# 蜜蜂在猕猴桃园的访花行为和授粉效果评估*

韩胜明[1**] 赖 康[2**] 赵亚周[1] 白 峰[3] 李治菲[3] 彭文君[1***]

（1. 中国农业科学院蜜蜂研究所，北京 100093；2. 四川省蜂业管理站，成都 610041；
3. 四川华胜农业股份有限公司，绵竹 618200）

**摘 要** 【目的】意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 和中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 是中国授粉应用最为广泛的蜂种，二者在传粉方式和传粉效率方面因不同作物而各有不同。为了在二者中选用最为理想的蜂种为猕猴桃授粉，提高猕猴桃的产量和品质。【方法】于 2016-2018 年连续 3 年在四川省绵竹市的猕猴桃园进行中华蜜蜂和意大利蜜蜂的访花行为及授粉效果的评价研究。【结果】在温度高的 12:00-14:00 时段，蜜蜂采集积极性最高，且意大利蜜蜂的访花数量明显多于中华蜜蜂，表现出群势大的优势；利用浸泡过花瓣的糖水对授粉蜂群进行奖励饲喂有助于提高中华蜜蜂对猕猴桃花的采访积极性；相比于人工授粉，蜜蜂授粉可以显著提升猕猴桃的产量。【结论】本研究认为经过合适的诱导方式诱导后，蜜蜂尤其是中华蜜蜂的蜂群，可以实现为猕猴桃高效授粉。

**关键词** 猕猴桃；蜜蜂授粉；人工授粉；访花行为；果实产量

# Flower-visiting behavior and pollination by honeybees in kiwifruit orchards

HAN Sheng-Ming[1**] LAI Kang[2**] ZHAO Ya-Zhou[1]
BAI Feng[3] LI Zhi-Fei[3] PENG Wen-Jun[1***]

(1. Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 2. Sichuan Province Apiculture Management Station, Chengdu 610041, China; 3. Sichuan Hua Sheng Agricultural Co., LTD. Mianzhu 618200, China)

**Abstract** **[Objectives]** To determine which bee species, *Apis mellifera ligustica* or *Apis cerana cerana*, is best for kiwifruit pollination, and thereby improve the yield and quality of kiwifruit. **[Methods]** We compared flower-visiting behavior and pollination by *A. c. cerana* and *A. m. ligustica* in a kiwifruit orchard in Mianzhu City, Sichuan Province for 3 years from 2016 to 2018. **[Results]** Bees were most active during the warmest part of the day; from 12:00 to 14:00. *A. m. ligustica* visited significantly more flowers than *A. c. cerana*, which reflects the greater colony size of *A. m. ligustica*. Feeding petal syrup to *A. c. cerana* colonies could encourage flower-visiting by this species. Compared to artificial pollination, honeybee pollination can significantly increase the yield of kiwifruit. **[Conclusion]** Honeybees, especially *A. c. cerana*, can be efficient pollinators of kiwifruit.

**Key words** kiwifruit; bee pollination; artificial pollination; flower-visiting behavior; fruit yield

为了满足人们对高品质、无污染、富营养水果的需求，近年来中国一直大力发展猕猴桃等高端水果的引进与栽培，比如四川、陕西等省份积极引进了大量国外的优良猕猴桃品种，并进行了广泛种植（Huang and Ferguson，2001；Huang *et al.*，2004）。猕猴桃 *Actinidia chinensis* Planch 也称奇异果，其质地柔软，口感酸甜，深得人们喜爱。猕猴桃属于异花授粉果树，且授粉过程复杂，雄性花的花粉（雄配子体）通过传粉媒介（风、昆虫、人工等）携带而落到雌性花的雌蕊柱头上，

*资助项目 Supported projects：科技基础资源调查专项（2018FY100402）；国家蜂产业技术体系（CARS-43-KXJ17）
**共同第一作者 Co-first authors，E-mail：hanshengming8@126.com；864109114@qq.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：pengwenjun@vip.sina.com
收稿日期 Received：2020-06-28；接受日期 Accepted：2020-08-11

完成授粉。此外，猕猴桃的雌性花属于完全花，同时具有柱头和花粉，但是其花粉败育，不能用于授粉受精（Tacconi *et al.*，2016；Richardson *et al.*，2018）。通常情况下，农场主常采用人工蘸花、机械震动等授粉方法促进猕猴桃座果，此操作不但费工费时、劳动强度大、生产成本高，且座果率低、畸形果率高，在一定程度上影响了果实的产量和品质（Sáez *et al.*，2019）。并且由于规模化种植的发展、人工授粉成本增加、野生授粉昆虫数量下降等外在条件的限制，成本低且高效的蜜蜂授粉技术正逐渐被引入猕猴桃的田间管理中（Bartomeus *et al.*，2014）。

猕猴桃花既是风媒花，又是虫媒花，但因其花粉粒较大，靠风力授粉效果较差（Pozo *et al.*，2018）。在规模化种植的猕猴桃果园，能为猕猴桃授粉的昆虫并不多，主要还需要依赖人工饲养的蜜蜂。但猕猴桃花没有蜜腺，对蜜蜂的吸引力不大，通常蜜蜂只会在短时间内采访猕猴桃花以获取花粉，转而就会被同期开花的其他竞争花所吸引（Balfour *et al.*，2015）。这就需要我们对猕猴桃的授粉蜂群进行人为诱导或者控制，以提高猕猴桃花期内蜜蜂授粉的积极性，完成授粉目的。Gemeda 等（2008）通过对授粉蜂群的优化管理，包括蜂群脱粉和奖励饲喂，最终提高了蜜蜂对梨树的采访积极性。Twidle 等（2015）通过分析猕猴桃花中的挥发性成分及蜜蜂对目标化合物的反应程度，认为蜜蜂对雌性花中的 6 种化合物具有较高的感知响应水平。因此根据上述研究，有人从蜜蜂采集专一性出发，提出用带有目标作物花香的糖水饲喂蜂群，提高蜜蜂对目标作物花朵的辨识度及其采访积极性。

在中国，能够用于为作物授粉的蜜蜂主要有意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 和中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*，2 种蜜蜂都有其自身的生物学特点。比如，意大利蜜蜂采集专一性强、易维持强群、蜂巢内采集蜂数量多，而中华蜜蜂出巢采集温度低、饲料消耗少，二者各有优缺点（赵亚周等，2011；曾志将，2020）。多年的研究报道认为，蜜蜂，尤其是意大利蜜蜂，为西瓜、草莓和温室桃等果菜的授粉效果较好（陈文锋等，2011；Rader *et al.*，2013；Zhang *et al.*，2015）。然而，由于猕猴桃在中国规模化种植时间较短，果农主动引入蜜蜂授粉的案例较少，且鲜有关于蜜蜂访花行为和蜜蜂授粉对果实品质影响的报道。基于此，本研究通过观测意大利蜜蜂和中华蜜蜂在猕猴桃园的访花行为、评价不同诱导方式下两种蜜蜂的采集花粉积极性、以及 2 种蜜蜂授粉和人工授粉方式对猕猴桃产量和品质的影响，旨在为开发成熟、标准的猕猴桃授粉配套技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

试验于 2016-2018 年每年的 4 月 10 日-25 日，在四川省绵竹市四川华胜农业股份有限公司的猕猴桃种植基地内进行，猕猴桃品种为“金实 2 号”，种植面积 68.9 $hm^2$，雌雄株种植比例为 8∶1。选择地力、肥水管理、植株长势基本一致田块，设置中华蜜蜂授粉区、意大利蜜蜂授粉区和人工授粉区。中华蜜蜂授粉区与意大利蜜蜂授粉区相隔在 3 km 以上，分别在授粉区的一侧各摆放蜂群 30 箱。中华蜜蜂和意大利蜜蜂蜂群均要求自然繁殖蜂群（各日龄段均衡）、健康无病，其中中华蜜蜂群势为 5 框/群、子脾 3 脾，意大利蜜蜂蜂群 8 框/群、子脾 5 脾。人工授粉区的设置方法为，开花前用 10 目纱网罩住 5 株雌株，盛花期连续 3 d 进行人工授粉，每天 1 次，花朵凋谢后去除纱网。人工授粉采用电动授粉枪进行操作，将事先配制好的专用花粉混合体（雄花花粉与石松子 1∶1 混合）装入花粉瓶中，密闭固定在授粉枪上，瞄准开放的雌性花柱头，使授粉枪喷嘴与柱头保持 5 cm 左右的距离，用点击的方法迅速进行授粉工作。

### 1.2 蜜蜂访花范围调查

在中华蜜蜂授粉区和意大利蜜蜂授粉区，距离蜂箱 100、300 和 500 m 处分别设置观测点。每个观测点选择 3 株植株，保证树龄、长势、开花数量基本一致。猕猴桃开花期间的 8:00-18:00，

每小时观察 10 min，记录访花蜜蜂的数量，连续观察 3 d。

### 1.3　不同诱导方式下蜜蜂采集花粉的比例

各随机选择 12 群中华蜜蜂和 12 群意大利蜜蜂，进行诱导处理，根据诱导方式和蜂种分别设置 4 个处理组，每组 3 群。1）糖水诱导组：盛花期前，将猕猴桃雄花和雌花花瓣在 50%糖水中浸泡 4 h 后，于傍晚饲喂蜂群，连续饲喂 3 d。2）花瓣诱导组：盛花期前，将猕猴桃雄花和雌花花瓣均匀铺满蜂箱巢门前空地，每天更换，连续 3 d。3）糖水+花瓣诱导组：盛花期前，将猕猴桃雄花和雌花花瓣在 50%糖水中浸泡 4 h 后，于傍晚饲喂蜂群，连续饲喂 3 d。同时，将猕猴桃雄花和雌花花瓣均匀铺满蜂箱巢门前空地，每天更换，连续 3 d。4）空白对照组：不做任何处理。

盛花期到来后，每天 9:00-11:00，在各组蜂箱巢门前安置脱粉器，收集蜜蜂采集归巢的花粉粒，统计各种类型花粉的比例（图 1）。其中雄性花粉为纯白色，雌性花粉为浅黄色，前期通过观察访花的携粉蜜蜂确定。

**图 1　蜜蜂采集的各种类型花粉粒**

**Fig. 1　Types of bee pollen collected by honeybees**

### 1.4　不同授粉方式下猕猴桃产量和品质的检测

分别在中华蜜蜂授粉区、意大利蜜蜂授粉区、人工授粉区统计和检测后期的座果率、果实产量、单果重、干物质含量、色彩角、可溶性固形物和硬度等指标，具体方法参照（Snelgar *et al.*，1998；Crisosto *et al.*，2012）。其中，在各处理组中随机选择 3 棵长势基本一致的植株，统计座果率和果实产量。在各处理组中随机选择 3 棵长势基本一致的植株上的 6 颗果实测定单果重、干物质含量、色彩角、可溶性固形物和硬度指标。具体方法如下：

1）座果率：在每棵植株的两主蔓两侧各定一枝结果母蔓，开花前调查花朵总数 $N_1$，授粉后 10 d 调查果实数量 $N_2$，计算座果率（%）= $N_2/N_1\times100$。

2）果实产量：果实成熟采摘后，统一称量每棵植株上的果实总重量。

3）单果重：果实成熟采摘后，随机选择每棵植株上 6 个果实进行单果重量的称量。

4）干物质含量：用刀切取果实赤道部完整横面 2 片，厚度 1-3 mm，称取鲜重 $m_1$ 后，于干燥箱中 65 ℃烘干至恒重 $m_2$（约 20-24 h），干物质含量（%）$=m_2/m_1\times100$。

5）色彩角：用刀削去果实赤道附近果皮两处，削皮面积约各为 1 $cm^2$，使用色差仪（型号 CHROMA METER CR-400）进行果实色彩角测试。

6）可溶性固形物：取少许果肉榨汁后，取 0.3 mL 用折射仪（型号 ATAGO PAL-1，量程 0-53%）进行测定。

7）硬度：用刀片削去果实赤道附近果皮两处，成 90°角分布，削皮面积各约为 1 $cm^2$，用水果质地分析仪（型号 GS-15）进行硬度测试。

### 1.5　数据统计与分析

试验数据利用 SPSS 20.0 和 Microsoft Excel 软件进行统计分析。采用单因素方差分析试验期内采访花朵的蜜蜂数量、蜜蜂采集花粉比例、猕猴桃产量和品质等数据，其中，猕猴桃的座果率、果实产量、单果重、干物质含量、色彩角、可溶性固形物和硬度等数据进行了取对数 Log2(x)的标准化处理。进一步地，采用独立样本 *t*-检验对

不同处理组的相应数据进行差异性比较。利用 Graphpad prism 5 进行数据图的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 蜜蜂访花积极性的时空变化

从图 2 和图 3 可以得出，全天当中，意大利蜜蜂访花数量随时间的变化情况与中华蜜蜂相似，即中华蜜蜂和意大利蜜蜂的访花活跃时间大体一致，均集中在 10:00-16:00 之间；8:00-10:00 和 16:00-18:00，意大利蜜蜂和中华蜜蜂的访花活跃性均出现了快速降低，这可能是因温度较低所造成；中华蜜蜂和意大利蜜蜂活跃的访花范围也是一致的，即距离蜂箱越近的观测点，蜜蜂访花数量越多。总的来看，蜜蜂为猕猴桃授粉最活跃的时间段为 12:00-14:00，意大利蜜蜂的访花数量要多于中华蜜蜂。

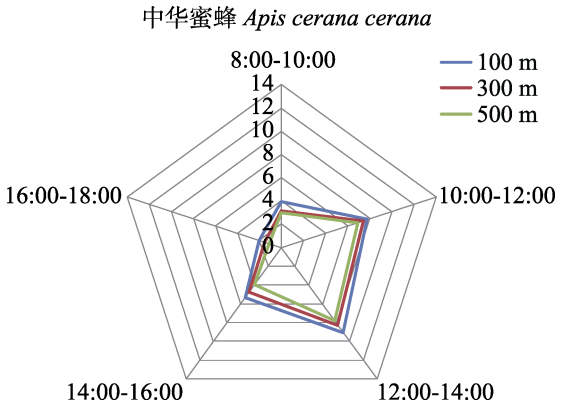


**图 2 中华蜜蜂访花数量的时空变化**

**Fig. 2 The amount of flowers visited by *Apis cerana cerana* changing with temporal and spatial factors**

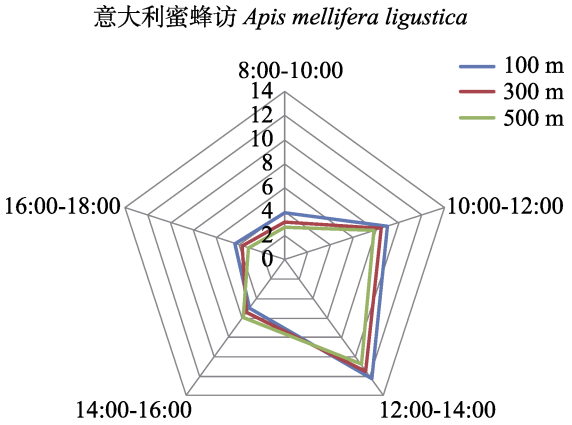


**图 3 意大利蜜蜂访花数量的时空变化**

**Fig. 3 The amount of flowers visited by *Apis mellifera ligustica* changing with temporal and spatial factors**

### 2.2 不同种蜜蜂的访花积极性比较

根据 2.1 中蜜蜂访花积极性时空变化的分析，我们发现中华蜜蜂和意大利蜜蜂均在 100 m 的观测点表现出较强的访花积极性，因此，我们对该观测点的 2 种蜜蜂访花数量进行了比较（图 4）。上午 8:00-12:00 时，中华蜜蜂和意大利蜜蜂的访花数量均较少，且相互之间未表现出显著性差异（$P > 0.05$）。而到了 12:00-18:00 中的 3 个时间段内，意大利蜜蜂的访花数量显著高于中华蜜蜂（$P < 0.05$），且 2 种蜜蜂均在 12:00-14:00 时访花积极性最高。

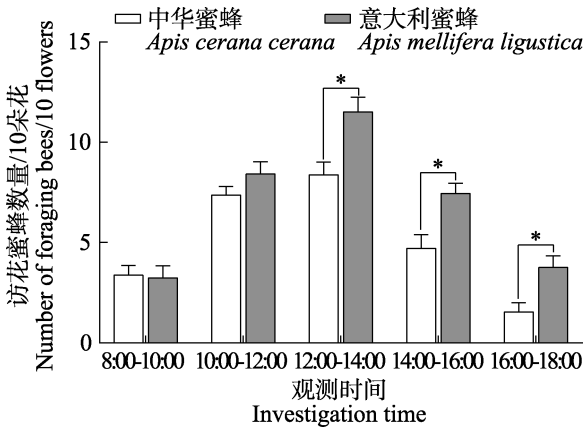


**图 4 中华蜜蜂和意大利蜜蜂在 100 m 观测点的访花数量**

**Fig. 4 The amount of flowers visited by *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* at 100 m observation points**

*表示在 0.05 水平上差异显著。

* indicates significant difference at the 0.05 level.

### 2.3 诱导方式对授粉蜂采集花粉的影响

因猕猴桃属于雌雄异株植物，且花朵的蜜腺不发达，对蜜蜂的吸引力较弱。所以，本研究采用了不同的诱导方式对蜜蜂的访花行为进行诱导，以提高蜜蜂访花的积极性，具体通过蜜蜂归巢时所携带的不同类型花粉粒比例进行评价。从图 5 可以发现，经诱导后的中华蜜蜂采集雌性花粉粒的比例显著提高（$P < 0.05$），采集雄性花粉粒的比例则显著降低（$P < 0.05$），其中糖水+花

瓣的诱导方式效果最明显，但中华蜜蜂采集的雌雄 2 种花粉粒依然占据了较大比例。从图 6 可以发现，无论是从采集的雌性花粉粒数量，还是采集的雄性花粉粒数量上看，3 种诱导方式对意大利蜜蜂访花积极性的提升效果均不明显，且意大利蜜蜂偏爱访问雌性花，对雄性花则兴趣不大。

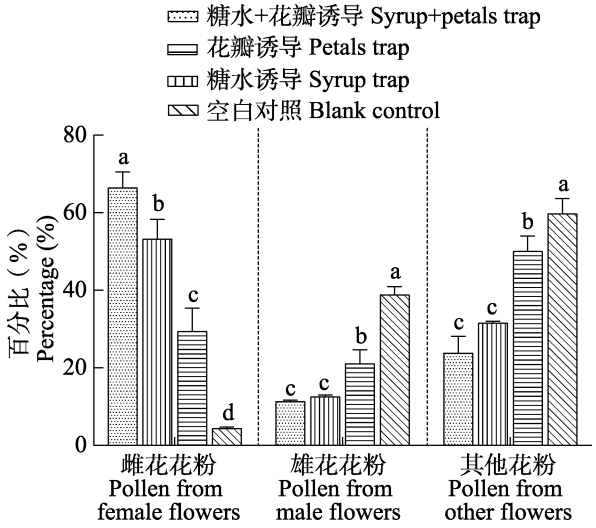


**图 5　不同诱导方式对中华蜜蜂采集花粉的影响**

**Fig. 5　Effect of different trap methods on pollen-foraging of *Apis cerana cerana***

柱上标有不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level. The same below.

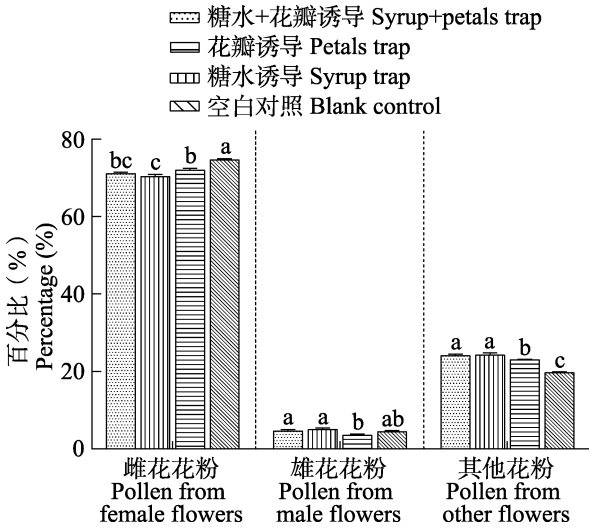


**图 6　不同诱导方式对意大利蜜蜂采集花粉的影响**

**Fig. 6　Effect of different trap methods on pollen-foraging of *Apis mellifera ligustica***

## 2.4　授粉方式对果实产量和品质的影响

在果实结果和成熟后，我们对中华蜜蜂授粉区、意大利蜜蜂授粉区和人工授粉区的猕猴桃果实进行统计、取样和指标测定，得到了座果率、果实产量、单果重、干物质含量、色彩角、可溶性固形物和硬度指标数据（图 7）。结果表明在座果率和果实产量指标上，2 种蜜蜂授粉的效果显著优于人工授粉（$P < 0.05$），而中华蜜蜂授粉和意大利蜜蜂授粉之间没有表现出显著差异（$P >$

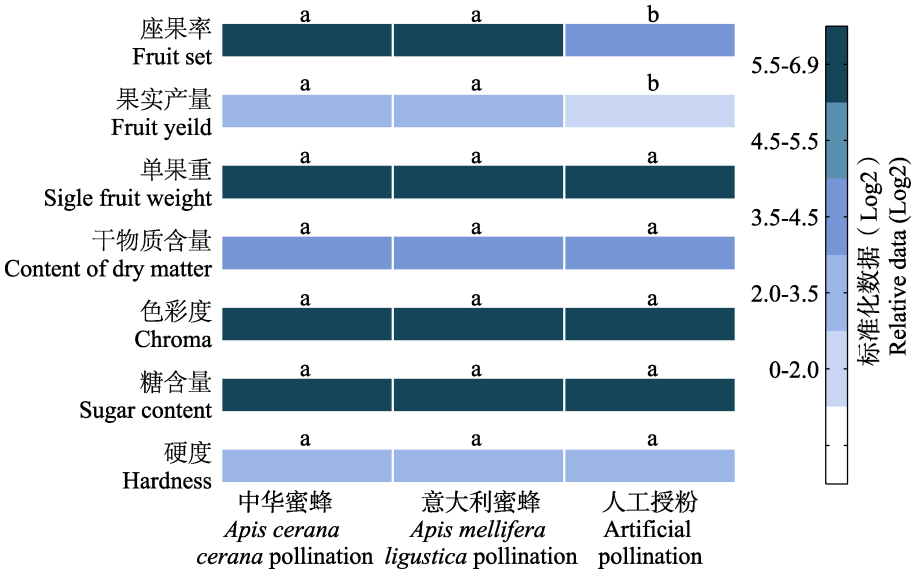


**图 7　不同授粉方式对果实产量和品质的影响**

**Fig 7　Effects of different pollination methods on fruit yield and quality**

0.05）。3 种授粉方式对其它果实品质指标的影响未表现出显著性差异（$P > 0.05$）。

## 3 讨论

温度会直接或间接地影响蜜蜂的访花行为（Sgolastra *et al.*，2016）。一方面，蜜蜂的访花行为通常发生在适宜的温度范围内，另一方面，温度也通过改变蜜蜂食物资源的数量和质量而影响其访花行为（Sgolastra *et al.*，2016）。温度也会显著影响植物花朵的花药开裂动力学，而花药开裂是可利用花粉数量增多的重要条件（Wang *et al.*，2019）。因此，随着温度的升高，花朵中花粉数量增多，更易吸引蜜蜂采集（Zhang *et al.*，2019）。本实验中，2016-2018 年猕猴桃的授粉试验期内，大多为晴天或者多云等较好天气，气温一般维持在 14-25 ℃，中午时分可达到 25 ℃左右。本实验结果中发现 2 种蜜蜂访花最活跃的时间段均为 12:00-14:00，正是一天当中温度最高的时段。一般情况下，上午 2 种蜜蜂的访花频率没有差异，但到了下午，随着温度的升高，意大利蜜蜂的访花频率明显高于中华蜜蜂，体现出了意大利蜜蜂蜂群群势强的优点，可以提供更多的采集蜂。而相比于意大利蜜蜂，中华蜜蜂比较耐寒，活动起点温度低，日工作时间长（苏晓玲等，2017）。所以，二者皆有优点可取，具体到猕猴桃的蜜蜂授粉，应根据座果率情况，及时地疏花疏果，防止结果太多影响商品果实的大小和品质（Nayak *et al.*，2019）。此外，意大利蜜蜂对环境的适应能力稍差，应用意大利蜜蜂授粉应提前更长时间让蜂群进场（Razzaq *et al.*，2019）。

中华蜜蜂和意大利蜜蜂是中国目前饲养数量最多的 2 个蜂种，随着集约化农业的发展和人工成本的上升，二者已被广泛地应用于规模化农场的商业授粉。如何针对特定农作物选择合适的授粉者，是摆在农场主和养蜂人面前最实际的问题之一。猕猴桃属于雌雄异株植物，并且蜜腺不发达，因此对蜜蜂的吸引力较弱。我们通过总结前人方法，采用了巢门前摆放花瓣、浸泡花瓣的糖水饲喂的诱导方式（Gemeda *et al.*，2018），训练蜜蜂积极采集猕猴桃花，以达到蜜蜂授粉的目的。结果可以看出中华蜜蜂对多种诱导方式敏感，采集花粉的行为显示出较为明显的变化趋势，相比之下，意大利蜜蜂则对试验中所采用的诱导方式不敏感，采集行为未表现出明显的差异。自然情况下，中华蜜蜂采集的花粉绝大部分为雄性花粉，而通过糖水+花瓣诱导和糖水诱导后，其转为 2 种花粉均有采集，可以对猕猴桃花起到很好地授粉效果。花瓣诱导主要是为了让蜜蜂熟悉花朵气味，增强蜜蜂采集的专一性。而浸泡花瓣的糖水饲喂则是在增强蜜蜂采集专一性的前提下，进一步实施的奖励饲喂，使蜂群中蜂王产卵力增强，进而刺激工蜂更加积极的采集行为（Monzón *et al.*，2014）。也有研究认为，奖励饲喂可以使得工蜂对猕猴桃花的采访积极性显著强于附近其他蜜源植物（Goodwin *et al.*，1991）。因此，中华蜜蜂在为猕猴桃授粉过程中更易被诱导，进而提高授粉效率，具体诱导方式为利用浸泡花瓣的糖水对蜂群进行奖励饲喂。

蜂类昆虫与植物在长期的协同进化过程中形成了相互适应。作为众多开花植物的主要传粉者，蜜蜂的访花行为是为了获取花蜜和花粉等食物，其中花粉为蜜蜂的个体和群体发育提供了丰富的蛋白质、脂类、维生素和矿物质等营养物质（Schlindwein *et al.*，2015；郭媛等，2017）。同时，蜜蜂的访花行为也极大地促进了植物授粉受精的成功，尤其是异花植物（Sapir *et al.*，2017；肖云丽等，2019）。正是基于以上理论，人们很早就开始利用家养蜜蜂为农作物授粉，以提高作物的产量和品质。相比于人工授粉，蜜蜂对花粉活性具有较强的识别能力，偏向于采集活性较强的花粉，有助于在采集过程中高效地帮助作物完成授粉受精（Vinod *et al.*，2106）。而人工授粉并不能主观的识别花粉活性，很容易造成授粉时机和授粉程度等的不合适，进而影响果实的产量或品质（Lee *et al.*，2016）。本实验采用中华蜜蜂和意大利蜜蜂为猕猴桃授粉，在座果率和果实产量上均显著优于人工授粉，而在涉及果实品质的指标上，3 种授粉方式无明显差异。说明蜜蜂授粉的优势可能主要体现在提高果实产量上，而非品质，但也有可能是由于本实验选取的品质指

标不够充分，需要进一步的研究确定。

综上所述，通过比较猕猴桃花授粉期间中华蜜蜂和意大利蜜蜂的访花行为、不同诱导方式对二者访花积极性的影响、不同授粉方式对猕猴桃果实产量和品质的影响，我们认为中华蜜蜂为猕猴桃授粉过程中更容易被诱导，通过浸泡花瓣的糖水对蜂群进行奖励饲喂，可以使其同时积极采访雄性花和雌性花，促进猕猴桃花授粉受精的成功。相比于人工授粉，蜜蜂授粉可以显著提升猕猴桃的产量。

## 参考文献 (References)


Balfour NJ, Gandy S, Ratnieks FLW, 2015. Exploitative competition alters bee foraging and flower choice. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(10): 1731–1738.

Bartomeus I, Potts SG, Steffan-Dewenter I, Vaissière BE, Woyciechowski M, Krewenka KM, Tscheulin T, Roberts SPM, Szentgyörgy IH, Westphal C, Bommarco R, 2014. Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. *Peer J.*, 2: e328.

Chen WF, An JD, Dong J, Ding KF, Gao S, 2011. Flower-visiting behavior and pollination ecology of different bee species on greenhouse strawberry. *Chinese Journal of Ecology*, 30(2): 290–296. [陈文锋, 安建东, 董捷, 丁克法, 高山, 2011. 生态学杂志, 30(2): 290–296.]

Crisosto G, Hasey J, Zegbe J, Crisosto C, 2012. New quality index based on dry matter and acidity proposed for Hayward kiwifruit. *California Agriculture*, 66(2): 70–75.

Gemeda TK, Li J, Luo S, Yang H, Jing T, Huang J, Wu J, 2018. Pollen trapping and sugar syrup feeding of honey bee (Hymenoptera: Apidae) enhance pollen collection of less preferred flowers. *PLoS ONE*, 13(9): e0203648.

Goodwin RM, Ten Houten A, Perry JH, 1991. Effect of variations in sugar presentation to honey bees (*Apis mellifera*) on their collection of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) pollen. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 19(3): 259–262.

Guo Y, Song ZQ, Zhang XF, Song HL, Wu WQ, Shao YQ, 2017. Comparison of pollinating effects for the alfalfa between *Apis mellifera* L. and *Bombus terrestris* L. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(6): 1008–1014. [郭媛, 宋卓琴, 张旭凤, 宋怀磊, 武文卿, 邵有全, 2017. 西方蜜蜂和地熊蜂为紫花苜蓿授粉效果比较. 应用昆虫学报, 54(6): 1008–1014.]

Huang H, Ferguson AR, 2001. Kiwifruit in China. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 29(1): 1–14.

Huang H, Wang Y, Zhang Z, Jiang Z, Wang S, 2004. Actinidia germplasm resources and kiwifruit industry in China. *HortScience*, 39(6): 1165–1172.

Lee KY, Yim SH, Seo HJ, Kim SY, Yoon HJ, 2016. The influence of insect pollination and artificial pollination on fruit quality and economic profit in the 'Niitaka' pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Korean Journal of Organic Agriculture*, 24(4): 759–771.

Monzón VH, Bosch J, Retana J, 2004. Foraging behavior and pollinating effectiveness of *Osmia cornuta* (Hymenoptera: Megachilidae) and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) on “Comice” pear. *Apidologie*, 35(6): 575–585.

Nayak RK, Rana K, Sharma HK, Rana VS, Thakur M, 2019. Influence of bumble bee pollination on quantitative and qualitative parameters of kiwifruit. *Indian Journal of Horticulture*, 76(2): 294–299.

Pozo MI, Vendeville J, Kay C, Wackers F, 2018. Entomovectoring technology in kiwifruit pollination. *Acta Horticulturae*, 1218: 381–390.

Rader R, Reilly J, Bartomeus I, Winfree R, 2013. Native bees buffer the negative impact of climate warming on honey bee pollination of watermelon crops. *Global Change Biology*, 19(10): 3103–3110.

Razzaq A, Abbasi KH, Jamal M, Aslam A, Malik K, Ullah MA, 2019. Evaluation of pollination by honeybee (*Apis mellifera* L.) on canola (*Brassica napus* L.) produce. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 22(4): 16833–16836.

Richardson DP, Ansell J, Drummond LN, 2018. The nutritional and health attributes of kiwifruit: A review. *European Journal of Nutrition*, 57(8): 2659–2676.

Sáez A, Negri P, Viel M, Aizen MA, 2019. Pollination efficiency of artificial and bee pollination practices in kiwifruit. *Scientia Horticulturae*, 246: 1017–1021.

Sapir G, Baras Z, Azmon G, Goldway M, Shafir S, Allouche A, Stem RA, 2017. Synergistic effects between bumblebees and honey bees in apple orchards increase cross pollination, seed number and fruit size. *Scientia Horticulturae*, 219: 107–117.

Schlindwein C, Wittmann D, Martins CF, Hamm A, Siqueira JA, Schiffler D, Machado LC, 2005. Pollination of *Campanula rapunculus* L.(Campanulaceae): How much pollen flows into pollination and into reproduction of oligolectic pollinators? *Plant Systematics and Evolution*, 250(3/4): 147–156.

Sgolastra F, Fisogni A, Quaranta M, Bogo G, Bortolotti L, Galloni M, 2016. Temporal activity patterns in a flower visitor community of *Dictamnus albus* in relation to some biotic and abiotic factors. *Bulletin of Insectology*, 69: 291–300.

Snelgar WP, Hopkirk G, Seelye RJ, Martin PJ, Manson PJ, 1998. Relationship between canopy density and fruit quality of

kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 26(3): 223–232.

Su XL, Hua QY, Chen YF, Jiang XS, Xi WJ, Zhao DX, Bie ZL, 2017. Behavior of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* as pollinator for long-season cultivated watermelon in tunnel greenhouse under summer high temperature condition. *Journal of Environmental Entomology*, 39(1): 104–110. [苏晓玲, 华启云, 陈伊凡, 蒋侠森, 席伟军, 赵东绪, 别之龙, 2017. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂夏季高温下为长季节栽培设施西瓜授粉行为观察. 环境昆虫学报, 39(1): 104–110.]

Tacconi G, Michelotti V, Cacioppo O, Vittone G, 2016. Kiwifruit pollination: The interaction between pollen quality, pollination systems and flowering stage. *Journal of Berry Research*, 6(4): 417–426.

Twidle AM, Mas F, Harper AR, Horner RM, Welsh TJ, Suchling DM, 2015. Kiwifruit flower odor perception and recognition by honey bees, *Apis mellifera*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(23): 5597–5602.

Vinod M, Naik AK, Biradar R, Natikar PK, Balikai RA, 2016. Bee pollination under organic and conventional farming systems: A review. *Journal of Experimental Zoology*, *India*, 19(2): 643–652.

Wang Y, Tao H, Tian B, Sheng D, Xu C, Zhou H, Huang S, Wang P, 2019. Flowering dynamics, pollen, and pistil contribution to grain yield in response to high temperature during maize flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 158: 80–88.

Xiao YL, Tang WY, Liu CH, Yu K, Gong Y, Yang QM, Zhang YG, Qu CH, Wang LP, Guo D, Yu YL, 2019. Analysis of the pollinating services provided by *Osmia cornifrous* (Rodoszkouski) and *Apis mellifera ligustica* Spin in apple and cherry orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1235–1242. [肖云丽, 唐文颖, 刘存辉, 于凯, 公义, 杨勤民, 张玉国, 曲成怀, 王利平, 国栋, 于玲雅, 2019. 壁蜂及蜜蜂授粉对苹果和大樱桃授粉服务功能分析. 应用昆虫学报, 56(6): 1235–1242.]

Zeng ZJ, 2020. Advances in honeybee biology in China over the past 70 years. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(2): 259–264. [曾志将, 2020. 中国 70 年来蜜蜂生物学研究进展. 应用昆虫学报, 57(2): 259–264.]

Zhang H, Huang J, Williams PH, Vaissière BE, Zhou ZY, Gai QB, Dong J, An J, 2015. Managed bumblebees outperform honeybees in increasing peach fruit set in China: different limiting processes with different pollinators. *PLoS ONE*, 10(3): e0121143.

Zhang H, Zhou ZY, An JD, 2019. Pollen release dynamics and daily patterns of pollen-collecting activity of honeybee *Apis mellifera* and bumblebee *Bombus lantschouensis* in solar greenhouse. *Insects*, 10(7): 216–229.

Zhao YZ, An JD, Zhou ZY, Dong J, Xing YH, Qin JJ, 2011. Pollination behavior of *Apis mellifera ligustica* and *Bombus hypocrite* (Hymenoptera, Apidae) and the influencing factors in peach greenhouse. *Acta Entomologica Sinica*, 54(1): 89–96. [赵亚周, 安建东, 周志勇, 董捷, 邢艳红, 秦建军, 2011. 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. 昆虫学报, 54(1): 89–96.]