环境昆虫学报 2025，47（5）：1539-1547
Journal of Environmental Entomology
http://hjkcxb.alljournals.net
doi:10.3969/j.issn.1674-0858.2025.05.19

邓尚靠，李小发，曹文勇，杨雪寒，高正学，陶玉明，秦加敏，候梦赏，展江，赵必安，梁铖. 元江干热河谷枇杷开花特性及访花昆虫多样性调查[J]. 环境昆虫学报，2025，47（5）：1539-1547. DENG Shang-Kao, LI Xiao-Fa, CAO Wen-Yong, YANG Xue-Han, GAO Zheng-Xue, TAO Yu-Ming, QIN Jia-Min, HOU Meng-Shang, ZHAN Jiang, ZHAO Bi-AN, LIANG Cheng. Investigation on flowering characteristics and diversity of flower-visiting insects for loquat in the Yuanjiang River dry-hot valley [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2025, 47 (5): 1539-1547.

元江干热河谷枇杷开花特性及访花昆虫多样性调查

邓尚靠[1]，李小发[2]，曹文勇[2]，杨雪寒[2]，高正学[2]，陶玉明[2]，秦加敏[1]，候梦赏[1]，展　江[1]，赵必安[1]，梁　铖[1*]
（1. 云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所，云南蒙自 661101；2. 元阳县畜牧技术推广站，云南元阳 662499）

摘要：枇杷是地处元江干热河谷元阳县的重要经济作物，为了系统评价枇杷访花昆虫的种类及其授粉性能，探究利用蜜蜂为枇杷授粉助力产业提质增效的可能性，本研究对该地区枇杷的开花泌蜜规律及访花昆虫多样性进行调查。在元阳县南沙镇千亩枇杷连片种植区，调查了枇杷的花部结构、花期、泌蜜规律、访花昆虫多样性及优势种的访花行为。结果表明：一天中9:00、11:00、13:00、15:00和17:00的5个时段枇杷单花泌蜜量具有极显著差异（$P<0.01$），分别为（12.42±1.05）μL、（12.75±0.85）μL、（9.24±0.82）μL、（5.25±0.62）μL和（4.81±0.63）μL，随时间的推移逐渐减少；5个时段花蜜浓度具有显著差异（$P<0.05$），分别为（23.33±1.53）%、（24.31±1.01）%、（28.07±2.91）%、（36.90±3.99）%、（30.25±5.53）%，呈现先升高后下降的趋势，其中15:00花蜜浓度最高。本研究共调查到4种访问枇杷花的昆虫，其中中华蜜蜂*Apis cerana cerana*优势度为0.8533，为优势种，其访花频率为（4.00±0.65）朵/min，单花停留时间为（10.03±0.50）s。引入为枇杷授粉的中蜂群，出巢、归巢、携粉工蜂的数量与枇杷单花泌蜜量、花蜜浓度呈现出极显著相关性，与温度、湿度、光照度相关性不显著，中蜂访花高峰期比出巢延迟。中蜂是枇杷花期优势访花昆虫，在果园花期引入人工饲养的中华蜜蜂群能有效增加访花昆虫数量，有利于枇杷传粉，为枇杷规模化种植提供更好的授粉服务。

关键词：枇杷；泌蜜规律；中华蜜蜂；访花昆虫；环境因子
中图分类号：Q968.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-0858（2025）05-1539-09

Investigation on flowering characteristics and diversity of flower-visiting insects for loquat in the Yuanjiang River dry-hot valley

DENG Shang-Kao[1], LI Xiao-Fa[2], CAO Wen-Yong[2], YANG Xue-Han[2], GAO Zheng-Xue[2], TAO Yu-Ming[2], QIN Jia-Min[1], HOU Meng-Shang[1], ZHAN Jiang[1], ZHAO Bi-AN, LIANG Cheng[1*] (1. Sericulture and Apiculture Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi 661101, Yunnan Province, China; 2. Yuanyang Animal Husbandry Technology Extension Station, Yuanyang 662499, Yunnan Province, China)

Abstract: Loquat is an important economic crop of Yuanyang County, where is in the dry-hot valley of the Yuanjiang River. In order to systematically evaluate the species and pollination performance of loquat flower-visiting insects and explore the possibility of using bees as pollinators to improve the fruit quality and production efficiency, this study investigates the blooming and nectar secretion patterns of loquat, as well as the diversity of flower-visiting insects in the region. In the large-scale loquat planting area in

基金项目：国家蜂产业技术体系（CARS-44-SYZ14）；农业农村部蜂业质量提升行动2022；云南省科技人才与平台计划（202405AD350070）
作者简介：邓尚靠，男，云南宣威人，硕士，研究实习员，研究方向为蜜蜂授粉技术研究，E-mail：1551860971@qq.com
*通讯作者 Author for correspondence：梁铖，男，硕士，副研究员，研究方向为农业授粉蜂繁育与应用，E-mail：lc@yaas.org.cn
收稿日期 Received：2024-05-23；修回日期 Revision received：2024-09-02；接受日期 Accepted：2024-09-05

Nansha Town, Yuanyang County, we examined the floral structure, flowering period, nectar secretion patterns, diversity of pollinating insects, and flower-visiting behavior of the dominant species. The results showed that the nectar secretion volume of individual loquat flowers varied significantly among five time points throughout the day: 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, and 17:00, with respective averages of (12.42 ± 1.05) μL, (12.75 ± 0.85) μL, (9.24 ± 0.82) μL, (5.25 ± 0.62) μL, and (4.81 ± 0.63) μL, showing a gradual decreased over time. The nectar concentration at these five time points also showed significant differences, with values of (23.33 ± 1.53) %, (24.31 ± 1.01) %, (28.07 ± 2.91) %, (36.90 ± 3.99) %, and (30.25 ± 5.53) %, respectively, following a pattern of first increasing and then decreasing, peaking at 15:00. This study identified four species of insects visiting loquat flowers. Among them, *Apis cerana cerana* had a dominance index of 0.8533, which was the dominant species; its flower visitation frequency was (4.00 ± 0.65) flowers/min and an average stay time was (10.03 ± 0.50) per flower. Introducing *A. cerana cerana* colonies for loquat pollination, number of honey bees leaving the hive, returning to the hive, and carrying pollen showed a significant correlation with the nectar volume and nectar concentration of individual loquat flowers, but not with temperature, humidity or illumination. The peak period of visiting flowers occurred later than that of leaving the hive. As the dominant visiting insect during the flowering period of loquat, the introduction of artificially reared *A. cerana cerana* colonies in orchards during the flowering period can effectively increase the number of visiting insects, facilitate loquat pollination, and provide pollination services for large-scale planting of loquat.

Key words: *Eriobotrya japonica*; nectar secretion pattern; *Apis cerana cerana*; flower-visiting insect; environmental factor

植物坐果结实的生殖过程需要通过媒介的传粉才能完成授粉，大约84%的作物依赖昆虫传粉（Willmer *et al.*，1994），蜜蜂是其中重要的种类之一。近年来，随着自然环境的改变，野生的传粉昆虫数量急剧下降，在种植业规模化发展地区，急需引入人工繁育的传粉昆虫为农作物授粉，目前大田农作物主要是引入人工饲养的蜜蜂和熊蜂进行授粉（Aizen，2009；谢正华等，2021）。枇杷*Eriobotrya japonica*又名卢桔，属于蔷薇科Rosaceae枇杷属*Eriobotrya*常绿乔木（刘丽丽等，2020），现已成为规模化种植的大宗水果。我国是世界上枇杷的栽培和自然分布中心（林顺权等，2004），云南是栽培和野生枇杷种质分布最丰富的地区（姜帆等，2009）。其中红河州枇杷种类最丰富，且种植面积较大（杨向晖等，2007）。近年来，地处元江干热河谷的云南红河州元阳县南沙镇呼山村种植枇杷达万亩，已成为该地区乡村振兴的特色产业。

枇杷通常在冬季开花，是开春以后上市较早的水果之一，果实营养丰富、药用价值高，深受人们喜爱（陈秀萍等，2022）。研究表明，枇杷具有自交不亲和性，异花授粉座果率远远高于自花授粉（王会良等，2022；李文峰等，2024）。由于异花授粉时卵子和精子产生的环境不同，具有较大的遗传差异性，它们结合产生的后代就具有较高的生活力和较强的适应性（Delaplane *et al.*，2013）。枇杷花基部蜜腺分泌的花蜜吸引并为传粉者提供丰厚的报酬，这为其授粉繁殖成功提供了保障（赵广印等，2013）。因此，掌握枇杷的开花泌蜜规律，可为枇杷授粉提供重要信息，对果树的生产管理特别是花期管理具有重要的指导意义。在枇杷花期经常遭遇潮湿、低温天气影响（李清斌等，2023），花蕾和幼果易受不同程度的冻害（Freihat *et al.*，2008；李靖等，2011），产量和品质受到影响。而元江干热河谷，没有极端低温天气，枇杷花期温度偏高，花蕾和幼果不会受到低温冻害的影响，但枇杷的产量和品质并不比其他地区具有优势。枇杷的产量和品质与蜜蜂授粉有关系，当枇杷引入人工饲养的蜜蜂授粉时，座果率和产量更高，口感和品质更优（赵东绪等，2014）。然而，元江干热河谷气温高、湿度低，生物多样性较低，特别在枇杷连片种植区尚未见有枇杷访花昆虫多样性方面的研究报道。

因此，本研究以地处元江干热河谷的元阳县南沙镇呼山村千亩枇杷种植基地为试验点，调查了枇杷开花泌蜜规律和访花昆虫多样性，旨在探明干热河谷中枇杷的传粉特性，为枇杷花期栽培

管理和蜜蜂授粉提供参考依据，科学评价枇杷蜜蜂授粉性能，助力枇杷规模化种植提质增效。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2022年10月–2023年2月在元阳县南沙镇呼山村委会呼山2号村和3号村进行，平均海拔（535.60 ± 2.20） m，年平均气温23℃，年降雨量850 mm。枇杷品种为“解放钟”，样地选择健康、树龄相同、冠幅、树高相似的枇杷树作为调查对象。

1.2 试验设备

360智能摄像机小水滴AL版（D930、北京视觉世界科技有限公司）、温湿度计录仪（TP500V 3.0、深圳拓普瑞电子有限公司）、分体式照度计（GM1030、深圳市聚茂源科技有限公司）、数显折射仪（ATAGO，Brix 0%–53%）、数显游标卡尺（南京苏测计量仪器有限公司）、毛细管（内径0.3 mm、管长100 mm）、照相机等。

1.3 环境因子数据收集

试验期间，在枇杷林中摆放分体式照度计和温湿度计录仪，连续摆放6 d，记录光照度、温度、湿度数据。

1.4 枇杷开花泌蜜特性调查

枇杷花期调查：枇杷现蕾后，在样地4个方向，每个方向选择3株长势相同的枇杷，每隔2 d观察一次，开花数量少于25%为初花期，开花数量达25%以上且少于75%为盛花期，开花数量大于75%为末花期，在每棵树上随机标记20枝花序，观察花序形状。

单花泌蜜量的测定：选择上述不同方向的4株枇杷，每株标记6枝即将开放的花序（花朵已露白但花瓣尚未打开），套上白色透明尼龙网袋（40目），总共标记24枝。当花朵开放后进行标记，每天中的9:00、11:00、13:00、15:00和17:00打开网袋用毛细管分别吸取标记花朵的花蜜，吸取完毕后，继续套上网袋，用游标卡尺测量装有花蜜的毛细管的长度，采用体积法计算单朵花泌蜜总量。

花蜜浓度测定：利用吸耳球将单朵花的毛细管内花蜜吹出，并用手持糖度仪测量花蜜的浓度。

1.5 访花昆虫多样性调查

在枇杷连片种植区，选择园区中心向外每间隔400 m选择1株盛花期枇杷为调查对象，并设置3个样地作为调查对象：样地1（园区中心）、样地2（距离园区中心400 m）、样地3（距离园区中心800 m）。于每天9:00、11:00、13:00、15:00和17:00这5个时间段，记录每株树上访花昆虫的种类及其数量，每个时段观察5 min，每个样地连续观测5 d（李文峰等，2024），采用Berger–Parker指数D分析访花昆虫的物种多度（优势度），计算公式为：$D = Ni / N$，式中Ni为第i种访花昆虫标本的数量，N为访花昆虫的标本总数量。依据正态分布的原则，定义为$D \geq 0.1$时为访花昆虫优势种；$0.05 \leq D < 0.1$时为丰盛种；$0.01 \leq D < 0.05$时为常见种；$D < 0.01$时为稀有种（梁铖等，2018；胡晓玲等，2022）。

1.6 中蜂采集枇杷花特性调查

枇杷访花昆虫多样性调查结束，在枇杷园区放入400群当地饲养的中华蜜蜂*Apis cerana cerana*（以下简称中蜂），为授粉蜂群，每群蜂均为3足脾（巢框内围尺寸长428.00 mm，高202.00 mm，上框梁宽25.00 mm）。

中蜂出、归巢活动规律统计：枇杷盛花期，选取4群群势相当的授粉蜂群。在蜂箱巢门口放置360智能摄像机，24 h拍摄记录蜜蜂出巢、归巢及携带花粉情况，通过视频回放，统计每天7:00–19:00中每小时前5 min内出巢、归巢和携带花粉的工蜂数量，共计13个时段，连续统计5 d。

中蜂访花行为：记录每天9:00、11:00、13:00、15:00和17:00共5个时间段每棵树上访花中蜂的数量同时并观测中蜂的访花频率（1 min内访问花的朵数）和单花停留时间（中蜂在1朵花上停留的时间）。

1.7 数据分析

利用SPSS 26.0对不同时段的枇杷单花泌蜜量、花蜜浓度、中蜂的工蜂蜜蜂出巢、归巢及携粉蜜蜂数量进行单因素方差分析（one–way ANOVA），对花序测枝数及花朵数等数据进行统计，枇杷开花泌蜜规律、中蜂日活动规律与环境因子及开花泌蜜规律与中蜂日活动规律做相关性分析。试验数据以平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 枇杷花期及花特征调查

解放钟枇杷为复总状花序，顶生圆锥状，围绕花序轴，平均有（13.03 ± 0.20）枝侧花序，每个总花序有单花93~294朵，平均（175.60 ± 4.71）朵；

花瓣白色，雄蕊20到多数，花柱5~7，离生，子房下位，5心室。2022年调查样地的初花期为10月17日–11月16日，盛花期为11月17日–12月23日，末花期12月24日–翌年1月29日。

2.2 枇杷开花泌蜜规律

单因素方差分析结果显示：一天中9:00、11:00、13:00、15:00和17:00各个时间段枇杷单花泌蜜量差异极显著（F=22.45；df=4, 197；P<0.01）。上午9:00、11:00时花蜜量分别为（12.42 ± 1.05）μL、（12.75 ± 0.85）μL显著多于13:00 [（9.24 ± 0.82）] μL（P<0.05）、极显著多于15:00 [（5.25 ± 0.62）] μL和17:00 [（4.81 ± 0.63）] μL（P<0.01）。随着白天时间的推移，单花泌蜜量逐渐减少，其中上午11:00时花蜜量最多（图1）。

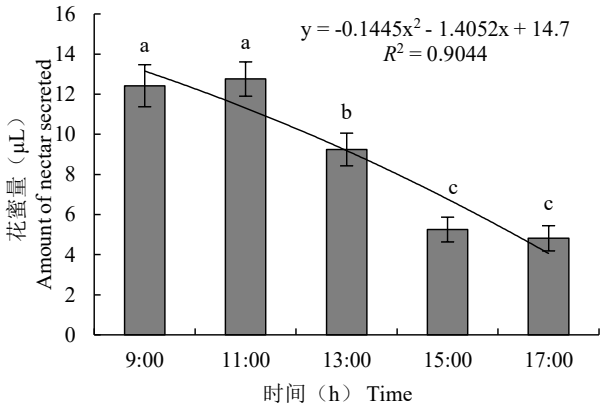

图1 不同时段枇杷单花泌蜜量

Fig. 1 Amount of nectar secreted by individual loquat flowers at different time points

注：图中柱上不同小写字母表示枇杷单花泌蜜量在不同时间段中差异显著（P<0.05）。Note: Different lowercase letters above bars in the figure indicated that the amount of nectar secreted by individual loquat flowers had significant difference among different time points (P < 0.05).

单因素方差分析结果显示：一天中9:00、11:00、13:00、15:00和17:00各个时段花蜜的浓度差异显著（F=3.85；df=4, 32；P<0.05），浓度依次为：（23.33 ± 1.53）%、（24.31 ± 1.01）%、（28.07 ± 2.91）%、（36.90 ± 3.99）%、（30.25 ± 5.53）%。15:00时花蜜浓度显著高于9:00、11:00、13:00（P<0.05），9:00、11:00、13:00和17:00之间的花蜜浓度差异不显著（P>0.05）（图2）。

2.3 访花昆虫多样性调查

元江干热河谷规模化栽培的枇杷（图3-A），调查发现访花昆虫4种：中华蜜蜂（图3-B）、小蜜蜂 *Apis florea*（图3-C）、大蜜蜂 *Apis dorsata*（图3-D）、黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*。共收集访花昆虫334头，其中中华蜜蜂285头，占访花昆虫总数的85.33%（D=0.8533），小蜜蜂23头，占访花昆虫总数的6.89%（D=0.0689），大蜜蜂18头，占访花昆虫总数的5.39%（D=0.0539），黑带食蚜蝇8头，占访花昆虫总数的2.40%（D=0.0240）。其中，蜜蜂为主要的访花昆虫，中蜂为访花昆虫优势种。

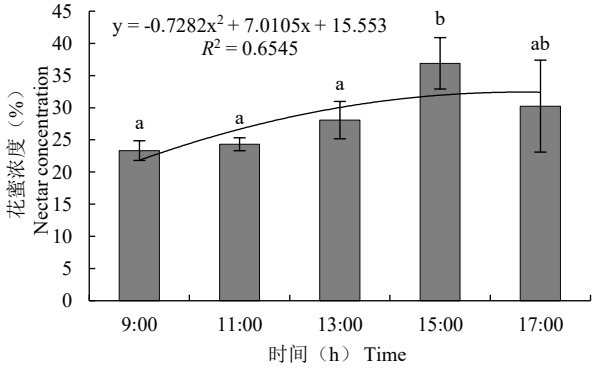

图2 不同时段花蜜的浓度

Fig. 2 Nectar concentration at different time points

注：图中柱上不同小写字母表示枇杷花蜜的浓度在不同时段差异显著（P<0.05）。Note: Different lowercase letters above bars indicated that the concentration of loquat nectar varies significantly in different time points (P<0.05).

图3 枇杷地周围生境（A）及授粉蜂类：中华蜜蜂（B）、小蜜蜂（C）、大蜜蜂（D）

Fig. 3 Habitat surrounding loquat fields (A) and and pollinating bees: *Apis cerana cerana* (B), *Apis florea* (C), *Apis dorsata* (D)

2.4 中蜂出、归巢活动规律

一天中不同时间段5 min内，出巢（F=12.12；df=12, 155）、归巢（F=15.80；df=12, 155）和携粉（F=12.30；df=12, 155）的工蜂数量均差异显著（P<0.05），11:00–11:05时间段工蜂出巢数量最多，在12:00–12:05归巢数量最多，这两时间段出巢、归巢工蜂数量均显著高于7:00–7:05、8:00–8:05、9:00–9:05、14:00–14:05、15:00–15:05、16:00–16:05、17:00–17:05、18:00–18:05和19:00–19:05等9个时间段（P<0.05），但出巢、归巢工蜂数量与10:00–10:05、12:00–12:05和13:00–13:05这3个时间段差异不显著（P>0.05），7:00–7:05、16:00–16:05、17:00–17:05、18:00–18:05和19:00–19:05这5个时间段的中蜂出巢、归巢数量均显著低于其它时间段（P<0.05）；携粉中蜂数量在11:00–11:05时最多，显著高于7:00–7:05、8:00–8:05、9:00–9:05、14:00–14:05、15:00–15:05、16:00–16:05、17:00–17:05、18:00–18:05和19:00–19:05这9个时间段（P<0.05），9:00–9:05携粉中蜂数量显著高于7:00–7:05、16:00–16:05、17:00–17:05、18:00–18:05和19:00–19:05这5个时间段，其中7:00–7:05和19:00–19:05两个时间段携粉中蜂数量为0（表1）。

表1　1 d中不同时间出巢、归巢、携粉及访花的工蜂数量

Table 1　Number of workers leaving the hive, returning to the hive, carrying pollen and flower-visiting at different time points during a day

时段Time points	采集蜂数量（头）Number of flower-visiting bees		
	出巢Left hive	归巢Back to hive	携粉Carrying pollen
7:00–7:05	11.6 ± 3.6 c	7.5 ± 2.6 c	0
8:00–8:05	171.8 ± 24.5 b	162.7 ± 17.6 b	38.4 ± 9.8 bc
9:00–9:05	170.6 ± 26.6 b	150.5 ± 20.1 b	53.9 ± 13.5 b
10:00–10:05	228.3 ± 25.3 ab	212.7 ± 23.6 ab	102.5 ± 16.5 a
11:00–11:05	261.6 ± 39.0 a	238.1 ± 31.0 a	133.1 ± 19.5 a
12:00–12:05	239.9 ± 47.6 a	245.9 ± 41.4 a	123.5 ± 27.0 a
13:00–13:05	228.0 ± 46.1 ab	204.7 ± 36.5 ab	98.4 ± 22.1 abc
14:00–14:05	111.5 ± 23.0 b	137.1 ± 25.0 b	59.2 ± 11.4 bc
15:00–15:05	110.8 ± 37.9 b	102.9 ± 21.8 b	35.5 ± 6.9 bc
16:00–16:05	28.9 ± 5.5 c	38.3 ± 5.2 c	11.8 ± 2.8 c
17:00–17:05	27.3 ± 6.1 c	27.3 ± 3.3 c	5.4 ± 1.6 c
18:00–18:05	17.0 ± 2.8 c	21.3 ± 2.8 c	2.5 ± 1.0 c
19:00–19:05	0.3 ± 0.3 c	0.8 ± 0.8 c	0

注：同列数据小写字母相同，表示差异不显著（P>0.05），小写字母不同表示差异显著（P<0.05）。Note: Same lowercase letters in the same column indicated no significant difference (P>0.05), while different lowercase letters indicated significant difference (P<0.05).

每头中蜂工蜂1 min内访问（4.00 ± 0.65）朵枇杷单花，单花停留时间为（10.03 ± 0.50）s。一天中9:00、11:00、13:00、15:00、17:00这5个时段5 min内枇杷树上中蜂数量差异显著（F=14.43；df=4, 40；P<0.05），访花中蜂数量呈现先增加后降低的趋势，其中13:00–13:05枇杷树上访花中蜂的数量极显著高于9:00–9:05、15:00–15:05和17:00–17:05这3个时间段枇杷树上访花中蜂的数量（P<0.01），15:00–15:05的中蜂数量显著高于9:00–9:05和17:00–17:05这两个时间段（P<0.01）（图4）。

综上所述，在该生境中，中蜂出巢高峰期为11:00–11:05，归巢高峰期为12:00–12:05，采访枇杷花高峰期为13:00–13:05，白天中蜂出勤活动主要集中在11:00–13:05之间，呈现早晚数量少，中午数量多，归巢、访花高峰期比出巢延迟的趋势（图5）。

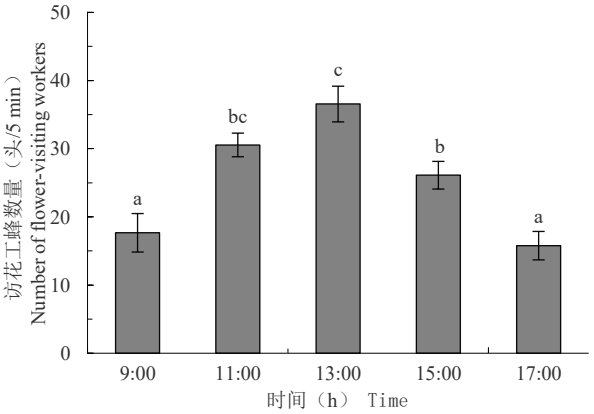

图4 不同时段枇杷树上访花蜜蜂数量

Fig. 4 Number of flower-visiting bees on loquat trees at different time points

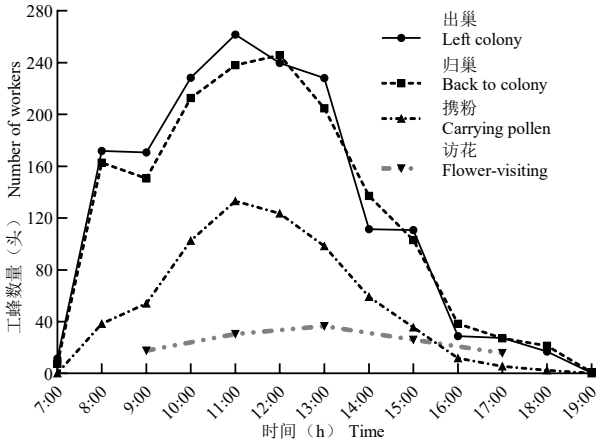

图5 枇杷花期蜜蜂日活动规律

Fig. 5 Diurnal activity of bees during loquat flowering period

2.5 中蜂日活动规律与环境因子及开花泌蜜规律的相关性

相关性分析显示，一天中9:00、11:00、13:00、15:00和17:00这5个时间段枇杷单花泌蜜量与温度呈现极显著负相关，与相对湿度极显著正相关（$P<0.01$），和光照度相关性不显著（$P>0.05$），而枇杷花蜜浓度与温度呈现极显著正相关，与相对湿度呈现极显著负相关（$P<0.01$），与光照度呈显著正相关性（$P<0.05$）。枇杷单花泌蜜量随温度及光照度升高、相对湿度降低（正相关）而减少；而枇杷花蜜浓度随温度及光照度升高、湿度降低而增加（表2）。白天中蜂日活动，出巢、归巢、携粉工蜂数量与温度、相对湿度及光照度相关性不显著（$P>0.05$），而访花工蜂数量与温度和光照度均呈现极显著正相关，与相对湿度呈现极显著负相关（$P<0.01$）；归巢、出巢、携粉工蜂数量与枇杷单花泌蜜量呈现极显著正相关（$P<0.01$），与枇杷花蜜浓度呈现极显著负相关（$P<0.01$），访花工蜂数量与枇杷单花泌蜜量及枇杷花蜜浓度相关性不显著（$P>0.05$）（表2）。蜜蜂的出巢、归巢、携粉工蜂数量随枇杷单花泌蜜量增加而增多、随花蜜浓度降低而增多。

综上所述，枇杷开花泌蜜规律与环境因子相关，中蜂日活动与开花泌蜜相关性显著，与环境因子不显著，枇杷访花工蜂数量与环境因子相关性显著，与开花泌蜜相关性不显著，中蜂为枇杷授粉可能受到气候因子和开花泌蜜外的因素影响。

3 结论与讨论

花期长短是植物能否结实成功的重要功能性状（Makrodimos *et al.*，2007），植物会通过自身资源分配进行调整，将自身开花持续时间保持在一个合理的区间，花期过长会消耗植物体内存储的资源，花期过短，可能会授粉不充分（Johnson，2008；Miguel *et al.*，2011）。枇杷群体花期较长，需要足够的授粉昆虫才能完成授粉。花是树重要的生殖器官，开花传粉是被子植物繁殖的重要过程（卿卓等，2014），植物在长期进化过程中与访花者协同进化，开花植物的蜜腺会分泌花蜜，为访花者提供重要的报酬（黄双全，2014），同时访花者采食花蜜、花粉时可为植物完成传粉，协助植物完成授粉。其它气候条件下，枇杷在阳光充足温暖湿润的天气，当气温在20℃以上，湿度在80%左右，泌蜜旺盛，枇杷上午泌蜜量大，随着时间推移，枇杷花蜜量逐渐减少（余玉生等，2010），干热气候条件下的枇杷与之相似（图1）。枇杷花多且泌蜜量大，这些特性有助于枇杷吸引众多传粉昆虫（郭玉莹等，2023），从而较好授粉结果。

枇杷自花和风媒传粉座果率较昆虫传粉低（郭柏寿等，2001）。元阳县呼山村地处元江干热河谷，周年气温较高、湿度低，生物多样性较低（赵紫晴等，2022），特别是枇杷千亩连片种植区域，还受到耕种的影响较大，传粉粉昆虫较少，调查仅发现少量中蜂、小蜜蜂和大蜜蜂，不能满足当地规模化种植枇杷授粉需求。因此，引入400群中蜂为枇杷授粉。然而，蜜蜂的授粉行为是蜜蜂蜂群劳动分工以及工蜂个体行为转变的一个重要

表2 中蜂日活动规律与环境因子及开花泌蜜规律的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between diurnal foraging activity of *Apis cerana cerana* and environmental factors, flowering and nectar secretion patterns

	出巢 Left hive	归巢 Back to hive	携粉 Carrying pollen	访花 Flower-visiting	温度 Temperature	相对湿度 Relative humidity	光照度 Illumination	花蜜浓度 Nectar concentratwn of a flower	花蜜量 Nectar volume per flower
出巢 Left hive	1	0.904**	0.799**	0.332*	0.142	−0.225	0.220	−0.446**	0.568**
归巢 Back to hive		1	0.843**	0.354*	0.185	−0.285	0.232	−0.488**	0.650**
携粉 Carrying pollen			1	0.329*	0.162	−0.249	0.248	−0.454*	0.610**
访花 Flower-visiting				1	0.475**	−0.390**	0.691**	0.011	0.193
温度 Temperature					1	−0.984**	0.810**	0.778**	−0.588**
相对湿度 Relative humidity						1	−0.699**	−0.822**	0.710**
光照度 Illumination							1	0.379*	−0.010
花蜜浓度 Nectar concentratwn of a flower								1	−0.878**
花蜜量 Nectar volume per flower									1

注：**表示差异极显著（P<0.01），*表示差异显著（P<0.05）。Note: ** meant very significant difference (P<0.01), * meant significant difference (P<0.05).

过程（王欢等，2022），是蜜蜂与植物协同进化的生态网络功能。不同的传粉昆虫访花行为对同种植物不一致（赵东绪等，2019），蜜蜂为不同作物授粉时蜜蜂的访花高峰期差异较大（梁盛凯等，2018）。引入为枇杷授粉的中蜂群，白天中蜂出勤活动，主要集中在11:00−13:05之间，呈现早晚数量少，中午数量多，归巢、访花高峰期比出巢延迟的趋势，可能与蜜蜂出勤飞行寻找采集目标和路途中的时间消耗有关，但能表明引入授粉蜂群增加了枇杷花访花中蜂的数量。研究发现引入中蜂为枇杷授粉，可有效提高枇杷座果率和产量，改善果实品质（秦加敏等，2023）。枇杷花期放入授粉蜂群后，可有效增加访花昆虫数量，有利于枇杷传粉，为枇杷规模化种植提供更好的授粉服务。

蜜蜂的出巢、归巢、携粉工蜂数量随枇杷单花泌蜜量增加而增多、随花蜜浓度降低而增多。在与植物的协同进化中，蜜蜂已有能力判断花朵的最佳授粉时间（赵恬等，2021），在同一地区，流蜜量不同的几种植物同时流蜜，蜜蜂只会采集那些流蜜量大且符合蜜蜂营养要求的植物，流蜜量小的植物蜜蜂采集数量就会很少（Johnson and Nicolson，2008）。此外，蜜蜂对花蜜的浓度进行选择性采食，蜜蜂不喜欢采食浓度太低的花蜜，且蜜蜂也不能吸食粘度太高的花蜜（Khler *et al.*，2010）。蜜蜂授粉行为与多种环境因子有关，例如温度、湿度及光照度等（赵亚周等，2011），环境因子很大程度上影响枇杷的开花和蜜蜂采食行为，前人研究表明，拥有合适温度、湿度及光照度，枇杷花药开裂增多，花粉大量释放，同时能达到

中蜂采集活动的高峰，此时授粉效果最佳（Sgolastra *et al.*，2016；Zhang *et al.*，2019），随着温度、光照度升高，湿度开始下降，本研究中枇杷蜜蜂访花高峰段11:00-13:00，这段时间内的温度、湿度最适宜花粉释放和中蜂采集，此时不仅枇杷树上采集的中蜂数量最多，回巢的携粉蜂数量也最多，授粉效率最高（赵恬等，2021）。

元江干热河谷地区的枇杷有与其他种植生境相似的开花泌蜜特性，由于生境和人类活动的影响，访花昆虫多样性低，有必要引入人工饲养的中蜂群为其授粉，中蜂访花受到枇杷开花泌蜜影响，开花泌蜜又受到环境因子的影响，但中蜂能够响应环境因子变化引起植物的开花泌蜜的变化，适时访花授粉，可作为理想传粉媒介为枇杷授粉。

参考文献（References）

Aizen MA, Harder LD. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination [J]. *Current Biology*, 2009, 19 (11): 915-918.

Belloy L, Imdorf A, Fries I, *et al*. Spatial distribution of *Melissococcus plutonius* in adult honey bees collected from apiaries and colonies with and without symptoms of European foulbrood [J]. *Apidologie*, 2007, 38 (2): 136-140.

Chen XP, Su WB, Jiang JM, *et al*. Diversity assessment on triterpene metabolites in different tissues of ten types of loquat germplasms [J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39 (4): 621-630.[陈秀萍, 苏文炳, 蒋际谋, 等. 枇杷不同组织中主要三萜酸含量多样性分析 [J]. 果树学报, 2022, 39 (4): 621-630]

Delaplane SK, Dag A, Danka GR, *et al*. Standard methods for pollination research with *Apis mellifera* [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2013, 52 (4): 1-28.

Freihat NM, AL-ghzawi AM, Zaitoun S, *et al*. Fruit set and quality of loquats (*Eriobotrya japonica*) as effected by pollinations under sub-humid Mediterranean [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 117 (1): 58-62.

Guo BS, Yang JM, Xu YB. Problems and research advance of the pollination insects [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2001, 14 (4): 102-108.[郭柏寿, 杨继民, 许育彬. 传粉昆虫的研究现状及存在的问题 [J]. 西南农业学报, 2001, 14 (4): 102-108]

Guo YY, Liu LC, Meng W, *et al*. Blooming characteristics and breeding system of an invasive plant *Gaura parviflora* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34 (6): 1517-1524. [郭玉莹, 刘龙昌, 孟伟, 等. 入侵植物小花山桃草开花特性与繁育系统 [J]. 应用生态学报, 2023, 34 (6): 1517-1524]

Hu XL, Ren XX, Ma FZ, *et al*. Effects of stocking density of alien *Apis melifera* on the community structure and species diversity of native pollinating bees in Luoping, Yunnan, Southwestern China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (3): 343-353. [胡晓玲, 任晓晓, 马方舟, 等. 外来西方蜜蜂放蜂密度对云南罗平本地传粉蜂群落结构及物种多样性的影响 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (3): 343-353]

Huang SQ. Studies on plant-pollinator interaction and its significances [J]. *Biodiversity Science*, 2007, 15 (6): 569-575. [黄双全. 植物与传粉者相互作用的研究及其意义 [J]. 生物多样性, 2007, 15 (6): 569-575]

Jiang F, Huang AP, Cheng ZF, *et al*. Study on the seed traits in loquat (*Eriobotrya Japonica* Lindl.) germplasm resource [J]. *Fujian Fruit Tree*, 2009, 4: 19-24. [姜帆, 黄爱萍, 陈志峰, 等. 枇杷种质资源种子性状研究 [J]. 福建果树, 2009, 4: 19-24]

Johnson SD, Nicolson SW. Evolutionary associations between nectar properties and specificity in bird pollination systems [J]. *Biology Letters*, 2008, 4 (1): 49-52.

Johnson SD. Climatic and phylogenetic determinants of flowering seasonality in the Cape flora [J]. *Journal of Ecology*, 1993: 567-572.

Khler A, Leseigneur CD, Verburgt L, *et al*. Dilute bird nectars: Viscosity constrains food intake by licking in a sunbird [J]. *American Journal of Physiology*, 2010, 299 (4): 1068-1074.

Li J, Sun SX, Xie HJ, *et al*. The relationship between freezing injury and physiological indexes of loquat (*Eriobotrya japonica*) flowers and fruits [J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28 (3): 453-457. [李靖, 孙淑霞, 谢红江, 等. 枇杷花果冻害与若干生理生化指标的关系 [J]. 果树学报, 2011, 28 (3): 453-457]

Li QB, Wei Y, Fan KF, *et al*. Effects of unusual weather in winter and spring seasons on growth and development of loquat [J]. *South China Fruits*, 2023, 52 (2): 45-48. [李清斌, 韦颖, 范凯锋, 等. 春季异常天气对枇杷生长发育影响 [J]. 中国南方果树, 2023, 52 (2): 45-48]

Li WF, Peng YH, Zhang Y, *et al*. Study on floral visitation behavior and pollen-carrying features of Chinese honey bee, *Apis cerana cerana* in the authentic production area of *Amomum yiosum* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024,46 (1): 219-226. [李文峰, 彭烨华, 张祎等. 道地产区阳春砂仁中华蜜蜂访花行为及携粉特征研究 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (1): 219-226]

Liang C, Zhang XW, Huang JX, *et al*. Biogeography and species diversity of bumblebees in Yunnan, Southwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (6): 1045-1053. [梁铖, 张学文, 黄家兴, 等. 云南熊蜂地理区划及物种多样性分析 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (6): 1045-1053]

Liang SK, Hong RX, Zhou DW, *et al*. Study on flower visiting behavior and pollination effect of litchi honeybee in Guangxi Province [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31 (12): 2723-2728. [梁盛凯, 洪日新, 周大维, 等. 广西荔枝蜜蜂访花行为及授粉效果研究 [J]. 西南农业学报, 2018, 31 (12): 2723-2728]

Ling SQ, Yang XH, Liu CM, *et al*. Natural geographical distribution of genus *Eriobotrya* plants in china [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 5: 569-573. [林顺权, 杨向晖, 刘成明, 等. 中国枇杷属植

物的自然地理分布 [J]. 园艺学报, 2004, 5: 569-573]

Liu LL, Liu YY, Wang J, *et al*. A Review of functional components and bioactivities in loquat (*Eriobotrya japonica* Lind.) [J]. *Food Science*, 2020, 41 (5): 306-314. [刘丽丽, 刘玉垠, 王杰, 等. 枇杷功能成分及生物活性研究进展 [J]. 食品科学, 2020, 41 (5): 306-314]

Makrodimos N, Blionis JG, Krigas N, *et al*. Flower morphology, phenology and visitor patterns in an alpine community on Mt Olympos, Greece [J]. *Flora*, 2007, 203 (6): 449-468.

Miguel A. Munguía-rosas, Ollerton J, Parra-tabla V, *et al*. Meta-analysis of phenotypic selection on flowering phenology suggests that early flowering plants are favoured [J]. *Ecology Letters*, 2011, 14 (5): 511-521.

Qin JM, Deng SK, Zhan J, *et al*. Effects of *Apis cerana cerana* pollination on the yield and quality of loquat [J]. *Apiculture of China*, 2023, 74 (10): 65-68. [秦加敏, 邓尚靠, 展江, 等. 中华蜜蜂授粉对元阳枇杷产量和品质的影响 [J]. 中国蜂业, 2023, 74 (10): 65-68]

Qin Z, Su R, Dong K, *et al*. Research progress on nectar compositions and their ecological functions [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33 (3): 825-836. [卿卓, 苏睿, 董坤, 等. 花蜜化学成分及其生态功能研究进展 [J]. 生态学杂志, 2014, 33 (3): 825-836]

Sgolastra F, Fisogni A, Quaranta M, *et al*. Temporal activity patterns in a flower visitor community of dictamnus albus in relation to some biotic and abiotic factors [J]. *Bulletin of Insectology*, 2016, 69 (2): 291-300.

Shen JS, Wu WQ, Song HL, *et al*. The study of pollinating insects and their flower-visiting behavior on *Malus pumila* Mill [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 720-725. [申晋山, 武文卿, 宋怀磊, 等. 苹果传粉昆虫种类及其访花习性的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 720-725]

Wang H, Qu YY, Liu XY, *et al*. Comparison of foraging behaviors between *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* on greenhouse strawberry [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (6): 1307-1315. [王欢, 曲焱焱, 刘欣玉, 等. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂在设施草莓上的授粉行为差异比较 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59 (6): 1307-1315]

Wang HL, Gong LZ, Wang FR, *et al*. Preliminary report on breeding of new yellow loquat line '040178' [J]. *South China Fruits*, 2022, 51 (6): 245-246. [王会良, 龚林忠, 王富荣, 等. 黄肉枇杷新品系“040178”选育初报 [J]. 中国南方果树, 2022, 51 (6): 245-246]

Willmer PG, Bataw AAM, Hughes JP. The superiority of bumblebees to honeybees as pollinators: Insect visits to raspberry flowers [J]. *Ecological Entomology*, 1994, 19 (3): 271-284.

Xie ZH, Wang YQ, Cao J, *et al*. Ecological pollination in the face of polinator decine: Content, mechanism and perspective [J]. *Biodiversity Science* , 2021, 29 (7): 980-994. [谢正华, 王有琼, 曹军, 等. 传粉昆虫下降背景下的授粉生态弹性: 内涵、机制和展望 [J]. 生物多样性, 2021, 29 (7): 980-994]

Yang XH, Liu CM, Wu JC, *et al*. Yunnan Eriobotrya resources and their distribution [J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 3: 324-328. [杨向晖, 刘成明, 吴锦程, 等. 云南枇杷属植物资源及其分布 [J]. 果树学报, 2007, 3: 324-328]

Yu YS, Zhao HM, Zhang XW, *et al*. Correlation between temperature, humidity and secrete nectar during the loquat florescence in Mengzi, Yunnan Province [J]. *Journal of Bee*, 2010, 30 (4): 13-14. [余玉生, 赵洪木, 张学文, 等. 云南蒙自枇杷花期泌蜜与温湿度关系的初步研究 [J]. 蜜蜂杂志, 2010, 30 (4): 13-14]

Zhang H, Zhou Z, An J. Pollen release dynamics and daily patterns of pollen-collecting activity of honeybee *Apis mellifera* and bumblebee *bombus lantschouensis* in solar greenhouse [J]. *Insects*, 2019, 10 (7): 1-14.

Zhao DX, Su XL, Cao LF, *et al*. Qualitative effect of soft strip Loquat mention increase bee pollination [J]. *Apiculture of China*, 2014, 65 (Z4): 58-60. [赵东绪, 苏晓玲, 曹联飞, 等. 软条白沙枇杷蜜蜂授粉增产提质效果研究 [J]. 中国蜂业, 2014, 65 (Z4): 58-60]

Zhao DX, Su XL, Hua QY, *et al*. The comparative studies of polination behaviors between *Apis cerana* and *Apis mellifera* in blueberry [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (1): 187-192. [赵东绪, 苏晓玲, 华启云, 等. 意大利蜜蜂和中华蜜蜂为蓝莓授粉的行为比较研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (1): 187-192]

Zhao GY, Li JJ, Gao J, *et al*. Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33 (1): 89-96. [赵广印, 李建军, 高洁, 等. 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33 (1): 89-96]

Zhao T, Wang YC, Yuan Y, *et al*. Study on the flower-visiting behavior and pollination effect by *Apis cerana cerana* on kiwi fruit [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (3): 667-675. [赵恬, 王胤晨, 袁扬, 等. 中华蜜蜂对猕猴桃的访花行为及授粉效果研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 667-675]

Zhao YZ, An JD, Zhou ZY, *et al*. Pollination behavior of *Apis mellifera ligustica* and *Bombus hypocrita* (Hymenoptera, Apidae) and the influencing factors in peach greenhouse [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (1): 89-96. [赵亚周, 安建东, 周志勇, 等. 意大利蜜蜂和小峰熊蜂在温室桃园的传粉行为及其影响因素 [J]. 昆虫学报, 2011, 54 (1): 89-96]

Zhao ZQ, Chai Y, Cui M, *et al*. Study on species diversity of plant communities in dry-hot valleys of northwest and Southeast Yunnan [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35 (11): 2447-2457. [赵紫晴, 柴勇, 崔明, 等. 滇西北与滇东南干热河谷植物群落物种多样性研究 [J]. 环境科学研究, 2022, 35 (11): 2447-2457]