



张云毅, 张旭凤, 宋怀磊, 郭宝贝, 郭媛, 武文卿. 不同授粉方式对设施西瓜授粉效果研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1189–1196.

不同授粉方式对设施西瓜授粉效果研究

张云毅¹, 张旭凤^{1*}, 宋怀磊¹, 郭宝贝², 郭媛¹, 武文卿¹

(1. 山西农业大学 (山西省农业科学院) 园艺学院, 太原 030031; 2. 山西农业大学 (山西省农业科学院) 果树研究所, 山西晋中 030815)

摘要: 为了探究不同方式组建授粉蜂群的授粉效率, 利用意大利蜜蜂 *Apis mellifera* 蜂王上颚腺信息素 (Queen mandibular pheromone, QMP) 替代蜂群内的真正蜂王组建授粉蜂群给“日本新秀”西瓜授粉, 比较有王群 (Queenright)、无王群 (Queenless)、假王群 (QMP + queenless) 和人工授粉 (Hand pollinated) 4 种不同授粉方式对设施西瓜授粉后的产量、品质和蜂群采集活动及蜂群损失情况差异, 以此验证利用蜂王上颚腺信息素替代蜂王组建蜂群为设施西瓜授粉的可行性。结果表明: 假王群采集活动趋势可与有王群保持一致, 两者蜂群损耗、出巢、回巢和带粉回巢的采集蜂数显著高于无王群; 有王群和假王群授粉西瓜平均产量均显著高于无王群和人工授粉。有王群、假王群和无王群处理的西瓜果实种子饱满数均显著高于人工授粉。且有王群和假王群西瓜的可溶性固形物含量显著高于无王群和人工授粉处理。综上所述, 使用蜂王上颚腺信息素替代蜂王组建小型授粉蜂群为设施西瓜授粉切实可行, 该研究为设施作物授粉提供了新的思路和方法, 也拓展了昆虫信息素在农业系统中的重要利用价值。

关键词: 蜂王上颚腺信息素; 意大利蜜蜂; 采集活动; 果实品质; 设施作物; 西瓜授粉

中图分类号: Q965; Q968.1; S89

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 05-1189-08

Effect of watermelon pollination in facilities by utilizing different pollination methods

ZHANG Yun-Yi¹, ZHANG Xu-Feng^{1*}, SONG Huai-Lei¹, GUO Bao-Bei², GUO Yuan¹, WU Wen-Qing¹ (1. College of Horticulture, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 2. Institute of Pomology Research, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030815, Shanxi Province, China)

Abstract: To explore the pollination efficiency of different methods to organize pollinating bee colonies, watermelon ‘Japanese rookie’ and honey bees (*Apis mellifera*) were used as the test material and colony respectively, the queen mandibular pheromone (QMP) strip was used to replace the real queen to organize the bee colony for pollination, the impact and differences of yield and profit, fruit quality were measured via comparing the four different treatments for watermelon pollination: Queenright, Queenless, QMP + queenless, Hand pollinated, and the colony loss and the foraging activities of bee colonies, such as the number of bees out of hive, back to hive and back to hive with pollen were also measured to verify the feasibility of the method to build colonies. The results suggested that QMP + queenless and queenright

基金项目: 国家蜂产业技术体系建设专项资金资助 (CARS-44-KXJ2); 山西省科技成果转化引导专项项目 (20180D131057); 山西省重点研发国际合作项目 (201703D421004)

作者简介: 张云毅, 男, 1965 年生, 山西太谷人, 本科, 副研究员, 主要从事蜜蜂授粉及生态生物学等研究工作, E-mail: zhangy6503@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 张旭凤, 女, 1986 年生, 甘肃酒泉人, 博士, 副研究员, 主要从事蜜蜂授粉及蜜蜂生物学等研究工作, E-mail: zhangxf@sxau.edu.cn

收稿日期 Received: 2021-06-10; 接受日期 Accepted: 2021-07-13

colonies could keep the trend of foraging activities consistently, which the number of forager bees out of hive, back to hive and back to hive with pollen were significantly higher than those of queenless colonies, there was no significant differences in the colony loss between queenright and QMP + queenless colonies, which were significantly lower than queenless colonies ($P < 0.05$); The price of watermelon pollinated by honey bees was higher than that of hand pollination, the average yield and output value of queenright and QMP + queenless colonies were significantly higher than those of queenless colonies and hand pollination ($P < 0.05$). There were no significant differences in the vertical diameter, fruit weight, number of bad seeds, total sugars and acids among four different treatments, but the number of full seeds of bee treatments were significantly higher than that of hand pollination, the total soluble solids of queenright and QMP + queenless colonies were significantly higher than that of queenless colonies and hand pollination ($P < 0.05$). Overall, it is feasible to utilize QMP to replace queen to build the pint-sized colonies for watermelon pollination. Our research provides a novel method for the facility crops in the future, and also expands the vital utilization of insect pheromones in agriculture.

Key words: Queen mandibular pheromone; *Apis mellifera*; foraging activities; fruit quality; facility crops; watermelon pollination

西瓜 *Citrullus lanatus* 是葫芦科 Cucurbitaceae 一年生雌雄同株的藤本植物, 主要通过虫媒异花授粉来坐果, 其果实味甘多汁, 富含营养, 深受消费者喜爱 (邵有全和祁海萍, 2010)。

节能增效是设施农业发展的一大趋势, 近年设施西瓜种植发展迅速 (何芬等, 2007)。据我国农业农村部调查数据统计, 2016 年全国西瓜播种面积为 1 871 000 ha, 总产量达 77 550 000 t; 其中露地西瓜面积占 52%, 为 973 000 ha, 产量为 35 670 000 t; 设施西瓜种植面积占 48%, 播种面积达 89.8 ha, 产量为 41 880 000 t (中华人民共和国农业农村部办公厅公报, 2015; 屈冬玉, 2016)。根据国家西甜瓜产业技术体系生产调查数据显示, 2017 年, 设施西瓜的种植比例已经提高到 57.76%, 西瓜优势种植产区均显现设施栽培面积增加、露地面积减少的趋势 (别之龙等, 2019)。设施栽培技术具有多方面的优势, 如: 高附加值、可持续发展、有效躲避自然界的不良气候因素、作物的生长环境参数可控可调以及使种植作物的收益最大化 (信乃珍, 2002; 王京波, 2020)。但是, 设施种植西瓜也存在一些缺点, 其中最为种植户关切的就是授粉结实问题。由于设施栽培需要相对封闭的环境, 因而栽培空间内自然界中野生传粉昆虫数量极少, 这就导致坐果率严重不足。因此, 种植者依靠外界的辅助授粉手段来增加坐果率, 如人工喷施生长调节剂、人工蘸花和利用昆虫授粉等 (马卫华等, 2017)。然而, 人工授粉

的方式均会带来费工费时, 增加劳动成本的问题 (戴雪香, 2016; 张俊峰, 2017; 郭宝贝等, 2018); 喷施生长调节剂还会带来潜在化学药剂污染的风险, 影响消费者的健康 (邵玉江, 2016; 姬晓晨等, 2016)。所以, 利用昆虫授粉是最被人们所接受的辅助授粉方法, 如熊蜂 *Bombus* sp.、壁蜂 *Osmia* sp.、切叶蜂 *Megachile* sp. 和蜜蜂 *Apis* sp. 等, 已经在我国多种设施作物中得到成功应用和推广 (吴杰和邵有全, 2011; 张旭凤和武文卿, 2018)。由于蜜蜂具有易于饲养管理、方便运输和回收等特点, 在设施作物授粉中应用最为广泛。

目前, 在设施果蔬种植中应用的蜜蜂包括西方蜜蜂的意大利蜜蜂 (意蜂, *Apis mellifera ligustica*) 和东方蜜蜂的中华蜜蜂 (中蜂, *Apis cerana cerana*), 且研究表明两者均可以高效地为设施西瓜授粉, 研究发现相较于中蜂, 意蜂的单花访问时间更长, 访花频率更高, 访花间隔更短, 意蜂在设施西瓜授粉上更有优势 (苏晓玲等, 2017)。设施农业中使用蜜蜂授粉有 2 种方式: 有王群 (Queenright) 和无王群 (Queenless)。无王群授粉技术, 可以提高西瓜的产量和品质, 实现农民增收 (王凤鹤等, 2012a; 王凤鹤等, 2012b), 但是无王群的使用会带来蜂群结构失衡, 导致工蜂产卵、出勤率降低和采集力下降等风险 (余林生和徐珊珊, 2003; Hefetz, 2019)。有王群为设施西瓜授粉, 可有效实现设施西瓜种植的节本增效 (吴平, 2013), 但是有王群相较于无王群授粉又

存在授粉成本增加的问题(王凤鹤等, 2012a)。因此, 现今在设施西瓜种植技术上仍然缺乏一种节约成本而高效的授粉方式。比较有王群和无王群, 两者最大的区别在于授粉蜂群中是否存在蜂王。

蜜蜂是社会性昆虫, 蜂王利用上颚腺信息素(Queen mandibular pheromone, QMP)来维持和调节蜂群中工蜂和雄蜂的生理和行为变化(Winston and Slessor *et al.*, 1998; Le Conte and Hefetz *et al.*, 2008; Mumoki *et al.*, 2018)。QMP 主要包括 9-keto-2(E)-decenoic acid (9-ODA), 9-hydroxy-hydroxy-2(E)-decenoic acid [9-HAD R-(-) or S-(+)], methylp-hydroxybenzoate (HOB), 4-hydroxy-3-methoxyphenylethanol(HVA)5 种成分, 它们的单一成分或不同配比的混合物能引起信息素接收者不同的变化。研究表明, QMP 可以提高工蜂出巢采集的积极性且可抑制工蜂的卵巢发育(Pankiw *et al.*, 1998; Slessor *et al.*, 2005; Brockmann *et al.*, 2006), 且在蜂群中早有研究将其作为性引诱剂使用(Butler *et al.*, 1967; Nagaraja & Brockmann *et al.*, 2009)。因此, QMP 不仅具有维持蜂群正常活动的作用, 还可以提高工蜂出巢的采集积极性。在设施种植环境条件下, 是否可以尝试使用 QMP 替代正常蜂群的蜂王组建设施授粉蜂群? 这有利于节约授粉成本情况下提高设施西甜瓜的种植效率。



图1 棚内不同处理试验小区设置

Fig. 1 Sketch map of test plot of different treatments in tunnel greenhouse

1.2 试验材料

供试西瓜品种为日本新秀。2月23日育苗, 4月4日栽植, 5月14日进入初花期, 花期持续10~15 d。

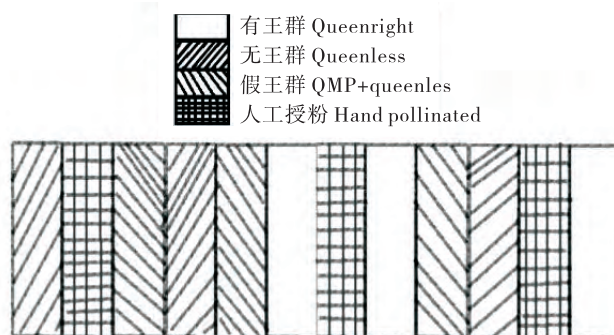
授粉使用的标准蜂群为意蜂, 由晋中市太谷县益民养蜂合作社提供, 使用的蜂王上颚腺信息素条(QMP)从加拿大购买(Intko Supply Ltd.,

本研究利用意蜂作为设施西瓜授粉蜂群, 使用 QMP 替代蜂群内的蜂王, 组建小型设施西瓜授粉蜂群(以下简称假王群, QMP + queenless)。比较有王群、无王群、假王群(QMP + queenless)和人工授粉(Hand pollinated)4 种不同授粉方式对设施西瓜授粉后的产量和收益、果实品质以及不同处理的蜂群出巢采集活动及蜂群损失情况差异。丰富和扩展了设施作物授粉的新的思路和方法, 而且验证了昆虫信息素在农业系统中的重要利用价值, 为昆虫信息素将在未来的设施作物授粉、害虫防治以及优质农产品等方面开拓了广泛的应用前景。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

授粉试验于2019年3月~6月在晋中市太谷县巨鑫现代农业示范园区内(北纬37°40', 东经112°50')日光温室进行。大棚授粉试验区面积为625 m²(长78 m × 宽8 m), 按照每个处理设置3个重复计, 平均分为12个小区, 使用防虫网分隔, 每个处理360棵, 株距30 cm, 行距45 cm, 采用随机区组设置, 授粉前期和后期确保各小区田间水肥管理和环境调控措施保持一致(图1)。



Suite 604, 3345 Kingsway Vancouver, BC, V5R 0A7 Canada, <https://pheromonehelper.ca/>), 如图2所示。该信息素条是一种塑料基质, 含有反式-9-氧代-2-癸烯酸(9-ODA)、顺式和反式-9-羟基-2-癸烯酸(9-HDA)、对羟基苯甲酸甲酯(HOB)、4-羟基-3-甲氧苯基乙醇(HVA)5种蜂王信息素物质。



图2 蜂王上颚腺信息素条 (QMP) 悬挂于蜂群内效果展示图

Fig. 2 Sketch map of strip of queen mandibular pheromone
hanged in the honeycomb

1.3 试验方法

设施西瓜授粉试验共设计 4 种处理：有王群 (Queenright)、无王群 (Queenless)、悬挂蜂王上颚腺信息素条的假王群 (QMP + Queenless) 和人工授粉 (Hand pollinated)。设施西瓜初花期时，使用具有单位自主知识产权的 1/2 牌小面积作物蜜蜂授粉专用蜂箱组建不同处理的设施授粉蜂群，约 3 000 头蜜蜂/箱，青壮年蜂占 90% 以上；每个处理蜂群各设置 3 个重复，入棚前确保各处理蜂群内的子脾、蜜脾和蜜蜂的数量、群势保持基本一致，并进行称重，整个授粉期结束后再进行称重。人工授粉组，每天 9:00 摘取当天新开的雄花，采用人工对花的方式为雌花授粉，直至花期结束。

将授粉蜂群搬入棚内时，确保蜂群进入前棚内未喷施药剂，以防蜜蜂中毒。花期结束后，将授粉蜂群从棚内搬离。蜂群进入设施大棚后，授粉时期为 5 月 14 日–5 月 27 日。西瓜成熟收获期为 6 月 27 日–7 月 10 日，吊蔓栽培，单蔓整枝，同一瓜蔓上只留 1 果。成熟后采收瓜 340 个/小区，对各小区西瓜进行产量测定，然后，每处理采收 27 个样本瓜，每重复试验小区 9 个瓜进行西瓜果实样本品质的测定。

1.4 项目测定

不同处理蜂群工蜂出巢采集活动观察：每天早上 9:00–12:00 在蜂箱前使用摄像头对各处理蜂群工蜂出巢活动进行观察和视频录制，每个处理设置 3 个重复，记录并进行统计 1 h 内出巢蜂数、带粉回巢蜂数和不带粉回巢蜂数。

设施西瓜蜂群损失变化情况：蜂群进入大棚授粉前，对蜂群进行初始称重，花期结束后蜂群搬离时，对蜂群进行出棚称重，记录蜂群重量的变化。

设施西瓜产量测定：西瓜成熟后，对不同授粉蜂群处理的各小区西瓜进行采收和测产，并进行计算和分析。

设施西瓜果实品质测定：测定不同授粉方式处理中设施西瓜的果形指数：果实横纵径 (mm) (使用高精度电子数显游标卡尺测量)、单果重 (g)，果实口感指数：可溶性固形物 (%) (使用日本 ATAGO 爱拓数显糖度计测定)，总糖 (%) (使用 721 分光光度计测定) 和总酸 (%) (使用酸碱滴定法测定)，以及果实种子数：孢子数和瘪子数 (粒)。

计算公式：

$$\text{总糖}(\%) = (x/0.5 \times 100 \text{ mL}) / (\text{样品重} \times 106) \times 100$$

$$\text{总酸}(\%) = (\text{滴定消耗的 NaOH 体积} \times \text{NaOH 标液浓度} \times \text{样品滴定前稀释倍数 (此处为 25/5)}) / \text{样品鲜重 g} \times 100$$

1.5 数据分析

数据分析使用 Microsoft Excel 2010 进行数据计算，采用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA) 采用 Duncan's 法 ($P < 0.05$) 检验不同处理的差异显著性水平，使用 OriginPro 8.5 对数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理蜂群工蜂出巢采集活动及蜂群损失差异比较

不同处理蜂群为西瓜授粉时，蜂群处理方式和授粉时间都影响工蜂出巢采集活动变化 (图 3)。从图 3 可以看出，不同处理的蜂群在棚内为设施西瓜授粉时，采集活动具有显著差异。

9:00–10:00 蜂群采集时间段内，有王群和假王群出巢采集蜂数无显著差异，极显著高于无王群 ($P < 0.01$)；回巢蜂数量：假王群 > 有王群 > 无王群，不同蜂群处理间差异极显著 ($P < 0.01$)；带粉回巢蜂数量：假王群 > 有王群 > 无王群，不同蜂群处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。因此，9:00–10:00 采集时间段内，假王群出巢蜂数量

与有王群处理无显著差异，且回巢蜂和带粉回巢蜂数极显著高于有王群和无王群 ($P < 0.01$)。

10:00–11:00 采集时间段内，随着棚内温度的逐渐升高，各处理蜂群出巢采集蜂数较 9:00–10:00 有所下降，但仍然是有王群和假王群无显著差异，极显著高于无王群 ($P < 0.01$)。回巢蜂数：

有王群 > 假王群 > 无王群，有王群和假王群无显著差异，显著高于无王群 ($P < 0.05$)；带粉回巢蜂数：假王群 > 有王群 > 无王群，3 种处理差异显著 ($P < 0.05$)。因此，10:00–11:00 采集时间段内，假王群采集趋势与有王群一致，极显著高于无王群 ($P < 0.01$)。

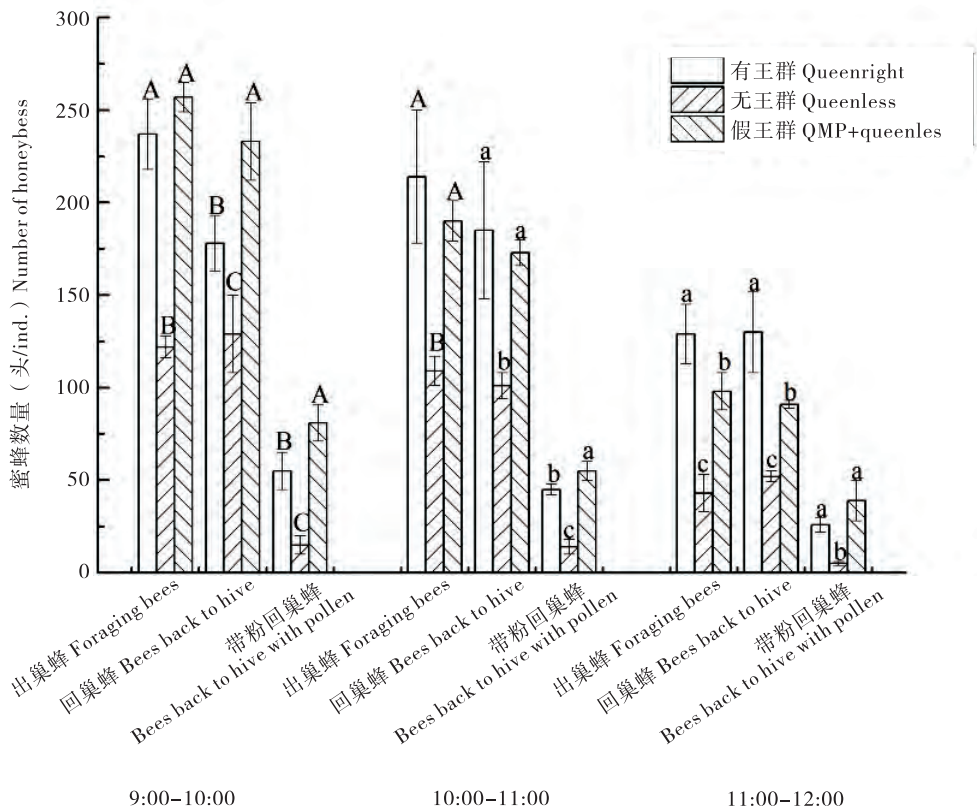


图3 不同处理蜂群西瓜授粉时期出巢采集活动比较分析

Fig. 3 Comparison of foraging activities of different treatments of colonies for watermelon pollination

注：不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)，不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different captical letters indicated extremely significant difference ($P < 0.01$); different lowercase letters indicated significant difference ($P < 0.05$).

11:00–12:00 采集时间段内，随着棚内温度升高，各处理蜂群采集蜂数显著下降，出巢蜂数：有王群 > 假王群 > 无王群，不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)；回巢蜂数：有王群 > 假王群 > 无王群，不同处理差异显著 ($P < 0.05$)；带粉回巢蜂数：假王群 > 有王群 > 无王群，假王群和有王群无显著差异，显著高于无王群 ($P < 0.05$)。虽然各处理蜂群的采集能力出现显著性下降，但假王群出巢和采集能力仍然可以与有王蜂群保持一致，并显著高于无王群 ($P < 0.05$)。

授粉前后不同处理蜂群的重量变化结果显示 (图4)，入棚授粉前不同处理授粉蜂群重量无显著

差异 ($P > 0.05$)，而整个设施西瓜授粉期内，有王群和假王群在蜂群减少的重量上无显著差异，但是显著低于无王群 ($P < 0.05$)。出棚时各处理蜂群的最终重量，有王群和无王群无显著差异 ($P > 0.05$)，无王群和假王群无显著差异 ($P > 0.05$)，但有王群最终重量显著高于无王群 ($P < 0.05$)。

2.2 不同授粉方式对设施西瓜产量的影响

不同授粉方式后各小区西瓜产量分析结果表明 (表1)，人工授粉组和无王群处理的西瓜平均产量无显著差异 ($P > 0.05$)。

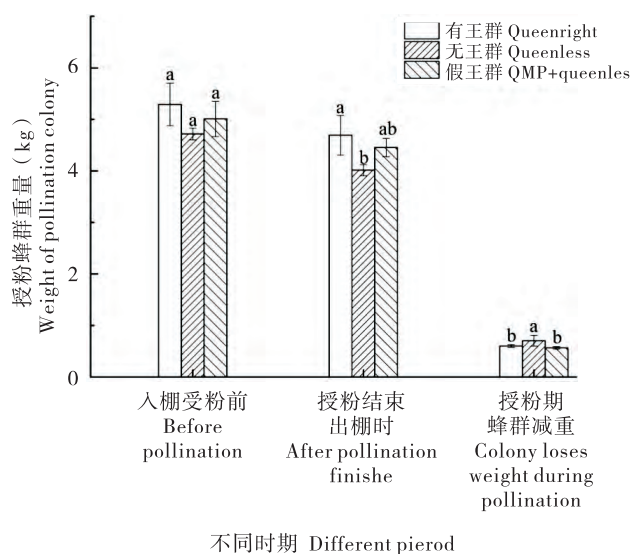


图4 不同处理授粉蜂群的重量变化分析
(Means $\pm$ SD, $P < 0.05$, $N = 3$)

Fig. 4 Weight changes of different treatments of colonies for watermelon pollination

2.3 不同授粉方式对设施西瓜果实品质的影响

不同授粉方式影响西瓜果实的横径, 有王群授粉后西瓜横径显著大于无王群、假王群和人工授粉处理 ($P < 0.05$); 各不同授粉处理间的西瓜果实纵径并无显著差异 ($P > 0.05$)。

有王群、无王群和假王群的西瓜种子饱满数无显著差异 ($P > 0.05$), 而有王群、无王群和假王群西瓜饱满数显著高于人工授粉群处理 ($P < 0.05$), 各处理间的种子瘪子数并无显著性差异 ($P > 0.05$)。各处理间西瓜果实单果重差异性不显著 ($P > 0.05$)。

不同授粉方式对西瓜果实口感具有一定程度的影响 (表2), 不同授粉处理的西瓜果实总糖和总酸含量并无显著差异 ($P > 0.05$), 而有王群和假王群处理的西瓜可溶性固形物含量显著高于无王群和人工授粉处理 ($P < 0.05$)。

表1 不同授粉方式后各小区西瓜产量分析 ($P < 0.05$)

Table 1 Analysis of yield and output value of watermelon in different pollination methods

处理 Treatment	重复 Repetition	小区产量 (kg) Yield of per plot	平均产量 Average yield
有王组 Queenright	1	468	467.5 $\pm$ 7.76 a
	2	475	
	3	459.5	
无王组 Queenless	1	430	425.0 $\pm$ 7.81 b
	2	429	
	3	416	
假王组 Queenless + QMP	1	477	459.0 $\pm$ 19.67 a
	2	462	
	3	438	
人工授粉组 Hand pollinated	1	448	442.0 $\pm$ 13.08 ab
	2	451	
	3	427	

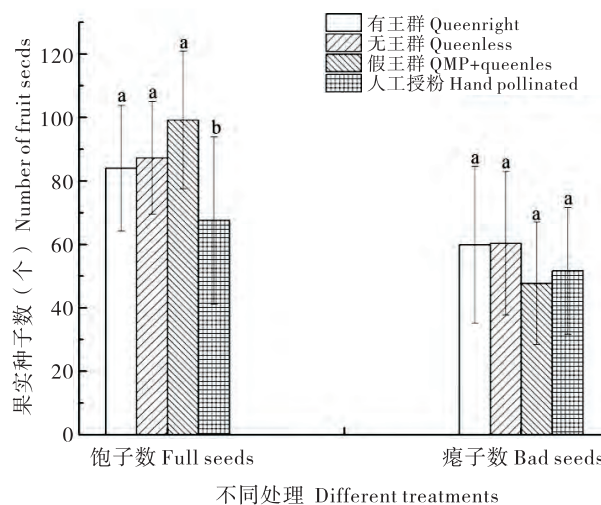


图5 不同授粉方式下西瓜果实种子数比较
(Means $\pm$ SD, $P < 0.05$, $N = 20$)

Fig. 5 Numbers of full and bad seed of watermelon in different pollination methods

表2 不同授粉方式下西瓜果实品质测定 (Means $\pm$ SD, $P < 0.05$, $n = 20$)

Table 2 Determination of watermelon fruit quality under different pollination methods

处理 Treatment	可溶性固形物含量 (%) Soluble solids content	总糖含量 (%) Total sugar	总酸含量 (%) Total acid
有王组 Queenright	14.43 $\pm$ 0.69 a	12.55 $\pm$ 0.30 a	0.07 $\pm$ 0.01 a
无王组 Queenless	13.51 $\pm$ 0.70 b	12.69 $\pm$ 1.05 a	0.06 $\pm$ 0.00 a
假王组 QMP + Queenless	14.31 $\pm$ 0.58 a	12.46 $\pm$ 0.32 a	0.08 $\pm$ 0.01 a
人工授粉 Hand pollinated	13.62 $\pm$ 0.94 b	10.78 $\pm$ 0.47 a	0.08 $\pm$ 0.02 a

3 讨论与结论

蜜蜂是典型的社会性昆虫, 蜂群内个体间的各种行为活动需要依靠信息的传递和交流来实现。蜂王所释放的 QMP 信息素作为一种化学信号, 对调节蜂群的群体行为, 例如吸引工蜂服侍蜂王、抑制新蜂王的产生以及调节蜂群内个体的生殖能力和劳动分工均具有至关重要的作用 (Winston *et al.*, 1990; Slessor *et al.*, 2005; Oystaeyen *et al.*, 2014; Holman, 2018)。

蜂群能否正常出巢采集直接影响设施西瓜的授粉效果。本研究授粉过程均使用意蜂作为授粉蜂群为设施西瓜授粉, 这与苏晓玲等 (2017) 的研究结果, 相较于中蜂, 意蜂在设施西瓜授粉上更具有优势相一致。使用 QMP 信息素条的蜂群出巢采集活动趋势可与正常有王蜂群保持较高的一致性, 且采集活跃性显著高于无王群处理, 表明 QMP 信息素条可以作为正常蜂群内蜂王的替代物来组建授粉蜂群用于设施作物授粉。同时, 试验中所使用的 QMP 信息素条, 折合人民币售价仅为 1.5 元/条, 价格经济、实惠, 可以有效地降低授粉成本, 且组建蜂群的操作简单便捷, 因此, 在设施作物授粉中具有较好的应用前景。

设施作物产量和果实品质直接影响种植农户的收益。与有王群相比, 蜂王上颚腺信息素蜂群授粉后产量无显著差异, 且显著高于人工授粉处理, 表明使用 QMP 信息素替代蜂王组建授粉蜂群切实可行。这与江姣等 (2014) 的研究结果相一致, 相较于人工授粉, 蜜蜂授粉后果实品质较好又可实现增收。不同授粉方式下, 使用蜜蜂授粉处理的西瓜种子孢子数均显著高于人工授粉, 同时, 有王群、假王群授粉后西瓜可溶性固形物含量显著高于无王群和人工授粉处理组, 这与张华峰等 (2018) 的研究结果一致。探究不同授粉方式对西瓜果实口感的影响, 说明使用蜜蜂授粉不但可以显著增加西瓜果实的种子孢子数, 而且相较于人工授粉处理, 假王群和有王群授粉均可以有效提高西瓜果实的甜度, 提升口感。

综上所述, 使用 QMP 信息素条替代蜂王, 从蜂群出巢采集活动、设施西瓜的产量和收益、果实品质 3 个方面分析, 均可以达到正常有王群的各项指标, 又因其具备代替蜂王效果持久、产品成本低、授粉期间蜂群损耗小的特点, 相较于人

工授粉, 在降低设施授粉劳动成本的同时, 又提升了果实品质和种植农户的收益。因此, 使用 QMP 信息素条替代蜂王的授粉技术将会在设施作物授粉中具有较好的推广和应用前景, 也进一步拓展了昆虫信息素在农业系统中的重要利用价值。

致谢: 衷心感谢美国密西根州立大学昆虫系黄智勇教授为实验和文章撰写过程中提供的无私帮助和指导!

参考文献 (References)

- Bie ZL, Dai ZY, Yang XF. Investigation report on main producing areas of watermelons and muskmelon in Hubei Province and Hainan Province [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2019, 32 (1): 37-41. [别之龙, 戴照义, 杨小锋. 湖北省和海南省设施西瓜甜瓜主产区调研报告 [J]. 中国瓜菜, 2019, 32 (1): 37-41]
- Brockmann A, Dietz D, Spaethe J, *et al.* Beyond 9 - ODA: Sex pheromone communication in the European honey bee *Apis mellifera* L. [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 32 (3): 657-667.
- Butler CG, Calam DH, Callow RK. Attraction of *Apis mellifera* drones by the odors of the queens of the two other species of honeybees [J]. *Nature*, 1967, 213: 423-424.
- Dai XX, Fan Y, Fan WH, *et al.* Effects of different pollination methods on fruit development and fruit set of pitaya [J]. *Apiculture of China*, 2016, 67 (8): 18-21. [戴雪香, 樊莹, 范文穗, 等. 不同授粉方式对火龙果果实发育及坐果率的影响 [J]. 中国蜂业, 2016, 67 (8): 18-21]
- Gao YJ. Preliminary study on the effect of different pollination methods on greenhouse tomato [J]. *Shihezi Science and Technology*, 2016, 6: 1-2. [郇玉江. 不同授粉方式对大棚番茄的影响效果初探 [J]. 石河子科技, 2016, 6: 1-2]
- Guo BB, Zhang DX, Liu L, *et al.* Effects of different pollination methods on apple fruit development [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46 (10): 1602-1606. [郭宝贝, 张东霞, 刘丽, 等. 苹果不同授粉方式对果实发育的影响 [J]. 山西农业科学, 2018, 46 (10): 1602-1606]
- He F, Ma CW. Development and strategy of facility agriculture in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23 (3): 462-465. [何芬, 马承伟. 中国设施农业发展现状与对策分析 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (3): 462-465]
- Hefetz A. The critical role of primer pheromones in maintaining insect sociality [J]. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 2019: 1-11.
- Holman L. Queen pheromones and reproductive division of labour: A meta-analysis [J]. *Behavioural Ecology*, 2018, 29: 1199-1209.
- Ji XC, Shi XD, Zhang JR, *et al.* Comparison of different pollination methods of greenhouse tomato in spring [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2020, 4: 92-94. [姬晓晨, 师晓丹, 赵加瑞, 等. 春季设施番茄不同授粉方式的比较 [J]. 农业科技通讯, 2020, 4: 92-94]
- Jiang J, Lu JS, Zhong BD. Effects of bee pollination on small fruit

- watermelon production under protected trellis culture [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2014, 27 (6): 33–36. [江皎, 芦金生, 张保东. 设施立架小果型西瓜蜜蜂授粉效果分析 [J]. 中国瓜菜, 2014, 27 (6): 33–36]
- Leconte Y, Hefetz A. Primer pheromones in social hymenoptera [J]. *Annual Review of Entomology*, 2008, 53: 523–542.
- Ma WH, Li LX, Shen JS, *et al.* Research progress of bee pollination on facilities crops [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2017, 45 (12): 2044–2048. [马卫华, 李立新, 申晋山, 等. 设施作物蜂授粉研究进展 [J]. 山西农业科学, 2017, 45 (12): 2044–2048]
- Mumoki FN, Pirk CWW, Yusuf AA, *et al.* Reproductive parasitism by worker honey bees suppressed by queens through regulation of worker mandibular secretions [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8 (1): 7701.
- Nagaraja N, Brockmann A. Drones of the dwarf honey bee *Apis florea* are attracted to (2E)–9–Oxodecenoic acid and (2E)–10–hydroxydecenoic acid [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2009, 35 (6): 653–655.
- Pankiw T, Huang ZY, Winston ML, *et al.* Queen mandibular gland pheromone influences worker honey bee (*Apis mellifera* L.) foraging ontogeny and juvenile hormone titers [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1998, 44: 685–692.
- Qu DY. Agricultural Statistics of China (2016) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017. [屈冬玉. 中国农业统计资料 (2016) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017]
- Shao YQ, Qi HP. Guoshu Kunchong Shoufen Zengchan Jishu [M]. Beijing: Golden Shield Press, 2010. [邵有全, 祁海萍. 果蔬昆虫授粉增产技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2010]
- Slessor KN, Winston ML, Leconte Y. Pheromone communication in the honeybee (*Apis mellifera* L.) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2005, 31: 2731–2745.
- 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]
- The General Office of the Ministry of Agriculture Issued the Circular on the Development Plan of the National Watermelon and Melon Industry (2015–2020) [EB/OL]. (2015–01–30) [2017–11–29]. http://www.moa.gov.cn/nybgbh/2015/san/201711/t20171129_5923446.html. [农业部办公厅. 农业部办公厅关于印发《全国西瓜甜瓜产业发展规划 (2015–2020 年)》的通知 [EB/OL]. (2015–01–30) [2017–11–29]. http://www.moa.gov.cn/nybgbh/2015/san/201711/t20171129_5923446.html]
- Oystaeyen AV, Oliveira RC, Holman L, *et al.* Conserved class of queen pheromones stops social insect workers from reproducing [J]. *Science*, 2014, 343 (6168): 287–290.
- Wang JB. Development and strategy of facility agriculture [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2020, 7: 20, 26. [王京波. 设施农业发展与对策分析 [J]. 农业开发与装备, 2020, 7: 20, 26]
- Wang FH, Xu XL, Lu JS, *et al.* Application technology of breeding queen bee colony and pollination of queen bee colony in facility watermelon [J]. *China Vegetables*, 2012a, 11: 44–46. [王凤鹤, 徐希莲, 芦金生, 等. 设施西瓜有王蜂群繁育及无王蜂群授粉应用技术 [J]. 中国蔬菜, 2012a, 11: 44–46]
- Wang FH, Yang Pu, Xu XL, *et al.* The facility watermelon uses the bee kingless group pollination comprehensive technology [J]. *Northern Horticulture*, 2012b, 19: 35–36. [王凤鹤, 杨甫, 徐希莲, 等. 设施西瓜应用蜜蜂无王群授粉综合技术 [J]. 北方园艺, 2012b, 19: 35–36]
- Winston ML, Higo HA, Slessor KN. Effect of various dosages of queen mandibular gland pheromone on the inhibition of queen rearing in the honey bee (Hymenoptera: Apidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1990, 83: 234–238.
- Winston ML, Slessor KN. Honey bee primer pheromones and colony organization: Gaps in our knowledge [J]. *Apidologie*, 1998, 29: 81–95.
- Wu J, Shao YQ. Bee Pollination is a Wonderful and Efficient Technique for Increasing Crop Production [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 20–59. [吴杰, 邵有全. 奇妙高效的农作物增产技术——蜜蜂授粉. 北京: 中国农业出版社, 2011: 20–59]
- Wu P, Gong PZ, Tao Q, *et al.* Key points and promotion prospect of bee pollination technology of facility watermelon [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2013, 26 (4): 44–45. [吴平, 龚佩珍, 陶勤, 等. 设施西瓜蜜蜂授粉技术要点及推广前景 [J]. 中国瓜菜, 2013, 26 (4): 44–45]
- Xin NZ. Agrometeorology [M]. Chongqi: Chongqing Press, 2002: 12. [信乃珍. 农业气象学 [M]. 重庆: 重庆出版社, 2002: 12]
- Yu LS, Xu SS. Research on biological characteristic to none queen colony [J]. *Apiculture of China*, 2003, 4: 4–6. [余林生, 徐珊珊. 无王蜂群生物学特性的研究 [J]. 中国养蜂, 2003, 4: 4–6]
- Zhang HF, Jiang YF, Zhang LC, *et al.* Effects of different pollination method on fruit set and abortion of melon and watermelon protected cultivation in south China [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, 57 (11): 62–67. [张华峰, 蒋云飞, 张蕾琛, 等. 不同授粉方式对南方设施西甜瓜授粉效果的影响 [J]. 湖北农业科学, 2018, 57 (11): 62–67]
- Zhang JF, Wang ZW, Zhang YX, *et al.* Effects of different pollination methods on growth and quality of tomato in solar greenhouse [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45 (35): 50–52. [张俊峰, 王志伟, 张玉鑫, 等. 不同授粉方式对日光温室番茄生长及品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45 (35): 50–52]
- Zhang XF, Wu WQ. Efficient Pollination Techniques for Honeybees [M]. Zhenzhou: Zhongyuan Farmer Press, 2018: 161–194. [张旭凤, 武文卿. 蜜蜂高效授粉技术 [M]. 郑州: 中原农民出版社, 2018: 161–194]