

杏开花与落花动态及访花昆虫调查*

宫庆涛** 武海斌 张坤鹏 牛庆霖 孙瑞红***

(山东省果树研究所, 泰安 271000)

摘要 【目的】杏 *Armeniaca vulgaris* 是我国重要的传统果树品种之一, 属早春开花植物, 其授粉过程易受自然环境和访花昆虫因素影响。掌握杏开花与落花动态以及访花昆虫的种类和访花节律, 对于研究杏花花期预测预报、访花昆虫生物学规律及田间配置具有重要意义。【方法】通过调查杏花逐日开花和落花动态, 并进行逻辑斯蒂方程拟合分析, 建立杏花开花和落花预测预报模型。采用目测、网捕、拍照和摄像等方法对访花昆虫种类和活动节律进行调查, 并对访花昆虫活动节律进行了多项式拟合, 建立回归方程。

【结果】金太阳杏、凯特杏和珍珠油杏开花初见日、高峰日、终见日和历期均无显著差异; 除落花历期外, 3个品种杏花落花初见日、高峰日、终见日均存在显著差异。逻辑斯蒂拟合发现, 3个品种开花和落花盛期历期由长到短的顺序为: 凯特杏 > 金太阳杏 > 珍珠油杏, 花期为: 珍珠油杏 > 凯特杏 > 金太阳杏。访花昆虫共发现 11 种, 分属 6 目 8 科 10 属, 中华蜜蜂 *Apis cerana ceraca* Fabricius 占有访花昆虫数量的 98.7%, 访花高峰期出现在 10:00—14:00, 其访花活动节律符合方程 $y = -0.2977x^3 + 1.6947x^2 + 6.4193x - 11.3780$ 。【结论】综合以上试验结果, 认为珍珠油杏花期较长, 有利于访花昆虫充分传粉和人工辅助授粉, 但易遭受冻害、霜害影响, 凯特杏次之, 金太阳杏受害风险则较小, 但可能授粉不充分。因此, 杏产业发展应根据种植区域自然、人力条件等选择合适品种栽植。根据访花昆虫的活动节律, 应尽量避免在花期尤其是 10:00—14:00 之间进行农事操作, 以免影响昆虫传粉。

关键词 杏花, 开花, 落花, 动态, 访花昆虫

Dynamics of flowering and petal fall in apricots and an investigation of apricot pollinators

GONG Qing-Tao** WU Hai-Bin ZHANG Kun-Peng NIU Qing-Lin SUN Rui-Hong***

(Shandong Institute of Pomology, Taian 271000, China)

Abstract 【Objectives】Apricots are an important traditional fruit variety and an early spring blooming plant. The process of pollination in apricots is influenced by both climatic factors and pollinators. Understanding the dynamics of flowering and petal fall in apricots, and the species and activity rhythm of pollinators of apricots, is important for predicting fruit set and determining optimal conditions for pollinators. 【Methods】We recorded the number of apricot flowers that opened and dropped petals daily and used logistic regression to model flowering and petal fall. We also investigated the species and activity rhythms of pollinators on apricot flowers by visual observation, net capturing, photographing, and imaging methods, and fitted a polynomial model to these data. 【Results】There was no significant difference in the beginning, peak, end, and length of flowering period, of Golden sun, Katy and Pearl oil apricots, but there were significant differences in the beginning, peak, end and length of the petal fall period among these three varieties. The logistic model indicated that the three varieties could be ordered according to length of petal fall in descending order as follows: Katy apricot > Golden sun apricot > Pearl oil apricot, and in terms of length of the flowering period: Pearl oil apricot > Katy apricot > Golden sun apricot. Eleven species of pollinators were identified, belonging to 6 orders, 8 families and 10 genera. *Apis cerana ceraca* Fabricius accounted for 98.7% of the total number of pollinators identified. The peak visiting time of pollinators was from 10:00 to 14:00. The activity rhythm

*资助项目 Supported projects: 泰安市科技发展计划 (201540701); 山东省自然科学基金项目 (ZR2015YL058)

**第一作者 First author, E-mail: gongzheng.1984@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: srhuihong@126.com

收稿日期 Received: 2016-05-19, 接受日期 Accepted: 2016-09-27

of pollinators on apricot flowers fitted the equation $y = -0.2977x^3 + 1.6947x^2 + 6.4193x - 11.3780$. [Conclusion] The flowering stage of the Pearl oil apricot was the longest and this variety benefited most from adequate pollinators and artificial supplementary pollination. This variety was also vulnerable to freezing and frost damage. Damage to Golden sun apricots was minimal, but pollination may often be insufficient. The apricot industry should select appropriate plant varieties based on natural and human conditions in specific growth regions. Farming operations should be minimized during the flowering stage, especially between 1 000 and 1 400, to avoid disturbing pollinators.

Key words apricot flower, blooming, dropping, dynamics, pollinators

杏 *Armeniaca vulgaris* 属于蔷薇科, 李亚科, 杏属, 是我国重要的传统果树品种之一。目前, 国内外研究主要集中在杏生物学性状、果实品质、遗传结构和亲缘关系、自交亲和与不亲和性等方面(冯立娟等, 2014)。而在杏花花期预测预报方面开展工作较少(贾化川等, 2014), 由于杏树开花较早, 容易受到早春低温、晚霜和大风等的危害, 影响果实产量和品质, 造成减产甚至绝收(李捷和王有科, 2010; 牛庆霖等, 2015)。花期的早晚直接影响果树生产和观赏的效果, 及时准确地开展杏花花期预测, 具有实际应用的意义和价值(贾化川等, 2014)。

杏树是借助昆虫和微风传粉的, 属于虫媒花, 以昆虫传粉为主, 微风传粉为辅(田培椿, 1981)。访花昆虫在杏花传粉受精过程中占据重要地位。目前, 国内对传粉昆虫的研究, 尤其是在传粉昆虫资源调查、生物学和生态学研究方面较为滞后(张云毅等, 2012), 关于果树访花昆虫的调查仅见于苹果(刘璐等, 2008; 申晋山等, 2015)、大樱桃(张云毅等, 2012)、海棠(冯立超等, 2015)、扁桃(方海涛和斯琴巴特, 2007; 李俊兰等, 2011; 陆婷等, 2013)、柑橘(秦元霞, 2010; 秦元霞等, 2011)、柠檬(王自然等, 2015)、龙眼(朱建华等, 2010; 钟义海等, 2014)、荔枝(钟义海等, 2015)等果树上。到目前为止, 未见关于杏花访花昆虫资源的田间调查及相关生物学观察研究报道。

苑克俊等(2012)调查发现金太阳杏和凯特杏是山东省各地普遍栽培的品种, 在烟台、枣庄、济宁、临沂和泰安广泛种植。珍珠油杏作为起源于山东的地区性特色品种(陈志成等, 2012), 近年来种植面积扩大迅速。本研究通过在山东省

果树研究所杏资源圃跟踪调查金太阳杏、凯特杏和珍珠油杏 3 个品种的开花和落花动态, 并进行了逻辑斯蒂方程拟合, 明确了该 3 个品种杏花的花期特点。然后对杏花的田间访花昆虫种类、活动节律进行了调查统计分析, 为今后开展杏花花期预测预报、访花授粉昆虫田间配置以及杏园昆虫生态学等方面的研究提供基础信息。

1 调查方法

1.1 调查时间和地点

本实验于 2016 年 3 月 16 日至 3 月 30 日, 在山东省果树研究所万吉山实验基地杏资源圃内开展调查, 该基地位于山东省泰安市泰山区泰山山脉傲来峰南麓, 地理位置为北纬 $36^{\circ}05' \sim 36^{\circ}20'$, 东经 $117^{\circ}03' \sim 117^{\circ}13'$, 海拔约 300 m 左右, 属暖温带半湿润大陆性季风气候。3 月份平均气温 10.5°C , 极端高温 23°C , 极端低温: -5°C 。杏资源圃面积约为 1.5 hm^2 , 坡度约为 50° , 东部和北部紧邻泰山景区, 西部为石榴、板栗资源圃, 南部为泰山环山路, 生态环境和昆虫群落相对稳定。

1.2 调查方法

1.2.1 杏开花和落花动态调查 在金太阳杏、凯特杏和珍珠油杏试验地, 分别选择生长势、树形及大小相差较小的杏树 3 棵, 每棵选择方向不同、花芽数目差别较小的枝条 5 枝, 并编号(1, 2, 3, 4, 5), 调查各枝条花芽基数。自 3 月 16 日花芽露红起, 于上午 9:00—10:00 逐日调查杏开花和落花数, 至所有杏花完全落花为止。杏开花标准为: 杏花 5 个花瓣完全开放, 花蕊完全散开为度; 杏落花标准为: 杏花花瓣散落或萎蔫为度。

1.2.2 访花昆虫种类调查 杏花花期每日 4:00 开始观察, 至 20:00 结束, 共观察 15 d。采用定点观察和巡查相结合的方法进行。通过目测、网捕、拍照和摄像等方式对杏花活动的所有传粉昆虫进行观测, 将每日采集到的标本、照片及视频资料进行整理和鉴定。

1.2.3 访花昆虫数量及节律调查 于杏花盛花期(3月18日—3月21日)每日 4:00 开始观察, 至 20:00 结束, 每 2 h 调查 1 次, 调查在相应时间段中间时间进行。调查时主要采取目测方法进行, 即同时由 3 人对同一株杏树的所有访花昆虫进行计数, 若差距过大, 则重新计数; 差距较小, 则求平均值作为该杏树相应时间访花昆虫数量。每次调查重复 5 次, 即选择 5 株杏树进行调查, 所选杏树相互间隔至少在 3 株以上, 以降低蜂类等飞行速度较快的访花昆虫在树间转移而重复计数的概率。

1.3 数据统计及分析

本文表格、折线图、柱形图等均利用 Office 2013 软件完成。采用统计软件 SPSS 18.0 中 Duncan's 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 杏开花和落花动态及逻辑斯蒂拟合

通过对不同品种杏开花和落花动态及逻辑斯蒂拟合发现(图 1, 表 1, 表 2), 金太阳杏、凯特杏和珍珠油杏开花初见日、高峰日、终见日和开放历期均无显著性差异; 就杏落花而言, 珍珠油杏落花的初见日显著晚于金太阳杏和凯特杏, 3 个品种杏落花的高峰日存在显著差异, 由早到晚的顺序依次是凯特杏 > 金太阳杏 > 珍珠油杏。珍珠油杏落花的终见日显著晚于凯特杏, 而与金太阳杏无显著差异。3 个品种杏落花历期无显著性差异, 均在 3~4 d 之内。通过逻辑斯蒂方程计算可知, 3 个品种开花和落花盛期历期由长到短的顺序为凯特杏 > 金太阳杏 > 珍珠油杏, 说明珍珠油杏开花和落花则更为迅速, 呈现集中开花和集中落花的趋势, 而凯特杏开花和落花分别经历的时间更长。金太阳杏、凯特杏、珍

珠油杏的开花和落花盛期差值分别为 2.3, 3.1, 3.8 d, 说明 3 个杏品种的花期由长到短依次为珍珠油杏 > 凯特杏 > 金太阳杏。

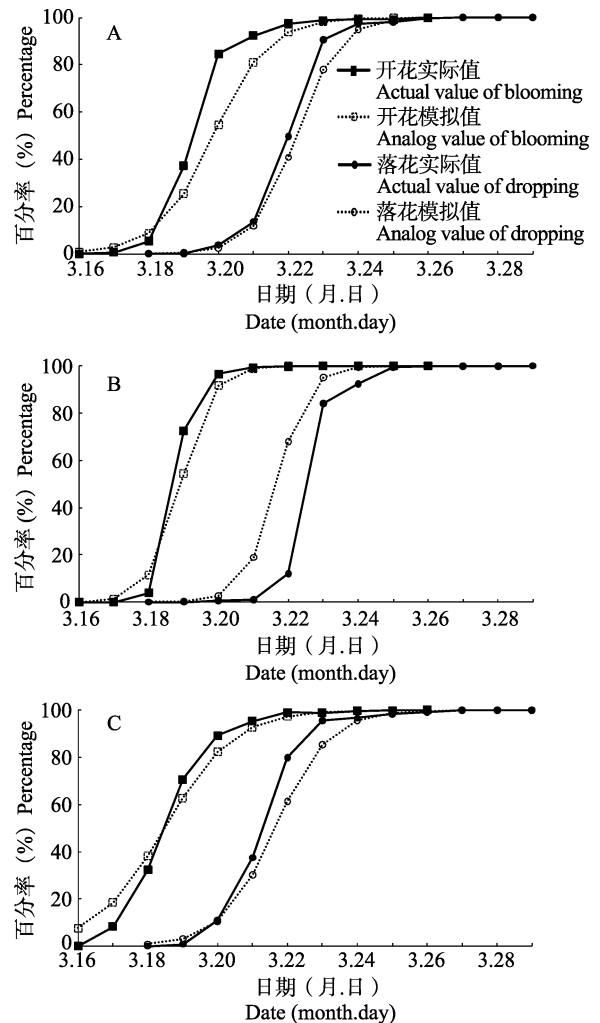


图 1 杏开花和落花动态及逻辑斯蒂拟合

Fig.1 The dynamics of blooming and dropping of the apricot flower and the logistic fitting

A. 金太阳杏; B. 凯特杏; C. 珍珠油杏。

A. Golden sun apricot; B. Katy apricot; C. Pearl oil apricot.

2.2 访花昆虫种类及数量调查

通过调查发现(表 3), 杏花访花昆虫共计 11 种, 隶属于 6 个目, 8 个科, 10 个属。其中膜翅目 1 科 3 属 3 种, 占 27.3%。双翅目 2 科 2 属 2 种, 占 18.2%。鳞翅目 2 科 2 属 3 种, 占 27.3%。鞘翅目、半翅目和脉翅目分别为 1 科 1 属 1 种, 各占 11.1%。昆虫访花的目的主要分为吸蜜兼取

表 1 不同品种杏开花和落花的逻辑斯蒂方程及相关参数

Table 1 Logistic equation and relative parameters of blooming and dropping of the different varieties apricot flower

| 项目 Item | 品种 Varieties | 逻辑斯蒂方程 Logistic equation | R^2 | F | P |
|-----------------------|----------------------------|---|--------|---------|----------|
| 开花 Flower blooming | 金太阳杏 Golden sun apricot | $y_{\text{金太阳}} = \frac{100}{1 + e^{6.1627 - 1.201x}}$ | 0.8966 | 60.702 | 1.08E-04 |
| | 凯特杏 Katy apricot | $y_{\text{凯特}} = \frac{100}{1 + e^{3.5077 - 1.0078x}}$ | 0.9501 | 133.287 | 8.24E-06 |
| | 珍珠油杏 Pearl oil apricot | $y_{\text{珍珠油杏}} = \frac{100}{1 + e^{6.4768 - 2.2173x}}$ | 0.9253 | 37.150 | 8.87E-03 |
| 落花 Flower dropping | 金太阳杏 Golden sun apricot | $y_{\text{金太阳}} = \frac{100}{1 + e^{8.6113 - 1.6473x}}$ | 0.9652 | 166.382 | 1.34E-05 |
| | 凯特杏 Katy apricot | $y_{\text{凯特}} = \frac{100}{1 + e^{6.0321 - 1.2982x}}$ | 0.9630 | 104.183 | 5.19E-04 |
| | 珍珠油杏 Pearl oil apricot | $y_{\text{珍珠油杏}} = \frac{100}{1 + e^{10.2850 - 2.2076x}}$ | 0.9209 | 69.884 | 1.59E-04 |

食花粉、吸蜜、捕食 3 种, 其中, 吸蜜兼取食花粉的昆虫为 4 种, 占 36.7%。吸蜜的昆虫为 4 种, 占 36.7%。捕食的昆虫为 3 种, 占 27.3%。就数量比例而言, 中华蜜蜂为绝对优势种, 占有访花昆虫数量的 98.7%, 其次是小黄粪蝇和柑橘凤蝶, 分别占 0.3% 和 0.2%, 其余各昆虫数量均为 0.1%。

2.3 访花昆虫节律调查

根据杏开花和落花调查结果, 选择杏花开放始盛期和盛末期之间 4 d (3 月 18 日—3 月 21 日) 访花昆虫活动节律情况进行调查统计。由图 2 可以看出, 不同时间段访花昆虫的数量变化波动较大。访花昆虫活动的高峰期出现在 12:00—14:00, 平均占全天访花昆虫数量的 34.4%。6:00 之前和 20:00 之后基本无访花昆虫活动。通过对不同时间段访花昆虫数量比例进行多项式拟合发现, 访花昆虫数量比例在一天中的变化符合方程: $y = -0.2977x^3 + 1.6947x^2 + 6.4193x - 11.3780$ ($R^2 = 0.7742$), 从拟合曲线的趋势可以看出, 访花昆虫数量比例随时间增加呈现先升后降的趋势。显著性分析发现, 10:00—12:00 访花昆虫数量为 29.4%, 与 12:00—14:00 无显著差异, 但均显著高于其它各时间段数量。14:00—16:00 数量较 10:00—14:00 显著降低, 但显著高于其余各时间段。8:00—10:00 和 16:00—18:00 显著低于 10:00—16:00, 但显著高于其余时间段。4:00—

6:00、6:00—8:00 和 18:00—20:00 昆虫数量无显著差异, 但均显著低于 8:00—18:00。该现象说明, 访花昆虫的数量除了与杏开花和落花数量有关外, 这可能与一天中各时间段气温、光照有关, 即气温越高, 光照越充足, 越有利于访花昆虫活动。

3 结论与讨论

访花昆虫作为资源昆虫越来越受到关注, 而国内对访花昆虫的研究较为滞后 (何学友等, 2010)。目前, 国内对访花昆虫的研究多集中于药用和观赏植物方面, 占总研究报道数量的 52.7%, 而关于水果和核果类果树的相关研究仅占 14.6% (武文卿等, 2015)。杏开花和落花以及访花昆虫方面尚未见文献报道。本文通过对金太阳杏、凯特杏和珍珠油杏 3 个山东主要栽培品种开花和落花动态的调查和逻辑斯蒂方程的拟合, 为杏花花期预测预报、花期辅助授粉及早春预防低温、晚霜等的危害方面提供参考。另外, 通过对访花昆虫种类及活动节律的调查, 也为杏花花期授粉情况和田间农事操作提供指导。

通过分析发现, 3 个杏品种中, 杏开花时间基本一致, 而落花时间差异较大。说明开花时间可能与品种的关系较小, 而落花时间与品种的关系较大。进一步分析发现, 珍珠油杏开花和落花盛期历期最短, 时间最为集中, 且花期最长, 这

表 2 不同品种杏开花和落花参数
Table 2 The parameters of blooming and dropping of the different varieties apricot flower

| 项目 Item | 品种 Varieties | 实际值 Actual value | | | | | | 模拟值 Analog value | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|---|--|------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|
| | | 初见日 (d) Beginning date | 高峰日 (d) Peaking date | 终见日 (d) Ending date | 开花或落花 历时 (d) Length of blooming or dropping period | 始盛期 (d) Beginning fast growth period | 盛期 (d) Fastest growth period | 盛末期 (d) Lowest growth period | 盛期历时 (d) Length of fastest growth period | | |
| 开花 Flower blooming | 金太阳杏 Golden sun apricot | 3.3 ± 0.2a | 4.8 ± 0.2a | 7.0 ± 0.9a | 3.7 ± 0.8a | 3.5 | 4.9 | 6.2 | 2.7 | | |
| | 凯特杏 Katy apricot | 2.8 ± 0.4a | 4.2 ± 0.7a | 6.9 ± 1.4a | 4.1 ± 0.4a | 1.8 | 3.5 | 5.1 | 3.3 | | |
| | 珍珠油杏 Pearl oil apricot | 3.3 ± 0.2a | 4.1 ± 0.2a | 5.7 ± 0.5a | 2.4 ± 1.0a | 2.2 | 2.9 | 3.7 | 1.5 | | |
| 落花 Flower dropping | 金太阳杏 Golden sun apricot | 5.5 ± 0.3b | 7.5 ± 0.2b | 9.2 ± 0.6ab | 3.7 ± 0.4a | 6.2 | 7.2 | 8.2 | 2.0 | | |
| | 凯特杏 Katy apricot | 5.2 ± 0.4b | 6.9 ± 0.1c | 8.3 ± 0.4b | 3.1 ± 0.1a | 5.4 | 6.6 | 7.9 | 2.5 | | |
| | 珍珠油杏 Pearl oil apricot | 6.6 ± 0.4a | 8.0 ± 0.0a | 9.9 ± 0.2a | 3.3 ± 0.6a | 5.9 | 6.7 | 7.4 | 1.5 | | |

令 3 月 16 日 = 1。表内实际值数据为 Mean ± SE, 同列数据后标有不同小写字母表示经 Duncan's 多重比较差异显著 ($P < 0.05$)。模拟值为逻辑斯蒂方程 Y 值为 16% (始盛期)、50% (盛期) 和 84% (盛末期) 时对应的 X 值。

March 16 = 1. Actual value are presented as mean ± SE, and followed by different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. Analog value are X value when Y are 16% (beginning fast growth period), 50% (fastest growth period) and 84% (lowest growth period) in logistic equation.

表 3 杏花访花昆虫名录及数量比例
Table 3 The list of pollinators on apricot flower and quantitative proportion

| 目名 Order | 科名 Family | 属名 Genus | 昆虫名称及拉丁学名 Insect and Latin names | 访花目的 Flower-visiting purpose | 数量比例 Quantitative proportion (%) |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 膜翅目 Hymenoptera | 蜜蜂科 Apidae | 蜜蜂属 <i>Apis</i> | 中华蜜蜂 <i>Apis cerana ceraca</i> Fabricius* | 吸蜜, 取食花粉 Feeding nectar and pollen | 98.7 |
| | | 木蜂属 <i>Xylocopa</i> | 黄胸木蜂 <i>Xylocopa appendiculata</i> * | 吸蜜, 取食花粉 Feeding nectar and pollen | 0.1 |
| | | 熊蜂属 <i>Bombus</i> | 熊蜂 <i>Bombus</i> sp.* | 吸蜜, 取食花粉 Feeding nectar and pollen | 0.1 |
| 双翅目 Diptera | 食蚜蝇科 Syrphidae | 食蚜蝇属 <i>Metasyrphus</i> | 凹带食蚜蝇 <i>Syrphus nitens</i> Zetterstedt* | 吸蜜, 取食花粉 Feeding nectar and pollen | 0.1 |
| | 粪蝇科 Scathophagidae | 粪蝇属 <i>Scathophaga</i> | 小黄粪蝇 <i>Scathophaga tercoraria</i> (L.)* | 吸蜜 Feeding nectar | 0.3 |
| 鳞翅目 Lepidoptera | 粉蝶科 Pieridae | 粉蝶属 <i>Pieris</i> | 菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> (L.)* | 吸蜜 Feeding nectar | 0.1 |
| | 凤蝶科 Papilionidae | 凤蝶属 <i>Papilio</i> | 碧凤蝶 <i>Papilio bianor</i> Cramer* | 吸蜜 Feeding nectar | 0.1 |
| | | | | 柑橘凤蝶 <i>Papilio xuthus</i> * | 吸蜜 Feeding nectar |
| 鞘翅目 Coleoptera | 瓢虫科 Coccinellidae | 异色瓢虫属 <i>Harmonia</i> | 异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i> Pallas | 捕食 Predation | 0.1 |
| 半翅目 Hemiptera | 盲蝽科 Miridae | 微刺盲蝽属 <i>Campylomma</i> | 异须盲蝽 <i>Campylomma diversicornis</i> Reuter | 捕食 Predation | 0.1 |
| 脉翅目 Neuroptera | 草蛉科 Chrysopidae | 通草蛉属 <i>Chrysoperla</i> | 中华通草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i> Tjeder | 捕食 Predation | 0.1 |

拉丁学名后标*者为传粉昆虫。

Latin name followed by * indicate pollination insects.

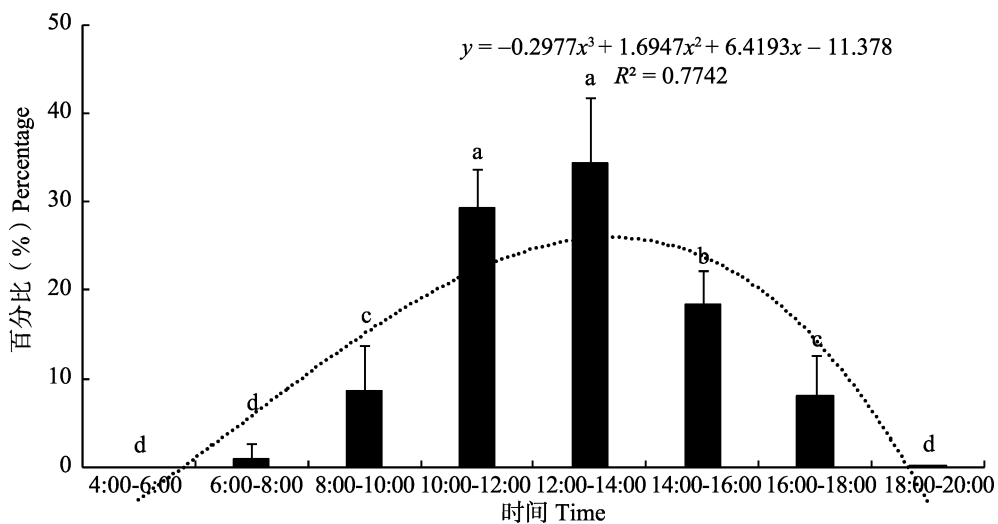


图 2 杏花访花昆虫活动节律

Fig. 2 The activity rhythm of pollinators on apricot flower

柱上标有不同小写字母表示经 Duncan's 多重比较差异显著 ($P < 0.05$)。

Histograms with different small letters indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test.

一生物学特性可以使授粉更为充分,但受冻害、霜害、风害等自然灾害的概率也随之增大。凯特杏开花和落花盛期历期最长,花期时间比珍珠油杏短但比金太阳杏长。金太阳杏开花和落花盛期历期居中,但花期时间最短。由此推断,就授粉程度和座果率以及受冻害、霜害、风害等自然灾害的概率而言,珍珠油杏 > 凯特杏 > 金太阳杏。石荫坪等(2001)对泰安地区7个地点不同杏品种晚霜冻害调查取样发现,凯特杏杏花受冻率均比金太阳严重,这与本文研究结果具有一致性。

经过长期的协同进化,访花昆虫与植物之间形成了一种互利的关系,即昆虫采食花粉和花蜜,并在植物传粉受精过程中发挥重要作用(王俊等,2011)。通过调查共发现杏花访花昆虫11中,且调查中发现98.7%均为中华蜜蜂,其它种类数量极少。这与张云毅等(2012)、王俊等(2011)冬季和早春季节访花昆虫种类多以蜂类为主的报道相一致。对杏花访花昆虫活动节律分析发现,其访花高峰期出现在10:00—14:00,这是早春季节一天中气温最高,光照最为充足的时间段,由此推断,访花昆虫的活动节律可能与气温、光照有关。王俊等(2011)认为阴天及降雨对访花昆虫访花频率也有显著影响。因此,环境对访花昆虫及植物花期的影响有待于进一步研究。

由于杏花花期特殊的早春环境条件,掌握杏花花期预测预报及访花昆虫的种类和行为,并进一步结合环境因子对其影响,对杏果生产中具有重要意义。

参考文献 (References)

- Chen ZC, Wang ZW, Wang RR, Zhang YT, Yang JH, Geng B, 2012. Light response photosynthesis characteristics of zhenzhuyouxing apricot under different soil water conditions. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 32(10): 2102–2107. [陈志成, 王志伟, 王荣荣, 张永涛, 杨吉华, 耿兵, 2012. 不同土壤水分条件下珍珠油杏的光合响应特征. *西北植物学报*, 32(10): 2102–2107.]
- Fang HT, Siqin BT, 2007. Blossom character and insect pollination of *Prunus mongolica* Maxmi. *Chinese Journal of Ecology*, 26(2): 177–181. [方海涛, 斯琴巴特, 2007. 蒙古扁桃的花部综合特征与虫媒传粉. *生态学杂志*, 26(2): 177–181.]
- Fen LC, Men QF, Gao WT, 2015. Diversity and behavior of flower visitors insects of *Malus komarovii* in the southwest slope of Changbai Mountain. *Guangdong Agricultural Science*, (3): 720–725. [冯立超, 孟庆繁, 高文韬, 2015. 长白山西南坡山楂海棠访花昆虫多样性及其行为研究. *广东农业科学*, (3): 720–725.]
- Fen LJ, Yuan ZH, Yin YL, Zhao XQ, Li YP, 2014. Analysis of situation and tendency of apricot research in world. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 26 (1): 16–20. [冯立娟, 苑兆和, 尹燕雷, 招雪晴, 李英朋, 2014. 世界杏研究态势分析. *江西农业学报*, 26 (1): 16–20.]
- He XY, Cai SP, Xiong Y, Han GY, Chen YD, Huang LR, Wu QR, 2010. Investigation on the pollination insect species and their foraging behaviors on *Camellia oleifera* in Fujian province. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 37(4): 1–5, 30. [何学友, 蔡守平, 熊瑜, 韩国勇, 陈元德, 黄铃荣, 吴清荣, 2010. 福建省油茶林主要传粉昆虫种类及访花行为. *福建林业科技*, 37(4): 1–5, 30.]
- Jia HC, Yuan J, Sun LJ, 2014. Research on predication of apricot florescence. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 42 (2): 506, 554. [贾化川, 袁静, 孙丽娟, 2014. 杏花花期预报方法探讨. *安徽农业科学*, 42 (2): 506, 554.]
- Li J, Wang YK, 2010. Comparative study on the cold resistance of four apricot cultivars. *Journal of Gansu Agricultural University*, 45 (1): 37–40, 46. [李捷, 王有科, 2010. 四个杏品种抗寒性的比较研究. *甘肃农业大学学报*, 45 (1): 37–40, 46.]
- Li JL, Pan B, Ge RL, Fang HT, 2011. Pollination insects and their flower-visiting behaviors on endangered plant *Amygdalus pedunculata*. *Chinese Journal of Ecology*, 30(7): 1370–1374. [李俊兰, 潘斌, 格日勒, 方海涛, 2011. 濒危植物柄扁桃的传粉者及其访花行为. *生态学杂志*, 30(7): 1370–1374.]
- Liu L, Liang FL, LIU P, Gao MM, Guo J, 2008. Primary study on pollination biology of *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 31 (6): 26–30. [刘璐, 梁凤丽, 刘萍, 高明梅, 郭靖, 2015. 新疆野苹果传粉生物学的初步研究. *环境昆虫学报*, 37 (4): 720–725.]
- Lu T, Luo SP, Li J, Tang KW, Yusupu ABLTP, 2013. Studies on flowering and pollination biology of almond. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 50(3): 447–452. [陆婷, 罗淑萍, 李疆, 唐开文, 玉苏甫·阿不力提甫, 2013. 扁桃开花及传粉生物学特性研究. *新疆农业科学*, 50(3): 447–452.]
- Niu QL, Yuan KJ, Tao JH, Fen DQ, Wang YS, Zhao JH, Zhou GF, Wang JY, 2015. The effect of low the spring on the abortion and

- fruit-set of apricots. *Journal of Shanxi Agricultural University (Nature Science Edition)*, 35 (2): 151–156. [牛庆霖, 苑克俊, 陶吉寒, 冯殿齐, 王玉山, 赵进红, 周光锋, 王江勇, 2015. 早春低温对几种杏败育与坐果的影响. *山西农业大学学报 (自然科学版)*, 35 (2): 151–156.]
- Qin YX, 2011. Study on species of citrus flower-visiting insect and species, damage, occurrence regularity and controlling efficiency of thrips in citrus orchards. Master thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [秦元霞, 2010. 柑橘访花昆虫种类及橘园蓟马的种类、为害、发生规律与防治研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Qin YX, Xia CX, Li CL, Zhang HY, 2011. List of flower-visiting insect in citrus orchards. *Hubei Agricultural Sciences*, 50(6): 1158–1161. [秦元霞, 夏长秀, 李春玲, 张宏宇, 2011. 柑橘访花昆虫名录. *湖北农业科学*, 50(6): 1158–1161.]
- Shen JS, Wu WQ, Song HL, Ma WH, Shao YQ, 2015. The study of pollinating insects and their flower-visiting behavior on *Malus pumila* Mill. *Journal of Environmental Entomology*, 37 (4): 720–725. [申晋山, 武文卿, 宋怀磊, 马卫华, 邵有全, 2015. 苹果传粉昆虫种类及其访花习性的研究. *环境昆虫学报*, 37 (4): 720–725.]
- Shi YP, Wang JZ, Sun CY, Wang QS, Yang JM, 2001. Investigation on late frost injury at blooming stage of apricot in 2001. *Deciduous Fruits*, (4): 8–10. [石荫坪, 王金政, 隋从义, 王强生, 杨建明, 2001. 2001 年杏花花期晚霜冻害调查研究. *落叶果树*, (4): 8–10.]
- Tian PC, 1981. Fruit • Bees • Pesticides. *Shanxi Fruits*, (4): 38–39. [田培椿, 1981. 果树•蜜蜂•农药. *山西果树*, (4): 38–39.]
- Wang J, Ma YX, Cui DL, Wang RX, Lu YY, Qing J, 2011. An observation on pollinating insects and their flower-visiting behavior on *Fatsia japonica*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 764–768. [王俊, 马玉心, 崔大练, 王日昕, 陆艳用, 秦景, 2011. 八角金盘传粉昆虫及其访花行为. *应用昆虫学报*, 48(3): 764–768.]
- Wu WQ, Li C, Shao YQ, 2015. Analysis on bibliometrics of researches of flower-visiting and pollinating insects in China. *Journal of Agriculture*, 5(5): 102–108. [武文卿, 李川, 邵有全, 2015. 国内访花传粉昆虫研究的文献计量学分析. *农学学报*, 5(5): 102–108.]
- Wang ZR, Du HF, Yue JQ, Guo J, Yang JD, Mao JM, Gao JY, 2015. Species and behavior of flower-visiting insect on lemon at ruili city, Yunnan province. *China Southern Fruit*, 44(6): 38–40. [王自然, 段惠芬, 岳建强, 郭俊, 杨建东, 毛加梅, 高俊燕, 2015. 云南瑞丽市柠檬访花昆虫种类及访花行为研究. *中国南方果树*, 44(6): 38–40.]
- Yuan KJ, Xin L, Wang CJ, Yu TJ, Cui JS, Liu JY, Li GD, Li SL, Hao L, Guo SH, 2012. Production status and development suggestions of apricot in shandong province. *Deciduous Fruits*, 44 (5): 20–23. [苑克俊, 辛力, 王长君, 于婷娟, 崔家升, 刘家云, 李国栋, 李圣龙, 郝亮, 郭树河, 2012. 山东省杏生产现状及发展建议. *落叶果树*, 44 (5): 20–23.]
- Zhang YY, Wu WQ, Ma WH, Shao YQ, 2012. The investigation of cherry pollinators. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28 (25): 272–276. [张云毅, 武文卿, 马卫华, 邵有全, 2012. 大樱桃传粉昆虫的调查研究. *中国农学通报*, 28 (25): 272–276.]
- Zhong YH, Zhao DX, Gao JL, Wang YJ, Liu JF, 2014. Investigation of the pollinators on longan. *Apiculture of China*, 65(Z4): 61–63. [钟义海, 赵冬香, 高景林, 王玉洁, 刘俊峰, 2014. 龙眼授粉昆虫调查研究. *中国蜂业*, 65(Z4): 61–63.]
- Zhong YH, Zhao DX, Gao JL, Wang YJ, Liu JF, 2015. Investigation of the pollinators on litchi. *Beijing Agriculture*, (17): 35–36. [钟义海, 赵冬香, 高景林, 王玉洁, 刘俊峰, 2015. 荔枝传粉昆虫调查研究. *北京农业*, (17): 35–36.]
- Zhu JH, Xu N, Wang ZY, Li HL, Lu GF, Li DB, Li GW, Huang FZ, Pen HX, 2010. Study on the species of pollination insects of longan and the relationship between their pollination activity and temperature. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 31(4): 646–650. [朱建华, 徐宁, 王助引, 李鸿莉, 陆贵锋, 李冬波, 黎光旺, 黄凤珠, 彭宏祥, 2010. 龙眼传粉昆虫种类及其传粉活动与温度的关系. *热带作物学报*, 31(4): 646–650.]