

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^{*}

王 欢^{**} 曲焱焱 刘欣玉 徐希莲^{***}

(北京市农林科学院植物保护研究所, 北京 100097)

摘 要 【目的】中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 和意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 是我国主要饲养和授粉应用的蜜蜂蜂种,但二者在生物学习性上差异较大。因此,研究设施环境中两个蜂种的采集行为差异及其对环境因子的响应,可为更好的利用蜜蜂为农作物授粉提供依据。【方法】在设施草莓授粉期,应用无线射频识别(Radiofrequency identification, RFID)技术对中华蜜蜂和意大利蜜蜂采集蜂行为进行监测,评价二者的访花效率和授粉效果,同时,监测设施环境内温度和相对湿度的动态变化,分析采集行为与环境因子的关系。【结果】除低温天气外,意大利蜜蜂的出巢个体数量整体高于中华蜜蜂,但日均工作时间显著低于中华蜜蜂。两种蜜蜂每日的采集高峰时段不同,其中中华蜜蜂呈现双峰,意大利蜜蜂呈单峰。在传粉效率上,中华蜜蜂平均每分钟访花数量显著高于意大利蜜蜂,但二者的单花访问时间差异并不显著。两种蜜蜂均存在轮休现象,且二者的轮休个体比例无显著差异。两种蜜蜂的出巢个体数量以及采集频次均与温度呈正相关,与湿度呈负相关。但是,与中华蜜蜂相比,意大利蜜蜂对温度和湿度变化更为敏感。两种蜜蜂的个体活动数量在第11天(低温天气)显著低于第10天和第12天(均为晴朗天气)。另外,中华蜜蜂或意大利蜜蜂授粉后草莓产量无显著差异。【结论】中华蜜蜂和意大利蜜蜂均可作为传粉媒介为设施草莓授粉,并且能够响应周围环境因子变化,对群体中的个体活动作出相应调整。因此,深入研究二者的采集行为特性,有助于更好的为农作物提供授粉服务。

关键词 授粉蜜蜂; 采集行为; 无线射频识别技术; 温度; 湿度

Comparison of foraging behaviors between *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* on greenhouse strawberry

WANG Huan^{**} QU Yan-Yan LIU Xin-Yu XU Xi-Lian^{***}

(Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract 【Objectives】*Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* are the main breeding and pollinating bee species in China. However, there are large differences in the biological traits between the two honeybee species. Consequently, it may provide the basis for better utilization of honeybees pollination on crops to investigate the difference in foraging behaviors between *A. cerana cerana* and *A. mellifera ligustica* in greenhouse and their responses to the environmental factors. 【Methods】In this study, we monitored the foraging behaviors of *A. cerana cerana* and *A. mellifera ligustica* using radiofrequency identification (RFID) technology and the dynamic changes of temperature and relative humidity in greenhouse. Afterwards, the flower visiting efficiency of honeybees and the relationship between foraging behaviors of honeybees and environmental factors was analyzed, and pollination effects were evaluated. 【Results】Except in low temperature weather, the number of *A. mellifera ligustica* forager was higher than that of *A. cerana cerana*, but the daily working time of *A. cerana cerana* was significantly longer than *A. mellifera ligustica*. The peak periods of daily foraging work between the two bee species were different. There were two foraging peaks per day for *A. cerana cerana*, while *A. mellifera ligustica* only had one peak during

^{*}资助项目 Supported projects: 北京市科技计划课题 (Z181100009818022); 北京市农林科学院农业科技示范推广项目 (2022105); 科技基础资源调查专项课题 (2018FY100403)

^{**}第一作者 First author, E-mail: wanghuan111986@163.com

^{***}通讯作者 Corresponding author, E-mail: xuxilian@aliyun.com

收稿日期 Received: 2022-06-23; 接受日期 Accepted: 2022-09-03

the daily foraging period. Regarding pollination efficiency, the number of flowers visited by *A. cerana cerana* was significantly higher than *A. mellifera ligustica*, but there was no significant distinction in flower visiting time between the two honeybee species. A rotating day-off phenomenon existed in both two bee species, and there was no significant difference in the proportion of forager individuals rotating days off between *A. cerana cerana* and *A. mellifera ligustica*. Both the individual number of foragers and their foraging frequency of the two honeybees were affected by the environmental factors including temperature and relative humidity; they were positively correlated with temperature but negatively correlated with relative humidity in the greenhouse. However, compared to *A. cerana cerana*, *A. mellifera ligustica* was more sensitive to the changes in temperature and relative humidity. The forager number of these two bees on day 11 (low temperature weather) was significantly lower than that on day 10 and day 12 (sunny weather). Moreover, there was no significant difference in the yield of strawberry pollinated by *A. cerana cerana* and *A. mellifera ligustica*. **[Conclusions]** Both *A. cerana cerana* and *A. mellifera ligustica* could pollinate strawberry efficiently. They can respond to the changes of surrounding environmental factors and adjust the individual activities in the colony accordingly. Further study on their foraging behaviors is helpful to optimize the pollination service on crops.

Key words pollinating honeybee; foraging behavior; RFID; temperature; humidity

蜜蜂是多种开花植物的重要传粉昆虫,蜜蜂授粉技术在农业生产尤其是设施农业生产中发挥着重要作用。多项研究结果表明,蜜蜂,尤其是意大利蜜蜂,为草莓、西瓜和猕猴桃等作物的授粉效果较好 (Tschamntke *et al.*, 2014; 苏晓玲等, 2017; 韩胜明等, 2020)。蜜蜂的授粉效果与蜜蜂的采集行为密切相关,然而蜜蜂的采集行为受多种生物和非生物因素影响 (Dreller *et al.*, 1999; Fewell and Bertram, 1999; Abou *et al.*, 2017; Clarke and Robert, 2018)。研究表明,环境条件会直接或间接的影响蜜蜂的采集活动,一方面,蜜蜂的采集行为需要适宜的温度和湿度 (Vicens and Bosch, 2000; Abou *et al.*, 2017; Clarke and Robert, 2018),另一方面环境条件可以通过影响食物的质量和数量来影响蜜蜂的采集行为 (Corbet, 1990)。自然情况下,蜜蜂通过采集环境中的花蜜、花粉及水分来保证蜂群发育和繁衍 (田柳青等, 2014)。蜜蜂能够根据环境变化和蜜粉源植物的开花时间采取相应的采集策略,合理安排工蜂在该环境下进行采集活动 (Zhang *et al.*, 2006)。

目前,我国主要饲养且用于授粉的蜜蜂是意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 和中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*, 2 种蜜蜂在发育、行为及生产性能等方面存在一定的差异性 (曾志将, 2020)。中华蜜蜂是我国的本土蜂种,善于采集零星蜜源、采集起始温度低、采集时间早并且采蜜期长。

意大利蜜蜂于 19 世纪末引入我国,现已成为主要的饲养蜂种,具有采集专一性强、易维持强群、蜂巢内采集蜂数量多等特点。意大利蜜蜂是我国设施果蔬授粉应用最早和最广泛的蜂种。由于不同作物种植季节和生长环境的不同,在应用蜜蜂授粉时,蜜蜂采集行为会有差异,反之,根据授粉环境和不同蜂种的采集习性,合理配置授粉蜂种,能够更好的为农业授粉提供服务。

无线射频识别技术 (Radio frequency identification technology, RFID) 是 20 世纪末新兴的一种非接触式的自动识别新技术,通过射频信号振动识别目标对象,并获取相应数据,以达到对识别目标进行记录的目的 (田柳青等, 2014)。蜜蜂 RFID 技术为研究蜜蜂生物学开辟了新途径。与传统的颜色标记及人工观察等研究方法相比,该技术可识别高速运动物体并可同时识别多个标签,提供的数据更为精确全面 (何旭江等, 2010)。通过无线传输系统,可对整个实验期进行数据记录,不仅能够记录群体,而且能够精确到个体,省时省力 (Pankiw, 2003; Veeraraghavan *et al.*, 2008)。目前,蜜蜂 RFID 技术已在蜜蜂的行为学、生物学等各方面得到了广泛的应用。伦敦大学 Molet 等 (2008) 应用 RFID 技术对熊蜂的采集行为进行了研究。澳大利亚国立大学 Pahl 等 (2011) 利用蜜蜂 RFID 技术研究了工蜂远距离归巢的行为。何旭江 (2011) 利用蜜蜂 RFID 技术对中华蜜蜂与意大利蜜蜂的

回巢行为进行了研究。田柳青等(2014)应用 RFID 技术对西方蜜蜂进行了全天候的监测记录,明确了西方蜜蜂的采集行为规律。

目前,应用 RFID 技术对蜜蜂行为的研究主要以开放的室外环境为主,对于设施环境下 2 种蜜蜂的采集行为差异研究较少。本文利用 RFID 技术研究中华蜜蜂和意大利蜜蜂在设施草莓上的采集行为的差异,明确二者对设施环境变化的响应,为设施作物合理选择和应用两种蜜蜂授粉提供数据参考,同时对两种蜜蜂群体的工作机制进行了初步的探索,为进一步研究两种蜜蜂群体复杂的分工协作机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验蜂群

供试授粉蜂群由北京市农林科学院植物保护研究所提供,中华蜜蜂和意大利蜜蜂各 3 群。授粉蜂群由 3 张巢脾(4 000 只左右工蜂)与 1 只蜂王组装而成,蜂群中的卵、幼虫和蛹的数量和比例相当。

1.2 实验方法

试验于 2021 年 1-3 月在北京市密云区奥仪凯源草莓种植园进行,草莓品种为红颜。选择设施面积、环境条件以及植株长势相当的设施大棚 3 个。用 60 目防虫网将每个棚室平均分为两部分,每部分放置 1 群中华蜜蜂或意大利蜜蜂授粉蜂群,每个授粉蜂种设置 3 个重复,共计 6 个授粉蜂群。

从上述 6 群蜜蜂中各取 200 只采集蜂,将写好 ID 编号的电子标签用胶水粘贴在工蜂的胸背部,待标签牢固后,将标记的工蜂(以下用于数据统计和分析的蜜蜂均为粘贴电子标签的蜜蜂)立即放回授粉蜂群巢门口,经过上述操作每只工蜂拥有一个 ID 编号。授粉蜂箱巢门口处安装带有两个 RFID 天线感应器(命名为 1 号和 2 号天线)的蜜蜂通道,粘贴标签的蜜蜂通过时即可记录蜜蜂的 ID 编号与通过时刻,并按照通过 1 号与 2 号天线的顺序确定蜜蜂是出巢或回巢。感应天线检测到的数据会记录在 RFID 读写器上,然后通过无线传输系统传输到数据平台存储,用于后期统计分析(图 1)。同时,在 3 个大棚分别放置温湿度计,记录每一天棚内的温度和湿度。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 蜜蜂采集行为监测 在开放的自然环境中,蜜蜂飞行时间超过 5 min 被视为采集飞行(Moore *et al.*, 1998)。由于设施环境蜜蜂采集范围较小,本研究中以出巢和归巢时间间隔超过 3 min 视为采集飞行。采集蜂工作日是指当日至少有 1 次采集飞行时间超过 3 min,而采集蜂休息日是指当日采集蜂全天出现少于 3 min 的采集飞行或未出现任何飞行行为。本研究将有“工作日”和“休息日”的蜜蜂定义为“轮休蜜蜂”,将只有“工作日”的持续工作的蜜蜂定义为“非轮休蜜蜂”。根据 RFID 蜜蜂监测系统记录的数据对每只标记蜜蜂每日出巢和归巢时间、数量和频次进行统计并计算轮休蜜蜂比例。



图 1 蜜蜂 RFID 监测系统

Fig. 1 Radio frequency identification (RFID) system on honeybees

轮休蜜蜂比例=轮休蜜蜂数量/(轮休蜜蜂数量+非轮休蜜蜂数量)。

1.3.2 中华蜜蜂和意大利蜜蜂采集效率的比较
在大棚中随机选取正在访花的蜜蜂,使用计数器和计时器分别记录大棚内中华蜜蜂和意大利蜜蜂在 1 min 内的访花数量,同时记录每只蜜蜂在花朵上的停留时间,每组数据不少于 20 个。

1.3.3 中华蜜蜂和意大利蜜蜂授粉效果的比较
蜜蜂授粉开始后,每个大棚,每个处理选择 2 行草莓苗,约 200 株,采摘前 5 次成熟的草莓进行产量测定。

1.4 数据处理

用 IBM SPSS Statistics 25.0 对试验数据进行统计分析,计算各组数据的平均值、标准误

差和差异显著性。使用独立样本 *t*-检验比较中华蜜蜂和意大利蜜蜂在日工作时间、轮休比例、每分钟访花数量、单花访问时间以及授粉草莓产量等参数上的差异。阴天及其前后一天的蜜蜂出巢个体数量和出巢频次使用单因素方差分析进行差异比较。文中所有图片均使用 GraphPad Prism 8 绘制。

2 结果与分析

2.1 授粉期中华蜜蜂和意大利蜜蜂群体的采集规律

授粉期间蜜蜂出巢的个体数量和频次随蜜蜂个体发育而产生变化,试验记录了 29 d 蜜蜂的出巢规律,如图 2 所示,随着监测时间的延长,

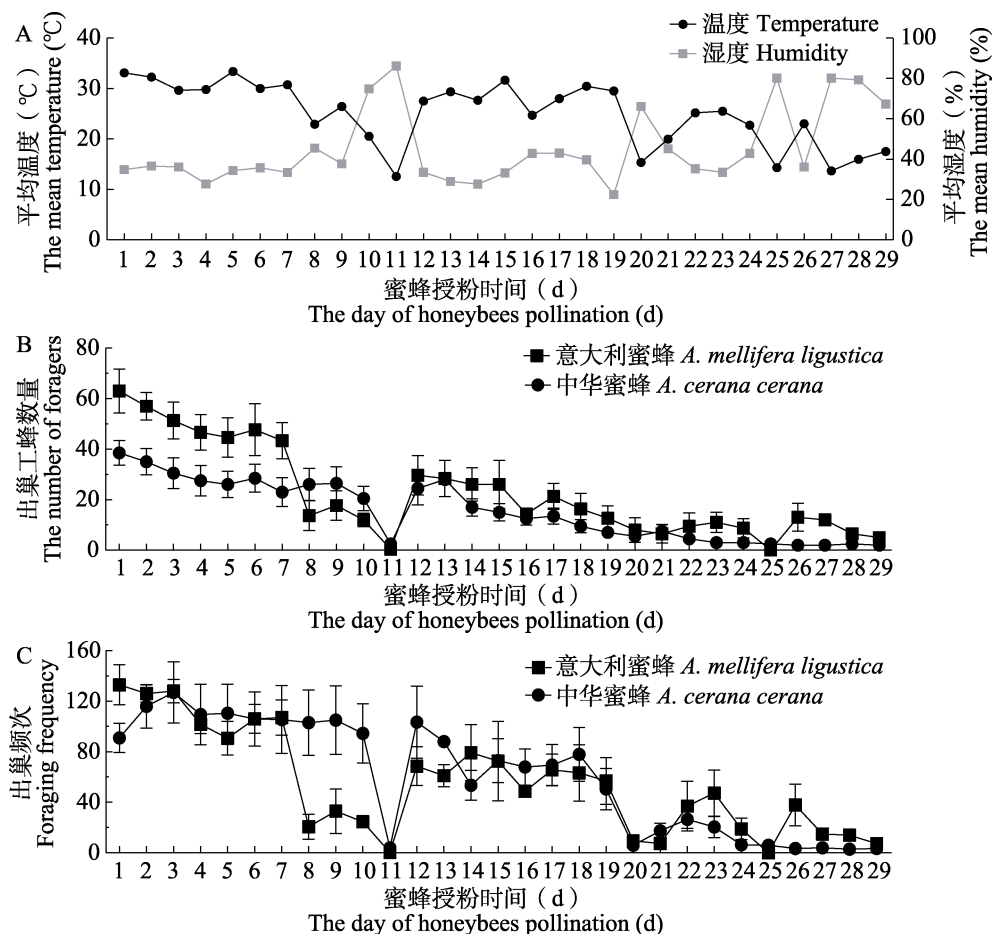


图 2 蜜蜂授粉期间温室内的环境和蜜蜂采集规律

Fig. 2 The environmental factors in greenhouse and foraging activity of honeybees during pollination period

A. 温室内的温度和湿度动态变化; B. 蜜蜂出巢个体数量; C. 蜜蜂的采集频次。

A. The dynamic of temperature and relative humidity; B. The number of honeybee foragers; C. The foraging frequency of honeybees.

标记的中华蜜蜂和意大利蜜蜂个体数逐渐减少, 中华蜜蜂蜂群内标记的个体数量在第 26 天趋近于 0, 意大利蜜蜂蜂群标记的个体数量在第 29 天趋近于 0。另外, 蜂群中每天个体出巢数量和频次受温、湿度变化影响(图 2: A-C)。整体上, 温度升高, 2 种蜜蜂出巢的个体数和频次随之升高; 温度降低, 两种蜜蜂出巢的个体数和频次随之减少(图 2: A-C)。低温高湿(第 11 天和第 20 天)明显不利于蜜蜂的出巢采集行为, 在第 11 天, 中华蜜蜂($P = 0.037$)和意大利蜜蜂($P = 0.014$)的个体活动数量显著低于晴朗天气, 同样地, 中华蜜蜂($P = 0.037$)和意大利蜜蜂($P = 0.005$)的出巢频次也显著低于晴朗天气。但是, 温、湿度变化对 2 种蜜蜂的采集行为影响不同, 意大利蜜蜂受温、湿度的变化影响更大。在白天温、湿度较为平稳期间, 意大利蜜蜂的出巢个体数量高于中华蜜蜂。然而, 当温、湿度出现较大波动时(第 8 至第 12 天), 中华蜜蜂的出巢个体数量和频次高于意大利蜂。并且, 第 11 天后的第一个晴朗天, 出巢采集的意大利蜜蜂个体数量($P = 0.040$)和频次($P = 0.014$)显著高于第 11 天前一天的意大利蜜蜂出巢活动情况, 但是, 第 11 天前一天的中华蜜蜂出巢个体数量($P = 0.375$)和频次($P = 0.643$)并无显著差异。

2.2 同一天内中华蜜蜂和意大利蜜蜂的出巢规律

通过对一天内中华蜜蜂和意大利蜜蜂的进出巢规律以及与温、湿度变化的关系进行分析, 结果显示, 2 种蜜蜂的出巢个体数量均与温度(意大利蜜蜂: $r = 0.696$, $P = 0.006$; 中华蜜蜂: $r = 0.919$, $P < 0.001$)呈正相关, 与湿度(意大利蜜蜂: $r = -0.745$, $P = 0.002$; 中华蜜蜂: $r = -0.857$, $P < 0.001$)呈负相关。同样地, 出巢频次也与温度(意大利蜜蜂: $r = 0.686$, $P = 0.007$; 中华蜜蜂: $r = 0.909$, $P < 0.001$)正相关, 与湿度(意大利蜜蜂: $r = -0.739$, $P = 0.003$; 中华蜜蜂: $r = -0.841$, $P < 0.001$)负相关。当温室内的温度达到 $10.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时中华蜜蜂开始采集活动, 平均日工作时间为 10.6 h ; 而意大利蜜蜂采集的起点温度为 $14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均日工作时间为

6.9 h , 中华蜜蜂个体日均采集时间显著长于意大利蜜蜂的工作时间($P < 0.001$)(图 4)。意大利蜜蜂在当日 10:00 以后开始相继出巢, 14:00 的出巢频次最高, 随后出巢频次逐渐减少, 18:00 停止出巢。中华蜜蜂的出巢时间为早 7:00 至晚 18:00, 且在 11:00 的出巢频次最高, 随后略有下降, 并在 14:00 时达到第 2 个小高峰, 之后随温度的降低中蜂出巢频次减少, 直至 18:00 停止出巢(图 3: B, C)。

2.3 中华蜜蜂和意大利蜜蜂的轮休比例

实验结果表明, 中华蜜蜂和意大利蜜蜂蜂群的采集蜂均存在“轮休”现象, 即并不是所有采集蜂每天都出巢进行采集活动, 部分个体存在某一天或者几天不外出采集的现象, 其中, 意大利蜜蜂轮休个体比例为 50.91%, 中华蜜蜂轮休个体比例为 45.18%, 二者轮休个体比例无显著差异($P = 0.163$)(图 5)。

2.4 中华蜜蜂和意大利蜜蜂采集效率及授粉效果

如图 6(A)所示, 在 1 min 内中华蜜蜂的访花数量显著高于意大利蜜蜂($P < 0.001$), 然而二者每次访问单朵草莓花的停留时间并无显著差异($P = 0.121$)(图 6: B)。经中华蜜蜂和意大利蜜蜂授粉后的草莓产量无显著差异($P = 0.782$)(图 6: C)。

3 结论与讨论

工蜂的出巢行为是蜜蜂蜂群劳动分工以及个体行为转变的一个重要过程, 也是蜜蜂生物学的重要研究内容(何旭江, 2011)。在授粉期间出巢蜜蜂的个体数量和频次随标记蜜蜂个体的发育及衰老发生变化, 因此记录到的标记采集蜂个体数及进出巢频次随着时间的延长而逐渐减少, 这可能与蜜蜂的社会分工及其寿命有关。类似的结果也在西方蜜蜂 *Apis mellifera* 的采集行为研究中得到验证(田柳青等, 2014)。此外, 中华蜜蜂蜂群内标记的个体数量在第 26 天趋近于 0, 意大利蜜蜂蜂群标记的个体数量在第 29 天趋近于 0, 与采集季节的工蜂平均日龄 35 d(曾志

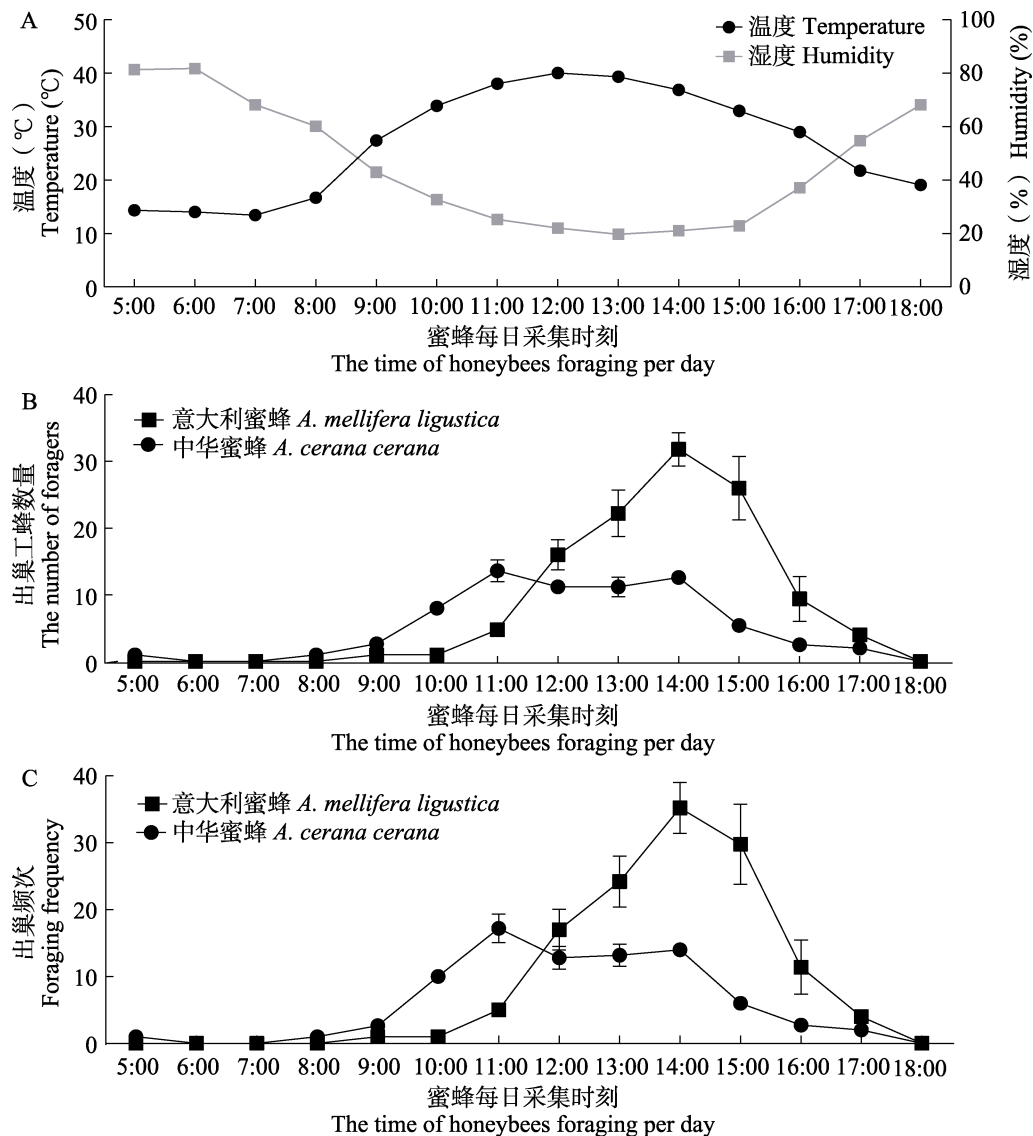


图3 一天内温室的环境和蜜蜂采集规律

Fig. 3 The environmental factors in greenhouse and foraging activity of honeybees during one day

A. 一天内温度和湿度变化; B. 蜜蜂个体出巢数量; C. 采集频次.

A. The dynamic of temperature and humidity; B. The number of foragers; C. The foraging frequency in one day.

将, 2010) 相比存在差异, 这可能与本实验监测的采集蜂个体并未统一日龄有关。本实验以市场销售的授粉蜂群组装结构和方法对实验蜂群进行组装, 监测授粉蜂群的采集蜂行为, 对实践操作更具有指导意义。蜜蜂采集蜂集中在 18-30 日龄 (曾志将, 2010), 因此本实验所用的采集蜂日龄范围较宽, 可能是造成中华蜜蜂和意大利蜜蜂分别在第 26 天和第 29 天标记个体数量趋近于 0 的原因。

蜜蜂采集行为与多种环境因素有关, 例如蜜

粉源、光照、温、湿度等 (赵亚周等, 2001), 这些因子综合影响蜜蜂出巢采集的积极性, 是蜜蜂能否为作物顺利进行授粉的先决条件 (李卓航等, 2018)。试验期间, 草莓正值盛花期, 为保证授粉期外界食物充足, 每周定期对蜂群进行糖水补喂。结果显示, 授粉期间蜜蜂的采集行为受温室内的温、湿度影响, 当白天的平均气温低于 20 °C 时, 蜜蜂出巢行为受到严重影响, 在极低温度和高湿的设施环境下, 蜜蜂停止出巢觅食行为。蜜蜂在整个授粉期采集行为的变化规律与一天内

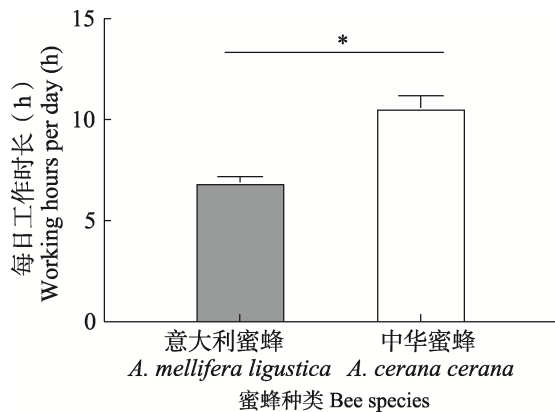


图 4 中华蜜蜂和意大利蜜蜂一天内的工作时长

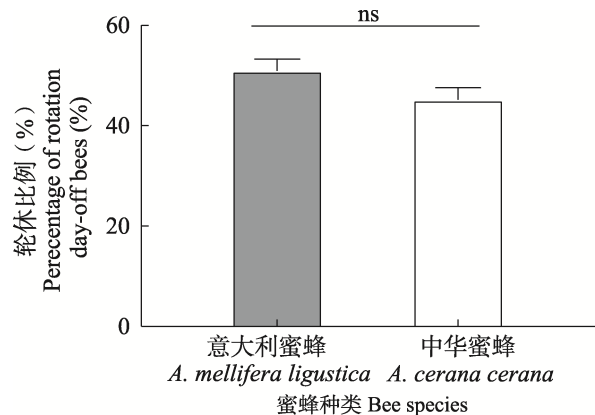
Fig. 4 Working hours of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* in one day*表示差异显著 ($P < 0.05$, t -检验)。图 6 同。*indicates significant difference at the 0.05 level by t -test. The same as Fig. 6.

图 5 中华蜜蜂和意大利蜜蜂的轮休比例

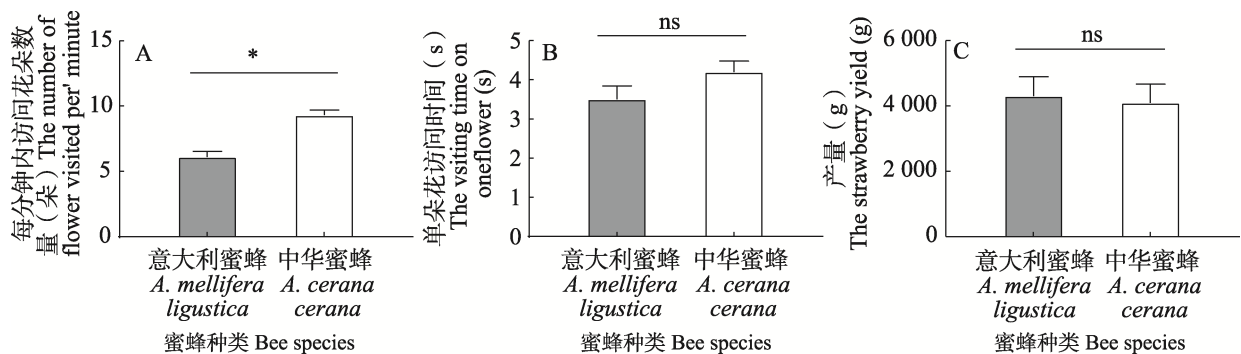
Fig. 5 Percentage of rotation day-off honeybees in *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica*ns 表示差异不显著 ($P > 0.05$, t -检验)。图 6 同。ns indicates no significant difference by t -test at the 0.05 level. The same as Fig. 6.

图 6 中华蜜蜂和意大利蜜蜂访花行为及二者授粉后的草莓产量

Fig. 6 *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* visiting behavior and the strawberry yield pollinated by *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica*

A. 每分钟访花数量; B. 蜜蜂单花访问时间; C. 蜜蜂授粉后草莓产量。

A. The number of visiting bees in one minute; B. The visiting time on one flower; C. The strawberry yield pollinated by *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica*.

的采集规律一致,两种蜜蜂的进出巢个体数量和频次整体上与温室内的温度变化趋势保持一致,并与温度呈显著正相关,与相对湿度成负相关。因此,在适宜蜜蜂活动的温度区间内,温度越高,蜜蜂的出巢活动积极性越强(曾志将,2010)。另外,温度升高后,导致室内的饱和水汽压增加,相对湿度随之下降,蜜蜂通过增加出巢量,外出采水降低巢内温度,以保证巢内温度适宜(李卓航等,2018)。

中华蜜蜂和意大利蜜蜂两者出巢行为受环境因子的影响程度不同。在同一天内,意大利蜜蜂的出巢个体数量和出巢频次与温、湿度的相关性

均强于中华蜜蜂,即意大利蜜蜂的出巢行为对温、湿度变化的依赖性更强。另外,在授粉期间,当日均温度逐渐下降时(第8至第10天)意大利蜜蜂的出巢积极性受到明显抑制,然而,中华蜜蜂仍能保持较高的出巢个体数和出巢频率,与温度下降前相比并无明显改变。本研究结果也表明中华蜜蜂对温、湿度的耐受性强于意大利蜜蜂,具有更强的环境适应能力(王凤鹤等,2007),意大利蜜蜂行为受环境变化影响较大(He *et al.*, 2013)。

蜜蜂作为社会性昆虫,具有复杂的社会分工,不仅可以通过调整工蜂之间的劳动分工来维

持蜂群的稳定和发展,同一工种的采集蜂也会通过轮休制度来调整工作量。本研究显示,在自然状态下,蜂群内将近半数的采集蜂存在轮体现象。另外,有研究发现蜜蜂可以根据在定点饲喂训练中饲喂时间的变化来精确地调整采集时间 (Zhang *et al.*, 2006),尤其是意大利蜜蜂,能够感知天气变化,在恶劣天气的前一天通过增加采集频率来存储更多的食物 (He *et al.*, 2016)。这种工蜂自行调整工作和休息时间的轮休制度 (Klein and Seeley, 2011),体现了蜜蜂高度精细的社会分工,对蜂群和蜜蜂个体均具有重要意义。蜂群可以通过该种轮休制度更加合理的优化工蜂的工作时间,保证蜂群的工作效率 (Siegel, 2009)。对于工蜂个体而言,出巢采集行为风险高、耗能大,是蜂群中最危险的工作 (Johnson, 2010)。因此工蜂采集期间的轮休制度,可降低采集蜂的劳动强度,缓解工作压力,从而更有利于蜂群的发展。

蜜蜂的外出采集行为主要包括在花朵部位采集花粉、吸食花蜜以及巢外采水等工作。本研究结果显示,每分钟内中华蜜蜂的访花数量显著高于意大利蜜蜂。蜜蜂的访花频率与蜜粉源植物的开花、泌蜜规律、蜜蜂飞行速度以及嗅觉灵敏度等生物因素密切相关。虽然中华蜜蜂个体较意大利蜜蜂小,但其飞行速度快,嗅觉灵敏,这可能是中华蜜蜂在草莓上的访花频率高于意大利蜜蜂的主要原因 (吴艳光等, 2006)。然而,2种蜜蜂在采集过程中的单花停留时间并无显著差异,表明二者访花取得的报酬类型 (花粉或者花蜜),难易程度以及2种蜜蜂与植物的协同进化程度并无明显差异 (Scott *et al.*, 2014; 孟柏达等, 2019)。而且,除低温情况下,温室内意大利蜜蜂单位面积采集蜂密度均高于中华蜜蜂,这可能与意大利蜜蜂善于采集相对集中的大宗蜜源有关。然而,由于中华蜜蜂的日均工作时间显著高于意大利蜜蜂,使得其在总出巢频次上与意大利蜜蜂并无明显区别,保证了最终蜂群的工作总量与意大利蜜蜂无明显差异。另外,测产结果显示,中华蜜蜂和意大利蜜蜂授粉后的草莓产量并无显著差异。因此,本研究表明中华蜜蜂和

意大利蜜蜂均可作为设施草莓的高效授粉媒介,为选择利用意大利蜜蜂或中华蜜蜂为设施草莓授粉提供了科学依据。

参考文献 (References)

- Abou-Shaara HF, Owayss AA, Ibrahim YY, Basuny NK, 2017. A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insectes Sociaux*, 64(7): 455–463.
- Clarke D, Robert D, 2018. Predictive modelling of honey bee foraging activity using local weather conditions. *Apidologie*, 49(2): 386–396.
- Corbet SA, 1990. Pollination and the weather. *Israel Journal of Botany*, 39(1): 13–30.
- Dreller C, Page RE, Fondrk MK, 1999. Regulation of pollen foraging in honeybee colonies: Effects of young brood, stored pollen, and empty space. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 45(3/4): 227–233.
- Fewell JH, Bertram SM, 1999. Division of labor in a dynamic environment: Response by honeybees (*Apis mellifera*) to graded changes in colony pollen stores. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 46(8): 171–179.
- Han SM, Lai K, Zhao YZ, Bai F, Li ZF, Peng WJ, 2020. Flower-visiting behavior and pollination by honeybees in kiwifruit orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1131–1138. [韩胜明, 赖康, 赵亚周, 白峰, 李治菲, 彭文君, 2020. 蜜蜂在猕猴桃园的访花行为和授粉效果评估. 应用昆虫学报, 57(5): 1131–1138.]
- He XJ, 2011. The application of RFID technique in honeybees and contradistinction of learning and memory between *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica*. Master dissertation. Jiangxi: Jiangxi Agricultural University. [何旭江, 2011. 蜜蜂 RFID 技术及中蜂与意蜂学习记忆比较. 硕士学位论文. 江西: 江西农业大学].
- He XJ, Zeng ZJ, Wang WX, Wu XB, Yan WY, Wang ZL, 2010. Application of RFID technology in honeybee research. *Apiculture of China*, 2010(11): 3. [何旭江, 曾志将, 王文祥, 吴小波, 颜伟玉, 王子龙, 2010. RFID 技术在蜜蜂研究中的应用. 中国蜂业, 2010(11): 3.]
- He XJ, Wang WX, Qin QH, Zeng ZJ, Zhang SW, Andrew BB, 2013. Assessment of flight activity and homing ability in Asian and European honey bee species, *Apis cerana* and *Apis mellifera*, measured with radio frequency tags. *Apidologie*, 44(1): 38–51.
- He XJ, Tian LQ, Wu XB, Zeng ZJ, 2016. RFID monitoring indicates honeybees work harder before a rainy day. *Insect Science*, 23(1): 157–159.
- Johnson BR, 2010. Division of labor in honeybees: Form, function,

- and proximate mechanisms. *Behavioral Ecology & Sociobiology*, 64(3): 305–316.
- Klein BA, Seeley TD, 2011. Work or sleep? Honeybee foragers opportunistically nap during the day when forage is not available. *Animal Behaviour*, 82(1): 77–83.
- Li ZH, Chen BW, Jia YN, Guo Y, 2018. Effect of facility environmental factors on *Apis mellifera ligustica* leaving hive. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 46(12): 2066–2068. [李卓航, 陈博文, 贾亚宁, 郭媛, 2018. 设施环境因素对意大利蜜蜂出巢的影响, 山西农业科学, 46(12): 2066–2068.]
- Meng BD, Ren XX, Gong XY, Chen XL, Hu XL, Qing Z, Li LS, Zhou DY, Dong K, 2019. Effect of *Apis mellifera* L. on the foraging behavior of *Apis cerana* F. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(5): 1070–1078. [孟柏达, 任晓晓, 龚雪阳, 陈新兰, 胡晓玲, 卿卓, 李林庶, 周丹银, 董坤, 2019. 西方蜜蜂对东方蜜蜂采集行为及食物资源利用的影响. 应用昆虫学报, 56(5): 1070–1078.]
- Molet M, Chittka L, Stelzer RJ, Streit S, Raine NE, 2008. Colony nutritional status modulates worker responses to foraging recruitment pheromone in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62(12): 1919–1926.
- Moore D, Angel JE, Cheeseman IM, Fahrbach SE, Robinson GE, 1998. Time keeping in the honey bee colony: Integration of circadian rhythms and division of labor. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 43(3): 147–160.
- Pahl M, Zhu H, Tautz J, Zhang SW, James WE, 2011. Large scale homing in honeybees. *PLoS ONE*, 6(5): e19669.
- Pankiw T, 2003. Directional change in a suite of foraging behaviors in tropical and temperate evolved honey bees. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 54(5): 458–464.
- Scott VC, Groom, Ngo HT, Rehan SM, Skelton P, Stevens MI, Schwarz MP, 2014. Multiple recent introductions of apid bees into Pacific archipelagos signify potentially large consequences for both agriculture and indigenous ecosystems. *Biological Invasions*, 16(11): 2293–2302.
- Siegel JM, 2009. Sleep viewed as a state of adaptive inactivity. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(10): 747–753.
- 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.]
- Tian LQ, He XJ, Wu XB, Gan HY, Han X, Liu H, Zeng ZJ, 2014. Study on collection behavior of western honeybee based on RFID technology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25(3): 831–835. [田柳青, 何旭江, 吴小波, 甘海燕, 韩旭, 刘浩, 曾志将, 2014. 基于 RFID 技术的西方蜜蜂采集行为研究. 应用生态学报, 25(3): 831–835.]
- Tscharntke T, Westphal C, Pawelzik, Klatt BK, Smit I, Holzschuh A, 2014. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society. Biological Sciences*, 281(1775): 20132440.
- Veeraraghavan A, Chellappa R, Srinivasan M, 2008. Shape and behavior encoded tracking of bee dances. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(3): 463–476.
- Vicens N, Bosch J, 2000. Weather-dependent pollinator activity in an apple orchard, with special reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae). *Environmental Entomology*, 29(3): 413–420.
- Wang FH, Yang F, Geng JH, Xu XL, 2007. Conservation and utilization of the Chinese honeybee *Apis cerana* in Beijing. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(6): 923–927. [王凤鹤, 杨甫, 耿金虎, 徐希莲, 2007. 北京中华蜜蜂的保护与利用. 昆虫知识, 44(6): 923–927.]
- Wu YG, Ren BZ, Du XJ, Guano ZY, Li N, 2006. Research on pollinators in north slope of Changbai mountain (IV)-The pollinators behavior of pollination. *Journal of Jilin Agricultural University*, 28(6): 613–618. [吴艳光, 任炳忠, 杜秀娟, 官昭瑛, 李娜, 2006. 长白山北坡访花昆虫研究(IV)——访花昆虫的访花行为. 吉林农业大学学报, 28(6): 613–618.]
- Zeng ZJ, 2010. Bee Biology. Beijing: China Agriculture Press. 28–41. [曾志将, 2010. 蜜蜂生物学. 北京: 中国农业出版社 28–41.]
- 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 SW, Schwarz S, Pahl M, Zhu H, Tautz J, 2006. Honeybee memory: A honeybee knows what to do and when. *Journal of Experimental Biology*, 209 (22): 4420–4428.
- Zhao YZ, AN JD, Zhou ZY, Dong J, Xing YH, Qin JJ, 2001. 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, 2001. 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.]