

网室内不同结构蜂群的消长及对大豆不育系授粉效果的影响*

刘 强^{1**} 姚慧敏^{2**} 申晋山³ 武文卿³ 宋怀磊³
雷 佳³ 马卫华^{3***} 姜玉锁^{4***} 卜 莉^{5***}

(1. 延安市桥北国有林管理局, 延安 716000; 2. 石家庄市畜牧技术推广站, 石家庄 050000; 3. 山西农业大学园艺学院, 太原 030031; 4. 山西农业大学动物科学学院, 太谷 030801; 5. 延安市养蜂试验站, 延安 716000)

摘 要 【目的】为提高大豆不育系产量和节约授粉成本, 需要选择合适结构的授粉蜂群。【方法】本研究采用计数法和称重法研究了网室内正常组(交尾王)、无王组和处女王组的消长, 花粉消耗及授粉后大豆不育系产量相关性状, 利用摄像的方法监测了3种结构蜂群的出勤蜂频次。【结果】3种结构蜂群的消长结果显示, 处女王组蜂数减少比例最高(58.07%), 显著高于正常组(30.83%)和无王组(38.80%) ($P<0.05$); 正常组封盖子减少比例为43.40%, 极显著低与无王组和处女王组 ($P<0.01$); 正常组的卵减少比例为54.2%, 低于无王组(100%)和处女王组(90.99%), 正常组与无王组有显著差异 ($P<0.05$)。3种结构蜂群的出勤活跃时间均集中在9:00-13:00; 正常组蜜蜂出勤有两个高峰, 无王组和处女王组有1个高峰; 出勤蜂日频次由多到少依次为正常组(38只)、处女王组(31只)和无王组(24只), 3组之间没有显著差异 ($P>0.05$)。3种结构蜂群的花粉消耗率无显著差异 ($P>0.05$)。大豆不育系授粉效果显示, 正常组和无王组授粉后大豆株产量均极显著高于处女王组 ($P<0.01$); 正常组的荚数和粒数极显著高于无王组和处女王组 ($P<0.01$)。【结论】网室大豆不育系授粉, 正常蜂群组和无王组授粉效果优于处女王组; 使用无王组和处女王组可以减少成本。

关键词 意大利蜜蜂; 处女王; 无王; 大豆不育系; 网室制种

Population dynamics of queen-right, queen-less and virgin queen, honey bee colonies and their relative effectiveness as pollinators of sterile soybeans in a net room

LIU Qiang^{1**} YAO Hui-Min^{2**} SHEN Jin-Shan³ WU Wen-Qin³ SONG Huai-Lei³
LEI Jia³ MA Wei-Hua^{3***} JIANG Yu-Suo^{4***} BU Li^{5***}

(1. Qiaobei State-owned Forest Management Bureau of Yan'an, Yan'an 716000, China; 2. Shijiazhuang Animal Husbandry Technology Promotion Station, Shijiazhuang 050000, China; 3. Institute of Horticulture, Shanxi Agricultural University (Shanxi Academy of Agricultural Sciences), Taiyuan 030031, China; 4. College of Animal Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 5. Yan'an Beekeeping Experimental Station, Yan'an 716000, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effect of the queen status of honey bee colonies on their ability to pollinate sterile soybeans, and thereby find ways to increase soybean yield and reduce pollination costs. 【Methods】The population dynamics and pollen consumption of queenright (mated queen) and queen-less colonies, and those with a virgin queen, and sterile soybean yield after pollination in a net room, were investigated by counting and weighing. The frequency of bees entering and leaving hives in each of the three kinds of colonies was monitored with a camera. 【Results】The greatest decline in number of bees (58.07%) occurred in the virgin queen group, which was significantly higher than that in either the queenright group

*资助项目 Supported projects: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-44-KXJ22)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 929416219@qq.com; 1016909819@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: mawh1997@163.com; jiangys-001@163.com; yfz1276@163.com

收稿日期 Received: 2022-08-19; 接受日期 Accepted: 2022-10-08

(30.83%) or the queen-less group (38.80%) ($P < 0.05$). The decline in the proportion of capped brood was significantly lower in the queenright group (43.40%), than in either the queen-less group or the virgin queen group ($P < 0.01$). The decline in egg production in the queenright group (54.2 %) was also significantly lower than that in the queen-less group (100%) ($P < 0.05$), and was also lower, but not significantly so, than that in the virgin queen group (90.99%). The peak period of active attendance among the three groups occurred between 9:00-13:00. There were two peaks in the queenright group but just one in the queen-less group and in the virgin queen group. Groups can be ranked in frequency of attendance as follows; queenright group (38), virgin queen group (31), and queen-less group (24); these differences are statistically insignificant ($P > 0.05$). There was also no significant difference in the pollen consumption ratio of the three groups ($P > 0.05$). The queenright group pollinated significantly more soybean pods and grains than that either the queen-less group or the virgin queen group ($P < 0.01$). Soybean plants pollinated by either the queenright group or the queen-less group had a significantly higher yield per plant than those pollinated by the virgin queen group ($P < 0.01$). **[Conclusion]** Queenright and queen-less honey bee colonies were significantly better pollinators of sterile soybeans than those with virgin queens. The cost of pollinating soybean crops can, however, be reduced by using queen-less colonies or those with a virgin queen.

Key words *Apis mellifera ligustica*; virgin queen; queenless; soybean sterile line; net room

利用昆虫为不育系传粉已经成为提高杂交大豆选育效率的重要手段, 其中膜翅目昆虫包括切叶蜂、蜜蜂及熊蜂等是大豆的主要传粉者 (Boerma and Moradshahi, 1975; Rust *et al.*, 1980; May and Wilcox, 1986; 赵丽梅等, 1999; Delaplane and Mayer, 2000; Zhao *et al.*, 2009; Dai *et al.*, 2017)。蜜蜂因具有群体大、易管理、易饲养、易获得性及驯化程度高的优点 (赵丽梅等, 1999; 武文卿等, 2016; Blettler *et al.*, 2018), 在封闭和开放条件下, 利用蜜蜂传粉可以提高大豆不育系的结实率、异交率和产量 (Erickson, 1975; Abrams *et al.*, 1978; Erickson *et al.*, 1978; Robacker *et al.*, 1983; 于伟等, 2001; Klein, 2005; 葛凤晨等, 2012a, 2012b; Santos *et al.*, 2013; Monasterolo *et al.*, 2015; 武文卿等, 2016; Blettler *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2018; 马卫华等, 2021), 因此蜜蜂在大豆不育系授粉中发挥了一定的作用。

蜜蜂授粉过程中, 蜂王的有无和蜂王的状况会影响蜂群的采集, 进而影响作物的授粉效果。设施农业和制种授粉中, 有王群和无王群均有使用。刘素华等 (2013) 在蜜蜂为棉花杂交种授粉中发现, 蜂群的群势和活力会影响制种效果, 为保证授粉效果, 建议利用强群授粉。利用有王群为设施西瓜授粉可以节本增效, 但授粉成本较高 (王凤鹤等, 2012a, 2012b)。为减少成本, 姜立纲 (1990) 就通过试验证明小网棚中使用无王群授粉, 每 667 m² 可节约 4 800 元, 种籽增产 20%-40%, 种子发芽率整齐, 千粒重增加。姜立纲等

(2012) 认为短花期蔬菜授粉可以使用无王群, 长花期蔬菜授粉需要有王群。王凤鹤等 (2012a) 利用无王蜂群为设施西瓜授粉, 使蜂农出租蜜蜂增加收入, 降低了蜂群租赁成本, 同时增加西瓜产量, 改善了西瓜品质, 实现了蜂农与瓜农双赢。张云毅等 (2020, 2022) 利用正常蜂群和无王蜂群对设施西甜瓜进行授粉, 结果显示, 无王群可以满足设施甜瓜的授粉要求, 降低了成本。但使用无王群会使出勤率降低和采集力下降 (余林生和徐珊珊, 2003)。而利用处女王授粉未见相关报道, 仅徐传球 (2010, 2011) 采用处女王组采蜜, 结果显示工蜂采集力强, 蜂群不易衰退。

大豆不育系授粉采用正常蜂群, 需要提前培育大量蜂王并交尾, 组建授粉蜂群, 耗费大量人力财力, 为降低授粉成本, 尝试改变蜂群结构来实现。故本研究比较了不同蜂群结构蜂群的消长动态、出勤规律、花粉消耗以及授粉后大豆不育系的产量相关性状, 为选择合适结构的授粉蜂群提供基础数据, 实现提效节支的目标。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

本试验于 2015 年 7 月-10 月在山西农业大学 (山西省农业科学院) 晋中东阳试验示范基地进行。

1.2 试验材料

试验所用蜜蜂为意大利蜜蜂 *Apis mellifera*

ligustica。

试验所用大豆不育系组合为 Zhong-119-99×H3, 父母本种植比例为 1:1。

1.3 试验设计

本试验使用小面积作物蜜蜂授粉蜂箱 (ZL201520484759.1), 巢脾大小为 1/2 标准脾。本试验设计 3 个处理, 即 3 种蜂群结构, 分别为正常蜂群 (交尾王) (Queenright colony, Qr), 无王蜂群 (Queenless colony, Ql), 处女王蜂群 (Virgin queen colony, Vq), 3 个处理蜂量均为 2 000-3 000 只, 子脾约占 1/3, 1 张蜜脾, 将组建好的蜂群饲养一周于 7 月 3 日放入网棚。7 月 4 日、7 月 14 日、7 月 22 日、7 月 31 日和 8 月 6 日检查蜂群, 对正常组、无王组和处女王组的蜂数、封盖子数、幼虫、卵和花粉消耗进行了记录。8 月 6 日检查完蜂群, 授粉结束。10 月大豆成熟后考察与产量相关的性状。每个处理 3 个重复, 共计 9 箱蜂, 放入 9 个网室 (4 m×5 m) 中。

1.4 方法

1.4.1 蜂群消长测量方法 参照 Floris 等 (2004) 的方法测定蜂数和卵、幼虫和封盖子。蜂数按照每个 4×4 的格子面积约为 100 个巢房的面积, 即大约 33 只蜂占据的面积, 进行换算, 包括隔板上的蜜蜂; 卵、幼虫和封盖子直接测量巢房数量 (图 1)。

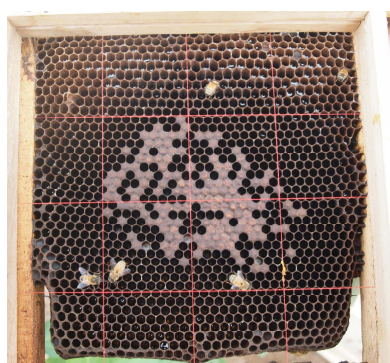


图 1 测量框

Fig. 1 The measurement frame

1.4.2 出勤蜂频次 采用摄像法观察并记录出勤蜂频次 (赵亚周等, 2011; 武文卿等, 2016)。在蜂箱前安装摄像头, 观察时间为 8:00-17:00,

共计 9 个时间段, 每个时间段记录 15 min, 统计 15 min 内的出勤蜜蜂数量, 作为出勤蜂频次, 共记录 135 min。连续记录 3 d。

1.4.3 花粉消耗率 每隔一周饲喂 50 g 的花粉饼, 更换花粉时, 通过记录消耗的花粉量统计花粉消耗率。花粉消耗率=总消耗的花粉量×100/总饲喂的花粉量。

1.4.4 大豆产量性状测量方法 大豆成熟后, 参照陈智文等 (2010) 的方法进行产量相关性测定。从每个网室中随机采样 10 株统计株产量、株荚数、株粒数、百粒重、结荚率等指标。

1.5 数据统计与分析

采用 SPSS 17.0 进行差异显著性分析, 用 Excel 软件和 GraphPad Prism 软件进行图形分析。数据以平均数±标准误 (mean±SE) 表示。

2 结果与分析

2.1 蜂群的消长

3 种结构蜂群蜂数变化见图 2。处女王组蜂

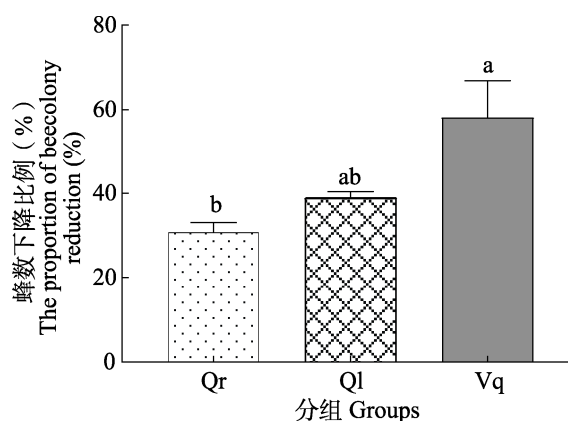


图 2 不同结构蜂群蜂数变化

Fig. 2 Changes of bee population in different bee colonies

Qr: 正常组; Ql: 无王组; Vq: 处女王组。柱上标有不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 多重比较法); 柱上标有不同的大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$, Duncan's 多重比较法)。下同。

Qr: The queenright group; Ql: The queenless group; Vq: The virgin queen group. Histograms with different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$, Duncan's multiple comparison), while with different capital letters indicate extremely significant differences ($P<0.01$, Duncan's multiple comparison). The same below.

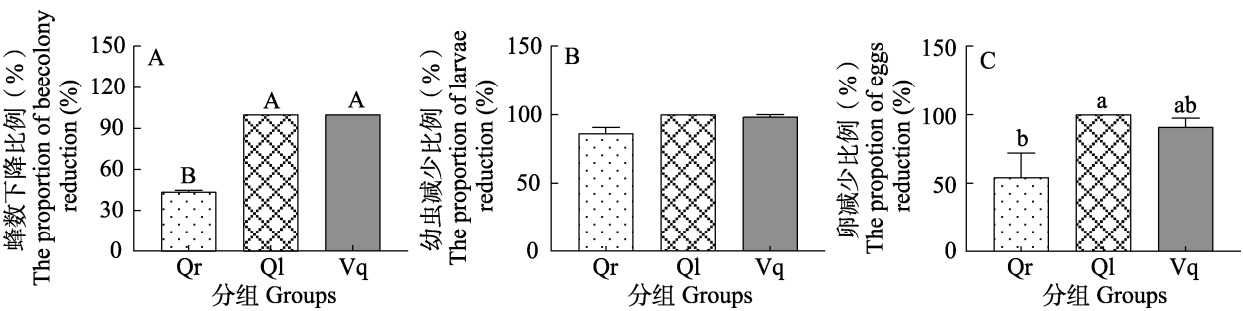


图 3 蜂群封盖子 (A)、幼虫 (B) 和卵 (C) 的变化
Fig. 3 Changes of the capped brood (A), larva (B) and egg (C) population

数减少比例为 58.07%，高于正常组的 30.83%和无王组的 38.80%，且差异显著 ($P<0.05$)；无王组蜂数减少比例高于正常组，但两者之间差异不显著 ($P>0.05$)。

正常组的封盖子数减少比例为 43.4%，极显著低于无王组和处女王组的 100% ($P<0.01$) (图 3: A)。正常组的幼虫减少比例为 85.97%，与无王组 100% 及处女王组 98.33% 无显著差异 ($P>0.05$) (图 3: B)。正常组的卵减少比例为 54.2%，低于无王组 (100%) 和处女王组 (90.99%)，正常组与无王组有显著差异 ($P<0.05$)，与处女王组无显著差异 ($P>0.05$) (图 3: C)。

2.2 出勤蜂频次

正常组的出勤蜂频次最多，然后依次为处女王组和无王组，但 3 组之间差异不显著 ($P>0.05$)

(表 1)。

表 1 出勤蜂日频次	
Table 1 The frequency of bees attendance in a day	
组别 Groups	频次 (只/135 min) Frequency (bees/135 min)
正常蜂群组 The queenright colony	38.34±3.00
无王组 The queenless colony	24.17±3.32
处女王组 The virgin queen colony	31.33±6.67

由图 4 可知，正常组蜜蜂出勤频次从 8:00 开始增加，10:00 达到最高峰，然后下降，到 13:00 出现小高峰，随后随时间减少；无王组和处女王组只有 1 个高峰，分别在 9:00 和 10:00。3 组均在 9:00-12:00 蜜蜂出勤频次最多，该时段蜜蜂出勤频次分别约占全天蜜蜂出勤频次的 69.16%，74.93% 和 70.10%。

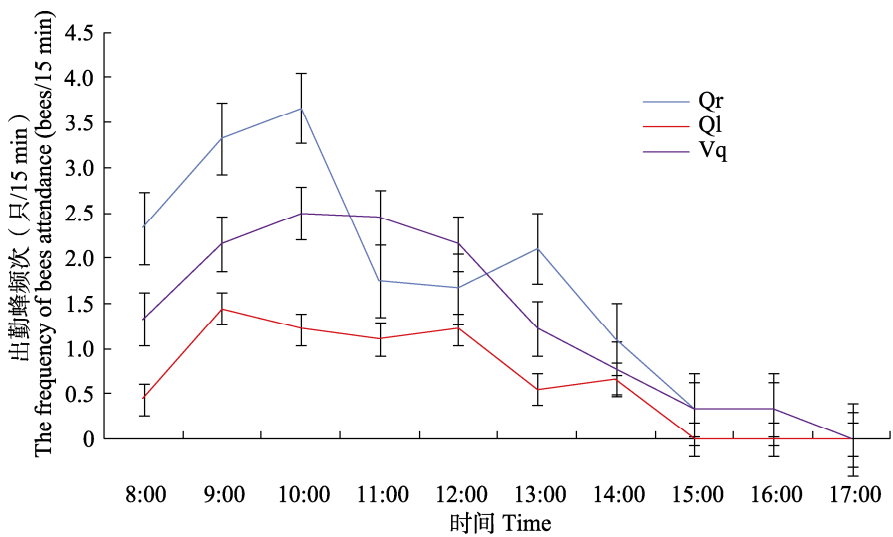


图 4 出勤蜂频次动态
Fig. 4 The dynamics of attendance bee frequency

2.3 花粉消耗

蜂群花粉消耗率由大到小依次为正常组 84.18%，无王组 63.38%，处女王组 57.49%（图 5），但三者之间无显著差异（ $P>0.05$ ）。

2.4 授粉效果

2.4.1 大豆产量相关性状 3 种结构蜂群授粉后，大豆株产量从高到低依次为无王组（14.85 g）、正常组（13.80 g）和处女王组（9.18 g）（图 6：A），无王组和正常组授粉后大豆株产量之间无显著差异（ $P>0.05$ ），均极显著高于处女王组（ $P<0.01$ ）。

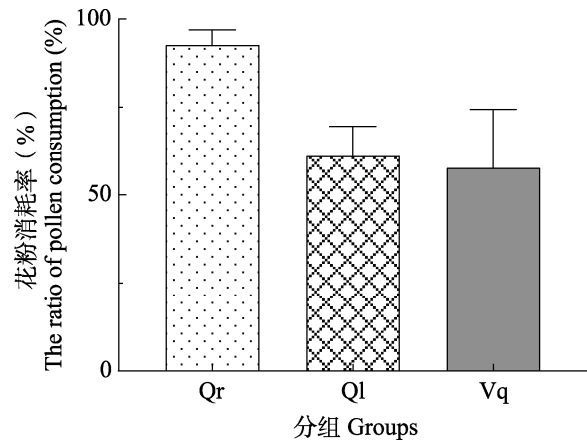


图 5 花粉消耗率

Fig. 5 The ratio of pollen consumption

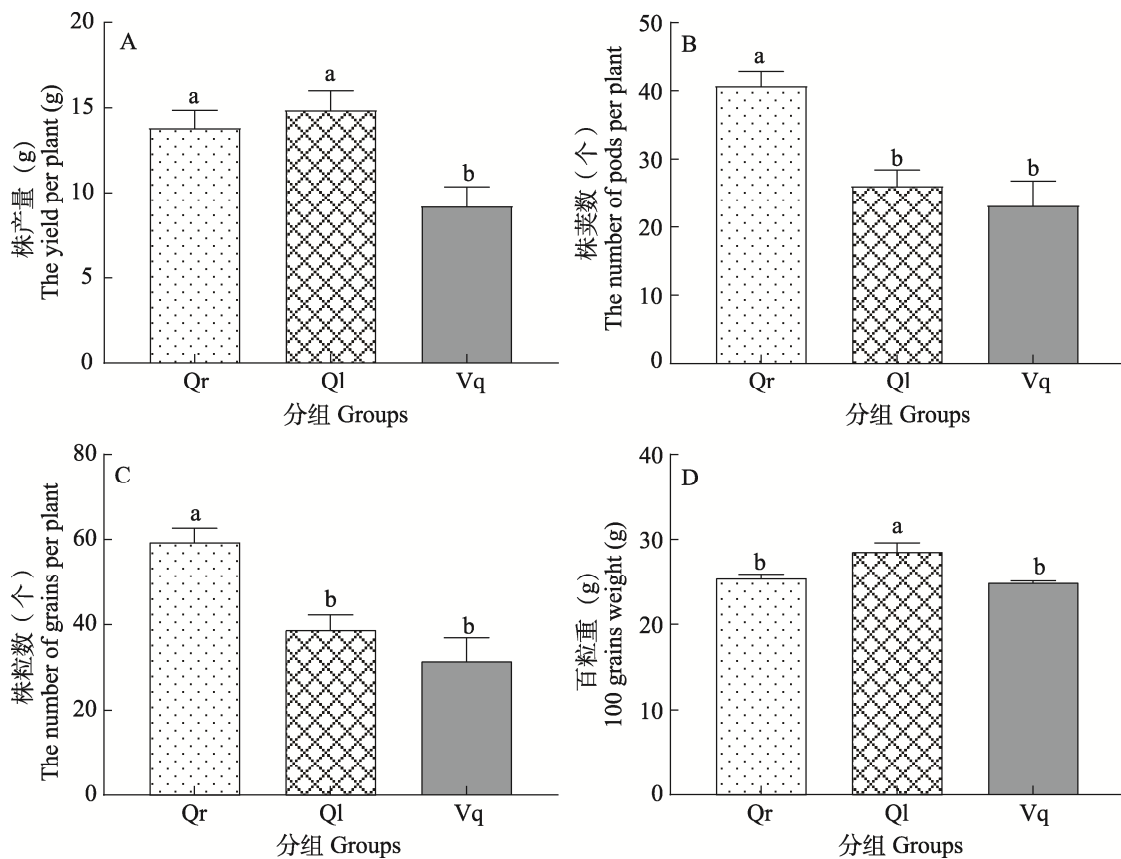


图 6 大豆产量相关性状

Fig. 6 The traits related to yield of soybean

A. 株产量；B. 株荚数；C. 株粒数；D. 百粒重。

A. The yield per plant; B. The pod number per plant; C. The grains number per plant; D. 100 grains weight.

大豆株荚数结果显示，正常组、无王组和处女王组授粉后的大豆荚数分别为 40.67、26.00 和 23.10 个。正常组授粉后的荚数极显著高于无王组和处女王组（ $P<0.01$ ），无王组授粉后的荚数

高于处女王组授粉后的荚数，但两者之间无显著差异（ $P>0.05$ ）（图 6：B）。

大豆株粒数从高到低依次为正常组 59.33 粒，无王组 38.67 粒和处女王组 31.45 粒。正常

组授粉后的大豆粒数显著高于无王组和处女王组授粉后的大豆粒数 ($P<0.01$), 无王组与处女王组之间无显著差异 ($P>0.05$) (图 6: C)。

正常组、无王组和处女王组授粉后大豆百粒重分别为 25.41、28.52 和 24.87 g。无王组授粉后的大豆百粒重显著高于正常组授粉后的大豆百粒重 ($P<0.05$), 极显著高于处女王组授粉后的大豆百粒重 ($P<0.01$) (图 6: D)。

2.4.2 结荚部位和异交率 大豆结荚部位结果见表 2。由表 2 可知, 3 种不同结构蜂群授

粉后大豆结荚节位均表现为中上部的结荚率高于下部。正常组和处女王组授粉后的大豆上部荚数与下部荚数之间存在显著差异 ($P<0.05$)。无王组授粉后的大豆上部荚数、中部荚数与下部荚数之间均存在极显著差异 ($P<0.01$)。

大豆异交率结果见表 3。由表 3 可以看出, 处女王组大豆的异交率最高为 80.29%, 高于无王组 69.20%和正常组 66.23%, 但三者之间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 2 大豆不同节位的结荚率
Table 2 The pod setting rate of soybean at different nodes

节位 Node	正常组 The queenright group		无王组 The queenless group		处女王组 The virgin queen group	
	荚数 (个)	比例 (%)	荚数 (个)	比例 (%)	荚数 (个)	比例 (%)
	Number of pods	Proportion	Number of pods	Proportion	Number of pods	Proportion
上部 Upper	19.60±6.87a	40.30	21.63±4.28Aa	42.76	16.20±4.15a	36.24
中部 Middle	16.80±4.64ab	34.55	18.43±3.21Ab	36.43	19.27±3.83ab	43.11
下部 Lower	12.23±5.67b	25.15	10.53±1.87Bc	20.81	9.23±3.06b	20.65
总计 Total	48.63±5.32	100.00	50.59±2.27	100.00	44.70±3.74	100.00

不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan’s 多重比较法); 不同的大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$, Duncan’s 多重比较法)。下表同。

Data followed by the different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$, Duncan’s multiple comparison), while with different capital letters indicate extremely significant differences ($P<0.01$, Duncan’s multiple comparison). The same below.

表 3 大豆异交率
Table 3 The out-crossing rate of soybean

组别 Groups	父本结荚数 (个) Number of male parent pods	母本结荚数 (个) Number of female parent pod	异交率 (%) Out-crossing rate (%)
正常组 The queenright group	73.43±9.27	48.63±2.56	66.23
无王组 The queenless group	71.97±4.10	49.80±1.46	69.20
处女王组 The virgin queen group	55.67±3.79	44.70±2.32	80.29

3 讨论

影响大豆杂交制种产量的三大因素为传粉者、环境和大豆的基因型 (Zhao *et al.*, 2009)。作为大豆的有效传粉者, 蜜蜂的传粉行为受到很多因素的影响, 这些因素可以分为两大类, 蜂群内部因素和蜂群外部因素 (Abou-Shaara, 2014), 其中蜂群内部因素包括蜂王情况 (交配过的蜂王、无王和处女王) (Free *et al.*, 1985; Abou-

Shaara, 2014)、群势和哺育蜂 (Amdam *et al.* 2009; Abou-Shaara, 2014), 花粉需求 (Weidenmuller and Tautz, 2002)、蜂种 (Pankiw and Page, 1999; Ma *et al.*, 2018; 马卫华等, 2021) 等; 蜂群外因素有食物报酬 (Fulop and Menzel, 2000)、目标作物 (Fenste *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2018) 及气候 (Tan *et al.*, 2012) 等。蜂王状况作为影响蜂群传粉的主要因素, 故本研究比较分析了正常组 (交配过的产卵蜂王)、无

王组和处女王组的蜂群消长、花粉消耗和授粉效果,为选择合适结构的蜂群提供基础数据。

蜂数是判定蜜蜂群势下降快慢以及蜂群健康的重要指标,影响到作物的授粉;封盖子数是衡量蜂群群势和繁殖能力的重要指标,封盖子数越多,说明蜂群后期可以继续维持群势,反之则相反(逯彦果等, 2015)。授粉结束时,相较于正常组和无王组,处女王组蜂数少,且处女王组有少量幼虫和卵,表明处女王已产卵。徐传球(2010)采用处女王群采集橘子蜜,发现哺育负担轻,工蜂采集力增加,工蜂死亡率低,群势不易衰退,与本试验结果不一致,这可能与橘子流蜜期短,而大豆不育系授粉时间长达1月,随着时间延长处女王群蜂量减少,以及蜂群群势和蜜粉源不同有关。授粉后期无王组的封盖子数、幼虫和卵减少为0,蜂群无后继之力。因此授粉时间超过1个月不宜采用无王群和处女王群。这与姜立纲等(2012)认为短花期蔬菜授粉可以使用无王群,长花期蔬菜授粉需要有王群的建议吻合。另一方面授粉蜂群可以作为消耗农资,一次性投入,不考虑回收,无王群和处女王群相较于正常蜂群可以节约成本(姜立纲, 1990)。

3种不同结构的蜂群出勤活跃时间均集中在9:00-13:00,这与武文卿等(2016)的研究结果一致;正常蜂群出现两个高峰,无王组和处女王组只有1个高峰,表明无王组和处女王组蜜蜂出勤受到影响。本研究中3个不同结构蜂群的出勤蜂频次,正常组和处女王组高于无王组,这表明处女王与交配的产卵蜂王均能有效抑制工蜂的繁殖(Free *et al.*, 1985),起到稳定蜂群的作用。荔枝、龙眼和设施西瓜授粉中,有王群出勤和采集力均高于无王群(吴杰等, 2004; 张云毅等, 2022)。Free等(1985)也提出无王群比交配过蜂王群和处女王群出外采集少,而且无王群的觅食活性和花粉采集量则低于交配过蜂王群和处女王群。本试验中,随着蜂数、封盖子、幼虫和卵的减少,无王群对花粉的需求均下降,蜂群的出勤频次减少,低于正常蜂群,这与前人(Weidenmuller and Tautz, 2002; 余林生和徐珊珊, 2003; Amdam *et al.*, 2009; Abou-Shaara,

2014)的报道一致。但与张云毅等(2020)的甜瓜授粉试验结果中无王群出巢时间提前,出巢蜂数增加的研究结果不同。

正常组的花粉消耗率大于无王组,处女王组最少。这主要是与试验后期无王组和处女王组蜂群的群势下降快有关,而正常蜂群需要更多的花粉(Free *et al.*, 1985),网室有限的大豆花蜜和花粉,不能满足蜂群需要,因此蜂群摄入饲喂的花粉量多。

3种不同结构蜂群授粉后大豆产量性状相比,除百粒重、荚数和粒数从高到低依次为正常组、无王组和处女王组,无王组和有王组的大豆株产量没有显著差异,而处女王组授粉后的4个产量性状均最低。荔枝、龙眼和设施西甜瓜授粉中,有王群授粉效果优于无王群授粉(吴杰等, 2004; 张云毅等, 2020, 2022)。这与有王群出勤频次高于无王群和处女王群的结果吻合。这可能也与无王群和处女王蜂群群势下降较快有关,群势影响授粉效果(刘素华等, 2013)。使用无王群可满足大豆不育系的授粉,节约培育蜂王和饲料消耗成本,这与前人(王凤鹤等, 2012a, 2012b; 张云毅等, 2020, 2022)的结果一致。

3种不同结构蜂群授粉后的大豆节位结荚率都表现为上部和中部的结荚率高于下部,这与前人(卫玲等, 2014; 武文卿等, 2016)的研究结果相同。樊翠芹等(1999)的试验发现人工授粉时,中上部的结荚率同样高于下部。这可能与光照、花的开放状态有关(武文卿等, 2016)。3种结构蜂群授粉均显著提高了大豆的异交率,这也与葛凤晨等(2012b)通过蜜蜂采集大豆花的混合花粉增强大豆异交率进而提高大豆产量的研究结果一致。

3种蜂群结构中,正常蜂群和无王群网室大豆不育系授粉效果优于处女王群,使用无王群和处女王群成本相对较低。使用无王群和处女王群时,不宜长于1个月,可以适当增加蜂量,并配以适量卵虫和封盖子。

参考文献 (References)

Abou-Shaara HF, 2014. The foraging behaviour of honey bees, *Apis*

- mellifera*: A review. *Vet. Med.*, 59(1): 1–10.
- Abrams RI, Edwards CR, Harris T, 1978. Yields and cross-pollination of soybeans as affected by honeybees and alfalfa leafcutting bees. *American Bee Journal*, 118(8): 555–560.
- Amdam GV, Rueppell O, Fondrk MK, Page RE, Nelson CM, 2009. The nurse's load: Early-life exposure to brood-rearing affects behavior and lifespan in honey bees (*Apis mellifera*). *Experimental Gerontology*, 44(6/7): 447–452.
- Blettler DC, Fagúndez GA, Caviglia OP, 2018. Contribution of honeybees to soybean yield. *Apidologie*, 49(1): 101–111.
- Boerma HR, Moradshahi A, 1975. Pollen movement within and between row to male-sterile soybeans. *Crop Science*, 15(6): 858–861.
- Chen ZW, Cheng YQ, Liu JF, Zhang WW, Qin XW, 2010. Effects of sparse planting on growth, pod setting characteristics and yield of soybean. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(11): 140–143. [陈智文, 程云清, 刘剑锋, 张文文, 秦晓伟, 2010. 稀植对大豆生长、结荚特征及产量的影响. 中国农学通报, 26(11): 140–143.]
- Dai JY, Zhang RJ, Wei BG, Nie ZX, Xing GN, Zhao TJ, Yang SP, Gai JY, 2017. Key biological factors related to outcrossing-productivity of cytoplasmic-nuclear male-sterile lines in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Euphytica*, 213(12): 1–18.
- Delaplane K, Mayer D, 2000. Crop Pollination by Bees. New York: CABI Publishing. 344.
- Erickson EH, 1975. Variability of floral characteristics influences honey bee visitation to soybean blossoms. *Crop Science*, 15(6): 84–86.
- Erickson EH, Berger GA, Shannon JG, Robins JM, 1978. Honeybee pollination increased soybean yields in Mississippi delta region of Arkansas and Missouri. *Journal of Economic Entomology*, 71(4): 601–603.
- Fan CQ, Miao YF, Wang WX, Yang CY, 1999. Factors affecting the success rate of soybean hybridization and ways to improve it. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 13(2): 33–36. [樊翠芹, 苗玉凤, 王文秀, 杨春燕, 1999. 影响大豆杂交成功率的因素及提高途径. 河北农业技术师范学院学报, 13(2): 33–36.]
- Fenster CB, Armbruster WC, Wilson P, Dudash MR, Thomson JD, 2004. Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35(1): 375–403.
- Floris I, Satta A, Cabras P, Garau VL, Angioni A, 2004. Comparison between two thymol formulations in the control of *Varroa destructor*: Effectiveness, persistence, and residues. *Journal of Economic Entomology*, 97(2): 187–191.
- Free JB, Ferguson AW, Simpkins JR, 1985. Influence of virgin queen honeybees (*Apis mellifera*) on queen rearing and foraging. *Physiological Entomology*, 10(3): 271–274.
- Fulop A, Menzel R, 2000. Risk-indifferent foraging behaviour in honeybees. *Animal Behaviour*, 60(5): 657–666.
- Ge FC, Li YF, Yan DB, Song YM, Zhao LM, Sun H, Yao ZL, 2012a. Experimental report on increasing soybean yield by pollination with bees. *Apiculture of China*, 63(Z3): 24–26. [葛凤晨, 历延芳, 闫德斌, 宋延明, 赵丽梅, 孙寰, 姚真良, 2012a. 利用蜜蜂为生产田大豆授粉增产试验报告. 中国蜂业, 63(Z3): 24–26.]
- Ge FC, Zhao LM, Li YF, 2012b. Honeybee has successfully studied the breeding, seed production and pollination technology of hybrid soybean sterile lines. *Apiculture of China*, (15): 15. [葛凤晨, 赵丽梅, 历延芳, 2012b. 蜜蜂为杂交大豆不育系繁育和制种授粉技术研究成功. 中国蜂业, 63(15): 15.]
- Jiang LG, 1990. The queenless group can be used for pollination. *Beekeeping Technology*, 1990(1): 15. [姜立纲, 1990. 无王小群可用于授粉. 养蜂科技, 1990(1): 15.]
- Jiang LG, Li HZ, Zhang F, Zhang GY, Jia ZC, 2012. Application of honeybee pollination technology in propagation of zucchini parents in greenhouse. *China Vegetables*, 2012(1): 39–40. [姜立纲, 李海真, 张帆, 张国裕, 贾长才, 2012. 大棚西葫芦亲本扩繁中蜜蜂授粉技术的应用. 中国蔬菜, 2012(1): 39–40.]
- Klein AM, 2005. Pollination of soybean by honeybees (*Apis mellifera* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(1): 123–125.
- Liu SH, Peng Y, Li KF, Sun GJ, Cai ZP, 2013. Study on the effect of bumblebee and *Apis mellifera ligustica* as cotton hybrids in Kashgar. *China Seed Industry*, 2013(S1): 50–51. [刘素华, 彭延, 李克福, 孙国军, 蔡志平, 2013. 熊蜂和意蜂为喀什地区的棉花制杂交种的效果研究. 中国种业, 2013(S1): 50–51.]
- Lu YG, Zhang SW, Tian ZZ, Huang B, Wang PT, Wang Q, Qi WZ, 2015. Effects of different pollination methods on the growth of Nectarine in greenhouse and comparative study on the changes of population potential before and after pollination by *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana*. *Chinese Agronomy Bulletin*, 31(7): 81–85. [逯彦果, 张世文, 田自珍, 黄斌, 王彭涛, 王谦, 祁文忠, 2015. 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. 中国农学通报, 31(7): 81–85.]
- Ma WH, Shen JS, Huang JX, Du YL, Jiang YS, 2018. Foraging activities of *Apis mellifera* subspecies on soybean. *Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 4(5): 92–97.
- Ma WH, Shen JS, Wu WQ, Song HL, Li LX, Zhang RJ, Wei BG, Huang JX, 2021. Comparison of pollination effects between *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* for soybean sterile lines. *Soybean Science*, 40(4): 522–527. [马卫华, 申晋山, 武文卿, 宋怀磊, 李立新, 张瑞军, 卫保国, 黄家兴, 2021. 意大利蜜蜂和中华蜜蜂对大豆不育系授粉效果的比较. 大豆科学, 40(4): 522–527.]
- May ML, Wilcox JR, 1986. Pollinator density effects on frequency

- and ran domness of male-sterile soybean pollinations. *Crop Science*, 26(1): 96–99.
- Monasterolo M, Musicante ML, Valladares GR, Salvo A, 2015. Soybean crops may benefit from forest pollinators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 202(4): 217–222.
- Pankiw T, Page JrRE, 1999. The effect of genotype, age, sex, and caste on response thresholds to sucrose and foraging behavior of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Comparative Physiology A*, 185(2): 207–213.
- Robacker DC, Flottum PK, Sammataro D, Erickson EH, 1983. Effects of climatic and edaphic factors on soybean flowers and on the subsequent attractiveness of the plants to honeybees. *Field Crops Research*, 6(4): 267–278.
- Rust RW, Mason CE, Erickson EH, 1980. Wild bees on soybeans, *Glycine max*. *Environmental Entomology*, 9(2):230–232.
- Santos E, Mendoza Y, Vera M, Carrasco-Letelier L, Diaz S, Invernizz C, 2013. Increase in soybean (*Glycine max*) production using honey bees (*Apis mellifera*). *Agrociencia (Montevideo)*, 17(1): 81–90.
- Tan K, Yang S, Wang Z, Radloff SE, Oldroyd BP, 2012. Differences in foraging and broodnest temperature in the honey bees *Apis cerana* and *Apis mellifera*. *Apidologie*, 43(6): 618–623.
- Wang FH, Yang F, Xu XL, Lu JS, 2012a. The comprehensive pollination technology of non- queen colony of bees was applied to protected watermelon. *Northern Horticulture*, 2012(19): 35–36. [王凤鹤, 杨甫, 徐希莲, 卢金生, 2012a. 设施西瓜应用蜜蜂无王群授粉综合技术. 北方园艺, 2012(19): 35–36.]
- Wang FH, Xu XL, Lu JS, Yang F, 2012b. Application technology of breeding queen bee colony and pollination of queenless bee colony in facility watermelon. *China Vegetables*, 2012(11): 44–46. [王凤鹤, 徐希莲, 卢金生, 杨甫, 2012b. 设施西瓜有王蜂群繁育及无王蜂群授粉应用技术. 中国蔬菜, 2012(11): 44–46.]
- Wei L, Liu B, Fan YX, Yang HF, Xiao JH, Zhou AD, 2014. Analysis of several factors affecting hybrid soybean seed production. *Journal of Agronomy*, 4(11): 15–18. [卫玲, 刘博, 樊云茜, 杨海峰, 肖俊红, 周安定, 2014. 影响杂交大豆制种的几个因素分析. 农学报, 4(11): 15–18.]
- Weidenmuller A, Tautz J, 2002. In-hive behavior of pollen foragers (*Apis mellifera*) in honey bee colonies under conditions of high and low pollen need. *Ethology*, 108(3): 205–221.
- Wu J, Zhou BF, Peng WJ, An JD, Guo ZB, Tong YM, Li JL, 2004. The research on honeybee pollination techniques in increasing output of Lichi (*Lichi chinensis* Sonn.) and Longan (*Dimocarpus longan* Lour). *Apiculture of China*, 55(5): 2–3. [吴杰, 周冰峰, 彭文君, 安建东, 国占宝, 童越敏, 李继莲, 2004. 蜜蜂为龙眼、荔枝授粉增产技术的研究. 中国养蜂, 55(5): 2–3.]
- Wu WQ, Shen JS, Ma WH, Song HL, Song ZQ, Zhang XF, Shao YQ, 2016. Effects of pollination methods and colony potential on pollination effect of hybrid soybean. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32(5): 5–9. [武文卿, 申晋山, 马卫华, 宋怀磊, 宋卓琴, 张旭凤, 邵有全, 2016. 授粉方式与蜂群群势对杂交大豆授粉效果的影响. 中国农学通报, 32(5): 5–9.]
- Xu CQ, 2010. Honey gathering with the virgin queen and preventing worker bees from laying eggs. *Journal of Bee*, 30(4): 27. [徐传球, 2010. 处女王采蜜与防止工蜂产卵. 蜜蜂杂志, 30(4): 27.]
- Xu CQ, 2011. A yield increasing measure in the flowering period of Vitex-collecting honey with virgin queen bee colony. *Journal of Bee*, 31(5): 26. [徐传球, 2011. 荆条花期一项增产措施——用处女王采蜜. 蜜蜂杂志, 31(5): 26.]
- Yu LS, Xu SS, 2003. Research on biological characteristic of queenless coloy. *Apiculture of China*, 2003(4): 4–6. [余林生, 徐珊珊, 2003. 无王蜂群生物学特性的研究. 中国养蜂, 2003(4): 4–6.]
- Yu W, Li L, Li Z, Wang MB, Wang M, Ma TF, Xu ZY, Chang RZ, Qiu LJ, 2001. Study on hybrid seed production technology of soybean cytoplasmic nuclear interaction male sterile lines I. Study on breeding techniques of male sterile lines. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2001(2): 12–14. [于伟, 李磊, 李智, 汪茂斌, 王敏, 马同富, 许占友, 常汝镇, 邱丽娟, 2001. 大豆质核互作不育系杂交制种技术研究 I. 不育系繁殖技术研究. 中国油料作物学报, 2001(2): 12–14.]
- Zhang YY, Zhang XF, Song HL, Wu WQ, Guo Y, 2020. Study on pollination effect of melon non-queen bees in greenhouse. *Apiculture of China*, 71(1): 36–37, 39. [张云毅, 张旭凤, 宋怀磊, 武文卿, 郭媛, 2020. 设施甜瓜无王群蜜蜂授粉效果研究. 中国蜂业, 71(1): 36–37, 39.]
- Zhang YY, Zhang XF, Song HL, Guo BB, Guo Y, Wu WQ, 2022. Effect of watermelon pollination in facilities by utilizing different polliation methods. *Jouranal of Environmental Entomology*, 44(5): 1189–1196. [张云毅, 张旭凤, 宋怀磊, 郭宝贝, 郭媛, 武文卿, 2022. 不同授粉方式对设施西瓜授粉效果研究. 环境昆虫学报, 44(5): 1189–1196.]
- Zhao LM, Sun H, Ma CS, Huang M, 1999. Preliminary study on insect pollination of soybean. *Soybean Science*, 18(1): 73–76. [赵丽梅, 孙寰, 马春森, 黄梅, 1999. 大豆昆虫传粉研究初探. 大豆科学, 18(1): 73–76.]
- Zhao LM, Sun H, Peng B, Li JP, Wang SM, Li MH, Zhang WL, Zhang JY, Wang YQ, 2009. Pollinator effects on genotypically distinct, soybean cytoplasmic male sterile lines. *Crop Science*, 49(6): 2080–2086.
- Zhao YZ, An JD, Zhou ZY, Dong J, Xing YH, Qin JJ, 2011. Pollination behavior and influencing factors of *Apismellifera ligustica* and *Bobus hypocritain* greenhouse peach orchard. *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.]