

# 中国特有种枝毛野牡丹传粉生物学及繁育系统研究\*

彭东辉, 兰思仁, 吴沙沙

(福建农林大学园林学院, 福建 福州 350002)

**摘要:**对海南吊罗山国家级自然保护区枝毛野牡丹(*Melastoma dendrisetosum*)的开花进程,访花昆虫、访花行为、访花频率以及气候条件等进行观察记录,同时检测了花粉活力、柱头可授性、花粉胚珠比、繁育系统,并分析其致濒机制。结果表明:枝毛野牡丹是典型的异型雄蕊植物,5:30—8:30 逐步开放,8:30—9:00 完全开放,19:00 花朵闭合,单花开放时间为12—14 h,群体花期 $36 \pm 2$  d,无花蜜。访花昆虫主要有木蜂科、条蜂科、蚁科、食蚜蝇科的昆虫,最有效传粉昆虫为木蜂科昆虫。自然与人工授粉、套袋等试验结果表明,枝毛野牡丹不存在主动自花授粉、无融合生殖的生殖保障现象,为自交亲和的异交种,需要昆虫传粉,枝毛野牡丹繁育系统是兼性自交。枝毛野牡丹相对生殖成功率低仅为0.035,主要限制因子为花粉限制和传粉者限制。

**关键词:**枝毛野牡丹;传粉;繁育系统;异型雄蕊;致濒机制

中图分类号:S685

文献标识码:A

## Pollination Biology and Breeding System of *Melastoma dendrisetosum*

PENG Dong-hui, LAN Si-ren, WU Sha-sha

(College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

**Abstract:** To investigate the pollination characteristics of *Melastoma dendrisetosum* C. Chen, the flowering phenology, the pollinators, their behavior, the frequency of pollinator's visiting and climate condition were observed. Besides, the pollen viability, the stigma acceptability, P/O (pollen/ovule rate) and the breeding system of *M. dendrisetosum* were examined, which was studied in Diaoluo National Nature Reserve, Hainan Province, China. The results showed that *M. dendrisetosum* is typically heteranthery. The flowers of *M. dendrisetosum* come into blossom at 5:30 – 8:30 a. m., into full-blown at 8:30 – 9:00 a. m. and into petal-shut at 7:00 p. m. The florescence of individual flower and population flowers were 12 – 14 hours and  $36 \pm 2$  days respectively. There was no nectar in the flowers. The species of pollinator were Xylocopidae, Anthophoridae, Formicidae, Syrphidae and etc. The most effective pollinator was carpenter bee. The field experiments indicated that the fruit sets were significantly high in both artificially out-crossed and self-pollinated flowers, while no fruit set was observed in bagged emasculated flowers and the unpollinated bagged flowers. These indicated that there were no self-compatible, no self-pollination and agamospermy in this species. Pollinators were necessary for it. The breeding system of *M. dendrisetosum* was a typical facultative inbred type. The relative reproductive success (RRS) was 0.035, pollen and pollinator limitation were the most important limiting factors to *M. dendrisetosum*.

**Key words:** *Melastoma dendrisetosum*; pollination biology; breeding system; heteranthery; endangering mechanism

收稿日期:2013-04-28

基金项目:国家林业局行业公益性项目(201204604)、福建省财政专项(2012)、福建省林业厅推广项目(2012)共同资助

作者简介:彭东辉(1971—),男,博士,副教授,主要从事园林植物种质资源与应用研究;E-mail:fjpdh@126.com

\*:德国植物学家 Susanne S. Renner 教授为该植物鉴定提供了参考资料;海南大学宋希强教授为课题的开展提供人力、物力支持;福建农林大学吴晖副教授协助鉴定昆虫标本;海南吊罗山国家级自然保护区林位国先生在野外调查过程中提供诸多帮助在此一并感谢。

枝毛野牡丹(*Melastoma dendrisetosum* C. Chen) 是野牡丹科(Melastomataceae)野牡丹属(*Melastoma* Linn)中学界缺乏了解的物种,该种由陈介1983年建立,定为中国特有种,模式标本采自海南岛乐会,生于海拔70~100 m的疏、密林缘、路旁或沟边<sup>[1-2]</sup>。该种花期早于同属其余种类,观赏价值较高,有较大开发潜力<sup>[3-4]</sup>。在模式标本采集地的调查中未能发现该种,而本课题组成员野外调查中发现该种在海南吊罗山国家级自然保护区一个山谷中有零星分布,分布海拔为350~400 m,种群数量不足300株,处于濒临灭绝的状态。本文旨在通过对枝毛野牡丹开花状况、花粉活力、柱头可授性、访花昆虫、繁育系统、相对生殖成功率以及限制因素等方面的研究,明确限制其种群扩大的关键因子,进而为该种质资源的保护和杂交育种提供基础资料。

## 1 材料与方 法

研究于海南吊罗山国家自然保护区内进行,以海拔350~400 m分布的枝毛野牡丹为研究对象进行观察和测定,起止时间:2012年3月—5月。

### 1.1 开花进程观察

自花蕾期,用塑料挂签标记枝毛野牡丹花蕾30个。每天观察一次花蕾,直至花朵开放。花朵开放当天,用数码摄像机(Canon H G 10)实时记录花朵开放全过程;并检测花蜜开始出现和持续的时间。从第一朵花开放开始,至居群最后一朵花凋谢为观测周期,每天观测整个居群内的开花数量并记录<sup>[5]</sup>。

### 1.2 花粉形态、生活力检测和柱头可授性

参照郭素枝等<sup>[6]</sup>的方法,在JSM-5310LV型扫描电子显微镜下对花粉进行观察并拍照。用TTC法测定花粉的生活力和寿命<sup>[7]</sup>。用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性<sup>[8]</sup>。

### 1.3 花蜜检测

于开花前1~2 d用细眼纱网给待测花序套袋。花开后7:30~19:30每隔1 h用10 μL微吸管分别检测20朵花是否有花蜜分泌。若有花蜜检出,则每次用两组花朵(甲组为吸净花蜜后新套袋的20朵花,乙组为不套袋的20朵花)测量特定时间间隔内的花蜜分泌体积。用甲组花朵获得的数据表示观测期间花蜜分泌速率;用乙组花朵获得的数据表示花蜜常备量。

### 1.4 访花者种类、行为及其活动规律的观测

选择枝毛野牡丹定位观测点标记花序,于上午

7:30开始使用数码摄像机连续记录访花者的种类、访花行为和活动规律,详细记录昆虫访花频率与访花行为。采集访花者制作凭证标本,请昆虫专家鉴定其种类;同时,用体视显微镜观察访花者携带花粉的状况。同时记录天气变化、同花期其它植物对访花频率可能的影响。

### 1.5 不同花器官对昆虫招引作用的观察

采取去除部分花朵构件的方法观察剩余构件对传粉昆虫的招引作用。

### 1.6 枝毛野牡丹繁育系统的确定

1.6.1 枝毛野牡丹杂交指数(Outcrossing index, OCI)与花粉-胚珠比(P/O)的估算 参照Dafni<sup>[8]</sup>的标准进行杂交指数的测定。依据Cruden的标准计算花粉-胚珠比(P/O)<sup>[7]</sup>。

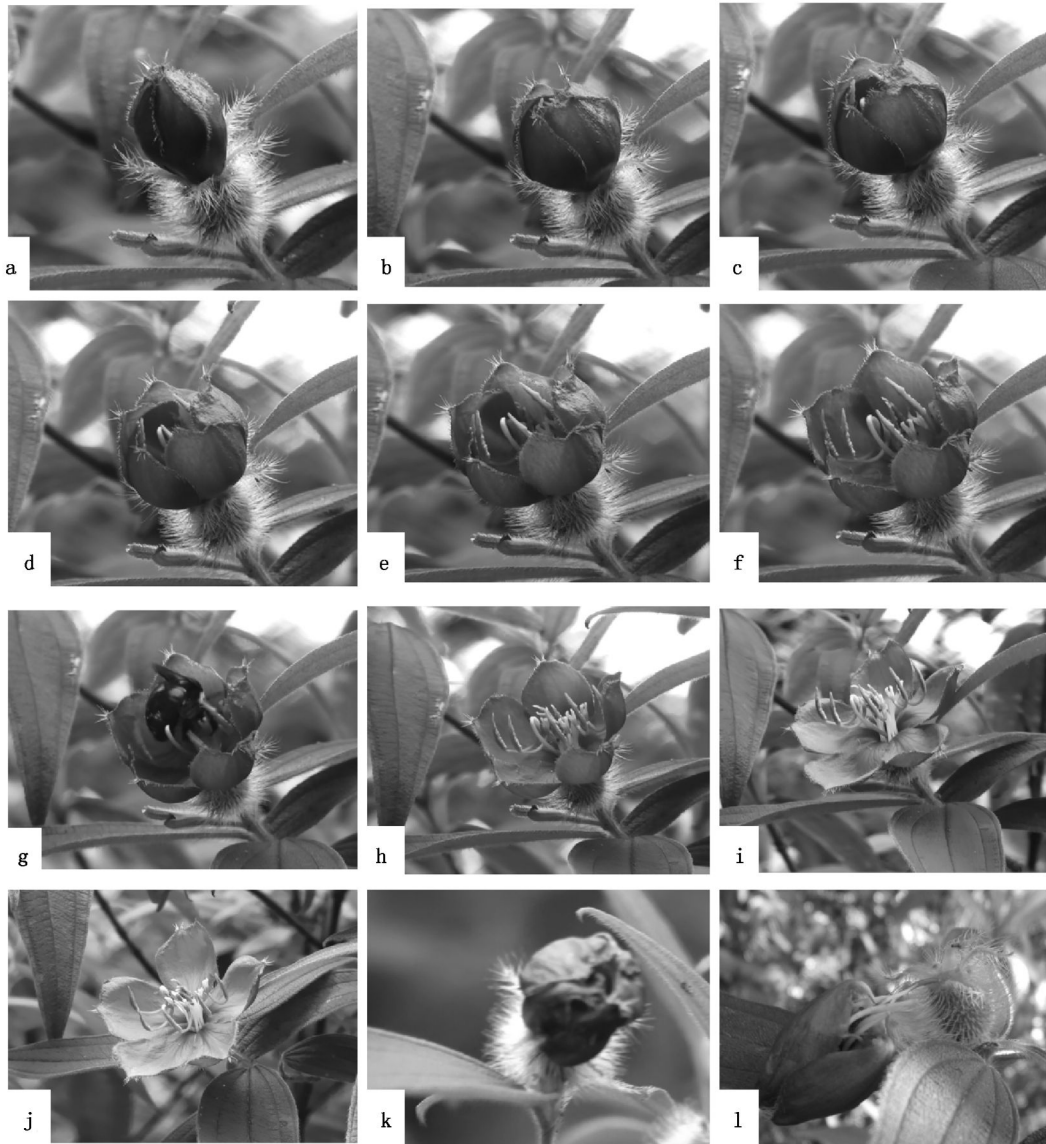
1.6.2 枝毛野牡丹不同授粉方式对结实的影响 依Dafni<sup>[11]</sup>描述的方法进行下述处理:(1)对照:不套袋、不去雄、自由传粉,检测自然条件下的传粉率;(2)无处理套袋:开花前套袋、不去雄,检测是否需要传粉者;(3)同株异花传粉:去雄、套袋,同株异花之间授粉,检测有无自交不亲和系统及能否人工同株异花受精;(4)异株异花传粉:套袋、去雄、用不同植株的花粉进行异花授粉,检测杂交是否亲和;(5)无融合生殖测定:套袋、去雄、不授粉,检测花的无性生殖率。每种处理约35朵花,用硫酸纸袋进行套袋。

在调查地标记花序,分阶段统计其花朵数、胚珠数、果实数、种子数,计算相对生殖成功率(RRS): $RRS = (\text{果实数目}/\text{花朵数目}) \times (\text{种子数目}/\text{胚珠数目})$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 开花进程

枝毛野牡丹每个花序着花3~5朵不等,花朵簇生枝顶,雄蕊异型,5长5短。花蕾膨大长度达1.1 cm时开放,花朵直径4.0~4.5 cm,从花蕾现色到花朵开放需要 $20.5 \pm 1.3$  h。花朵开放顺序:5:30—7:30花蕾呈相互抱叠的橄榄形,7:30—8:30花瓣逐渐开展,内折花药同时展开,8:30—9:00花瓣完全展开。自然状态下单花开放时间为 $12.1 \pm 2.4$  h( $n=75$ ),花瓣到19:00逐渐收拢闭合, $47.5 \pm 2.3$  h后花瓣与雄蕊同时脱落,柱头宿存(图1)。对海南吊罗山国家级自然保护区枝毛野牡丹居群开花动态、开花进程及开花物候观测的结果表明初花期为3月下旬、末花期为4月下旬,群体花期为 $36 \pm 2$  d。



图版说明: a 花蕾(5:30—7:30); b~h 花蕾逐渐张开(7:30—8:30); i~j 花瓣完全展开(8:30—19:00); k 花瓣闭合(19:00—20:00); l 雄蕊与花瓣脱落(开花第三天7:00)。

图 1 枝毛野牡丹开花进程

### 2.2 花粉形态、生活力与柱头可授性

枝毛野牡丹花粉极面观六裂圆形(图 2A),赤道面观近圆球形(图 2B)。极轴 ± 标准差 × 赤道轴 ± 标准差(23.77 ± 1.72) μm × (17.87 ± 3.08) μm,花粉为三孔沟-三假沟型,萌发沟为子午向,三孔沟到达两极。

从图 3 可以看出,枝毛野牡丹花朵初开到盛开花粉生活力均达到 90% 以上,但 8 h 后下降比较迅速,16 h 后花粉活力仅为 7%。

柱头可授性结果显示花后 2 h 柱头开始具有过氧化物酶活性,10 h 后柱头过氧化物酶活性下降(表 1)。

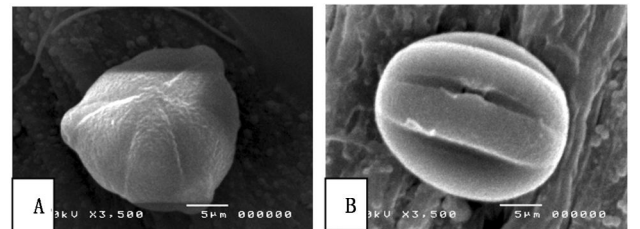


图 2 枝毛野牡丹花粉粒

表 1 枝毛野牡丹的柱头可授性检测结果

| 时间/h  | 0 | 2   | 4 | 6 | 8 | 10  | 12  | 14 |
|-------|---|-----|---|---|---|-----|-----|----|
| 柱头可授性 | - | +/- | + | + | + | +/- | +/- | -  |

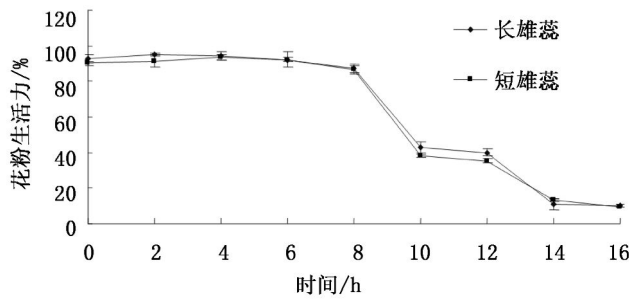


图3 枝毛野牡丹的花粉生活力

2.3 花蜜检测

检测结果表明,枝毛野牡丹不分泌花蜜。

2.4 访花者的种类、行为及其活动规律

2.4.1 访花者的种类 在枝毛野牡丹花朵上记录到的访花者有12种,分属4目6科(表2)。

2.4.2 访花行为 通过野外访花行为观察发现蓝胸木蜂 (*Xylocopa caerulea*)、中华木蜂 (*Xylocopa sinensis*)、和领木蜂黎白亚种 (*Xylocopa collaris albo-xantha*) (图4A)的身体大小与枝毛野牡丹花朵中长

表2 访花者的种类

| 目级分类               | 科级分类              |                                  | 种  | 种数 | 备注 |
|--------------------|-------------------|----------------------------------|--|----|----|
| 膜翅目<br>Hymenoptera | 蜜蜂<br>总科          | 木蜂科 Xylocopidae                  | 蓝胸木蜂 <i>Xylocopa caerulea</i>                | 1  |    |
|                    |                   |                                  | 中华木蜂 <i>Xylocopa sinensis</i>                | 1  |    |
|                    |                   |                                  | 莎木蜂 <i>Xylocopa shelfordi</i>                | 1  |    |
|                    |                   |                                  | 领木蜂黎白亚种 <i>Xylocopa collaris albo-xantha</i> | 1  |    |
|                    |                   |                                  | 木蜂属 <i>Xylocopa</i> sp.                      | 2  |    |
|                    | 条蜂科 Anthophoridae | 鞋斑无垫蜂 <i>Amegilla calceifera</i> | 1  |    |    |
|                    |                   | 无垫蜂 <i>Amegilla</i> spp.         | 1  |    |    |
|                    | 蚁科 Formicidae     |                                  | 黑蚁 <i>Formica</i> spp.                       | 1  |    |
| 双翅目 Ddiptera       | 食蚜蝇科 Syrphidae    |                                  | 食蚜蝇 <i>Syrphus</i> sp.                       | 1  |    |
| 鞘翅目 Coleoptera     | 丽金龟科 Tutelidae    |                                  | 台湾琉璃豆金龟 <i>Popillia mutans</i>               | 1  |    |
| 鳞翅目 Lepidoptera    | 尺蛾科 Geometridae   |                                  | 尺蠖   | 1  | 幼虫 |

雄蕊和柱头相对位置匹配。它们在访花时径直向具有顶端黄色花药的短雄蕊飞去,通过口器挤压短花药来取食花粉,降落时落在长雄蕊药隔基部具关节的钩状突起上,虫体的压力使花药向昆虫身体靠拢,并贴近传粉者的身体,同时翅膀高频振动使花粉从长花药顶孔中散出,部分落到传粉者的胸腹部,访花者在每朵花停留1~2s后,飞抵下一朵花,携带花粉的胸、腹部正好与柱头接触,从而达到传粉的目的。莎木蜂 (*Xylocopa shelfordi*) (图4B)对花朵的长短雄蕊均有取食,每朵花平均停留时间为46s,鞋斑无垫蜂 (*Amegilla calceifera*) 直接将其口器顺次伸入长花药顶孔取食花粉,停留时间长达56s;蚁类、食蚜蝇在花上停留时间虽然较长,但接触柱头的可能性极低,所以初步将它们排除在枝毛野牡丹传粉者之外;台湾琉璃金龟、尺蠖幼虫在枝毛野牡丹花朵上

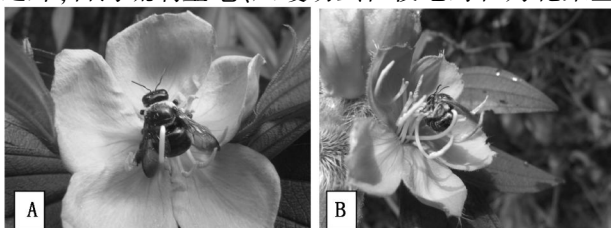


图4 木蜂访花行为

取食花瓣、花药和柱头,不利于传粉。结合昆虫与柱头接触的频率推断木蜂是枝毛野牡丹的最有效传粉者,其次为条蜂。

2.4.3 访花者的访花频率 通过观测访花录像,统计结果表明:以白天12h计算,晴天昆虫访花频率相对较高,为2.41次·h<sup>-1</sup>;阴天昆虫访花频率极低,仅为0.17次·h<sup>-1</sup>。雨天未见昆虫访花。晴天条件下木蜂类平均访花1.66次·h<sup>-1</sup>,无垫蜂访花频率为0.17次·h<sup>-1</sup>;食蚜蝇类是访花频率较高的一类昆虫,平均达到0.58次·h<sup>-1</sup>。尺蠖幼虫、台湾琉璃金龟长时间盘踞在花上,啃食花瓣、花药和柱头。

总体来看,晴天昆虫访花高峰集中在上午8:00—9:30之间,9:30以后迅速减少(图5)。

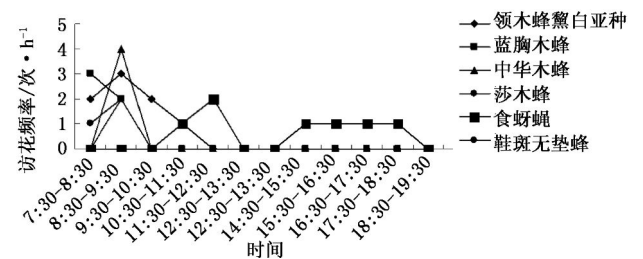


图5 主要访花昆虫访花频率(晴天)

#### 2.4.4 环境因素对访花频率的影响

##### (1) 同花期植物的影响

枝毛野牡丹需要传粉者访花才能成功传粉,因此结实率的高低与传粉者访花频率的高低密切相关。经调查,在枝毛野牡丹分布地与其花期相遇的植物有 10 余种,其中毛西番莲 (*Passiflora foetida* var. *hispidula*)、狗骨柴 (*Diplospora dubia* (Lind.) Masam)、九节 (*Psychotria rubra* (Lour.) Poir.)、红枝蒲桃 (*Syzygium rehderianum* Merr. et Perry)、络石 (*Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.)、青葙 (*Celosia argentea* Linn.) 均具有异常多的花朵。实验室对访花者身体携粉状况的观测,在木蜂科、条蜂科、食蚜蝇科、蚁科、丽金龟科访花昆虫的体表均检出枝毛野牡丹的花粉,木蜂科昆虫所带枝毛野牡丹花粉数量最大,占携带所有花粉的 25.3%,集中在其胸、腹部;条蜂科昆虫次之,占 14.3%;蚁类、食蚜蝇携带花粉极少。从主要传粉昆虫所携带的各同花期植物花粉比例的统计情况来看,枝毛野牡丹花粉在传粉中并不占优势。

##### (2) 气象因素

吊罗山自然保护区属热带季风气候,由于受季风和台风影响,全年降水量分布不均匀,四季不明显,而干湿季分明。枝毛野牡丹开花期处于雨季的开始,2012 年花期中晴天与加上多云的天气仅 11 d,雨天、阴天 40 d,占到 78.4%。野外观察结果表明,阴、雨天气等恶劣天气昆虫访花急剧减少,甚至为零。

#### 2.5 花部各构件对传粉昆虫的招引作用

对于最有效传粉昆虫木蜂而言,除去柱头处理 ( $t = 1.123\ 2, P > 0.05$ ) 与除去外轮雄蕊 ( $t = 1.136\ 5, P > 0.05$ ) 两种处理后昆虫访花频率与对照比较差异不显著;而去除花瓣后昆虫访花频率极大降低 ( $t = 3.74, P < 0.05$ ) 与对照比较差异显著。这表明单独去除柱头或外轮雄蕊对访花昆虫访花次数没有明显影响,花瓣色彩对访花昆虫有吸引作用。仅去除内轮雄蕊处理,木蜂飞近花朵,但停留次数减少,与对照处理存在显著差异 ( $t = 5.722\ 3, P < 0.05$ ),但对于鞋斑无垫蜂而言,没有影响;只保留柱头而去除花部其它结构,未见昆虫访花。以上测试结果表明花部结构在招引传粉昆虫时具有不同功能,其中紫红色花瓣吸引远处昆虫注意,紫红色的长雄蕊与花瓣颜色相近,顶端黄色的短雄蕊以及长雄蕊花丝中部黄色二叉状的关节是吸引木蜂访花的重

要部位,对大型木蜂而言花粉报酬主要来自短雄蕊;而对于另外一种传粉昆虫鞋斑无垫蜂而言,长、短雄蕊上的花粉均为其访花报酬。柱头对传粉昆虫没有招引作用。

#### 2.6 枝毛野牡丹的繁育系统

2.6.1 枝毛野牡丹的繁育系统检测 枝毛野牡丹的 OCI 值为 4,其繁育系统为异交,部分自交亲和,需要传粉者才能完成传粉。枝毛野牡丹的 P/O 约为 1 368 ~ 2 173,依据 Cruden<sup>[7]</sup> 的标准,其繁育系统为兼性异交。

2.6.2 不同授粉方式对枝毛野牡丹坐果率以及对生殖成功率的影响 不同授粉方式试验结果表明:枝毛野牡丹无自发的自花传粉现象,需要传粉者活动才能完成授粉过程,但其能人工同株异花受精;未见无融合生殖现象;诱导的自花传粉和人工异花授粉均能坐果;不同株的花粉进行异花传粉,坐果率也较高;枝毛野牡丹杂交亲和,能够人工异株异花受精和同株异花受精;不套袋、去雄、坐果率显著降低 (表 3)。

表 3 枝毛野牡丹花朵去雄、套袋及人工授粉试验的结果

| 处理方法       | 坐果率/%        | 花朵数 |
|------------|--------------|-----|
| 自然授粉(对照)   | 15.33 ± 1.05 | 36  |
| 无处理套袋      | 0            | 34  |
| 人工同株异花传粉   | 89.22 ± 2.37 | 35  |
| 人工异株异花传粉   | 90.46 ± 0.54 | 37  |
| 去雄套袋、不人工授粉 | 0            | 33  |

调查发现自然授粉条件下枝毛野牡丹坐果率仅为 15.33%,由于虫蛀而落果达到总落果数的 38.9%,其余为未授粉而落果,果实中种子胚珠比为 0.23,枝毛野牡丹 RSS 为 0.035。

### 3 结论与讨论

本研究表明枝毛野牡丹花为典型异型雄蕊,单花期仅 12 h,群体花期为 36 ± 2 d。传粉是专性虫媒,本次调查发现木蜂科和条蜂科昆虫均有访花,木蜂科蓝胸木蜂、中华木蜂、莎木蜂、领木蜂黎白亚种为最有效传粉者,条蜂科鞋斑无垫蜂也是主要传粉者,食蚜蝇等对传粉也有一定帮助,但金龟子不利于传粉。花期没有检测到花蜜,花粉是给传粉者的报酬,这与路国辉<sup>[9]</sup>、杨利平<sup>[10]</sup>、Gross<sup>[11-12]</sup>、罗中莱等<sup>[13]</sup> 研究结果基本相同。而花瓣、柱头和子房等结构则为部分访花者,如台湾琉璃豆金龟提供了食物。本次观察表明,访花者集中访问花粉提供者,又集中访问花粉接受者,为枝毛野牡丹成功传粉提供了

可能。

枝毛野牡丹的繁育系统以远交为主,部分自交亲和,需要传粉者。Cruden<sup>[7]</sup>以P/O评判繁育系统的标准,Dafni<sup>[8]</sup>的标准,以及套袋、去雄及人工授粉的试验结果均证明了以上结论。本研究得出的枝毛野牡丹繁育系统的结论与路国辉等<sup>[9]</sup>的结果一致。通常认为,植物有多种适应方式来保证异株异花受精,如雌雄异位(花内或花间繁殖器官的空间分离)、雌雄异熟(花内雌雄性功能的时间分离)以及自交不亲和等。对枝毛野牡丹而言,柱头与花药在空间位置上有明显异位现象。

澳大利亚Gross<sup>[12]</sup>根据多花野牡丹(*Melastoma affine*)两种雄蕊的排列、颜色以及花柱的位置,推测该种雄蕊应具有不同的功能,但野外观察没有找着关于传粉型雄蕊和给食型雄蕊明显分工的证据。本次研究结果显示虽然长、短雄蕊的花粉形状和花粉活力差异不显著,但从主要传粉昆虫木蜂访花行为,长、短雄蕊在花朵上的相对位置,长、短雄蕊颜色等方面来看,其存在明显分工,长雄蕊的紫红色与花瓣颜色相同不易被木蜂发现,因此比短雄蕊有更多的花粉得以保留,通过木蜂高频振动,花粉附着到昆虫的腹部,被带到另一朵花柱头上,而短雄蕊顶部的黄色与长雄蕊上黄色二叉状关节可增加木蜂类传粉昆虫的注意力以及提供花粉作为访花昆虫的报酬,因此可以推测这是枝毛野牡丹保证传粉成功的策略,这与作者对于毛蕊(*M. sanguineum*)传粉观察的结果基本相同<sup>[14]</sup>。

枝毛野牡丹相对生殖成功率极低说明其有性生殖过程存在限制,制约关键因素之一为:传粉者限制。枝毛野牡丹大多分布在海南岛东部海拔350~400 m山区,该地区多阴雨天气,持续的阴雨天气影响昆虫的访花行为,大大降低花朵授粉的机会,从而导致传粉失败。另一方面花粉限制也是一个主要原因,周边同花期植物种类繁多,造成昆虫携带枝毛野牡丹花粉比例极大降低,从而导致传粉效率降低。

还有一个重要原因是该植物果实易受虫蛀,导致坐果率大大降低。以上仅从有性生殖角度来探究限制其种群扩大的因子,至于种子扩散、萌发、植株生长发育过程是否存在限制因子,以及如何有效地保护该物种还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈 介. 野牡丹科中国植物志(第53卷第1分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 152-159
- [2] 陈 介. 中国野牡丹科野牡丹属植物的研究[J]. 华南农学院学报, 1983, 4(1): 31-36
- [3] 彭东辉, 张启翔, 黄俊婷. 中国野牡丹科观赏植物种质资源及其在福建省的分布初步调查[J]. 中国园林, 2007, 23(11): 83-88
- [4] 彭东辉. 福建、海南野牡丹科植物资源评价与利用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009
- [5] 刘林德, 祝 宁, 申家恒, 等. 刺五加、短梗五加的开花动态及繁育系统的比较研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 1041-1048
- [6] 郭素枝. 扫描电镜技术及其应用[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2006, 74-96
- [7] Cruden R W. Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants [J]. Evolution, 1977, 31(3): 32-36
- [8] Dafni A. Pollination Ecology [M]. New York: Oxford Univ Press, 1992
- [9] 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
- [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] Gross C L. The breeding system and pollinators of *Melastoma affine* (Melastomataceae): a pioneer shrub in tropical Australia [J]. Biotropica, 1993, 25(4): 468-474
- [12] Gross C L, Kukuk P F. Foraging strategies of *Amegilla anomola* at the flowers of *Melastoma affine*-no evidence for separate feeding and pollinating anthers[J]. Acta Hort, 2001, 561: 171-178
- [13] 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
- [14] 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