



意大利蜜蜂和中华蜜蜂对大豆不育系授粉效果的比较

马卫华¹, 申晋山¹, 武文卿¹, 宋怀磊¹, 李立新¹, 张瑞军², 卫保国², 黄家兴³

(1. 山西农业大学(山西省农业科学院园艺研究所), 山西 太原 030031; 2. 山西农业大学 农业基因资源研究中心, 山西 太原 030031; 3. 中国农业科学院 蜜蜂研究所, 北京 100093)

摘要:为提高大豆不育系的异交结实率和产量,需要选择适合大豆不育系传粉的蜜蜂种类,本研究采用意大利蜜蜂(意蜂)和中华蜜蜂(中蜂)对2个大豆不育系H3A和24A进行授粉试验,利用样方内计数和摄像的方法,统计访花蜜蜂数量和单花访问时间,采用常规考种统计授粉后的单株荚数、单株粒数、单株产量和百粒重等大豆产量相关性状,并调查了4个处理的访花情况,系统比较了两种蜜蜂对大豆不育系授粉效果的影响。结果表明:不同处理的访花动态趋势基本一致,呈双高峰,两高峰均分布在10:00—14:00。对于不育系H3A和24A,意蜂的单花访问时间均短于中蜂的单花访问时间。访问24A的中蜂和意蜂数量少于对H3A的访问数量。对于不育系24A,访花的意蜂数量显著高于访花中蜂数量($P < 0.01$)。4个处理授粉后的大豆单株荚数、单株粒数和单株产量的结果均呈现出同一趋势,即Aml-24A最高,之后依次为Aml-H3A、Acc-24A和Acc-H3A;同一不育系,意蜂授粉后的单株荚数、单株粒数和单株产量均显著高于中蜂($P < 0.05$);意蜂授粉后的H3A和24A的单株产量分别是对应中蜂授粉后的1.26和1.51倍。不同蜂种授粉后24A的百粒重均显著高于H3A($P < 0.01$)。综合可见,在有限区域内,意蜂和中蜂均能完成大豆授粉,授粉效果意蜂优于中蜂。

关键词:大豆不育系;蜂种;访花蜜蜂数量;访花时间;产量性状

Comparison of Pollination Effects Between *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* for Soybean Sterile Lines

MA Wei-hua¹, SHEN Jin-shan¹, WU Wen-qing¹, SONG Huai-lei¹, LI Li-xin¹, ZHANG Rui-jun², WEI Bao-guo², HUANG Jia-xing³

(1. Shanxi Agricultural University (Horticulture Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences), Taiyuan 030031, China; 2. Center for Agricultural Genetic Resources Research, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 3. Bee Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: To improve the outcrossing seed setting rate and yield of soybean sterile lines, two soybean sterile lines H3A and 24A were pollinated by *Apis mellifera ligustica* (Aml) and *Apis cerana cerana* (Acc). The number of honeybees-visiting and the flower-visiting time were counted by counting in Quadrat and video observation, and the pods number, seeds number, and yield per plant and the 100-seed weight of the yield-related traits after pollination were investigated by means of conventional examination, the effects of two honeybees on the pollination of soybean sterile lines were compared systematically. The results showed that the dynamic trend of flower-visiting in the different treatments was basically the same, showing a double peak, and the two peaks were distributed from 10:00 to 14:00. For sterile lines H3A and 24A, the single-flower visiting time of Aml was shorter than that of Acc. The number of Aml and Acc that visited 24A was less than that of H3A. For sterile lines 24A, the number of Aml was significantly higher than that of Acc ($P < 0.01$). The results of pods number, seeds number and yield per plant showed the same trend in four treatments, Aml-24A was the highest, followed by Aml-h3A, Acc-24A and Acc-H3A. For the same sterile lines, the pods number, seeds number and yield per plant after pollination by Aml were significantly higher than those by Acc ($P < 0.05$), and the yield per plant after pollination by Aml were 1.26 and 1.51 times of Acc, respectively. After different bee species pollination, the 100-seed weight of 24A was significantly higher than that of H3A ($P < 0.01$). In conclusion, both Aml and Acc could complete soybean pollination in a limited area, and the pollination effect of Aml was better than that of Acc.

Keywords: Soybean sterile lines; Bee species; Number of bees-visiting; Flower-visiting time; Yield traits

大豆属于严格自花授粉作物,自然异交结实率不到1%^[1],这也是大豆杂种优势利用滞后的原因之一,不育系的发现给大豆杂交育种带来契机^[2],通过利用不育系生产大豆杂交种的过程中,不育系

收稿日期:2021-01-27

基金项目:财政部和农业农村部:现代农业产业技术(蜜蜂)体系建设专项(CARS-44-KXJ23);农业技术试验示范(种植业)项目(2015-J179)。

第一作者:马卫华(1977—),女,博士,副研究员,主要从事蜜蜂授粉和蜜蜂生物学研究。E-mail:mawh1997@163.com。

通讯作者:黄家兴(1979—),男,博士,副研究员,主要从事熊蜂分类、繁育及授粉应用研究工作。E-mail:huangjiaxing@caas.cn。

结实率的高低是大豆杂交种能否商业化的关键因素之一^[3-5],而提高不育系结实率的核心问题是提高授粉效率^[6]。由于大豆花较小,花粉量少且粘重,龙骨瓣不易开张等特点,目前采用人工授粉或风媒传粉很难实现商用杂交种生产,因此需要利用昆虫传粉^[7]。利用昆虫为大豆传粉一直是研究的热点^[8-9],如利用蜜蜂(*Apis mellifera*)^[10-12]、苜蓿切叶蜂(*Megachile rotundata*)^[13-14]、熊蜂(*Bombus ignites*)^[15]等。蜜蜂(*Apis mellifera*)可以采集大豆花蜜,提高大豆产量^[16-17],提高不育系结实率和产量^[18-19]。目前蜜蜂和苜蓿切叶蜂研究较多,苜蓿切叶蜂传粉效率高于蜜蜂,但蜜蜂具有群体大,易管理,易饲养,可运移等优点,因此可以选择适合大豆传粉的蜜蜂种类,使其在不育系制种中发挥作用^[20]。

目前大豆蜜蜂传粉中东方蜜蜂(*Apis cerana*)的研究鲜见报道。国内饲养和商品化的东方蜜蜂亚种中华蜜蜂(*Apis cerana cerana*, Acc, 简称中蜂)具有利用零星蜜源植物、采蜜期长、学习和记忆力强、适应性强等特点^[21-22]。而蜜蜂亚种意大利蜜蜂(*Apis mellifera ligustica*, Aml, 简称意蜂)具有采集大宗蜜源,善存花粉、分蜂性弱等特点^[21]。作为两种重要的传粉昆虫,本研究采用中蜂和意蜂对网室大豆不育系进行授粉,比较两种蜂的授粉效果,为大豆不育系授粉蜂种的选用提供参考数据,从而提高大豆不育系结实率和产量,降低杂交大豆制种成本,加快杂交大豆育种速度,推进杂交大豆的规模化和产业化发展。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆材料来自山西农业大学农业基因资源研究中心杂交大豆育种课题,大豆不育系 H3A 和 24A 作母本,H3B 和 24B 作父本。

供试蜂群来自山西农业大学(山西省农业科学院园艺研究所)授粉试验示范蜂场繁育提供,蜂种为中蜂(Acc)和意蜂(Aml)。

1.2 试验地概况

试验于 2016 和 2019 年在山西省农业科学院东阳试验示范基地进行,基地位于榆次区东阳镇,平均海拔 802 m,年平均气温 9.7 ℃,年平均降雨量为 440.7 mm。

1.3 试验设计

试验设置 4 个处理,分别为 Aml-H3A、Acc-

H3A、Aml-24A 和 Acc-24A,每个处理 3 个生物学重复,共计 12 个网室,每个网室面积为 20 m²(4 m × 5 m)。所有网室的大豆播期、种植行距、行数、种植模式、管理措施一致。父本和母本分行种植于网室,父本 4 行,母本 3 行,共种植 7 行,行长 5 m,按照春播中晚熟杂交大豆栽培技术规程(DB14/T1181-2016)进行大豆的网室田间管理。中蜂和意蜂各 6 箱,共 12 箱,每箱 1 脾足蜂,分别对应 4 个处理;7 月 3 日蜂群摆放于网室中间,授粉期间蜂群管理按照网室杂交大豆蜜蜂授粉技术规程(DB14/T1341-2017)。结果数据采用两年平均值进行统计分析。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 访花蜜蜂数量 在大豆不育系盛花期即 7 月 16—19 日,选择晴朗的天气,进行观察访花蜜蜂数量。将 1 个网室作为 1 个样方,采用人工计数的方法,手持计数器(手握式计数器 JZR,SA-4)和计时器(乐易仕 T08),在样方中间观察访花的蜜蜂,8:00—18:00,每整点开始观察 1 次,每次观察 5 min,每日共计 9 次,连续记录 3 d,统计每个时间段的访花蜜蜂数量和所有时间段的总访花蜜蜂数量,分析访花蜜蜂数量随时间变化的动态和总访花蜜蜂数量。

1.4.2 单花访问时间 在大豆不育系盛花期,与访花蜜蜂数量的观察时间同步,采用高清摄像头(速雅达 SYD-30QJ)以摄像方式观察,将摄像头对准盛开的花朵,然后观看视频,记录访问 1 朵花需要的时间,记为单花访问时间,计录 30 个样本。

1.4.3 产量相关性状 参照陈智文等^[23]的方法统计中蜂和意蜂授粉后的大豆产量相关性状包括单株荚数、单株粒数、百粒重和单株产量。

去除边际效应,每个网室随机抽取母本 5 株,12 个网室共计 60 株,对单株荚数和粒数进行计数。然后将豆荚晾干,测定单株产量;随机选取 100 粒种子测定百粒重,3 次重复。

1.5 数据分析

采用 GraphPad Prism 5 软件进行统计和显著性分析,数据以平均数 ± 标准误(Mean ± SE)表示。

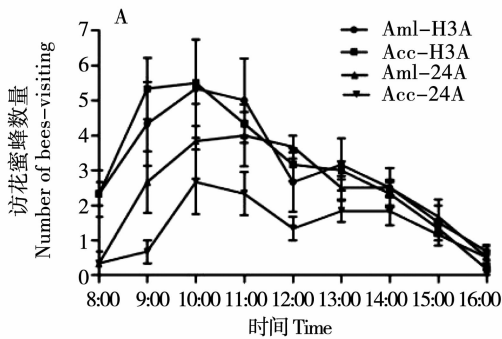
2 结果与分析

2.1 中华蜜蜂和意大利蜜蜂的访花蜜蜂数量统计

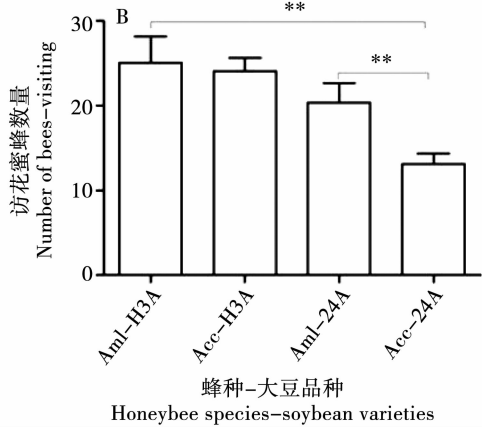
中蜂和意蜂对两个大豆不育系 H3A 和 24A 的访花蜜蜂数量如图 1 所示。4 个处理的蜜蜂访花动态(图 1A)趋势基本一致,呈双峰,从 8:00 开始上

升,到达最高峰后,开始下降,然后再上升,到达小高峰后,开始下降直到 18:00。除 Aml-24A 访花蜜蜂数量在 11:00 达到最高峰,其它 3 个处理最高峰均在 10:00。

各处理 9 个时间段的总访花蜜蜂数量如图 1B



所示, Aml-H3A、Acc-H3A、Aml-24A 和 Acc-24A 的总访花蜜蜂数量依次减少, Aml-H3A 与 Acc-24A、Aml-24A 与 Acc-24A 之间均存在显著差异 ($P<0.01$); 意蜂访问两个大豆不育系的总数量均高于中蜂。



图中差异显著性分别为 $P<0.05$ (*), $P<0.01$ (**), $P<0.001$ (***)。下同。
The significant difference was $P<0.05$ (*), $P<0.01$ (**), and $P<0.001$ (***) , respectively. The same below.

图 1 蜜蜂的访花动态(A)和访花数量(B)

Fig. 1 The dynamic changes(A) and number(B) of flowers-visiting honeybees

2.2 中华蜜蜂和意大利蜜蜂的单花访花时间统计

如图 2 所示,单花访问时间意蜂均短于中蜂。对大豆不育系 H3A,单花访问时间中蜂显著高于意蜂 ($P<0.05$),其它处理均没有显著性差异($P>0.05$)。

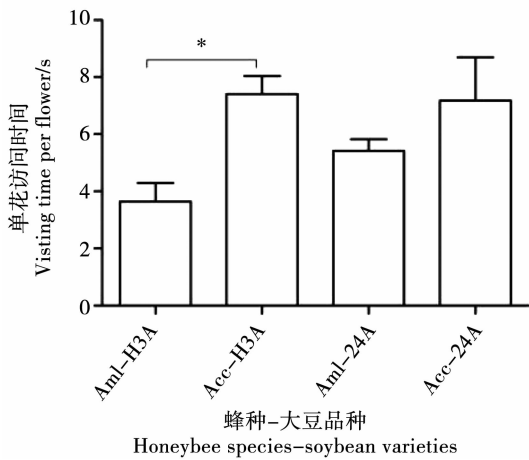


图 2 蜜蜂的单花访问时间

Fig. 2 The visiting time per flower of honeybee

2.3 蜜蜂授粉后的大豆产量及其相关性状比较

2.3.1 单株荚数 对比大豆单株荚数, Aml-24A 最高,然后依次为 Aml-H3A、Acc-24A 和 Acc-H3A;同一大豆不育系,中蜂授粉后的单株荚数低于意蜂授粉(图 3A)。Aml-H3A 与 Acc-H3A 之间存在显著差异 ($P<0.05$), Acc-H3A 与 Aml-24A、Aml-24A 与

Acc-24A 之间均存在显著差异 ($P<0.001$);同一蜂种,两个不育系之间均没有显著差异($P>0.05$)。

2.3.2 单株粒数 授粉后的大豆单株粒数, Aml-24A 最高,然后依次为 Aml-H3A、Acc-24A 和 Acc-H3A;同一大豆不育系,中蜂授粉后的单株粒数均低于意蜂授粉(图 3B)。Aml-24A 的单株粒数最多,分别是 Acc-24A 和 Acc-H3A 的 1.61 和 1.66 倍,并均与 Acc-24A、Acc-H3A 有显著差异 ($P<0.001$); Aml-H3A 与 Acc-24A 之间有显著差异 ($P<0.05$); Aml-H3A 与 Acc-H3A 之间存在显著差异($P<0.01$)。

2.3.3 单株产量 大豆单株产量从高到低依次为 Aml-24A、Aml-H3A、Acc-24A 和 Acc-H3A;同一大豆不育系,中蜂授粉后的单株产量均低于意蜂授粉(图 3C)。其中 Aml-H3A、Acc-H3A、Acc-24A 均与 Aml-24A 存在显著差异 ($P<0.001$);对于同一不育系 H3A 和 24A,意蜂授粉后 Aml-H3A 和 Aml-24A 的单株产量分别对应是中蜂授粉后 Acc-H3A 和 ACC-24A 的 1.26 和 1.51 倍。

2.3.4 百粒重 如图 3D 所示,百粒重 Acc-24A 最高,之后依次为 Aml-24A、Aml-H3A 和 Acc-H3A;中蜂和意蜂对 H3A 的百粒重没有显著差异 ($P>0.05$);对于 24A,中蜂和意蜂授粉后的百粒重存在显著差异 ($P<0.01$),其它处理两两之间均存在显著差异 ($P<0.001$)。

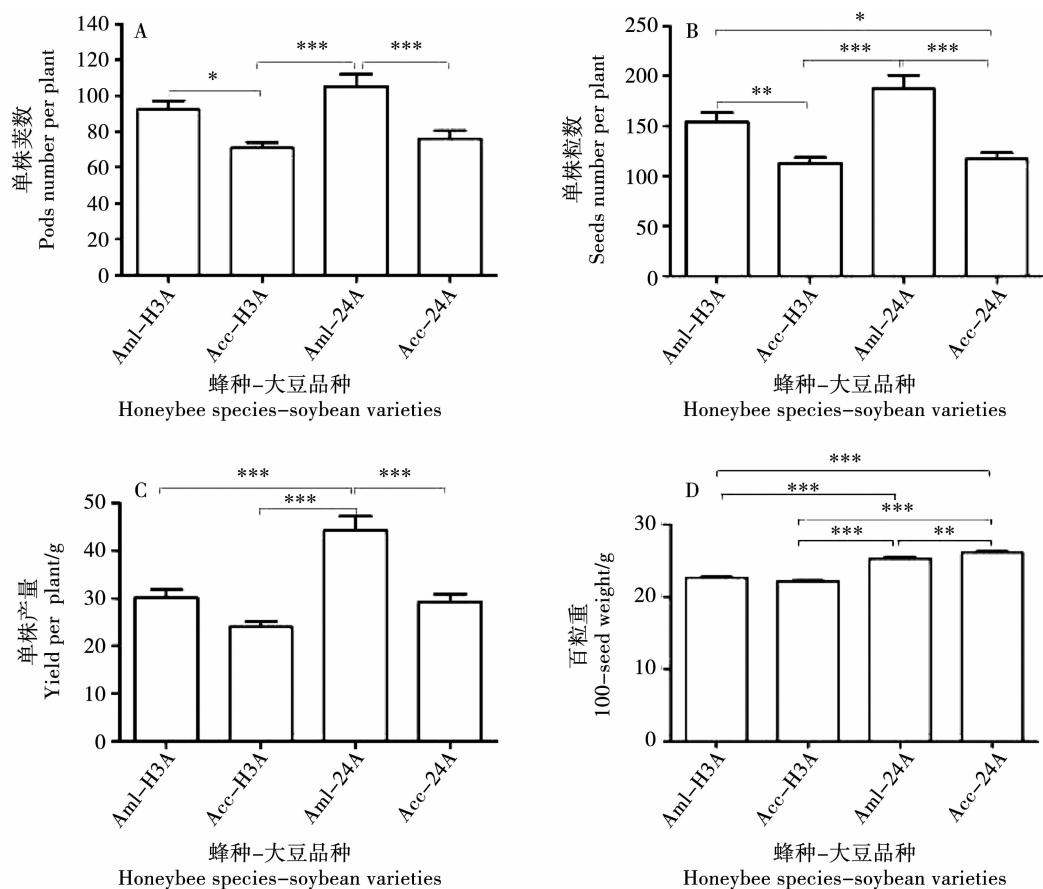


图3 不同蜜蜂授粉后的大豆产量相关性状比较

Fig.3 The comparison of yield related traits of soybean pollinated by different honeybees

3 讨论

蜜蜂可以提高大豆的异交率和结实率,但不同蜂在抗逆性、采集积极性和采集偏好性等生物学特性方面的不同表现,在授粉行为上也存在差异^[24-26],以及不同作物的花型特征,可能都会造成授粉效果的差异^[12]。

蜜蜂对大豆不育系 H3A 和 24A 访花动态中,蜜蜂访花最高峰均在上午 10:00—14:00 这一时间段,这与大豆花的开放时间也基本一致,与文献中的报道基本吻合^[27]。访花蜜蜂数量结果显示,访问 24A 的中蜂和意蜂数量显著少于对 H3A 的访问,这可能与两个品种的生长性状和授粉性状有关,在生产中发现不育系 24A 株高较高、易倒伏。就单花访问时间,意蜂均短于中蜂,这可能与意蜂个体较中蜂个体大,更有利于打开大豆花朵,从而节省时间有关。中蜂和意蜂为设施草莓授粉时的传粉行为的研究结果显示,中蜂的日活动时间、采集高峰时间、访花持续时间都比意蜂的长,表明中蜂授粉效率更高,中蜂为日光温室草莓授粉的活动特性优越于意蜂^[25,28-29]。这可能因为设施草莓授粉在冬季进行,中蜂对低温的适应性更强及中蜂嗅觉和飞行灵敏

度均高于意蜂,因此中蜂在低温条件下为草莓授粉的表现优于意蜂^[24]。方文富等^[30]比较了意蜂与中蜂对荔枝和龙眼的授粉作用,结果表明意蜂在采粉比率、载粉率、专一性方面都极显著优于中蜂。在大田红富士苹果蜜蜂授粉中,显示意蜂授粉效果优于中蜂和壁蜂^[31]。开放和自由授粉过程中,意蜂喜欢采集大宗蜜源,中蜂喜欢零星蜜源,并且意蜂对中蜂有驱赶作用^[32]。可见在封闭和开放、夏季和冬季的条件下,中蜂和意蜂的采集状况不同。

意蜂授粉后两个品种的单株荚数、粒数和产量均高于中蜂,显示出意蜂对大豆授粉的优势,这与访花蜜蜂数量的研究结果前后基本一致,访花蜜蜂数量多,产量性状指标相对也高;但访问 24A 的两个蜜蜂蜂种数量少于访问 H3A 相对应的蜂种数量,两个蜂种对 24A 授粉后的产量相关性状却高于相对应蜂种对 H3A 授粉后的产量性状,这可能与蜜蜂访花的有效性和两个不育系的特性有关,还需要进一步研究。百粒重表现为 24A 高于 H3A,这与结荚少籽粒大,结荚多籽粒小的自然规律相符^[27]。在温室油桃授粉中,坐果率、单果重、单株产量、畸形果率以及群势消亡的数据中表明意蜂授粉方式优于中蜂授粉方式^[33-34]。在洋葱授粉中发现自由授粉

时中蜂采集花粉数量多于意蜂,单独授粉时产量相当,这可能是洋葱花裸露在外,易采集,强制授粉没有差异^[35]。而大豆花较小,且属于蝶形花,不易打开,中蜂比意蜂的个体小,可能造成授粉效果逊于意蜂。

4 结 论

本研究利用意大利蜜蜂和中华蜜蜂对2个大豆不育系 H3A 和 24A 进行授粉试验,考察了两个蜂种对两个大豆不育系的访花蜜蜂数量和单花访问时间,以及授粉后大豆产量相关性状株荚数、株粒数、株产量和百粒重,系统比较了两种蜜蜂对大豆不育系授粉效果的影响。结果表明,在有限空间和有限花量的大豆不育系网室授粉中,意蜂和中蜂都可以满足生产需要,综合比较意蜂的授粉效果优于中蜂的授粉效果,但不育系特性差异对授粉影响还需要进一步研究。

参考文献

[1] Erickson E H, Berger G A, Shannon J G, et al. Honey bee pollination increases soybean yields in the Mississippi Delta region of Arkansas and Missouri[J]. Journal of Economic Entomology, 1978, 71(4): 601-603.

[2] Roumet P, Magnier I. Estimation of hybrid seed production and efficient pollen flow using insect pollination of male sterile soybeans in caged plots[J]. Euphytica, 1993, 70(1-2): 61-67.

[3] 孙寰, 赵丽梅, 王曙明, 等. 大豆杂种优势利用研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(1): 92-96. (Sun H, Zhao L M, Wang S M, et al. Review of soybean heterosis utilization[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2003, 25(1): 92-96.)

[4] 赵丽梅, 孙寰, 彭宝, 等. 国内外大豆杂种优势利用研究概况[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 401-406, 414. (Zhao L M, Sun H, Peng B, et al. A review of the utilization of heterosis in soybean[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(4): 401-406, 414.)

[5] Zhao L M, Sun H, Peng B, et al. Pollinator effects on genotypically distinct soybean cytoplasmic male sterile lines[J]. Crop Science, 2009, 49: 2080-2086.

[6] 谢甫缙. 大豆雄性不育及杂种优势利用研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(2): 131-136. (Xie F T. Review of soybean male sterility and heterosis utilization[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2008, 39(2): 131-136.)

[7] 李蓉, 林春晶, 彭宝, 等. 不同异交率大豆细胞质雄性不育系的转录组分析[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(5): 696-704. (Li R, Lin C J, Peng B, et al. Transcriptomic analysis of soybean cytoplasmic male sterile lines with different outcrossing rate[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(5): 696-704.)

[8] 赵丽梅, 孙寰, 马春森, 等. 大豆昆虫传粉研究初探[J]. 大豆科学, 1999, 18(1): 73-76. (Zhao L M, Sun H, Ma C S, et al.

Preliminary study of soybean pollination by bees[J]. Soybean Science, 1999, 18(1): 73-76.)

[9] Ortiz-Pereza E, Hornerb H T, Hanlinc S J, et al. Evaluation of insect-mediated seed set among soybean lines segregating for male sterility at the ms6 locus[J]. Field Crops Research, 2006, 97(2-3): 353-362.

[10] Milfont M D O, Rocha E E M, Lima A O N, et al. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopolllination[J]. Environmental Chemistry Letters, 2013, 11(4): 335-341.

[11] Erickson E H. Effect of honeybees on yield of three soybean cultivars[J]. Crop Science, 1975, 15: 84-86.

[12] Chiari W C, Toledo V A A, Ruvolo-Takasusuki M C C, et al. Floral biology and behavior of africanized honeybees *Apismellifera* in soybean (*Glycine max* L. Merrill)[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2005, 48(3): 367-378.

[13] 杨桂华, 李建平, 李茂海, 等. 苜蓿切叶蜂 (*Megachile rotundata* F.) 雄蜂对大豆不育系结实率的影响[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(4): 11-13. (Yang G H, Li J P, Li M H, et al. Effect of using the male of alfalfa leaf-cutting bee, *Megachile rotundata*, on pollination of soybean CMS lines in cages[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2008, 33(4): 11-13.)

[14] Ortiz-Pereza E, Mian R M A, Cooper R L, et al. Seed-set evaluation of four male-sterile, female-fertile soybean lines using alfalfa leafcutting bees and honey bees as pollinators[J]. The Journal of Agricultural Science, 2008, 46(4): 461-469.

[15] 杨桂华, 李建平, 李茂海, 等. 熊蜂和苜蓿切叶蜂在网室内对大豆不育系授粉效果的研究[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(3): 21-22. (Yang G H, Li J P, Li M H, et al. Studies on pollinating soybean male sterile plant in caged plots using bumble bee (*Bombus ignites*) and alfalfa leaf-cutting bee (*Megachile rotundata*)[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2005, 30(3): 21-22.)

[16] Santos E, Mendoza Y, Vera M, et al. Increase in soybean (*Glycine max*) production using honey bees (*Apismellifera*)[J]. Agrociencia (Montevideo), 2013, 17(1): 81-90.

[17] Blettler D C, Fagundez G A, Cavaglia O P. Contribution of honeybees to soybean yield[J]. Apidologie, 2018, 49: 101-111.

[18] Koelling P D, Kenworthy W J, Caron D M. Pollination of male-sterile soybean in caged plots[J]. Crop Science, 1981, 21: 551-559.

[19] 于伟, 李磊, 李智, 等. 大豆质核互作不育系杂交种制种技术研究 I. 不育系繁殖技术研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(2): 11-13. (Yu W, Li L, Li Z, et al. Studies on hybrid seed production of cytoplasmic male sterile lines in soybean I. Seed production of male sterile lines[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(2): 11-13.)

[20] 王跃强, 王曙明, 赵丽梅, 等. 杂交大豆昆虫传粉及制种技术研究进展[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(3): 5-8. (Wang Y Q, Wang S M, Zhao L M, et al. Progress in studies of insect pollinators and seed techniques of soybean hybrids[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2008, 33(3): 5-8.)

[21] Wang Z L, Liu T T, Huang Z Y, et al. Transcriptome analysis of

the Asian honey bee *Apis cerana cerana*[J]. PLoS One, 2012, 7: e47954.)

[22] Qin Q H, He X J, Tian L Q, et al. Comparison of learning and memory of *Apis cerana* and *Apis mellifera* [J]. Journal of Comparative Physiology A, 2012, 198: 777-786.

[23] 陈智文,程云清,刘剑锋,等. 稀植对大豆生长、结荚特征及产量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(11):140-143. (Chen Z W, Cheng Y Q, Liu J F, et al. Effects of spaced planting cultivation on characteristics soybean growth pod and yield[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010,26(11):140-143.)

[24] 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. (Su X L, Hua Q Y, Chen Y F, 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.)

[25] 解文飞,余林生,纪鸿吴,等. 意大利蜜蜂和中华蜜蜂在温室内传粉行为的比较[J]. 蜜蜂杂志, 2009(1):11-13. (Xie W F, Yu L S, Ji H W, et al. Comparison of pollination behaviour of *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* in greenhouse[J]. Journal of Bee, 2009 (1):11-13.)

[26] 余林生,邹运鼎,曹义锋,等. 意大利蜜蜂与中华蜜蜂的生态位比较[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4575-4581. (Yu L S, Zou Y D, Cao Y F, et al. Comparative study on the niches of *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4575-4581.)

[27] 武文卿,申晋山,马卫华,等. 授粉方式与蜂群群势对杂交大豆授粉效果的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(5):5-9. (Wu W Q, Shen J S, Ma W H, et al. Effects of pollination methods and colony population on pollination of hybrid soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(5):5-9.)

[28] 罗建能,裘建荣,张立权. 对中蜂和意蜂为大棚草莓授粉效果的研究初报[J]. 养蜂科技, 2002(4): 2-3. (Luo J N, Qiu J R, Zhang L Q. Preliminary study on the pollination effect of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* for strawberry in greenhouse [J]. Apicultural Science and Technology, 2002(4): 2-3.)

[29] 逯彦果,黄斌,张世文,等. 不同授粉方式对于温室草莓生长影响的研究[J]. 甘肃科技, 2014(21): 150-152. (Lu Y G, Huang B, Zhang S W, et al. Effects of different pollination methods on growth of strawberry in greenhouse[J]. Gansu Science and Technology, 2014(21): 150-152.)

[30] 方文富,曾建伟,江波. 意蜂与中蜂对荔枝和龙眼授粉作用的比较[J]. 中国蜂业, 2011, 62(Z1): 51-53. (Fang W F, Zeng J W, Jiang B. Compare the pollination effects of *Litchi chinensis* and *Dimocarpus longan* by *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana*[J]. Apiculture of China, 2011, 62(Z1): 51-53.)

[31] 房玉波. 西方蜜蜂、中华蜜蜂和壁蜂大田红富士苹果授粉对比试验[J]. 山东畜牧兽医, 2014(10):8. (Fang Y B. Contrast experiment of Fuji apple pollination by *Apis mellifera ligustica*, *Apis cerana cerana* and *osmia* [J]. Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2014(10): 8.)

[32] 段成鼎. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂比较生物学研究[D]. 福州:福建农林大学, 2003. (Duan C D. The studies on comparative biology of Chinese bee and Italian bee[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2003.)

[33] 罗建能,王立如. 中华蜜蜂为温室油桃授粉的效果研究[J]. 养蜂科技, 2005(1): 12-13. (Luo J N, Wang L R. A study on the pollination of *Apis cerana cerana* to greenhouse nectarine [J]. Agricultural Science and Technology, 2005(1): 12-13.)

[34] 逯彦果,张世文,田自珍,等. 不同授粉方式对温室油桃生长影响及中意蜂授粉前后群势变化对比研究[J]. 甘肃畜牧兽医, 2017, 47(7): 33-37. (Lu Y G, Zhang S W, Tian Z Z, et al. Comparison study on different pollination methods in greenhouse nectarine growth and group potential changes before and after pollination of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* [J]. Gansu Animal and Veterinary Sciences, 2017, 47(7): 33-37.)

[35] 余玉生,张学文,王艳辉,等. 不同蜂种授粉对洋葱种子产量与质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9):4501-4502. (Yu Y S, Zhang X W, Wang Y H, et al. Effect of pollination by different bee species on yield and quality of seeds of onion [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(9): 4501-4502.)