环境昆虫学报 2017，39（1）：213－220
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2017. 01. 27

黄敦元，何波，谷平，等. 油茶传粉昆虫研究现状与方向的探讨 [J]. 环境昆虫学报，2017，39（1）：213－220.

油茶传粉昆虫研究现状与方向的探讨

黄敦元[1,2]，何　波[1,3]，谷　平[1]，苏田娟[1,2]，朱朝东[2*]
（1. 江西环境工程职业学院，江西赣州 341000；2. 中国科学院动物研究所，中国科学院动物进化与系统学重点实验室，北京 100101；
3. 中南林业科技大学林学院，长沙 410004）

摘要：油茶是典型的异花授粉植物，其中虫媒是主要形式，所以利用野生传粉性昆虫来提高油茶授粉效率，解除花粉限制，是解决我国油茶产业“瓶颈”的有效方法之一。目前，关于油茶传粉昆虫的研究比较匮乏，仅限于传粉昆虫的种类调查和部分野生蜜蜂传粉生物学和营巢生物学特性研究，不能满足油茶产业发展的需要。在现有研究基础上，结合传粉昆虫研究发展趋势，本文将提出以下几个重要研究内容：油茶访花昆虫种类的调查和鉴定；主要传粉昆虫传粉生物学研究；优势传粉昆虫的筛选；野生传粉蜜蜂与油茶授粉间的关系；利用传粉昆虫与油茶的协同进化进行油茶品种选育。以期为油茶传粉昆虫的后续研究提供参考。

关键词：传粉昆虫；油茶；野生蜜蜂；传粉效率
中图分类号： Q968. 1；S89　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2017）01－0213－08

Discussion on current situation and research direction of pollination insects of *Camellia oleifera*

HUANG Dun-Yuan[1,2]，HE Bo[1,3]，GU Ping[1]，SU Tian-Juan[1,2]，ZHU Chao-Dong[2*]（1. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College，Ganzhou 341000，Jiangxi Province，China；2. Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution（CAS），Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100101，China；3. Certral South University of Forestry and Technology，Changsha 410004，China）

Abstract: Entomophily is the main form for *Camellia oleifera*，a typical cross-pollination plant. Exploiting wild pollinator insects can improve this plant's pollination efficiency，relieve the pollen limitation，and exert as an effective strategy to solve the existing ‘bottleneck’ of the *C. oleifera* industry in China. However，current studies on pollinators of *C. oleifera* only focus on taxonomy，field survey，and nesting biology of some wild bees，which can not meet the needs of the cultivation of *C. oleifera* industry. In view of the tendency，this paper reviews several aspects of pollinator research in order to provide reference for the future investigations，including the survey and species identification of insects visiting *C. oleifera* flowers，the pollination efficiency of the main pollinators，culling preponderant pollinators，the relationship between wild bees and fruit set of *C. oleifera*，and breeding fitter strains of the *C. oleifera* by taking advantages of the coevolution of *C. oleifera* and its pollinators.

Key words: Pollinators；*Camellia oleifera*；wild bee；pollination efficiency

---

基金项目：中国博士后科学基金 57 批面上项目（2015M571120）；江西省教育厅 2014 年自然科学研究项目（14805）
作者简介：黄敦元，男，1974 年生，博士，主要从事传粉性野生蜜蜂的相关研究
* **通讯作者** Authors for correspondence，E－mail：zhucd@ ioz. ac. cn
收稿日期 Received：2015－12－25；**接受日期** Accepted：2016－11－14

油茶 *Camellia oleifera* 属山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia* 木本油料植物。我国是油茶资源大国，现有油茶面积 340 万 ha，主要分布在我国长江以南区域。茶油是优良的食用油，集食用和医疗保健于一身，长期以来被誉为“东方橄榄油”（陈永忠等，2002）。

油茶花期正值冬季，传粉昆虫种类及数目少，难以满足油茶授粉需要（黄敦元等，2008）。因此，花粉资源限制（pollen limitation）可能是导致油茶座果率低，出现“千花一果”的重要原因。“花多果少”是油茶产业规模发展的“瓶颈”。目前在提高座果率方面的研究取得了一些进展，赵尚武（1993）应用家养蜜蜂为油茶授粉，可以小面积提高油茶的座果率和出油率，王孟林等（1989）研发的“油茶蜂乐”，也初步解决家养蜜蜂因采集油茶花蜜而导致蜜蜂后代死亡的问题。然而我国油茶栽培区广布在长江中下游等南方地区，多数油茶产区因花期气温低，家养蜜蜂基本不出巢活动，所以利用家养蜜蜂为油茶授粉的技术一直没有得到有效推广。所以，如何利用油茶林区及周边林区的野生蜜蜂资源来解决油茶授粉问题显得尤为重要。

野生蜜蜂是野生植物和农作物重要的传粉昆虫（Freitas and Pereira，2004；Aizen *et al.*，2008），且这些蜜蜂绝多数为独栖性土栖蜂，因此对栖息地环境要求比较高，包括适宜的筑巢地点、充足的蜜源植物和筑巢所需的材料等。因此，要维持一定生态环境下野生蜜蜂的传粉生态功能，有必要在野生蜜蜂类群分布区内保护或重建适宜的栖息地环境（Lebuhn *et al.*，2012；Neame *et al.*，2013；Peters *et al.*，2013）。目前，尽管人类无法精确估计野生传粉蜜蜂的种类和数量，但已经意识到世界上很多地方传粉昆虫的种类和数量开始下降，导致许多作物传粉不足（Kearns *et al.*，1998；Steffan-Dewenter *et al.*，2005；Potts *et al.*，2010）。在我国，野生传粉蜜蜂应用的研究目前主要集中在使用熊蜂为温室大棚蔬菜授粉、壁蜂为果树授粉和苜蓿切叶蜂为牧草授粉等方面（郭志弘等，1999；安建东等，1999；吴燕如，2000；孙永深等，2003；孙中朴，2004）。鉴于国内对油茶传粉昆虫研究滞后的现状，本文在总结现有研究的基础上，就将来研究的主要方向进行探讨，希望能对开展油茶传粉昆虫的相关研究提供参考。

1 油茶传粉昆虫研究现状

1.1 油茶传粉昆虫资源调查

油茶是典型的虫媒性异花授粉植物，花期需要借助油茶林区传粉昆虫（尤其是传粉性野生蜜蜂）来提高油茶的异花传粉效率，解除因花粉限制而导致油茶座果率低下的问题。目前国内对油茶传粉昆虫资源调查的研究不多。2009 年 11 月－2010 年 1 月对福建省油茶林传粉昆虫种类调查统计发现：福建省油茶林中主要传粉昆虫有 24 种，分属于 3 目 11 科 17 属，膜翅目的昆虫种类最多，有 11 种；大分舌蜂 *Colletes gigas* 是油茶最重要的传粉昆虫（何学友等，2010）。2010、2012 年的 10－12 月在广西油茶林采集到有传粉作用的昆虫 54 种，主要为蜜蜂科、胡蜂科和食蚜蝇科的昆虫（罗辑等，2014），其中 2012 年 10－12 月，广西省内油茶林中有传粉膜翅目昆虫有 8 科 13 属 25 种，大多为蜜蜂科和胡蜂科昆虫，共有 19 种（黄华艳等，2014）。邓园艺等（2010）在 2007 年和 2008 年油茶花期在湖南省跳马种群和宁乡种群发现油茶的主要访花昆虫有 6 种，其中油茶地蜂 *Andrena camellia* 和大分舌蜂是油茶的有效传粉昆虫。总结之前的研究发现油茶传粉昆虫主要有：大分舌蜂、油茶地蜂、湖南地蜂 *Andrena hunanensis*、浙江地蜂 *Andrena chekiangensis*、纹地蜂 *Andrena striata* 等膜翅目昆虫，常见种类约 30 多种（吴燕如，1977；庄瑞林，1998；何学友等，2010；黄敦元等，2008，2015）（见图 1）。

1.2 部分野生传粉蜜蜂的生物学研究

野生传粉蜜蜂生物学基础知识不仅是开展野生蜜蜂人工管理、驯化、工厂化繁殖和传粉实践技术的理论基础，还是制定保护策略和构建适宜栖息地环境的重要理论依据，其重要性不言而喻。我国从上世纪 70 年就开始研究油茶传粉蜂生物学特征并对几种主要传粉蜜蜂进行了准确鉴定（吴燕如，1977）。何碧云等（1981）等报道了油茶地蜂的形态特征、筑巢习性和人工释放的方法；韩宁林等（1979，1980）等通过插花小罩等方法初步实现了油茶地蜂的人工放养，从而有效地增加了油茶林区油茶地蜂的种群密度，满足油茶的授粉需要。黄敦元等（2008）和丁亮等（2007）在江西宜春油茶林区研究了油茶地蜂的生物学特性、营巢生物学、栖息地环境保护和构建，揭示出油

茶地蜂的生活史、巢穴选址和巢穴分布以及构造的特点，在研究中还发现：气候变化对油茶地蜂行为的影响至关重要；光照、土壤温度及其变化幅度可能对油茶地蜂的发育速率有一定的影响；油茶初花期的雨量及土壤湿度是地蜂选择筑巢地址的主要影响因素之一。同时，丁亮等（2008）探索了艳斑蜂 *Nomada* sp. 对油茶地蜂的盗寄生等科学问题，发现艳斑蜂在寄主外出访花期间侵入产卵，且进洞率高，但是寄生率极低。随后，赵延会等（2010）和黄敦元等（2014，2015）对大分舌蜂的生物学特性、营巢规律、栖息地环境和访花规律等问题进行研究，揭示了大分舌蜂的生活史、巢穴构造和筑巢特点、访花行为和活动规律，研究中还发现光照、土壤温度等因素可能对大分舌蜂的发育速率有一定的影响，但具体影响规律还需要进一步的研究。已有的研究表明，大分舌蜂和油茶地蜂等野生蜜蜂是典型的地下筑巢独栖类群，具有一定的社会性，对栖息地环境（如土壤类型、土壤紧实度、土壤湿度和光照强度等）及周边蜜源植物的分布等要求比较高。

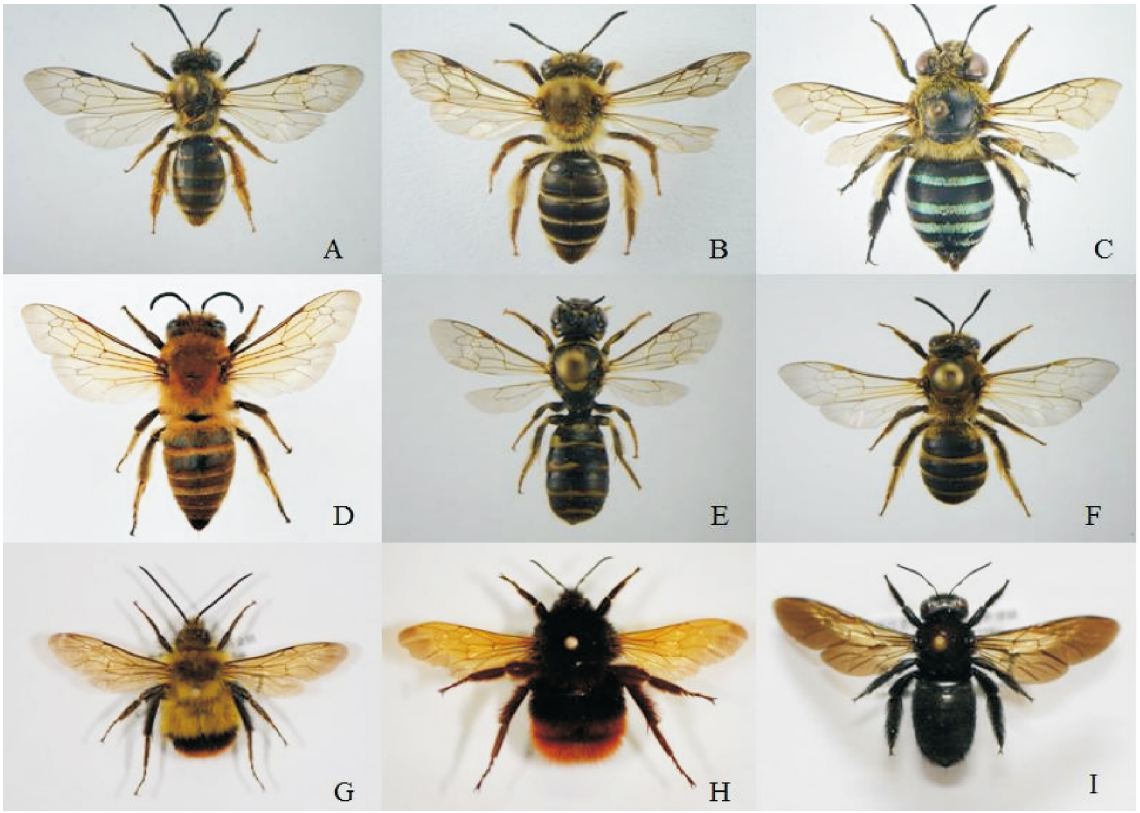

图 1　部分油茶传粉昆虫

Fig. 1　Some pollinators for *Camellia oleifera*

注：A，油茶地蜂；B，浙江地蜂；C，绿条无垫蜂；D，大分舌蜂；E，拟黄芦蜂；F，尖肩淡脉隧蜂；G，三条熊蜂；H，萃熊蜂；I，竹木蜂。Note: A，*Andrena camellia*; B，*Andrena chekiangensis*; C，*Zonamegilla zonata*; D，*Colletes gigas*; E，*Ceratina hieroglyphica*; F，*Lasioglossum subopacum*; G，*Bombus* (*Diversobombus*) *trifasciatus*; H，*Bombus* (*Rufipedibombus*) *eximius*; I，*Xulocopa nasalis*.

2　油茶传粉昆虫生物学和生态学的主要研究方向

2.1　加强油茶传粉昆虫种类调查和鉴定

我国是油茶资源大国，全国现有油茶面积 340 万 ha，主要分布在湖南、江西、广西、浙江等南方地区。在中央财政油茶专项资金及社会各类资金的资助下，人工选育的高产油茶不断被引种拓展到新的生态系统中。新种植的油茶如何整合融入当地的野生传粉网络是一个全新的问题，因为这关系到油茶的座果率及产量。油茶传粉昆虫作为资源昆虫越来越受到人们的关注，目前油茶传粉昆虫的研究较为滞后且不够系统，需要进

一步的加强。研究表明，由于各地气候差别，野生传粉昆虫空间分布具有一定差异（Luo *et al.*，2011）。油茶在我国南方分布范围广、海拔梯度大（50－2500 m），油茶传粉昆虫主要种类在不同生境中可能存在较大差异（黄华艳，2014；邱建生，2015），需要对我国南方油茶主要产区传粉昆虫的地理分布特征进行详细研究。研究内容包括：（1）不同产区油茶传粉昆虫的种类组成与多度特征；（2）不同产区油茶传粉昆虫群落组成相似性；（3）探析不同产区油茶和传粉昆虫传粉系统组成的稳定性与差异性。

2.2 重视主要传粉昆虫的营巢生物学和传粉生物学特征研究

油茶传粉昆虫中的野生蜜蜂绝大多数为独栖性类群，对栖息地环境要求比较高，包括适宜的筑巢地点、充足的蜜源植物和筑巢所需的材料等（黄敦元等，2015）。研究发现：油茶地蜂、湖南地蜂 *Andrena hunanensis*、浙江地蜂、纹地蜂 *Andrena striata*、大分舌蜂等油茶有效传粉野生蜜蜂均属于典型的寡访花类群（Oligolectic），雌性成虫活动期专访油茶花并收集花粉和花蜜带回巢穴中制作蜂粮并完成后代繁育工作，同时也很好地帮助油茶完成了异花授粉（黄敦元等，2008）。

目前对油茶地蜂和大分舌蜂的基本生物学特性有少量研究（丁亮等，2007；黄敦元等，2008，2015；赵延会等，2010），但远不能满足油茶产业的发展需求，建议参考油茶地蜂和大分舌蜂生物学、营巢规律、栖息地环境和访花规律的研究方法，对湖南地蜂、浙江地蜂和纹地蜂等野生蜜蜂的传粉生物学和营巢生物学进行系统研究，为油茶野生传粉蜜蜂的保护和利用提供基础知识。

2.3 优势传粉昆虫的筛选和确定

筛选并确定特定蜜源植物的优势传粉昆虫是对其进行研究和人工驯化的基础（蒙艳华等，2007）。目前关于如何确定优势传粉昆虫的研究方法比较成熟。如，蒙艳华等（2007）研究发现白脸条蜂 *Anthophora albifronella* 是塔落岩黄芪 *Hedysarum laeve* 最有效的传粉蜂。Wilson 和 Thomson（1991）通过野外观察发现采集花蜜为主要目的的熊蜂能给好望角凤仙花 *Impatiens capensis* 柱头上带来大量的花粉，完成了该植物的授粉功能。这些成熟的研究方法为后续油茶主要传粉昆虫的传粉效率研究提供方法上的借鉴。

访花昆虫不一定都是有效传粉者，且不同传粉者之间的传粉效率（Pollination effectiveness）也存在一定的差异性，判定是否是有效传粉昆虫需要确定访花者是否携带花粉并沉降到柱头表面。所以，在对访花昆虫种类和数目描述的基础上，需要深入研究访花频率、花粉移出率和花间运动式样等参数，因为这些因素会直接影响传粉是否成功。不同传粉昆虫的传粉效率与传粉昆虫的传粉数量和质量直接相关。传粉数量取决于传粉昆虫访问蜜源植物的频率，而传粉质量主要取决于传粉昆虫单次访花所携带花粉的数量和单次访花在柱头沉降的花粉数目。昆虫单次访花携粉量越高，意味着可供转移的花粉数目越多，也就意味着该传粉昆虫具有较高的传粉效率。

通过访花频率（visiting frequency）、花粉移出率（pollen removed per visit）、柱头花粉沉降数目（pollen deposition on stigmas per visit）、单花停留时间（duration of each visit）、花间运动式样（flower visit consistency）和体表携粉量（pollen grains of body carrying）等参数的调查和统计，对油茶主要野生传粉蜜蜂的传粉效率进行比较研究，确定油茶花期的优势传粉昆虫种类，为保护和利用这些野生蜜蜂提供基础资料。

2.4 主要野生传粉蜜蜂丰富度与油茶座果率（产量）之间的关系

已有研究表明，世界上 107 种人类直接利用的主要农作物中有 91 种（相当于 85% 的农作物）依靠授粉进行生产（Klein *et al.*，2007）。在欧洲，84% 的经济作物生产直接或间接依靠授粉，尤其是蜜蜂授粉（Williams，1994）。如此计算，人类饮食中有 1/3 直接或间接依赖昆虫授粉作物（Kearns *et al.*，1998；Holden，2006）。我国自上个世纪 50 年代开始，已经对部分作物进行了传粉蜜蜂授粉服务研究。孙德勋和张成东（1979）研究表明饲养蜜蜂为果树提供授粉服务，比自然授粉受精快，坐果率高，产量高，如给苹果提供授粉服务可以增产 77% －344%，杏增产 71% －186%；吴姜根和陈莉莉（1984）对砀山酥梨进行了授粉试验，产量可提高 8－9 倍，蜜蜂授粉比人工授粉增产 15%。邵永祥等（1995）研究蜜蜂对香梨授粉时发现，蜜蜂授粉的香梨比自然授粉的座果率提高 25%，香梨增产 32% 以上，商品率提高 50%；龚禹峰等（2001）应用熊蜂为温室桃授粉，坐果率高达 85.25%。诸多成熟实例说明昆虫传粉服务对农林业生产能发挥巨大的作用。

诸多研究表明，提高油茶林区大分舌蜂、油茶地蜂、浙江地蜂、纹地蜂、湖南地蜂等野生蜜蜂种群数量可以提高油茶的座果率（庄瑞林，1998；何学友等，2010；黄敦元，2015），但至今仍缺乏直接数据证明油茶林区的野生传粉蜜蜂对油茶产量的提高带来的具体经济效益。

目前，国内外常用环境服务和交易综合评估模型（Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs，简称 InVEST）来评估传粉蜜蜂对经济作物的生产价值（Erik *et al.*，2009；王玉洁等，2014）。在 InVEST 传粉模型中，我们可以将油茶林区传粉效率较高的野生蜜蜂设定为主要传粉者（主要包括大分舌蜂、油茶地蜂等）。通过 InVEST 传粉模型，来估算野生蜜蜂对油茶产量的贡献率大小。主要按照以下步骤进行：首先，根据油茶传粉主要野生蜜蜂蜂巢位置、油茶树体位置和野生蜜蜂飞行范围的相关数据，利用 InVEST 传粉模型绘制该景观内野生传粉蜜蜂的蜂量指数图；其次，模型利用蜂量指数图和主要传粉野生蜜蜂飞行范围的数据预测景观中可能作为传粉者的数量指标；最后，把油茶产量功能简单化，即把油茶传粉野生蜜蜂的蜂量转化为油茶产值（油茶座果率）。

2.5　从传粉昆虫与油茶之间的协同进化角度来进行油茶的品种选育

一般来说，虫媒传粉植物与传粉者之间存在协同进化的关系。对油茶这种典型异花授粉植物来说，花粉限制程序和花期野生蜜蜂的种类和丰度是直接相关的。油茶是典型的两性花，具有花粉资源丰富、颜色鲜艳和香味浓郁等特征，所以能充分吸引林区及周边野生蜜蜂，以满足其授粉需要。

昆虫和植物是陆地生物群落中最为重要的组成部分，昆虫和植物之间相互影响、相互作用，具有复杂多样的协同演化关系。花颜色的鲜艳度，花部形状大小，蜜腺的分泌量以及花的香味，都向着更有利于异花传粉的方向进化；同时，昆虫的外部结构和访花习性也相应发生演化，趋向于便于采集花粉（花蜜）并有利于协助植物异花授粉的方向。20 世纪著名的植物进化生物学家 Stebbins（1970）曾提出“花部特征是由当地最频繁、最有效的传粉者所塑造的”。植物所具有的不同组合的花部特征，吸引着不同的传粉者，被称之为传粉综合特征（pollination syndrome）。但是，对传粉综合特征的验证往往是基于理论、少数物种或者特定的花部特征（Valdivia and Niemeyer，2006；方强和黄双全，2014）。

近年来，对一些植物的花部构成的量化研究方法基本成熟并获得了可信的结果，此类研究对揭示植物传粉与繁育机制和繁殖生态学有重要的意义（Shuttleworth and Johnson，2010；李庆良等，2012）。结合油茶的花部结构，通过近几年野外观测我们得出的初步结论是：油茶花结构中黄色雄蕊群较白色的花瓣对野生传粉蜜蜂（如油茶地蜂）更具有吸引力；花的大小也会影响野生授粉者（如大分舌蜂）的访花频率，花的外形较大对应的花粉较多，能给授粉者提供完善的营养物质，而且花粉较容易采集，所以能吸引更多的野生传粉蜜蜂到访；柱头位于雌蕊的顶端，是接受花粉的部位，油茶花柱头的伸出程度、柱头表面积和雄蕊群的开口大小都会影响异种花粉的接收能力。所以，笔者建议今后进行油茶品种选育时适当的考虑传粉昆虫与油茶花部结构之间的协同进化。

有关油茶同传粉昆虫协同进化方面的研究在国内才刚刚开始。随着油茶传粉昆虫生物学和生态学研究的深入，将来必更大的发展。

参考文献（References）

Aizen MA，Garibaldi LA，Cunningham SA，*et al.* Long－term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency［J］. *Current Biology*，2008，18：1572－1575.

An JD，Peng WJ，Liang SK. The biological characteristics and application prospect of Bumblebee［J］. *Journal of Bee*，1999，9：3－5.［安建东，彭文君，梁诗魁．熊蜂的生物学特性及其授粉应用前景［J］．蜜蜂杂志，1999，9，3－5］

Bohart GE. Management of wild bees for pollination of crops［J］. *Annual Review of Entomology*，1972，17：287－312.

Burd M. Bateman's Principle and plant reproduction：The role of pollen limitation in fruit and seed set［J］. *Botanical Review*，1994，60：83－139.

Campbell DR，Halama KJ. Resource and pollen limitations to lifetime seed production in a natural plant population［J］. *Ecology*，1993，74：1043－1051.

Chen YZ，Wang DB，Liu YX. The opportunity and countermeasures of *Camellia* industry development in Hunan Province［J］. *Hunan Forestry Science & Technology*，2002，27（4）：50－52.［陈永忠，王德斌，刘欲晓．湖南油茶产业发展机遇与对策［J］．湖南林业科技，2002，27（4）：50－52］

Deng YY，Yu XL，Luo YB. The role of native bees on the reproductive success of *Camellia oleifera* in Hunan Province，Central South China［J］. *Acta Ecologica Sinica*，2010，30（16）：4427－

4436. [邓园艺，喻勋林，罗毅波. 传粉昆虫对我国中南地区油茶结实和结籽的作用 [J]. 生态学报，2010，30 (16)：4427 – 4436]

Ding L，Huang DY，Zhang YZ，*et al.* Observation on the nesting biology of *Andrena camellia* Wu (*Hymenoptera* : *Andrenidae*) [J]. *Acta Entomologica Sinica*，2007，50 (10)：1077 – 1082. [丁亮，黄敦元，张彦周，等. 油茶地蜂巢穴生物学 [J]. 昆虫学报，2007，50 (10)：1077 – 1082]

Ding L，Huang DY，Zhang YZ，*et al.* Behavioral biology of a species of cleptoparasitic bee，*Nomada* sp. [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*，2008，45 (4)：604 – 607. [丁亮，黄敦元，张彦周，等. 盗寄生性蜜蜂 – 艳斑蜂的行为生物学观察 [J]. 昆虫知识，2008，45 (4)：604 – 607]

Erik N，Guillermo M，James R，*et al.* Modeling multiple ecosystem services，biodiversity conservation，commodity production，and tradeoffs at landscape scales [J]. *Ecol. Environ.*，2009，7 (1)：4 – 11.

Fang Q，Huang SQ. Progress in pollination ecology at the community level [J]. *Chinese Science Bulletin*，2014，59 (6)：449 – 458. [方强，黄双全. 传粉网络的研究进展：网络的结构和动态 [J]. 科学通报，2014，59 (6)：449 – 458]

Freitas BM，Pereira JOP. Solitary bees：Conservation，rearing and management for pollination [J]. *Universidade Federal do Ceará*，*Ceará*，*Brazil*，2004：125 – 134.

Fukuda Y，Suzuki K，Murata J. The function of each sepal in pollinator behavior and effective pollination in *Aconitum japonicum* var. *montanum* [J]. *Plant Species Biology*，2001，16：151 – 157.

Gong YB，Huang SQ. On methodology of foraging behavior of pollinating insects [J]. *Biodiversity Science*，2007，15 (6)：576 – 583. [龚燕兵，黄双全. 传粉昆虫行为的研究方法探讨 [J] 生物多样性，2007，15 (6)：576 – 583]

Gong YF，Xing YH，Ma SY. The experiment research about peach pollination by Bumblebee in greenhouse [J]. *Apiculture of China*，2001，52 (5)：18 – 19. [龚禹峰，邢艳红，马书英. 熊蜂为温室大棚桃授粉技术应用 [J]. 中国蜂业，2001，52 (5)：18 – 19]

Guo ZH，Wang FH，Guo JX. The Collecting and breeding of Bumblebee [J]. *Beijing Agricultural Sciences*，1999，17 (6)：37 – 39. [郭志弘，王凤鹤，郭建鑫. 熊蜂的采集与饲养 [J]. 北京农业科学，1999，17 (6)：37 – 39]

Haig D，Westoby M. On limits to seed production [J]. *American Naturalist*，1988，131：757 – 759.

He BY，Liu HY，Lei YB，*et al.* The study of *Andrena camellia* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*，1981，3：22 – 24. [何碧云，刘河芳，雷亚必，等. 油茶地蜂的研究 [J]. 昆虫知识，1981，3：22 – 24]

Han NL，Chen JY. A new method of introducing and release *Andrena camellia* – mixing flowers and creating shadow in the habitat [J]. *Forest Science and Technology*，1980，5：20 – 22. [韩宁林，陈家耀. 引放油茶地蜂的新方法 – 插花小罩法 [J]. 林业科技通讯，1980，5：20 – 22]

Han NL，Pan DY，Xu JZ. Method of fixed – point introducing and releasing *Andrena camellia* [J]. *Forest Science and Technology*，1979，9：19 – 20. [韩宁林，潘定杨，徐金泽. 油茶地蜂定点引放法 [J]. 林业科技通讯，1979，9：19 – 20]

He XY，Cai SP，Xiong Y. Investigation on the pollination insect species and their foraging behaviors on *Camellia oleifera* in Fujian Province [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*，2010，37 (4)：1 – 5. [何学友，蔡守平，熊瑜. 福建省油茶林主要传粉昆虫种类及访花行为 [J]. 福建林业科技，2010，37 (4)：1 – 5]

Hebert PDN，Cywinska A，Ball SL，*et al.* Biological identifications through DNA barcodes [J]. *Proceedings of the Royal Society of London B.*，2003，270：313 – 322.

Holden C. Report warns of looming pollination crisis in North America [J]. *Science*，2006，314：397.

Huang DY，Ding L，Zhang YZ，*et al.* Life history and relevant biological features of *Andrena camellia* Wu (Hymenoptera：Andrenidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*，2008，51 (7)：778 – 783. [黄敦元，丁亮，张彦周，等. 油茶主要野生传粉地蜂生活史及相关生物学习性研究 [J]. 昆虫学报，2008，51 (7)：778 – 783]

Huang DY，Gu P，Su TJ，*et al.* The study on bionomics character of *Colletes gigas* (Hymenoptera，Colletidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2015，37 (1)：133 – 138. [黄敦元，谷平，苏田娟，等. 大分舌蜂主要生物学特性研究 [J]. 环境昆虫学报，2015，37 (1)：133 – 138]

Huang DY，Gu P，Yu JF，*et al.* The habitats and foraging behaviors of *Colletes gigas* (Hymenoptera，Colletidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2014，36 (3)：315 – 321. [黄敦元，谷平，余江帆，等. 大分舌蜂的栖息地环境和访花规律 [J]. 环境昆虫学报，2014，36 (3)，315 – 321]

Huang HY，Luo J，Jiang XJ，*et al.* The investigation on hymenoptera pollination insect of *Camellia oleifera* in Guangxi Province [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*，2014，41 (2)：79 – 82. [黄华艳，罗辑，蒋学建，等. 广西油茶传粉膜翅目昆虫调查 [J]. 福建林业科技，2014，41 (2)：79 – 82]

Jeong RR，Jae CC. Floral visitors and nectar secretion of the Japanese camellia，*Camellia japonica* [J]. *Korean Journal of Biological Science*，2003，7：123 – 125.

Kearns CA，Inouye DW，Waser NM. Endangered mutualisms：The conservation of plant – pollinator interactions [J]. *Annual review of Ecology and Systematics*，1998，29：83 – 112.

Klein AM，Vaissiere B，Cane JH，*et al.* Importance of crop pollinators in changing landscapes for world crops [J]. *Proceedings of the Royal Society B：Biological Sciences*，2007，274：303 – 313.

Kunitake TK，Hasegawa M，Miyashita T，*et al.* Roles of a seasonal specialist bird *Zosterops japonica* on pollen transfer and reproductive success of *Camellia japonica* in a temperate area [J]. *Plant Species Biology*，2004，9：197 – 201.

Lebuhn G，Droege G，Connor E，*et al.* Detecting insect pollinator declines on regional and global scales [J]. *Conservation Biology*，2012，27：113 – 120.

Li QL, Ma XK, Cheng J, *et al*. Quantitative studies of floral color and floral scent [J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20 (3): 308 – 316. [李庆良，马晓开，程瑾，等. 花颜色和花气味的量化研究方法 [J]. 生物多样性，2012，20 (3)：308 – 316]

Luo J, Zhao CJ, Huang HY, *et al*. Variety investigation on pollinating insects of sasanqua in Guangxi [J]. *Guangxi Forestry Science*, 2014, 43 (1): 61 – 65. [罗辑，赵程劼，黄华艳，等. 广西油茶传粉昆虫多样性调查 [J]. 广西林业科学，2014，43 (1)：61 – 65]

Luo CW, Huang ZH, Chen XM, *et al*. Contribution of diurnal and nocturnal insects to the pollination of *Jatropha curcas* in Southwest China [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2011, 104 (1): 149 – 154.

Meng YH, Xu HL, Chen X, *et al*. Pollination efficiency of the main bee pollinators of *Hedysarum laeve*, a legume in Mu Us Sandland, Inner Mongolia [J]. *Biodiversity Science*, 2007, 15 (6): 633 – 638. [蒙艳华，徐环李，陈轩，等. 塔落岩黄芪主要传粉蜂的传粉效率研究 [J]. 生物多样性，2007，15 (6)：633 – 638]

Michener CD. The Social Behavior of the Bees: A Comparative Study [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1974: 102 – 122.

Neame L, Griswold T. Pollinator nesting guilds respond differently to urban habitat fragmentation in an oak – savannah ecosystem [J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2013, 6: 57 – 66.

Peter CI, Johnson SD. Mimics and magnets: The importance of color and ecological facilitation in floral deception [J]. *Ecology*, 2008, 89: 1583 – 1595.

Peters V, Carroll CR, Cooper R, *et al*. The contribution of plant species with a steady – state flowering phenology to native bee conservation and bee pollination services [J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2013, 6, 45 – 56.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, *et al*. Global pollinator declines: Trends, impacts, and drivers [J]. *Trends in Ecolology and Evolution*, 2010, 25: 345 – 353.

Qiu JS. Study on the Pollinators of Camellia Plants in Southwest China [D]. 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博士学位论文，2015]

Shao YX, Huang SQ, Wu YF. The pollination experiment of pear by bees [J]. *Journal of Bee*, 1995, 2: 26 – 27. [邵永祥，黄思奇，伍永福. 蜜蜂为香梨授粉的试验研究 [J]. 蜜蜂杂志，1995，2：26 – 27]

Shuttleworth A, Johnson SD. The missing stink: Sulphur compounds can mediate a shift between fly and wasp pollination systems [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 277: 2811 – 2819.

Stebbins GL. Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms, I: Pollination mechanisms [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1970, 1: 307 – 326.

Steffan – Dewenter I, Potts SG, Packer L. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20: 651.

Sun DX, Zhang CD. The effect of the utilization of bees for apple pollination [J]. *Apiculture of China*, 1979, 43 (4), 8 – 13. [孙德勋，张成东. 利用蜜蜂的苹果授粉 [J]. 中国蜂业，1979，43 (4)，8 – 13]

Sun ZP, Zhang JY, Zhu RS. The experiment research about cherry pollination by Bumblebee in greenhouse [J]. *Northern Fruits*, 2004, 6: 9. [孙中朴，张金玉，祝日胜. 温室大棚利用熊蜂为草莓授粉的相关研究 [J]. 北方果树，2004，6：9]

Tautz D, Arctander P, Minelli A, *et al*. A plea for DNA taxonomy [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18: 70 – 74.

Torchio PF. The present status and future prospects of non – social bees as crop pollinators [J]. *Bee World*, 1994, 75: 49 – 53.

Totland Ø. No evidence for a role of pollinator discrimination in causing selection on flower size through female reproduction [J]. *Oikos*, 2004, 106: 558 – 564.

Valdivia CE, Niemeyer HM. Do floral syndromes predict specialization in plant pollination systems? Assessment of diurnal and nocturnal pollination of *Escallonia myrtoidea* [J]. *New Zealand Journal of Botany*, 2006, 44: 135 – 141.

Wang GP, Cha YL, Ma M, *et al*. Research on *Osmia* biology and the result of pollination of apple by *Osmia* bees in the different apple production area [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29 (34): 171 – 176. [王贵平，查养良，马明，等. 不同苹果产区壁蜂授粉生物学特性及授粉效应研究 [J]. 中国农学通报，2013，29 (34)：171 – 176]

Wang ML. The several problems needing attention to pollination of flowering stage of *Camellia oleifera* [J]. *Journal of Bee*, 1989, 5: 7 – 8. [王孟林. 油茶花期放蜂授粉应注意的几个问题 [J]. 蜜蜂杂志，1989，5：7 – 8]

Wang YJ, Gao JL, Zhao DX. Application of InVEST model in the pollination of crop pollination [J]. *Apiculture of China*, 2014, 65: 18 – 19. [王玉洁，高景林，赵冬香. InVEST 传粉模型在作物传粉中的应用 [J]. 中国蜂业，2014，65：18 – 19]

Williams IH. The dependences of crop production within the European Union on pollination by honey bees [J]. *Agricultural Zoology Reviews*, 1994, 6: 229 – 257.

Willmer PG, Bataw AAM, Hughes JP. The superiority of bumblebee to honeybees as pollinators: Insect visits to raspberry flowers [J]. *Ecological Entomology*, 1994, 19: 271 – 284.

Wilson P, Thomson JD. Heterogeneity among floral visitors leads to discordance between removal and deposition of pollen [J]. *Ecology*, 1991, 72 (4): 1503 – 1507.

Winfree R, Williams NM, Dusho J, *et al*. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses [J]. *Ecological Letters*, 2007, 10: 1105 – 1113.

Wu JG, Chen LL. The reported Dangshan pear pollination by bee on Yield [J]. *Apiculture of China*, 1984, 48 (6): 7 – 10. [吴姜根，陈莉莉. 蜜蜂为砀山酥梨授粉增产研究初报 [J]. 中国蜂业，1984，48 (6)：7 – 10]

Wu YR. The pollinating bees on *Camellia olifera* with descriptions of 4 new species of the genus *Andrena* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1977, 20 (4), 199 – 204. [吴燕如. 油茶传粉蜜蜂的鉴别及地蜂属四个新种 [J]. 昆虫学报，1977，20 (4)，199 – 204.]

Wu YR. Fauna Sinica, Hymenoptera: Melittidae, Apidae [M]. Beijing: Science Press, 2000. [吴燕如. 昆虫纲 第二十卷·膜翅目·准蜂科·蜜蜂科 [M]. 北京: 科学出版社, 2000]

Xu HL, Yang JW, Sun JR. Current status on the study of wild bee - pollinators and conservation strategies in China [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2009, 36 (4): 371 - 376. [徐环李, 杨俊伟, 孙洁茹. 我国野生传粉蜂的研究现状与保护策略 [J]. 植物保护学报, 2009, 36 (4): 371 - 376]

Zhao YH, Ding L, Yuan F, *et al*. Nesting biology of *Colletes gigas* Cockerell (Hymenoptera: Colletidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (11): 1287 - 1294. [赵延会, 丁亮, 袁峰, 等. 大分舌蜂营巢生物学 [J]. 昆虫学报, 2010, 53 (11): 1287 - 1294]

Zhao SW. Management measure for honey colony in flowering period of *Camellia oleifera* [J]. *Apiculture of China*, 1993, 5: 19 - 20. [赵尚武. 油茶花期蜂群的管理措施 [J]. 中国养蜂, 1993, 5: 19 - 20]

Zhuang RL. The *Camellia oleifera* of China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998: 1 - 20. [庄瑞林. 中国油茶 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 1 - 20]

(上接第 197 页)

[张志涛, 刘金生, 许强, 等. Bradford 法测定牛奶中蛋白质含量 [J]. 食品与机械, 2011, 27 (5): 128 - 132]

Zhao BS, Du J, Wang JG, *et al*. Preliminary study on antimicrobial activity of haemolymph from *Aspongopus chinensis* [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2011, 39 (6): 85 - 89. [赵柏松, 杜娟, 王金固, 等. 九香虫血淋巴的抗菌活性初步研究 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39 (6): 85 - 89]

Zhao HJ, Zhou NN, Xie XT. Inhibition of cytarabine in proliferation of human leukemia cloned strains determined by CCK - 8 [J]. *J. Clin. Pediatr.*, 2012, 30 (5): 460 - 465. [赵惠君, 周妮娜, 谢晓恬. CCK - 8 法检测阿糖胞苷对白血病细胞株增殖抑制作用 [J]. 临床儿科杂志, 2012, 30 (5): 460 - 465]

Zheng GP, Peng F, Ding RK, *et al*. Identification of proteins responsible for the multiple drug resistance in 5 - fluorouracil - induced breast cancer cell using proteomics analysis [J]. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.*, 2010, 136 (10): 1477 - 1488.

Zheng Y, Wu CX, Zhang ML. The epidemic and characteristics of female breast cancer in China [J]. *China Oncology*, 2013, 23 (8): 561 - 569. [郑莹, 吴春晓, 张敏璐. 乳腺癌在中国的流行状况和疾病特征 [J]. 中国癌症杂志, 2013, 23 (8): 561 - 569]

Zou Y, Wang WM, Zhu YN. In vitro evaluation the cytotoxicity of dental bonding agents through CCK - 8 assay [J]. *Journal of Oral Science Research*, 2011, 8 (27): 673 - 678. [邹颖, 王文梅, 朱雅男. CCK - 8 法评价口腔粘结材料的体外细胞毒性研究 [J]. 口腔医学研究, 2011, 8 (27): 673 - 678]