西方蜜蜂在中国的传粉服务与未来研究展望*

石晓宇[1**] 马昌盛[2] 魏淑花[3] 黄家兴[4] 欧阳芳[1] 贺春玲[5]
张海翔[6] 程 瑞[1] 周青松[1] 朱朝东[1] 罗阿蓉[1***]

（1. 中国科学院动物研究所，动物多样性保护与有害动物防控全国重点实验室，北京 100101；2. 湖南省农业科学院，农业农村部农药评价重点实验室，长沙 410125；3. 宁夏农林科学院植物保护研究所，银川 750002；4. 中国农业科学院蜜蜂研究所，资源昆虫高效养殖与利用全国重点实验室，农业农村部授粉昆虫生物学重点实验室，北京 100093；5. 河南科技大学园艺与植物保护学院，洛阳 471000；6. 中国农业大学草业科学与技术学院，北京 100193）

摘 要 西方蜜蜂 *Apis mellifera* 是全球最重要的管理授粉昆虫之一，在农业生产中扮演着关键角色。目前西方蜜蜂在农作物和野生植物授粉中的作用日益受到关注。然而，西方蜜蜂对中国本土的野生传粉昆虫及整体生态系统产生了多方面的影响，包括对蜜粉资源的竞争和为入侵植物授粉。基于这些背景，本文将从三个方面进行探讨：1）评估西方蜜蜂在中国所提供的授粉服务功能（包括农作物和本土植物）；2）讨论西方蜜蜂与中国本土传粉昆虫在花蜜和花粉资源上的竞争；3）展望未来的研究方向与建议，包括重新评估西方蜜蜂在农作物授粉中的效用，收集西方蜜蜂对本土植物和入侵植物的访花数据，以及在多重空间尺度下量化西方蜜蜂的数量等。

关键词 传粉昆虫；引入物种；作物授粉

Pollination services of the western honey bee (*Apis mellifera*) in China and directions for future research

SHI Xiao-Yu[1**] MA Chang-Sheng[2] WEI Shu-Hua[3] HUANG Jia-Xing[4]
OUYANG Fang[1] HE Chun-Ling[5] ZHANG Hai-Xiang[6] CHENG Rui[1]
ZHOU Qing-Song[1] ZHU Chao-Dong[1] LUO A-Rong[1***]

(1. State Key Laboratory of Animal Biodiversity Conservation and Integrated Pest Management, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Key Laboratory of Pesticide Assessment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China; 3. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 4. State Key Laboratory of Resource Insects，Key Laboratory for Insect-Pollinator Biology of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 5. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471000, China; 6. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract The western honey bee, *Apis mellifera*, plays a key role in agricultural production and is one of the most important, managed, pollinating insects worldwide. The importance of the pollination services provided by the western honey bee to crops and wild plants is being increasingly recognized. However, the western honey bee has multiple impacts on China's native wild pollinators and the overall ecosystem, including competing with native pollinators and pollinating invasive plants. This paper covers three main topics: 1) The pollination services provided by the western honey bees in China (both crops and native plants); 2) Competition between the western honey bee and Chinese native pollinators for nectar and pollen resources; and 3) Future directions and recommendations for research, including reassessing the utility of the western honey bee for crop pollination, collecting data on western honey bee flower visits to native and invasive plants, and quantifying western honey bee populations on multiple spatial scales.

Key words insect pollinator; introduced species; crop pollination

---

*资助项目 Supported project：宁夏农业高质量发展和生态保护科技创新示范课题（NGSB-2021-14-05）

**第一作者 First author，E-mail：shixy_eco@163.com

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

收稿日期 Received：2025-03-26；接受日期 Accepted：2025-04-30

全球范围内大量农作物和水果依赖传粉昆虫授粉来维持产量(Klein *et al.*, 2007; Dymond *et al.*, 2021; Gudowska *et al.*, 2024)。西方蜜蜂 *Apis mellifera* 是目前全球最重要的管理授粉昆虫之一，在农业生产中发挥着重要的作用(Delaplane *et al.*, 2013)。之前的国外研究已经发现西方蜜蜂可以为包括油菜、向日葵、苹果和樱桃在内的多种农作物和水果授粉（ Rollin and Garibaldi, 2019)。在被引入中国之后，西方蜜蜂已经被广泛地用于中国农作物授粉，诸如苹果和樱桃（ 肖云丽等, 2019; 唐立和阎雄飞, 2024)。比如肖云丽等（ 2019 ）在山东的研究发现西方蜜蜂授粉可以显著提高大樱桃和苹果的产量。除了为农作物授粉之外，西方蜜蜂还被发现可以为中国本土植物（ 尚方剑和王玲, 2014 ）和入侵植物授粉（ 郭玉莹等, 2023)。目前，西方蜜蜂在中国农作物和野生植物授粉中的作用已经日益受到关注。然而，西方蜜蜂是泛食性的昆虫，可以采集多种植物花蜜或花粉（ Köppler *et al.*, 2007)。因此，西方蜜蜂有可能和本土野生传粉昆虫竞争蜜粉资源，从而对本土传粉昆虫群落造成负面影响，甚至干扰整个传粉生态系统网络(Paini, 2004; Page and Williams, 2023)。

基于上述，本文将分三个部分进行讨论：1 ）评估西方蜜蜂在中国已经提供的授粉服务功能（ 农作物和本土植物)；2 ）讨论西方蜜蜂目前与中国本土传粉昆虫群落对花蜜花粉的竞争；3 ）对未来研究进行展望与建议：包括西方蜜蜂农作物传粉效用再评估，西方蜜蜂对本土植物和入侵植物访花数据收集和从多重尺度量化西方蜜蜂数量等。

1　西方蜜蜂在中国的传粉服务评估

1.1　西方蜜蜂对农林作物的授粉

传粉昆虫为农作物提供了重要的传粉服务功能（ Klein *et al.*, 2007)。在依赖蜜蜂传粉的农作物中，传粉昆虫对苹果、梨、油菜和向日葵等作物的产量提升尤为显著。在中国，欧阳芳等（ 2019 ）使用 2015 农业产量数据以及价格估算我国 22 类常见农作物的授粉价值为 8 860.5 亿元。然而野生传粉昆虫在世界范围内正在减少（ Potts *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2022)。为了应对可能的农作物传粉不足的问题，需要在农作物附近增加管理传粉昆虫，比如西方蜜蜂或壁蜂 *Osmia* spp.来维持依赖授粉的作物产量。在中国已有大量关于西方蜜蜂针对农作物授粉的研究。董捷等（ 2024 ）在千岛湖地区比较了西方蜜蜂和中华蜜蜂 *Apis cerana* 对枇杷增产的效果，发现西方蜜蜂传粉区的枇杷平均 667 m^2 产量与中华蜜蜂传粉区差异并不显著。肖云丽等（ 2019 ）在山东省胶东半岛的果园内发现西方蜜蜂授粉可以显著提高苹果以及大樱桃的产量，但效果不如壁蜂授粉。针对油料作物，Zhang 等（ 2022 ）在洛阳市发现，放置西方蜜蜂蜂箱可以有效地增加油用牡丹的产量。西方蜜蜂的传粉贡献主要评估方式可分为两种：1. 比较包括西方蜜蜂在内的多种传粉昆虫（ 表 1)。比如董捷等（ 2024 ）比较了西方蜜蜂和中华蜜蜂对枇杷授粉效果以及郭媛等(2017)比较了西方蜜蜂和地熊蜂 *Bombus terrestris* 对紫花苜蓿授粉效果。2. 比较不同蜜蜂数量（ 或区域内密度 ）对传粉效果的影响（ 表 1)。比如申晋山等（ 2022 ）在网罩内放置不同数量的西方蜜蜂，评估每株果树需要的西方蜜蜂数量以完成授粉。前者可以确定西方蜜蜂是否是目标作物的最优传粉者，后者可以估算出西方蜜蜂传粉的合适数量或密度，进而可以用来指导未来的农业授粉工作。综上，西方蜜蜂已经为中国的多种农作物提供了重要的传粉服务，但是仅仅靠西方蜜蜂可能不足以提供足够的传粉服务。在本文第三部分 3.1 节会针对如何更有效地评估和提高西方蜜蜂的农作物授粉贡献展开讨论。

1.2　西方蜜蜂对非作物植物的授粉

除了农作物之外，国内的一些研究已经发现西方蜜蜂是一些本土植物的主要传粉者，包括溪荪 *Iris sanguinea*（ 尚方剑和王玲, 2014 ）和太白贝母 *Fritillariae taipaiensis*（ 杨秋雄等, 2022)。尚方剑和王玲（ 2014 ）使用样方观测的方法调查溪荪的传粉昆虫，发现西方蜜蜂是数量最多，

表 1 评估西方蜜蜂对农作物的传粉贡献
Table 1 Evaluating *Apis mellifera* contribution in crop pollination

评估西方蜜蜂传粉贡献的方法 Approaches to assess the western honey bee pollination effectiveness	方法目的 Aims of the approaches
比较包括西方蜜蜂在内的多种传粉昆虫的增产效果 Compare the pollination effectiveness of multiple insect pollinator species including *A. mellifera*	选出最有效的管理传粉昆虫 Select the most effective managed insect pollinators
比较不同蜜蜂数量（或区域内密度）对传粉效果的影响 Compare different honey bee number (or density within an area) on pollination effectiveness	估算出传粉的最优数量或密度 Estimate the optional number or density for pollination

同时也是访花次数最多的昆虫。杨秋雄等（2022）发现太白贝母主要的 3 种传粉昆虫为西方蜜蜂，熊蜂 *Bombus* spp.和煤黑举腹蚁 *Crematogaster anthracina*，而其中西方蜜蜂访花频率最高。总体来说，中国国内关于西方蜜蜂传粉的研究还是偏少，更多地是依赖某种植物的传粉生物学研究时观察得出。考虑到目前西方蜜蜂在中国的大面积养殖，同时可以在一年中的大部分时间出勤采集，西方蜜蜂很有可能已经大量地参与了中国本土植物的传粉工作。目前急需在全国范围内开展关于西方蜜蜂对与本土植物的授粉数据收集。

2 西方蜜蜂和中国本土传粉昆虫在食物资源上的竞争

西方蜜蜂是泛食性昆虫，会从多种开花植物采集花蜜或花粉（Köppler *et al.*, 2007）。因此西方蜜蜂可能会和本土传粉昆虫对食物（花蜜花粉）产生竞争。关于西方蜜蜂的引入对本土传粉昆虫的影响，国外已有大量研究（Moritz *et al.*, 2005; Artz *et al.*, 2011; Badano and Vergara, 2011; Page and Williams, 2023）。比如在墨西哥咖啡种植园的一个研究发现，随着西方蜜蜂数量的增加，本地传粉昆虫的多样性下降（Badano and Vergara, 2011）。同时关于引入蜂对本土传粉昆虫的影响，已有大量相关综述文章发表（Goulson, 2003; Paini, 2004; Russo, 2016），其中 Paini（2004）的综述是针对西方蜜蜂的引入。总体而言，这些综述都提到了引入蜂种与本土传粉昆虫对蜜粉资源的竞争（Goulson, 2003; Paini, 2004; Russo, 2016）。Paini（2004）在综述中提供了一个评估西方蜜蜂和本土蜂（Native bee）竞争花粉花蜜的基础框架，包含四个部分：1）是否存在利用蜜粉源上的重叠（Floral resource overlap），值得注意的是，也有研究表明家养蜜蜂和当地野生蜂的访花存在差异性（Rollin *et al.*，2013）。Rollin 等（2013）发现蜜蜂相比于野生蜂更倾向于访问大面积开花作物的花（向日葵、油菜和苜蓿），而野生蜂则更倾向于在半自然生境中采集野生植物的花蜜花粉。2）是否降低本土传粉蜂的访花频次（Paini, 2004）。3）是否降低本土传粉蜂获得的总体花蜜花粉资源（Paini, 2004）。4）是否最终减少本土蜂存活，降低本土蜂繁殖力和降低本土蜂种群数量（Paini, 2004）。国内关于该类研究还是较少。任晓晓等（2021）发现东方蜜蜂 *Apis cerana* 采集的花粉团总数与其周围 3 km 范围内的西方蜜蜂数量（密度）呈负相关关系。除此之外，前文中已经提到，大量的基础传粉生物学研究已经发现在中国西方蜜蜂的访花频率高于其他本土传粉昆虫（杨秋雄等, 2022）。目前需要在国内开展西方蜜蜂对本土传粉昆虫竞争花蜜花粉的研究，尤其是与野生蜂，比如地蜂和木蜂的竞争。相对比较容易评估的两个部分，即是否存在利用蜜粉源上的重叠和是否降低本土传粉蜂的访花频次，可以作为优先评估的问题。在评估时尤其需要考虑西方蜜蜂与本土种中华蜜蜂的食物竞争进而影响中华蜜蜂的繁殖和蜂群健康。

3 展望

3.1 西方蜜蜂农作物传粉效用再评估

如之前所述，国内目前已经大量地评估了西方蜜蜂对农作物的授粉效用，目前我们提出三点进一步的具体评估实施（表 2）。该类研究通常

表 2　西方蜜蜂授粉未来研究建议
Table 2　*Apis mellifera* pollination research suggestions

建议 Suggestions	具体评估实施 Specific assessment implementation
西方蜜蜂农作物传粉效用再评估 Reassess *A. mellifera*'s effectiveness in crop pollination	评估与当地野生传粉昆虫群落的协同授粉效果 Assess the interactive pollination effectiveness with local wild pollinator communities
	评估与其他管理授粉昆虫如壁蜂的协同授粉效果 Assess the interactive pollination effectiveness with other managed insect pollinators such as mason bee
	在农药或其他污染物梯度下评估传粉表现 Assess the pollination effectiveness along the pesticide or other pollutants gradients
西方蜜蜂对本土植物和入侵植物访花数据收集 Collect data of *A. mellifera* visitation on native and invasive plants	在多省份多种生境评估对开花植物-传粉者网络的影响 Assess the effect on plant-pollinator network in multiple habitats in multiple provinces
	在多省份多种生境评估对入侵植物的授粉 Assess the pollination for invasive plants in multiple habitats in multiple provinces
从多重尺度量化西方蜜蜂数量 Quantify the number of *A. mellifera* in multiple scales	小尺度：直接观测传粉昆虫对一株或数株开花植物访花行为 Small scale: Observe the flower-visiting behaviour of insect pollinators on one or several flowering plants
	中尺度：在开花植物附近布设被动采集陷阱采集访花昆虫估算景观内西方蜜蜂数量 Medium scale: Sample flower-visiting insects through deploying passive traps near flowering plants to estimate the abundance of *A. mellifera* in the landscape
	大尺度：估算区域内的西方蜜蜂的箱数 Large scale: Estimate the western honey bee colonies in a specific region

是将西方蜜蜂蜂箱放置在目标农作物附近完成授粉，通过比较放置蜂箱和控制实验（不放置蜂箱）来估算西方蜜蜂的传粉效用。但在野外还存在大量其他野生传粉昆虫，比如独居蜂、熊蜂、蝴蝶以及食蚜蝇，这些野生传粉者在农业景观内为需要授粉的作物提供了重要的授粉服务（Liu *et al.*, 2020; Shi *et al.*, 2021）。一些研究发现野生蜂是比蜜蜂更优秀的传粉者，比如 MacInnis 和 Forrest（2019）在加拿大魁北克的研究发现，野生蜂对草莓的授粉效果好于家养蜜蜂。除此之外，野生蜂还被发现可以加强蜜蜂对农作物（向日葵）的授粉效果（Greenleaf and Kremen, 2006）。为了更好地了解和评估西方蜜蜂对农作物授粉的效用，在未来的研究中应当考虑西方蜜蜂和当地野生传粉昆虫群落在传粉服务功能的相互作用（Brittain *et al.*, 2013）。除此之外，在一些场景内，可以考虑西方蜜蜂和其他管理传粉昆虫的交互作用，比如中华蜜蜂以及凹唇壁蜂 *Osmia excavata*。目前国内的研究更倾向于比较西方蜜蜂和其他传粉昆虫之间在对农作物传粉效用上的差异而没有考虑它们的协同作用。第三，应当考虑在农药或其他污染物梯度下，西方蜜蜂对农作物的传粉贡献。在农业景观中的农药会对西方蜜蜂造成负面影响（Ma *et al.*, 2024），可能会导致它们对农作物的传粉效用下降。

3.2　西方蜜蜂对本土植物和入侵植物访花数据收集

前文已经讨论了西方蜜蜂对单独本土开花植物物种的访问，未来的研究需要从传粉网络的角度考虑。由于西方蜜蜂是泛食性昆虫，可从多种开花植物上采集花蜜或花粉（Köppler *et al.*, 2007）。因此，西方蜜蜂在生态系统内可以极大地扰动传粉者-开花植物网络（Plant-pollinator network）。Valido 等（2019）发现西方蜜蜂的养殖降低了野生传粉者的多样性同时简化了传粉者开花植物网络。除了统计西方蜜蜂对本土植物的传粉，统计西方蜜蜂对入侵植物的访花行为也尤其重要。西方蜜蜂在其他国家已经被发现访问入侵植物，比如在意大利西方蜜蜂被发现访问入侵植物 *Acacia pycnantha*（Giovanetti *et al.*, 2015）。目前已经有国内学者开展了少量相关工

作（郭玉莹等, 2023; 吕蔚等, 2024）。郭玉莹等（2023）在洛阳市调查了入侵植物小花山桃草 *Gaura parviflora* 的访花昆虫，发现西方蜜蜂以及食蚜蝇类是最有效的传粉昆虫。Liu 等（2013）在中国南方 3 个城市的实验发现西方蜜蜂是中国常见入侵植物凤眼莲 *Eichhornia crassipes* 的主要传粉者，访花频次高于其他传粉昆虫如中华蜜蜂和淡脉隧蜂 *Lasioglossum* sp.。吕蔚等（2024）在福州的研究中发现白花鬼针草 *Bidens pilosa* 的膜翅目传粉昆虫包括了西方蜜蜂、中华蜜蜂以及中国芦蜂 *Ceratina chinensis*。不过目前许多外来入侵植物的传粉昆虫尚未被详细评估，未来尚需更多关注。针对收集该类数据，同时保证该数据的准确性，可能比较简单可行的方法是在开花的本土植物或入侵植物周围直接放置西方蜜蜂蜜箱之后记录访花行为。值得注意的是，未来研究需要在在中国多省份多种生境（不同海拔以及不同气候类型）评估对入侵植物的授粉，以确定是否协助扩散。

3.3 从多重尺度量化西方蜜蜂数量

评估西方蜜蜂对本土野生传粉昆虫的影响目前国内没有详细的方案。但是评估此类影响首先需要量化西方蜜蜂的数量。评估西方蜜蜂的数量应分别从小尺度（Small-scale），中尺度（Medium-scale）和大尺度（Large-scale）出发。从小尺度，应具体到某个油菜地或某片开花的乌桕树。在小尺度范围内，可以通过直接观测某株开花植物或某一片开花植物的访花昆虫的访花行为，统计所有访花昆虫的频次，计算得出西方蜜蜂在整体访花昆虫中的频次占比（Proportion of flower-visiting frequency）。中尺度可以是景观尺度（例如 2 km 半径的圆形区域）或以某个村落为研究区域。在这个区域内可以通过在开花植物附近布设被动采集陷阱彩盘法（Pan trap）或飞行阻断器（Flight interception trap）采集访花昆虫（Shi *et al.*, 2022），计算得出西方蜜蜂在整体访花昆虫中的数量占比（Proportion of total pollinator population），以此来衡量中尺度范围内西方蜜蜂的比重。在大尺度内（Large-scale），通常是市或县一级，衡量西方蜜蜂对本土野生传粉昆虫的影响可能比较困难。可以通过联系当地有经验的蜂农或有关政府部门，大概估算该区域内的西方蜜蜂的箱数，来更好地从县市尺度评估西方蜜蜂对当地野生传粉昆虫群落的影响。西方蜜蜂对我国蜂产品行业发展非常重要，是许多蜂农的重要生计。为了可持续发展中国养蜂业的同时保护本土重要的野生传粉昆虫，目前需要采取科学合理的管理措施。第一，应尽量控制一定范围内西方蜜蜂的蜂箱密度，避免其过度集中于一片区域，减少区域内蜜粉源的过度利用，从而降低对本土传粉昆虫的竞争压力。第二，还应加强对本土传粉昆虫的保护和研究，在农业景观内，应设立诸如独居蜂旅馆（Bee hotels）和野花带（Wild flower strips）的设施来保护景观内的本土传粉昆虫（Drossart and Gérard, 2020）。

4 总结

本文首先讨论了西方蜜蜂在中国已经提供的授粉服务功能（农作物和本土植物）。之后讨论西方蜜蜂目前与中国本土传粉昆虫对花蜜花粉的竞争。根据未来西方蜜蜂授粉研究给出如下建议：第一，在西方蜜蜂农作物传粉效用评估时，考虑西方蜜蜂和当地野生传粉昆虫群落，以及其他的管理授粉者在传粉服务功能的相互作用。第二，在多省份、多种生境内在收集西方蜜蜂对本土植物和入侵植物访花数据并建立相应数据库。最后，目前评估西方蜜蜂数量尚没有详细标准，本文提出从多重尺度（小尺度、中尺度和大尺度）量化西方蜜蜂数量以供未来研究参考。

参考文献 (References)

Artz DR, Hsu CL, Nault BA, 2011. Influence of honey bee, *Apis mellifera*, hives and field size on foraging activity of native bee species in pumpkin fields. *Environmental Entomology*, 40(5): 1144–1158.

Badano EI, Vergara CH, 2011. Potential negative effects of exotic honey bees on the diversity of native pollinators and yield of highland coffee plantations. *Agricultural and Forest Entomology*, 13(4): 365–372.

Brittain C, Williams N, Kremen C, Klein AM, 2013. Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services.

Proceedings Biological Sciences, 280(1754): 20122767.

Delaplane KS, Dag A, Danka RG, Freitas BM, Garibaldi LA, Goodwin RM, Hormaza JI, 2013. Standard methods for pollination research with *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 52(4): 1–28.

Dong J, Huang MJ, Zhang H, Yang SY, Zhang JW, Wang DQ, 2024. Evaluation of effect of pollination by different bees on improving quality and yield of Loquat fruit (*Eriobotrya japonica*) in Qiandao Lake region. *Apiculture of China*, 75(1): 53–56. [董捷, 黄敏婕, 张红, 杨淑媛, 张嘉文, 王德前, 2024. 千岛湖地区不同蜜蜂传粉对枇杷增产提质效果的评价. 中国蜂业, 75(1): 53–56.]

Drossart M, Gérard M, 2020. Beyond the decline of wild bees: Optimizing conservation measures and bringing together the actors. *Insects*, 11(9): 649.

Dymond K, Celis-Diez JL, Potts SG, Howlett BG, Willcox BK, Garratt MPD, 2021. The role of insect pollinators in avocado production: A global review. *Journal of Applied Entomology*, 145(5): 369–383.

Giovanetti M, Mariotti Lippi M, Foggi B, Giuliani C, 2015. Exploitation of the invasive *Acacia pycnantha* pollen and nectar resources by the native bee *Apis mellifera*. *Ecological Research*, 30(6): 1065–1072.

Goulson D, 2003. Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology*, *Evolution*, *and Systematics*, 34: 1–26.

Greenleaf SS, Kremen C, 2006. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(37): 13890–13895.

Gudowska A, Cwajna A, Marjańska E, Moroń D, 2024. Pollinators enhance the production of a superior strawberry-A global review and meta-analysis. *Agriculture*, *Ecosystems & Environment*, 362: 108815.

Guo YY, Liu LC, Meng W, Wang XY, Yao HR, Li LJ, 2023. Blooming characteristics and breeding system of an invasive plant *Gaura parviflora*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 34(6): 1517–1524. [郭玉莹, 刘龙昌, 孟伟, 王鑫业, 姚海瑞, 李隆基, 2023. 入侵植物小花山桃草开花特性与繁育系统. 应用生态学报, 34(6): 1517–1524.]

Guo Y, Song ZQ, Zhang XF, Song HL, Wu WQ, Shao YQ, 2017. Comparison of pollinating effects for the alfalfa between *Apis mellifera* L. and *Bombus terrestris* L. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(6): 1008–1014. [郭媛, 宋卓琴, 张旭凤, 宋怀磊, 武文卿, 邵有全, 2017. 西方蜜蜂和地熊蜂为紫花苜蓿授粉效果比较. 应用昆虫学报, 54(6): 1008–1014.]

Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T, 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B*: *Biological Sciences*, 274(1608): 303–313.

Köppler K, Vorwohl G, Koeniger N, 2007. Comparison of pollen spectra collected by four different subspecies of the honey bee *Apis mellifera*. *Apidologie*, 38(4): 341–353.

Lima MAP, Cutler GC, Mazzeo G, Hrncir M, 2022. The decline of wild bees: Causes and consequences. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10: 1027169.

Liu RR, Chen DL, Luo SD, Xu SJ, Xu HL, Shi XY, Zou Y, 2020. Quantifying pollination efficiency of flower-visiting insects and its application in estimating pollination services for common buckwheat. *Agriculture*, *Ecosystems & Environment*, 301: 107011.

Liu WL, Wang YF, Chen Q, Yu SX, 2013. Pollination of invasive *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) by the introduced honeybee (*Apis mellifera* L.) in South China. *Plant Systematics and Evolution*, 299(5): 817–825.

Lü W, Ji S, Yan SJ, Gu LZ, Cheng M, Hu WJ, 2024. Composition and diversity of flower-visiting insects of 10 invasive herbaceous plants in Fuzhou. *Journal of Environmental Entomology*, 1–12. [吕蔚, 纪霜, 闫淑君, 顾灵桢, 程敏, 胡文静, 2024. 福州 10 种入侵草本植物访花昆虫组成及多样性. 环境昆虫学报, 1–12.]

Ma CS, Shi XY, Chen SH, Han JC, Bai HD, Li ZR, Li-Byarlay H, Bai LY, 2024. Combined pesticides in field doses weaken honey bee (*Apis cerana* F.) flight ability and analyses of transcriptomics and metabolomics. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 201: 105793.

MacInnis G, Forrest JRK, 2019. Pollination by wild bees yields larger strawberries than pollination by honey bees. *Journal of Applied Ecology*, 56(4): 824–832.

Moritz RFA, Härtel S, Neumann P, 2005. Global invasions of the western honeybee (*Apis mellifera*) and the consequences for biodiversity. *Écoscience*, 12(3): 289–301.

Ouyang F, Wang LN, Yan Z, Men XY, Ge F, 2019. Evaluation of insect pollination and service value in China's agricultural ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 39(1): 131–145. [欧阳芳, 王丽娜, 闫卓, 门兴元, 戈峰, 2019. 中国农业生态系统昆虫授粉功能量与服务价值评估. 生态学报, 39(1): 131–145.]

Page ML, Williams NM, 2023. Honey bee introductions displace native bees and decrease pollination of a native wildflower. *Ecology*, 104(2): e3939.

Paini DR, 2004. Impact of the introduced honey bee (*Apis mellifera*) (Hymenoptera: Apidae) on native bees: A review. *Austral Ecology*, 29(4): 399–407.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O,

Kunin WE, 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*. 25(6): 345–353.

Ren XX, Meng BD, Zhao WZ, Gong XY, Chen XL, Huang YQ, Zhou DY, Dong K, 2021. Effect of the colony densities of *Apis mellifera* on the foraging behavior of *Apis cerana*. *Journal of Yunnan Agricultural University* (*Natural Science*), 36(1): 82–90. [任晓晓, 孟柏达, 赵文正, 龚雪阳, 陈新兰, 黄永权, 周丹银, 董坤, 2021. 西方蜜蜂的放蜂密度对东方蜜蜂采集行为的影响. 云南农业大学学报(自然科学), 36(1): 82–90.]

Rollin O, Bretagnolle V, Decourtye A, Aptel J, Michel N, Vaissière BE, Henry M, 2013. Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agriculture*, *Ecosystems & Environment*, 179: 78–86.

Rollin O, Garibaldi LA, 2019. Impacts of honeybee density on crop yield: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 56(5): 1152–1163.

Russo L, 2016. Positive and negative impacts of non-native bee species around the world. *Insects*, 7(4): 69.

Shang FJ, Wang L, 2014. Biological characteristics of flowering and pollination of *Iris sanguinea*. *Pratacultural Science*, 31(5): 892–897. [尚方剑, 王玲, 2014. 溪荪开花及传粉生物学特性. 草业科学, 31(5): 892–897.]

Shen JS, Wu WQ, Ma WH, Song HL, Li LX, Shao YQ, 2022. Effects of bee number on pollination of fuji apple. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 50(9): 1303–1308. [申晋山, 武文卿, 马卫华, 宋怀磊, 李立新, 邵有全, 2022. 蜜蜂数量对红富士苹果授粉效果的影响. 山西农业科学, 50(9): 1303–1308.]

Shi XY, Fu DM, Xiao HJ, Hodgson JA, Yan DY, Zou Y, 2022. Comparison between window traps and pan traps in monitoring flower-visiting insects in agricultural fields. *Bulletin of Entomological Research*, 112(5): 691–696.

Shi XY, Xiao HJ, Luo SD, Hodgson JA, Bianchi FJJA, He HM, van der Werf W, Zou Y, 2021. Can landscape level semi-natural habitat compensate for pollinator biodiversity loss due to farmland consolidation? *Agriculture*, *Ecosystems & Environment*, 319: 107519.

Tang L, Yan XF, 2024. Common bee species and their influencing factors for fruit tree pollination. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 30(21): 37–43. [唐立, 阎雄飞, 2024. 果树授粉常用蜂种及其影响因素. 安徽农学通报, 30(21): 37–43.]

Valido A, Rodríguez-Rodríguez MC, Jordano P, 2019. Honeybees disrupt the structure and functionality of plant-pollinator networks. *Scientific Reports*, 9(1): 4711.

Xiao YL, Tang WY, Liu CH, Yu K, Gong Y, Yang QM, Zhang YG, Qu CH, Wang LP, Guo D, Yu LY, 2019. Analysis of the pollinating services provided by *Osmia* cornifrous (Rodoszkouski) and *Apis mellifera ligustica* Spin in apple and cherry orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1235–1242. [肖云丽, 唐文颖, 刘存辉, 于凯, 公义, 杨勤民, 张玉国, 曲诚怀, 王利平, 国栋, 于玲雅, 2019. 壁蜂及蜜蜂授粉对苹果和大樱桃授粉服务功能分析. 应用昆虫学报, 56(6): 1235–1242.]

Yang QX, Peng R, Yu CH, Liang YL, Sun NX, 2022. The characteristics of pollination biology of *Fritillariae taipaiensis* P. Y. Li. *Molecular Plant Breeding*, 20(8): 2740–2746. [杨秋雄, 彭锐, 余成华, 梁艳丽, 孙年喜, 2022. 太白贝母传粉生物学特征. 分子植物育种, 20(8): 2740–2746.]

Zhang KY, Li YY, Sun KL, Bao JY, He CL, Hou XG, 2022. Supplementary honey bee (*Apis Mellifera* L.) pollination enhances fruit growth rate and fruit yield in *Paeonia ostii* (Family: Paeoniaceae). *PLoS ONE*, 17(8): e0272921.