

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201710026

引文格式: 孙颖, 崔兰明, 李梦雨, 等. 绵枣儿的开花物候与传粉特性 [J]. 广西植物, 2018, 38(5): 608–616

SUN Y, CUI LM, LI MY, et al. Flowering phenology and pollination characteristics of *Barnardia japonica* [J]. *Guihaia*, 2018, 38(5): 608–616

## 绵枣儿的开花物候与传粉特性

孙颖, 崔兰明, 李梦雨, 王蕾, 王欢, 何淼\*

(东北林业大学 园林学院, 哈尔滨 150040)

**摘要:** 该文对绵枣儿的开花物候与传粉特性进行了研究, 分析了绵枣儿的开花进程、开花物候指数、开花物候指数对其生殖成功的影响, 重点探讨了绵枣儿对传粉昆虫的种类及其活动规律。结果表明: (1) 绵枣儿始花日期为7月中下旬, 单株持续时间15 d左右, 种群持续时间30~35 d。呈现出“M”型开花物候曲线, 其两年的开花同步指数分别为0.862、0.885, 表明开花的年际间差异较小。并且分析出植株的相对开花强度分布在30%~60%之间。(2) 相关分析表明: 绵枣儿的开花数目与坐果数和持续时间呈现出极显著正相关( $P<0.01$ ), 绵枣儿的持续时间与坐果数之间呈现出显著相关( $P<0.05$ ), 而其始花日期与开花数目、坐果数和持续时间并没有显现出相关性, 即绵枣儿植株开花的数目越多, 其坐果率越高, 持续时间也就越长。(3) 绵枣儿的访花昆虫总共有14种, 可分属为5目10科。其中传粉昆虫有5科10种。该研究结果表明各传粉昆虫在单花停留的时间和其访花频率上呈现出显著的差异, 在日访花频率上也差异明显。

**关键词:** 绵枣儿, 开花物候, 传粉特性

中图分类号: Q949.9, S682.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)05-0608-09

## Flowering phenology and pollination characteristics of *Barnardia japonica*

SUN Ying, CUI Lanming, LI Mengyu, WANG Lei, WANG Huan, HE Miao\*

(College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** This paper mainly included the research of flowering phenology and pollination characteristics of *Barnardia japonica*, the duration and flowering phenology index of *B. japonicas*, and the influence of flowering phenology index of *B. japonica* on the reproduction of flower, the species and activities of pollinating insects were expounded. The results were as follows: (1) *B. japonica* bloomed in middle and late July, the duration of a single plant was about 15 d, the duration of the population lasted about 30–35 d, and the duration of the population was “M” type. The flowering synchronization index in two years were 0.862 and 0.885, there was little difference between these two years, and the relative flowering intensity of each plant was mainly distributed between 30% and 60%. (2) According to the correlation analysis, there were significant positive correlations ( $P<0.01$ ) among the flower numbers, the fruit setting numbers and the

收稿日期: 2017-12-06

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项项目(2572017CA13) [Supported by Special Fundamental Research Program of Central Universities (2572017CA13)].

作者简介: 孙颖(1979-), 女, 吉林长春人, 博士, 副教授, 研究方向为园林植物种植资源开发与利用, (E-mail) littlesuning@126.com。

\*通信作者: 何淼, 博士, 副教授, 主要从事园林植物培育和养护管理研究, (E-mail) shanshuihiye@163.com。

length of duration, and the duration was significantly correlated ( $P < 0.05$ ) with the fruit setting numbers, but there was no correlation between either beginning flowering time and flower numbers, or between fruit numbers and duration. It means that the more are there flowers, the more are the fruit setting rates, and the longer the duration. (3) There were totally fourteen species of insects which visited flowers belonging to five orders and ten families in two years, of which the pollinating insects belonged to five families and ten species. All the analyses indicate that there are significant differences between pollinating insects' staying time on a single flower and visiting frequency, and there are obvious differences on daily visiting frequency.

**Key words:** *Barnardia japonica*, flowering phenology, pollination characteristics

开花物候指的是植物在不同季节的环境条件下长期生长从而呈现出的不同生命周期活动变化规律的总结(郭永强, 2004)。植物的开花物候不仅是植物重要的生活史特征之一, 也是一个重要的适合度因子, 在植物开花式样、非生物因素及开花植物的遗传基础和自然选择, 以及探讨与其适应意义的联系等方面都有重要作用(Ollerton & Lack, 1998; Bawa et al, 2003)。植物的生殖成功与否在很大程度上受到植物开花物候的影响(Rathcke & Lacey, 1985)。但是, 植物花粉流和植物的传播方式(自交/异交)是受植物自身的传粉机制决定的(汪小凡和陈家宽, 2001), 因而对植物的繁殖发育有重要影响。植物开花物候的变异直接影响传粉者的种类和访花行为, 进而影响植物的传粉成功和适合度(Flanagan & Moser, 1985; Fuchs & Lobo, 2003; Selbo & Snow, 2005)。植物的开花物候与传粉者的相互协作对植物的传粉成功是很重要的, 持续时间到来的过早或过晚会因缺少有效的传粉者而不能自然结实, 而且有的植物因缺少稳定的传粉者会影响到植物的坐果率(Osada & Sugiura, 2003)。绵枣儿在哈尔滨为引种植物, 通过对绵枣儿的栽培观察, 了解绵枣儿的适应范围和城市应用价值。

绵枣儿(*Barnardia japonica*) 归属于天门冬科绵枣儿属(*Barnardia*), 是常见的多年生草本, 又被称为天蒜、地兰、地枣儿等。绵枣儿在我国分布非常广泛, 在新疆、西藏、青海、宁夏、贵州和海南等地少有分布, 此外在各省(区)均有分布, 一般生长在海拔 2 600 m 以下的山坡、草地、路旁和林缘(中国植物志编委会, 1980), 可药用或食用(邵建章等, 1995)。绵枣儿花色艳丽, 持续时间长, 耐

寒、耐旱性强, 生长季节不需要特殊管理, 病虫害较少, 此外还有一定的固定水土的能力。目前有关绵枣儿属植物的研究, 主要集中在育种繁殖、细胞学、遗传学等方面(任福才等, 2014; 王延敏等, 2014), 而对绵枣儿属植物开花生物学方面的相关研究很少。本研究以长白山引种至东北林业大学的绵枣儿为对象, 连续两年进行观测试验, 记录并整理绵枣儿开花过程中的各项参数, 明确其开花物候和传粉机制, 深入了解其个体发育过程, 为其常规育种、杂交育种提供相应的理论指导, 有助于绵枣儿属植物新品种的选育和在城市园林景观中的应用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

本研究材料为 2014 年从长白山引种至东北林业大学园林学院苗圃的绵枣儿植株。

### 1.2 方 法

1.2.1 开花物候观测 随机选取 50 株绵枣儿进行挂牌标记, 连续两年, 从个体水平和群体水平观察植株开花物候, 记录开花情况及开花参数。

从植株抽葶开始连续密切观察试验植株, 并记录一系列开花参数, 包括始花日期及当日花数, 开花高峰期及当日花数, 终花日期及当日花数, 植株个体与群体的总持续时间, 植株个体与群体的平均持续时间, 相对开花强度, 花朵开放百分率, 开花同步性指数。按照 Dafni (1992) 的标准描述绵枣儿的种群开花进程, 即 5% 个体开花的日期为始持续时间; 50% 个体开花的日期为盛持续时间, 少于 10% 个体开花的日期为末持续时间, 当群体

中有 95% 的植物开花完毕时可以视为种群持续时间已经结束。

植物的开花强度是用来表达花朵分布频率相对地位的一种方式 (Herrera, 1986)。计算方法:

某植物的开花强度 =

该植物开花高峰日产生的花数

该种群中植株在其开花高峰日产生的单株最大花数。

开花同步性的高低用开花同步性指数检测 (McIntosh, 2002; 肖宜安等, 2004)。计算方法:

$$S_i = \frac{1}{n-1} \left| \frac{1}{f_i} \sum_{j=i}^n e_i \neq j \right|$$

式中,  $e_i$  用来表示单株  $i$  和  $j$  持续时间重叠的时间 (d),  $f_i$  用来表示单株  $i$  开花的总时间 (d),  $n$  为个体总数。  $S_i$  的范围为 0~1, 若  $S_i$  为“0”, 则群体内个体持续时间无重叠, 若  $S_i$  为“1”, 则完全重叠。

1.2.2 传粉媒介及传粉行为 (1) 在绵枣儿盛花持续时间对其访花者进行观察、拍照、统计。用白网捕捉停留于绵枣儿花朵上的访花者, 并放入毒瓶中杀死, 请专业人士鉴定访花者的种类。(2) 观察并记录各种传粉昆虫的访花行为, 参照传粉昆虫的相关资料, 分析其与花部特征之间的关系和访花模式。(3) 选择在晴朗的天气条件下, 随机观察 5 株植物, 并记录 1 d 内来传粉的昆虫的种类、数量、访花次数, 用秒表记下在单朵花上的停留时间, 从 7:00 观测到 17:00, 计算出昆虫的访花频率, 密切观察并记录下传粉昆虫的日活动规律。

## 2 结果与分析

### 2.1 开花物候

2.1.1 种群开花进程 绵枣儿的种群持续时间为 7 月中下旬至 8 月中下旬 (表 1)。从植物个体水平上来看, 持续时间均为 16 d, 2015 年的始花日期和开花高峰期与 2016 年相比, 比 2016 年早 6 d, 始花日期和开花高峰分别为 7 月 26 日和 7 月 29 日, 单株植株持续时间平均皆为 15 d。从种群水平上来看, 2015 年持续时间为 31 d, 2016 年为 35 d。从种群开花进程上来看, 两年的开花曲线均呈“M”型, 每年各有两个开花高峰, 但日期上有所差异, 2015 年每日最高开花比例可达 12%, 2016 年最高比例可达

16%。种群开花 21~22 d 之后即可达到全部开花 (图 1, 图 2)。

2.1.2 开花同步指数与相对开花强度 运用开花同步性指数来反应植物个体持续时间重叠的程度, 通过对植物进行的两年密切观察, 计算得出 2016 年绵枣儿植株的平均开花同步指数为 0.885, 其持续时间重叠程度比 2015 年高, 2015 年绵枣儿的平均开花同步指数为 0.862 (表 1)。持续时间重叠的时间越长, 能够吸引的传粉者就越多, 最终生殖成功的几率也越高。相对开花强度是一项用来反应植物花资源空间分布的指标, 大多数植物的开花强度相对较低 (Herrera, 1986; Buide et al, 2002), 绵枣儿也如此。由图 4 可知, 绵枣儿的开花强度主要在 30%~60% 之间分布, 其中分布频率最高的为 40%, 达到总频率的 24%。

2.1.3 开花指数与生殖成功的相关分析 从对绵枣儿这些指数与生殖成功的相关分析结果可以看出, 绵枣儿的开花数目与坐果数和持续时间呈现出极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 持续时间与坐果数之间呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 而始花时间与开花数目、坐果数和持续时间并未呈现出相关性。这说明绵枣儿开花数目越多, 其坐果率越高, 持续时间也越长。

2.1.4 绵枣儿的访花昆虫与访花行为规律 初步查明绵枣儿的访花者主要有 14 种, 分属 5 目 10 科。其中, 主要的传粉昆虫包括双翅目中食蚜蝇科的黑带蚜蝇 (*Episyrphus balteatus*)、黑蜂蚜蝇 (*Volucella nigricans*)、短尾管食蚜蝇 (*Eristalis* sp.)、黄环粗股蚜蝇 (*Syrirta pipiens*)、蜂蚜蝇 (*Volucella* sp.) 和膜翅目中蝶赢科的蝶赢 (*Rhynchium bruneum*)。

经过长期的跟踪观察发现, 不同的访花昆虫在单花停留时间上互不相同, 且其在访花频率上存在较为明显的差异。由图 5 可知, 黑蜂蚜蝇的单花停留时间最长, 通常在 1 min 以上, 其次为黄环粗股蚜蝇, 单花停留时间约为 40 s, 黑带蚜蝇的单花停留时间最短, 仅为 5 s。由图 6 可知, 而在访花频率方面, 黄环粗股蚜蝇的访花频率排在第一, 每花平均为 7.83 次·h<sup>-1</sup>, 其次为短尾管食蚜蝇, 每花平均访花频率为 0.85 次·h<sup>-1</sup>, 而访花频率最低的是黑蜂蚜蝇, 每花平均为 0.13 次·h<sup>-1</sup>。

通过对主要传粉昆虫的访花行为观察, 发现

表 1 绵枣儿植株个体和群体水平的开花物候  
Table 1 Flowering phenology at individual level and population level

观测项目 Observation item		2015	2016
个体数 Individual number	个体水平 Individual level	<i>n</i> = 50	<i>n</i> = 50
始花日期及当日花数 Flower-beginning date and flower number of the day	日期 Date (Month-Day)	07-20	07-26
	平均花数 Average flower number	4.8	5
	变异范围 Range of variation	1~9	3~8
持续时间 Duration of flowering period	持续时间 Duration(d)	15.9	15.8
	变异范围 Range of variation	7~25	9~2
开花高峰期 Peak of flowering	日期 Date (Month-Day)	07-23	07-29
	平均花数 Average flower number	7.4	9.6
	变异范围 Range of variation	4~16	5~18
开花重叠指数 Mean synchrony	重叠指数 Index of redundancy	0.862	0.885
	群体水平 Population level		
始花日期及当日花数 Flower-beginning date and flower number of the day	日期 Date (Month-Day)	07-18	07-22
	平均花数 Average flower number	6	5
	变异范围 Range of variation	4~11	3~8
持续时间 Duration of flowering period	持续时间 Duration(d)	31	35
	开花高峰期 Peak of flowering	日期 Date (Month-Day)	07-24
末花日期及当日花数 Flower-ending date and flower number of the day	日期 Date (Month-Day)	08-17	08-25
	平均花数 Average flower number	4	2.5
	变异范围 Range of variation	2~7	2~3

黄环粗股蚜蝇体型相对其他传粉昆虫较小,但是其飞行速度快,活动范围较小。通常飞落在花被片间,整个身体覆盖于花朵之上,头埋于花朵中,用口器吸食花蜜,继而爬行出花朵,飞往下一朵花。在采集花蜜的时候,其头部、胸部、背部、前足和中足容易沾染花粉。所以可以得出绵枣儿异花传粉的主要传粉昆虫之一为黄环粗股蚜蝇。

短尾管食蚜蝇能够短时间内访问多株植物。此昆虫以花朵基部的花蜜和柱头上的分泌物为主要食物,有的时候也舔食花药上的花粉,有相对较大的活动范围。短尾管食蚜蝇全身具有短生绒毛,使得其在吸食花蜜时极易沾染携带花粉,飞行期间触及或散落在柱头上,是绵枣儿异花传粉的

主要昆虫之一。

黑带蚜蝇是一种食蚜蝇科的昆虫,体型略大于黄环粗股蚜蝇,飞行速度快,活动范围大,单花停留时间最短,只有 5 s,穿梭于多株植物之间访花,活动范围大。黑带蚜蝇通常直接落于花朵上,舔食花粉,偶尔将头深入花朵深处,吸食花蜜,在这个过程中胸部和腿部最易触及花粉,为花粉的传播提供了有效的途径。

黑蜂蚜蝇在四种食蚜蝇科昆虫中体型最大,吸食花蜜时可以覆盖在 2~4 朵小花上,口器较长,头部与胸部与花朵有一定的距离,所以黑蜂蚜蝇的腹部和它的腿部会更易携带花粉,在下次访花时起到传粉的作用。

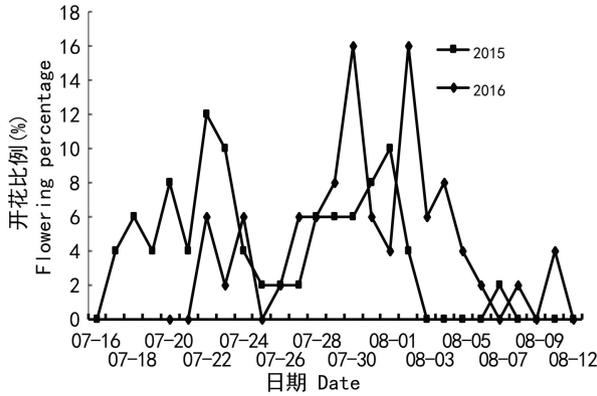


图 1 绵枣儿种群开花物候曲线

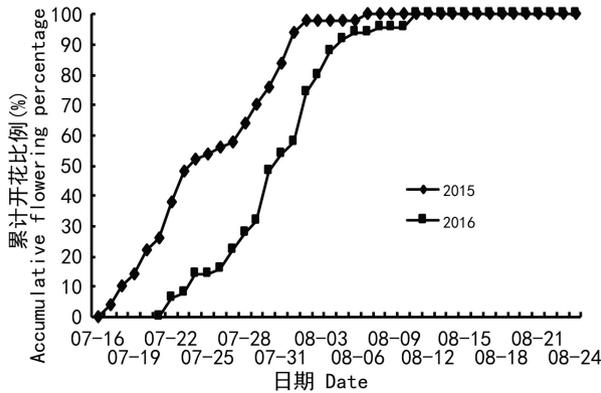
Fig. 1 Flowering phenology curves of *Barnardia japonica*

图 2 绵枣儿种群开花物候

Fig. 2 Flowering phenology of *Barnardia japonica*

蝶羸科昆虫属膜翅目,有着相对较大的体型。由于口器很短,吸食花蜜时需将头埋于花朵中,因而胸部和足部极易携带花粉,从而起到传粉的作用。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 绵枣儿的开花物候特点及影响因素

植物开花物候的影响因素有很多,植物类群的系统发生及遗传特性会影响开花物候(周世良和洪德元,1998;何亚平和刘建全,2003);环境条件(如纬度、海拔、光照、温度和湿度等)也会对开花物候产生影响(王金子,2011;Barren & Harder,

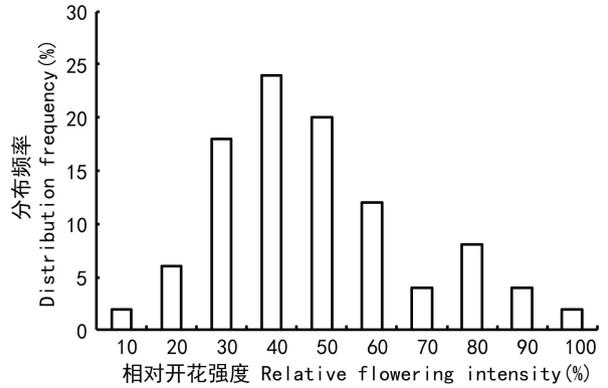


图 3 绵枣儿植株个体相对开花强度分布图

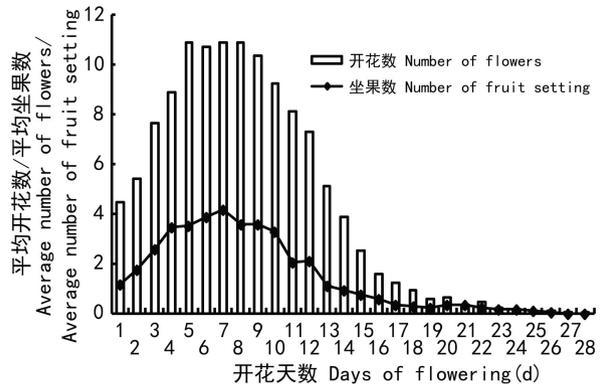
Fig. 3 Relative flowering intensity distributions for individual plants of *Barnardia japonica*

图 4 绵枣儿不同开花天数的坐果率变化

Fig. 4 Changes of fruit setting rates at different flowering days of *Barnardia japonica*

1996)。对绵枣儿连续两年的开花物候观测发现,绵枣儿无论是在个体水平还是群体水平,两年间的各项数据均比较接近,尽管两年间的开花高峰期的日期有少许的差别,但开花物候表现出相对较高的相似性。每年大规模开花一次,持续时间集中在7月中下旬至8月中下旬,种群持续时间在30 d以上,较长的持续时间能够保证植株面对环境变化有足够的缓冲时间,降低了不良的自然环境对植物的影响,从而提高生殖成功率。根据以上的结果可以得出,植物复杂的微生境和遗传因子会影响到植物个体的开花进程(Zimmerman &

表 2 植株个体开花数目、始花时间、持续时间  
及坐果数的相关性分析

Table 2 Correlation analyses among flower number, flower-beginning date, duration and number of fruit setting

	开花数目 Flower number	坐果数 Number of fruit setting	持续时间 Duration
坐果数 Number of fruit setting	0.545 * *		
持续时间 Duration	0.855 * *	0.449 *	
始花日期 Flower beginning date	0.057	-0.240	-0.049

注: \* 表示在 0.05 水平上差异显著; \* \* 表示在 0.01 水平上差异显著。

Note: \* means correlation is significant at 0.05 level; \* \* means correlation is significant at 0.01 level.

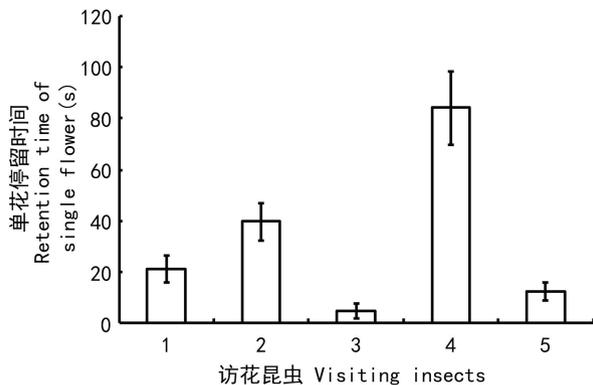


图 5 绵枣儿花的主要访花昆虫单花停留时间

Fig. 5 Visiting time of main visiting insects to *Barnardia japonica*

Gross, 1984), 而绵枣儿在两年间开花进程上的差异, 有很大的可能是由两年间气候因素的差异所造成的。2016 年的气温相对较低, 5—7 月份的平均气温比 2015 年低 0.5~1.5 °C, 6 月份的平均气温是 20.5 °C, 比 2015 年 6 月份低了 1.5 °C, 而且 2016 年 6 月份多为阴天, 晴朗的天气较少, 光照强度较低, 绵枣儿持续时间延迟可能是由低温和连续阴天导致的。

### 3.2 绵枣儿的开花物候与生殖成功

本研究结果表明, 绵枣儿的开花数目与坐果

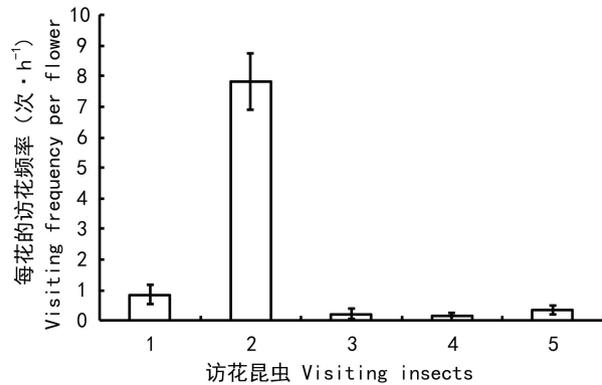


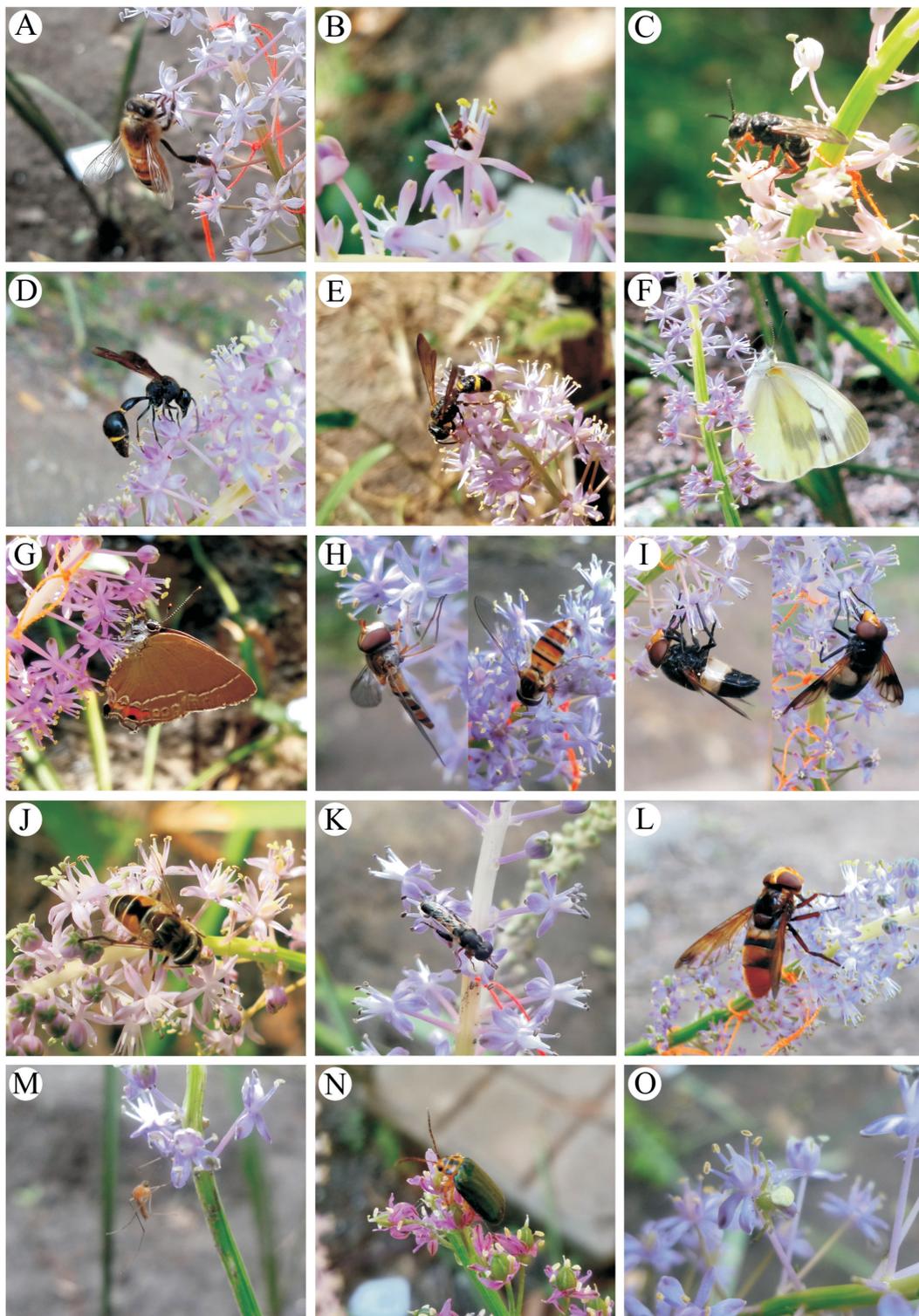
图 6 绵枣儿花的主要访花昆虫的访花频率

Fig. 6 Visiting frequency of main visiting insects to *Barnardia japonica*

数和持续时间呈现出极显著正相关, 表明绵枣儿的开花数目越多, 其坐果率越高, 持续时间也越长。这与李新蓉等 (2006)、Augsburger (1983) 的结果大致相同。对绵枣儿而言, 较多数量的集中开花加大了传粉者的访问次数, 增加了传粉的机会; 并且绵枣儿持续时间越长, 传粉者的传粉成功率也就越大。本研究中, 植物从始持续时间到开花高峰期所需要的时间较短, 为 6~9 d, 而从开花高峰期到末持续时间所需时间较长, 为 24~25 d, 表现为“快-慢”的变化; 且两年绵枣儿种群持续时间同步指数较高, 分别是 0.862 和 0.868, 呈现出一种大量的、集中的开花模式, 此模式能帮助花朵吸引更多的传粉昆虫, 使其在绵枣儿的授粉期内进行授粉的机会增多, 从而能够提高传粉的成功率。本研究植株的坐果率与单位时间内的开花数量有直接关系, 这与 Dieringer (1991)、O' Neill (1997) 和 Kelly (1992) 的研究结果一致。这种集体开花的模式在增加传粉机率的同时也可能增加了花粉个体内和个体间的传递机率 (Eckhart, 1991), 不利于花粉在群体间的扩散, 在一定程度上提高了自交和近交的机率, 从而降低了植物的遗传变异。

### 3.3 传粉机制与生殖成功

传粉动物与显花植物经过长时间的协同与发展, 早已经形成一种互惠共生的关系, 那就是昆虫采食植物花蜜、传播植物花粉, 这种行为对植物的



注: A. 中华蜜蜂; B. 蚂蚁; C. 胡蜂; D-E. 蜾蠃; F. 粉蝶; G. 灰蝶; H. 黑带蚜蝇; I. 黑蜂蚜蝇; J. 短尾管食蚜蝇; K. 黄环粗股蚜蝇; L. 蜂蚜蝇; M. 蚊; N. 榆绿毛蚶叶甲; O. 三突花蛛。

Note: A. *Apis cerana ceraca*; B. *Formicidae*; C. *Vespidae*; D-E. *Rhynchium bruneum*; F. *Pieridae*; G. *Fixsenia herzi*; H. *Epsirphus balteatus*; I. *Volucella nigricans*; J. *Eristalis* sp.; K. *Syrirta pipiens*; L. *Volucella* sp.; M. *Culicidae*; N. *Pyrrhalta aenescens*; O. *Misumenopos tricuspadata*.

图 7 绵枣儿访花昆虫

Fig. 7 Visiting insects to *Barnardia japonica*

生存和繁殖起到了重要的作用。本研究中, 绵枣儿的花色为紫色, 属于相对较为鲜艳的颜色, 并且花柱柱头的相对表面积较大, 表面有许多球状凸起。柱头成熟时有粘液出现, 柱头伸长, 可以粘附和嵌入花粉, 有利于昆虫的采蜜和传粉。连续两年的观测发现, 绵枣儿的访花者的种类构成和比例无明显变化, 黄环粗股蚜蝇是绵枣儿的主要传粉昆虫。主要是因为绵枣儿单花的小花比较小, 且数量多; 黄环粗股蚜蝇体型在几个食蚜蝇科的访花者里是最小的, 恰与绵枣儿的花部结构相适应且他的飞行速度较快, 效率比较高。这类昆虫有利于绵枣儿的异花传粉; 而如蚂蚁、蚊等, 他们活动范围比较小, 并且有的还不能携带花粉, 虽然对绵枣儿的异花传粉帮助不大, 但是却对植物的自花传粉提供了帮助。总而言之, 不管属于哪个类别昆虫, 对绵枣儿的自然结实均起到了一定的积极作用。

## 参考文献:

- AUGSPURGER CK, 1983. Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs [J]. *Biotropica*, 15(4): 257-267.
- BARREN SCH, HARDER LD, 1996. Ecology and evolution of plant mating [J]. *Trend Ecol Evol*, 11(2): 73-79.
- BAWA KS, KANG H, GRAYUM MH, 2003. Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees [J]. *Am J Bot*, 90(6): 877-887.
- BUIDE ML, DIAZ-PEROMINGO JA, GUITIAN J, 2002. Flowering phenology and female reproductive success in *Silene acutifolia* Link ex Rohrb [J]. *Plant Ecol*, 163(1): 93-103.
- CHEN B, DA LJ, SONG YC, 2003. Flowering phenology and floral distribution of *Castanopsis fargesii* in tiantong, Zhejiang Province [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 27(2): 249-255. [陈波, 达良俊, 宋永昌, 2003. 常绿阔叶树种栲树开花物候动态及花的空间配置 [J]. *植物生态学报*, 27(2): 249-255.]
- TANG J, WANG FZ, 1980. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* [M]. Beijing: Science Press, 24: 166-168. [唐进, 汪发纘, 1980. *中国植物志* [M]. 北京: 科学出版社, 24: 166-168.]
- DAFNI A, 1992. *Pollination ecology* [M]. New York: Oxford University Press; 59-89.
- DIERINGER G, 1991. Variation in individual flowering time and reproductive success of *Agalinis strictifolia* (Scrophulariaceae) [J]. *Am J Bot*, 78(4): 497-503.
- ECKHART VM, 1991. The effects of floral display on pollinator visitation vary among populations of *Phacelia linearis* (Hydrophyllaceae) [J]. *Evol Ecol*, 5(4): 370-384.
- FLANAGAN LB, MOSER W, 1985. Flowering phenology, floral display and reproductive success in dioecious, *Aralia nudicaulis* L. (Araliaceae) [J]. *Oecologia*, 68(1): 23-28.
- FUSHS EJ, LOBO JA, QUESADA M, 2003. Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the tropical dry forest tree *Pachira quinata* [J]. *Conserv Biol*, 17(1): 149-157.
- GUO YQ, 2004. Study on the biological characteristics of flowering and fruiting to *Corylus avellana* L. [D]. Taian: Shandong Agricultural University; 1. [郭永强, 2004. 欧洲榛子开花结实生物学特性研究 [D]. 泰安: 山东农业大学; 1.]
- HERRERA J, 1986. Flowering and fruiting phenology in the coastal shrublands of Donana, south Spain [J]. *Plant Ecol*, 68(2): 91-98.
- HE YP, LIU JQ, 2003. A review on recent advances in the studies of plant breeding system [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 27(2): 151-163. [何亚平, 刘建全, 2003. 植物繁育系统研究的最新进展和评述 [J]. *植物生态学报*, 27(2): 151-163.]
- HUANG SQ, DUO YH, 2000. Pollination environment and sexual configuration of *Liriodendron chinense* [J]. *Acta Ecol Sin*, 20(1): 49-52. [黄双全, 郭友好, 2000. 鹅掌楸的传粉环境与性配置 [J]. *生态学报*, 20(1): 49-52.]
- KELLY CA, 1992. Reproductive phenologies in *Lobelia inflata* (Lobeliaceae) and their environmental control [J]. *Am J Bot*, 79(10): 1126-1133.
- LI XR, GUO DY, GUO J, 2006. Comparison of flowering phenology of two species of *Ammopiptanthus* (Fabaceae) under *ex situ* conservation in the Turpan Eremophytes Botanical Garden, Xinjiang [J]. *Biodivers Sci*, 14(3): 241-249. [李新蓉, 谭敦炎, 郭江, 2006. 迁地保护条件下两种沙冬青的开花物候比较研究 [J]. *生物多样性*, 14(3): 241-249.]
- MCLINTOSH ME, 2002. Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae) [J]. *Plant Ecol*, 159(1): 1-13.
- OSADA N, SUGIURA S, KAWAMURA K, et al, 2003. Community-level flowering phenology and fruit set: Comparative study of 25 woody species in a secondary forest in Japan [J]. *Ecol Res*, 18(6): 711-723.
- OLLERTON J, LACK A, 1998. Relationships between flowering phenology, plant size and reproductive success in shape *Lotus corniculatus* (Fabaceae) [J]. *Plant Ecol*, 139(1): 35-47.
- O'NEILL P, 1997. Natural selection on genetically correlated phenological characters in *Lythrum salicaria* L. (Lythraceae) [J]. *Evolution*, 51(1): 267-274.

- RATHCKE B, LACEY EP. 1985, Phenological patterns of terrestrial plants [J]. *Ann Rev Ecol Syst*, 16(1): 179-214.
- REN FC, WANG LX, WANG F, et al, 2014. Chemical constituents from *Scilla scilloides* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 45(14):1984-1988. [任福才, 王丽霞, 王飞, 等, 2014. 绵枣儿化学成分研究 [J]. *中草药*, 45(14):1984-1988.]
- SELBO SM, SNOW AA, 2005. Flowering phenology and genetic similarity among local and recently introduced populations of *Andropogon gerardii* in Ohio [J]. *Restor Ecol*, 13(3): 441-447.
- SHAO JZ, ZHANG DC, NIE LW, et al, 1995. Study on the Karyotype of two different populations of *Scilla scilloides* [J]. *J Anhui Teach Coll (Nat Sci Ed)*, 18(4):40-44. [邵建章, 张定成, 聂刘旺, 等, 1995. 绵枣儿两个不同居群的核型研究 [J]. *安徽师范大学学报(自然科学版)*, 18(4):40-44.]
- WANG JZ, 2011. The mega-/micro-sporogenesis and female-/male-gametogenesis of *Hosta plantaginea* Aschers [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 30(3):295-299. [王金子, 2011. 玉簪大小孢子发生及雌雄配子体发育 [J]. *华中农业大学学报*, 30(3):295-299.]
- WANG XF, CHEN JK, 2001. Floral expression, pollination mechanism and mating system of *Sagittaria potamogetifolia* [J]. *Acta Phytocool Sin*, 25(2):155-160. [汪小凡, 陈家宽, 2001. 小慈姑的开花状态、传粉机制与交配系统 [J]. *植物生态学报*, 25(2):155-160.]
- WANG YM, FAN MY, LI J, et al, 2014. Homoisoflavanones and stilbenes from fresh bulb of *Scilla scilloides* [J]. *Chin J Chin Mat*, 39(19):3788-3793. [王延敏, 樊孟洋, 李娟, 等, 2014. 绵枣儿中高异黄酮和二苯乙烯类化合物 [J]. *中国中药杂志*, 39(19):3788-3793.]
- XIAO YA, HE P, LI XH, 2004. The flowering phenology and reproductive features of the endangered plant *Disanthus cericidifolius* var. *Longipes* H. T. Chang (Hamamelidaceae) [J]. *Acta Ecol Sin*, 24(1):14-21. [肖宜安, 何平, 李晓红, 2004. 濒危植物长柄双花木开花物候与生殖特性 [J]. *生态学报*, 24(1):14-21.]
- ZHOU YG, WANG HX, HU Z, 2001. Variation of breeding systems in populations of *Caragana intermedia* [J]. *Chin Bull Bot*, 43(12):1307-1309. [周永刚, 王洪新, 胡志昂, 2001. 毛乌素沙地中间锦鸡儿群体繁育系统的变化 [J]. *植物学报*, 43(12):1307-1309.]
- ZIMMERMAN M, GROSS RS, 1984. The relationship between flowering phenology and seed set in an herbaceous perennial plant, *Polemonium foliosissimum* Gray [J]. *Am Midl Nat*, 111(1): 185-191.
- ZHOU SL, HONG DY, 1998. The latest development and development trend of pollination biology [M]//LI CS. *Advances in plant sciences*. Beijing: Higher Education Press: 164-179. [周世良, 洪德元, 1988. 传粉生物学的最新进展和发展趋势 [M]//李承森. *植物科学进展*. 北京:高等教育出版社:164-179.]