着领木蜂身体的颤动,一些花粉抖落在其胸腹部,同时通过翅膀的扇动,将周围外轮雄蕊的白色花粉也释放出来,这些花粉大多落在领木蜂的头部、胸腹部和背部。领木蜂在每朵花上停留1~9 s后便立即转向下一朵花。由于领木蜂的体型较大,因此在它访问下一朵花时,其头部、胸腹部和背部会触碰到下一朵花的柱头,遂将其携带的花粉传递到柱头上从而完成传粉过程。1只领木蜂在1 min内最多可连续访问40朵花。

东亚无垫蜂身长约1.6 cm,其在访花时常常先访问1或2枚外轮雄蕊,用足紧紧抓住花药并抖动,将花粉抖落在其胸腹部,然后采用同样方法用足抓住1或2枚内轮雄蕊的花药并抖动,将花粉也抖落在其胸腹部,同时外轮雄蕊的一些花粉被抖落在其背部和头部。东亚无垫蜂在退出花内轮雄蕊或进入下一朵花时,常常碰触柱头,完成传粉过程。东亚无垫蜂访问1朵花所用时间为7~39 s。

蓝彩带蜂身长约1.2 cm,在7:30至8:00花部分开放时已钻进花蕾内开始采食花粉,此时无论是内轮雄蕊还是外轮雄蕊的花粉囊均已开裂,湿润的雌蕊柱头也做好了授粉准备。随着蓝彩带蜂身体的抖动,花粉被抖落在其头部、背部和胸腹部,当其访问下一朵

花时,由于该花处于半开放状态,花中的雌蕊和雄蕊距离很近,因此在蓝彩带蜂飞到雄蕊上或是飞离花朵时身体都很容易触碰到柱头,将其身上携带的花粉传递到这朵花的柱头上,以此完成传粉过程。随着花瓣继续开放,外轮长雄蕊远离雌蕊向一边伸展,此时蓝彩带蜂往往先飞向长雄蕊,用前足紧紧抓住1个长雄蕊的花药,边抖动边用中、后足刮刷雄蕊,将花粉挤出花粉囊,使其胸腹部黏上许多花粉。蓝彩带蜂访问1个外轮长雄蕊的时间一般为2~21 s,接着访问同花外轮长雄蕊中临近的其他长雄蕊,但并不逐一访问全部的外轮长雄蕊,一般最多访问同花中的3枚外轮长雄蕊;完成1朵花的外轮长雄蕊访问后,蓝彩带蜂有时会接着访问另一朵花的外轮长雄蕊,但更多情况下是继续访问这朵花的内轮短雄蕊,并通过足的挤压和身体的抖动将花粉从花粉囊先端的裂孔中释放出来。由于花中心的短雄蕊较为集中,因此蓝彩带蜂的足可同时抓住2~4枚内轮短雄蕊,在内轮短雄蕊上的访问时间一般为15~24 s。一般情况下1朵花上只有1只蓝彩带蜂访问,极少出现2只蓝彩带蜂同时访问1朵花的行为。1只蓝彩带蜂持续访问1朵花的时间最长可达85 s,当其连续访问2朵花且访问每朵花的时间均超过1 min时,蓝彩带蜂会飞到附近的叶片上停歇1~2 min。由于此时花完全开放,柱头距离雄蕊较远,蓝彩带蜂体型较小,触碰柱头的几率小于领木蜂和东亚无垫蜂,因此传粉效率降低。蓝彩带蜂的平均单花访问频率为0.48 h⁻¹,在白花野牡丹的6种传粉蜂中单花访问频率最高。

彩带蜂身长约 1.4 cm,其访花行为与蓝彩带蜂相似,由于体型较蓝彩带蜂稍大,因此彩带蜂触碰柱头的机会增加,其传粉效率也相应提高。

中华蜜蜂身长约 0.7 cm、绿芦蜂身长约 0.6 cm,这 2 种传粉蜂的体型均相对较小,两者的访花行为极为相似,在被访花朵的花瓣处于松动状态时,它们将整个身体钻进花冠内部,停留在内轮鲜黄色的短雄蕊上,用足紧紧抓住花药抖动,将花粉抖落在胸腹部,访问 1 朵花的时间一般不超过 7 s,由于此时花朵刚开始开放,中华蜜蜂和绿芦蜂访问下一朵花时,身体会擦碰柱头,完成传粉过程。在花朵逐渐开放后,中华蜜蜂和绿芦蜂的体长远小于白花野牡丹内轮短雄蕊的花药到柱头的距离,因此,此时这 2 种昆虫在采食花粉过程中基本触碰不到柱头。

2.3.3 传粉昆虫的日活动规律 在面积 2 m²的样方内观察到的白花野牡丹花期传粉昆虫的日活动规律见表 2。由表 2 可见:中华蜜蜂、绿芦蜂、蓝彩带蜂和彩带蜂在 7:00 就开始活动,而领木蜂和东亚无垫蜂则在 9:00 左右开始活动。领木蜂、东亚无垫蜂、中华蜜蜂和绿芦蜂的日活动规律均呈单峰型变化趋势,其中,中华蜜蜂的访花高峰期均为 10:00,其他 3 种传粉昆虫的访花高峰期为 11:00;14:00 后东亚无垫蜂、中华蜜蜂和绿芦蜂均不再访花,15:00 后领木蜂也不再访花。蓝彩带蜂和彩带蜂的日活动规律则呈双峰型变化趋势,第 1 个访花高峰期均为 10:00,至 13:00 再未

观察到二者有访花行为;14:00 蓝彩带蜂再次访花,15:00 彩带蜂也再次访花,此时为第 2 个访花高峰但数量明显低于第 1 个访花高峰,17:00 以后二者均不再访花。

3 讨论和结论

形态观察结果表明:在开花当日,白花野牡丹花蕾的花瓣刚开始松动时雌蕊最先伸出花蕾,而且柱头已经湿润,这一开花特性增加了白花野牡丹异花授粉的时间和几率;此时,外轮长雄蕊和内轮短雄蕊的花粉囊均已开裂,为昆虫传粉做好了准备。传粉昆虫的访花活动与被访花朵的开花进程密切相关。白花野牡丹的单花从开始开放到花瓣完全闭合仅需 12 h 左右,不同体型的传粉昆虫分别在白花野牡丹的不同开花时段承担着传粉工作。当白花野牡丹花瓣开始松动时,小体型的中华蜜蜂和绿芦蜂即开始传粉活动;随着花瓣继续开放,中等体型的蓝彩带蜂和彩带蜂成为主要的传粉昆虫;花完全开放后,大体型的领木蜂和东亚无垫蜂则成为主要的传粉昆虫。访花昆虫与白花野牡丹之间的这种默契合作有效地保证了白花野牡丹的成功繁殖。但这种不同体型传粉昆虫在不同开花时段传粉的现象在同属其他植物及其传粉昆虫的相关研究中未见报道。

通过观察,确定白花野牡丹的访花昆虫共有 2 目 5 科 13 种,其中,领木蜂、东亚无垫蜂、蓝彩带蜂、彩带蜂、中华蜜蜂和绿芦蜂为有效的传粉昆虫。彭东辉等^[11]在野外实地观察了同为野牡丹属的多花野牡丹的访花昆虫种类,共有 3 目 8 科 13 种,并认为木蜂科(Xylocopidae)昆虫是多花野牡丹的主要传粉者;澳大利亚学者 Gross^[12]发现木蜂属(*Xylocopa* Latreille)昆虫和 *Amegilla anomola* 等大、中型膜翅目昆虫为多花野牡丹的主要传粉昆虫;彭东辉等^[15]认为同属植物毛蕊的野外访花昆虫有 8 目 18 科 21 种,主要传粉昆虫是木蜂属和熊蜂属(*Bombus* Latreille)昆虫;台湾学者刘思谦等^[9]对台湾中部野牡丹的传粉生物学特性进行了研究,认为熊蜂属和木蜂属昆虫为主要传粉者;陈介^[18]则认为野牡丹属植物主要是靠体型较大的熊蜂(*Bombus* ssp.)等昆虫进行传粉。上述研究结果均表明:野牡丹属的一些种类的访花昆虫多数为蜂类、食蚜蝇类和丽金龟类,并且体型较大的木蜂和熊蜂是主要传粉昆虫。但在本研究中无论是体型相对

表 2 白花野牡丹花期传粉昆虫的日活动规律

Table 2 Daily action rule of pollinating insects at flowering stage of *Melastoma candidum* f. *albiflorum* J. C. Ou

时间 Time	各传粉昆虫的平均数量 ¹⁾					
	Average number of different pollinating insects ¹⁾					
	I	II	III	IV	V	VI
7:00	0.0	0.0	0.6	0.2	1.5	1.1
8:00	0.0	0.0	1.7	1.1	2.8	2.1
9:00	1.7	1.2	4.8	3.1	8.1	6.8
10:00	5.4	3.8	6.9	4.8	11.6	9.1
11:00	7.6	6.1	5.4	5.0	9.5	6.7
12:00	2.4	1.6	0.8	2.8	2.8	1.6
13:00	1.6	0.8	0.4	1.0	0.0	0.0
14:00	0.7	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	2.1
16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	1.1
17:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

¹⁾ I: 领木蜂 *Xylocopa collaris* Lepeletier; II: 东亚无垫蜂 *Amegilla (Zonamegilla) parhypate* Lieftinck; III: 中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* Fabricius; IV: 绿芦蜂 *Pithitis smaragdula* Smith; V: 蓝彩带蜂 *Nomia chalybeata* Smith; VI: 彩带蜂 *Nomia* sp.

较大的领木蜂和东亚无垫蜂, 还是中等体型的蓝彩带蜂和彩带蜂, 以及体型相对较小的中华蜜蜂和绿芦蜂均具有传粉功能, 这一结果与 Müller^[19]的“野牡丹科植物存在花形与传粉蜂体型相对应的关系”的研究结论不完全一致。

对“野牡丹科植物的异型雄蕊在昆虫传粉方面存在给食型雄蕊与传粉型雄蕊的功能分化”的结论一直存有争议。Gross 等^[12-13]和 Müller^[19]都推测野牡丹科植物的 2 种雄蕊存在给食型雄蕊和传粉型雄蕊的分工, 但并没有找到具体证据; 路国辉等^[7]认为野牡丹的外轮紫色雄蕊中的花粉为其繁殖提供雄配子, 而内轮黄色雄蕊中的花粉则为传粉昆虫木蜂提供食物。本研究中领木蜂对白花野牡丹的访花行为与木蜂对野牡丹的访花行为一致, 但白花野牡丹的其他传粉昆虫对 2 种雄蕊的访问并没有明显的选择性, 因此, 白花野牡丹的 2 种雄蕊是否存在功能分化还需要进一步的研究。白花野牡丹花期并不分泌花蜜, 同属植物野牡丹^[7]、多花野牡丹^[10-11]、地稔^[14]和毛蕊^[15]也不分泌花蜜, 说明花粉是这些植物给予访花昆虫的惟一报酬。

综上所述, 白花野牡丹的单花花期为 12 h, 从 7:00 持续至 19:00; 其访花昆虫主要为膜翅目昆虫, 其中蜜蜂科和隧蜂科的 6 种昆虫具有传粉功能。白花野牡丹传粉昆虫的访花行为与其开花进程密切相关, 无论是体型较大的领木蜂和东亚无垫蜂、中等体型的蓝彩带蜂和彩带蜂, 还是体型较小的中华蜜蜂和绿芦蜂均能够在白花野牡丹的不同开花时段为其传粉。并且, 白花野牡丹不分泌花蜜, 花粉是传粉昆虫的惟一报酬。

致谢: 本研究中的昆虫鉴定工作由加拿大圭尔夫大学环境生物系动物学实验室 Steve Marshall 教授和深圳市中国科学院仙湖植物园董慧博士共同协助完成, 在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 钦俊德. 昆虫与植物的关系[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 38-67.
- [2] 龚燕兵, 黄双全. 传粉昆虫行为的研究方法探讨[J]. 生物多样性, 2007, 15(6): 576-583.
- [3] BARRIAULT I, GIBERNAU M, BARABÉ D. Flowering period, thermogenesis, and pattern of visiting insects in *Arisaema triphyllum* (Araceae) in Quebec[J]. Canadian Journal of Botany, 2009, 87(3): 324-329.
- [4] HATUSIMA S, AMANO T. Flora of the Ryukyus, South of Amami Island[M]. 2nd ed. Nishihara: The Biological Society of Okinawa, 1994: 153.
- [5] 刘棠瑞, 廖日京. 树木学(下册)[M]. 3 版. 台北: 台湾商务印书馆, 1988: 697.
- [6] 王志强. 知本绿踪(树木篇)[M]. 台北: 行政院农业委员会林务局, 2008: 151.
- [7] 路国辉, 武文华, 王瑞珍, 等. 野牡丹异型雄蕊的功能分化[J]. 生物多样性, 2009, 17(2): 174-181.
- [8] LUO Z, ZHANG D, RENNER S S. Why two kinds of stamens in buzz-pollinated flowers? Experimental support for Darwin's division-of-labour hypothesis[J]. Functional Ecology, 2008, 22: 794-800.
- [9] 刘思谦, 温海宏, 陈明义, 等. 台湾四种野牡丹科植物 (Melastomataceae) 授粉生态学之研究[J]. 台湾昆虫, 2008, 28(2): 67-85.
- [10] 杨利平, 屈平, 李燕, 等. 多花野牡丹传粉生物学特性研究[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(6): 42-45.
- [11] 彭东辉, 张启翔, 黄启堂, 等. 多花野牡丹传粉生物学观察[J]. 福建林学院学报, 2008, 28(2): 115-120.
- [12] GROSS C L. The breeding system and pollinators of *Melastoma affine* (Melastomataceae): a pioneer shrub in tropical Australia[J]. Biotropica, 1993, 25: 468-474.
- [13] GROSS C L, KUKUK P E. Foraging strategies of *Amegilla anomala* at the flowers of *Melastoma affine*: no evidence for separate feeding and pollinating anthers[J]. Acta Horticulturae, 2001, 561: 171-178.
- [14] 罗中莱, 张奠湘. 异型雄蕊的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(6): 536-542.
- [15] 彭东辉, 兰思仁, 吴沙沙. 毛蕊传粉生物学研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(6): 618-625.
- [16] 王博, 邬明, 张丽. 近 60 年深圳气候平均值变化特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2012, 35(2): 67-71.
- [17] 吴婕, 李楠, 陈智, 等. 深圳特区城市植被的固碳释氧效应[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2010, 49(4): 86-92.
- [18] 陈介. 野牡丹科植物与蜂类某些类群的进化关系初探[J]. 植物学通报, 1989, 6(2): 81-85.
- [19] MÜLLER F. Two kinds of stamens with different functions in the same flower[J]. Nature, 1883, 27: 364-365.

(责任编辑: 佟金凤)