

河北地区熊蜂物种多样性与蜂群繁育特性*

安建东^{1,3,*} 黄家兴¹ Paul H. WILLIAMS² 吴杰¹ 周冰峰³

(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 Department of Entomology, The Natural History Museum, London SW7 5BD, UK; ³ 福建农林大学蜂学学院, 福州 350002)

摘要 基于2005—2009年从河北地区(包括河北省、北京市和天津市)所采集的1893号熊蜂标本资料,结合中国科学院动物研究所馆藏记录,分析了河北地区熊蜂物种多样性和蜂群繁育特性。结果表明:河北地区共有熊蜂属昆虫8亚属32种,其中河北省32种,北京市18种,天津市5种;西部太行山区、北部燕山山区和坝上高原地区熊蜂种类丰富度和多度较高;河北地区熊蜂的访花植物涉及到21科80种,其中,菊科、豆科和唇形科植物是大多数熊蜂种类访问的主要对象;小峰熊蜂、红光熊蜂、密林熊蜂、火红熊蜂和重黄熊蜂5种熊蜂群势强大,平均单群蜂的工蜂数量在110只以上,雄蜂数量在160只以上,子代蜂王数在30只以上;这5种熊蜂的繁育成群率均在50%以上,易于人工驯养,具有重要的传粉利用价值。

关键词 熊蜂 物种多样性 蜂群特性 河北地区

文章编号 1001-9332(2010)06-1542-09 **中图分类号** Q968; S891.5 **文献标识码** A

Species diversity and colony characteristics of bumblebees in the Hebei region of North China. AN Jian-dong^{1,3}, HUANG Jia-xing¹, Paul H. WILLIAMS², WU Jie¹, ZHOU Bing-feng³ (¹ Ministry of Agriculture Key Laboratory for Insect-Pollinator Biology, Institute of Apiculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; ² Department of Entomology, The Natural History Museum, London SW7 5BD, UK; ³ College of Bee Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(6): 1542–1550.

Abstract: Based on the 1893 specimens collected from Hebei Province, Beijing City, and Tianjin City in 2005–2009, and the specimens deposited in the Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, this paper analyzed the species diversity and colony characteristics of bumblebees in the Hebei region of North China. A total of 32 species belonging to 8 subgenera of *Bombus* were recorded, with 32 species in Hebei Province, 18 species in Beijing, and 5 species in Tianjin. The bumblebee in Taihang Mountains, Yanshan Mountains, and Bashang Plateau had the highest richness and abundance, and its food-plant included 80 species of 21 families, among which, Compositae, Leguminosae, and Labiatae were most important. Five bumblebee species, *i. e.*, *Bombus hypocrita*, *B. ignitus*, *B. patagiatus*, *B. pyrosoma*, and *B. picipes*, had the largest colony, with more than 110 workers, 160 drones, and 30 young queens produced per colony. The success in rearing colonies of each of the 5 species by queens was >50%, demonstrating that these 5 species had the potential to be mass-reared, with important applied value for crop pollination.

Key words: bumblebee; species diversity; colony characteristics; Hebei region.

熊蜂隶属于膜翅目(Hymenoptera)蜜蜂科(Apidae)熊蜂属(*Bombus*),是一类重要的传粉昆虫。在自然界,熊蜂是多种植物特别是高山植物、高原植物以及一些濒危植物的重要传粉者,在保持生物多样性

性及维持生态系统平衡方面起着极为重要的作用^[1–5]。同时,熊蜂具有进化程度低、趋光性差、活动起点温度低等生物学特性,比家养蜜蜂更容易适应温室的环境,从而成为温室果菜传粉的理想昆虫^[6]。利用熊蜂为温室果菜传粉,不仅能够促进座果,提高产量,更为重要的是熊蜂传粉避免了传统生产中应用植物生长调节剂等处理花朵而带来的激素污染,能够显著改善果实籽粒品质^[7–9]。自从20世

* 国家自然科学基金项目(30471316, 30901055)、公益性行业(农业)科研专项经费项目(nyhyzx 07-041)和国家蜜蜂产业技术体系建设专项经费项目资助。

* * 通讯作者。E-mail: anjiandong@yahoo.com.cn

2009-10-28 收稿, 2010-04-05 接受。

纪80年代野生熊蜂的人工繁育技术被突破以来^[10],熊蜂属中一些易于人工驯养、群势强大的品种被逐渐开发出来,现已在全球范围内得到广泛应用^[11-15].

目前,全世界已知熊蜂种类约250种^[16].熊蜂是生态环境质量的重要指示性昆虫,近几十年来,受生态环境破坏和杀虫剂广泛使用等因素的影响,在全球许多地方,尤其是欧洲和北美等地,出现了熊蜂生物多样性水平明显下降的趋势^[17-19],在我国云南和四川等地,也出现了熊蜂种类和数量减少的现象^[20-21].中国是世界上熊蜂资源最丰富的国家^[22],但在人工利用研究领域起步较晚.最近几年,明亮熊蜂(*Bombus lucorum*)、密林熊蜂(*B. patagiatus*)和小峰熊蜂(*B. hypocrita*)等本土蜂种被相继繁育成功,并在设施果菜传粉应用方面取得了初步成效^[23-26].河北地区包括河北省、北京市和天津市三个行政区,主要由太行和燕山山地、河北平原和坝上高原三大生态区组成.该地区人口稠密,设施栽培面积大,对熊蜂传粉技术的需求较高.因此,2005—2009年,笔者对河北地区不同生态区的熊蜂资源进行了系统调查,分析了河北地区熊蜂的物种多样性和繁殖利用特性,旨在为了解河北地区熊蜂种质资源现状和优良品种的合理开发利用奠定基础.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区自然概况

河北地区包括河北省、北京市和天津市三省市,位于36°03′—42°40′ N、113°27′—119°50′ E之间.河北地区包括高原、山地和平原三大地貌单元,其中,坝上高原属蒙古高原的南缘,地貌以丘陵为主,平均海拔1200~1500 m;山地主要由燕山和太行山两大山脉组成,海拔多在2000 m以下;河北平原是华北大平原的一部分,海拔多在50 m以下.西部为太行山地,最高峰小五台海拔2870 m;北部为燕山山地,燕山主峰雾灵山海拔2118 m;燕山以北及西北部为坝上高原,中部及东南部为河北平原.河北地区陆地面积21.73万km²,其中,山地和高原约占3/5,平原约占2/5.河北地区属温带大陆性季风气候,大部分地区四季分明,冬季寒冷少雪,夏季炎热多雨,春季短而多风,秋季凉爽宜人.年日照时数2400~3000 h;年无霜期120~200 d;年均降水量300~800 mm;年均气温在0℃~13℃^[27-29].

1.2 研究方法

1.2.1 熊蜂物种多样性调查 野外调查于2005—

2009年进行.每年6—9月,河北地区熊蜂蜂群具工蜂、雄蜂和蜂王三型蜂状态时,以该地区县级行政区划为基础、以自然保护区和森林公园为重点考察对象,随机选择地点进行熊蜂样本采集.为全面调查采集点的物种资源,每个采集点的范围为0.25 km²,3~4人,持续采集时间60 min.将熊蜂毒杀后插针保存带回实验室鉴定,结合中国科学院动物研究所馆藏记录,根据熊蜂属15亚属的分类系统和世界12个地理区系的划分标准^[16,30],分析河北地区熊蜂属物种组成及其区系特点;记录每个采集点的熊蜂种类数,分析河北地区熊蜂分布特性;同时,记录每种熊蜂的访花植物,并拍摄植株、花朵(或花序)的照片送植物分类专家鉴定,分析河北地区熊蜂和访花植物之间的关系.

1.2.2 人工繁育 在河北地区,熊蜂蜂王以休眠方式在地下越冬,每年4月中旬左右开始出蛰,并在山桃(*Prunus davidiana*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)等早春花上采集花蜜和花粉,为筑巢繁殖后代做准备.2007—2009年,每年4月,有针对性地从事特定地区抓捕越冬熊蜂王.用于人工繁育的蜂王,最好选在其出蛰后7~15 d抓捕为宜,此时,蜂王有一定的营养积累,卵巢已开始发育,但未开始产卵,这样的蜂王在人工繁育室内较易驯养成功.将这一时期采回的蜂王带回熊蜂繁育室,设置繁育室的温度为29℃~30℃、相对湿度为50%~60%,以50%糖液和新鲜杏花粉为饲料进行饲喂.参照明亮熊蜂的繁育方法进行人工驯养^[31],记录每一群蜂发育过程中的各项指标,分析不同蜂种的繁育特性.

现就部分专有名词进行相关说明.蜂王产卵率:产卵蜂王占试验蜂王的比例.蜂群成群率:当蜂王所产的卵孵化后,既有工蜂又有雄蜂出房、且工蜂数量达到40只以上的蜂群,才算成群.所以,蜂群成群率即为成群数量占试验蜂王的比例.工蜂数:每一群蜂最终羽化出房的工蜂数量.雄蜂数:每一群蜂最终羽化出房的雄蜂数量.处女王数:每一群蜂最终羽化出房的子代蜂王数.

采用SPSS 12.0对试验数据进行统计处理.

2 结果与分析

2.1 河北地区熊蜂物种组成

2005—2009年在河北地区共采集到熊蜂属标本1893号,经鉴定为29种,结合中国科学院动物研究所馆藏记录,归纳总结报道了迄今为止在河北地区已经发现的32种熊蜂,其中,河北省32种,北京

市 18 种,天津市 5 种. 河北地区 32 种熊蜂占全国熊蜂种类总数的 29.09%, 占世界熊蜂种类总数的 12.80%. 河北地区 32 种熊蜂隶属于 8 个亚属,其中,*Bombus* s. str. 亚属 5 种,*Megabombus* 亚属 6 种,*Melanobombus* 亚属 2 种,*Pyrobombus* 亚属 2 种,*Psithyrus* 亚属 5 种,*Sibiricobombus* 亚属 1 种,*Subterraneobombus* 亚属 2 种,*Thoracobombus* 亚属 9 种. 河北地区 32 种熊蜂中,泛古北区种 32 种,泛东洋区种 29 种,区系成分主要以古北区和东洋区共有种为主,说明河北地区在世界熊蜂地理区划上处于东洋区和古北区交汇的地带. 具体种类和分布如表 1 所示.

2.2 河北地区熊蜂种类丰富度

从图 1 可以看出,在生态环境较为原始的西部

太行山地、北部燕山山地和坝上高原地区熊蜂分布较多,尤其在植被较好的自然保护区、自然风景区或森林公园内,熊蜂种类丰富度较高;而中南部平原地带为农业种植区,人类活动较多,对自然生态环境破坏较为严重,未发现熊蜂分布. 在河北地区 59 个采集点中,如下 9 个采集点的熊蜂物种丰富度较高,而且数量较多. 西部太行山地的河北小五台山国家级自然保护区(蔚县、涿鹿)有熊蜂 22 种,占河北地区熊蜂种类总数的 68.75%;北京百花山国家级自然保护区(门头沟)有熊蜂 13 种,占该地区种类总数的 40.63%;北京东灵山自然风景区(门头沟)有熊蜂 12 种,占该地区种类总数的 37.50%;北京霞云岭国家森林公园(房山)有熊蜂 10 种,占该地区种

表 1 河北地区熊蜂属物种组成
Tab. 1 Bumblebee species recorded from the Hebei region

亚 属 Subgenus	种 类 Species	标本数 Number of the specimens	来源 Collected from			世界分布 World distribution
			河北 Hebei	北京 Beijing	天津 Tianjin	
<i>Bombus</i> s. str. (Bo.)	小峰熊蜂 <i>B. hypocrita</i>	319	●	●		Or, Ja, Pa
	红光熊蜂 <i>B. ignitus</i>	145	●	●	●	Or, Ja, Pa
	明亮熊蜂 <i>B. lucorum</i>	1	●			Or, Ja, Pa, Ar, W. Nea
	密林熊蜂 <i>B. patagiatus</i>	94	●	●		Or, Ja, Pa
	散熊蜂 <i>B. sporadicus</i>	—	▲	▲		Or, Pa
<i>Megabombus</i> (Mg.)	关熊蜂 <i>B. consobrinus</i>	86	●	●		Or, Ja, Pa, Ar
	柯氏熊蜂 <i>B. czerskii</i>	5	●			Or, Pa
	朝鲜熊蜂 <i>B. koreanus</i>	26	●	●		Or, Pa
	长足熊蜂 <i>B. longipes</i>	153	●	●		Or, Pa
	普氏熊蜂 <i>B. przewalskiellus</i>	19	●	●		Pa
	乌苏里熊蜂 <i>B. ussurensis</i>	23	●			Or, Ja, Pa
<i>Melanobombus</i> (Ml.)	火红熊蜂 <i>B. pyrosoma</i>	555	●	●	●	Or, Pa
	斯熊蜂 <i>B. sichelii</i>	11	●			Or, Pa
<i>Pyrobombus</i> (Pr.)	谦熊蜂 <i>B. modestus</i>	15	●			Or, Pa
	重黄熊蜂 <i>B. picipes</i>	65	●	●	●	Or, Pa
<i>Psithyrus</i> (Ps.)	地拟熊蜂 <i>B. barbutellus</i>	1	▲	●		Pa
	牛拟熊蜂 <i>B. bohemicus</i>	2	●			Or, Ja, Pa, Ar
	科尔拟熊蜂 <i>B. coreanus</i>	3	●	●		Or, Pa
	挪威拟熊蜂 <i>B. norvegicus</i>	1	●			Or, Ja, Pa, Ar
	寓林拟熊蜂 <i>B. sylvestris</i>	—	▲			Or, Pa
<i>Sibiricobombus</i> (Sb.)	西伯熊蜂 <i>B. sibiricus</i>	4	●			Or, Pa
<i>Subterraneobombus</i> (St.)	阿穆尔熊蜂 <i>B. amurensis</i>	17	●			Or, Pa
	黑尾熊蜂 <i>B. melanurus</i>	25	●	●		Or, Pa
<i>Thoracobombus</i> (Th.)	德熊蜂 <i>B. deuteronymus</i>	24	●			Or, Ja, Pa
	盗熊蜂 <i>B. filchnerae</i>	7	●			Or, Pa
	锈红熊蜂 <i>B. hedinii</i>	112	●	●	●	Or, Pa
	低熊蜂 <i>B. humilis</i>	3	●	●		Or, Pa
	拉熊蜂 <i>B. laesus</i>	35	●	●		Or, Pa
	藓状熊蜂 <i>B. muscorum</i>	—	▲			Pa
	富丽熊蜂 <i>B. opulentus</i>	136	●	●	●	Or, Pa
	斯氏熊蜂 <i>B. schrencki</i>	5	●			Or, Ja, Pa
	角熊蜂 <i>B. tricornis</i>	1	▲	●		Or, Pa
8	32	1893	32	18	5	

Or: 东洋区 Oriental region; Pa: 古北区 Palaearctic region; Ja: 日本区 Japanese region; Ar: 北极区 Arctic region; W. Nea: 西新北区 Western nearctic region. ●笔者调查记录 Collected by the author; ▲中国科学院动物研究所馆藏记录 Collection of the Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. 下同 The same below.

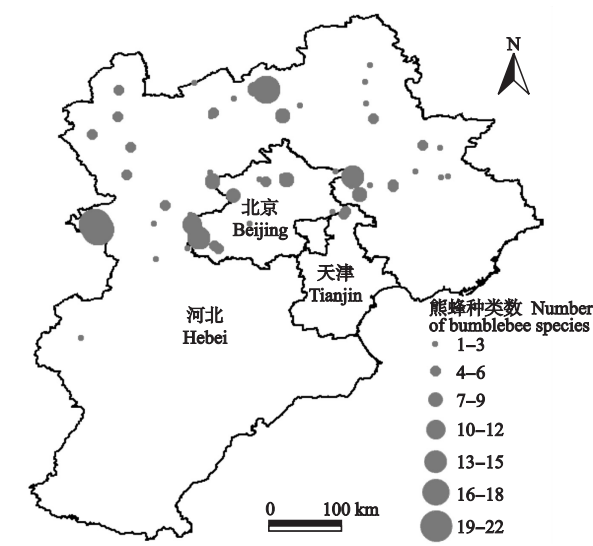


图1 河北地区各采集点的熊蜂种类丰富度
Fig.1 Bumblebee species richness at sample sites in the Hebei region.

表2 河北地区主要采集点的熊蜂种类

Tab.2 Bumblebee species recorded from the principal sample sites in the Hebei region

熊蜂种类 Bumblebee species	主要采集点 Main collection sites								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
小峰熊蜂 <i>B. hypocrita</i>	●	●	●	●	●	●	●		●
红光熊蜂 <i>B. ignitus</i>		●	●	●	●	●	●	●	
明亮熊蜂 <i>B. lucorum</i>	▲								●
密林熊蜂 <i>B. patagiatus</i>	●	●	●			●	●		●
散熊蜂 <i>B. sporadicus</i>	▲								
关熊蜂 <i>B. consobrinus</i>	▲	●	●	●	●				●
柯氏熊蜂 <i>B. czerskii</i>	▲								
朝鲜熊蜂 <i>B. koreanus</i>		●	●	●	●	●	●		
长足熊蜂 <i>B. longipes</i>	●	●	●		●	●	●		
普氏熊蜂 <i>B. przewalskiellus</i>			●	●	●				
乌苏里熊蜂 <i>B. ussurensis</i>	▲	●	●						●
火红熊蜂 <i>B. pyrosoma</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
斯熊蜂 <i>B. sichelii</i>	▲								●
谦熊蜂 <i>B. modestus</i>	▲				●				
重黄熊蜂 <i>B. picipes</i>		●	●	●	●		●	●	
地拟熊蜂 <i>B. barbutellus</i>	▲			●					
牛拟熊蜂 <i>B. bohemicus</i>									
科尔拟熊蜂 <i>B. coreanus</i>		●		●	●				
挪威拟熊蜂 <i>B. norvegicus</i>									
寓林拟熊蜂 <i>B. sylvestris</i>	▲								
西伯熊蜂 <i>B. sibiricus</i>									●
阿穆尔熊蜂 <i>B. amurensis</i>	●								●
黑尾熊蜂 <i>B. melanurus</i>	▲								●
德熊蜂 <i>B. deuteronymus</i>	▲								●
盗熊蜂 <i>B. filchnerae</i>									●
锈红熊蜂 <i>B. hedinii</i>	●	●	●		●	●	●	●	●
低熊蜂 <i>B. humilis</i>		●	●						●
拉熊蜂 <i>B. laesus</i>	●	●							●
藓状熊蜂 <i>B. muscorum</i>	▲								
富丽熊蜂 <i>B. opulentus</i>	▲			●	●		●	●	●
斯氏熊蜂 <i>B. schrencki</i>	▲				▲				●
角熊蜂 <i>B. tricornis</i>	▲					●			
合计 Total	22	13	12	10	13	8	9	5	17

I: 小五台山 Xiaowutaishan; II: 百花山 Baihuashan; III: 东灵山 Donglingshan; IV: 霞云岭 Xiayunling; V: 雾灵山 Wulingshan; VI: 松山 Songshan; VII: 云蒙山 Yunmengshan; VIII: 九山顶 Jiushanding; IX: 丰宁 Fengning.

类总数的 31.25% ;北部燕山山地的河北雾灵山国家级自然保护区(兴隆)有熊蜂 13 种,占该地区种类总数的 40.63% ;北京松山国家级自然保护区(延庆)有熊蜂 8 种,占该地区种类总数的 25.00% ;北京云蒙山国家森林公园(密云、怀柔)有熊蜂 9 种,占该地区种类总数的 28.13% ;天津九山顶国家森林公园(蓟县)有熊蜂 5 种,占该地区种类总数的 15.63% . 另外,调查发现,冀北坝上高原与山地交错地带的丰宁、围场、隆化、沽源、康保、万全、张北等地的熊蜂种类也较为丰富,尤其是丰宁地区熊蜂种类最为丰富,为 17 种,占河北地区熊蜂种类总数的 53.13% (表 2).

2.3 河北地区熊蜂采访植物

连续 5 年的调查结果表明,在河北地区的 6—9 月,熊蜂可利用的植物范围非常广泛. 除散熊蜂 (*B. sporadicus*)、寓林拟熊蜂 (*B. sylvestris*) 和藓状熊蜂 (*B. muscorum*) 3 种馆藏标本没有访花植物记录

外,其他 29 种熊蜂的采访对象涉及到 21 科 80 种植物. 这 80 种植物中,菊科植物最多,为 20 种,占采访植物总数的 25.0%;其次为豆科 12 种,占 15.0%;第三为唇形科 10 种,占 12.5%;第四为蔷薇科植物 7 种,占 8.75%;其他 17 科植物的种数均在 5 种以下,共占 38.75%. 说明在河北地区,熊蜂采访植物具有一定的偏爱性,6—9 月,菊科、豆科、唇形科和蔷薇科植物是熊蜂访问的主要对象(图 2).

在河北地区有访花记录的 29 种熊蜂中,有 26 种熊蜂访问菊科植物,占熊蜂种类总数的 89.7%;有 20 种熊蜂访问唇形科植物,占 70.0%;有 17

种熊蜂访问豆科植物,占 58.6%;有 9 种熊蜂访问锦葵科、毛茛科和蔷薇科植物;有 4 种熊蜂访问马鞭草科和茄科植物;而访问其他 13 科植物的熊蜂种类则较少,均在 5 种以下(图 3).

就某一种群而言,在河北地区 29 种熊蜂中,火红熊蜂(*B. pyrosoma*)分布最广,密度最大,采访植物范围最为广泛,涉及到 18 科 58 种植物;小峰熊蜂次之,采访植物涉及到 17 科 42 种;密林熊蜂采访植物涉及到 13 科 31 种;红光熊蜂(*B. ignitus*)采访植物涉及到 11 科 30 种;富丽熊蜂(*B. opulentus*)采访植物涉及到 8 科 18 种;重黄熊蜂(*B. picipes*)采访植物涉及到 8 科 15 种;锈红熊蜂采访植物涉及到 6 科 14 种;关熊蜂(*B. consobrinus*)和长足熊蜂(*B. longipes*)的采访植物均涉及到 5 科 13 种;其他 20 种熊蜂采访植物科别和种数较少,均在 5 科 6 种以下. 说明火红熊蜂、小峰熊蜂、密林熊蜂和红光熊蜂为河北地区的优势蜂种,采访植物的丰度较广(图 4).

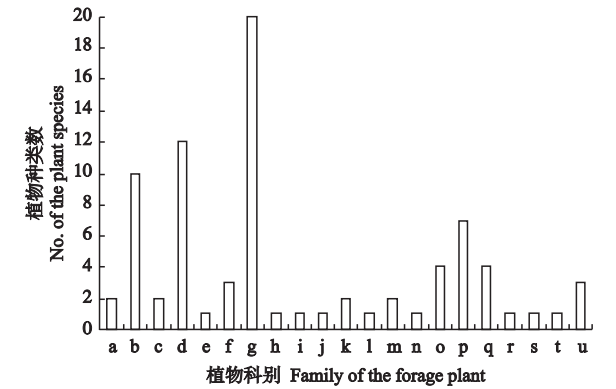


图 2 河北地区熊蜂访花植物的种类数
Fig. 2 Number of plant species per family visited by bumblebees in the Hebei region.

a) 桔梗科 Campanulaceae; b) 唇形科 Labiatae; c) 旋花科 Convolvulaceae; d) 豆科 Leguminosae; e) 凤仙花科 Balsaminaceae; f) 锦葵科 Malvaceae; g) 菊科 Compositae; h) 紫茉莉科 Nyctaginaceae; i) 杜鹃花科 Ericaceae; j) 川续断科 Dipsacaceae; k) 蓼科 Polygonaceae; l) 藤黄科 Guttiferae; m) 柳叶菜科 Onagraceae; n) 马鞭草科 Verbenaceae; o) 毛茛科 Ranunculaceae; p) 蔷薇科 Rosaceae; q) 茄科 Solanaceae; r) 十字花科 Brassicaceae; s) 景天科 Crassulaceae; t) 秋海棠科 Begoniaceae; u) 玄参科 Scrophulariaceae. 下同 The same below.

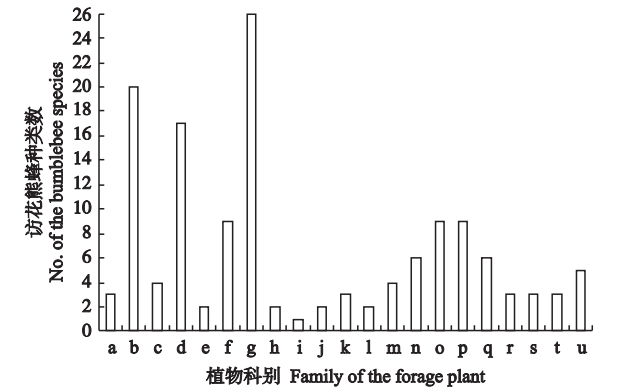


图 3 河北地区访花熊蜂的种类数
Fig. 3 Number of bumblebee species visiting forage-plant families in the Hebei region.

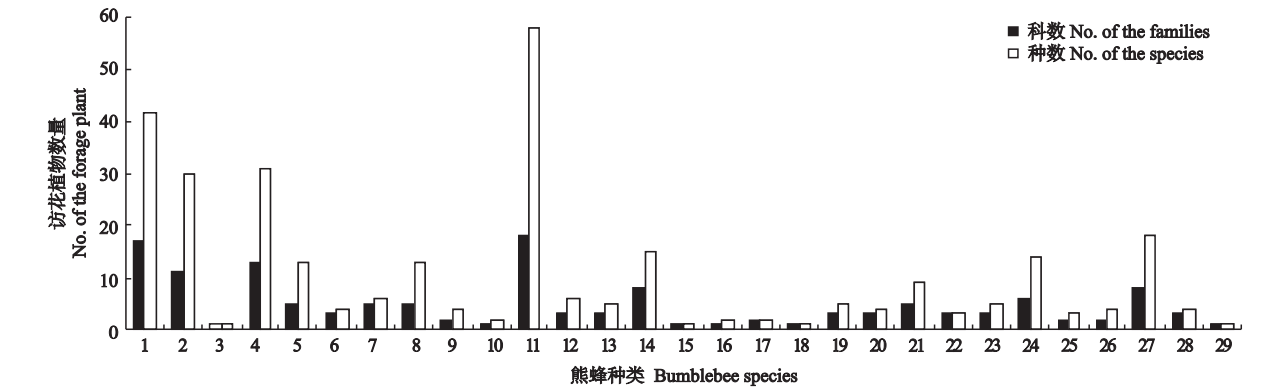


图 4 河北地区每一种熊蜂的访花植物数量
Fig. 4 Number of forage-plant taxa visited by each bumblebee species in the Hebei region.

1) 小峰熊蜂 *B. hypocrita*; 2) 红光熊蜂 *B. ignitus*; 3) 明亮熊蜂 *B. lucorum*; 4) 密林熊蜂 *B. patagiatus*; 5) 关熊蜂 *B. consobrinus*; 6) 柯氏熊蜂 *B. czerskii*; 7) 朝鲜熊蜂 *B. koreanus*; 8) 长足熊蜂 *B. longipes*; 9) 普氏熊蜂 *B. przewalskiellus*; 10) 乌苏里熊蜂 *B. ussuriensis*; 11) 火红熊蜂 *B. pyrosoma*; 12) 斯熊蜂 *B. sichelii*; 13) 谦熊蜂 *B. modestus*; 14) 重黄熊蜂 *B. picipes*; 15) 地拟熊蜂 *B. barbutellus*; 16) 牛拟熊蜂 *B. bohemicus*; 17) 科尔拟熊蜂 *B. coreanus*; 18) 挪威拟熊蜂 *B. norvegicus*; 19) 西伯熊蜂 *B. sibiricus*; 20) 阿穆尔熊蜂 *B. amurensis*; 21) 黑尾熊蜂 *B. melanurus*; 22) 德熊蜂 *B. deuteronymus*; 23) 盗熊蜂 *B. filchnerae*; 24) 锈红熊蜂 *B. hedinii*; 25) 低熊蜂 *B. humilis*; 26) 拉熊蜂 *B. laesus*; 27) 富丽熊蜂 *B. opulentus*; 28) 斯氏熊蜂 *B. schrenckii*; 29) 角熊蜂 *B. tricornis*.

表 3 河北地区部分熊蜂种类的人工繁育及其群势大小
Tab.3 Rearing of selected bumblebee species in the Hebei region and their colony productivity

熊蜂种类 Species	试验蜂王数 No. of queens observed	产卵蜂王数 No. of queens laying eggs	成群数 No. of mature colonies	蜂群群势 No. of bees emerging from each colony		
				工 蜂 Workers	雄 蜂 Males	子代蜂王 Young queens
小峰熊蜂 <i>B. hypocrita</i>	69	61 (88. 4)	44 (63. 8)	142. 7±50. 1	357. 3±162. 4	61. 4±36. 6
红光熊蜂 <i>B. ignitus</i>	54	50 (92. 6)	39 (72. 2)	139. 3±57. 1	376. 1±155. 8	32. 4±20. 6
密林熊蜂 <i>B. patagiatus</i>	48	43 (89. 6)	34 (70. 8)	149. 7±62. 8	338. 8±156. 8	52. 9±35. 3
朝鲜熊蜂 <i>B. koreanus</i>	3	1 (33. 3)	1 (33. 3)	109	185	18
火红熊蜂 <i>B. pyrosoma</i>	27	22 (81. 5)	16 (59. 3)	141. 4±37. 4	345. 8±157. 6	36. 8±17. 1
斯熊蜂 <i>B. sichelii</i>	2	1 (50. 0)	0	0	0	0
重黄熊蜂 <i>B. picipes</i>	21	16 (76. 2)	12 (57. 1)	112. 5±28. 2	160. 3±49. 2	43. 3±20. 2
西伯熊蜂 <i>B. sibiricus</i>	1	1 (100)	0	5	0	0
阿穆尔熊蜂 <i>B. amurensis</i>	2	0	0	0	0	0
黑尾熊蜂 <i>B. melanurus</i>	2	1 (50)	0	7	0	0
锈红熊蜂 <i>B. hedini</i>	2	0	0	0	0	0
富丽熊蜂 <i>B. opulentus</i>	4	2 (50. 0)	1 (25. 0)	98	158	19

括号内数值为其百分比 Values in bracket showed percentage of the total.

2.4 河北地区熊蜂筛选利用

在自然界中,河北地区熊蜂一年一代. 蜂王以休眠方式越冬;翌年春天,早春花开放时,越冬蜂王出蛰并开始筑巢产卵繁殖,先羽化出房的几批蜂为工蜂;在夏末秋初,蜂群发展到高峰期时,雄蜂和处女王开始羽化出房;秋末冬初,天气逐渐变冷,工蜂和雄蜂自然消亡,蜂群解体;交配后的子代蜂王以休眠方式度过寒冷的冬季. 因此在自然界中,熊蜂的主要传粉季节在夏秋季,无法满足反季节栽培的设施果菜传粉应用.

但在人工控制条件下,可以打破蜂王的休眠期,实现周年多代繁育,供设施果菜传粉应用^[24]. 可以人工利用的蜂种必需满足两个条件,第一要易于人工驯养,也就是说人工繁育成群率要高,二是蜂种群势要大,因为有的蜂种,其最大群势为 20~30 只,这样的蜂种人工利用价值很低. 另外,熊蜂和蜜蜂的繁殖方式不同,蜜蜂为高级社会性昆虫,其蜂群始终以群体形式存在;而熊蜂为初级社会性昆虫,蜂群由单只蜂王产卵繁殖而来. 受自然界环境因素和自身健康状况的影响较大,有一部分熊蜂蜂王不会产卵,即使产卵的蜂王,有一些也会因各种原因而停止产卵甚至死亡,致使熊蜂群不能正常发育,所以能够健康发育成群的只占其中一部分. 成群的蜂群一般包括大批的工蜂和雄蜂,还有少量的新蜂王,也有极个别的群蜂不产生新蜂王. 河北地区共有熊蜂 32 种,其中新采标本 29 种,馆藏记录 3 种. 在这 29 种熊蜂中,在早春采集到蜂王的只有 12 种. 对这 12 种蜂王进行人工繁育筛选试验,初步观察结果表明,小峰熊蜂、红光熊蜂 (*B. ignitus*)、密林熊蜂、朝鲜熊蜂 (*B. koreanus*)、火红熊蜂、重黄熊蜂和富丽熊蜂 8 种熊蜂

可以实现人工繁育,但朝鲜熊蜂和富丽熊蜂的蜂王数量太少,且各仅成群 1 群,繁育成群率和蜂群群势并不能反映其真实的蜂种特性. 而小峰熊蜂、红光熊蜂、密林熊蜂、火红熊蜂和重黄熊蜂 5 种熊蜂的工蜂数量均在 110 只以上,雄蜂数量均在 160 只以上,子代蜂王数量均在 30 只以上. 而且,这 5 种蜂的人工繁育成群率均大于 50%,符合规模化繁育的要求,说明这 5 种熊蜂群势强大,易于人工驯养,有重要的传粉利用价值(表 3).

3 讨 论

3.1 熊蜂物种多样性影响因素

熊蜂喜在生态环境较好的山地和高原栖息,一般情况下,植被类型越丰富,其种类丰富度越高^[32-33]. 本次调查也充分验证了熊蜂作为生态环境指示性昆虫的特性,在太行山地和燕山山地,尤其是自然保护区和森林公园内,熊蜂分布密度较大,而且种类较多;另外,在燕山山地和蒙古高原交错地带的坝上高原,熊蜂种类和密度也较大;这可能与开花植物类群多样性有关.

河北地区 32 种熊蜂与山西省^[32] 28 种熊蜂的种类相似度较高,为 71. 05%,这是因为两地均处华北地区,生态环境和气候比较接近,绝大部分熊蜂种类相同;但某些种类在地域分布上有较大差别,如南方种黄熊蜂 (*B. flavescens*) 和眠熊蜂 (*B. hypnorum*) 只分布在山西最南端的中条山脉,而高原种西伯熊蜂 (*B. sibiricus*) 则只分布在河北最北端的坝上高原地区. 相比之下,河北地区 32 种熊蜂与川渝地区^[34] 56 种熊蜂的种类相似度较低,仅为 17. 33%. 其中, *Bo.* 亚属和 *Th.* 亚属在两地的相似度较高;而 *Sb.* 亚属的

熊蜂只分布在河北, *Ag.*、*Md.* 和 *Or.* 亚属的熊蜂只分布在四川; *ML.* 亚属除了火红熊蜂和斯熊蜂 (*B. sichelii*) 外, 其他大多数种类在河北没有分布; *Pr.* 亚属除了谦熊蜂 (*B. modestus*) 和重黄熊蜂外, 其他大多数种类在河北也没有分布; 虽然河北地区和川渝地区均有山地和高原, 但大部分熊蜂种类明显不同, 这可能是由于两地纬度差异较大, 气候和生态类型不同所致。

熊蜂是山地和高原地区一类重要的传粉昆虫, 在保持植物多样性和维护生态系统平衡方面发挥着极为重要的作用, 是生态环境质量的重要指示生物之一。近几十年来, 随着生态环境的恶化, 欧洲和北美等地的熊蜂生物多样性明显下降^[17-19, 35]。杨大荣^[20]报道, 由于植被的严重破坏, 导致我国云南澜沧江流域的熊蜂多样性水平和 20 年前相比下降较多。Xie 等^[21]对四川境内青藏高原东部熊蜂多样性的研究表明, 过度放牧活动也是引起熊蜂生物多样性水平下降的因素之一。自 2005 年以来, 我们对河北地区的熊蜂资源展开了系统调查, 与 20 年前的馆藏记录相比, 发现了河北省新记录种 7 种和中国新记录种 2 种^[22], 但是, 散熊蜂、寓林拟熊蜂和藓状熊蜂 3 种熊蜂在近几年的调查中没有发现, 所以, 河北地区的熊蜂多样性水平是否下降, 还有待进一步的研究。

3.2 熊蜂采访植物情况

熊蜂访花植物与季节和生境有关系, 大多数熊蜂种类随着季节不同而采访不同的植物^[25-26]。即使在同一季节, 同种熊蜂在同一生境中可以访问多种植物, 在不同生境中采访植物的偏爱也有所不同^[36]。我们分析了 2005—2009 年 6—9 月河北地区 29 种熊蜂访问的 21 科 80 种植物, 结果表明, 大多数熊蜂种类访问植物的多度随着观察次数的增加而增加, 说明大多数熊蜂种类均可以访问多种植物, 同时, 大部分熊蜂种类对某一些植物表现出明显的偏爱。例如, 唇形科的益母草类 (*Leonurus* spp.) 和鼠尾草类 (*Salvia* spp.)、豆科的黄耆类 (*Astragalus* spp.) 和胡枝子类 (*Lespedeza* spp.)、锦葵科的锦葵 (*Malva sinensis*)、菊科的蓟类 (*Cirsium* spp.) 和波斯菊 (*Cosmos bipinnatus*) 及向日葵 (*Helianthus annuus*)、毛茛科的金莲花 (*Trollius chinensis*) 和乌头类 (*Aconitum* spp.)、蔷薇科的委陵菜 (*Potentilla chinensis*) 和龙芽草 (*Agrimonia pilosa*)、茄科的茄子 (*Solanum melongena*) 和矮牵牛 (*Petunia hybrida*)、玄参科的草本威灵仙 (*Veronicastrum sibiricum*) 等都是这个季节河北

地区大多数熊蜂种类喜欢采集的对象。另外, 对一些类别的植物, 熊蜂并不是十分喜欢采集, 但当其他蜜源植物缺乏时, 也可以采集。例如小峰熊蜂在上述几种比较喜欢的蜜源植物缺乏时, 对旋花科的圆叶牵牛 (*Pharbitis purpurea*)、菊科的大丽花 (*Dahlia pinata*)、紫茉莉科的紫茉莉 (*Mirabilis jalapa*)、杜鹃花科的照山白 (*Rhododendron micranthum*)、蓼科的拳蓼 (*Polygonum bistorta*)、藤黄科的红旱莲 (*Hypericum ascyron*)、柳叶菜科的月见草 (*Oenothera biennis*)、马鞭草科的荆条 (*Vitex negundo*)、十字花科的糖芥 (*Erysimum bungei*) 等植物也照样可以采集访问; 其他熊蜂种类的访花植物, 均有类似的现象。说明熊蜂有采集偏爱, 但主要与食物获得性有关, 并无食物专化性。

另外, 本文只分析了河北地区每一种熊蜂访问植物的总数, 对于每一种熊蜂在不同生境下的访花植物特性和在同一生境下不同种熊蜂的访花差异, 还有待进一步的研究。

3.3 开发中国本土熊蜂的重要性

由于欧洲地熊蜂 (*B. terrestris*) 易于人工驯养、传粉性能优良, 自从 20 世纪 80 年代末规模化繁育技术被突破以来, 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, 取得明显经济效益的同时, 也在很多地方造成了生物入侵现象。例如, 日本北海道于 1991 年引进欧洲地熊蜂为设施作物授粉, 1996 年首次发现该种熊蜂逃出温室在野外成功营巢, 由于该种熊蜂具有年活动周期长、食谱广泛、繁殖力和适应能力强等特点, 在自然界迅速扩散, 在食物资源和营巢场所方面和日本多种本土熊蜂形成了明显的竞争^[37-38]; 而且, 欧洲地熊蜂还能和日本本土的小峰熊蜂发生种间交配现象, 扰乱本土小峰熊蜂的正常繁衍, 致使日本小峰熊蜂种群数量明显下降^[39]; 更为重要的是欧洲地熊蜂的引进扰乱了日本本土植物的正常授粉, 对当地的生态系统平衡造成了一定的影响^[40]。1992 年在澳大利亚塔斯马尼亚岛的霍巴特首次发现欧洲地熊蜂以来, 该种熊蜂在塔斯马尼亚岛迅速扩散, 至 2005 年, 该种熊蜂已经遍布塔斯马尼亚岛的各个生态区, 在当地造成了明显的生物入侵现象, 而且, 对澳洲大陆的本土蜂种资源也存在潜在的威胁^[41-42]。

鉴于欧洲地熊蜂具有造成生物入侵的潜在可能性, 美国、加拿大和日本等国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, 加拿大和美国繁育成功了本土熊蜂 *B. impatiens* 和 *B.*

vosnesenskii, 为甜椒和番茄传粉取得了较好的效果^[12-13, 43]; 日本本土的红光熊蜂和小峰熊蜂在传粉效率上与欧洲地熊蜂没有区别^[44-45]; 韩国也成功繁育了本土的红光熊蜂和小峰熊蜂, 在甜瓜授粉上也取得了成功^[46-48]. 中国是当今世界设施园艺生产的第一大国, 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我国自然界营巢的现象, 但是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熊蜂形成激烈的竞争, 对我国本土熊蜂种质资源(基因库)造成严重的威胁, 导致生态系统的失衡. 本研究从河北地区 12 种熊蜂中初步筛选出了易于人工驯养、蜂群群势强大的熊蜂 5 种, 其中小峰熊蜂、红光熊蜂在日本、韩国等国也被人工繁育和传粉应用, 且蜂群特性相近. 近几年的应用表明, 这 5 种熊蜂均能够为设施果菜提供有效的传粉服务. 所以, 为防止生物入侵现象的发生, 我们应将重点转移到本土熊蜂的研究与利用上来, 为我国设施农业的安全、优质、高效生产服务.

致谢 中国农业科学院蜜蜂研究所国占宝、童越敏、李继莲、罗木东、罗其花、施海燕、陈文锋、赵亚周等参加部分野外考察工作, 中国科学院动物研究所姚建先生馈赠熊蜂资料, 北京林业大学张钢民博士鉴定熊蜂访花植物, 中国农业大学徐环李博士审阅论文并提出修改建议, 河北地区各自然保护区和森林公园管理局(处)给予大力支持和帮助, 在此一并表示感谢.

参考文献

- [1] Wang H (王 红), Li D-Z (李德铎). A preliminary study of pollination biology of *Pedicularis* (Scrophulariaceae) in northwest Yunnan, China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1998, **40**(3): 204-210 (in Chinese)
- [2] He Y-P (何亚平), Liu J-Q (刘建全). Pollination ecology of *Gentiana straminea* Maxim. (Gentianaceae), an alpine perennial in the Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(2): 215-220 (in Chinese)
- [3] Meng Y-H (蒙艳华), Xu H-L (徐环李), Chen X (陈 轩), et al. Pollination efficiency of the main bee pollinators of *Hedysarum laeve*, a legume in Mu Us Sandland, Inner Mongolia. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2007, **15**(6): 633-638 (in Chinese)
- [4] Sun HQ, Luo YB, Ge S. A preliminary study on pollination biology of an endangered orchid, *Changnienia amoena*, in Shennongjia. *Acta Botanica Sinica*, 2003, **45**: 1019-1023
- [5] Duffy KJ, Stout JC. The effects of plant density and nectar reward on bee visitation to the endangered orchid *Spiranthes romanzoffiana*. *Acta Oecologica*, 2008, **34**: 131-138
- [6] An J-D (安建东), Wu J (吴 杰), Peng W-J (彭文君), et al. Foraging behavior and pollination ecology of *Bombus lucorum* L. and *Apis mellifera* L. in greenhouse peach garden. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(5): 1071-1076 (in Chinese)
- [7] Abak K, Sari N, Paksoy M, et al. Efficiency of bumble bees on the yield and quality of eggplant and tomato grown in unheated glasshouses. *Acta Horticulturae*, 1995, **412**: 268-274
- [8] Serrano AR, Guerra-Sanz JM. Quality fruit improvement in sweet pepper culture by bumblebee pollination. *Scientia Horticulturae*, 2006, **110**: 160-166
- [9] Huang J-X (黄家兴), An J-D (安建东), Wu J (吴杰), et al. Advantage of bumblebee as pollinator for *Solanum* in greenhouse. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2007, **23**(3): 5-9 (in Chinese)
- [10] Röseler PF. A technique for year round rearing of *Bombus terrestris* (Apidea, Bombini) colonies in captivity. *Apidologie*, 1985, **16**: 165-170
- [11] Fisher RM, Pomeroy N. Pollination of greenhouse muskmelons by bumble bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 1989, **82**: 1061-1066
- [12] Meisels S, Chiasson H. Effectiveness of *Bombus impatiens* Cr. as pollinators of greenhouse sweet peppers (*Capsicum annum* L.). *Acta Horticulturae*, 1997, **437**: 425-428
- [13] Dogterom MH, Matteoni JA, Plowright RC. Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 1998, **91**: 71-75
- [14] Morandin LA, Lavery TM, Kevan PG. Effect of bumblebee (Hymenoptera: Apidae) pollination intensity on the quality of greenhouse tomatoes. *Journal of Economic Entomology*, 2001, **94**: 172-179
- [15] Daşgan HY, Özdoğan AO, Kaftanoğlu O, et al. Effectiveness of bumblebee pollination in anti-frost heated tomato greenhouses in the Mediterranean Basin. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 2004, **28**: 73-82
- [16] Williams PH, Cameron SA, Hines HM, et al. A simplified subgeneric classification of the bumblebees (genus *Bombus*). *Apidologie*, 2008, **39**: 46-74
- [17] Goulson D, Lye GC, Darvill B. Decline and conservation of bumble bees. *Annual Review of Entomology*, 2008, **53**: 191-208
- [18] Colla SR, Packer L. Evidence for decline in eastern North American bumblebees (Hymenoptera: Apidae), with special focus on *Bombus affinis* Cresson. *Biodiversity Conservation*, 2008, **17**: 1379-1391
- [19] Grixti JC, Wong LT, Cameron SA, et al. Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biological Conservation*, 2009, **142**: 75-84
- [20] Yang D-R (杨大荣). The status of species diversity and conservation strategy of bumble bees, a pollination insect in Lancang River Basin of Yunnan, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 1999, **7**(3): 170-174 (in Chinese)
- [21] Xie Z, Williams PH, Tang Y. The effect of grazing on bumblebees in the high rangelands of the eastern Tibetan Plateau of Sichuan. *Journal of Insect Conservation*, 2008, **12**: 695-703
- [22] Wu J (吴 杰), An J-D (安建东), Yao J (姚建), et al. *Bombus* fauna (Hymenoptera, Apidae) in

- Hebei, China. *Acta Zootaxonomica Sinica* (动物分类学报), 2009, **34**(1): 87–97 (in Chinese)
- [23] Li J-L (李继莲), Peng W-J (彭文君), Wu J (吴杰), *et al.* Strawberry pollination by *Bombus lucorum* and *Apis mellifera* in greenhouses. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2006, **49**(2): 342–348 (in Chinese)
- [24] An J-D (安建东), Peng W-J (彭文君), Wu J (吴杰), *et al.* Bionomics of *Bombus lucorum* Linnaeus and its application as pollinators. *Chinese Bulletin of Entomology* (昆虫知识), 2006, **43**(1): 94–97 (in Chinese)
- [25] Liu X-Y (刘新宇), Gao C-D (高崇东), An J-D (安建东). Study on the biological characteristics of *Bombus patagiatus* Nylander in Yulin, Shaanxi, China. *Apiculture of China* (中国蜂业), 2007, **58**(8): 5–7 (in Chinese)
- [26] Wu J (吴杰), Shao Y-Q (邵有全), An J-D (安建东), *et al.* Distribution and bionomics of *Bombus hypocrita* Pérez in north China. *Apiculture of China* (中国蜂业), 2007, **58**(12): 5–8 (in Chinese)
- [27] Shi J (师鉴), Zhao Y (赵勇), Wang S-M (王苏梅), *et al.* Studies on fauna and distribution of genus *Hydrotaea* in Hebei Province (Diptera: Cyclorrhapha). *Chinese Journal of Vector Biology and Control* (中国媒介生物学及控制杂志), 2006, **17**(4): 322–323 (in Chinese)
- [28] Wu X-P (吴晓蒲), Tang Z-Y (唐志尧), Cui H-T (崔海亭), *et al.* Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2006, **30**(2): 239–251 (in Chinese)
- [29] Liu B-H (刘宝珩), Wang T (王彤), Chen J-G (陈建国), *et al.* Survey report on Tianjin wild vegetable resources. *Tianjin Agricultural Sciences* (天津农业科学), 2004, **10**(3): 39–42 (in Chinese)
- [30] Williams PH. Mapping variations in the strength and breadth of biogeographic transition zones using species turnover. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1996, **263**: 579–588
- [31] Wu J (吴杰), Peng W-J (彭文君), An J-D (安建东), *et al.* Rearing techniques of *Bombus lucorum*. *Chinese Bulletin of Entomology* (昆虫知识), 2005, **42**(6): 717–720 (in Chinese)
- [32] An J-D (安建东), Yao J (姚建), Huang J-X (黄家兴), *et al.* *Bombus* fauna (Hymenoptera, Apidae) in Shanxi, China. *Acta Zootaxonomica Sinica* (动物分类学报), 2008, **33**(1): 80–88 (in Chinese)
- [33] Dao L-G (道里刚). Bumblebees Distribution Patterns and Its Relationship to the Important Environment Factors in Sichuan Province and Chongqing City. Master Thesis. Chengdu: Sichuan University, 2004 (in Chinese)
- [34] Williams P, Tang Y, Yao J, *et al.* The bumblebees of Sichuan (Hymenoptera: Apidae, Bombini). *Systematics and Biodiversity*, 2009, **7**: 101–189
- [35] Carvell C, Roy DB, Smart SM, *et al.* Declines in forage availability for bumblebees at a national scale. *Biological Conservation*, 2006, **132**: 481–489
- [36] Xie Z-H (谢正华), Tang Y (唐亚). A study on food plant preference of bumblebees from Sichuan, China. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 2008, **26**(5): 605–611 (in Chinese)
- [37] Matsumura C, Yokoyama J, Washitani I. Invasion status and potential ecological impacts of an invasive alien bumblebee, *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) naturalized in southern Hokkaido, Japan. *Global Environmental Research*, 2004, **8**: 51–66
- [38] Inoue MN, Yokoyama J, Washitani I. Displacement of Japanese native bumblebees by the recently introduced *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Insect Conservation*, 2008, **12**: 135–146
- [39] Kanbe Y, Okada I, Yoneda M, *et al.* Interspecific mating of the introduced bumblebee *Bombus terrestris* and the native Japanese bumblebee *Bombus hypocrita sapporoensis* results in inviable hybrids. *Naturwissenschaften*, 2008, **95**: 1003–1008
- [40] Kenta T, Inari N, Nagamitsu T, *et al.* Commercialized European bumblebee can cause pollination disturbance: An experiment on seven native plant species in Japan. *Biological Conservation*, 2007, **134**: 298–309
- [41] Semmens TD, Turner E, Buttermore R. *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae) now established in Tasmania. *Journal of the Australian Entomological Society*, 1993, **32**: 346
- [42] Hingston AB. Is the exotic bumblebee *Bombus terrestris* really invading Tasmanian native vegetation? *Journal of Insect Conservation*, 2006, **10**: 289–293
- [43] Cnaani J, Schmid-Hempel R, Schmidt JO. Colony development, larval development and worker reproduction in *Bombus impatiens* Cresson. *Insectes Sociaux*, 2002, **49**: 164–170
- [44] Asada S, Ono M. Crop pollination by Japanese bumblebees, *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae): Tomato foraging behavior and pollination efficiency. *Applied Entomology and Zoology*, 1996, **31**: 581–586
- [45] Nagamitsu T, Kenta T, Inari N, *et al.* Foraging interactions between native and exotic bumblebees: Enclosure experiments using native flowering plants. *Journal of Insect Conservation*, 2007, **11**: 123–130
- [46] Mah YI, Lee MY, Bilinski M. Some characteristics of Korea indigenous bumblebee species (Hymenoptera: *Bombus* spp.) under laboratory conditions. *Acta Horticulturae*, 2001, **561**: 287–291
- [47] Yoon HJ, Kim SE, Kim YS. Temperature and humidity favorable for colony development of the indoor-reared bumblebee, *Bombus ignitus*. *Applied Entomology and Zoology*, 2002, **37**: 419–423
- [48] Shin YS, Park SD, Kim JH. Influence of pollination methods on fruit development and sugar contents of oriental melon (*Cucumis melo* L. cv. Sagyejeol-Ggul). *Scientia Horticulturae*, 2007, **112**: 388–392

作者简介 安建东,男,1975年生,博士研究生,副研究员.主要从事熊蜂生物学及传粉生态学研究,发表论文30多篇.
E-mail: anjiandong@yahoo.com.cn

责任编辑 肖红