甘肃麦积山风景区熊蜂物种多样性调查*

安建东[1**] 缪正瀛[2] 张世文[2] 韩爱萍[2] 吴 杰[1***]

(1. 中国农业科学院蜜蜂研究所 农业部授粉昆虫生物学重点开放实验室 北京 100093;
2. 甘肃省养蜂研究所 天水 741022)

摘 要 熊蜂属昆虫是山区植物的重要传粉者,在保持生物多样性和维护生态系统平衡方面发挥着十分重要的作用。麦积山风景区位于甘肃东南部的西秦岭山区,地处北部温带黄土高原向南部亚热带河谷山地和西部高寒青藏高原过渡的地带,地理位置独特,生物资源丰富。为了探明该景区内熊蜂物种多样性现状,笔者于2007—2010连续4年对该景区的熊蜂属昆虫进行了系统调查。结果表明:2007—2010年,在该景区12个采样点共采集熊蜂属昆虫1 765头,隶属于7亚属20种;在12个采样点中,石门和净土寺的熊蜂种类丰富度最高;在20种熊蜂中,火红熊蜂 *Bombus pyrosoma*、红光熊蜂 *B. ignitus*、疏熊蜂 *B. remotus*、小峰熊蜂 *B. hypocrita s. l.* 和重黄熊蜂 *B. picipes* 的物种多度较高,依次位居前5位;麦积山风景区熊蜂区系成分以东洋区+古北区共有种为主(55%),其中东洋区成分高于古北区成分;麦积山熊蜂区系成分和南部亚热带湿润气候区的白水江自然保护区以及西部高寒气候区的扎尕那自然保护区比较接近,和北部温带半干旱气候区的崆峒山风景区相距较远。

关键词 熊蜂,种类丰富度,物种多度,区系成分

Species diversity of bumblebees in the Maijishan Scenic Area of Gansu Province

AN Jian-Dong[1**] MIAO Zheng-Ying[2] ZHANG Shi-Wen[2] HAN Ai-Ping[2] WU Jie[1***]

(1. Key Laboratory for Insect-Pollinator Biology of the Ministry of Agriculture, Institute of Apiculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 2. Gansu Institute of Apiculture, Tianshui 741022, China)

Abstract Bumblebees are important pollinators of mountain flowers, and as such, play a major role in maintaining biodiversity and ecosystem function. The Maijishan Scenic Area is located in southeastern Gansu in the Western Qinling Mountains; a transition zone between the northern temperate loess plateau, the southern subtropical mountains and the western high elevation, cold Qinghai-Tibetan plateau. To assess bumblebee diversity in the Maijishan Scenic Area we conducted a field survey between 2007 and 2010. During this survey, 1 765 specimens (20 species and 7 *Bombus* subgenera), were collected from 12 sample sites in the Maijishan Scenic Area. Of these 12 sites, the highest species richness was found in Shimen and Jingtusi. *Bombus pyrosoma*, *B. ignitus*, *B. remotus*, *B. hypocrita s. l.* and *B. picipes* were the 5 most abundant species. The main regional component of the bumblebee fauna of the Maijishan Scenic Area was Oriental + Palaearctic (55%) with the proportion of Oriental species higher than that of Palaearctic species. A similar pattern was found in the Baishuijiang nature reserve in the southern mountains, the Zhagana natural reserve in the western Qinghai-Tibetan plateau, but not at the Kongdongshan Scenic Area on the northern loess plateau.

Key words *Bombus*, species richness, species abundance, regional components

熊蜂隶属于膜翅目 Hymenoptera 蜜蜂科 Apidae 熊蜂属 *Bombus*(Williams *et al.*, 2008),熊蜂属昆虫是山区植物的重要传粉者,在保持生物多样性和维持生态系统平衡方面发挥着十分重要

* 资助项目:国家自然科学基金项目(30901055)、公益性科研院所基本业务费专项(09NM-01)、国家948项目(2011-S-1)和国家蜜蜂产业技术体系建设专项经费项目(CARS-45)。

** E-mail: anjiandong@yahoo.com.cn

*** 通讯作者,E-mail: apis@vip.sina.com

收稿日期:2011-02-15,接受日期:2011-05-11

表 1　甘肃麦积山风景区熊蜂属物种组成

Table 1　Bumblebee species recorded from the sample sites in Maijishan Scenic Area of Gansu Province

亚属 Subgenus	种类 Species	采样点 Sample sites											
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ	Ⅺ	Ⅻ
巨熊蜂亚属	长足熊蜂 *B.*（*Mg.*）*longipes*	●			●	●	●			●	●		
Megabombus（*Mg.*）	三条熊蜂 *B.*（*Mg.*）*trifasciatus*				●	●	●						
	二色熊蜂 *B.*（*Mg.*）*bicoloratus*											●	
	朝鲜熊蜂 *B.*（*Mg.*）*koreanus*				●							●	
	富丽熊蜂 *B.*（*Mg.*）*opulentus*						●	●			●		●
胸熊蜂亚属	低熊蜂 *B.*（*Th.*）*humilis*	●			●		●		●	●	●		
Thoracobombus（*Th.*）	锈红熊蜂 *B.*（*Th.*）*hedini*	●			●	●	●				●	●	
	疏熊蜂 *B.*（*Th.*）*remotus*	●	●		●	●	●		●	●		●	
拟熊蜂亚属	角拟熊蜂 *B.*（*Ps.*）*cornutus*				●					●	●		
Psithyrus（*Ps.*）	科尔拟熊蜂 *B.*（*Ps.*）*coreanus*									●			
火熊蜂亚属	眠熊蜂 *B.*（*Pr.*）*hypnorum*				●	●	●						
Pyrobombus（*Pr.*）	小雅熊蜂 *B.*（*Pr.*）*lepidus*	●											
	重黄熊蜂 *B.*（*Pr.*）*picipes*	●		●	●	●	●			●	●		
	稀熊蜂 *B.*（*Pr.*）*infrequens*					●							
	黄熊蜂 *B.*（*Pr.*）*flavescens*												●
真熊蜂亚属	红光熊蜂 *B.*（*Bo.*）*ignitus*	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bombus s. str.（*Bo.*）	明亮熊蜂 *B.*（*Bo.*）*lucorum s. l.*	●			●	●			●	●			
	小峰熊蜂 *B. hypocrita s. l.*	●		●	●	●	●		●	●	●	●	
阿熊蜂亚属 *Alpigenobombus*（*Ag.*）	灰熊蜂 *B.*（*Ag.*）*grahami*						●						
黑熊蜂亚属 *Melanobombus*（*Ml.*）	火红熊蜂 *B.*（*Ml.*）*pyrosoma*	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
合计 Total　7	20	10	3	4	13	11	12	3	6	10	9	7	3

注:Ⅰ石窟区 Shikuqu;Ⅱ植物园 Zhiwuyuan;Ⅲ仙人崖 Xianrenya;Ⅳ石门山 Shimenshan;Ⅴ石门村 Shimencun;Ⅵ净土寺 Jingtusi;Ⅶ马跑泉 Mapaoquan;Ⅷ观音村 Guanyincun;Ⅸ董水沟 Dongshuigou;Ⅹ花洋村 Huayangcun;Ⅺ贾河村 Jiahecun;Ⅻ大柳树村 Daliushucun.

2.2　麦积山风景区熊蜂分布特点

虽然在麦积山风景区 12 个采样点中均有熊蜂分布,但各采样点的种类丰富度明显不同(表 1)。在 12 个采样点中,石门山和净土寺的熊蜂种类丰富度最高,分别为 13 和 12 种,分别占该景区熊蜂种类总数的 65% 和 60%;相比之下,植物园、仙人崖、马跑泉和大柳树村的熊蜂种类丰富较低,均在 5 种以下;其他采集点如麦积山石窟区、石门村、观音村、董水沟、花洋村和贾河村的种类丰富度则在 6 ~ 11 种之间。

2007—2010 年,在麦积山风景区共采到熊蜂属昆虫 1 765 头 20 种,其物种多度差异明显(图 1)。在 20 种熊蜂中,火红熊蜂 *Bombus pyrosoma*、红光熊蜂 *B. ignitus*、疏熊蜂 *B. remotus*、小峰熊蜂 *B. hypocrita s. l.* 和重黄熊蜂 *B. picipes* 在物种多度由高到低的排序中位居前 5 位,其相对多度分别为 33.7%、22.6%、10.1%、9.5% 和 9.3%;尤其是火红熊蜂最为丰富,为 595 头,占该景区样本总数的三分之一;红光熊次之,为 399 头,在该景区 12 个采样点中均有分布。相反,小雅熊蜂 *B. lepidus*、黄熊蜂 *B. flavescens*、二色熊蜂 *B. bicoloratus*、科尔拟熊蜂 *B. coreanus* 和灰熊蜂 *B. grahami* 在该景区非常稀有,各采到 1 头,相对多度均在 0.1% 以下。其他种类如长足熊蜂 *B. longipes*、锈红熊蜂 *B. hedini*、低熊蜂 *B. humilis*、明亮熊蜂 *B. lucorum s. l.*、三条熊蜂 *B. trifasciatus*、富丽熊蜂 *B. opulentus*、眠熊蜂 *B. hypnorum*、角拟熊蜂 *B. cornutus*、朝鲜熊蜂 *B. koreanus* 和稀熊蜂 *B. infrequens* 的相对多度则处于 0.1% ~5% 之间。

甘肃麦积山风景区位于暖温带半湿润气候区

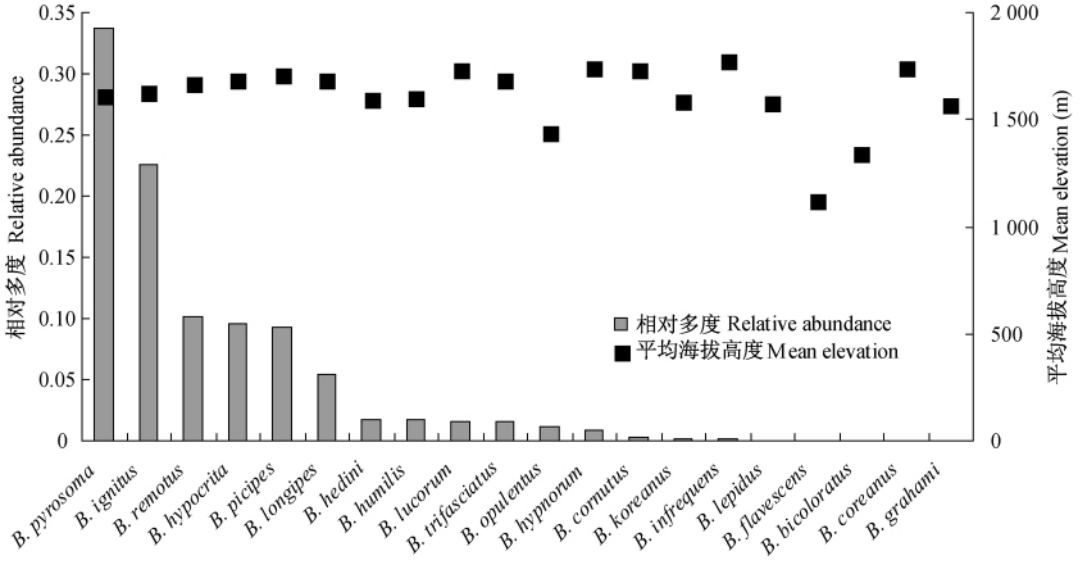

图 1　甘肃麦积山风景区熊蜂物种相对多度

Fig. 1　Relative abundance of bumblebee species in Maijishan Scenic Area of Gansu Province

的西秦岭北坡山区，12 个采样点相距较近，生态环境基本一致，在海拔高度上差异不大。此次调查结果表明，麦积山熊蜂分布最低为海拔 1 089 m 的马跑泉，最高为 1 770 m 的花洋村。20 种熊蜂中，大部分种类的平均海拔高度在 1 500 ~ 1 770 m 之间；只有个别稀有种类分布在海拔 1 500 m 以下，如在海拔高度为 1 118 m 的大柳树村采到 1 头黄熊蜂，在海拔高度为 1 336 m 的贾河村采到 1 头二色熊蜂（图 1）。

2.3　麦积山风景区熊蜂区系成分

麦积山风景区 20 种熊蜂的世界分布如表 2 所示，其区系成分以东洋区（O）+ 古北区（P）共有种为主（55.0%），东洋区种次之（40.0%），东洋区 + 古北区 + 新北区（N）共有种最少（5.0%）；东洋区成分明显多于古北区成分，其中泛东洋区种占 100%，泛古北区种占 60%（图 2：A）。

3　讨论

3.1　麦积山熊蜂物种多样性水平

此次调查，在麦积山风景区共发现熊蜂 20 种，占甘肃已知熊蜂种类总数的 39.2%（An *et al.*，2011），占中国熊蜂种类总数的 17.4%（Williams *et al.*，2010）；其种类丰富度高于地处太行山脉的山西五台山风景区（安建东等，2008），也高于地处燕山山脉的河北雾灵山自然保护区（安建东等，2010）。和省内相邻几个生态区

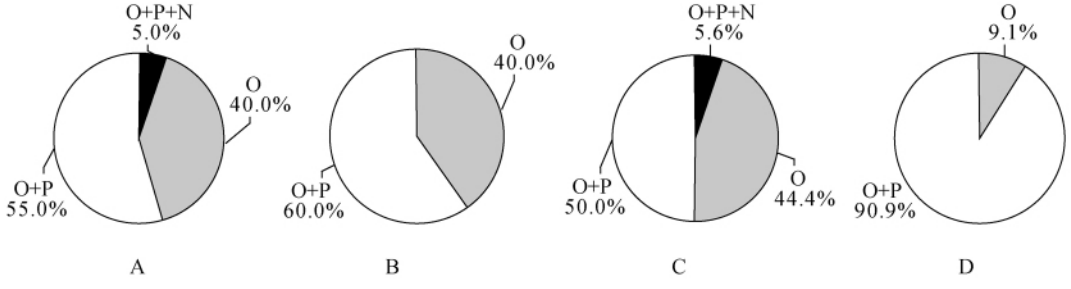

图 2　甘肃麦积山风景区（A）、白水江自然保护区（B）、扎尕那自然保护区（C）和崆峒山风景区（D）熊蜂区系成分

Fig. 2　Regional components of bumblebees in the Maijishan Scenic Area（A），the Baishuijiang Natural Reserve（B），the Zhagana Natural Reserve（C）and the Kongdongshan Scenic Area（D）of Gansu Province

O：东洋区种 Oriental；P：古北区种 Palaearctic；N：新北区 Nearctic.

表 2　甘肃麦积山风景区、白水江自然保护区、扎尕那自然保护区和崆峒山风景区的熊蜂种类与世界分布

Table 2　Species list and their world distribution of bumblebees from the Maijishan Scenic Area, the Baishuijinag Natural Reserve, the Zhagana Natural Reserve and the Kongdongshan Scenic Area of Gansu Province

熊蜂种类 Bumblebee species	麦积山风景区（温带半湿润山地林区）Maijishan Scenic Area (temperate sub-humid mountains forest)	白水江自然保护区（亚热带湿润山地林区）Baishuijiang Natural Reserve (southern subtropical humid mountains forest)	扎尕那自然保护区（高寒湿润青藏高原牧场）Zhagana Natural Reserve (western high elevation humid cold Qinghai-Tibetan plateau meadow)	崆峒山风景区（温带半干旱黄土高原林区）Kongdongshan Scenic Area (northern temperate semi-arid loess plateau forest)	世界分布 World distribution
凸污熊蜂 *B. convexus*			●		O
稳纹熊蜂 *B. waltoni*			●		O
长足熊蜂 *B. longipes*	●			●	O, P
三条熊蜂 *B. trifasciatus*	●	●			O
二色熊蜂 *B. bicoloratus*	●				O
朝鲜熊蜂 *B. koreanus*	●				O, P
关熊蜂 *B. consobrinus*			●		O, P
拉熊蜂 *B. laesus*				●	O, P
富丽熊蜂 *B. opulentus*	●	●			O, P
低熊蜂 *B. humilis*	●			●	O, P
锈红熊蜂 *B. hedini*	●			●	O, P
疏熊蜂 *B. remotus*	●		●		O
兴熊蜂 *B. impetuosus*			●		O
角拟熊蜂 *B. cornutus*	●				O
探索拟熊蜂 *B. expolitus*			●		O
科尔拟熊蜂 *B. coreanus*	●				O, P
牛拟熊蜂 *B. bohemicus*			●		O, P
眠熊蜂 *B. hypnorum*	●				O, P
饰带熊蜂 *B. lemniscatus*			●		O
小雅熊蜂 *B. lepidus*	●		●	●	O
重黄熊蜂 *B. picipes*	●		●	●	O, P
稀熊蜂 *B. infrequens*	●				O
黄熊蜂 *B. flavescens*	●				O
红光熊蜂 *B. ignitus*	●	●			O, P
明亮熊蜂 *B. lucorum s. l.*	●		●		O, P, N
小峰熊蜂 *B. hypocrita s. l.*	●			●	O, P
密林熊蜂 *B. patagiatus*			●	●	O, P
灰熊蜂 *B. grahami*	●				O
克什米尔熊蜂 *B. kashmirensis*			●		O, P
颂杰熊蜂 *B. nobilis s. l.*			●		O
白背熊蜂 *B. festivus*		●			O
红束熊蜂 *B. rufofasciatus*			●		O, P
火红熊蜂 *B. pyrosoma*	●	●	●	●	O, P
拉达克熊蜂 *B. ladakhensis*			●		O, P
斯熊蜂 *B. sichelii*			●	●	O, P
西伯熊蜂 *B. sibiricus*				●	O, P

注:O:东洋区种 Oriental;P:古北区种 Palaearctic;N:新北区 Nearctic.

的风景区或自然保护区相比(2007—2010 调查结果,未发表数据),麦积山风景区熊蜂种类丰富度也高于南部亚热带湿润山地林区的白水江自然保护区、西部高寒青藏高原牧场的扎尕那自然保护区和北部温带半干旱黄土高原林区的崆峒山风景区(表 2)。麦积山熊蜂物种多样性水平较高,这可能与该景区独特的气候与植被特征有关,因为麦积山风景区位于我国南北气候交替带的西秦岭山区,北部半干旱黄土高原、南部湿润河谷山地和西部高寒青藏高原在这里交汇;植被类型也处于从暖温带落叶阔叶林向亚热带边缘的常绿 – 落叶混交林过渡和向青藏高原高寒植被过渡的地带。独特的地理位置和环境空间的异质性,孕育了麦积山风景区丰富的熊蜂资源。

甘肃地域辽阔,地形、气候与植被类型多样,熊蜂资源十分丰富。但过去对甘肃熊蜂多样性的研究十分缺乏,仅见陇东地区(姜双林, 2007)和陇南地区(姚建和王淑芳, 2005)的文献报道,而且都没有涉及到甘肃东南部的麦积山风景区。麦积山风景区位于暖温带半湿润气候区的西秦岭山区,是我国熊蜂物种多样性水平最高的地区之一。此次系统调查为探索中国熊蜂地理分布格局增加了宝贵的资料,也为以后研究熊蜂多样性的时空变化奠定了坚实的基础。

3.2 麦积山熊蜂的区系特点

按照 Williams(1996)对世界熊蜂地理区系的划分,中国北方地区北纬 37°左右为东洋区向古北区过渡的中心地带。此次调查结果表明,麦积山风景区熊蜂区系成分以东洋区 + 古北区共有种为主,但其东洋区成分远远高于古北区成分(O + P 55.0%; O 40.0%),说明在我国熊蜂地理区划中,麦积山风景区位于由东洋区向古北区过渡的南缘地带。麦积山熊蜂区系成分和南部亚热带湿润气候区的白水江自然保护区(O + P 60.0%; O 40.0%)和西部高寒青藏高原牧场的扎尕那自然保护区(O + P 50.0%; O 44.4%)比较接近,和北部温带半干旱气候区的崆峒山风景区(O + P 91%; O 9.1%)相距较远(图 2:B ~ D)。

在麦积山 20 种熊蜂中,明亮熊蜂 *B. lucorum s. l.* 的分布范围最广,在东洋区、古北区和新北区都有分布,此种熊蜂在我国新疆以及青藏高原东部地区的西藏、青海、甘肃、四川和云南等地分布较多,在华北地区的太行山脉也有分布。东洋区和古北区共有种如低熊蜂 *B. humilis*、锈红熊蜂 *B. hedini*、眠熊蜂 *B. hypnorum* 和红光熊蜂 *B. ignitus* 等广泛分布于我国东北、华北 以及青藏高原东部边缘地区的甘肃、四川等地;长足熊蜂 *B. longipes*、朝鲜熊蜂 *B. koreanus*、富丽熊蜂 *B. opulentus*、科尔拟熊蜂 *B. coreanus*、小峰熊蜂 *B. hypocrita s. l.* 和火红熊蜂 *B. pyrosoma* 等则主要分布于秦岭以北的华北地区;而重黄熊蜂 *B. picipes* 在华南和华北均有分布。东洋区种如三条熊蜂 *B. trifasciatus*、二色熊蜂 *B. bicoloratus*、角拟熊蜂 *B. cornutus*、黄熊蜂 *B. flavescens* 和灰熊蜂 *B. grahami* 等,则主要分布在秦岭以南的地区,其中麦积山风景区为三条熊蜂、二色熊蜂和灰熊蜂在中国的已知分布北限;而疏熊蜂 *B. remotus*、小雅熊蜂 *B. lepidus* 和稀熊蜂 *B. infrequens* 等主要分布在青藏高原东部地区的青海、甘肃、四川和云南等地(安建东等, 2008, 2010; 谢正华, 2008; Williams *et al.*, 2009; An *et al.*, 2011)。

3.3 麦积山熊蜂资源保护与利用价值

熊蜂传粉不仅在保持生物多样性和维护生态系统平衡方面的贡献巨大,而且在设施茄果类、瓜果类和水果类作物生产中发挥着十分重要的作用(Fisher and Pomeroy, 1989; Morandin *et al.*, 2001; 赵亚周等, 2011)。自从 20 世纪 80 年代末欧洲地熊蜂 *B. terrestris* 的规模化繁育技术被突破以来(Röseler, 1985),该种熊蜂以商品形式出口至世界各地,为当地设施作物授粉,取得了明显的经济效益(Velthuis and van Doorn, 2006)。但同时,由于该种熊蜂具有年活动周期长、食谱广泛、繁殖力和适应力强等特点,在日本、澳大利亚等国,该种熊蜂逃出温室在野外成功营巢,并在自然界迅速扩散,在食物资源和营巢场所等方面和本土蜂种形成了强烈的竞争,扰乱了当地植物的正常授粉,打破了当地的生态系统平衡,造成了生物入侵现象(Hingston, 2006; Inoue *et al.*, 2008)。

鉴于欧洲地熊蜂具有造成生物入侵的潜在可能性,许多国家已经禁止进口该种熊蜂,进而转向研究本土熊蜂资源的利用。例如,加拿大和美国已经成功地将本土熊蜂 *B. impatiens* 和 *B. vosnesenskii* 应用于温室果菜授粉(Dogterom *et al.*, 1998; Cnaani *et al.*, 2002),日本和韩国也突破了

红光熊蜂和小峰熊蜂的人工饲养技术(Asada and Ono,1996; Mah *et al.*, 2001)。近几年来,中国也突破了多种本土熊蜂的人工饲养技术,并在授粉应用中取得了一定的效果(安建东等, 2006; 吴杰等, 2009)。中国是当今世界设施农业生产的第一大国,熊蜂传粉应用的市场较大,从 1996 年开始,我国部分地区就断断续续地引进欧洲地熊蜂为温室果菜传粉,虽然到目前为止还没有发现该种熊蜂在自然界成功营巢的现象,但是我们一定要慎用该种熊蜂并严加防范其逃到野外营巢,该种熊蜂一旦在自然界扩散,有可能在生存空间上同我国本土蜂种形成激烈的竞争,也可能会带来和传播一些新的病虫害,对我国本土蜂种资源(基因库)造成严重的威胁,导致生态系统的失衡。所以,为防止生物入侵现象的发生,中国也应将重点转移到本土熊蜂的研究与利用上来。麦积山熊蜂资源十分丰富,其中明亮熊蜂、小峰熊蜂、红光熊蜂、火红熊蜂和重黄熊蜂等蜂种蜂群强大,易于人工驯养,具有重要的开发利用价值(安建东等, 2010)。目前,中国熊蜂传粉应用技术处于起步阶段,还需在优良蜂种筛选、营养与生殖调控、有害生物控制、传粉机制与应用技术等方面加强研究,以提高本土熊蜂的人工繁育效率及授粉应用技术水平,为我国设施果菜的安全高效生产服务。

致谢: 甘肃养蜂研究所祁文忠副所长、张贵谦副所长、中国农业科学院蜜蜂研究所黄家兴、罗术东、赵亚周、周志勇等参加部分野外调查工作;英国自然历史博物馆 Williams PH 博士在熊蜂鉴定中给予热情帮助;中国农业大学彩万志博士在熊蜂亚属中文命名中给予热情帮助;在此一并表示感谢。

参考文献(References)

Abak K, Sari N, Paksoy M, Kaftanoglu O, Yeninar H, 1995. Efficiency of bumble bees on the yield and quality of eggplant and tomato grown in unheated glasshouses. *Acta Hort.*, 412:268—274.

An J, Williams PH, Zhou B, Miao Z, Qi W, 2011. The bumblebees of Gansu, Northwest China (Hymenoptera, Apidae). *Zootaxa*, 2865:1—36.

Asada S, Ono M, 1996. Crop pollination by Japanese bumblebees, *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae): tomato foraging behavior and pollination efficiency. *Appl. Entomol. Zool.*, 31(4):581—586.

Carvell C, Roy DB, Smart SM, Pywell RF, Preston CD, Goulson D, 2006. Declines in forage availability for bumblebees at a national scale. *Biol. Conserv.*, 132(4): 481—489.

Cnaani J, Schmid-Hempel R, Schmidt JO, 2002. Colony development, larval development and worker reproduction in *Bombus impatiens* Cresson. *Insectes Soc.*, 49(2): 164—170.

Dogterom MH, Matteoni JA, Plowright RC, 1998. Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). *J. Econ. Entomol.*, 91(1):71—75.

Fisher RM, Pomeroy N, 1989. Pollination of greenhouse muskmelons by bumble bees (Hymenoptera: Apidae). *J. Econ. Entomol.*, 82(4):1061—1066.

Goulson D, Lye GC, Darvill B, 2008. Decline and conservation of bumble bees. *Annu. Rev. Entomol.*, 53: 191—208.

Grixti JC, Wong LT, Cameron SA, Favret C, 2009. Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biol. Conserv.*, 142(1):75—84.

Hingston AB, 2006. Is the exotic bumblebee *Bombus terrestris* really invading Tasmanian native vegetation? *J. Insect Conserv.*, 10(3):289—293.

Inoue MN, Yokoyama J, Washitani I, 2008. Displacement of Japanese native bumblebees by the recently introduced *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae). *J. Insect Conserv.*, 12(2):135—146.

Mah YI, Lee MY, Bilinski M, 2001. Some characteristics of Korea indigenous bumblebee species (Hymenoptera: *Bombus* spp.) under laboratory conditions. *Acta Hort.*, 561:287—291.

Morandin LA, Laverty TM, Kevan PG, 2001. Effect of bumblebee (Hymenoptera: Apidae) pollination intensity on the quality of greenhouse tomatoes. *J. Econ. Entomol.*, 94(1):172—179.

Röseler PF, 1985. A technique for year round rearing of *Bombus terrestris* (Apidea, Bombini) colonies in captivity. *Apidologie*, 16(2):165—170.

Sun HQ, Luo YB, Ge S, 2003. A preliminary study on pollination biology of an endangered orchid, *Changnienia amoena*, in Shennongjia. *Acta Bot. Sin.*, 45(9):1019—1023.

Velthuis HHW, van Doorn A, 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for

pollination. *Apidologie*, 37(4):421—451.

Williams P, An J, Huang J, Yao J, 2010. BBCI: A new initiative to document Chinese bumblebees for pollination research. *J. Apicult. Res.*, 49(2):221—222.

Williams PH, 1996. Mapping variations in the strength and breadth of biogeographic transition zones using species turnover. *Biol. Sci.*, 263(1370):579—588.

Williams PH, 1998. An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini). *Bull. Nat. Hist. Mus.* (*Entomol.*), 67(1):79—152.

Williams PH, 2007. The distribution of bumblebee colour patterns world-wide: possible significance for thermoregulation, crypsis, and warning mimicry. *Biol. J. Linn. Soc.*, 92(1):97—118.

Williams PH, Cameron SA, Hines HM, Cederberg B, Rasmont P, 2008. A simplified subgeneric classification of the bumblebees (genus *Bombus*). *Apidologie*, 39(1):46—74.

Williams PH, Tang Y, Yao J, Cameron S, 2009. The bumblebees of Sichuan (Hymenoptera: Apidae, Bombini). *Syst. Biodivers.*, 7(2):101—190.

安建东,黄家兴,Williams PH,吴杰,周冰峰,2010. 河北地区物种熊蜂多样性与蜂群繁育特性. 应用生态学报,21(6):1542—1550.

安建东,彭文君,吴杰,国占宝,童越敏,李继莲,2006. 明亮熊蜂的生物学特性及其授粉应用. 昆虫知识,43(1):94—97.

安建东,姚建,黄家兴,邵有全,吴杰,李继莲,施海燕,2008. 山西省熊蜂属区系调查(膜翅目,蜜蜂科). 动物分类学报,33(1):80—88.

彩万志,庞雄飞,花保祯,梁文广,宋敦伦, 2011. 普通昆虫学(第 2 版). 北京: 中国农业大学出版社. 1—490.

陈昌笃,王庆田,2007. 甘肃省麦积山景区——生态过渡带自然和文化遗产杰出范例. 生态学报,27(11):1—15.

陈文锋,安建东,董捷,丁克法,高山,2011. 不同蜂在温室草莓园的访花行为和传粉生态学比较. 生态学杂志,30(2):290—296.

黄家兴,安建东,吴杰,国占宝,2007. 熊蜂为温室茄属作物授粉的优越性. 中国农学通报,23(3):5—9.

姜双林,2007. 陇东子午岭天山此生林区熊蜂的种类及其生态分布. 陕西林业科技,(3):96—98.

芦维忠,任继文,2005. 甘肃麦积山风景区生态系统类型及特征研究. 西北林学院学报,20(2):67—68.

王红,李德铢,1998. 滇西北马先蒿属传粉生物学的初步研究. 植物学报,40(3):204—210.

吴杰,黄家兴,安建东,胡福良,2009. 不同饲料对小峰熊蜂工蜂群发育的影响. 昆虫学报,52(10):1115—1121.

谢正华,2008. 四川熊蜂生物多样性与人类活动关系研究. 博士学位论文. 成都:四川大学.

杨大荣,1999. 云南澜沧江流域传粉昆虫——熊蜂多样性现状与保护对策. 生物多样性,7(3):170—174.

姚建,王淑芳, 2005. 膜翅目,蜜蜂科——熊蜂族//杨星科主编. 秦岭西段及甘南地区昆虫. 北京:科学出版社. 890—896.

赵亚周,安建东,周志勇,董捷,邢艳红,秦建军,2011. 意大利蜜蜂和小峰熊蜂在温室桃园的传粉行为及其影响因素. 昆虫学报,54(1):89—96.