

云南熊蜂地理区划及物种多样性分析*

梁 钺^{1,2**} 张学文² 黄家兴¹ 宋文菲² 张 红¹ 罗卫庭² 安建东^{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. 云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 蒙自 661101)

摘 要 【目的】为了探究云南省熊蜂属的地理分布和物种多样性特点。【方法】基于 2009-2018 年在云南采集的 35 种 5 655 号熊蜂标本信息, 利用经纬度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 方格内的物种组成分析云南境内熊蜂的地理区划, 利用方格内物种数量分析物种丰富度, 根据所采集的标本数量分析云南境内熊蜂的物种多度。

【结果】云南省熊蜂属区系可划分为云南高原 (I) 和横断山区 (II) 2 个大区, 其中, 云南高原包括西部-中部亚热带中山峡谷区 (I 1)、南部热带低山宽谷区 (I 2)、东南部亚热带岩溶山地河谷区 (I 3)、东部亚热带高原谷盆区 (I 4) 和东北部亚热带中山河谷区 (I 5) 5 个小区, 横断山区又可分为西部亚热带高山峡谷区 (II 1)、中部温带高山峡谷区 (II 2) 和西北部高寒草甸区 (II 3) 3 个小区。在云南 8 个地理小区中, II 3 的熊蜂物种丰富度最高 (20 种), 其次为 I 3、II 2、I 1、I 5、I 4 和 II 1, I 2 最低 (3 种)。横断山区的物种数量明显高于云南高原, 其中 (27.00° - 27.50° N, 99.50° - 100.00° E) 小格是云南境内物种丰富度最高的区域 (18 种)。弗里熊蜂 *Bombus friseanus* 和短头熊蜂 *B. breviceps* 是云南境内的优势蜂种, 这 2 种熊蜂的个体数量接近云南境内 35 种熊蜂总数量的 50%; 相反, 中华熊蜂 *B. chinensis*、雀熊蜂 *B. richardsiellus* 和贝拉熊蜂 *B. bellardii* 等物种在云南境内则非常稀有。【结论】受地形和气候的影响, 云南熊蜂地理分布特征明显, 境内优势种较少, 稀有种较多, 应该加强保护力度。

关键词 传粉者, 熊蜂, 地理区划, 物种丰富度, 物种多度

Biogeography and species diversity of bumblebees in Yunnan, Southwest China

LIANG Cheng^{1,2**} ZHANG Xue-Wen² HUANG Jia-Xing¹ SONG Wen-Fei²
ZHANG Hong¹ LUO Wei-Ting² AN Jian-Dong^{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. Institute of Sericultural and Apiculture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi 661101, China)

Abstract [Objectives] To describe the distribution patterns and diversity of bumblebees in Yunnan province. [Methods] We studied a sample of 5 655 bumblebee specimens of 35 species collected throughout Yunnan province between 2009 and 2018. Regional divisions and species richness were analyzed by comparing species composition and the number of the species present within grid cells of 0.5° longitude $\times$ 0.5° latitude, and species abundance was quantified as the number of individuals per species. [Results] The bumblebee fauna of Yunnan can be divided into two regions, the Yunnan plateau (I) and the Hengduan mountains (II). The Yunnan plateau region can be further subdivided into five smaller subregions, which include the western to central part of the subtropical mid-mountain canyon community (I 1), the south tropical low-mountain valley community (I 2), the southeast subtropical karst mountain river valley community (I 3), the eastern subtropical plateau basin community (I 4) and the northeastern subtropical mid-mountain river valley community (I 5). Similarly, the Hengduan

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (30672500); 中国农业科学院科技创新工程 (CAAS-ASTIP-2015-IAR-002); 国家蜂产业技术体系建设专项 (CARS-45-SYZ17); 农业部授粉昆虫生物学重点开放实验室开放基金 (2016FMZS06)

**第一作者 First author, E-mail: 277902678@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: anjiandong@caas.cn

收稿日期 Received: 2018-10-17, 接受日期 Accepted: 2018-10-24

mountain region can also be subdivided into three smaller subregions, which include the western subtropical alpine canyon community (II 1), the middle temperate alpine canyon community (II 2) and the northwestern, high, cold alpine, meadow community (II 3). Bumblebee species richness in these eight communities can be ranked in descending order; II 3, I 3, II 2, I 1, I 5, I 4, II 1 and I 2. The highest richness (18 bumblebee species) was found in grid cell (27.00°-27.50°N, 99.50°-100.00°E) in the Hengduan mountain region. Two species, *Bombus friseanus* and *B. breviceps*, were highly abundant, comprising almost 50% of all specimens collected. Conversely, some species, including *B. chinensis*, *B. richardsiellus* and *B. bellardii*, were very rare. **[Conclusion]** Distinct distribution patterns of bumblebees in Yunnan probably reflect differences in topography and climate. Two species, *B. friseanus* and *B. breviceps*, were relatively common, but several species were very rare. Further research should be conducted to ensure the conservation of rare species.

Key words pollinators, bumblebee, regional division, species richness, species abundance

熊蜂是一类重要的传粉昆虫,在维持陆地生态系统平衡中发挥着十分重要的作用。熊蜂隶属膜翅目(Hymenoptera)蜜蜂科(Apidae)熊蜂属(*Bombus*),由15个亚属组成,全球约有250种(Williams *et al.*, 2008)。除大洋洲和非洲外,熊蜂在其他各大洲均有自然分布,其中北半球温带和寒温带地区较为丰富(Williams, 1996; 1998)。中国是全球熊蜂物种资源最丰富的国家,已发现125种,占全球已知熊蜂总数的50%,其中,青藏高原东部边缘向黄土高原、秦岭山地及四川盆地过渡的地带是全球熊蜂物种多样性分布中心(An *et al.*, 2014; 黄家兴和安建东, 2018)。

云南省位于青藏高原东南部向云贵高原过渡的地带,是全球生物多样性研究的热点地区之一。对于云南熊蜂属的研究相对较晚,20世纪中叶,俄罗斯科学家 Панфилов 报道中国熊蜂区系包括4个亚区13个小区,云南被划分到日本-中国-喜马拉雅山亚区,其中云南西北部为四川山地省的川滇小区,其余地区为缅甸省的华南小区,但对于云南境内的熊蜂物种没有详细描述(Панфилов, 1957)。20世纪70-80年代,中国科学院的相关单位在云南境内开展了一系列的科学考察,较详细地描述了云南27种熊蜂的形态特征及其县级行政区划分布(吴燕如等, 1988)。

近几十年来,由于栖息地遭受破坏、农业杀虫剂广泛使用和外来物种入侵等因素的影响,在全球许多地区熊蜂生物多样性水平呈现明显下降的趋势,一些物种面临濒危甚至已经灭绝(Goulson *et al.*, 2008; Grixti *et al.*, 2009; Potts

et al., 2010; Cameron *et al.*, 2011; Colla *et al.*, 2012)。云南自然环境的改变,对生物多样性也产生了较大影响,例如,西双版纳地区大面积种植经济林木后,蜜蜂科昆虫多样性下降、分布变窄(杨龙和吴燕如, 1998);植被的破坏致使云南澜沧江流域某些熊蜂物种消失、某些物种数量减少(杨大荣, 1999)。传粉昆虫多样性的下降,会对自然生态系统和人类食物安全产生巨大威胁。为了探究云南全境范围内的熊蜂物种多样性现状,为云南熊蜂资源保护与可持续利用政策的制定提供科学依据。中国农业科学院蜜蜂研究所牵头、云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所等单位参加,2009-2018年,对云南全境的熊蜂资源进行了系统调查,截至目前,已鉴定云南熊蜂属35种5655号。本研究利用这5655号熊蜂的标本信息,来分析云南省熊蜂区系特点及其物种多样性现状。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究以2009-2018年在云南采集并已鉴定的5655号熊蜂标本为研究对象,每号标本均有经纬度、海拔高度、地点、采集人等记录信息,这5655号熊蜂标本来源于云南境内264个采集点,隶属于8亚属35种(表1),研究标本馆藏于中国农业科学院蜜蜂研究所。

1.2 方法

1.2.1 区系划分 参考川渝地区熊蜂和华北地区熊蜂的研究方法(Williams *et al.*, 2009; An

表 1 本研究中云南熊蜂信息
Table 1 The bumblebees of Yunnan in this study

亚属 Subgenus	物种 Species	个体数量 (号) Number of the individuals	区系分布 Regional distribution								
			I 1	I 2	I 3	I 4	I 5	II 1	II 2	II 3	
阿熊蜂亚属 <i>Alpigenobombus</i>	短头熊蜂 <i>Bombus breviceps</i> Smith, 1852	720	+	+	+	+	+		+		
	颊熊蜂 <i>Bombus genalis</i> Friese, 1918	12			+				+		
	灰熊蜂 <i>Bombus grahami</i> (Frison, 1933)	21						+	+	+	
	显熊蜂 <i>Bombus nobilis</i> Friese, 1905	34								+	
熊蜂亚属 <i>Bombus</i>	红光熊蜂 <i>Bombus ignitus</i> Smith, 1869	49			+	+	+				
	长翅熊蜂 <i>Bombus longipennis</i> Friese, 1918	21							+	+	
巨熊蜂亚属 <i>Megabombus</i>	双色熊蜂 <i>Bombus bicoloratus</i> Smith, 1879	33			+		+				
	玛氏熊蜂 <i>Bombus malaisei</i> (Skorikov, 1937)	240	+		+	+		+			
	山岭熊蜂 <i>Bombus montivagus</i> Smith, 1878	320	+	+	+						
	圣熊蜂 <i>Bombus religiosus</i> (Frison, 1935)	5								+	
	安熊蜂 <i>Bombus securus</i> (Frison, 1935)	78							+	+	
	三条熊蜂 <i>Bombus trifasciatus</i> Smith, 1852	30			+		+				
黑熊蜂亚属 <i>Melanobombus</i>	萃熊蜂 <i>Bombus eximius</i> Smith, 1852	9	+		+		+				
	白背熊蜂 <i>Bombus festivus</i> Smith, 1861	466	+		+	+	+	+	+	+	
	弗里熊蜂 <i>Bombus friseanus</i> Skorikov, 1933	2 015	+		+	+	+	+	+	+	
	拉达克熊蜂 <i>Bombus ladakhensis</i> Richards, 1928	54								+	
	雀熊蜂 <i>Bombus richardsiellus</i> (Tkalců, 1968)	2								+	
	红束熊蜂 <i>Bombus rufofasciatus</i> Smith, 1852	84				+				+	
东熊蜂亚属 <i>Orientalibombus</i>	埋熊蜂 <i>Bombus funerarius</i> Smith, 1852	126	+		+			+	+	+	
	红尾熊蜂 <i>Bombus haemorrhoidalis</i> Smith, 1852	108	+	+	+						
拟熊蜂亚属 <i>Psithyrus</i>	贝拉熊蜂 <i>Bombus bellardii</i> (Gribodo, 1892)	3			+						
	角熊蜂 <i>Bombus cornutus</i> (Frison, 1933)	30					+		+	+	
	中华熊蜂 <i>Bombus chinensis</i> (Morawitz, 1890)	1								+	
火熊蜂亚属 <i>Pyrobombus</i>	常熊蜂 <i>Bombus avanus</i> (Skorikov, 1938)	391	+		+	+		+	+	+	
	黄熊蜂 <i>Bombus flavescens</i> Smith, 1852	186	+		+	+	+				
	眠熊蜂 <i>Bombus hypnorum</i> (Linnaeus, 1758)	32			+	+			+	+	
	柔熊蜂 <i>Bombus infirmus</i> (Tkalců, 1968)	11				+					
	稀熊蜂 <i>Bombus infrequens</i> (Tkalců, 1989)	18							+	+	
	饰带熊蜂 <i>Bombus lemniscatus</i> Skorikov, 1912	32							+	+	
	小雅熊蜂 <i>Bombus lepidus</i> Skorikov, 1912	242	+			+			+	+	
	黄足熊蜂 <i>Bombus luteipes</i> Richards, 1934	14	+								
	重黄熊蜂 <i>Bombus picipes</i> Richards, 1934	17			+		+				
胸熊蜂亚属 <i>Thoracobombus</i>	仿熊蜂 <i>Bombus imitator</i> Pittioni, 1949	40			+		+				
	兴熊蜂 <i>Bombus impetuosus</i> Smith, 1871	156	+		+	+	+	+	+	+	
	疏熊蜂 <i>Bombus remotus</i> (Tkalců, 1968)	55						+	+	+	
合计 Total	35 种	5 655	13	3	19	12	12	9	15	20	

I 和 II 表示云南熊蜂地理区系, 1-5 表示小区, + 表示在该区内有分布。下表同。
I and II indicate the biogeographic regions of bumblebees of Yunnan, 1-5 indicates the subregions. + indicates distribution in this region. The same below.

et al., 2014), 以北纬 20.50°、东经 97.00°为起点, 利用经纬度 0.5°×0.5°的方格, 将云南全境划分为 175 个经纬度单元格; 根据每种熊蜂每一个分布点的经纬度信息, 统计每种熊蜂在 175 个方格内的分布情况, 有分布标记为“1”, 没有分布标记为“0”, 建立二元数据列联表, 统计每个方格内的熊蜂物种。以每个单元格的中心经纬度坐标作为方格的代表性地理位置数据, 结合物种分布的二元数据, 利用 SPSS 22.0 软件, 选用组间连接法和平方欧式距离 (Squared Euclidean distance) 对方格内的熊蜂物种组成进行系统聚类。以聚类在一起的单元格边线为分界线, 其中未有物种分布记录的方格根据地理和气候特征合并到相邻的区域, 利用 Arc GIS10.0 软件绘制区划图。

1.2.2 物种丰富度 并利用 Arc GIS10.0 软件, 统计云南境内每个 0.5°×0.5°经纬度方格内的熊蜂物种数量, 分析云南境内熊蜂物种丰富度的特性。

1.2.3 物种多度 参照张海虹 (2012) 和丁岩钦 (1994) 的方法, 采用 Berger-Parker 指数 D 分析熊蜂的物种多度, 计算公式为: $D=N_i/N$, 式中 N_i 为第 i 种熊蜂标本的数量, N 为云南 35 种熊蜂的标本总数量。依据正态分布的原则, 定义为 $D \geq 0.1$ 时为优势种; $0.05 \leq D < 0.1$ 时为丰盛种; $0.01 \leq D < 0.05$ 时为常见种; $D < 0.01$ 时为稀有种。

2 结果与分析

2.1 云南省熊蜂区系特点

结果显示, 云南熊蜂分布聚为 2 大类, 即 I 和 II, 其中 I 又分化为 5 小类, II 又分化为 3 小类 (图 1)。根据这个聚类结果, 将未有物种分布记录的经纬度 0.5°×0.5°方格合并到相邻的区域后, 经矫正以后就划分出了云南熊蜂地理区系 (图 2)。即从地理分布上, 云南熊蜂区系可以划分为云南高原 (I) 和横断山区 (II) 2 个大区; 云南高原又分为云南高原西部 (I A) 和云南高原东部 (I B) 2 个亚区, 可进一步分为西部-中部亚热带中山峡谷区 (I 1)、南部热带低

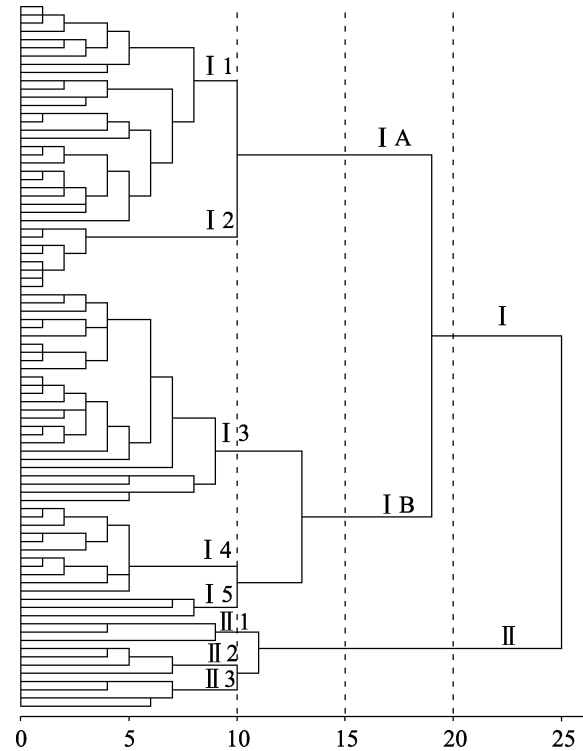


图 1 基于经纬度 0.5°×0.5°方格内熊蜂物种组成的云南熊蜂聚类分析

Fig. 1 The clustering analysis of geographical distribution of bumblebees in Yunnan based on the species composition within the grid cells of 0.5° longitude × 0.5° latitude

I 和 II 表示云南熊蜂地理区系, 1-5 表示小区。下同。
I and II indicate the biogeographic regions of bumblebees of Yunnan, 1-5 indicates the subregions. The same below.

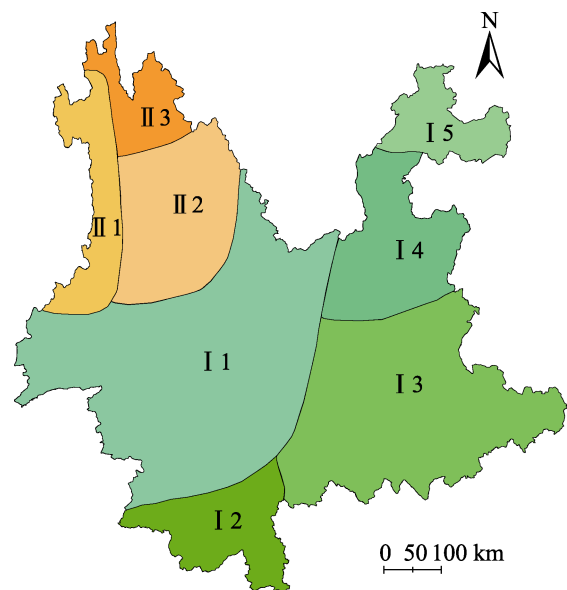


图 2 云南省熊蜂地理区划

Fig. 2 Geographical division of bumblebees of Yunnan

山宽谷区 (I 2)、东南部亚热带岩溶山地河谷区 (I 3)、东部亚热带高原谷盆区 (I 4) 和东北部亚热带中山河谷区 (I 5) 5 个小区; 横断山区又可分为西部亚热带高山峡谷区 (II 1)、中部温带高山峡谷区 (II 2) 和西北部高寒草甸区 (II 3) 3 个小区 (图 2)。

云南熊蜂 8 个地理小区的自然景观描述如表 2 所示。在云南 8 个地理小区中, 西北部高寒草甸区 (II 3) 熊蜂物种丰富度最高为 20 种, 其他小区依次为 I 3 (19 种)、II 2 (15 种)、I 1 (13 种)、I 4 (12 种)、I 5 (12 种)、II 1 (9 种), 南部热带低山宽谷区 (I 2) 物种丰富度最

低仅发现 3 种。其中, 显熊蜂 *B. nobilis*、圣熊蜂 *B. religiosus*、拉达克熊蜂 *B. ladakhensis*、雀熊蜂 *B. richardsiellus* 和中华熊蜂 *B. chinensis* 仅分布于 II 3 小区, 黄足熊蜂 *B. luteipes* 仅分布于 I 1 小区, 贝拉熊蜂 *B. bellardii* 仅分布于 I 3 小区, 柔熊蜂 *B. infirmus* 仅分布于 I 4 小区, 白背熊蜂 *B. festivus*、弗里熊蜂 *B. friseanus* 和兴熊蜂 *B. impetuosus* 在 I 2 外的 7 个小区均有分布。各小区的熊蜂物种名录详见表 1。

2.2 云南省熊蜂物种丰富度

云南熊蜂物种丰富度呈现中部低、四周丰富

表 2 云南省熊蜂 8 个地理小区的自然景观特性
Table 2 Natural characteristics of the 8 geographical regions of bumblebees of Yunnan

区 Regions	小区 Subregions	自然地理景观概述 Natural description of the regions
I	I 1	云南省西南部 N 26.00°到 N 22.50°之间, 沿着苍山南麓的谷地向北扩展到 N 27.50°, 向东到 E 102.50°。行政区划包括保山市、临沧市、楚雄州、大理州东南部和普洱市西北部。自然地理区划, 西南部包括了高黎贡山和怒山南麓到老别山、邦马山山系, 点苍山南麓到无量山和哀牢山北段的中山宽谷地区; 中部地区包括点苍山和绵绵山东麓到三台山和滇池、抚仙湖西岸的广大地区。水系流域包括大盈江水系的盈江和龙川江上游, 怒江水系中下游, 澜沧江水系中游, 红河水系上游及其支流李仙江上游, 长江水系的金沙江中游。
	I 2	云南省南部 N 23.00°以南区域, 行政区划包括了西双版纳州全部和普洱市南部的孟连、澜沧、思茅、江城等区、县。自然地理区划, 沿无量山南端向西到邦马山南麓之间的地区, 为澜沧江水系中下游, 包括了中游的干热河谷和下游的宽谷热带雨林地区。
	I 3	云南省东南部 E 101.50°以东, N 25.00°以南区域。行政区划包括了玉溪市、红河州、文山州和曲靖市南部; 自然地理区划为哀牢山南段山麓向东南延伸的岩溶地区。该地区南部为红河水系的元江和李仙江流域, 包括元江干热河谷, 北部为珠江水系南盘江的中游流域。
	I 4	云南省东部 E 102.50°以东, N 25.00°到 N 27.50°之间。行政区划包括了昆明市、曲靖市和昭通南部区、县。自然地理区划为拱王山以西到乌蒙山的广大地区, 该区域为长江水系支流的普渡河和牛栏江流域, 以及珠江水系的南盘江上游。
	I 5	云南省东北部 N 27.50°以北地区, 行政区划为昭通市北部各个区县。自然地理区划处于五莲峰和乌蒙山北段之间的山原河谷, 该区域为长江水系支流的大关河和赤水河流域。
II	II 1	云南省西部 N 25.50°到 N 28.50°之间, E 99.00°以西地区, 行政区划包括怒江州大部。自然地理区划属于横断山系的西部, 地处怒山西坡和高黎贡山间的高山峡谷, 该地区为怒江水系干流的中游流域。
	II 2	云南省西北部 N 25.50°到 N 27.00°, E 99.00°到 E 100.75°之间, 行政区划包括大理州西部、丽江市南部和怒江州东部的兰坪县。自然地理区划地处横断山脉中部, 包括怒山、云岭南段、点苍山、玉龙雪山和绵绵山等山地, 该地区为长江水系和澜沧江水系中上游流域。
	II 3	云南省西北部 N 27.00°到 N 29.50°, E 99.00°到 E 100.00°之间, 行政区划包括迪庆州和丽江市北部。自然地理区划地处三江并流的核心区域, 怒山、云岭北段、白马雪山与怒江水系、澜沧江水系、长江水系上游形成的高山河谷。

的分布格局,其中西北部最高,东南部、东北部次之,南部最低。经纬度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 方格内的物种数量分析表明,西北部经纬度 (27.00° - 27.50° N, 99.50° - 100.00° E) 方格内有熊蜂 18 种,是云南境内熊蜂物种丰富度最高的区域,该区域在行政区划上包括迪庆州香格里拉县和丽江市玉龙县,在自然地理区划上为横断山中部云岭北段的白马雪山和玉龙雪山北部。相反,云南境内一些特殊的地理区域没有发现熊蜂分布,例如金沙江干热河谷元谋段、红河干热河谷沅江至河口段、澜沧江干热河谷双江至思茅港段、西双版纳州勐腊县南部谷地等 (图 3)。

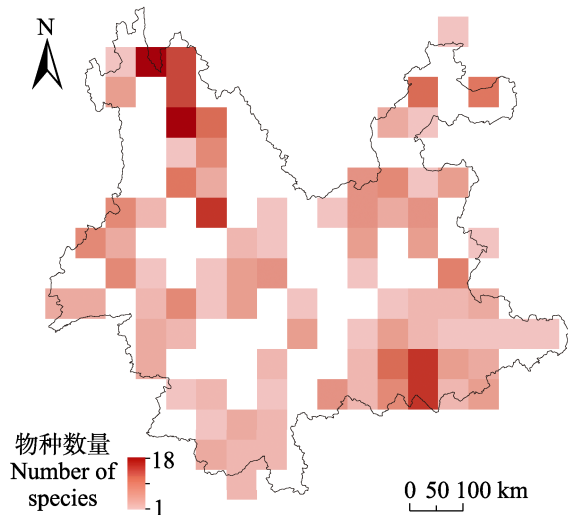


图 3 云南省熊蜂物种丰富度

Fig. 3 The species richness of bumblebees of Yunnan

红色代表经纬度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 方格内的物种数量,变化范围为深红色最大值 (18 种/方格) 到浅红色最小值 (1 种/方格)。

Red colours indicate the number of species within grid cells of 0.5° longitude $\times 0.5^{\circ}$ latitude, ranging from the highest value (18 species/cell) in dark red and the lowest value (1 species/cell) in light red.

2.3 云南省熊蜂物种多度

物种多度分析结果表明,弗里熊蜂 *B. friseanus* ($D=0.356\ 3$) 和短头熊蜂 *B. breviceps* ($D=0.127\ 3$) 是云南境内的优势蜂种,这 2 种熊蜂的标本数量占云南 35 种熊蜂总标本数量的 48.36%;其中,弗里熊蜂在香格里拉的高山草甸、玉龙雪山、苍山以及乌蒙山系等地区分布丰富,

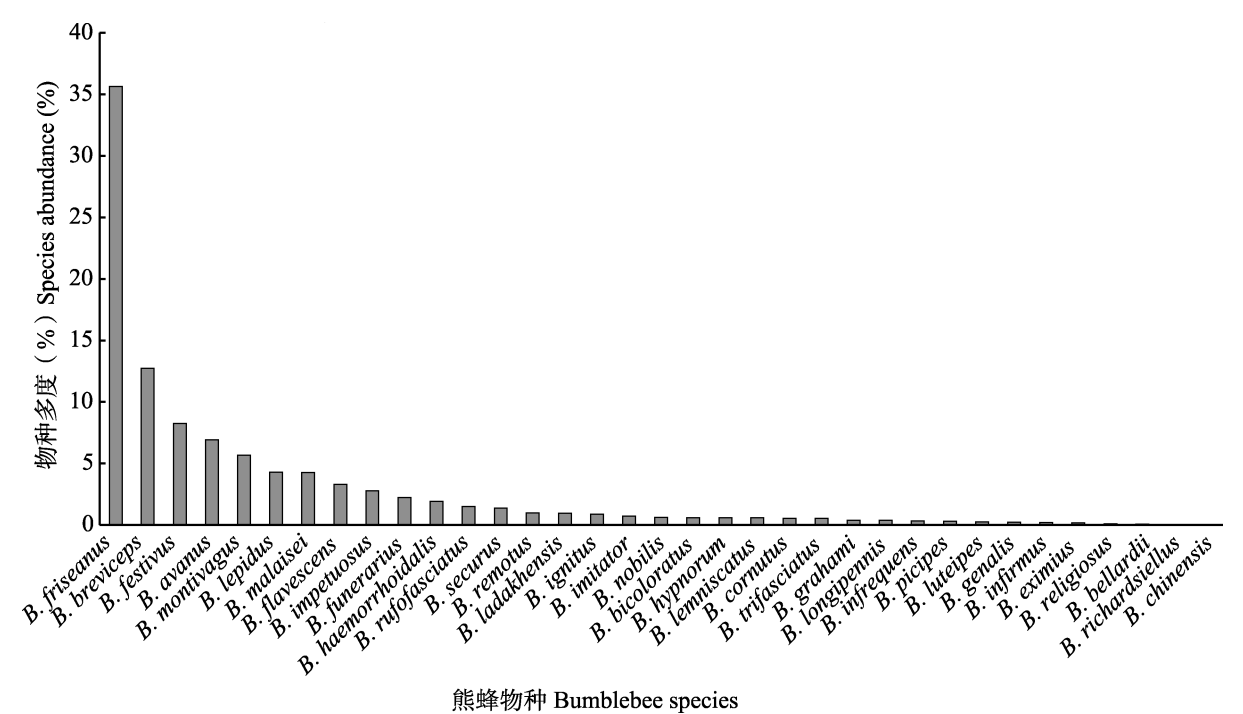
短头熊蜂在滇东南的岩溶山地、西双版纳、高黎贡山南段等地区分布丰富。丰盛种有 3 种,占 8.57%,包括白背熊蜂 *B. festivus* ($D=0.082\ 4$)、常熊蜂 *B. avanus* ($D=0.069\ 1$) 和山岭熊蜂 *B. montivagus* ($D=0.056\ 6$)。常见种 8 种,占 22.86%,包括小雅熊蜂 *B. lepidus*、玛氏熊蜂 *B. malaisei*、黄熊蜂 *B. flavescens*、兴熊蜂 *B. impetuosus*、埋熊蜂 *B. funerarius*、红尾熊蜂 *B. haemorrhoidalis*、红束熊蜂 *B. rufofasciatus* 和安熊蜂 *B. securus*。其他 22 种则被划分为稀有种,占云南熊蜂物种总数的 62.86%,其中柔熊蜂 *B. infirmus*、萃熊蜂 *B. eximius*、圣熊蜂 *B. religiosus*、贝拉熊蜂 *B. bellardii*、雀熊蜂 *B. richardsiellus* 和中华熊蜂 *B. chinensis* 等物种的 D 值均小于 0.002 0,标本数量均未超过 11 号 (图 4, 表 1)。

3 讨论

3.1 云南熊蜂区系划分

Williams (1996) 根据全球熊蜂分布的地理特点,首次将世界熊蜂划分为 12 个地理区系,并且表明全球熊蜂区系和鸟类区系比较相似。本研究结果与云南鸟类区系也有相似之处,均为 2 区 8 小区,特别是横断山区的 3 个小区极为相似 (季维智, 2004)。中国昆虫地理区划中云南分属于华中区-云贵高原亚区、华东区-滇南亚区和西南区-丽江亚区 3 个亚区 (申效诚等, 2015),这和本研究中的云南高原西部 (I A)、云南高原东部 (I B) 和横断山区 (II) 的划分也相吻合。在《云南森林昆虫》中,将云南昆虫划分为 7 个小区,其中滇西北山区小区和西双版纳小区与本研究中的横断山区 (II) 和南部热带低山宽谷小区 (I 2) 相似,其他区域划分差异较大 (云南省林业厅和中国科学院动物研究所, 1987)。

生态环境的限制和物种生存策略决定了不同物种的地理分布。云南熊蜂 2 大区 8 小区的分布特性,应该也是熊蜂物种对生态环境长期适应与进化的体现。云南高原 (I) 具有热带和亚热带气候特点,而横断山区 (II) 有寒带、温带和



熊蜂物种 Bumblebee species
图 4 云南省熊蜂物种多度特性
Fig. 4 The species abundance of bumblebees of Yunnan

亚热带多个气候带纵向堆叠形成的立体气候特点。以哀牢山和红河流域的元江河谷将云南高原划分为东西两部分,即云南高原西部(ⅠA)和云南高原东部(ⅠB),ⅠB地势由西北向东南倾斜,多山间盆地,气候受到太平洋东南季风影响;ⅠA为横断山脉南延部分,海拔由北向南降低,处澜沧江、怒江、长江水系的中游,形成宽谷区,气候受到印度洋西南季风影响(王声跃和张文,2002;杨宇明等,2008)。本研究将Ⅰ区分为ⅠA和ⅠB两个亚区,与自然地理和气候特征相一致。横断山区(Ⅱ)属于中国横断山脉南段,三江水系中上游,地貌呈现山脉、河流纵向交替并列,气候特征复杂。Ⅱ1与Ⅱ2、Ⅱ3之间以怒山山脊为界,Ⅱ1气候上受西南季风和海拔落差的影响,立体气候明显,具有亚热带和温带特征;Ⅱ2在地形地貌上属于Ⅱ3的南延部分,受到西南季风、东南季风和青藏高原季风的相互作用,具有温带气候特征,另外受到海拔落差的影响,低海拔河谷地区具有亚热带特征,高海拔地区具有寒带气候特征;Ⅱ3具有青藏高原的高寒气候特征(王霞斐,1979;陶云等,2013)。本研究将横断山区划分为3个小区,与该地区的河谷、

山脉走势和气候特征相对应。在云南8个小区中,地处最南端的热带低山宽谷区(Ⅰ2)和横断山区的Ⅱ1、Ⅱ3在地貌和气候特征上完全不同,聚类距离最远,物种组成完全不同;而Ⅰ2与其它具有亚热带气候特征的5个小区,其物种组成均有一定程度的相似性。

同时,云南地处热带、亚热带和青藏高原的结合部位,特别是西北部横断山区三江水系高低落差悬殊的地貌,形成了不同区系成分的生物类群在此交汇分布。例如,青藏高原腹地的耐寒动植物类群,可沿山脉走势南下,致使一些古北区的动植物类群南移至北半球低纬度区域;相反,属于热带中南半岛和印度区系的动植物类群亦可沿着河谷向北分布到滇西北的一些高纬度低海拔地带;在这一地区形成了南北生物区系的“指状交叉分布”现象(杨宇明等,2008)。熊蜂在云南也呈现南北物种“指状交叉分布”的特点,例如,弗里熊蜂、白背熊蜂在云南境内主要分布于寒带和温带高海拔地区,但沿着高海拔山系由北向南,越过北回归线,在南部亚热带的蒙自市和个旧市亦有分布;相反,短头熊蜂、玛氏熊蜂主要分布于南部热带和亚热带地区,但这2

种熊蜂沿水系河谷由南向北, 分别扩展到了滇西北的洱源县和贡山县。

3.2 云南熊蜂多样性特点

青藏高原东部及其周边山地是全球熊蜂多样性分布中心, 其中甘肃和四川各有熊蜂 56 种, 是我国熊蜂物种资源最丰富的省区, 其次, 云南熊蜂也十分丰富, 35 种占中国熊蜂物种总数的 28% (Williams *et al.*, 2009a; An *et al.*, 2014; 黄家兴和安建东, 2018)。和 20 世纪 70-80 年代相比, 云南物种增加了 7 种, 这与本次调查覆盖面更大、采集样本数量更多有关, 也和最近几年借助 DNA 条形码技术准确鉴定明亮熊蜂复合种等疑难物种有关 (刘萃等, 2014)。

西北部高寒草甸区 (II 3) 是云南境内熊蜂物种丰富度最高的地区, 与云南省高等植物最丰富的地区相吻合 (陈丽等, 2013), 这可能就是传粉昆虫和植物协同进化的结果, 即昆虫为植物传粉, 促进了植物的花粉流和基因流, 同时丰富的植物资源为传粉昆虫提供了更多更好的食物和栖息生境。熊蜂是滇西北高山冰缘带植物如绵参 (彭德力, 2015) 和特有植物如蓝果杜鹃 (马永鹏等, 2015) 的主要传粉昆虫, 在该地区植物分布中心的形成过程中发挥了重要的生态作用。云南高等植物丰富度较高的另一区域恰恰是熊蜂物种丰富度最低的南部热带低山宽谷区 (I 2), 这种生态关系与西北部高寒草甸区完全不同, 这可能与熊蜂属昆虫更喜欢温带和寒温带气候有关 (Williams, 1996); 也可能与不同蜂的食物竞争有关, 因为 I 2 小区蜜蜂属 *Apis* 物种十分丰富 (匡邦郁和匡海鸥, 2002), 形成了不同的生态位。

熊蜂的多样性特点除了与熊蜂本身的适应性有关外, 也与人类活动的影响密切相关, 大量研究表明过度放牧、农药使用和生境破坏等诸多因素均会导致熊蜂多样性明显下降 (Xie *et al.*, 2008; Williams and Osborne, 2009)。本研究表明, 云南高海拔山地熊蜂物种丰富度较高, 山间盆地丰富度较低。高海拔山地多为各级自然保护区, 人类活动影响较小; 山间盆地在云南称为坝

子, 是主要农区和城镇化区域, 人类活动较为频繁, 熊蜂多样性水平较低, 例如云南中部的昆明、玉溪、楚雄、东部的曲靖、东南部的蒙自、北部的祥云、宾川等坝子的周边山地, 不仅熊蜂数量较少, 而且物种较为单一。说明自然保护区在熊蜂资源保护方面发挥了十分重要的作用。

云南境内熊蜂物种多度差异明显, 弗里熊蜂和短头熊蜂 2 种熊蜂的样本数量接近 35 种熊蜂总数的 50%, 这 2 种熊蜂主要分布在我国南方地区, 在云南境内也十分丰富; 和北方地区一样, 拟熊蜂亚属的贝拉熊蜂和中华熊蜂在云南也十分稀少 (An *et al.*, 2014); 另外, 20 世纪 70-80 年代, 在云南大关县采到了黑足熊蜂 *Bombus atripes* (吴燕如等, 1988), 但最近 10 年调查在云南境内没有发现该物种, 推测黑足熊蜂已在云南境内消失。和北方地区相比, 云南境内稀有熊蜂物种较多 (An *et al.*, 2014), 应该根据雀熊蜂、圣熊蜂等稀有物种的分布特点, 建立相关的保护措施, 否则将来可能有更多的熊蜂物种消失。

致谢: 中国农业科学院蜜蜂研究所赵亚周、陈文锋、周志勇、刘彦杰和云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所冉瑞发、姚丽萍、卢焕仙、宗德琴、秦毅恒、杨爽、黄新球、陈顺安、周春涛等参加部分野外采集工作, 云南省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 (References)

- An JD, Huang JX, SHao YQ, Zhang SW, Wang B, Liu XY, Wu J, Williams PH, 2014. The bumblebees of North China (Apidae, *Bombus* Latreille). *Zootaxa*, 3830(1): 1–89.
- Cameron SA, Lozier JD, Strange JP, Koch JB, Cordes N, Solter LF, Griswold TL, 2011. Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(2): 662–667.
- Colla SR, Gadallah F, Richardson L, Wagner D, Gall L, 2012. Assessing declines of North American bumble bees (*Bombus*, spp.) using museum specimens. *Biodiversity & Conservation*, 21(14): 3585–3595.
- Chen L, Dong HJ, Peng H, 2013. Diversity and distribution of higher plants in Yunnan, China. *Biodiversity Science*, 21(3): 359–363. [陈丽, 董洪进, 彭华, 2013. 云南省高等植物多样性

- 与分布状况. 生物多样性, 21 (3): 359–363.]
- Ding YQ, 1994. Mathematical Ecology of Insects. Beijing: Science Press. 1–654. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 1–654.]
- Forestry Department of Yunnan Province, and Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, 1987. Insects of Forests in Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1–1622. [云南省林业厅, 中国科学院动物研究所, 1987. 云南森林昆虫. 昆明: 云南科技出版社. 1–1622.]
- Goulson D, Lye GC, Darvill B, 2008. Decline and conservation of bumble bees. *Annual Review of Entomology*, 53(1): 191–208.
- Grixti JC, Wong LT, Cameron SA, Favret C, 2009. Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biological Conservation*, 142(1): 75–84.
- Huang JX, An JD, 2018. Species diversity, pollination application and strategy for conservation of the bumblebees of China. *Biodiversity Science*, 26(5): 486–497. [黄家兴, 安建东, 2018. 中国熊蜂多样性、人工利用与保护策略. 生物多样性, 26(5): 486–497.]
- Liu P, Huang JX, An JD, He SY, Wu J, 2014. Molecular identification and distribution characteristics of the bumblebee *Bombus lucorum* complex in China. *Acta Entomologica Sinica*, 57(2): 235–243. [刘苹, 黄家兴, 安建东, 和绍禹, 吴杰, 2014. 中国明亮熊蜂复合种的分子鉴定及分布特性. 昆虫学报, 57(2): 235–243.]
- Ji WZ, 2004. Wild Birds in Yunnan, China. Beijing: China Forestry Publishing House. 1–281. [季维智, 2004. 中国云南野生鸟类. 北京: 中国林业出版社. 1–281.]
- Kuang BY, Kuang HO, 2002. Biology of the Honey Bee. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1–236. [匡邦郁, 匡海鸥, 2002. 蜜蜂生物学. 昆明: 云南科技出版社. 1–236.]
- Ma YP, Wu ZK, Zhang CQ, Sun WB, 2015. Flower color polymorphism in *Rhododendron cyanocarpum* (Ericaceae), an endangered Alpine species endemic to NW Yunnan, China. *Plant Diversity and Resources*, 37(1): 21–28. [马永鹏, 吴之坤, 张长芹, 孙卫鹏, 2015. 滇西北特有植物蓝果杜鹃的花色多态性研究. 植物分类与资源学报, 37(1): 21–28.]
- 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.
- Peng DL, 2015. The reproductive traits and adaptation strategies of alpine plants in the sub-nival belt of the Hengduan Mountains, SW China—Take sexual systems and “downy plant” *Eriophyton wallichii* as examples. Doctoral dissertation. Yunnan: Yunnan University. [彭德力, 2015. 横断山区高山冰缘带植物繁殖特征和适应策略——以性系统和“绒毛植物”绵参为例. 博士学位论文. 云南: 云南大学.]
- Shen XC, Ren YD, Liu XT, Shen Q, Wang AP, Zhang SJ, Sun H, Ma XJ, 2015. Insect Geography of China. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press. 1–980. [申效诚, 任应党, 刘新涛, 申琪, 王爱萍, 张书杰, 孙浩, 马晓, 2015. 中国昆虫地理. 郑州: 河南科学技术出版社. 1–980.]
- Tao Y, Fan F, Duan X, He H, He Q, 2013. On the features of different climate zones temperature change in Yunnan. *Journal of Yunnan University (Natural Science Edition)*, 35(5): 652–660. [陶云, 樊风, 段旭, 何华, 何群, 2013. 云南不同气候带气温变化特征. 云南大学学报(自然科学版), 35(5): 652–660.]
- Wu YR, He W, Wang SF, 1988. Bees Fauna of Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1–132. [吴燕如, 何琬, 王淑芳, 1988. 云南蜜蜂志. 昆明: 云南科技出版社. 1–132.]
- Wang XF, 1979. Effects of topography on climate in Yunnan. *Journal of Kunming Normal University*, (5): 87–89. [王霞斐, 1979. 地形对云南气候的影响. 昆明师院学报, (5): 87–89.]
- Wang SY, Zhang W, 2002. Yunnan Geographic. Kunming: Yunnan Nationalities Press. 1–653. [王声跃, 张文, 2002. 云南地理. 昆明: 云南民族出版社. 1–653.]
- Williams PH, 1996. Mapping variations in the strength and breadth of biogeographic transition zones using species turnover. *Proceedings of the Royal Society of London*, 263(1370): 579–588.
- Williams PH, 1998. An annotated checklist of bumblebees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini). *Bulletin of the Natural History Museum Entomology*, 67(1): 79–152.
- 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). *Systematics & Biodiversity*, 7(2): 101–190.
- Williams PH, Osborne JL, 2009. Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. *Apidologie*, 40(3): 367–387.
- Xie ZH, Williams PH, Tang Y, 2008. The effect of grazing on bumblebees in the high rangelands of the eastern Tibetan Plateau of Sichuan. *Journal of Insect Conservation*, 12(6): 695–703.
- Yang DR, 1999. The status of species diversity and conservation strategy of bumble bees, a pollination insect in Lancang River Basin of Yunnan. China. *Chinese Biodiversity*, 7(3): 170–174. [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.]
- Yang LL, Wu YR, 1998. Species diversity of bees in different habitats in Xishuangbanna tropical forest region. *Chinese Biodiversity*, 6(3): 197–204. [杨龙龙, 吴燕如, 1998. 西双版纳热带森林地区不同生境蜜蜂的物种多样性研究. 生物多样性, 6(3): 197–204.]
- Yang YM, Wang J, Wang JH, Pei SJ, 2008. Studies on the Biodiversity and Its Conservation in Yunnan, China. Beijing: Science Press. 1–296. [杨宇明, 王娟, 王建皓, 裴盛基, 2008. 云南生物多样性及其保护研究. 北京: 科学出版社. 1–296.]
- Zhang HH, 2012. Species diversity and predominance of phototactic insect around Shanghai Oriental sports center. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 30(6): 87–91. [张海虹, 2012. 上海东方体育中心周边趋光性昆虫物种多样性及优势度分析. 上海交通大学学报(农业科学版), 30(6): 87–91.]
- Панфилов ДВ, 1957. The geographical distribution of *Bombus* in China. *Acta Geographica Sinica*, (3): 221–239. [Д.В.潘菲洛夫, 1957. 中国熊蜂(*Bombus*)的分布. 地理学报, (3): 221–239.]