



王华堂, 李良斌, 陈海玉, 张学锋, 陈隆达, 赵红霞. 中蜂的传粉作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (1): 84–91.

中蜂的传粉作用研究

王华堂², 李良斌¹, 陈海玉¹, 张学锋¹, 陈隆达³, 赵红霞^{1*}

(1. 广东省科学院动物研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广州 510260;

2. 湖南文理学院生命与环境科学学院, 湖南常德 415000; 3. 丰顺县动物卫生监督所, 广东梅州 514300)

摘要: 蜜蜂授粉在维持自然生态系统的平衡与发展过程中发挥着重要作用, 也与农业生态系统中农作物的增产及品质提升有着密切联系。中蜂 (中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*) 是我国特有的蜜蜂遗传资源, 广泛分布于除新疆以外的华南、中南、西南、西北、华北及东北等地区, 野生资源丰富、民间饲养基础好, 种群数量大, 是本土开花植物的重要传粉昆虫, 但其传粉作用未受到足够重视, 中蜂传粉产业化发展进程缓慢。本文主要综述了中蜂的传粉生物学特性, 中蜂传粉作用对农作物产量和品质的影响以及其生态学意义, 并结合当前中蜂传粉产业发展过程中存在的一些主要问题, 对中蜂传粉产业的发展方向进行了展望, 旨在进一步促进中蜂传粉作用在其应用领域得到最佳效益, 为推动中蜂传粉在我国农林业生产和特定生态系统保护等方面的应用提供参考。

关键词: 中蜂; 传粉; 生态学; 农作物

中图分类号: Q968.1; S89

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 01-0084-08

Progress in pollination by *Apis cerana cerana*

WANG Hua-Tang², LI Liang-Fu¹, CHEN Hai-Yu¹, ZHANG Xue-Feng¹, CHEN Long-Da³, ZHAO Hong-Xia^{1*} (1. Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, China; 2. College of Life and Environmental Science, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, Hunan Province, China; 3. Animal Husbandry and Veterinary of Fengshun Country, Meizhou 514300, Guangdong Province, China)

Abstract: Honeybee pollination is a very important link in natural ecosystem, and it is also a key step related with the yield and quality improvement of crops in agricultural ecosystem. *Apis cerana cerana* is the most important insect-pollinators of flowering plants in China, and it is widely distributed in China except Xinjiang Uygur Autonomous Region. *A. cerana cerana* has the comparative advantage of wide distribution, good foundation for artificial breeding, and great population amount, therefore as pollination insect can be widely used and has a great development potentiality. Yet the pollination by *A. cerana cerana* has not been paid enough attention, and the industrialization development of bee pollination industry of *A. cerana cerana* is slow. In this paper, we mainly summarized the main pollination features of *A. cerana cerana* as insect-pollinators, the effects of pollination by *A. cerana cerana* on yield and quality of crops, and the ecological meaning of pollination by *A. cerana cerana*. Furthermore, this paper was also put forward the main problems in development of the bee pollination industry of *A. cerana cerana* in China, and the future

基金项目: 广州市科技计划项目 (202103000009); 国家蜂产业技术体系建设专项资金“蜂体系广州综合试验站” (CARS-44-SYZ11); 湖南文理学院博士启动基金项目 (19BSQD21); 常德市科学技术局科技创新发展专项资金项目 (2020C125)

作者简介: 王华堂, 博士, 研究方向为蜜蜂生物学, E-mail: wanghuatang326@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 赵红霞, 博士, 副研究员, 研究方向为蜜蜂保护及蜜蜂生物学, E-mail: hxzh110@126.com

收稿日期 Received: 2020-12-14; 接受日期 Accepted: 2021-08-21

research focuses were discussed. All these efforts would be helpful for conservation and further utilization of *A. cerana cerana*, and widely used in local agricultural production and natural ecosystem protection as the key insect-pollinators.

Key words: *Apis cerana cerana*; pollination; ecology; crop

人类栽种的大部分农作物属虫媒植物, 通过传粉昆虫的传粉可以显著提高农作物的产量, 并改善农作物的品质 (安建东等, 2011)。据 Klein 等 (2007) 报道, 全世界可为人类提供食物的 124 种主要农作物中, 约有 87 种主要农作物有赖于传粉昆虫的传花授粉。蜜蜂作为一种重要的经济资源昆虫, 不仅能够为人类提供丰富多样的蜂产品, 更是自然界中数量最多的传粉昆虫, 约占传粉昆虫群体总量的 80% (卜元卿等, 2009)。据联合国粮食与农业组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 估计, 全球每年由蜜蜂等传粉昆虫为全球农作物传粉的增产价值则高达 2 000 亿美元以上, 占全球可食用农产品总产值的 9.5% (Gallai *et al.*, 2009)。在我国, 每年由蜜蜂传粉对 36 种主要农作物生产贡献的经济价值达 3 042.20 亿元, 是养蜂业总产值的 76 倍 (刘朋飞等, 2011; 李海燕, 2012)。然而, 自 20 世纪 40 – 50 年代以来, 由于人类的干扰、环境的恶化以及杀虫剂和除草剂等化学农药在农业生产中的大量应用, 致使野生传粉昆虫数量逐年锐减, 人工饲养蜜蜂的传粉作用则愈显突出 (李志勇等, 2014)。

蜜蜂授粉是农业增产的重要措施, 也是维持生态系统平衡的重要自然手段 (褚亚芳等, 2009; 吴杰等, 2014)。中蜂 (中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*) 作为我国特有的本土蜜蜂品种, 距今已有 7 000 多万年的进化史 (吉挺, 2009; 徐浩, 2021)。在西方蜜蜂 – 意蜂 (意大利蜜蜂, *A. mellifera ligustica*) 引进饲养前, 中蜂是我国唯一饲养的蜜蜂品种。据罗岳雄和陈隆达 (2018) 的调查结果, 2016 年底全国中蜂的饲养规模接近 600 万群, 较 2008 年农业部统计的 250 ~ 280 万群有了很大幅度的增长, 是世界上中蜂第一饲养大国。几千万年来, 中蜂在与植物长期的协同进化过程中, 早已适应为我国本土生长的绝大多数开花植物进行传粉, 成为我国本土开花植物进化和繁衍的主要授粉昆虫, 对于我国本土开花植物物种和生物多样性的保护, 以及维持自然生态系统的平衡与发展发挥着不可替代的作用 (杨冠煌,

2009)。因此, 深入研究中蜂的传粉生物学特性、中蜂传粉作用对农作物产量和品质的影响, 以及其生态学意义, 可促进中蜂传粉作用在其应用领域得到最佳效益。本文通过实地调研和文献查阅, 从中蜂的传粉生物学特性、中蜂传粉作用对农作物产量和品质的影响, 及其生态学意义等方面剖析中蜂传粉作用的现状和发展方向, 为继续推动中蜂传粉在农林业生产以及我国自然生态系统保护中的应用提供一点借鉴和思路。

1 中蜂的传粉生物学特性

蜜蜂的访花行为, 是蜜蜂协助植物完成传粉作用的重要生物学基础。访花时, 中蜂和意蜂均采取腹上背下姿势, 从反面竖抱被访花朵的雌雄蕊, 并不停在被访花朵上移动, 身体充分接触花朵雄蕊, 在体表携带大量的花粉, 当其在同种植物的不同花朵之间穿梭采集时, 将身体上携带的花粉带到柱头上, 进而协助植物完成异花传粉 (敖塘堰等, 2021)。据研究观察发现, 与意蜂传粉相比, 中蜂传粉作用的生物学特性主要包括:

中蜂有利于提升低温开花植物的传粉效果。在我国大部分地区, 早春或晚秋时节时, 外界气温往往偏低, 有较长时间的气温处于 10℃ 以下, 而在我国广泛分布的紫苏科、五茄科和山茶科等开花植物大多在晚秋或者早春开花 (邱建生, 2015)。与西方蜜蜂相比, 中蜂具有更好的耐寒性, 开始出巢采集时外界温度明显低于西方蜜蜂, 更适宜在较低的气温条件下为植物进行传粉 (杨爽等, 2010; 刘新宇, 2012)。据周冰峰和许正鼎 (1988) 的观察结果, 中蜂的起始出勤温度为 6.5℃, 而西方蜜蜂一般在 9.5℃ 以上。当蜜源植物花期的环境温度低于 14℃ 时, 中蜂的平均出勤数量是西方蜜蜂的 3 倍 (秦明等, 2017)。虽然在华北、东北及西北地区由于越冬期长, 西方蜜蜂也能够以转场饲养的方式进行传粉, 但是对于那些众多群落分散、开花期不整齐, 在较低温度条件下开花的林木种类和草本植物, 西方蜜蜂并不能很好地适应并为它们传粉, 这将导致许多开花

植物的种子繁育受到严重影响(余林生等, 2001)。

中蜂有利于提升为开花植物传粉的广度和深度。Verma 和 Dulta 等(1986)在研究中蜂和意蜂对苹果花 Apple flower 的访花行为时,发现中蜂出巢访花时间较意蜂早,其出巢时间通常较意蜂早 1 h 左右,且中蜂停止觅食的时间比意蜂要晚。大多数情况下,中蜂的日常访花规律常以双峰格局为主,在上午和下午 2 个时间段均会出现蜂群的出巢采集活动高峰;而意蜂的日常访花规律常以单峰格局为主,其蜂群的出巢采集活动高峰通常出现在中午时间段。中蜂的出巢时间较意蜂早,停止觅食时间较意蜂晚,以及蜂群的出巢采集活动高峰呈现出双峰格局,表明中蜂的日访花活动时间长于意蜂(敖塘堰等,2021)。在地形复杂、早晚气温低和胡蜂等敌害多的南方丘陵和山区等地区,中蜂均能繁衍不断,是意蜂难以做到的(段成鼎,2003)。据韦小平等(2015)的报道,在同一环境区域内,中蜂每日外出采集花粉或蜂蜜的活动时间平均比意蜂多出 2~3 h,且其嗅觉灵敏、行动敏捷,容易发现分散、零星生长于林边或林下的矮小开花灌木或草本植物,尤其是对不鲜艳、白色、无色花和花序复杂的小花朵同样具有很好的选择性,也是意蜂无法比拟的。因此,中蜂对我国本土开花植物传粉的广度和深度均要远远超过意蜂。

2 中蜂传粉作用对农作物产量和品质的影响

作为农作物理想的传粉者,蜜蜂传粉作用在农作物生产中起到的重要作用已为越来越多的人所认识,其传粉的重要性也日益突出,特别是在大面积播种而管理条件差的农业布局中,蜜蜂传粉作用的意义尤为重大,是提高农作物产量的主要措施之一。世界上许多经济发达的国家都十分重视利用蜜蜂为农作物传粉,并取得了明显的经济效益。蜜蜂传粉作用对农作物生产的影响,主要表现在增加农作物的产量和改善农作物的品质两个方面。中蜂和意蜂是我国饲养的两个主要蜜蜂品种,也是为农作物传粉的主力军(解文飞等,2009)。两种蜜蜂的生物学特性各有不同,其传粉作用对不同农作物生产的影响也存在一定的差异。因此,选择合适的蜜蜂品种为不同农作物

传粉,将有利于农作物达到充分授粉的目的。

有关研究表明,中蜂传粉作用对部分农作物的增产效果优于意蜂传粉。如赵尚武等(1985)利用中蜂和意蜂分别为油茶 *Camellia oleifera* Abel. 传粉进行对比研究,实验结果表明,中蜂对油茶传粉的成果率显著高于自然传粉组和意蜂传粉组,中蜂传粉组处理比自然传粉组高出 2~4 倍,比意蜂传粉组处理高出 81% 以上。腾冲红花油茶系山茶属常绿灌木或小乔木,深冬早春开花,将中蜂和意蜂对腾冲红花油茶的传粉效果进行对比,结果表明中蜂传粉组的坐果率和成果率较意蜂传粉组有明显提高,效果更好(李久强,2013)。余玉生等(2010)在观察不同蜂种对洋葱 *Allium cepa* L. 花粉的采集行为时发现,洋葱花在上午泌蜜量最多,采集洋葱花粉的中蜂明显多于意蜂。罗建能等(2002)在对比研究中蜂和意蜂传粉对大棚草莓 *Fragaria ananassa* Duch. 生长的影响时发现,中蜂传粉组较意蜂传粉的对照组可增加草莓果实产量 0.35 kg/m²,畸形果发生率降低 1.8%,中蜂的传粉效果较意蜂理想。李永青等(2018)在对比研究不同蜜蜂传粉对苹果 *Malus pumila* Mill. 生产的影响时发现,与中蜂传粉组相比较,意蜂传粉组的坐果率比中蜂传粉组低 5%,果实糖度低 0.1,推荐在苹果园内首选中蜂进行传粉。

将中蜂传粉后农作物的品质与未经蜜蜂传粉的进行比较,还可以进一步发现中蜂传粉不仅可以明显增加被传粉农作物的产量,在多数情况下亦能同时改善被传粉农作物的品质。陈发军等(2015)通过观察发现,在早春油菜花 *Brassica campestris* 上,中蜂也是最主要访花和传粉的昆虫,中蜂为油菜花传粉与自然传粉比较,油菜籽的产量最高可增加近 25%,出油率最高可提高 10%。宋昌云(2015)以中蜂对南瓜 *Cucurbita moschata* 的授粉进行了研究,结果表明 4 个不同处理区中网内隔离无蜂授粉区、网内人工授粉区座果率与网内强化蜜蜂授粉区、蜜蜂自由授粉区座果率之间存在显著性差异,单果重上,网内隔离无蜂授粉区与其它授粉区有显著性差异。中蜂为蓝莓 *Vaccinium* spp. 传粉效果的研究结果表明,中蜂传粉的蓝莓坐果率显著高于自花传粉,中蜂传粉的坐果率为 82.7%,而蓝莓自花传粉的坐果率仅为 45.5%(樊莹等,2015)。刘俊峰等(2014)通过对比中蜂对黑皮冬瓜 *Benincasa hispida* 传粉与人工传粉的效果,实验结果表明,中蜂传粉可以完全

代替人工传粉, 中蜂传粉不仅能够显著提高黑皮冬瓜的产量, 即单瓜重量提高 8.95%; 同时, 中蜂传粉还可以显著改善黑皮冬瓜的品质, 其中果肉硬度提高 13.85%, 果肉可滴定酸含量提高 9.68%, 果肉蛋白质含量提高 7.58%, 果肉维生素 C 含量提高 5.02%, 果肉厚度提高 4.58%。中蜂为猕猴桃 *Actinidia chinensis* Planch 传粉效果的研究结果表明, 经中蜂授粉后, 猕猴桃果实的坐果率、单果重、可溶性固形物、总糖含量、固酸比、糖酸比和维生素 C 含量均显著高于人工授粉组, 在畸形率和果实硬度方面则显著低于人工授粉组 (赵恬等, 2021)。

3 中蜂传粉作用的生态学意义

中蜂是我国特定生态地理条件下, 自然选择出的一种特有蜜蜂品种。在长期进化过程中, 为适应当地的生态条件, 中蜂已经分化为不同的地理生态型以适应我国多样的生态条件, 从东南沿海地区到青藏高原, 在我国境内除新疆地区外其他各省、自治区和直辖市, 中蜂均能生存和繁衍, 其分布地域之广是其他传粉昆虫无法相比的 (杨冠煌, 1983)。2011 年, 国家畜禽遗传资源委员会在杨冠煌等前人研究的基础上, 提出根据地理位置可以将中蜂划分为海南中蜂、华南中蜂、华中中蜂、云贵高原中蜂、滇南中蜂、阿坝中蜂、北方中蜂、长白山中蜂和西藏中蜂 9 个地理生态型, 不同地理生态型中蜂在其形态结构、采集行为和体色等遗传性状方面均有所不同, 形成了其特有的生物学特性 (周冰峰等, 2018; 吕言, 2020)。蜜蜂的进化是与植物相协同的, 实验测定数据亦表明, 中蜂与我国自然环境中分布的许多开花植物存在着广泛的协同进化效应, 在形态结构、活动习性等方面对植物的形态结构、生理生化特性都形成了一定的依赖。同时, 我国大部分开花植物群落的进化过程也留下中蜂的痕迹, 如我国很多开花植物的花粉管总长度与中蜂吻的总长度相近, 平均为 5 mm (段成鼎, 2003)。

中蜂可以作为我国特定生态环境安全评价的指示生物。生物多样性指标是生态环境安全评价和生态质量综合评价的重要方面, 也是人类赖以生存和发展的基础, 它主要包括植物多样性和动物 (昆虫和鸟类) 等种类的多样性。蜜蜂属膜翅目昆虫, 对污染大气、水体中的某些有毒有害成

分抵抗能力差, 对环境变化十分敏感; 蜜蜂广泛分布、易饲养和可移动性强等特性决定了它常被称为环境污染的完美生物指示器 (余林生等, 2009)。当前, 全球性生态环境安全危机日益严峻, 农药等化学药剂的广泛使用虽有效防控了农业生产中出现的各种病虫害, 实现农业的增产增收, 但是农药等化学药剂的广泛使用也已经对蜜蜂的健康造成了潜在的巨大威胁, 致使蜜蜂等传粉昆虫的数量锐减 (侯春生等, 2011)。国际经济合作与发展组织以及国家环保总局 1989 年制订的《化学农药安全评价准则》, 均推荐采用蜜蜂 (意蜂) 作为农药等化学药剂环境安全性评价的重要标准 (杨扬, 2020)。但在我国, 意蜂属于外来物种, 中蜂才是本土特有的蜜蜂品种。王会利等 (2012) 通过研究发现, 本地种或特有种较外来物种更易受环境干扰, 对环境的变化的敏感性强, 能更好地反映我国特定生态环境变化。相关研究成果引起了国内学者的关注, 农药等化学药剂对中蜂的安全性评价也逐渐受到人们的重视。王瀛寰等 (2012) 研究表明, 与意蜂相比, 中蜂往往表现出对农药等化学药剂更为敏感, 一些对意蜂低毒的药剂可能会造成中蜂的大量中毒死亡。因此, 有必要就农药等化学药剂对中蜂的影响继续开展深入研究, 并积极推动将农药等化学药剂对中蜂的毒性大小评价发展成为我国农药等化学药剂环境安全性评价的重要标准 (赵怡楠, 2014; 何杏等, 2015)。

中蜂传粉作用有利于我国生物多样性保护和维系生态平衡。作为自然界中重要的传粉昆虫, 蜜蜂在生态系统中具有重要地位和作用。近年来, 随着人类城市化进程的加速, 以及林业经济和农业种植结构等的不合理调整, 改变了蜜蜂原有的生存环境, 毁灭了大量野生蜂的巢穴。特别是, 人类在农作物集约化生产过程中, 往往大规模的种植单一农作物, 花期统一而短暂, 严重影响了蜜蜂等野生传粉昆虫连续的食物供给, 导致蜜蜂等野生传粉昆虫数量锐减。同时, 现代化建筑、铁路、公路、农田以及人类活动也造成了一定区域植物资源数量的减少, 进而导致整个植物群落不均衡 (侯春生等, 2011)。对我国开花植物物种发挥着重要授粉作用的中蜂, 能够使自然界中很多开花植物种类的种子得以授粉或提高授粉效果, 使该植物物种获得繁衍和生存的机会, 能够有效地降低或减少其灭绝的可能性。因此, 积极地保

护中蜂在自然界中的生存状态,并适当提高人工饲养中蜂种群数量,将对我国生物多样性保护和维系生态平衡具有重要生态意义。

4 中蜂传粉产业发展存在的问题

自 18 世纪中叶,德国学者首次报道访花昆虫对于开花植物具有积极的传粉功能以来,有关如何在农业上应用访花昆虫的传粉功能研究受到广泛关注。据资料记载,早在 1909 年,便有农场主在美国新泽西州租用蜜蜂为苹果园传粉 (Morse et al., 1999)。之后,以租用蜜蜂为农作物传粉的农业生产模式逐渐在很多国家和地区形成产业化。目前,欧美等养蜂发达国家普遍以养蜂传粉为主、取蜜为辅,蜜蜂为农作物传粉而产生的价值是蜂产品本身价值 143 倍 (吴杰等, 2014)。我国的蜜蜂传粉产业开始起步于 20 世纪 90 年代中期,起步较晚,最先开始在山东、山西、河北和福建等地区。经过 20 多年的发展,现已在农作物生产中得到长足发展。中蜂是我国独特的东方蜜蜂遗传资源,在我国蜂业结构中有着天然的分布区域,利用中蜂为农作物传粉也逐步成为一项具有中国特色的蜜蜂传粉产业,有着巨大的发展潜力和市场需求 (刘新宇, 2012)。

中蜂虽然具有西方蜜蜂不具有的善于利用零星蜜粉源、耐寒性强、出勤时间长和饲料消耗低等优良特性。然而,在中蜂传粉产业的发展过程中也存在着一些限制因素。其中,主要问题有:

1) 中蜂的采集能力相对较弱,对于大宗蜜源植物的传粉能力不如西方蜜蜂。据苏晓玲等 (2017) 的观察发现,中蜂对大棚西瓜 *Citrullus lanatus* 花朵的访花频率低于西方蜜蜂,其中西方蜜蜂的访花频率为 9.53 ± 0.38 朵/min,而中蜂的访花频率为 8.09 ± 0.29 朵/min。在李树和梨树花期,西方蜜蜂在两种花上均以采集花粉为主,分别约占 75% 和 90%,而中蜂则以采集花蜜为主,分别约占 75% 和 79%,整个花期西方蜜蜂在这两种果树花上的平均数量显著高于中蜂,盛花期西方蜜蜂与中蜂访花比约为 3:1 (郭媛等, 2016)。

2) 中蜂的饲养水平整体上落后于西方蜜蜂。当前,我国仍约有 30% 中蜂采用土法饲养,如采用木桶、树洞和背篓等方法饲养,原始的饲养方式不利于蜂群的日常管理,给中蜂的转地传粉带来极为不便 (刘新宇, 2012)。

3) 中蜂的分蜂性强,容易发生逃亡,难以培育成大群传粉。自然条件下,中蜂长期生活在岩、树洞或土穴中,由于受到洞穴狭小容积的限制,蜂群为了改善居住条件和增殖的需要,逐步形成了分蜂性较强的特性。此外,由于中蜂对自然环境的适应极为敏感的特点,一旦原来巢脾中的环境稍有不适应生存就会发生迁逃 (黄强等, 2007)。

4) 中蜂对农药等化学药剂的敏感性强。近年来,全国各地蜜蜂农药等化学药剂中毒的事件时有报道,蜜蜂采集有毒的花粉或花蜜后,轻者导致工蜂中毒死亡,没有死亡的工蜂也体质消瘦,处于亚健康状态,形成大量插花子脾,蜂群群势迅速下降,难以形成采集群;情况严重时,甚至可导致整场蜂群的死亡或飞逃 (赵黎明等, 2016; 夏树村, 2018)。

5) 种植者利用或租用蜜蜂传粉的意识不强。与欧美国家租用西方蜜蜂为农作物传粉一样,利用或租用中蜂为农作物传粉同样也是一项促进农业增产增收的重要措施,但是在我国大部分农业种植者的意识里,至今依然还是缺乏主动利用蜜蜂传粉增产的意识,认识不到蜜蜂传粉为农作物增产和提高品质的重要性,甚至片面的认为蜜蜂采花传粉只对蜂农有利,从而消极对待蜜蜂传粉,这也是我们在发展中蜂传粉产业化的过程中必须要重视的问题。

5 中蜂传粉产业发展的思考

中蜂广泛分布于我国除新疆以外的华南、中南、西南、西北、华北及东北等地,野生资源丰富、民间养殖基础好,利用中蜂为各地的农作物传粉,大多可以因地制宜,就地取材,从而节省大量社会资源 (葛凤晨, 2013)。然而,自 1896 年我国引进西方蜜蜂以来,中蜂在种间竞争中处于相对劣势地位,致使中蜂的分布区域和数量呈现出逐年减少的趋势,直至近年来国家在蜜蜂遗传资源保护,以及有关部门的积极引导和扶持下,中蜂的分布区域和数量才呈现出良好的回升趋势 (罗岳雄等, 2014; 李君德, 2015; 罗岳雄等, 2018)。当然,推动中蜂传粉产业的发展不是养蜂者能够孤立进行的,还需与广大种植者一起通力协作才能更好地完成,因此积极引导广大种植者逐步形成主动利用蜜蜂传粉增产的意识,逐步让

蜜蜂传粉的工作由无序状态(蜂农“义务传粉”)转变为有序状态(种植者“租蜂传粉”),才能够更好地推动中蜂传粉产业的发展。此外,继续加强中蜂传粉作用的基础研究,针对中蜂传粉产业发展中出现的问题,积极开展科技问题攻关,进行中蜂品种选育与遗传资源改良工作,选育出采集能力更强的中蜂品种,增强其种间竞争能力;针对中蜂对农药等化学药剂的敏感性强的问题,应大力宣传花期安全用药,在花期不要喷洒农药,降低蜜蜂与农药接触的机会,或者花期尽量不要喷洒对蜜蜂有毒有害的农药(张学文等,1997;夏树村,2018);同时,还应努力推广中蜂先进饲养技术,全面提高中蜂饲养水平,积极发展适应不同农作物传粉需求的中蜂饲养技术,都将有利于促进我国中蜂传粉产业的发展。

参考文献 (References)

- An JD, Chen WF. Review of crop pollination by honey bees world-wide [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (1): 374 – 382. 安建东, 陈文锋. 全球农作物蜜蜂授粉概况 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27 (1): 374 – 382]
- Ao TY, Xiong L, Ma ZG. Review on the characteristics and differences of visiting behavior between honeybee *Apis cerana* and *Apis mellifera* [J]. *Journal of Bee*, 2021, 41 (3): 1 – 4. 敖塘堰, 熊亮, 马振刚. 中华蜜蜂与意大利蜜蜂访花行为特点与区别 [J]. *蜜蜂杂志*, 2021, 41 (3): 1 – 4]
- Bu YQ, Shan ZJ, Zhou JY, et al. Research review on biological toxicity and safety assessment of pesticides to honeybee [J]. *Agrochemicals*, 2009, 48 (6): 399 – 401. [卜元卿, 单正军, 周军英, 等. 农药对蜜蜂生物毒性及安全性评价研究回顾 [J]. *农药*, 2009, 48 (6): 399 – 401]
- Chen FJ, Chen WN, Xie YH, et al. Visiting behavior of *Apis cerana* on rape and characteristics of flowering and seed setting in early spring [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28 (2): 498 – 502. 陈发军, 陈文年, 谢玉华, 等. 早春油菜花上中华蜜蜂的拜访行为及开花结实特征 [J]. *西南农业学报*, 2015, 28 (2): 498 – 502]
- Chu YF, Hu FL. Bees and ecological balance [J]. *Journal of Bee*, 2009, 3: 8 – 10. 褚亚芳, 胡福良. 蜜蜂与生态平衡 [J]. *蜜蜂杂志*, 2009, 3: 8 – 10]
- Duan CD. The Studies on Comparative Biology of Chinese Bee and Italian Bee [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2003. 段成鼎. 中华蜜蜂与意大利蜜蜂比较生物学的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2003]
- Fan Y, Wang CJ, Hou P, et al. Study on pollination effect of blueberry by *Apis cerana cerana* [J]. *Journal of Bee*, 2015, 3: 14 – 15. 樊莹, 王承均, 侯萍, 等. 中华蜜蜂为蓝莓授粉效果初探 [J]. *蜜蜂杂志*, 2015, 3: 14 – 15]
- Gallai N, Salles J, Settele J, et al. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68 (3): 810 – 821.
- Ge FC. Distribution and research progress of oriental honeybee in China [J]. *Apiculture of China*, 2013, 24: 23 – 26. 葛凤晨. 中国东方蜜蜂的分布及研究进展 [J]. *中国蜂业*, 2013, 24: 23 – 26]
- Guo Y, Xue YB, Niu QS, et al. Comparison of pollination behavior of different honey bees in pear garden [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32 (14): 21 – 25. 郭媛, 薛运波, 牛庆生, 等. 梨园不同蜜蜂的传粉行为比较 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32 (14): 21 – 25]
- He X, Wang YJ, Liu JF, et al. Acute toxicity and risk assessment of four pesticides on *Apis cerana hainana* [J]. *Agrochemicals*, 2015, 54 (12): 911 – 914. 何杏, 王玉洁, 刘俊峰, 等. 4 种农药对海南中蜂的急性毒性及风险评估 [J]. *农药*, 2015, 54 (12): 911 – 914]
- Hou CS, Zhang XF. The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (17): 5061 – 5070. 侯春生, 张学锋. 生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响 [J]. *生态学报*, 2011, 31 (17): 5061 – 5070]
- Huang Q, Zeng ZJ. Progress in the study of swarming in the honeybee [J]. *Journal of Bee*, 2007, 6: 36 – 38. 黄强, 曾志将. 蜂群分蜂行为研究进展 [J]. *蜜蜂杂志*, 2007, 6: 36 – 38]
- Ji T. Research of Genetic Diversity among *Apis cerana* in China [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2009. 吉挺. 中国东方蜜蜂资源遗传多样性分析 [D]. 扬州: 扬州大学, 2009]
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 274 (1608): 303 – 313.
- Li HY. Economic Value of Bee Pollination in China [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. 李海燕. 中国蜜蜂授粉的经济价值研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012]
- Li JQ. Effect of pollination by *Apis cerana* and *Apis mellifera* on yield and quality of *Camellia semiserrata* [J]. *Apiculture of China*, 2013, 64 (28): 33 – 35. 李久强. 中西蜂为红花油茶授粉试验效果对比 [J]. *中国蜂业*, 2013, 64 (28): 33 – 35]
- Li YQ, Chen M, Shi AX, et al. Effect of pollination by different bee species on apple production [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2018, 4: 13 – 14. 李永青, 陈敏, 石安宪, 等. 不同蜜蜂授粉对苹果生产的影响 [J]. *云南农业科技*, 2018, 4: 13 – 14]
- Liu JF, Gao JL, Hu MJ, et al. Study on pollination effect of *Apis cerana cerana* for black wax gourd [J]. *Apiculture of China*, 2014, Z3: 14 – 17. 刘俊峰, 高景林, 胡美娇, 等. 中华蜜蜂为黑皮冬瓜授粉效果研究 [J]. *中国蜂业*, 2014, Z3: 14 – 17]
- Liu PF, Wu J, Li HY, et al. Economic values of bee pollination to China's agriculture [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (24): 5117 – 5123. 刘鹏飞, 吴杰, 李海燕, 等. 中国农业蜜蜂授粉的经济价值评估 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44 (24): 5117 – 5123]
- Liu XY. Development of pollination industry of *Apis cerana cerana* [J]. *Apiculture of China*, 2012, 16: 27 – 28. 刘新宇. 中华蜜蜂授

- 粉产业的开发 [J]. 中国蜂业, 2012, 16: 27–28]
- Luo JN, Qiu JR, Zhang LQ, *et al.* Effect of pollination by *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* on yield and quality of strawberry in greenhouse [J]. *Apicultural Science and Technology*, 2002, 4: 2–3. [罗建能, 裴建荣, 张立权. 对中华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 YX, Chen LD. Current breeding situation of *Apis cerana cerana* [J]. *Apiculture of China*, 2018, 69 (5): 22–24. [罗岳雄, 陈隆达. 我国中华蜜蜂养殖现状 [J]. 中国蜂业, 2018, 69 (5): 22–24]
- Luo YX, Chen LH. Current situation and suggestions of *Apis cerana cerana* breeding in China [J]. *China Animal Industry*, 2014, 24: 22–23. [罗岳雄, 陈黎红. 我国中华蜜蜂饲养现状与建议 [J]. 中国畜牧业, 2014, 24: 22–23]
- Lu Y. Analysis of Morphological Diversity of *Apis cerana* with Different Area in China [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2020. [吕言. 中国不同地区东方蜜蜂 (*Apis cerana*) 形态多样性分析 [D]. 重庆: 重庆师范大学, 2020]
- Morse RA, Calderone NW. The value of honey bees as pollinators of U. S. crops in 2000 [J]. *American Bee Journal*, 1999, 129 (13): 411–423.
- Qin M, Wang HF, Liu ZG, *et al.* Comparison of different cold resistance between *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (12): 2380–2388. [秦明, 王红芳, 刘振国, 等. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂耐寒性能差异比较 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (12): 2380–2388]
- Qiu JS. Study on the Pollinators of Camellia Plants in Southwest China [J]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2015. [邱建生. 中国西南山茶属植物传粉昆虫研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015]
- Song CY. A Study on Cold Resistance of *Apis cerana cerana* Fabricius and Its Pollination for Pumpkin [D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2015. [宋昌云. 中华蜜蜂抗寒性及其对南瓜授粉的研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015]
- 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]
- Verma LR, Dulta PC. Foraging behaviour of *Apis cerana* Indica and *Apis mellifera* pollinating apple flowers [J]. *Journal of Apicultural Research*, 1986, 25 (4): 97–201.
- Wang HL, Wang YH, Zhang YF, *et al.* Toxicity of alternatives of perfluorooctane sulfonate (PFOS) to *Apis cerana cerana* [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2012, 7 (5): 517–520. [汪会利, 王瀛寰, 张艳峰, 等. 全氟辛烷磺酸盐 (PFOS) 替代品对中华蜜蜂的毒性 [J]. 生态毒理学报, 2012, 7 (5): 517–520]
- Wang YH, Zhang YF, Zhang X, *et al.* Oral toxicity of five pesticides to *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera* [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2012, 14 (4): 453–456. [汪瀛寰, 张艳峰, 张旭, 等. 五种农药对中华蜜蜂和意大利蜜蜂工蜂的经口毒性比较 [J]. 农药学报, 2012, 14 (4): 453–456]
- Wei XP, Ran YM, He CW, *et al.* Values of honeybee (*Apis cerana*) nature reserve in the Miao areas of Masha [J]. *Journal of Bee*, 2015, 35 (9): 4–8. [韦小平, 冉亚明, 何成文, 等. 中华蜜蜂保护基地的特殊价值探讨 [J]. 蜜蜂杂志, 2015, 35 (9): 4–8]
- Wu J, Guo J, Huang JX. Current development of bee pollination industry [J]. *Apiculture of China*, 2014, 12: 51–55. [吴杰, 郭军, 黄家兴. 蜜蜂授粉产业的发展现状 [J]. 中国蜂业, 2014, 12: 51–55]
- Xia SC. Diagnosis and treatment of pesticide poisoning of *Apis cerana* [J]. *Animals Breeding and Feed*, 2018, 4: 84. [厦树村. 中蜂农药中毒的诊治及预防措施 [J]. 养殖与饲料, 2018, 4: 84]
- Xie WF, Yu LS, Ji H, *et al.* Comparison of pollination behaviour of *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* in greenhouse [J]. *Journal of Bee*, 2009, 29 (1): 11–13. [解文飞, 余林生, 纪鸿, 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, 29 (1): 11–13]
- Xu H. Investigation and Comparative Analysis of *Apis cerana cerana* Genetic Resources in Different Geographical Conditions in China [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021. [徐浩. 我国不同地理条件中华蜜蜂遗传资源调查与比较分析 [D]. 扬州: 扬州大学, 2021]
- Yang GH. Overview and utilization the resources of *Apis cerana cerana* [J]. *Journal of Bee*, 1983, 1: 39–41. [杨冠煌. 中蜂资源概况及利用 (二) [J]. 蜜蜂杂志, 1983, 1: 39–41]
- Yang GH. The role of *Apis cerana cerana* in the forest ecosystem of China [J]. *Apiculture of China*, 2009, 4: 5–7. [杨冠煌. 中华蜜蜂在我国森林生态系统中的作用 [J]. 中国蜂业, 2009, 4: 5–7]
- Yang S, Zhuang D, Wang ZW, *et al.* Study on foraging behavior of *Apis cerana* and *Apis mellifera* in warm winter [J]. *Journal of Bee*, 2010, 30 (5): 10–12. [杨爽, 庄迪, 汪正威, 等. 对暖冬期东西方蜜蜂采集行为的研究 [J]. 蜜蜂杂志, 2010, 30 (5): 10–12]
- Yang Y. Mechanism and Risk Assessment of Acetamiprid Toxicity on *Apis mellifera* Larvae [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020. [杨扬. 啉虫脒对西方蜜蜂幼虫的毒性作用机制及风险评估 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2020]
- Yu YS, Zhang XW, Wang YH, *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. [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 LS, Ji T, Zhang ZY, *et al.* Effects of ecological environment on the safe of honeybee and bee products [J]. *Apiculture of China*, 2009, 60 (10): 45–47. [余林生, 吉挺, 张中印, 等. 生态环境对蜜蜂与蜂产品安全生产的影响 [J]. 中国蜂业, 2009, 60 (10): 45–47]
- Yu LS, Meng XJ. Comparison of pollination ecology between *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana* [J]. *Apicultural Science*

- and Technology, 2001, 6: 9–10. 徐林生, 孟祥金. 意大利蜜蜂与中华蜜蜂授粉生态之比较 [J]. 养蜂科技, 2001, 6: 9–10]
- Zhang XW, Luo WT, Yu YS, *et al.* Protect the bees from pesticide poisoning by using the biological characteristics of *Apis cerana* [J]. *Journal of Bee*, 1997, 2: 20. 张学文, 罗卫庭, 余玉生, 等. 利用中蜂的生物学特性预防农药中毒 [J]. 蜜蜂杂志, 1997, 2: 20]
- Zhao LM, Wang J. Causes and prevention measures of Chinese bee escaping group [J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2016, 35 (5): 90–91. 赵黎明, 王军. 引起中华蜜蜂逃群原因和预防措施 [J]. 畜牧兽医杂志, 2016, 35 (5): 90–91]
- Zhao T, Wang YC, Yuan Y, *et al.* Study on the flower-visiting behavior and pollination effect by *Apis cerana cerana* on kiwi fruit [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (3): 667–675. 赵恬, 王胤晨, 袁扬, 等. 中华蜜蜂对猕猴桃的访花行为及授粉效果研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 667–675]
- Zhao XW, Zheng QZ, Liu ZZ, *et al.* Study on improving seed setting rate of *Camellia oleifera* and developing nectar source of *Camellia oleifera* [J]. *Forest Science and Technology*, 1985, 4: 16–19. 赵尚武, 郑庆珠, 刘昭铮, 等. 利用蜜蜂提高油茶结实率及开发油茶蜜源的研究 [J]. 林业科技通讯, 1985, 4: 16–19]
- Zhao YN. Study on Toxicity of 22 Insecticides on *Apis cerana hainana* [D]. Haikou: Hainan University, 2014. 赵怡楠. 22 种农药对海南中蜂的毒性研究 [D]. 海口: 海南大学, 2014]
- Zhao YN, Gao JL, Wang YJ, *et al.* Acute toxicity and hazard assessment of neonicotinoid insecticides on *Apis cerana hainana* [J]. *Agrochemicals*, 2014, 53 (3): 206–209. 赵怡楠, 高景林, 王玉洁, 等. 新烟碱类农药对海南中蜂的急性毒性测定及风险评估 [J]. 农药, 2014, 53 (3): 206–209]
- Zhou BF, Xu ZD. Study on the low temperature collecting activities of honeybee [J]. *Apiculture of China*, 1988, 5: 7–9. 周冰峰, 许正鼎. 蜜蜂低温采集活动的研究 [J]. 中国养蜂, 1988, 5: 7–9]
- Zhou BF, Zhou SJ, Zhu XJ, *et al.* The genetic resources of *Apis cerana cerana* in China [J]. *Apiculture of China*, 2018, 69 (5): 17–21. 周冰峰, 周姝婧, 朱翔杰, 等. 我国中华蜜蜂遗传资源现状 [J]. 中国蜂业, 2018, 69 (5): 17–21]