

DOI:10.14188/j.ajsh.2021.03.013

## 深山含笑二次开合开花动态与雌雄异熟特征

胡泽方, 李 丹, 刘 婧, 王玉兵\*

(三峡大学 生物与制药学院, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 对深山含笑(*Michelia maudiae*)的花部特征、开花动态、开花物候、花粉活力和柱头可授性进行研究。结果表明:①深山含笑花期为2月下旬至4月中上旬,表现为集中开花模式;②单花开放时间固定,且有二次开合现象,开放过程可分为露白、首次开花期、闭合期和二次展开期共4个时期;③深山含笑在单株水平上为同步集中式开花,单花花期约为7~12 d,单株花期约为20~38 d;④深山含笑柱头在开花前1 d已具有可授性,开放当天可授性最高,随后可授性迅速下降,而雄蕊在开花第2 d开始散粉,花粉活力最高时期为开花第3 d,为(64.6±6.1)%;⑤深山含笑为雌雄异熟且雌蕊先熟,并且雌雄特征有重叠表达阶段,这样不仅可有效减少自交,又可支持自交,足以保证生殖成功。

**关键词:** 深山含笑;开花动态;二次开合;雌雄异熟

**中图分类号:** S792.99

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2096-3491(2021)03-0309-06

## Flowering dynamics and dichogamy characteristics of *Michelia maudiae* for tow-time flower opening and closure

HU Zefang, LI Dan, LIU Jing, WANGg Yubing\*

(College of Biology and Pharmacy, Three Gorges University, Yichang 443002, Hubei, China)

**Abstract:** The flower characteristics, flowering dynamic and flowering phenology, pollen and stigma viability in different flowering stages of *Michelia maudiae* were studied. Results showed that: ① the flowers were produced in a mass-flowering pattern from late February to early mid-April; ② the flowering process of a single flower could be divided into four periods (petal whitening, the first flowering, the closing period and the second unfolding period), and the flowering time in one day was fixed, and two-time opening-closure flowering was observed; ③ the flowering phenology manifested some synchronization among single flower and individual, the flowering process of single flower lasted 7-12 days, and anthesis of individual lasted about 20-38 days; ④ the stigma had receptivity the day before the bloom and had the highest receptivity on the day of opening and then decreased rapidly, and stamen began to disperse pollens on the 2nd day after flowering, and the highest pollen activity was (64.6±6.1)% on the 3rd day after flowering; ⑤ *Michelia maudiae* showed dichogamy and protogyny in its flowering process, and there were the overlapping expression stage for both male and female sexuality, which can not only effectively reduce self-pollination, but also support self-pollination, to ensure the success of reproduction.

**Key words:** *Michelia maudiae*; flowering dynamic; two-time opening-closure flowering; dichogamy

收稿日期: 2021-01-19 修回日期: 2021-03-08 接受日期: 2021-05-21

作者简介: 胡泽方(1993-),女,硕士生,研究方向为植物组织培养。E-mail:huzf9922@163.com

\* 通讯联系人: 王玉兵(1977-),男,教授,主要从事植物多样性保护和植物分类学研究。E-mail:tomswfc1977@163.com

基金项目: 国家自然科学基金(31770654)

引用格式: 胡泽方, 李丹, 刘婧, 等. 深山含笑二次开合开花动态与雌雄异熟特征[J]. 生物资源, 2021, 43(3): 309-314.

Hu Z F, Li D, Liu J, et al. Flowering dynamics and dichogamy characteristics of *Michelia maudiae* for tow-time flower opening and closure [J]. Biotic Resources, 2021, 43(3): 309-314.

## 0 引言

植物的花通常开放时只绽放一次,随后以花的闭合或花瓣的凋谢来终止开花进程,而有些植物的开花过程是开放和闭合交替进行<sup>[1]</sup>,称为“二次开合”现象。木兰科的许多属种都具有此种开花方式,如木兰属(*Magnolia*)的广玉兰(*Magnolia grandiflora*)<sup>[2]</sup>,木莲属(*Manglietia*)的大果木莲(*M. grandis*)<sup>[3]</sup>、中缅木莲(*M. hookeri*)<sup>[3]</sup>、厚叶木莲(*Manglietia pachyphylla*)<sup>[4]</sup>、灰木莲(*Manglietia glauca*)<sup>[5]</sup>,拟单性木兰属(*Parakmeria*)的峨眉拟单性木兰(*Parakmeria omeiensis*)<sup>[6]</sup>,玉兰属(*Yulania*)的玉兰(*Yulania denudate*)<sup>[7]</sup>,厚朴属(*Houpoea*)的凹叶厚朴(*Houpoea officinalis* subsp. *biloba*)<sup>[8]</sup>,长喙木兰属(*Lirianthe*)的香港木兰(*Lirianthe championii*)<sup>[9]</sup>,华盖木属(*Manglietiastrum* Law)的华盖木(*Manglietiastrum sinicum*)<sup>[10]</sup>,而含笑属(*Michelia*)中涉及开花生物学的种有紫花含笑(*Michelia crassipes*)<sup>[11]</sup>、醉香含笑(*M. macclurei*)<sup>[12]</sup>、含笑(*M. figo*)<sup>[13]</sup>、深山含笑(*Michelia maudiae*)<sup>[14,15]</sup>等,但未见有二次开合的报导,本研究的前期观察结果表明,深山含笑的开花动态过程中存在二次开合的现象。

为研究含笑属开花动态和雌雄异熟对繁殖成功的影响,本文以深山含笑为研究材料,对深山含笑的花部特征、开花动态、花粉活力和柱头可授性进行了研究,其研究结果可为该物种的繁殖提供科学依据,也可为含笑属及木兰科植物的开花生物学研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

实验于2012年在湖北省宜昌市三峡大学校园内进行,供试材料为栽培于三峡大学内健康无病虫害的深山含笑,其原产地为湖南省宜章县。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 花形态学特征观察

随机选择盛开30朵花,观察花的形态学特征并测量花冠长和宽、雄蕊的数量和长度、雌蕊的长度和粗度、花柱的个数等。

#### 1.2.2 开花生物学观察

参照 Dafni<sup>[16]</sup>的方法,于2012年对深山含笑的开花物候从单花、个体和群体3个水平上进行了观察。

(1)单花水平:随机选取30个花蕾,观察深含笑开花进程中的花被片、雄蕊、柱头和花粉动态变化特征;每隔3 h观察一次,直至不再开合,雄蕊枯萎、花

瓣脱落为终止。

(2)个体水平:随机标记20个单株,观察和统计每株的始花期、盛花期和终花期。始花期为第一朵花开花的日期,个体开花数大于50%时为盛花期,花全部凋落为终花期。

(3)群体水平:以25%的个体开花时视为始花期,50%的个体达到开花高峰期时视为群体开花高峰期,95%的个体植株开花结束时视为群体终花期。

#### 1.2.3 花粉活力测定和柱头可授性检测

收集不同时期深山含笑的花各20朵,收集其花粉用TTC(triphenyl tetrazolium chloride)法测定花粉活力<sup>[17]</sup>;用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性以及可授性的强弱程度<sup>[16]</sup>。

#### 1.2.4 数据分析

用Excel 2019和SPSS 22.0软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 花的形态特征

深山含笑花单生叶腋,花蕾期花苞呈纺锤形,外部有两层苞片,外层苞片呈浅黄褐色,厚纸质,内层苞片呈深绿色,间杂褐色,较薄。花开后具香味,无蜜腺;花被片白色,厚肉质,倒卵形,长4~6 cm,具3轮,共9~11片,花被片上有竖向纹理。雄蕊为椭圆形,浅黄绿色,长0.9~1.9 cm,平均1.32 cm;宽1.0~2.0 mm,平均0.16 cm;雄蕊着生于雌蕊群柄基部,59~93枚不等,平均为73.4枚;花丝扁平,紫色,花药纵向开裂。雌蕊群柄长0.90~1.02 cm,平均0.92 cm;雌蕊离生多数,18~43枚不等,多数为20~25枚,极少数为40~43枚;雌蕊群为淡绿色的长椭圆体形,心皮卵形,雌蕊群上部突出雄蕊群0.7~1.0 cm。

### 2.2 单花开花动态

深山含笑单花开放过程可以分为以下四个阶段:①露白期(图1A):外部苞片脱落,露出白色花蕾,并且白色花被片开始松动;②首次开花期(图1B~图1D):花被片同时展开,露出雌蕊和雄蕊;③闭合期(图1E):外层和中层花被片平展,最内层花被片收拢至完全闭合;④二次展开期(图1F~图1I):内轮花被片再次展开,不再闭合,花粉散出,直至花瓣脱落。

深山含笑在露白期时花被片为黄绿色或白色(图1A),雄蕊群向内紧贴着雌蕊群,柱头显著反卷。开花第1 d 14:00左右外轮3个花被片开始展开(图1B),内两轮未展开,此时花被片完全变白,至晚上17:00~19:00时,中轮和内轮花被片开始逐渐打开,露出雄蕊和雌蕊,柱头向外卷曲程度最大,分泌有

粘液,活力最强;此时雄蕊未开裂,仍然向内紧贴雌蕊群(图1C,图1D);大约在19:00时以后,内轮花被片开始闭合,直至第2 d清晨(图1E)。开花第2 d的7:00以后,内轮花被片开始松动,雄蕊由内向外开始开裂并散粉,时间不固定;此时雌蕊柱头卷曲度逐渐变小(图1F);大约至中午12:00以后,内轮花被片完全展开,不再闭合;雄蕊群逐步散开,但不脱落,雄蕊的颜色也由浅黄色逐渐变黄褐色,花粉量很大,花被片上散落有大量花粉(图1G)。随后的3~7 d内,花被片逐渐褐化并脱落;雄蕊花粉里逐渐减少,颜色变褐色,仍不脱落,直至干枯;柱头开始变成褐色(图1H,图1I)。

2.3 开花物候

深山含笑通常每年开一次花,偶有开两次的现象。通常2月下旬进入始花期,3月份为盛花期,4月

上旬为凋谢期,11月中旬果实成熟。单花开花持续时间7~12 d不等,以10 d出现的频率最高(图2),平均开花持续时间( $9.70 \pm 1.44$ ) d。

对深山含笑30个个体开花物候研究结果表明,个体开花持续时间(20~38) d不等,以29 d出现的频率最高(图3),平均开花持续时间( $30.25 \pm 5.27$ ) d。个体间始花日期较接近,变异很小,始花期最早个体为3月12日,最迟为3月18日。

观察点的深山含笑种群的始花期为2012年3月14日,开花高峰期为2012年3月23日,终花期为2012年4月17日,所观赏的栽培种群的开花持续时间长达34 d,可保证在较长时间段内都有花药陆续散粉,确保不同时期的雌蕊授粉成功。从始花期到开花高峰期之间持续时间只有9 d,时间较短,表明深山含笑表现为一种大量集中的开花模式。



图1 深山含笑开花动态

Fig 1 Floral dynamics of *Michelia maudiae*

注:A,露白;B,首次开花(前期);C&D,首次开花期(示雄蕊和雌蕊);E,闭合期;F,二次展开期(前期);G&H,二次展开期(中后期);I,二次展开期(末期)  
Note: A, petal whitening; B, first flowering (early stage); C&D, first flowering (showing stamen and pistil); E, closing period; F, second unfolding period (early stage); G&H, second unfolding period (middle to late stage); I, second unfolding period (late flowering)



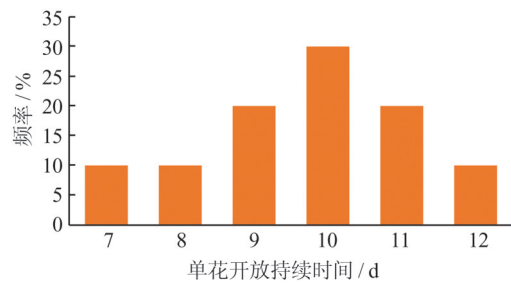


图2 深山含笑单花开放持续时间

Fig 2 The single flower opening duration of *Michelia maudiae*

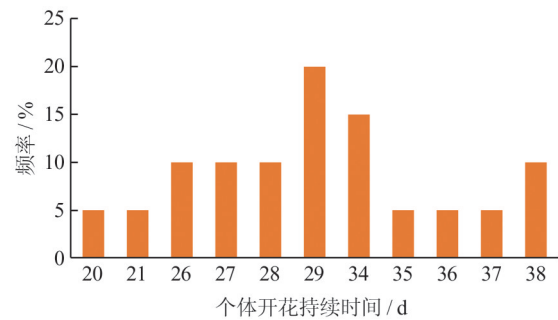


图3 深山含笑个体开花持续时间

Fig. 3 The individual flowering duration of *Michelia maudiae*

2.4 花粉活力和柱头可授性

不同开花时期花粉活力和柱头可授性测定结果见表1。深山含笑花粉在开放前一天的花蕾时期已具有一定的活性,为(12.8±2.6)%;随后逐渐升高,开放第1 d花粉活力为(25.8±0.6)%,第2 d为(42.4±0.1)%;在第3 d达到最高值,为(64.6±

6.1)%。随后花粉活力逐渐降低,检测结果表明,在花药开裂后的第7 d,花粉活力仅为(5.0±0.4)%,而第8 d后,花粉失去活力。

深山含笑在开放前一天,柱头显著反卷,此时雌蕊柱头已具有可授性;在开放当天,柱头依然显著反卷,明显的乳突,粘液明显,此时柱头可授性最强;之后柱头可授性逐渐减弱,直至开花后第4 d,柱头变成浅褐色,失去可授性。

3 讨论

花的式样包括花的颜色、形状、气味均等,一般来说,多花的开花式样比少花的开花式样更为显著,能吸引较多的传粉者访花<sup>[18]</sup>。深山含笑通常每年开花一次,偶有一年开两次花,花期常为2月下旬至4月中上旬。花冠大,花被片白色,且开花后具有浓郁的芳香,这些都是影响传粉成功的重要因素之一。深山含笑与同科植物灰木莲(*Manglietia glance*)<sup>[5]</sup>、峨眉拟单性木兰(*Parakmeria omeiensis*)<sup>[6]</sup>、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)<sup>[2]</sup>等木兰科植物的开花时间相似,且开放时间相对固定,单花持续时间较长,花期为7~12 d不等。但深山含笑开花呈现出一种“集中开花”模式,与木兰科玉兰属植物的开花模式相似<sup>[7]</sup>,植物这种“集中式”的开花模式,可能是其在环境的选择压力下形成的对环境的一种适应行为,因为如果单位时间产生少量的花将不利于吸引足够的传粉昆虫<sup>[19]</sup>。深山含笑这种开花模式在很多种植物中都存在,如柔毛淫羊藿(*Epimedium pubescens*)<sup>[20]</sup>、紫花地丁(*Viola philippica*)、夏腊梅(*Calycanthus*

表1 深山含笑的花粉活力和柱头可授性

Table 1 Pollen viability and stigma receptivity of *Michelia maudiae*

| 开花期/d | 雄蕊特征             | 花粉活/%                  | 雌蕊特征                        | 柱头可授性 |
|-------|------------------|------------------------|-----------------------------|-------|
| 0     | 雄蕊紧贴柱头,花药未开裂     | 12.8±2.6 <sup>d</sup>  | 柱头向外显著反卷,表面有光泽,具明显的乳突       | ++    |
| 1     | 雄蕊紧贴柱头,花药未开裂     | 25.8±0.6 <sup>e</sup>  | 柱头向外显著反卷,表面有光泽,具明显的乳突,并分泌粘液 | +++   |
| 2     | 雄蕊散开,花药完全开裂      | 42.4±0. <sup>b</sup>   | 柱头向内合拢,但不紧贴;不具光泽和粘液         | ++    |
| 3     | 雄蕊散开,花药完全开裂,散粉盛期 | 64.6±6.1 <sup>a</sup>  | 柱头合拢,但不紧贴;不具光泽和粘液           | +     |
| 4     | 雄蕊开始变褐色,花粉量减少    | 15.1±1.0 <sup>d</sup>  | 顶部开始变褐                      | +     |
| 5     | 雄蕊褐色加深           | 12.0±0.7 <sup>de</sup> | 柱头变褐                        | —     |
| 6     | 雄蕊变褐,开始干缩        | 8.2±1.9 <sup>cd</sup>  | 柱头变褐                        | —     |
| 7     | 雄蕊干缩             | 5.0±0.4 <sup>d</sup>   | 柱头变褐                        | —     |
| 8     | 雄蕊开始散开,花药开始开裂    | 0±0 <sup>e</sup>       | 柱头变褐                        | —     |

注:同一列不同小写字母表示不同水分间存在显著差异( $P<0.05$ );“—”表示柱头不具可授性,“+”表示柱头的可授性较弱,“++”表示柱头具可授性弱,“+++”表示柱头具较强的可授性

Note: different small letters in the same column indicate significant difference between different water contents ( $P<0.05$ ); “—” means that the stigma is not receptive, “+” means that the stigma is very weak, “++” means that the stigma is weakly receptive, “+++” means that the stigma has strong receptivity.

*chinensis*)<sup>[22]</sup>等。

花的二次开合现象存在于木兰科内木莲属<sup>[3~5]</sup>、玉兰属<sup>[7]</sup>、拟单性木兰属<sup>[6]</sup>、木兰属<sup>[2]</sup>、厚朴属<sup>[8]</sup>、长喙木兰属<sup>[9]</sup>、华盖木属<sup>[10]</sup>等属中,推测花的二次开合现象可能是木兰科部分属种的特有的开花生物学特征。而已报道的含笑属植物的开花生物学没有观察到此现象<sup>[11~15]</sup>,但本研究观察发现,深山含笑的开花进程也具有“二次开合”现象。“二次开合”的生物学意义可能为:开花当天为雌性阶段,柱头处于最佳可授期,花被片张开散发花香可以吸引昆虫来访,此过程一般在 17:00~20:00 左右进行;夜晚花被片闭合,使花内温度高于花外,可促进花粉在柱头上的萌发<sup>[2]</sup>;同时还可作为传粉甲虫提供庇护场所,增加传粉机率<sup>[23]</sup>。本研究还发现,具活力的深山含笑柱头的形态特征与其他研究者总结出的木兰科植物柱头活力特征基本一致<sup>[24]</sup>,但失活柱头的形态特征与失活后紧贴雌蕊群柱这一描述不同(如玉兰<sup>[7]</sup>),深山含笑柱头失活后呈散开状,这与广玉兰柱头失活后仍向外展相似<sup>[2]</sup>。

雌雄异熟导致了两性花中出现了雌性生殖时期和雄性生殖时期,使得同一植株上开的花出现了作为功能上的雌花和雄花的区别。深山含笑单花水平表现为雌性先熟,当雌蕊成熟时(可授性强时),此时花粉虽具有一定活力,但花药并没有开裂使花粉散出,使雌雄功能表达在时间上得以分离,其它木兰科植物也有雌蕊先熟的特点<sup>[2~13]</sup>,但本研究结果与钱一凡等人认为深山含笑雄蕊先熟的结果有冲突<sup>[15]</sup>。深山含笑存在雌雄特征同期表达的阶段,有 4 d 的重叠期,重叠期内有近 2 d 的可授性强,表明其有足够的时间接受外来的花粉,完成受精作用,这与钱一凡等人套袋结果一致<sup>[15]</sup>。

## 参考文献

- [1] van Doorn W G, Van Meeteren U. Flower opening and closure: a review [J]. J Exp Bot, 2003, 54(389): 1801-1812.
- [2] 孟希,王若涵,谢磊,等. 广玉兰开花动态与雌雄异熟机制的研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(4): 63-69.  
Meng X, Wang R H, Xie L, et al. Flowering dynamics and dichogamous mechanism in *Magnolia grandiflora* [J]. J Beijing For Univ, 2011, 33(4): 63-69.
- [3] 付玉斌,陈少瑜,吴涛. 濒危植物大果木莲与中緬木莲的花部特征及繁育系统比较[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(4): 6-10.  
Fu Y P, Chen S Y, Wu T. Comparison of floral traits and breeding system of endangered plant *Manglietia grandis* and non-endangered plant *Manglietia hookeri* [J]. J Northeast For Univ, 2010, 38(4): 6-10.
- [4] 杨晓丽. 濒危植物厚叶木莲的保护生物学研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.  
Yang X L. Conservation biology of endangered plant *Manglietia pachyphylla* [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [5] 潘丽琴,郝建,徐建民,等. 灰木莲二次开合开花动态与雌雄异熟特征[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(1): 96-103.  
Pan L Q, Hao J, Xu J M, et al. Flowering dynamics and dichogamy characteristics of *Manglietia glauca* for two-time flower opening and closure [J]. J Zhejiang For Coll, 2018, 35(1): 96-103.
- [6] 余道平,李策宏,文香英,等. 峨眉拟单性木兰的开花生物学特性与繁育系统[J]. 广西植物, 2019, 39(5): 600-607.  
Yu D P, Li H C, Wen X Y, et al. Flowering biological characteristics and breeding system of *Parakmeria omeiensis* [J]. Guihaia, 2019, 39(5): 600-607.
- [7] Wang R, Jia H, Wang J, et al. Flowering and pollination patterns of *Magnolia denudata* with emphasis on anatomical changes in ovule and seed development [J]. Flora, 2010, 205(4): 259-265.
- [8] 杨旭,杨志玲,王洁,等. 濒危植物凹叶厚朴的花部综合特征和繁育系统[J]. 生态学杂志, 2012, 31(8): 551-556.  
Yang, X, Yang Z L, Wang J, et al. Floral syndrome and breeding system of endangered species *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* [J]. Chin J Ecol, 2012, 31(8): 551-556.
- [9] 刘坤良,王亚玲,张寿洲. 香港木兰开花生物学研究[J]. 亚热带植物科学, 2013, 42(4): 293-296.  
Liu K L, Wang Y L, Zhang S Z. Floral biology and pollen germination of *Magnolia championii* [J]. Subtrop Plant Sci, 2013, 42(4): 293-296.
- [10] Chen Y, Chen G, Yang J, et al. Reproductive biology of *Magnolia sinica* (Magnoliaceae), a threatened species with extremely small populations in Yunnan, China [J]. Plant Divers, 2016, 38(5): 253-258.
- [11] 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 Y X, Cai M Y, Jin X L, et al. Pollination biology of *Michelia crassipes* [J]. Guihaia, 2017, 37(10): 1322-1329.
- [12] 张启翔. 中国观赏园艺研究进展(2016)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016: 428-431.  
Zhang Q X. Advances in ornamental horticulture of Chi-

- na, (2016) [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016: 428-431.
- [13] 江丽, 洪燕, 陈燕, 等. 含笑开花进程及花粉活力研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2015, 38(4): 441-446.
- Jiang L, Hong Y, Chen Y, *et al.* Flowering process and pollen vitality of *Michelia figo* [J]. J Zhejiang Norm Univ Nat Sci, 2015, 38(4): 441-446.
- [14] 陈潜娥, 司马永康, 郝佳波, 等. 中国特有观赏树种深山含笑的花部变异[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(8): 2023-2030.
- Chen Q E, Sima Y K, Hao J B, *et al.* Floral variation of *Michelia maudiae*, an endemic ornamental tree endemic in China [J]. Hubei Agric Sci, 2016, 55(8): 2023-2030.
- [15] 钱一凡, 黎云祥, 陈兰英, 等. 深山含笑传粉生物学研究[J]. 广西植物, 2015, 35(1): 36-41.
- Qian Y F, Li Y X, Chen L Y, *et al.* Pollination biology of *Michellia maudiae* [J]. Guihaia, 2015, 35(1): 36-41.
- [16] Dafni A. Pollination biology: a practical approach [M]. New York: Oxford University Press, 1992: 1-57.
- [17] 胡适宜. 植物胚胎学实验方法(一): 花粉生活力的测定[J]. 植物学通报, 1993(2): 60-62.
- Hu S Y. Experimental methods in plant embryology (I): determination of pollen viability [J]. Chin Bull Bot, 1993(2): 60-62.
- [18] 唐璐璐, 韩冰. 开花式样对传粉者行为及花粉散布的影响[J]. 生物多样性, 2007, 15(6): 680-686.
- Tang L L, Han B. Effects of floral display on pollinator behavior and pollen dispersal [J]. Biodivers Sci, 2007, 15(6): 680-686.
- [19] 肖宜安, 何平, 李晓红. 濒危植物长柄双花木开花物候与生殖特性[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 14-21.
- Xiao Y A, He P, Li X H. The flowering phenology and reproductive features of the endangered plant *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* H. T. Chang (Hamamelidaceae) [J]. Acta Ecol Sin, 2004, 24(1): 14-21.
- [20] 杨萍, 谌利民, 权秋梅, 等. 不同生境下柔毛淫羊藿的开花物候[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2015, 36(1): 17-23.
- Yang P, Chen L M, Quan Q M, *et al.* The flowering phenology of *Epimedium pubescens* Maxim in different habitats [J]. J China West Norm Univ Nat Sci Ed, 2015, 36(1): 17-23.
- [21] 孙慧芳, 魏岩, 闫紫烟, 等. 紫花地丁花形态的季节转化对繁育系统及结实的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(12): 198-204.
- Sun H F, Wei Y, Yan Z Y, *et al.* Effect of seasonal transformation of flower morphology on reproduction of *Viola philippica* [J]. Acta Prataculturae Sin, 2020, 29(12): 198-204.
- [22] 张文标, 金则新. 濒危植物夏蜡梅(*Sinocalycanthus chinensis*)的开花物候与传粉成功[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 4037-4046.
- Zhang W B, Jin Z X. Flowering phenology and pollination success of an endangered plant *Sinocalycanthus chinensis* [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 28(8): 4037-4046.
- [23] Goldblatt P, Bernhardt P, Manning J C. Pollination of petaloid geophytes by monkey beetles (Scarabaeidae: Rutelinae: Hopliini) in Southern Africa [J]. Ann Mo Bot Gard, 1998, 85(2): 215.
- [24] 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 Y L, Li Y, Zhang S Z, *et al.* The crossing result of Magnoliaceae [J]. J Wuhan Bot Res, 2003, 21(6): 508-514.

□

(编辑: 张丽红)