

苹果园周围生境对凹唇壁蜂种群的维持作用*

闫卓^{1,5**} 王丽娜^{1,2} 门兴元³ 肖云丽⁴ 戈峰¹ 欧阳芳^{1***}

(1. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101;

2. 山东农业大学, 植物保护学院, 泰安 271018; 3. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100;

4. 山东省植物保护总站, 济南 250100; 5. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 【目的】凹唇壁蜂 *Osmia excavata* Alfken 是我国重要授粉昆虫之一, 在北方苹果树授粉有极其重要的作用。如何通过管理措施, 维持壁蜂种群成为急需解决的重要问题之一。【方法】以苹果园和周围生境为研究区域, 在四类不同生境类型中(苹果园中心区与边缘区, 苹果周围生境中心区和边缘区), 共选取 18 个点, 采用粘虫板(白板和黄板)和蜂巢(芦苇管和塑料巢箱)两种不同调查方式监测凹唇壁蜂及其天敌叉唇寡毛土蜂种群数量动态, 重点分析苹果园周围生境对凹唇壁蜂种群的维持作用。【结果】粘虫板调查结果表明: 整体上凹唇壁蜂的数量在苹果园周围生境(65%±17%)高于苹果园生境(35%±12%)。芦苇巢管调查表明: 凹唇壁蜂筑巢数量在苹果园周围生境(69%±26%)高于苹果园生境(31%±9%); 塑料巢管调查表明, 凹唇壁蜂筑巢数量在苹果园周围生境(48%±13%)与苹果园生境(52%±13%)基本相同。苹果园的周围生境可以为释放在果园内的壁蜂提供稳定觅食筑巢条件, 起到有效维持凹唇壁蜂种群的作用。【结论】苹果园景观中的凹唇壁蜂种群受生境类型的影响, 果园周围的生境可以为凹唇壁蜂等授粉昆虫提供栖息空间与食物资源, 具有重要价值。在苹果园实际生产与管理时, 应考虑在其周围生境中保护与种植更多的开花植物, 为以凹唇壁蜂为代表的授粉昆虫提供适宜的栖息环境和补充食物, 维持其种群。

关键词 凹唇壁蜂, 野外生境, 苹果园景观, 食物源, 种群数量

Effect of maintaining surrounding habitat near apple orchards on *Osmia excavata* (Hymenoptera: Megachilidae)

YAN Zhuo^{1**} WANG Li-Na^{1,2} MEN Xing-Yuan³ XIAO Yun-Li⁴ GE Feng¹ OUYANG Fang^{1***}

(1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Department of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China;

3. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

4. Shandong Plant Protection Station, Jinan 250100, China; 5. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effect of maintaining suitable habitat around apple orchards on populations of *Osmia excavata*, an important pollinator of apple trees in northern China. 【Methods】We compared *O. excavata* abundance at eighteen sites in four habitats types (core and edge of apple orchards, and core and edge of surrounding habitat). Plastic nests, reed nests and stickytraps were used to monitor numbers of *O. excavata* and those of its natural enemy *Sapyga coma*. 【Results】The stickytrap survey results indicate that the population of *O. excavata* was higher in the surrounding habitat (65%±17%) than in apple orchards (35%±12%). More nests were found in reed nest tubes placed in surrounding habitat (69%±26%) than in apple orchards (31%±9%) but there was no significant difference in the number of nests found in plastic nest tubes in apple orchards (48%±13%) and those in the surrounding habitat (52%±13%). The habitat around apple orchards can provide stable foraging and nesting sites for *O. excavata* released in orchards. 【Conclusion】*O. excavata* populations are affected by the habitat around apple orchards. Wild habitat around apple orchards provides pollinator insects such as *O. excavata* with habitat space and food resources. Consideration should therefore be given to protecting and planting more

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2016YFC0503402)

**第一作者 First author, E-mail: yanzhuo@ioz.ac.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: ouyangf@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2018-10-22, 接受日期 Accepted: 2018-11-12

flowering plants around apple orchards to provide more suitable habitat and supplementary food sources for *O. excavata*.

Key words *Osmia excavata* Alfken, wild habitat, apple orchard landscape, food resource, population

在世界范围内, 87.5%以上的开花植物需要昆虫授粉, 粮食作物又占其中的 35%(施金虎等, 2014), 授粉昆虫对人类持续发展与生存具有重要意义。但在现代农业发展愈加集约化和规模化, 同时, 农田单一种植(Potts *et al.*, 2016; Wood *et al.*, 2016)、农药过量使用, 导致野生授粉昆虫的多样性与种群数量下降(吴艳艳等, 2013)。

中国是世界第一大苹果生产国, 栽培面积和产量分别占世界总面积和总产量的 41.09%和 42.88%(王金政等, 2010)。苹果是我国北方主要栽培的果树之一, 苹果自然授粉成功率较低, 人工授粉成本较高(王荣敏等, 2005), 目前应用于苹果授粉的昆虫主要有蜜蜂、熊蜂、壁蜂等类群。其中, 以意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* Spin. 为代表的蜜蜂授粉以及人工授粉的效果均较壁蜂授粉效果低, 因此利用壁蜂 *Osmia excavata* Alfken 授粉可显著提高苹果品质(龚声信等, 2009)。据报道, 全球范围的壁蜂类群共 80 余种, 人工应用开发的有 10 余种(吕龙石和金大勇, 2005), 其中, 凹唇壁蜂是我国本地种。与社会性群居的蜜蜂和熊蜂不同, 凹唇壁蜂是一种半驯化的蜂, 营独居性生活, 自然情况下, 独居集群活动, 在墙壁、泥土或石头的缝隙筑巢, 一年一代。近年来, 因其与蜜蜂、熊蜂相对比, 具有方便管理、低温可出巢、授粉成功率高、显著提高果实品质等优点, 在我国得到了迅速而广泛的应用, 主要用于果树授粉、蔬菜制种等农业活动中(姜立纲和简元才, 1996; 王凤鹤和杨甫, 2008; 何伟志和周伟儒, 2009)。

人工放蜂需要每年进行人工回收、剥茧和储存等一系列的后续工作, 同时, 由于近亲繁殖或食物源单一, 可能会导致凹唇壁蜂种群退化(金大勇和吕龙石, 2007)。而且, 叉唇寡毛土蜂 *Sapyga coma* 是一种严重危害壁蜂, 影响壁蜂种群的惰性寄生性天敌(余忠保, 1999), 也是威胁凹唇壁蜂种群的一大因素。事实上, 在苹果园

周边存在着很多不同的生境, 可为凹唇壁蜂提供补充食物源以及适宜筑巢点。但有关苹果园周围的生境是否对凹唇壁蜂种群有维持作用, 目前仍不清楚。本研究主要以苹果园和周围生境为研究区域, 采用粘虫板(白板和黄板)和蜂巢(芦苇管和塑料巢箱)两种不同调查方式监测凹唇壁蜂及其天敌叉唇寡毛土蜂种群数量动态, 重点分析果园周围生境对凹唇壁蜂种群的维持作用。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料获取

1.1.1 试验区域与位点选取 试验位于山东省烟台市牟平区丰坤农业合作社西坡老龄苹果园(37°17'47"N, 121°32'57"E, 0.3 hm²)与其周围生境(1.5 hm²)进行试验, 所种植的苹果树品种均为富士苹果, 树龄均在 10 年以上, 行间距与株距 4 m×3 m, 每株树年施肥量为 7-8 kg。

本研究设置了 4 个区域: 苹果园生境中心区、苹果园生境边缘区、苹果园外生境边缘区和苹果园外生境中心区。苹果园生境中心区 A 为苹果园内部中心区域, 该区域选取 4 个点 A1、A2、A3、A4, 每点相距约 20 m; 苹果园生境边缘区 B 为苹果园中与野外生境临近的区域, 该区域选取 5 个点 B1、B2、B3、B4、B5, 每点相距约 20 m; 苹果园外生境边缘区 C 为野外生境中与苹果园临近的区域, 该区域选取 5 个点 C1、C2、C3、C4、C5, 每点相距约 80 m; 苹果园外生境中心区 D 为野外生境内部中心区域, 该区域选取四个点 D1、D2、D3、D4, 每点相距约 80 m, 共 18 个取样点。每区域直线距离相距约 20 m。根据试验区域的地形, 每区域调查点相隔距离不同, 但在各区域内基本保持一致。在周围生境中, 存在较多野生植物, 如臭椿、杜梨等, 表 1 中的野生植物是在实验期间周围生境中存在的开花植物。

表 1 实验期间周围生境中存在的野生开花植物
Table 1 Wild flowering plants in the surrounding habitat during the experiment

中文名 Chinese name	拉丁名 Scientific name	采样时间 (月.日) Sampling time (month. day)	花期/花果期 Flower phase/Flower and fruit phase
北美独行菜	<i>Lepidium virginicum</i>	4	花期 4-5 月 Flower phase: Apr. to May
芫花	<i>Daphne genkwa</i> Sieb.	4	花期 3-5 月 Flower phase: Mar. to May
阿拉伯婆婆纳	<i>Veronica persica</i> Poir.	4	花期 3-5 月 Flower phase: Mar. to May
杜梨	<i>Pyrus betulifolia</i> Bunge	4.16	4 月 Apr.
宝盖草	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	4.16	花期 3-5 月 Flower phase: Mar. to May
少花米口袋	<i>Gueldenstaedtia verna</i>	4.16	花期 5 月 Flower phase: May
钝萼附地菜	<i>Trigonotis amblyosepala</i>	4.18	早春, 花期长 Early spring, long flower phase
大花野豌豆	<i>Vicia megalotropis</i> Ledeb.	4.18	5-7 月 May to July
葶苈	<i>Draban morosa</i>	4.18	花期 3-4 月 上旬 Flower phase: Mar. to early Apr.
郁李	<i>Cerasus japonica</i> Lois	4.24	花期 5 月 Flower phase: May
鸦葱	<i>Scorzonera albicaulis</i> Bunge	-	花期 4-5 月 Flower phase: Apr. to May
刺儿菜	<i>Cirsium setosum</i>	5.7	花果期 5-9 月 Flower and fruit phase: May to Sep.
牛奶子	<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb	5.8	花期 4-5 月 Flower phase: Apr. to May
粉团蔷薇	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	5.8	—
朝天委陵菜	<i>Potentilla supina</i> L.	5.8	花果期 3-10 月 Flower and fruit phase: Mar. to Oct.
月季	<i>Rosa chinensis</i> Jacq.	5.14	—
野蔷薇	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	5.14	花期 5-6 月 Flower phase: May to June
女娄菜	<i>Silene aprica</i> Turcz.	5.14	—
田紫草	<i>Lithospermum arvense</i>	5.14	花果期 4-8 月 Flower and fruit phase: Apr. to Aug.
蓝花矢车菊	<i>Centaurea cyanus</i> 'blue'	6	花果期 2-8 月 Flower and Fruit phase: Feb. to Aug.
泥胡菜	<i>Hemistepta lyrata</i> Bunge.	6	花果期 3-8 月 Flower and fruit phase: Mar. to Aug.
刺儿菜	<i>Cirsium setosum</i> Willd.	6	花果期 5-9 月 Flower and fruit phase: May to Sep.
芫荽	<i>Coriandrum sativum</i> L.	6	花果期 4-11 月 Flower and fruit phase: Apr. to Nov.
蓝蓟	<i>Echium vulgare</i>	6	花期 6-9 月 Flower phase: June to Sep.
紫薇	<i>Lagerstroemia indica</i> L.	6	6-8 月 June to Aug.
两色金鸡菊	<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt.	6.29	花期 5-9 月 Flower phase: May to Sep.
苦苣菜	<i>Ixeris chinensis</i>	7	花果期 1-10 月 Flower and fruit phase: Jan. to Oct.
紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i> Linn.	7	花果期 5-10 月 Flower and fruit phase: May to Oct.
美洲商陆	<i>Phytolacca Americana</i> L.	7	花期 5-8 月 Flower phase: May to Aug.
一年蓬	<i>Erigeron annuus</i> Pers.	7	花期 6-8 月 Flower phase: June to Aug.
红蓼	<i>Polygonum orientale</i> Linn.	7	花期 7-9 月 Flower phase: July to Sep.
百日菊	<i>Zinnia elegans</i> Jacq.	8	花期 6-9 月 Flower phase: June to Sep.
万寿菊	<i>Tagetes erecta</i> L.	8.1	花期 7-9 月 Flower phase: July to Sep.
石竹	<i>Dianthus chinensis</i> L.	8.2	花期 5-6 月 Flower phase: May to Jun.
桔梗	<i>Platycodon grandiflorus</i>	8.2	花期 7-9 月 Flower phase: July to Sep.
木槿	<i>Hibiscus syriacus</i> Linn.	8.2	花期 7-10 月 Flower phase: July to Oct.
蜀葵	<i>Althaea rosea</i> Cavan.	8.2	花期 6-8 月 Flower phase: June to Aug.
鼠掌老鹳草	<i>Geranium sibiricum</i> L.	8.11	花期 6-7 月 Flower phase: June to Jul.
韭	<i>Allium tuberosum</i>	8.30	花果期 7-9 月 Flower and fruit phase: July to Sep.
秋英	<i>Cosmos bipinnata</i> Cav.	8.30	花期 6-8 月 Flower phase: June to Aug.
长蕊石头花	<i>Gypsophila oldhamiana</i> Miq.	8.30	花期 6-9 月 Flower phase: June to Sep.
鸭跖草	<i>Commelina communis</i>	9	—

1.1.2 壁蜂来源 将来源于上一年的自留壁蜂蜂茧（自繁3年），于2017年4月18日苹果初花期在苹果园内进行释放；为了弥补调查导致种群数量的损失，于2017年4月21日补充释放一次。实验研究期间，未在苹果园外生境中释放壁蜂。

1.1.3 材料获取 芦苇管经统一切割，平均长度为 (21.95 ± 0.73) cm，平均内径为 (8.56 ± 1.41) mm。塑料巢箱为统一规格的专利产品，规格为20 cm×19 cm×10 cm，共6层，每层18-19个巢孔。

1.2 监测与调查方法

在研究区域18个点中，分别利用粘虫板（白板和黄板）和蜂巢（芦苇管和塑料巢箱）两种方法，调查记录凹唇壁蜂及其寄生性天敌叉唇寡毛土蜂种群数量。每个位点分别设置黄板、白板两种监测粘虫板各一张，用细铁丝悬挂并固定在苹果树或野外生境中灌木或乔木枝条上。每个位点分别设置芦苇管与塑料巢箱两种蜂巢，芦苇管两捆，每捆40支；塑料巢箱一个，设置在苹果树与野外生境中的灌木或乔木的枝条上，用布条固定。塑料巢箱与芦苇管均朝南设置。

介于不同方法不同材质存在差异，分别于2017年4月19日、4月20日、4月22日、4月24日、4月28日、5月1日、5月17日、6月19日、7月3日、7月5日、7月21日、8月4日进行了12次粘虫板调查，每调查一次清理或更换粘虫板。间隔时间较长时，于调查前2 d设置粘虫板，即取两日的数据进行统计；分别于2017年5月16日、6月29日、8月2日、8月16日、10月19日进行了5次塑料巢箱调查，每次调查拆卸巢箱，计数每层凹唇壁蜂所筑巢室数，之后重新安装回去；鉴于芦苇管调查具有一次破坏性特质，仅于2017年5月16日、10月19日进行了两次芦苇管调查，每次调查将芦苇管更换并将前一次的取回，剖开后统计并分析存在筑巢情况的芦苇管数量。

1.3 数据处理

通过 Google Earth 进行位点选择和标定。将

每次调查的数据录入 WPS Excel 表格中，运用 IBM SPSS Statistic 20、GraphPad Prism 7.00 进行比较均值-单因素 ANOVA 方差分析，利用 LSD 进行多重比较，并结合 Adobe Photoshop CC 2017、Adobe Illustrator CC 2017 绘图。

2 结果与分析

2.1 苹果园内外凹唇壁蜂和叉唇寡毛土蜂种群数量总变化

通过利用粘虫板监测苹果园内外凹唇壁蜂和叉唇寡毛土蜂种群数量，结果可以看出，自放蜂后1 d开始，凹唇壁蜂种群数量呈下降趋势，于4月24日与4月28日有所回升，但总趋势仍下降（图1：A）。凹唇壁蜂的雄性数量远高于雌性，平均雄雌比为11.22：1（图1：B）。叉唇寡毛土蜂4月20日数量上升，之后呈下降趋势。两者在7月3日之后均不再出现。

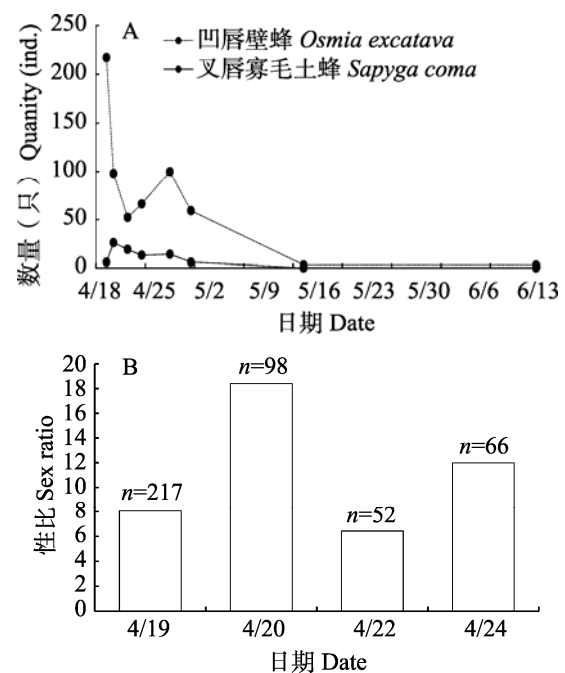


图1 苹果园内外凹唇壁蜂和叉唇寡毛土蜂种群数量总变化

Fig. 1 Population dynamic of *Osmia excavata* and *Sapyga coma* inside and outside the apple orchard

A. 凹唇壁蜂与叉唇寡毛土蜂种群数量变化；

B. 凹唇壁蜂性比。

A. Population dynamic of *Osmia excavata* and *Sapyga coma*; B. Sex ratio of *Osmia excavata*.

2.2 不同区域凹唇壁蜂种群数量变化

进一步对苹果园生境中心区 A、苹果园生境边缘区 B、果园外生境边缘区 C 和果园外生境中心区 D 的凹唇壁蜂数量进行调查, 结果表明壁蜂的种群数量在不断波动中呈下降趋势(图 2)。其中苹果园外生境边缘区 C 区域的数量变动最大, 于 4 月 19 日达到顶峰, 野外生境壁蜂种群数量较大。

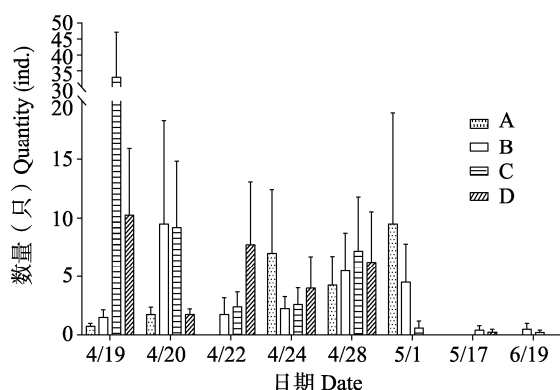


图 2 不同区域凹唇壁蜂种群数量变化总趋势

Fig. 2 Population dynamic of *Osmia excavata* in different area

A. 代表苹果园生境中心区; B. 代表苹果园生境边缘区; C. 代表果园外生境边缘区; D. 代表果园外生境中心区。
A. Indicates central area in apple orchard; B. Indicates edge area in apple orchard; C. Indicates edge area in surrounding habitat; D. Indicates edge area in surrounding habitat.

2.3 不同区域凹唇壁蜂种群数量

粘虫板的 12 次调查, 因 5 月 17 日之后的数据量过少, 只将前 6 次归入有效数据。第一次调查中, 区域 C 平均数量显著高于 A、B 两区域 ($F=3.102$, $P=0.064$)。其他的调查结果不存在显著性差异。但将 6 次调查数据累计起来, 可以发现, 各区域所占比例为 A (mean=17%, $CI_{95\%}=6\%-28\%$)、B (mean=19%, $CI_{95\%}=19\%-28\%$)、C (mean=41%, $CI_{95\%}=27\%-55\%$)、D (mean=23%, $CI_{95\%}=15\%-31\%$), 整体水平为果园外生境区域 (C、D) (mean=65%, $CI_{95\%}=48\%-82\%$) 稍高于苹果园生境区域 (A、B) (mean=35%, $CI_{95\%}=23\%-47\%$); 且边缘区域 (B、C) (mean=61%, $CI_{95\%}=44\%-78\%$) 稍高于中心区域 (A、D)

(mean=39%, $CI_{95\%}=27\%-51\%$)。其中, C、D 区域并未放蜂, 种群数量却较高(图 3)。

2.4 不同区域凹唇壁蜂筑巢的芦苇管数量

分两次收取试验地 4 个区域的芦苇管, 苹果园生境中心区 A、苹果园生境边缘区 B, 果园外生境边缘区 C 和果园外生境中心区 D, 统计存在筑巢现象的芦苇管。5 月 16 日的第一次调查发现, 在苹果园外生境区域 C、D 未放蜂的前提下, 区域 D 的平均芦苇管数量仍高于其他 3 个区域 ($F=4.295$, $P=0.024$) (mean=59%, $CI_{95\%}=41\%-77\%$), 各区域数量比例为 A (mean=15%, $CI_{95\%}=10\%-20\%$)、B (mean=14%, $CI_{95\%}=7\%-21\%$)、C (mean=12%, $CI_{95\%}=2\%-22\%$)、D (mean=59%, $CI_{95\%}=41\%-77\%$)。10 月 19 日的第二次调查发现芦苇管中有某些蜾蠃、切叶蜂等其他昆虫筑巢, 但已无凹唇壁蜂筑巢。果园外生境 (C、D) (mean=69%, $CI_{95\%}=43\%-95\%$) 筑巢芦苇管数量高于苹果园生境 (A、B) (mean=31%, $CI_{95\%}=22\%-40\%$), 中心区域 (A、D) (mean=74%, $CI_{95\%}=50\%-98\%$) 筑巢芦苇管数量高于边缘区域 (B、C) (mean=26%, $CI_{95\%}=15\%-37\%$) (图 4)。

2.5 不同区域塑料巢箱内凹唇壁蜂筑巢情况

进一步调查 4 个区域苹果园生境中心区 A、苹果园生境边缘区 B、果园外生境边缘区 C 和果园外生境中心区 D 的塑料巢箱内凹唇壁蜂所筑巢室数来反映凹唇壁蜂种群情况(图 5)。第一次调查 (5 月 16 日) 的数据无显著差异, 但中心区域的平均所筑巢室数稍高于边缘区域。第二次调查 (6 月 29 日) 的数据显示, 区域 D 平均所筑巢室数显著高于区域 C ($F=2.288$, $P=0.131$)。第三次调查 (8 月 2 日) 的数据显示, 区域 A 的平均所筑巢室数显著高于 B、D 两个区域 ($F=3.553$, $P=0.048$)。第四次调查 (10 月 19 日) 发现, 塑料巢管内已无凹唇壁蜂筑巢。综合来看, 各区域数量比例为 A (mean=27%, $CI_{95\%}=21\%-33\%$)、B (mean=15%, $CI_{95\%}=9\%-21\%$)、C (mean=12%, $CI_{95\%}=4\%-20\%$)、D (mean=27%, $CI_{95\%}=22\%-32\%$)。中心区域 (A、D) (mean=67%,

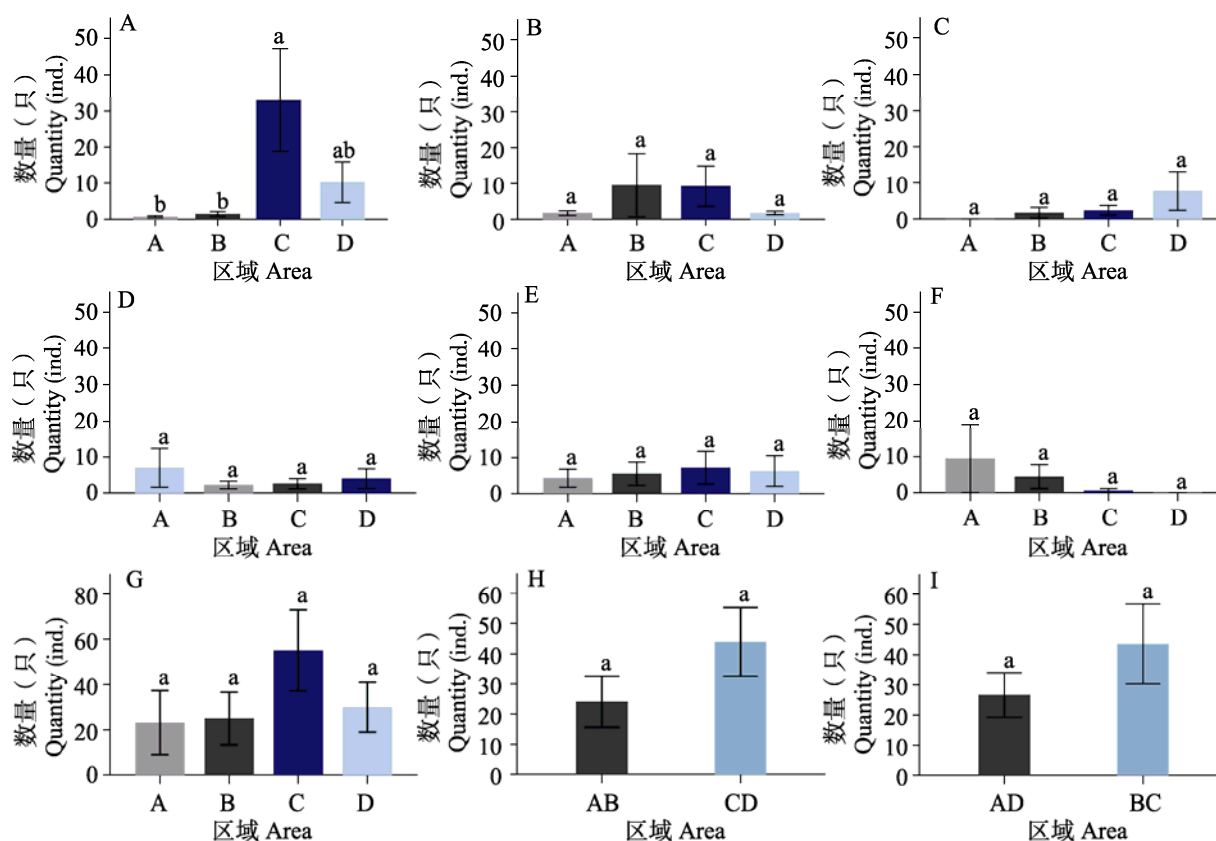


图3 不同区域凹唇壁蜂种群数量

Fig. 3 The population difference of *Osmia excavata* in different area

A-F. 前6次调查不同区域凹唇壁蜂种群数量; G. 6次调查结果总和;

H. 苹果园生境与野生生境调查结果; I. 中心区域与边缘区域调查结果。

A-F. The population of *Osmia excavata* in different area through the first six surveys;

G. The total result of the first six surveys; H. Different survey results in apple orchard habitat and wild farmland habitat;

I. Different survey results in central area and edge area.

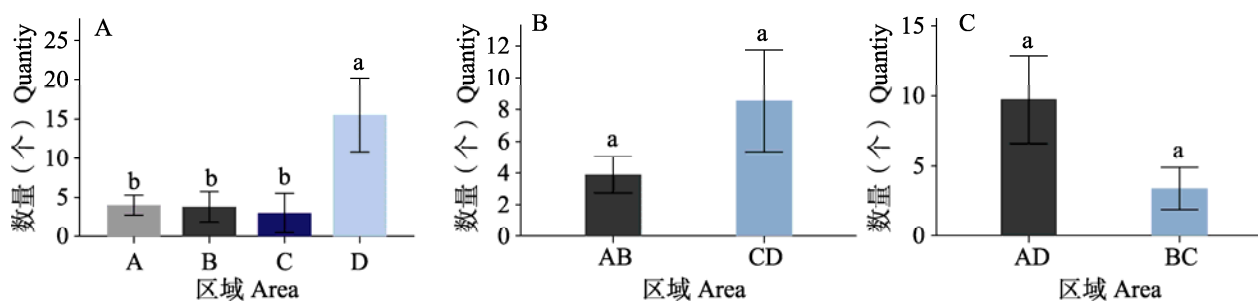
柱上标有不同字母代表不同区域的差异显著性 (LSD 多重比较法检验, $P < 0.05$)。下图同。Histograms with different letters indicate significantly different in different areas according to LSD multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

图4 不同区域筑巢芦苇管数量

Fig. 4 Different quantity of reed tubes in different area

A. 四个区域筑巢芦苇管数量; B. 苹果园生境与周围生境筑巢芦苇管数量;

C. 中心区域与边缘区域筑巢芦苇管数量。

A. Quantity of reed tubes in four areas; B. Quantity of reed tubes in apple orchard habitat and surrounding habitat;

C. Quantity of reed tubes in central area and edge area.

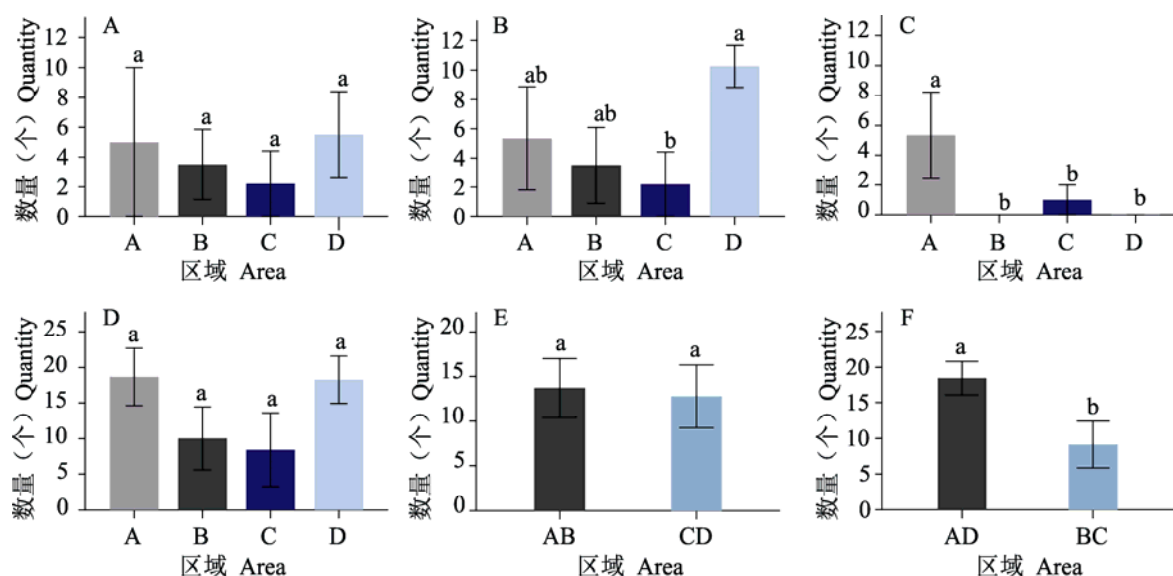


图 5 不同区域塑料巢箱所筑巢室数数量

Fig. 5 Different quantity of building nests in different area

A-C. 3 次调查中四个区域所筑巢室数量; D. 四个区域所筑巢室总体数量;

E. 苹果园生境与野外生境所筑巢室数量; F. 中心区域与边缘区域所筑巢室数量。

A-C. Different quantity of building nests in different area in the three surveys; D. Total quantity of building nests in four areas; E. Different survey results in apple orchard habitat and wild farmland habitat;

F. Different survey results in central area and edge area.

$CI_{95\%}=58\%-76\%$) 的平均所筑巢室数显著高于边缘区域 (B, C) ($mean=33\%$, $CI_{95\%}=21\%-45\%$) ($F=4.726$, $P=0.047$)。苹果园生境 (A, B) ($mean=52\%$, $CI_{95\%}=39\%-65\%$) 与周围生境 (C, D) ($mean=48\%$, $CI_{95\%}=35\%-61\%$) 所筑巢室数基本相近。

3 讨论

本研究表明, 只在苹果园生境中释放凹唇壁蜂的前提下, 其整体数量水平, 为苹果园外生境区域约为苹果园生境区域的 2 倍, 且边缘区域约为中心区域 2 倍。4 个区域中, 凹唇壁蜂有 $59\%\pm 18\%$ 最倾向于在区域 D 选择筑巢地点; 相对于边缘区域, $65\%\pm 31\%$ 更倾向于在中心区域筑巢。这表明, 凹唇壁蜂会被野外生境吸引, 并且对于活动区域以及繁殖区域的选择具有一定的偏好性。根据边缘效应 (马世骏, 1990), 不同生境界面对昆虫的空间分布影响差异很大 (赵紫华等, 2012)。由于边界地区景观性质差异较大, 在主体斑块边缘地区生存的动植物受到边界

外的人类干扰和其他动植物的影响要明显高于远离边界的核心地区 (陈利顶等, 2004), 为了保证后代的生存发育率, 凹唇壁蜂可能倾向于在环境较为稳定的区域筑巢; 凹唇壁蜂倾向于活动在较复杂的生境类型中, 由于在森林-农田的边缘效应带中, 物种组成及群落结构与相邻生态系统内部差异很大, 并且物种的密度和丰富度也比邻近群落要高 (廉振民和于广志, 2000), 可能是因为较为复杂的生境类型可以为壁蜂提供更加丰富的食物源。同时, 通过与农户沟通了解到, 目前壁蜂价格较便宜, 果农通常选择过量释放壁蜂, 果园内壁蜂密度较大, 食物源无法满足所有壁蜂取食及繁殖, 壁蜂可能会逸散到周边生境中去找更加适宜的生境。这样, 苹果园周边的野外生境可能为其提供食物源与栖境, 可以起到涵养壁蜂的作用, 从而维护野生种群。

根据四个区域的数量动态变化可以得出, 区域 C 在 4 月 19 日凹唇壁蜂数量达到顶峰, 并于之后下降, 可能由于放蜂后第一天, 雄性壁蜂完成交配后, 趋向于飞离种群密度过高的苹果园到

达野外生境,途中被粘虫板捕获。当凹唇壁蜂被释放之后,达到合适温度(13℃)时,就破茧进行雌雄交配(任怀礼,1999)。雌蜂开始筑巢时,叉唇寡毛土蜂被吸引来,伺机进入蜂巢中产卵,寄生凹唇壁蜂(徐环李,1994)。这可能解释叉唇寡毛土蜂数量上升后下降的原因。叉唇寡毛土蜂被吸引过来时,数量上升;雌性凹唇壁蜂筑巢时期过后,叉唇寡毛土蜂数量也随之下降。根据天气记录,4月20日、21日气温较低,为阴雨天气,可能降低了凹唇壁蜂的出行次数,进而减少了监测到的数量。随着时间的推移,凹唇壁蜂完成筑巢系列活动,结束生命,因此数量下降直至归零,与此同时,叉唇寡毛土蜂活动次数也逐渐减少至零。

凹唇壁蜂自然情况下的雌雄比为1:2.26(魏永平等,2000),而本研究利用粘虫板观测到的雌雄比为1:10.24,可能由于雌性凹唇壁蜂交配后专注于收集材料并筑巢、产卵,而雄性倾向于不断飞行寻找适合进行交配的雌性,这和国外较早有关蓝壁蜂的研究有相似结论,雄性蓝壁蜂会结群飞行来寻找适合交配的雌性壁蜂(Torchio,1989)。另外,在粘虫板监测过程中,我们发现壁蜂更易被白色粘虫板捕获,可能由于壁蜂对白色更加敏感,有相关研究指出,巢箱颜色对于壁蜂繁殖后带存在一定影响,这方面的内容未来可以深入研究(Artz *et al.*, 2014)。有研究表明,雌性角额壁蜂营巢过程中,休息睡眠行为仅部分在巢管内进行(McKinney and Park, 2012),由此可以类比推断,除了筑巢相关活动,凹唇壁蜂倾向于在野外生境活动休息。

苹果园景观中的凹唇壁蜂种群受生境类型的影响,果园周边的野生生境可以为凹唇壁蜂等授粉昆虫提供栖息环境与食物,具有重要价值。但有关凹唇壁蜂对生境类型的选择倾向性的机制尚待研究。在实际生产应用中,果农在设计构建苹果园时,应考虑其周边留出一定面积的野外生境,为以凹唇壁蜂为代表的授粉昆虫提供适宜的栖息环境和补充食物,维持其种群。

致谢: 感谢山东省烟台市牟平区范家庄村丰坤农业合作社提供试验地点与研究人员住所;感谢合作社曲先生、丛先生和梁女士在生活和工作上的帮助;感谢本科生林木青、莫远洋、谭慧群在调查过程中所做的大量工作。

参考文献 (References)

- Artz DR, Allan MJ, Wardell GI, Pitts-Singer TL, 2014. Influence of nest box color and release sites on *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) reproductive success in a commercial almond orchard. *Journal of Economic Entomology*, 107(6): 2045–2054.
- McKinney MI, Park YL, 2012. Nesting activity and behavior of *Osmia cornifrons* (Hymenoptera: Megachilidae) elucidated using videography. *Psyche*. doi: 10.1155/2012/814097.
- Potts SG, Imperatriz-Fonseca V, Ngo H T, Aizen MA, Biesmeijer JC, Breeze TD, Dicks LV, Garibaldi LA, Hill R, Settele J, Vanbergen AJ, 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632): 220–229.
- Torchio PF, 1989. In-nest biologies and development of immature stages of 3 *Osmia* species (Hymenoptera, Megachilidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 82(5): 599–615.
- Wood TJ, Holland JM, Goulson D, 2016. Diet characterisation of solitary bees on farmland: dietary specialisation predicts rarity. *Biodiversity and Conservation*, 25(13): 2655–2671.
- Chen LD, Xu JY, Fu BJ, Lv YH, 2004. Quantitative assessment of patch edge effects and its ecological implications. *Acta Ecologica Sinica*, 24(9): 1827–1832. [陈利顶, 徐建英, 傅伯杰, 吕一河, 2004. 斑块边缘效应的定量评价及其生态学意义. 生态学报, 24(9): 1827–1832.]
- Gong SX, Zhao XQ, Zhao GH, Li XY, Shi AX, Yang YJ, Chen AD, 2009. Application of *Osmia excavata* (Alfken) pollination technique for apple production in Yunnan Altiplano. Yunnan Insect Society 2009 Annual Conference. Kunming: 213–216. [龚声信, 赵雪晴, 赵高慧, 李向勇, 石安宪, 杨毅娟, 谌爱东, 2009. 凹唇壁蜂授粉对苹果果形质量的影响. 云南省昆虫学会 2009 年年会. 昆明: 213–216.]
- He WZ, Zhou WR, 2009. Study on pollination effect of *Osmia excavata* (Alfken), *Apis mellifera ligustica* and artificial pollination on apple. *Apiculture of China*, 60(11): 9–11, 15. [何伟志, 周伟儒, 2009. 凹唇壁蜂、意大利蜜蜂与人工授粉对苹果授粉效果研究. 中国蜂业, 60(11): 9–11, 15.]
- Jiang LG, Jian YC, 1996. A study on *Osmia excavata* Alfken as a pollinator of broccoli. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 11(4):

- 126–128. [姜立纲, 简元才, 1996. 凹唇壁蜂在青花菜制种授粉中的应用. 华北农学报, 11(4): 126–128.]
- Jin DY, Lu LS, 2007. The activity of wild and orchard *Osmia cornifrons*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(2): 275–276. [金大勇, 吕龙石, 2007. 野生角额壁蜂与果园角额壁蜂的生活力. 昆虫知识, 44(2): 275–276.]
- Lian ZM, Yu GZ, 2000. Edge effect and biodiversity. *Chinese Biodiversity*, 8(1): 120–125. [廉振民, 于广志, 2000. 边缘效应与生物多样性. 生物多样性, 8(1): 120–125.]
- Lu LS, Jin DY, 2005. Progress of human society and vicissitudes of *Osmia* population. The 6th National Youth Academic Seminar of China Insect Society. Heilongjiang. 24–28. [吕龙石, 金大勇, 2005. 人类社会的进步与壁蜂种群的盛衰. 中国昆虫学会第六届全国青年学术讨论会. 黑龙江. 24–28.]
- Shi JH, Lin ZG, Ping S, 2014. Shallow talk on the advantages of pollination by bees for crops. *Apiculture of China*, 65(5): 28–30. [施金虎, 蔺哲广, 平舜, 2014. 浅谈蜜蜂为农作物授粉的优势. 中国蜂业, 65(5): 28–30.]
- Wang FH, Yang P, 2008. The pollination of mason bees on several fruit trees in China and its application. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(6): 862–868. [王凤鹤, 杨甫, 2008. 中国几种果树传粉壁蜂授粉技术与开发. 昆虫知识, 45(6): 862–868.]
- Wang JZ, Xue XM, Lu C, 2010. Apple production status and development countermeasures in China. *Shandong Agricultural Sciences*, (6): 117–119. [王金政, 薛晓敏, 路超, 2010. 我国苹果生产现状与发展对策. 山东农业科学, (6): 117–119.]
- Wang RM, Shi XY, Li HJ, 2005. Experiment of *Osmia* pollination to improve fruit setting rate of Fuji apple. *Deciduous Fruits*, (1): 40–41. [王荣敏, 史西月, 李慧娟, 2005. 壁蜂授粉提高富士苹果坐果率的试验. 落叶果树, (1): 40–41.]
- Wei YP, Yuan F, Zhang YL, Wang YH, 2000. The reproductive characteristics of *Osmia excavata* Alfken. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 9(3): 35–38. [魏永平, 袁锋, 张雅林, 王亚红, 2000. 凹唇壁蜂繁殖特性研究. 西北农业学报, 9(3): 35–38.]
- Wu YY, Zhou T, Wang Q, Dai PL, 2013. Advance in phenomenon of colony collapse disorder. *Progress in Veterinary Medicine*, 34(5): 95–99. [吴艳艳, 周婷, 王强, 代平礼, 2013. 蜂群衰竭失调现象研究进展. 动物医学进展, 34(5): 95–99.]
- Xu HL, 1994. *Sapyga coma*-a dangerous parasitic wasp pollinated by fruit trees. *China Fruits*, (2): 26–27. [徐环李, 1994. 叉唇寡毛土蜂——果树授粉壁蜂的危险寄生蜂. 中国果树, (2): 26–27.]
- Zhao ZH, Ouyang F, He DH, 2012. Edge effects and spillover effects of natural enemies on different habitat interfaces of agricultural landscape. *Scientia Sinica Vitae*, 42(10): 825–840. [赵紫华, 欧阳芳, 贺达汉, 2012. 农业景观中不同生境界面麦蚜天敌的边缘效应与溢出效应. 中国科学: 生命科学, 42(10): 825–840.]