

西方蜜蜂和地熊蜂为紫花苜蓿授粉效果比较*

郭媛** 宋卓琴 张旭凤 宋怀磊 武文卿 邵有全

(山西省农业科学院园艺研究所, 太原 030031)

摘要 【目的】为了解决紫花苜蓿传粉昆虫不足的问题, 提高苜蓿种子产量。【方法】比较了西方蜜蜂 *Apis mellifera* 和地熊蜂 *Bombus terrestris* 采集规律及为苜蓿授粉的效果。【结果】发现两种蜂日工作时间和出巢温度没有显著差异, 但采集行为不同, 地熊蜂利用体重优势更容易打开龙骨瓣, 访花频率显著高于意大利蜜蜂, 单花访问时间短于意大利蜜蜂, 二者授粉后结荚率及单株产量没有显著差异。蜂种、携粉回巢率、访花频率是影响苜蓿种子生产的主要因素。【结论】试验数据表明意大利蜜蜂和地熊蜂为苜蓿传粉效果都很好, 但意大利蜜蜂饲养管理技术成熟, 价格低廉, 适合苜蓿制种及规模化生产中应用。

关键词 意大利蜜蜂, 地熊蜂, 紫花苜蓿, 传粉行为, 授粉效果

Comparison of pollinating effects for the alfalfa between *Apis mellifera* L. and *Bombus terrestris* L.

GUO Yuan** SONG Zhuo-Qin ZHANG Xu-Feng SONG Huai-Lei

WU Wen-Qing SHAO You-Quan

(Institute of Horticulture, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract [Objectives] To solve the problem of insufficient pollinating insects for alfalfa and improve seed production. [Methods] The pollination of alfalfa by *Apis mellifera* and *Bombus terrestris* was compared. [Results] There was no significant difference in daily working time and preferred foraging temperature of each species, but their foraging behavior differed significantly. *Bombus terrestris* were more likely to open the carina due to their greater body weight and made significantly more visits to flowers than *Apis mellifera*. However, they spent less time visiting individual flowers than *Apis mellifera*. There was no significant difference in fruiting rate and yield per plant after pollination by each species. Bee species, the rate of carrying pollen to nests and flower visiting frequency, are the main factors that affect alfalfa seed production. [Conclusion] *Apis mellifera* and *Bombus terrestris* are both effective pollinators of alfalfa, but *Apis mellifera* is more suitable for large-scale alfalfa seed production because of the more established management technology available for this species and their relatively low cost.

Key words *Apis mellifera*, *Bombus terrestris*, alfalfa, pollinating behavior, pollinating effect

紫花苜蓿 *Medicago sativa* 是一种优良的牧草, 因其蛋白质含量丰富, 在奶牛饲养中作为主要粗饲料广泛使用 (杨青川和孙彦, 2011)。近年来随着国家对奶牛饲料的重视及人类健康的关注, 我国苜蓿种植稳步发展, 种植面积和草产品数量逐年增加 (路复员和岳喜新, 2011), 但由于生产管理落后及授粉不足, 苜蓿数量、质量

和种子产量都不能满足生产需求 (卢欣石, 2013), 优质苜蓿依赖进口, 限制了我国本土苜蓿的发展 (孙启忠等, 2012)。随着我国退耕还林政策的实施及农业种植业结构的调整, 苜蓿产业化种植趋势明显, 对种子的需求越来越大, 所以解决种子产量低下的问题就尤为重要。

种子的丰产除与光照、温度等环境条件及水

*资助项目 Supported projects: 现代农业产业技术体系 (蜜蜂) 建设项目 (CARS-44-KXJ2)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: yysgy3@163.com

收稿日期 Received: 2017-06-12, 接受日期 Accepted: 2017-09-27

肥管理等因素有关外,授粉是否充足也直接影响种子产量 (Rosellini *et al.*, 2001; O'Neill *et al.*, 2004; 王志锋等, 2007)。紫花苜蓿属于虫媒异花授粉植物,其花器打开过程中具有特殊的弹花机制,只有传粉昆虫通过外力作用,才能使龙骨瓣解构弹开,露出柱头,从而完成授粉(姜华等, 2003)。研究表明苜蓿野生传粉昆虫主要为蜜蜂科 (Apidae)、地蜂科 (Andrenidae)、熊蜂科 (Bombidae) 等昆虫 (刘红平等, 2008; 王玉祥等, 2013), 其中苜蓿切叶蜂 *Megachile rotundata* (Richard, 1991)、熊蜂属 (*Bombus*) (鲁挺等, 1988)、中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* (杨彩霞等, 2002)、西方蜜蜂 *Apis mellifera* (严林和梅洁人, 1996) 等蜂种是优势传粉昆虫,具有良好的授粉效果。为了更好地利用现有传粉昆虫资源,提高苜蓿授粉效果,石风善等 (2009) 研究了高加索蜜蜂对紫花苜蓿的授粉效果,表明其可以显著提高苜蓿种子产量,姜华等 (2004) 研究表明不同紫花苜蓿品种间蜜蜂访花数量有差异的主要原因是花朵的大小,张爱勤等 (2005) 认为昆虫传粉效率低是导致其种子产量低下的主要因素之一,张青文等 (1999) 研究苜蓿切叶蜂对苜蓿种子的增产效应发现随着与蜂箱距离的增加,授粉效应降低。

西方蜜蜂和地熊蜂是生产中常用的传粉昆虫,具有很好的授粉效果,但尚未见到应用于苜蓿授粉的研究。本文比较了这两个蜂种对苜蓿的授粉效果,旨在为提高苜蓿授粉效果,高效、合理利用传粉昆虫提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

试验于 2014、2015、2016 连续 3 年的 5—6 月在山西省农业科学院园艺研究所试验田进行,地点位于山西太原市。太原属北温带大陆性气候,年平均气温 9.5℃,无霜期平均 202 d,年均降水量 456 mm,海拔 800 m。苜蓿在太原花期为 5 月下旬到 6 月中下旬。

1.2 供试材料

试验苜蓿品种为紫花苜蓿 *Medicago sativa* L., 2013 年 9 月播种,生长过程采用日常田间管理及施肥方法。西方蜜蜂 *Apis mellifera* L. 由山西省农科院园艺所授粉示范蜂场益民蜂业专业合作社提供,每群约有 500~600 只工蜂;地熊蜂 *Bombus terrestris* L. 由吉林养蜂科学研究所提供,每群约有 50 只左右工蜂。

1.3 试验方法

在试验地选择 3 m×4 m 的地块,分别用长 4 m,宽 3 m,高 2 m 的纱网隔离成蜜蜂授粉区、熊蜂授粉区、空白对照区,每处理 3 个重复。在试验地阳光不能直射的位置悬挂 ZDR-20b 温湿度记录仪,记录温度。

在西方蜜蜂及地熊蜂巢门口安装摄像头,记录其出归巢时间、日工作时间,连续记录 10 d。并根据录像资料统计每天 8:00—19:00 之间蜜蜂及熊蜂携粉归巢率,每小时统计 5 min。同时在西方蜜蜂及地熊蜂授粉区各选 5 株苜蓿植株,架设摄像头摄录两种蜂采集行为。用秒表和计数器记录两种蜂单花访问时间及访花频率,每种蜂统计 50 只。采收不同处理的苜蓿成熟种子,统计结荚率、每荚种子数、种子千粒重及单株产量。

1.4 数据统计及分析

用 SPSS18.0 软件进行数据统计及方差分析 (ANOVA),并对数据的差异显著性进行 Duncan's 多重比较,用 sigmaplot12.5 软件作图分析,用 Adobe Photoshop CS5 及 Adobe Illustrator CS6 处理图片。

2 结果与分析

2.1 西方蜜蜂及地熊蜂采集行为

西方蜜蜂采粉时用中足和后足踩踏在花朵的翼瓣上,同时前足抱握住龙骨瓣,头部向前一拱,龙骨瓣打开,大量花粉弹到蜜蜂头部,蜜蜂会用前足将花粉刷下。大部分情况下蜜蜂在旗瓣的对面采集,因此龙骨瓣弹开的时候并不会吓跑

蜜蜂,只有龙骨瓣弹到蜜蜂腹部的时候会将蜜蜂弹开,这种情况比较少。在同个花序上蜜蜂一般一次采集相邻的 1~3 朵花,然后飞起来搜寻同一花序其它位置的花朵继续采集,不会采集同一花序的所有花,采集完一个花序后继续在花间飞行搜索下一个花序,整个采集过程实现了花粉的异株传播。采集花蜜的西方蜜蜂会直接从龙骨瓣侧面将喙伸到花冠底部吸取花蜜,而不会碰到龙骨瓣(图 1)。

地熊蜂因为个头大,采粉时直接用中足和后足抱住整个花冠,或者将后足踩踏到别的花瓣上,前足抱住龙骨瓣,有拖拽的动作,直接将龙骨瓣打开,然后用前足将弹到头部及身上的花粉刷到后足的花粉筐中。个别情况下,地熊蜂会被弹开的龙骨瓣吓到飞走,但紧接着又会飞回来继续采集。苜蓿盛花期地熊蜂会对一个花序中的每朵花逐个采集,这个过程中会将身体上携带的花粉传到花的柱头上完成授粉。地熊蜂采蜜的过程与西方蜜蜂相似,也是直接将喙伸入花冠底部吸

蜜,不会碰到龙骨瓣而使其弹开(图 2)。

2.2 西方蜜蜂及地熊蜂日活动规律、

西方蜜蜂出巢晚于地熊蜂,回巢也晚,二者日工作时间及开始出巢温度均没有显著差异。比较两种蜂访花行为发现,地熊蜂访花频率为 25.41 朵/min,高于西方蜜蜂的 20.59 朵/min,单花访问时间 2.8 s,短于西方蜜蜂的 4.17 s,二者存在显著差异,说明地熊蜂访花效率更高(表 1)。

2.3 西方蜜蜂及地熊蜂采集规律

传粉昆虫出巢活动的主要目的是采粉、采蜜及采水,从图 3 可知,由于意蜂群势高于地熊蜂,一天内各个时间段的出巢蜂量均高于地熊蜂。与苜蓿授粉密切相关的行为是西方蜜蜂和地熊蜂在棚内采集花粉的行为,统计比较两个蜂种每天 8:00—19:00 之间的出巢蜂量及携粉回巢蜂数,每个整点统计 5 min,比较携带花粉回巢蜂的比例,可以分析两种蜂为苜蓿传粉的效率。从图 4 可以看出,在 8:00 到 10:00 之间两种蜂携粉回巢



图 1 西方蜜蜂采集苜蓿花
Fig. 1 *Apis mellifera* visiting alfalfa flowers



图 2 地熊蜂采集苜蓿花
Fig. 2 *Bombus terrestris* visiting alfalfa flowers

表 1 西方蜜蜂和地熊蜂访花行为
Table 1 The foraging behavior of *Apis mellifera* and *Bombus terrestris*

蜂种 Bee species	日工作时间 (h) Daily working time	出巢采集温度 (°C) Foraging temperature	访花频率 (朵/min) Frequency of visiting flowers (per min)	单花访问时间 (s) The visiting time of a single flower
西方蜜蜂 <i>A. mellifera</i>	14.20±0.17a	17.10±0.74a	20.59±0.53A	4.17±0.24A
地熊蜂 <i>B. terrestris</i>	14.06±0.23a	17.07±0.80a	25.41±0.84B	2.80±0.17B

表中数据为平均值±标准误,同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),不同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 in the table are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, while followed by the capital letters indicate extremely significant difference at 0.01 level by Duncan's multiple range test. The same below.

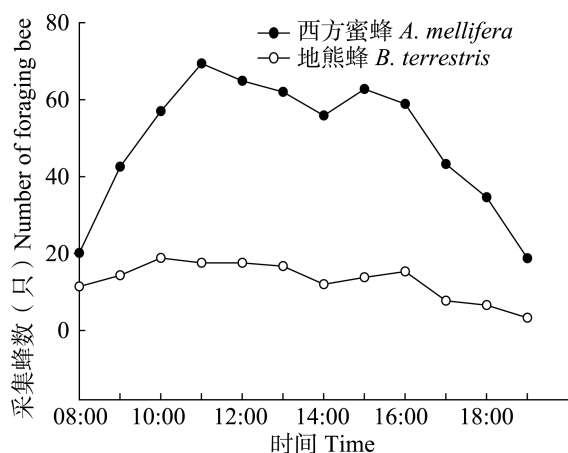


图3 西方蜜蜂和地熊蜂各时间段出巢蜂量

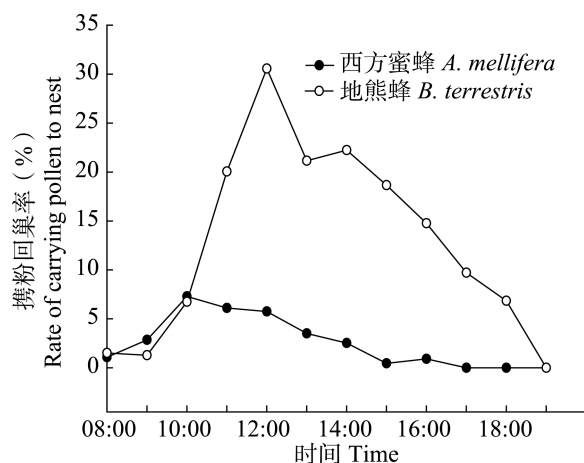
Fig. 3 Number of *Apis mellifera* and *Bombus terrestris* foraging out in each time

图4 西方蜜蜂和地熊蜂携粉回巢率比较

Fig. 4 Compared rate of carrying pollen to nest between *Apis mellifera* and *Bombus terrestris*

率差别不大,从 11:00 开始地熊蜂携粉回巢率明显高于西方蜜蜂,在 12:00 地熊蜂携粉回巢率最高,可达 30.57%,平均携粉率 12.80%。西方蜜蜂 10:00 携粉回巢率最高,为 7.29%,平均携粉回巢率为 2.54%。

2.4 不同蜂种授粉效果比较

西方蜜蜂为苜蓿授粉结荚率为 65.79%,每荚种子数 5.25 个,地熊蜂授粉后结荚率为 71.41%,每荚种子数 4.67 个,二者没有显著差异,但均显著高于空白对照。说明苜蓿自花授粉结实率很低,需要昆虫为其传粉,而西方蜜蜂及地熊蜂均能有效的为苜蓿传粉。地熊蜂授粉后苜

蓿种子千粒重 0.978 g,单株产量 13.41 g,显著高于西方蜜蜂授粉后的 0.931 g 和 9.82 g,说明地熊蜂在网棚内为苜蓿授粉的效果更好(表 2)。

2.5 苜蓿种子生产影响因素分析

苜蓿授粉后种子生产情况与蜂种、访花频率、携粉回巢率、采粉蜂数等因素的相关性分析见图 5。由图 5 可知,苜蓿种子千粒重与访花频率呈显著相关性 ($P < 0.05$),与蜂种、携粉回巢率的相关性达到极显著水平 ($P < 0.01$)。株产与携粉回巢率呈显著相关性 ($P < 0.05$),结荚率、种子千粒重、株产、每荚种子数等与采粉蜂数没有明显相关性。说明授粉蜂种及其采集行为是决定苜蓿授粉是否成功和种子生产的关键因素。

3 讨论与结论

蜜蜂出巢与温度、光照、湿度等多种因素有关(陈盛禄,2001),苜蓿在山西的花期为 5 月下旬到 6 月中上旬,这时气温高,光照充足,工蜂在 5:00 左右即可出巢,因此西方蜜蜂和地熊蜂出巢温度没有差异,均在 17℃ 左右。西方蜜蜂出巢时间稍晚于地熊蜂,但归巢时间也晚,所以两种蜂日工作时间没有差异。

地熊蜂体型大,利用自身重量优势可以很容易打开苜蓿花的龙骨瓣实现传粉,因此地熊蜂访花频率快于西方蜜蜂,这与明亮熊蜂为温室桃(安建东等,2007)及草莓(李继莲等,2006)授粉的研究结果一致。

试验所用地熊蜂群势为 50 只左右,西方蜜蜂工蜂有 500~600 只,二者蜂量的差异导致西方蜜蜂出巢蜂数量在各时间段均高于地熊蜂。但两种蜂采集目的有差异,地熊蜂更喜欢采集花粉,而西方蜜蜂采粉同时还要采集花蜜,尤其在 11:00 以后,许多西方蜜蜂工蜂出巢采集花蜜,因此西方蜜蜂平均携粉回巢率 2.54%,远低于地熊蜂的 12.80%。采集蜂访花数量越大,对授粉

及种子生产越有利(何承刚等,2005),因此地熊蜂专一采集花粉更有利于苜蓿授粉。

在没有昆虫授粉的情况下,紫花苜蓿结荚率

表 2 西方蜜蜂和地熊蜂为苜蓿授粉效果比较
Table 2 Comparison of the pollination effects for the alfalfa by *Apis mellifera* and *Bombus terrestris*

处理 Treatment	结荚率 (%) Rate of podding (%)	每荚种子数 (个) Number of seeds per pod	种子千粒重 (g) Thousand seed weight (g)	单株产量 (g) Yield of single plant (g)
西方蜜蜂 <i>A. mellifera</i>	65.79±2.55a	5.25±0.25a	0.931±0.005a	9.82±1.39b
地熊蜂 <i>Bombus terrestris</i>	71.41±2.99a	4.67±0.28a	0.978±0.003b	13.41±2.32b
空白对照 CK	0.85±0.35b	0.83±0.15b	—	0.21±0.04a

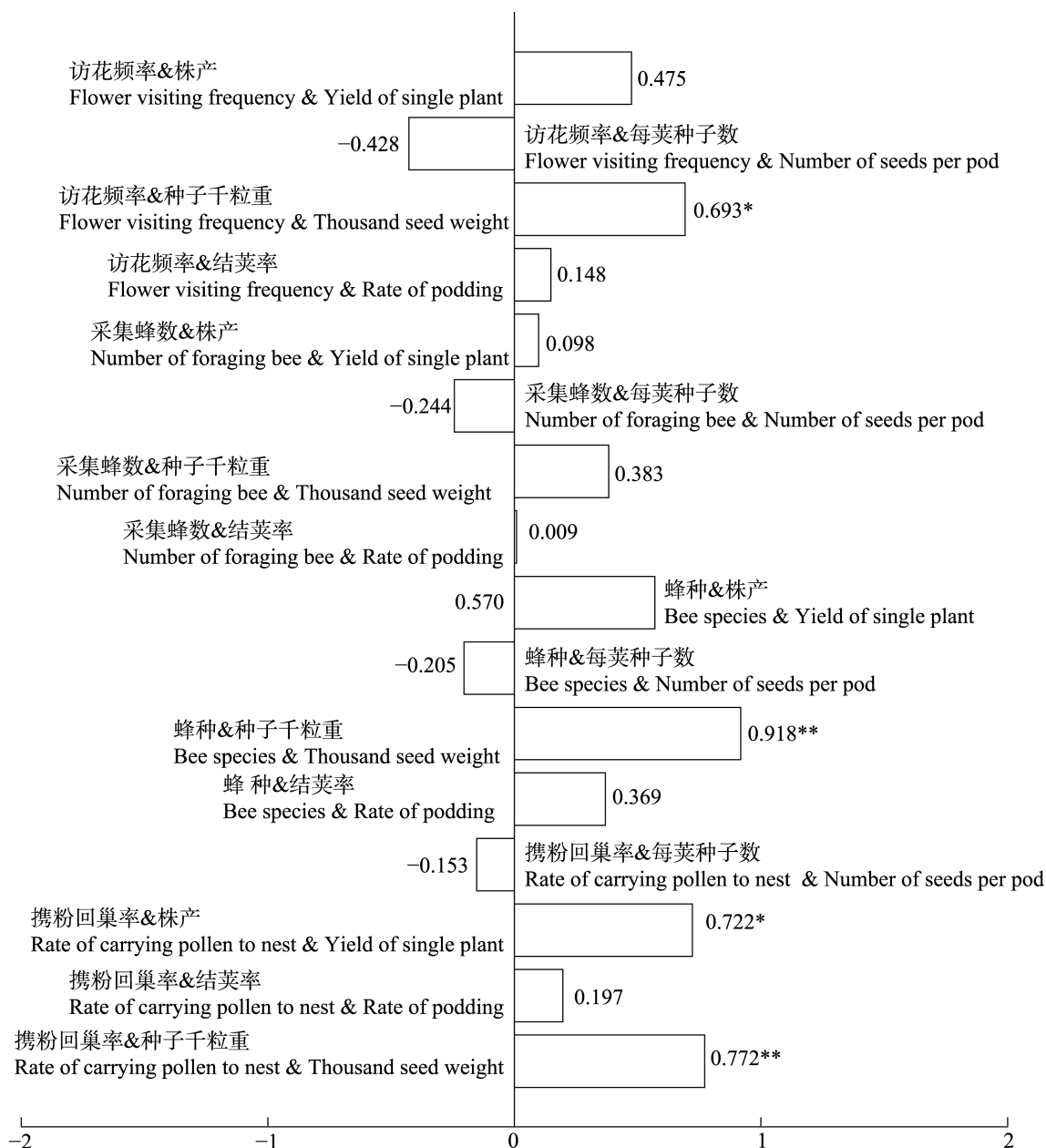


图 5 苜蓿种子生产影响因素分析

Fig. 5 Analysis of affecting factors on alfalfa seed production

*表示具有显著相关性 ($P<0.05$), **表示有极显著相关性 ($P<0.01$)

* indicates a significant correlation ($P<0.05$), ** indicates an extremely significant correlation ($P<0.01$).

为 0.85%, 种子几乎没有产量, 说明紫花苜蓿属于异花虫媒植物, 必须依靠昆虫传粉。西方蜜蜂授粉结荚率 65.79%, 单株产量 9.82 g, 虽低于地熊蜂的 71.41% 及 13.41 g, 但二者没有显著差异, 说明两种蜂均可以为紫花苜蓿有效传粉, 并显著提高种子产量。但地熊蜂授粉后种子更加饱满, 单株产量显著高于西方蜜蜂, 说明地熊蜂在网棚内为紫花苜蓿授粉效果好于西方蜜蜂。

苜蓿授粉及种子生产的决定性因素是授粉蜂种及其对苜蓿的访花频率、携粉回巢率等采集行为。苜蓿授粉公认的最有效的传粉昆虫是苜蓿切叶蜂, 但由于农药的大量使用、毁林开荒对昆虫栖息环境的破坏、苜蓿大面积连片种植模式使传粉昆虫食物链单一等原因造成野生苜蓿切叶蜂数量远远不能满足苜蓿授粉的需求; 人工繁殖苜蓿切叶蜂蜂茧羽化率低, 受环境及病虫害等因素影响大, 造成本土苜蓿切叶蜂大规模繁育困难(刘晨曦等, 2004); 国外引进蜂种又存在疫病的风险(于师宇, 2014), 因此苜蓿规模化生产中很少能用到苜蓿切叶蜂。熊蜂授粉效率高, 但因群势小, 价格昂贵, 一般在棚室中应用较多(董捷等, 2011; 江伟等, 2014), 本试验研究结果表明地熊蜂是理想的苜蓿传粉昆虫, 但因群势比西方蜜蜂小很多, 当其在大面积网棚或大田应用时会造成制约。

本研究表明, 西方蜜蜂为苜蓿授粉结荚率高, 种子饱满, 可以保证产量。而且西方蜜蜂进化程度高, 易于饲养管理, 大规模应用时可以充足供应, 是苜蓿制种及大规模生产的理想授粉蜂种。

参考文献 (References)

- An JD, Wu J, Peng WJ, Tong YM, Guo ZB, Li JL, 2007. Foraging behavior and pollination ecology of *Bombus lucorum* L. and *Apis mellifera* L. in greenhouse peach garden. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(5): 1071–1076. [安建东, 吴杰, 彭文君, 童越敏, 国占宝, 李继莲, 2007. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂在温室桃园的访花行为和传粉生态学比较. 应用生态学报, 18(5): 1071–1076.]
- Chen SL, 2001. Chinese Apiculture. Beijing: China Agricultural Press. 178–196. [陈盛禄, 2001. 中国蜜蜂学. 北京: 中国农业出版社. 178–196.]
- Dong J, An JD, Huang JX, Zhou ZY, Zhao YZ, Xing YH, 2011. Effects of pollination by different bees on peach fruit development and quality under greenhouse conditions. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 19(4): 836–842. [董捷, 安建东, 黄家兴, 周志勇, 赵亚周, 邢艳红, 2011. 不同蜂传粉对设施桃果实生长发育和品质的影响. 中国生态农业学报, 19(4): 836–842.]
- He CG, Bi YF, Jiang H, Zhou H, 2005. Effects of alfalfa nectar amount and visiting bees number on alfalfa seed yield. *Chinese Journal of Ecology*, 24(12): 1388–1391. [何承刚, 毕玉芬, 姜华, 周禾, 2005. 紫花苜蓿的花蜜量和访花蜜蜂数量对种子产量的影响. 生态学杂志, 24(12): 1388–1391.]
- Jiang W, Ma JF, Zhang CY, Wen S, 2014. Application of different pollination methods in cherry and tomato production. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, (10): 1530–1531. [江伟, 马建芳, 张成义, 闻飒, 2014. 不同授粉方式在樱桃番茄生产上的应用试验. 浙江农业科学, (10): 1530–1531.]
- Jiang H, Bi YF, He CG, Zhang J, 2003. A study on alfalfa pollinating mechanism and relationship of pollinating insects. *Pratacultural Science*, 20(1): 1–6. [姜华, 毕玉芬, 何承刚, 张军, 2003. 苜蓿授粉机理及其与传粉昆虫的关系. 草业科学, 20(1): 1–6.]
- Jiang H, Bi YF, Zhou H, He CG, 2004. Interrelations of bee visitation and floral features in alfalfa. *Acta Entomologica Sinica*, 47(5): 618–623. [姜华, 毕玉芬, 周禾, 何承刚, 2004. 蜜蜂访花与不同品种紫花苜蓿花部特征的相关性. 昆虫学报, 47(5): 618–623.]
- Li JL, Peng WJ, Wu J, An JD, Guo ZB, Tong YM, Huang JX, 2006. Strawberry pollination by *Bombus lucorum* and *Apis mellifera* in greenhouses. *Acta Entomologica Sinica*, 49(2): 342–348. [李继莲, 彭文君, 吴杰, 安建东, 国占宝, 童越敏, 黄家兴, 2006. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂为温室草莓的授粉行为比较观察. 昆虫学报, 49(2): 342–348.]
- Liu CX, Qin YC, Chen HY, Song DL, 2004. Advance on the study of *Megachile rotundata* and its application in China. *Entomological Knowledge*, 41(6): 519–522. [刘晨曦, 秦玉川, 陈红印, 宋敦伦, 2004. 苜蓿切叶蜂在我国的研究与应用现状. 昆虫知识, 41(6): 519–522.]
- Liu HP, Li XX, Wang XJ, 2008. Pollinating insect species and the foraging behaviors on *Medicago sativa*. *Chinese Journal of Ecology*, 27(5): 780–784. [刘红平, 李晓霞, 王晓娟, 2008. 紫花苜蓿的传粉昆虫种类及其访花行为. 生态学杂志, 27(5): 780–784.]
- Lu XS, 2013. The industry development and thinking of alfalfa in

- China. *Chinese Dairy Cattle*, (15): 3–6. [卢欣石, 2013. 我国苜蓿商品草产业发展现状与思考. *中国奶牛*, (15): 3–6.]
- Lu FY, Yue XX, 2011. Alfalfa market supply and demand status and quality evaluation in China. *Chinese Dairy Cattle*, (23): 45–47. [路复员, 岳喜新, 2011. 中国苜蓿草市场供求现状及品质评定. *中国奶牛*, (23): 45–47.]
- Lu T, Luo WG, Ma ZH, Dou Y, Wu ZJ, 1988. A study on wild bees—pollination insect for legumes. *Chinese Journal of Grassland*, (2): 9–13. [鲁挺, 罗文光, 马占海, 窦勇, 吴志洁, 1988. 豆科牧草传粉昆虫—野蜜蜂的研究. *中国草地学报*, (2): 9–13.]
- O'Neill KM, O'Neill RP, Blodgett S, Fultz J, 2004. Composition of pollen loads of *Megachile rotundata* in relation to flower diversity (Hymenoptera: Megachilidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 77(10): 619–625.
- Richard KW, 1991. Effectiveness of the alfalfa leafcutter bee as a pollinator of legume forage crops. *Acta Horticulture*, 288: 180–184.
- Rosellini D, Pezzotti M, Veronesi F, 2001. Characterization of transgenic male sterility in alfalfa. *Euphytica*, 118: 313–319.
- Shi FS, Liu XW, Yu WQ, Gao FC, Zhang CF, Chen DX, Wang QS, 2009. Effect of *Apis mellifera* on pollinizing effectiveness of Russian alfalfa. *Pratacultural Science*, 26(8): 147–151. [石风善, 刘祥伟, 于文全, 高夫超, 张春峰, 陈德祥, 王庆胜, 2009. 高加索蜜蜂对俄罗斯紫花苜蓿授粉的效果. *草业科学*, 26(8): 147–151.]
- Sun QZ, Yu Z, Xu CC, 2012. Urgency of further developing alfalfa industry in China. *Pratacultural Science*, 29(2): 314–319. [孙启忠, 玉柱, 徐春城, 2012. 我国苜蓿产业亟待振兴. *草业科学*, 29(2): 314–319.]
- Wang YX, Wang HY, Li CJ, Chen AP, Chen SM, Zhang B, 2013. Survey on the pollination insect species during flowering of *Medicago sativa*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 29(32): 44–48. [王玉祥, 王宏洋, 李陈建, 陈爱萍, 陈述明, 张博, 2013. 苜蓿花期访花昆虫种类调查. *中国农学通报*, 29(32): 44–48.]
- Wang ZF, Xu AK, Yang YF, 2007. Current study situation of Alfalfa seed yield in China. *Pratacultural Science*, 24(7): 43–50. [王志锋, 徐安凯, 杨允菲, 2007. 我国苜蓿种子丰产研究现状. *草业科学*, 24(7): 43–50.]
- Yan L, Mei JR, 1996. An investigation of the species of alfalfa and the natural enemies of pests in Qinghai province. *Plant Protection*, 22(5): 24–25. [严林, 梅洁人, 1996. 青海省紫花苜蓿病虫害种类及害虫天敌的调查. *植物保护*, 22(5): 24–25.]
- Yang CX, Zhang R, Liu H, Gao LY, Ma JH, 2002. The resources investigation of alfalfa visiting insects in Ningxia. *Agriculture and Forestry Technology of Ningxia*, (1): 11–13. [杨彩霞, 张蓉, 刘浩, 高立原, 马建华, 2002. 宁夏苜蓿昆虫资源的调查. *宁夏农林科技*, (1): 11–13.]
- Yang QC, Sun Y, 2011. The history, current situation and development of alfalfa breeding in China. *Chinese Journal of Grassland*, 33(6): 95–100. [杨青川, 孙彦, 2011. 中国苜蓿育种的历史、现状与发展趋势. *中国草地学报*, 33(6): 95–100.]
- Yu SY, 2014. The risk analysis of introducing alfalfa leaf bee from Canada. Annual Meeting of Chinese Animal Husbandry and Veterinary Medicine. Guangzhou. [于师宇, 2014. 从加拿大引进苜蓿切叶蜂的风险分析. 中国畜牧兽医学会年会. 广州.]
- Zhang AQ, Tan DY, Zhu JZ, 2005. Analysis on the pollination character and factors limiting the seed yield of alfalfa in pollination. *Pratacultural Science*, 22(11): 40–45. [张爱勤, 谭敦炎, 朱进忠, 2005. 苜蓿传粉特性及其制约种子产量形成的因素分析. *草业科学*, 22(11): 40–45.]
- Zhang QW, Zhang WW, Cai QN, Chen HM, 1999. Dispersal behavior of alfalfa leafcutter bees of pollination and its effect of increasing alfalfa seed production. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 10(5): 606–608. [张青文, 张巍巍, 蔡青年, 陈合明, 1999. 苜蓿切叶蜂授粉扩散行为及苜蓿种子增产效应的研究. *应用生态学报*, 10(5): 606–608.]