环境昆虫学报 2021，43（3）：667－675
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2021. 03. 16

赵恬，王胤晨，袁扬，韦小平，张定红，姚丹，张锦华. 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.

中华蜜蜂对猕猴桃的访花行为及授粉效果研究

赵　恬[1]，王胤晨[1]，袁　扬[1]，韦小平[2]，张定红[1]，
姚　丹[1]，张锦华[1*]
（1. 贵州省畜牧兽医研究所，贵阳 550002；2. 贵州省现代农业发展研究所，贵阳 550006）

摘要：本研究采用中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*（简称“中蜂”）为猕猴桃授粉，研究中蜂对猕猴桃的访花授粉行为规律，以及中蜂授粉对猕猴桃果实生长发育及品质的影响，以期为规范猕猴桃中蜂授粉和产业提质增效提供理论依据。结果表明：中蜂既采集雄花又采集雌花，每日的访花活动时间为 7∶40－19∶30，访花的温度区间为 18.9～31.2℃，湿度区间为 21%～76%。对单朵花的平均访问时间为 25±5.77 s，62%±0.82% 的中蜂单花访问时间分布在20～30 s。中蜂日访花活动的高峰时段为 11∶00－12∶00，携粉回巢的高峰时段为 11∶00－11∶20，携粉回巢蜂的数量随温度和湿度的变化规律均呈正态分布，分别符合方程 $y = 14.36 - \frac{25.58(x-24.81)^2 e}{\sqrt{\pi}}$（$R^2=0.924$）和 $y = 12.67 - \frac{0.96(x-53.90)^2 e}{\sqrt{\pi}}$（$R^2=0.858$），且在温度 22.5～26.3℃、湿度 43%～67% 区间内数量达到高峰。经中蜂授粉的果实座果率、纵径、横径及侧径增长速率、单果重、可溶性固形物、总糖含量、固酸比、糖酸比和维生素 C 含量均显著高于人工授粉组（$P<0.05$），畸形率和果实硬度显著低于人工授粉组（$P<0.05$）。本研究得出中蜂授粉可提高猕猴桃产量，改善果实品质，在生产中可代替人工授粉以获得更高的经济效益。

关键词：中华蜜蜂；猕猴桃；授粉；访花规律；果实品质
中图分类号：Q965；S89　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2021）03－0667－09

Study on the flower-visiting behavior and pollination effect by *Apis cerana cerana* on kiwi fruit

ZHAO Tian[1], WANG Yin-Chen[1], YUAN Yang[1], WEI Xiao-Ping[2], ZHANG Ding-Hong[1], YAO Dan[1], ZHANG Jin-Hua[1*] (1. Guizhou Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Guiyang 550002, China; 2. Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

Abstract: *Apis cerana cerana* were used to pollinate for kiwi fruit, to explore the pollination behavior rule, and the influence of *A. cerana* pollination on the kiwi fruit growth and quality to provide theoretical support for regulate *A. cerana* pollination management and improve quality and efficiency. The results indicated that: *A. cerana* visit both male and female flowers, the time of *A. cerana* visiting activity was 7∶40 a. m. – 19∶30 p. m., the temperature range of visiting flowers was 18.9～31.2℃ and the humidity range was 21%～76%. The average visit time of single flower was 25±5.77 s, and 62%±0.82% of the single

基金项目：贵州省科技计划项目（黔科合支撑［2019］2294）；贵州省科技厅基金项目（黔科合基础［2019］1453）；贵州省科技厅科技支撑项目［黔科合支撑2018（2283）］；国家蜂产业技术体系建设项目（CARS－44－SYZ8）
作者简介：赵恬，女，1992 年生，甘肃武威人，硕士，研究实习员，主要从事蜜蜂授粉技术研究、蜜源植物和牧草种质资源研究，E－mail：zhaotianyeah@163. com
[*] 通讯作者 Author for correspondence：张锦华，男，1973 年生，内蒙古人，博士，研究员，主要从事特种经济动物研究，Email：420506337@qq. com
收稿日期 Received：2020－12－21；接受日期 Accepted：2021－04－20

flower visit time were distributed in 20 ~ 30 s. The peak time of the visiting activities were 11:00 - 12:00, the peak time of bringing powder back to the nest ware 11:00 - 11:20, the number of powered bees returned to the nest with temperature and humidity showed a normal distribution, respectively in accordance with: $y = 14.36 - \frac{25.58(x-24.81)^2 e}{\sqrt{\pi}}$ ($R^2 = 0.924$) and $y = 12.67 - \frac{0.96(x-53.90)^2 e}{\sqrt{\pi}}$ ($R^2 = 0.858$). The quantity reached its peak in the temperature range of 22.5 ~ 26.3℃ and humidity range of 43% ~ 67%. Set percentage, growth rate of longitudinal diameter, transverse diameter and lateral diameter, fruit weight, soluble solid content, total sugar content, solid acid ratio, sugar acid ratio and vitamin C content of kiwi fruit pollinated by *A. cerana* were significantly higher than that of artificial pollination ($P < 0.05$), deformity rate and firmness of fruit were significantly lower than that of artificial pollination ($P < 0.05$). This study concluded that *A. cerana* pollination can improve the yield and fruit quality of kiwi fruit, and can replace artificial pollination in production to obtain higher economic benefits.

Key words: *Apis cerana cerana*; kiwi fruit; pollination; flower visiting law; fruit quality

贵州省是我国重要的猕猴桃 *Actinidia chinensis* Planch 优势栽培区，近几年的种植面积稳居全国前三（舒然等，2020）。随着产业的扩大，提高猕猴桃花期的授粉受精质量，是保证其高产稳产的前提条件。猕猴桃为雌雄异株植物，雌雄花都是形态上的两性花，生理上的单性花，虽均能产生花粉，但雌株花粉不育，因此要通过雌雄株互相传粉才能保证胚珠受精（Ashman *et al.*，2004; Aizen and Harder，2007; Tacconi *et al.*，2016; Richardson *et al.*，2018; Sáez *et al.*，2019）。生产中常用对花授粉、喷雾器液体授粉和授粉器授粉等人工手段对猕猴桃进行授粉，成本高、费时费力且功效低，如座果情况不佳、畸形果率高等，一定程度上限制了猕猴桃产业的发展（Bartomeus *et al.*，2014）。

蜜蜂和农作物经过长期的自然选择和协同进化，早已形成了密切的互惠共生关系（钦俊德和王琛柱，2001; 韩胜明等，2020）。蜜蜂属于膜翅目昆虫，具有独特的形态结构和生理特征，其身上的绒毛易粘附和传播花粉，花粉刷和花粉钳易携带花粉，是农作物的“月下老人”，在授粉中占据主导地位（Richards，1993; 董霞，2010; 安建东和陈文锋，2011）。据研究显示，70% 以上的农作物如油料作物、牧草类、瓜果类，均很大程度地依赖蜜蜂授粉。相较于人工授粉，蜜蜂完成的授粉更充分，座果率更佳、产量更高、口感和品质更优，具有很高的生态和经济效益（Klein *et al.*，2007; Shrestha，2008），因此在农业生产中可利用蜜蜂授粉来代替繁重的人工授粉。目前，蜜蜂授粉对多种农作物产量和品质的影响已有相关报道，如意蜂为设施辣椒授粉可显著增加其结实率、单果重、果实长度和果实籽粒数，单位面积增产高达 6.62%（罗术东等，2015）；中蜂为苦瓜授粉可提高果形指数、可溶性固形物和维 C 含量，改善果实品质（钟娟等，2018）；中蜂为荔枝授粉可提高座果率，降低落果率（梁盛凯等，2019），提高果实糖酸比和维生素 C 含量等（梁盛凯等，2018）。然而，蜜蜂授粉在猕猴桃产业中的应用较少，造成人们对蜜蜂为猕猴桃授粉的重要性认识不足，应用受到限制。基于此，本研究选用贵州的主要蜂种中蜂，开展中蜂对猕猴桃的访花行为规律及对果实生长发育和果实品质的授粉效果研究，旨在为规范猕猴桃中蜂授粉措施和提高果实品质以获得更高的经济效益提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2020 年 4 月至 11 月于贵州省贵阳市修文县猕猴桃种植区开展中华蜜蜂对猕猴桃的访花行为及授粉效果试验。授粉猕猴桃品种为“贵长”，雌雄树比例为 4:1。株距为 3 m，行距为 4 m，采用常规的田间管理方法对植株进行管理。

授粉蜜蜂为标准箱饲养的中蜂，由贵州省畜牧兽医研究所提供。选择群势基本一致、蜂脾相称的健康蜂群，授粉前调整到 4 脾/箱。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

采用分区对比的试验方法。在同一试验地选择树龄、树冠、树高、花蕾数量基本一致的健康

猕猴桃植株，设置网内中蜂授粉和人工授粉各 2 个小区，每个小区各选连续的 4 株雌树和 1 株雄树。（1）网内中蜂授粉小区：于开花前采用网孔眼60 目的尼龙纱网支起网罩（网顶长 10 m，宽 5 m，高 3 m），于 5% ~10% 的雌花开放时（李亮等，2020）在小区中间放置一箱 4 脾的蜂群入场，入场前隔离 2 d 以清除体上花粉。盛花期时将猕猴桃的雄花混合糖浆对蜜蜂进行诱喂，糖水喷洒花朵，同时在巢门口放置雄花花粉以促进有效授粉。（2）人工授粉组：开花前采用网孔眼 60 目的尼龙纱网支起网罩（网顶长 10 m，宽 5 m，高 3 m），于盛花期每日 8：00 – 11：00 采用常规的对花授粉法对当天开放的雌花柱头进行人工授粉，每朵花每日授 3 次，连续授粉 3 天（赖康等，2019）。

1.2.2　测定项目与方法

（1）中蜂活动习性及访花行为观察：根据猕猴桃的开花情况，在盛花期至盛末期（6 d），每日对中蜂的访花授粉行为进行观察，做以下记录：①中蜂每日的活动时间：每日第一头中蜂开始访花的时间和最后一头中蜂结束访花的时间。②环境因子变化规律：在小区中部悬挂温湿度计，记录 8：00 – 19：00 每小时的温湿度。③每株来访中蜂数量：每日于 8：00 – 19：00 的每个整点连续 1 h 记录每株树来访的中蜂数量。④单朵花访问时间：每日于访花的高峰时间段内，随机选择正在采集的中蜂 50 头，用秒表记录其从落到花上到离开花的时间。⑤携粉蜂数量：每日于 8：00 – 19：00 的每个整点，用计数器和秒表分别观察记录 20 min 内回巢的中蜂数量和回巢携带花粉的中蜂数量，计算携粉蜂的比例。

（2）座果情况及产量、品质的测定：①座果率测定：盛花期统计每株猕猴桃的花朵数量，谢花后 1 个月第 1 次自然落果后统计座果数和畸形果数，计算座果率。②果实生长动态规律测定：花期结束 2 周后，在中蜂授粉组和人工授粉组的每棵植株上各随机标记 15 个果实，每隔 2 周采用游标卡尺测量果实纵径、横径、侧径，至果实成熟。③果实品质测定：果实成熟采摘后，分别测定中蜂授粉组和人工授粉组的果实横径、纵径、侧径、单果重、硬度、可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、维生素 C 等指标。横径、纵径、侧径采用游标卡尺测定；单果重用电子天平测定；硬度参照徐燕红等（2020）用 GY-4 型硬度计测定；可溶性固形物参照盘柳依等（2019）和康慧芳等（2020）采用 WYT-4 型手持折射仪测定；可溶性糖含量参照陈美艳等（2019）采用分光光度法测定；可滴定酸含量参照黄文俊等（2019）采用酸碱滴定法测定；维生素 C 含量参照曹健康等（2007）采用 2，6 – 二氯靛酚滴定法测定。

1.3　数据处理

用 Microsoft Excel 2010 对所得数据进行整理和统计学分析并作图，用 SPSS 20.0 对每株来访中蜂数量、每 20 min 携粉回巢蜂数量及比例、座果率、单果重、硬度、可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、维生素 C 等进行显著性方差分析，当 $P < 0.05$ 时差异达到显著水平。采用 Origin 2019 将不同时间段的温湿度分别与携粉蜂数量进行多项式曲线拟合，建立回归方程。

2　结果与分析

2.1　中蜂对猕猴桃的访花行为及访花动态规律

2.1.1　中蜂对猕猴桃的访花行为

经观察，同一头中蜂既采集雌花又采集雄花，足上均携带乳白色或米黄色的花粉团，有利于促进授粉。在晴暖天气，中蜂每天的访花时间为 7：40 – 19：30，访花的温度区间为 18.9 ~31.2℃，湿度区间为 21% ~ 76%。对单次在花朵上停留的时间进行观察分析发现，每头中蜂的单花访问时间不一，主要分布在 0 ~ 10 s、10 ~ 20 s、20 ~ 30 s、30 ~40 s、40 ~50 s 几个时间段，单花访问时间平均为 25 ±5.77 s，其中访问 20 ~30 s 的比例为 62% ±0.82%，占比最高；0 ~10 s 的比例为 3% ±0.82%，占比最低（图 1）。

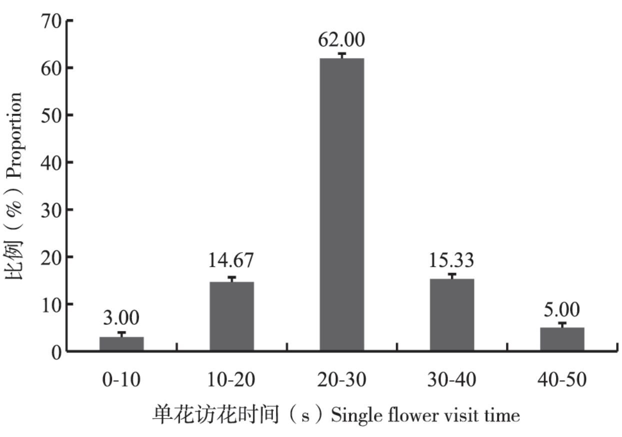

图 1　中蜂访花时间分布

Fig. 1　Time distribution of *Apis cerana cerana* visits

2.1.2 中蜂对猕猴桃的访花动态规律

在整个盛花期，不同时间段来访的中蜂数量波动较大，呈双峰现象，访花活动的高峰期出现在 11:00－12:00（图 2）。8:00 开始，来访中蜂数量逐渐上升，至 11:00－12:00 达到最高峰 285.21±11.33 头/株，之后数量明显下降，到 13:00－14:00 达到最低点 44.43±6.96 头/株，并持续维持较低水平，至 17:00－18:00 出现另一个小高峰。显著性分析发现，11:00－12:00 中蜂来访数量显著高于其他时间段（$P<0.05$），10:00－11:00 与 17:00－18:00 无显著差异，但均显著低于 11:00－12:00，显著高于其余各时间段（$P<0.05$）。13:00－14:00、14:00－15:00、15:00－16:00 三个时间段来访中蜂的数量无显著差异，均显著低于其余时间段（$P<0.05$）（图 2）。

从不同时段携粉回巢蜂的数量和携粉蜂占回巢蜂的比例来看，二者也均呈双峰现象（图 3），8:00－8:20、9:00－9:20 中蜂尚未大量出巢采粉，数量及比例较低。11:00－11:20 为采粉高峰期，其携粉蜂数量 133±3 头/20 min，比例高达 79.17%±4.22%，表明该时间段有近 4/5 的出巢蜂携带花粉回巢，显著高于其他时间段（$P<0.05$）。10:00－10:20、12:00－12:20 和 17:00－17:20 携粉蜂的比例分别为 65.80%±1.23%、57.80%±3.94%、69.30%±2.46%，表明这三个时间段也均有超出一半的出巢蜂能有效采粉。14:00－14:20、15:00－15:20、16:00－16:20 三个时间段携粉蜂均保持在 20 头以下，显著低于其他各组（$P<0.05$），表明此时外出采粉的效率较低。

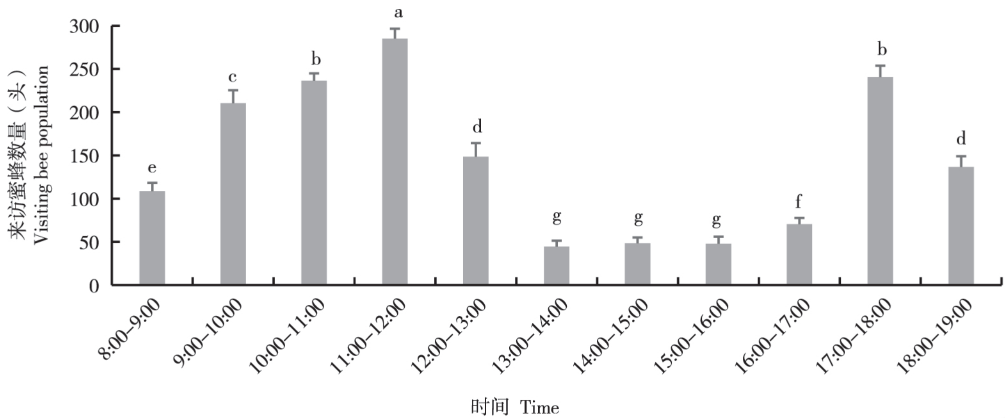

图 2 不同时间段中蜂来访数量

Fig. 2 Number of *Apis cerana cerana* visiting flowers per time period

注：图中数据为平均值±标准差。不同小写字母表示处理间差异显著（$P<0.05$）。图 3 同。Note: Data in the figure were mean±SD. Different case letters was significant difference ($P<0.05$). The same for fig. 3.

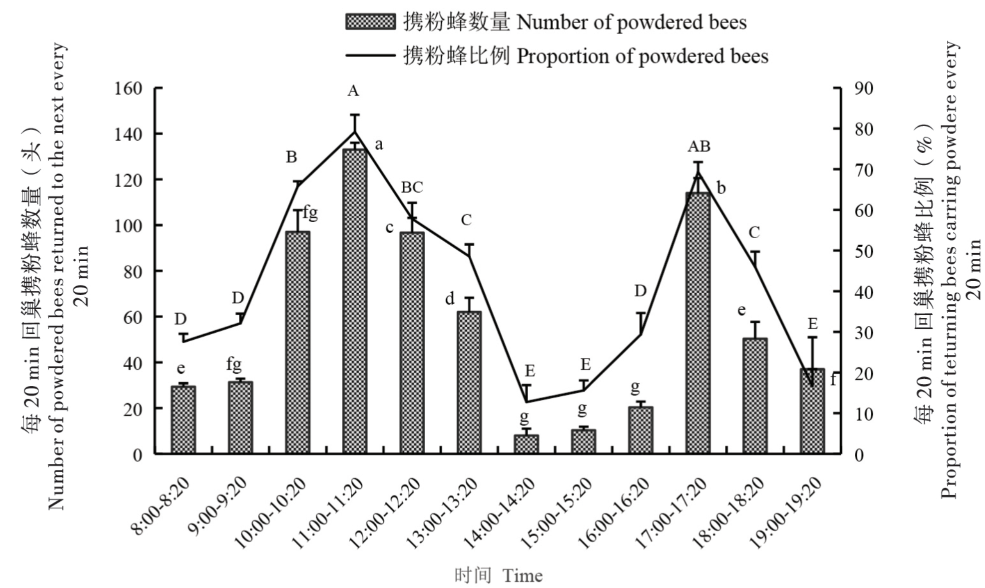

图 3 每 20 min 回巢携粉蜂数量和携粉蜂比例

Fig. 3 Number of powdered bees and proportion of returning bees returned to the nest every 20 minutes

采用高斯函数将不同时段的温度和湿度分别与携粉回巢蜂的数量进行拟合后得到曲线模型（图4、图5）。携粉蜂数量随外界温度和湿度的变化均呈正态分布，在温度 18.9 ~ 31.2℃、湿度 21% ~ 76%，采访蜂均有活动，且以温度 24.6℃、湿度 56% 时数量最多。在温度 22.5 ~ 26.3℃、湿度 43% ~ 67% 区间内带粉蜂的数量达到高峰，占全天带粉蜂总数量的 64%，表明该温湿度是花药开裂最多、花粉释放最多的时段，也是最佳的出勤采粉时机，此时蜜蜂达到采集活动的高峰，授粉效果最为显著。中午后温度过高且湿度过低，采粉蜂数量下降，而在 17:00 温度下降、湿度升高后又会出现一个小高峰（图4、图5）。通过回归拟合得到携粉蜂数量随着温度的变化规律符合方程 $y = 14.36 - \frac{25.58\,(x-24.81)^2 e}{\sqrt{\pi}}$（$R^2=0.924$），随着湿度的变化符合方程 $y = 12.67 - \frac{0.96\,(x-53.90)^2 e}{\sqrt{\pi}}$（$R^2=0.858$）（表1）。

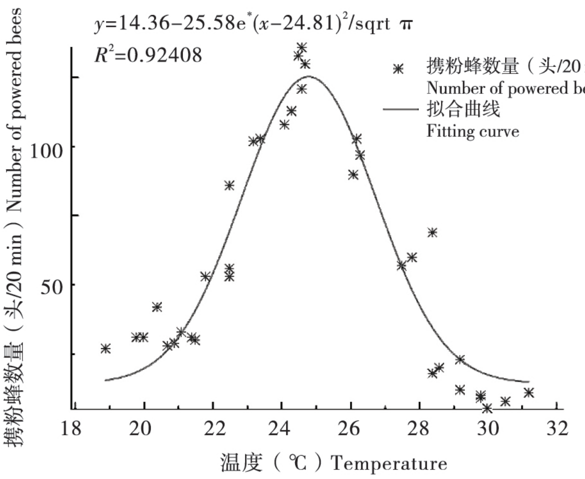

图4　携粉蜂数量随温度变化的拟合曲线

Fig. 4　The fitting curve of the change of number of powdered bees with temperature

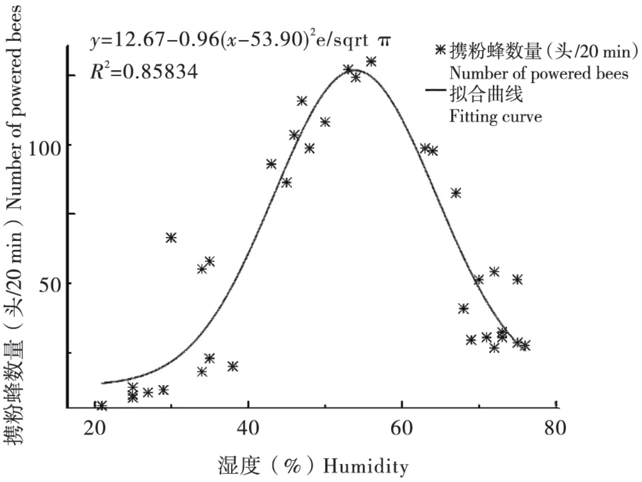

图5　携粉蜂数量随湿度变化的拟合曲线

Fig. 5　The fitting curve of the change of number of powdered bees with humidity

表1　携粉蜂数量与温湿度的回归方程

Table 1　Regression equation of the number of powdered bees with temperature and humidity

	方程 Equation	y0	xc	w	A	R^2
温度(℃) Temperature	y = y0 + (A/(w*sqrt(pi/2)))* exp(−2*((x₁ − xc)/w)²)	14.36 ± 5.00	24.81 ± 0.10	3.89 ± 0.30	541.25 ± 57.88	0.924
湿度(%) Humidity	y = y0 + (A/(w*sqrt(pi/2)))* exp(−2*((x₂ − xc)/w)²)	12.67 ± 8.07	53.90 ± 0.66	21.04 ± 2.25	3 162.25 ± 466.47	0.858

注：表中数据为均值 ± 标准差；y，携粉蜂数量；x_1，温度；x_2，湿度；y0，常量；xc，均值；w，方差；R^2，相关系数。
Note: Data in the table was mean ± SD; y, the number of powdered bees; x_1, temperature; x_2, humidity; y0, constant; xc, mean value; w, variance; R^2, correlation index.

2.2　中蜂对猕猴桃的授粉效果

2.2.1　中蜂授粉对猕猴桃坐果的影响

中蜂授粉后猕猴桃坐果率为 82% ±2%，相比于人工授粉组高出 9%，二者差异显著（$P < 0.05$）。中蜂授粉后猕猴桃畸形果率为 6%，显著低于人工授粉组的 8%（$P < 0.05$）（表2）。可见中蜂授粉可显著提高猕猴桃坐果率，降低畸形率。

表 2 中蜂授粉和人工授粉后猕猴桃坐果率与畸形果率

Table 2 Kiwi fruit setting rate and deformity rate by *Apis cerana cerana* pollination and artificial pollination

授粉方式 Pollination mode	开花数（个） Number of flowers	坐果数（个） Fruit number	坐果率 Setting rate	畸形果数（个） Deformity number	畸形率 Deformity rate
中蜂授粉 *Apis cerana cerana* pollination	1 322 ± 216.38 a	1 085 ± 153.59 a	0.82 ± 0.02 a	69 ± 5.91 a	0.06 ± 0.00 a
人工授粉 Artificial pollination	1 225 ± 141.44 a	902 ± 120.98 a	0.73 ± 0.02 b	70 ± 5.79 a	0.08 ± 0.00 b

注：表中数据为均值 ± 标准差；同一列中不同字母表示差异显著（$P < 0.05$，独立样本 T 检验）。下表同。Note: Data in the table was mean ± SD; Different case letters in same subcolumn was significant difference（$P < 0.05$，independent sample T tests）. The same below.

2.2.2 中蜂授粉对猕猴桃果实生长动态的影响

贵长猕猴桃于 5 月上旬开花，中旬坐果，9 月下旬果实成熟，从谢花到果实成熟约 130 ~ 140 d，果实发育持续 20 周左右。谢花坐果后，蜜蜂授粉组和人工授粉组的果实纵、横、侧径均持续增长（图 6），增长趋势一致：2 ~ 6 周增长速度最快，是猕猴桃生长的最关键时期，6 ~ 10 周增速减缓，10 ~ 20 周达到高峰，增长趋于平缓，均呈现快速增长 – 较快增长 – 平缓增长的规律。中蜂授粉组纵径、横径、侧径的总生长量和平均每周生长量均显著高于人工授粉组（$P < 0.05$）（表 3）。表明通过中蜂授粉有利于更充分地促进受精，发育更完全，使果实的生长速度更快。

2.2.3 中蜂授粉对猕猴桃果实采后品质的影响

中蜂授粉后果实纵径、横径、侧径和单果重均显著大于（$P < 0.05$）人工授粉处理，表明中蜂授粉可增加果实产量；硬度显著低于（$P < 0.05$）人工授粉处理（表 4），表明中蜂授粉可加快果实早熟，使猕猴桃提前上架。

中蜂授粉后的果实可溶性固形物和总糖含量均显著高于（$P < 0.05$）人工授粉处理；可滴定酸含量低于人工授粉处理，但差异不显著（$P > 0.05$）；固酸比和糖酸比均显著高于（$P < 0.05$）人工授粉（表 4）。可溶性固形物和总糖含量可衡量果实风味，含量越高，甜度越大，固酸比和糖酸比越高，风味愈佳（徐燕红等，2020），因此中蜂授粉后果实风味更甜、口感更好。中蜂授粉组维生素 C 含量高于人工授粉组，表明中蜂授粉可增强果实的抗氧化性。

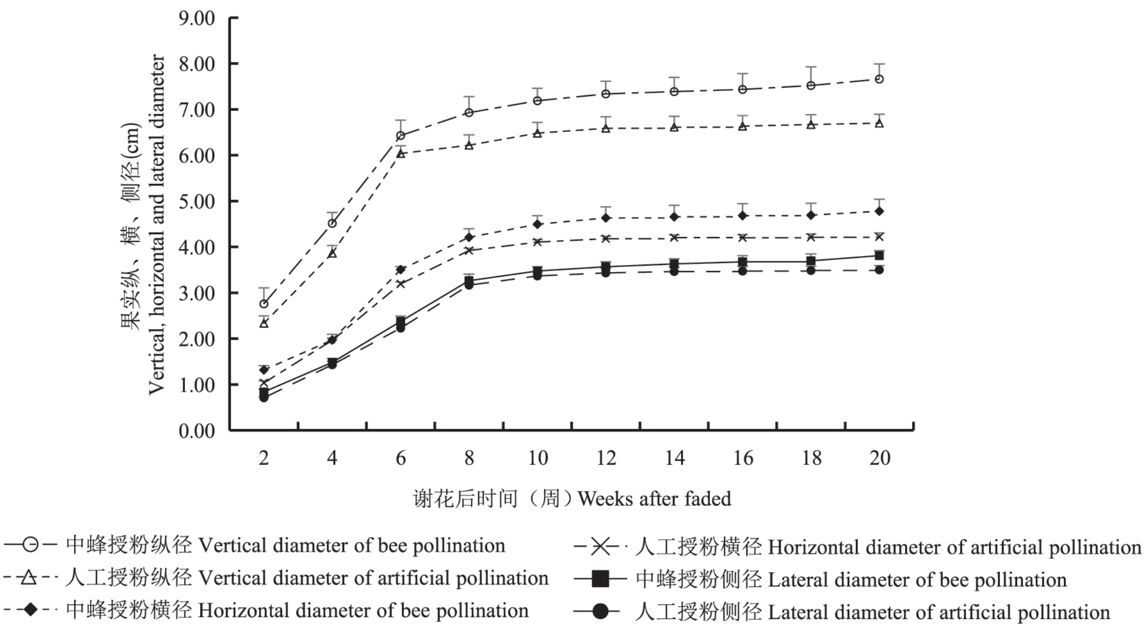

图 6 猕猴桃纵径、横径和侧径的生长发育曲线

Fig. 6 Vertical, horizontal and lateral diameter growth curves of kiwi fruit

表 3　中蜂授粉对猕猴桃果径生长速率的影响

Table 3　Effect of *Apis cerana cerana* pollination on the fruit diameter growth rate of kiwi

授粉方式 Pollination mode	平均每周生长量（mm） Weekly growth rate			总生长量（mm） Total growth		
	纵径 Vertical diameter	横径 Horizontal diameter	侧径 Lateral diameter	纵径 Vertical diameter	横径 Horizontal diameter	侧径 Lateral diameter
中蜂授粉 *Apis cerana cerana* pollination	0.29 ±0.03 a	0.20 ±0.01 a	0.17 ±0.01 a	5.15 ±0.09 a	3.53 ±0.17 a	3.03 ±0.11 a
人工授粉 Artificial pollination	0.24 ±0.01 b	0.17 ±0.01 b	0.15 ±0.01 b	4.36 ±0.12 b	3.11 ±0.19 b	2.79 ±0.92 b

表 4　中蜂授粉和人工授粉对猕猴桃果实外观品质和营养品质的影响

Table 4　Effect of bee pollination and artificial pollination on kuwi fruit appearance and nutrient quality

品质指标 Quality index	中蜂授粉 Bee pollination	人工授粉 Artificial pollination
纵径（cm） Vertical diameter	7.66 ±0.33 a	6.70 ±0.20 b
横径（cm） Horizontal diameter	4.78 ±0.26 a	4.22 ±0.08 b
侧径（cm） Lateral diameter	3.81 ±0.11 a	3.50 ±0.09 b
单果重（g） Single fruit weight	90.33 ±2.52 a	83.67 ±1.53 b
硬度（kg/cm^2） Firmness	17.98 ±1.02 a	18.29 ±0.19 b
可溶性固形物含量（%） Soluble solid content	9.77 ±0.85 a	7.93 ±0.35 b
总糖含量（%） Total sugar content	7.90 ±0.36 a	6.83 ±0.31 b
可滴定酸含量（%） Titratable acid content	2.20 ±0.09 a	2.37 ±0.05 a
固酸比 Ratio of SSC	4.44 ±0.36 a	3.41 ±0.19 b
糖酸比 Ratio of TA	3.60 ±0.31 a	2.98 ±0.15 b
维生素 C 含量（mg/100 g） Vitamin C content	156.95 ±7.22 a	131.96 ±10.10 b

3　结论与讨论

3.1　中蜂对猕猴桃的访花行为规律

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。相比于初花期和末花期，中蜂倾向于采集盛花期的花朵，原因在于盛花期花粉活力较高，处于最佳授粉期，此时对中蜂进行合理的诱导饲喂就可使授粉更充分、提质增效效果更佳（钦俊德，2001；董霞，2010）。本研究在猕猴桃盛花期进行雄花混合糖浆诱导饲喂后，中蜂访花行为积极，不断有携带花粉的工蜂回巢，观察发现，中蜂为猕猴桃授粉时花粉颗粒被吸附到全身的绒毛上，再将花粉由前足转移到后足，放入后足的花粉框中，在不断访问雄花和雌花的过程中完成雌雄花粉的互相接触与交换，达到授粉目的。这与姜立刚（1991）、苏晓玲等（2017）观察到的中蜂和意蜂为设施西瓜的授粉行为一致。

温湿度很大程度上影响植物的花药开裂、花粉释放和蜜蜂采食行为，随着温度的升高和相对湿度的下降，花药开裂增多，花粉大量释放，同时达到中蜂采集活动的高峰，授粉效果最佳（Sgolastra *et al.*，2016；Wang *et al.*，2018；Zhang *et al.*，2019）。本研究中盛花期天气晴好，8∶00 开始温度升高，湿度降低，至 14∶00 时温度达到最高，湿度达到最低，之后温度下降，湿度增加，至蜜蜂回巢时温度降到较低值，湿度升到较高值。中蜂的访花高峰时间段为 11∶00 – 12∶00，该时段的温湿度最适宜花粉释放和中蜂采集，此时不仅来访中蜂数量最多，回巢的携粉蜂数量也最多，授粉效率最高。12∶00 – 14∶00 温度过高，达到 30℃左右，湿度过低，导致采粉积极性不高。可

以看出，适宜的温湿度可促进中蜂出巢采粉，过高的温度和过低的湿度都会降低采粉的积极性。

3.2 中蜂对猕猴桃的授粉效果

中蜂授粉后坐果率显著高于人工授粉，畸形果率显著低于人工授粉，这与罗文华（2019）、杨洁等（2017）得到的结论一致。果实纵径、横径、侧径的生长发育速度均快于人工授粉，单果重显著高于人工授粉，可见中蜂能使授粉更充分，促使果实发育地更好更大，对猕猴桃产量的增加具有显著的积极意义（Shin *et al.*，2007）。生长发育呈快速增长－较快增长－平缓增长的规律，这与高丽娇等（2019）研究的柑橘呈大 S 生长曲线不一致，可能是由于试验品种不同所致。此外，中蜂授粉后果实的各项品质如硬度、可溶性固形物、总糖含量、糖酸固酸比和维生素 C 含量均显著优于人工授粉，这与梁盛凯等（2018）、肖云丽等（2019）研究结果一致。表明相较于人工授粉，中蜂可更好地识别高活力花粉，促进花朵受精，加快果实发育和成熟，改善果实风味，使得综合品质更佳。

猕猴桃产业作为贵州的特色优势产业，2020 年全省种植面积达 4.54 万 hm^2，产量 30.15 万 t，产值高达 32.4 亿元。随着规模化种植的发展、野生传粉昆虫数量的减少和人力成本的增加，蜜蜂授粉逐渐作为一种降本增效的方法被越来越多地应用于猕猴桃产业，成为绿色、优质、高效生产的重要配套技术之一（韩胜明等，2020）。根据本研究结果，采用中蜂为猕猴桃授粉，不仅节约劳动成本，还能满足增产提质、绿色生态的生产需求，是一种行之有效的授粉方式，在猕猴桃生产中积极推广利用中蜂授粉可获得更高的经济效益。

参考文献（References）

Aizen MA, Harder LD. Expanding the limits of the pollen－limitation concept: Effects of pollen quantity and quality [J]. *Ecology*, 2007, 88 (2): 271－281.

An JD, Chen WF. Review of crop pollination by honey bees world－wide [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (1): 374－382. [安建东，陈文锋. 全球农作物蜜蜂授粉概况 [J]. 中国农学通报，2011，27 (1): 374－382]

Ashman TL, Knight TM, Steets JA, *et al.* Pollen limitation of plant reproduction: Ecological and evolutionary causes and consequences [J]. *Ecology*, 2004, 85 (9): 2408－2421.

Ignasi B, Potts SG, Ingolf SD, *et al.* Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification [J]. *PeerJ*, 2014, 2 (2): e328.

Cao JK, Jiang WB, Zhao YM. Postharvest Physiological and Biochemical Laboratory Guidance for Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 34－37. [曹健康，姜微波，赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社，2007: 34－37]

Chen MY, Zhang P, Zhao TT, *et al.* Relationship between harvest indices and fruit quality traits in *Actinidia chinensis* 'Jintao' [J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37 (5): 621－627. [陈美艳，张鹏，赵婷婷，等. 猕猴桃品种'金桃'采收指标与果实软熟品质相关性研究 [J]. 植物科学学报，2019，37 (5): 621－627]

Dong X. Botany of Nectar and Powder [M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 2010: 167－181. [董霞. 蜜粉源植物学 [M]. 北京: 中国农业出版社，2010: 167－181]

Gao LJ, Ji CH, Liu JL, *et al.* Effects of *Apis mellifera* pollination on the development and quality of citrus fruits [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science), 2019, 34 (4): 678－682. [高丽娇，姬聪慧，刘佳霖，等. 意大利蜜蜂授粉对柑橘生长发育及品质的影响 [J]. 云南农业大学学报（自然科学版），2019，34 (4): 678－682]

Han SM, Lai K, Zhao YZ, *et al.* Flower－visiting behavior and pollination by honeybees in kiwifruit orchards [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (5): 1130－1138. [韩胜明，赖康，赵亚周，等. 蜜蜂在猕猴桃园的访花行为和授粉效果评估 [J]. 应用昆虫学报，2020，57 (5): 1131－1138]

Huang WJ, Liu XL, Zhang Q, *et al.* Research on changes in postharvest physiology and fruit quality of *Actinidia chinensis* 'Donghong' under different storage methods [J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37 (3): 382－388. [黄文俊，刘小莉，张琦，等. 黄肉红心猕猴桃'东红'果实在不同贮藏方式下的生理和品质变化研究 [J]. 植物科学学报，2019，37 (3): 382－388]

Jiang LG. The study of pollination behaviour of honeybee for watermelon [J]. *Apicultural Science and Technology*, 1991, 2: 6－8. [姜立纲. 西瓜授粉中蜜蜂行为的初步研究 [J]. 养蜂科技，1991，2: 6－8]

Kang HF, Qiao YJ, Liu CX, *et al.* Effect of controlled atmosphere storage on post harvest preservation of xuxiang kiwi fruit [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41 (2): 279－282, 287. [康慧芳，乔勇进，刘晨霞，等. 气调贮藏对'徐香'猕猴桃采后保鲜效果影响 [J]. 食品工业科技，2020，41 (2): 279－282，287]

Klein A M, Vaissiere BE, Cane JH, *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops [J]. *Proceedings*: *Biological Sciences*, 2007, 274 (1608): 303－313.

Lai K, Wang JW, Wang SH, *et al.* Study on enhancing quality and efficiency of kiwi fruit pollinated by honeybee [J]. *Apiculture of China*, 2019, 70 (12): 28－29, 44. [赖康，王建文，王顺海，等. 蜜蜂授粉猕猴桃提质增效的研究 [J]. 中国蜂业，2019，70 (12): 28－29，44]

Liang SK, Hong RX, Wang TY, *et al.* Effects of bee pollination on litchi flowering and fruit setting [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50 (6): 1284－1289. [梁盛凯，洪日新，王田月，等. 蜜蜂传粉对荔枝成花与坐果的影响 [J]. 南方农业学报，2019，50 (6): 1284－1289]

Liang SK，Hong RX，Zhou DW，*et al.* Study on flower visiting behavior and pollination effect of lichi honeybee in Guangxi Province [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Science*，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]

Li L，Gao LD，Xu FP，*et al.* Investigation on the effect of the demonstration application of bee pollination technology on Zhouzhi kiwi fruit [J]. *Northwest Horticulture*，2020，5：51 – 53. [李亮，高联党，许福平，等. 周至猕猴桃蜜蜂授粉技术示范应用效果调查 [J]. 西北园艺，2020，5：51 – 53]

Luo SD，Wang B，Chu ZQ，*et al.* Comparison of the pollination effects for pepper between different bees in greenhouse [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2015，37 (2)：381 – 386. [罗术东，王彪，褚忠桥，等. 不同蜂为设施辣椒授粉的授粉效果比较 [J]. 环境昆虫学报，2015，37 (2)：381 – 386]

Luo WH，Ji CH，Liu JL，*et al.* Study on foraging behavior and effect of pollinations by different bees on *Citrus maxima* (Burm) Merr. Cv. Huangsha Yu [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*，2019，32 (6)：1360 – 1365. [罗文华，姬聪慧，刘佳霖，等. 2 种蜂对黄沙白柚的访花行为及授粉效果研究 [J]. 西南农业学报，2019，32 (6)：1360 – 1365]

Pan LY，Xiang ML，Chen M，*et al.* Effect of MeJA on the physiological and biochemical characteristics of 'Jinkui' kiwi fruit during cold storage [J]. *Molecular Plant Breeding*，2019，17 (7)：2363 – 2370. [盘柳依，向妙莲，陈明，等. 茉莉酸甲酯对 '金魁' 猕猴桃冷藏期间生理生化的影响 [J]. 分子植物育种，2019，17 (7)：2363 – 2370]

Qin JD，Wang CZ. The relation of interaction between insects and plants to evolution [J]. *Acta Entomologica Sinica*，2001，44 (3)：360 – 365. [钦俊德，王琛柱. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系 [J]. 昆虫学报，2001，44 (3)：360 – 365]

Richards KW. Non-Apis bees as crop pollinators [J]. *Revue Suisse Zoologie*，1993，100：807 – 822.

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

Sáez，Agustín，Negri P，*et al.* Pollination efficiency of artificial and bee pollination practices in kiwi fruit [J]. *Scientia Horticulturae*，2019，246：1017 – 1021.

Sgolastra，Fisogni，Quaranta，*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.

Shu R，Li L，Long YH，*et al.* Morphological observation and pathogen identification of kiwifruit root-knot nematodes [J]. *Journal of Southern Agriculture*，2020，51 (12)：2971 – 2977. [舒然，李磊，龙友华，等. 猕猴桃根结线虫形态观察与病原鉴定 [J]. 南方农业学报，2020，51 (12)：2971 – 2977]

Shin YS，Park SD，Kim JH. Influence of pollination methods on fruit development and sugar contents of oriental melon (*Cucumis melo* L. cv. Sagyejeol-Ggul) [J]. *Scientia Horticulturae*，2007，112 (4)：388 – 392.

Shrestha J B. Honeybees：The pollination sustaining crop diversity [J]. *Journal of Agriculture and Environment*，2008，9：90 – 92.

Su XL，Hua QY，Chen YF，*et al.* Behavior of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* as pollinator for long-season cultivated watermelon in tunnel greenhouse under summer high temperature condition [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2017，39 (1)：104 – 110. [苏晓玲，华启云，陈伊凡，等. 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 [J]. 环境昆虫学报，2017，39 (1)：104 – 110]

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

Wang Y，Tao H，Tian B，*et al.* Flowering dynamics，pollen，and pistil contribution to grain yield in response to high temperature during maize flowering [J]. *Environmental and Experimental Botany*，2018，158.

Xiao YL，Tang WY，Liu CH，*et al.* Analysis of the pollinating services provided by *Osmia cornifrous* (Rodoszkouski) and *Apis mellifera ligustica* Spin in apple and cherry orchards [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*，2019，56 (6)：1235 – 1242. [肖云丽，唐文颖，刘存辉，等. 壁蜂及蜜蜂授粉对苹果和大樱桃授粉服务功能分析 [J]. 应用昆虫学报，2019，56 (6)：1235 – 1242]

Xu YH，Song QQ，Hu B，*et al.* Harvest maturity affects quality and storability of *Actinidia eriantha* cv. white fruit [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*，2020，34 (3)：521 – 531. [徐燕红，宋倩倩，胡斌，等. 采收成熟度对毛花猕猴桃华特果实采后品质和贮藏性的影响 [J]. 核农学报，2020，34 (3)：521 – 531]

Yang J，Fan WB，Li RQ，*et al.* Effects of pollination by *Apis mellifera* and by hand on strawberries fruit development and quality under greenhouse conditions [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*，2017，30 (11)：2557 – 2561. [杨洁，范武波，李端奇，等. 蜜蜂授粉与人工授粉对温室草莓生长动态及品质的影响 [J]. 西南农业学报，2017，30 (11)：2557 – 2561]

Zhang H，Zhou ZY，An JD. 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)：216 – 229.

Zhong J，Hong RX，Liang SK，*et al.* Effects of different pollination methods on expansion of bitter gourd [J]. *Journal of Southern Agriculture*，2018，49 (4)：768 – 772. [钟娟，洪日新，梁盛凯，等. 不同授粉方式对苦瓜膨大效果的影响 [J]. 南方农业学报，2018，49 (4)：768 – 772]