

湖北七姊妹山国家级自然保护区农林交错带熊蜂多样性研究

夏婧, 刘琦琪, 袁耀明, 刘志千, 姜云翼, 郝利军

(中南民族大学 a. 生命科学学院; b. 生物技术应用研究中心, 武汉 430074)

摘要 熊蜂是一类重要的传粉昆虫, 具有显著的生态与经济价值. 本研究以湖北七姊妹山国家级自然保护区的农林交错带为例, 于2021—2023年沿着保护区至城镇的景观梯度, 详细调查了熊蜂及其访花植物的多样性. 三年共记录到熊蜂13种, 隶属7亚属, 其中三条熊蜂 *Bombus trifasciatus*、重黄熊蜂 *B. picipes* 和白背熊蜂 *B. festivus* 为优势种. 该区域熊蜂物种多样性较高, 但在景观梯度上存在显著差异. 随着农田面积扩张, 熊蜂多样性和物种数量降低. 熊蜂至少为当地农林交错带26科49种植物传粉, 其中以菊科、豆科、蔷薇科和唇形科为主. 不同熊蜂具有显著不同的访花偏好性, 根据主要访问熊蜂的不同, 这49种植物可分成四个聚类群. 本研究揭示了该区域熊蜂资源现状及其传粉功能, 强调了半自然生境对维持熊蜂多样性的重要性, 为熊蜂保护与农业传粉服务优化提供了科学依据.

关键词 熊蜂; 七姊妹山; 农林交错带; 生物多样性; 传粉

中图分类号 Q9 文献标志码 A 文章编号 1672-4321(2026)03-0324-09

doi: 10.20056/j.cnki.ZNMDZK.20260703

Bumblebee diversity in the agroforestry ecotone in Hubei Qizimeishan National Nature Reserve

XIA Jing, LIU Qiqi, YUAN Yaoming, LIU Zhiqian, JIANG Yunyi, HAO Lijun

(South-Central Minzu University, a. College of Life Sciences; b. Research Center for Biotechnology Application, Wuhan 430074, China)

Abstract Bumblebees (*Bombus* spp.) constitute vital pollinator insects delivering significant ecological and economic value. In this study, bumblebee diversity and plant-pollinator interactions were investigated within the florally rich agroforestry ecotones of Hubei Qizimeishan National Nature Reserve, China, along a landscape gradient spanning from protected core areas to adjacent town zones during 2021-2023. Comprehensive surveys recorded 13 bumblebee species across 7 subgenera over three years, with *Bombus trifasciatus*, *B. picipes*, and *B. festivus* identified as dominant species. Bumblebee species richness and diversity were relatively high, while significant spatial heterogeneity was also observed. Bumblebee species richness and diversity decreased significantly as agricultural land area increased. Bumblebees served as pollinators for 49 plant species in 26 families, especially in Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae, and Lamiaceae. Distinct foraging preferences were evident among bumblebee species, with 49 plant species clustering into four distinct groups. This research documents baseline bumblebee biodiversity patterns in a critical ecotone, thereby offering foundational data for conservation strategies and sustainable utilization of pollination services in agroforestry systems.

Keywords bumblebee; Mountain Qizimeishan; agroforestry ecotone; biodiversity; pollination

传粉者是维持生态系统功能和农业生产的关键环节. 约90%的被子植物、75%的主要粮食作物

以及35%的全球粮食产量直接依赖动物传粉^[1-2]. 农林交错带作为林业与农业区域间的生态过渡区, 具

收稿日期 2025-07-27

作者简介 夏婧(1980-), 女, 副教授, 博士, 研究方向: 传粉生物学, 生物多样性及保护, E-mail: meir_xj@mail.scuec.edu.cn

基金项目 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CZY22008)

有生态环境脆弱性及生境类型丰富且复杂等显著特征,对维持传粉昆虫授粉生态系统的稳定性至关重要^[3-4]。一方面,相较于郁闭的森林环境,林缘地区通常能支撑更多的花资源和传粉者种群^[5]。另一方面,即使在山地的农业景观中,农田通常依地形地势分布,面积相对较小且形状也不规则;周边开花资源丰富的半自然生境可为传粉昆虫提供重要的生命支持功能,从而缓解人工干扰所造成的传粉昆虫丰富度下降^[6-8]。因此,近年来农业交错带地区传粉者与植物的相互作用日益受到关注^[7,9]。

熊蜂(*Bombus* spp.)是一类重要的传粉昆虫。其体型大、口器较长、耐低温低光,并具备独特的蜂震传粉能力,使其可以高效适应某些特化的花结构。这些优势使熊蜂成为北半球最重要的传粉者资源之一,在维系自然生态系统生物多样性中发挥关键作用^[10]。同时,熊蜂授粉在增强作物在气候变化下抗逆力的作用日益凸显,对支持现代可持续性农业发展具有重要意义^[11]。

然而,全球传粉动物,尤其是传粉昆虫的丰富度和多样性都在急剧下降,已成为人类面临的重大生态危机之一,不可避免地威胁到生态系统稳定和粮食安全^[12-14]。值得警惕的是,熊蜂种群同样面临衰退趋势,其保护成为昆虫生物多样性维护的关键议题^[15]。基于此,本研究在湖北七姊妹山国家级自然保护区农林交错带开展了连续三年的熊蜂资源调查,旨在揭示该地区的熊蜂物种多样性现状,为熊蜂资源的保护与可持续利用提供基础资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与样带设置

湖北七姊妹山国家级自然保护区主要保护中亚热带森林生态系统和珍稀濒危野生动植物,该保护区内夏季林缘开阔区域,灌草群落中存在百余种开花植物,为熊蜂提供了丰富的食物资源^[16]。研究群落位于湖北省宣恩县椿木营乡,海拔高度1800~1900 m,属于典型的高山气候。从保护区内黄柏营开始,沿着保护区到城镇区的景观环境梯度设置四条样带进行熊蜂资源调查(图1)。样带1和样带2位于保护区内,开阔林缘灌草丛以草本为主,同时具备相对郁闭的次生灌丛。样带3属于过渡区域,出现人工农田,农田边缘形成大量的杂草丛,同时山体

一侧也保留一些半自然的林缘灌草丛。样带4进入人类频繁活动区域,土地利用方式明显改变,出现大面积农田,干扰进一步加强,植被相对简单。

1.2 熊蜂标本采集与物种鉴定

访花熊蜂资源调查于2021—2023年的夏季(7—8月)进行,选择天气晴朗或无风的日子进行标本采集,日采样时间为8:30~17:30。

通过样带内间隔停留驻点观察的方式,收集植物与熊蜂相互作用的数据。每个观察点停留15 min,期间采集所有的访花熊蜂,并记录每只熊蜂的访花植物物种信息。采集的熊蜂标本置于离心管中编号,无水乙醇保存。结合实际开花情况,通过样带间轮次调查的方式,采样覆盖了研究区域内的绝大部分开花植物及其熊蜂传粉者,确保了采样均衡性。

野外采集时,对熊蜂标本采用形态学进行初步鉴定,带回实验室后进行详细的形态鉴定。形态鉴定依据源自2018—2019年采集的136只熊蜂标本鉴定结果(中国农业科学研究院蜜蜂研究所黄家兴研究员鉴定),在此基础上建立熊蜂的分类检索表。

1.3 数据统计与分析

采用如下几个多样性指数,揭示整体水平和不同环境梯度下(样带水平)研究区域熊蜂的物种组成、分布均匀性以及多样性水平。生物多样性指数计算以及不同样带间生物多样性的比较分析均在PAST4.19进行。

(1) Berger-Parker物种相对多度(relative abundance, RD)

反映各熊蜂的相对物种多度,并依据此参数进行物种多度分级划分:优势种($RD \geq 0.1$)、丰盛种($0.05 \leq RD < 0.1$)、常见种($0.01 \leq RD < 0.05$)、偶见种($0.001 \leq RD < 0.01$)、稀有种($RD < 0.001$)。物种相对多度计算公式如下:

$$RD = \frac{N_i}{N}$$

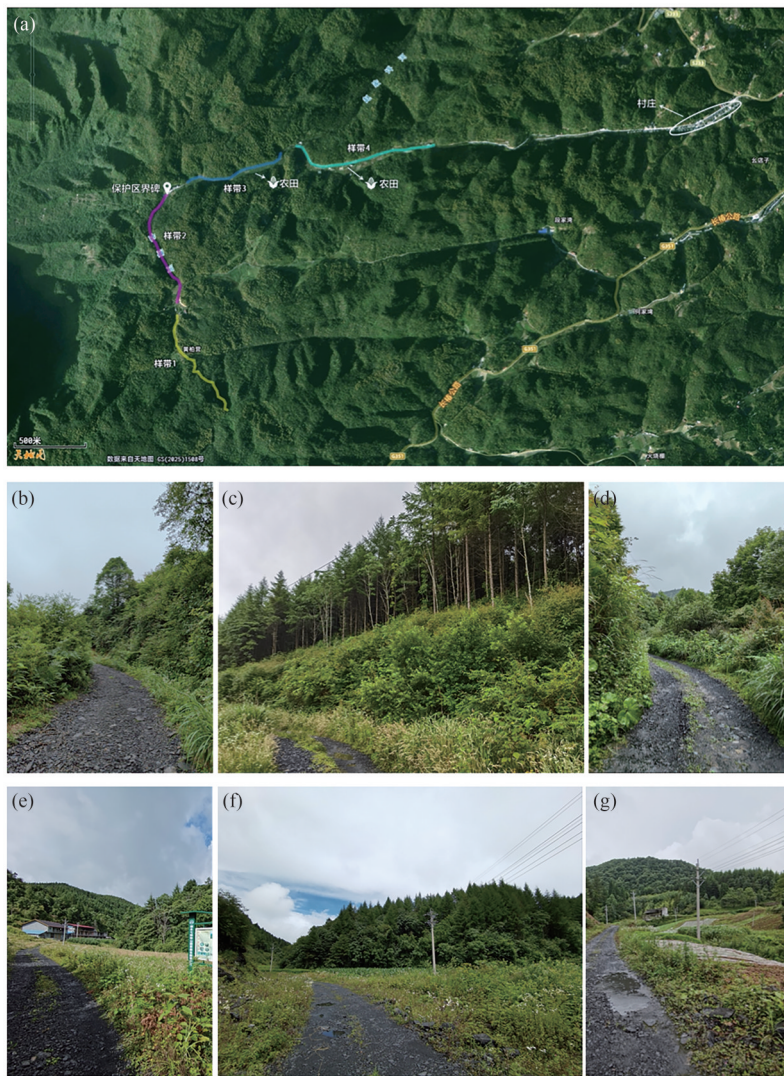
式中 N_i 表示第*i*种熊蜂的采集标本数量, N 表示所有熊蜂样本总数量。

(2) Berger-Parker优势度指数(dominant index, *D*)

反映群落中熊蜂物种分布均匀程度,在物种相对多度的基础上计算,计算公式如下:

$$D = \frac{N_{\max}}{N}$$

式中 N_{\max} 表示熊蜂优势种的个体数, N 表示所有熊蜂样本总数量。



(a) 研究样带示意图; (b) 样带 1 景观示意图; (c)-(d) 样带 2 景观示意图; (e)-(f) 样带 3 景观示意图; (g) 样带 4 景观示意图
图 1 研究样带(a)以及景观梯度变化(b)-(g)示意图

Fig. 1 Landscape gradients (b)-(g) along four sampling transects (a)

(3) Simpson 多样性指数(λ)

反映物种的多样性程度, 注重稀有物种. 计算公式如下:

$$\lambda = 1 - \sum P_i^2,$$

式中 i 表示第 i 个熊蜂物种, P_i 表示第 i 个物种的相对多度.

(4) Shannon-Wiener 多样性指数(H')

反应物种的多样性程度, 同时考虑物种的数量和分布均匀度. 计算公式如下:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i,$$

式中 i 表示第 i 个熊蜂物种, P_i 表示第 i 个物种的相对多度.

(5) Pielou 均匀度指数(J)

衡量物种均匀度的指标. 计算公式如下:

$$J = \frac{H'}{\ln S},$$

式中 H' 表示 Shannon-Wiener 多样性指数, S 表示物种数目.

(6) Whittaker 指数

揭示不同样带间物种数目的差异, Whittaker 指数越大表明不同生境的样方之间共有物种越少, 物种多样性变化越大. 计算方法如下:

$$\beta_w = \frac{S}{m\alpha - 1},$$

式中 S 表示记录的物种总数; $m\alpha$ 为各样带的平均物种数.

利用 R 4.5.1 软件的 pheatmap 程序包绘制不同熊蜂访问不同植物的丰度热图, 为了更好地展示在所采集熊蜂标本在植物间的差异性, 使用 scale 对数据进行了标准化处理^[17].

2 结果与分析

2.1 熊蜂物种组成及多样性分析

共采集到熊蜂属昆虫 1753 头,经鉴定隶属于 7 个亚属共计 13 种(表 1,图 2)。其中,火熊蜂亚属(*Pyrobombus*) 4 种;巨熊蜂亚属(*Megabombus*) 2 种;黑熊蜂亚属

(*Melanobombus*) 2 种;胸熊蜂亚属(*Thoracobombus*) 2 种;阿熊蜂亚属(*Alpigenobombus*) 1 种;真熊蜂亚属(*Bombus*) 1 种;拟熊蜂亚属(*Psithyrus*) 1 种。有 6 种为中国特有种,分别是:三条熊蜂 *B. trifasciatus*、火红熊蜂 *B. pyrosoma*、重黄熊蜂 *B. picipes*、王氏熊蜂 *B. wangae*、仿熊蜂 *B. imitator* 和疏熊蜂 *B. remotus*。

表 1 湖北七姊妹山国家级自然保护区熊蜂的物种组成(※中国特有种)

Tab. 1 Bumblebees composition in Hubei Qizimeishan National Nature Reserve(※China-endemic species)

亚属 Subgenus	物种 Species	标本量	相对多度	多度分级	访问植物科数	访问植物物种数
(1)阿熊蜂亚属 <i>Alpigenobombus</i>	1.灰熊蜂 <i>Bombus grahami</i>	139	0.079	丰盛种	8	15
(2)真熊蜂亚属 <i>Bombus</i>	2.密林熊蜂 <i>Bombus patagiatus</i>	12	0.007	偶见种	3	3
(3)巨熊蜂亚属 <i>Megabombus</i>	3.双色熊蜂 <i>Bombus bicoloratus</i>	111	0.063	丰盛种	11	20
	4.三条熊蜂 <i>Bombus trifasciatus</i> ※	637	0.363	优势种	18	35
(4)黑熊蜂亚属 <i>Melanobombus</i>	5.白背熊蜂 <i>Bombus festivus</i>	193	0.110	优势种	10	19
	6.火红熊蜂 <i>Bombus pyrosoma</i> ※	56	0.032	常见种	5	7
(5)拟熊蜂亚属 <i>Psithyrus</i>	7.角熊蜂 <i>Bombus cornutus</i>	46	0.026	常见种	7	9
	8.黄熊蜂 <i>Bombus flavescens</i>	12	0.007	偶见种	3	4
(6)火熊蜂亚属 <i>Pyrobombus</i>	9.眠熊蜂 <i>Bombus hypnorum</i>	39	0.022	常见种	1	1
	10.重黄熊蜂 <i>Bombus picipes</i> ※	444	0.253	优势种	18	32
	11.王氏熊蜂 <i>Bombus wangae</i> ※	31	0.018	常见种	3	4
(7)胸熊蜂亚属 <i>Thoracobombus</i>	12.仿熊蜂 <i>Bombus imitator</i> ※	18	0.010	常见种	4	5
	13.疏熊蜂 <i>Bombus remotus</i> ※	15	0.009	偶见种	7	9



(a)-(c)白背熊蜂蜂后正、侧和俯视图;(d)-(e)白背熊蜂工蜂正、侧和俯视图;(g)-(h)白背熊蜂雄蜂正、侧和俯视图;(j)-(l)三条熊蜂工蜂正、侧和俯视图;(m)-(o)重黄熊蜂雄蜂正、侧和俯视图

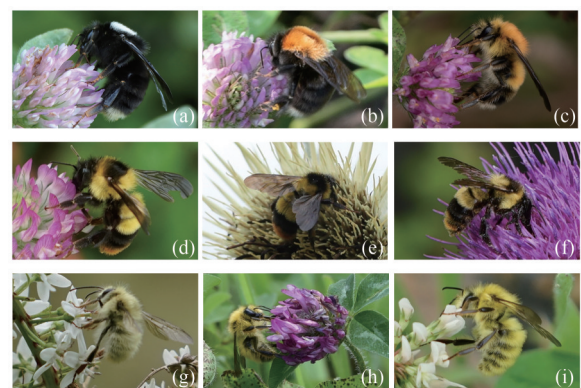
图 2 三种优势熊蜂标本不同侧面照片

Fig. 2 Head view, side view and above view of three dominant *Bombus* species

保护区农林交错带的熊蜂物种相对丰度具有明显的差异(表 1)。其中,3 种熊蜂为优势种(图 3):

三条熊蜂 *B. trifasciatus*、重黄熊蜂 *B. picipes* 以及白背熊蜂 *B. festivus*; 2 种熊蜂为丰盛种:灰熊蜂 *B. grahami* 和双色熊蜂 *B. bicoloratus*; 5 种熊蜂为常见种:火红熊蜂 *B. pyrosoma*、角熊蜂 *B. cornutus*、眠熊蜂 *B. hypnorum*、王氏熊蜂 *B. wangae*、仿熊蜂 *B. imitator*; 3 种熊蜂为偶见种,包括密林熊蜂 *B. patagiatus*、黄熊蜂 *B. flavescens*、疏熊蜂 *B. remotus*。

整体而言,研究区域内熊蜂的,Shannon-Wiener 多样性指数(H')为 1.85, Simpson 多样性指数(λ)为



(a)-(c)白背熊蜂蜂后、工蜂和雄蜂访问红车轴草;(d)-(f)三条熊蜂访问红车轴草、马刺蓟和蓟;(g)-(i)重黄熊蜂访问矮桃、红和白车轴草

图 3 三种优势熊蜂访花照片

Fig. 3 Three dominant *Bombus* species foraging on flowers

0.78, Pielou 均匀度指数(J)为 0.722, Berger-Parker 优势度指数(D)为 0.7268. 结果表明该区域熊蜂物种多样性较高, 但优势蜂种明显, 三种优势熊蜂的个体数量(三条熊蜂 *B. trifasciatus*、重黄熊蜂 *B. picipes* 以及白背熊蜂 *B. festivus*)超过熊蜂总数量的 70%.

2.2 不同样带的熊蜂多样性差异分析

从熊蜂物种数量来看, 处于保护区内的样带 1 和样带 2 均包含所有 13 种熊蜂; 过渡样带样带 3 发现了 12 种熊蜂, 没有发现眠熊蜂; 随着农田增多, 三年间在样带 4 只发现了 8 种熊蜂, 缺失了 3 种偶见种(黄熊蜂、仿熊蜂、密林熊蜂)和 2 种常见种(眠熊蜂和王氏熊蜂).

从多样性指数来看, 样带间也存在显著的差异(图 4). 样带 1 的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Simpson 多样性指数(λ)均显著高于其他三条样带(图 1), 其他三条样带之间则无显著差异. β 多样性分析结果表明, 样带间的 Whittaker 指数为 0.138, 说明整体而言, 样带间的差异并不是很大.

2.3 熊蜂访花植物物种组成

在湖北省七姊妹山国家级自然保护区农林交

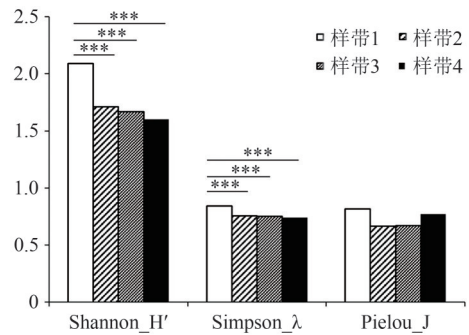


图 4 不同样带熊蜂多样性

错带, 由熊蜂提供传粉服务分布的植物至少 49 种, 既有野生植物又有栽培植物.

从科属分布来看, 三年共调查到被熊蜂访问的植物隶属于 26 科(图 5). 其中, 菊科最多, 含 10 种植物; 豆科次之, 含 5 种植物. 蔷薇科、唇形科、葫芦科又次之, 各含 3 种植物; 凤仙花科、桔梗科、蓼科、禾本科则各含 2 种植物. 单种科共有 17 科 17 种, 分别是茄科、绣球科、十字花科、沼金花科、旋花科、金丝桃科、忍冬科、龙胆科、天门冬科、牻牛儿苗科、玄参科、毛茛科、虎耳草科、报春花科、百合科、柳叶菜科.

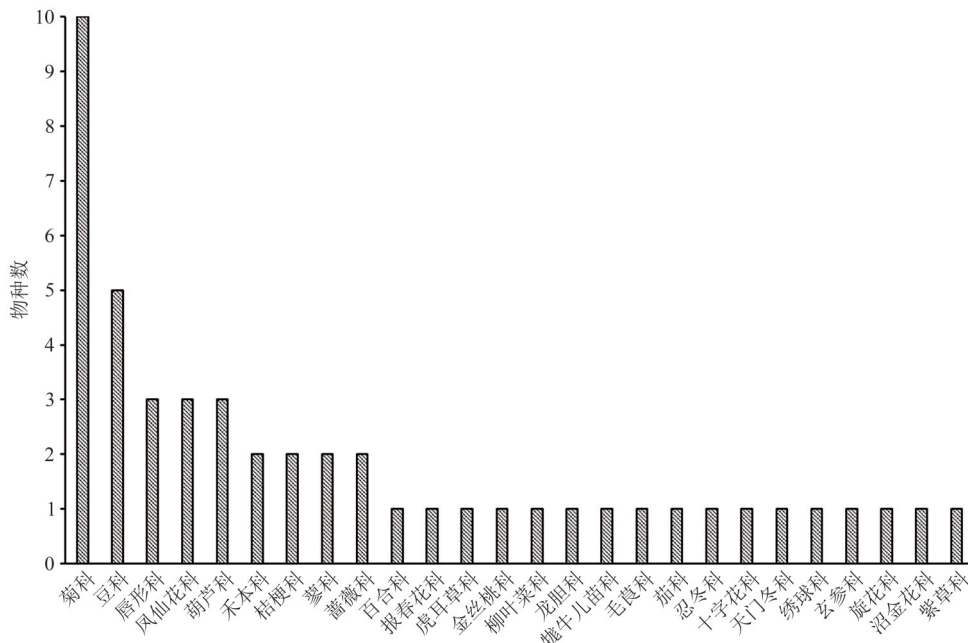


图 5 熊蜂访问的主要植物科

Fig. 5 Main plant families visited by bumblebees

从所采集的熊蜂标本数量上看, 野生植物集中在蔷薇科腺毛莓、菊科马刺菊、菊科华蟹甲、豆科红车轴草、天门冬科紫萼等, 栽培植物主要是辣椒、南瓜、菜豆、荷包豆等重要的经济作物. 此外, 熊蜂也是当地重要的药用植物(党参、羊乳等)的主要传

粉者类型.

除了典型的虫媒植物之外, 还发现熊蜂偶尔也会访问传统的风媒植物, 比如野古草和玉蜀黍, 前者是区域内广泛分布的禾本科植物, 后者是农林交错带所种植的重要农作物. 野古草上共计采集到重

黄熊蜂和灰熊蜂访问各 1 次,在玉蜀黍上则共采集到 4 种熊蜂:三条熊蜂(4 只)、灰熊蜂(4 只)、双色熊蜂(2 只)和重黄熊蜂(2 只)。

2.4 熊蜂的访花偏好性

从所访问的植物多样性上看,三条熊蜂和重黄熊蜂的取食范围最广,分别至少访问 35 种植物和 32 种植物(表 1)。其次依次是双色熊蜂 20 种,白背熊蜂 19 种和灰熊蜂 15 种,其他物种在不足 10 种植物上有发现访问(表 1)。不同熊蜂具有显著不同的访

花偏好性,49 种植物可以分成四个聚类群(图 6)。但是,相同科的植物分属于不同的聚类群,说明熊蜂的访花没有植物的科属偏好性(图 6)。具体情况如下:

类群 1(火红熊蜂-灰熊蜂传粉群)包括 6 种植物,主要包括四川凤仙花、白车轴草等。在这些植物上采集的熊蜂中火红熊蜂和灰熊蜂的比例高,占比 51%(59/116)。同时,57% 火红熊蜂(32/56)和 20%(27/139)的灰熊蜂标本采集自此类群的植物。

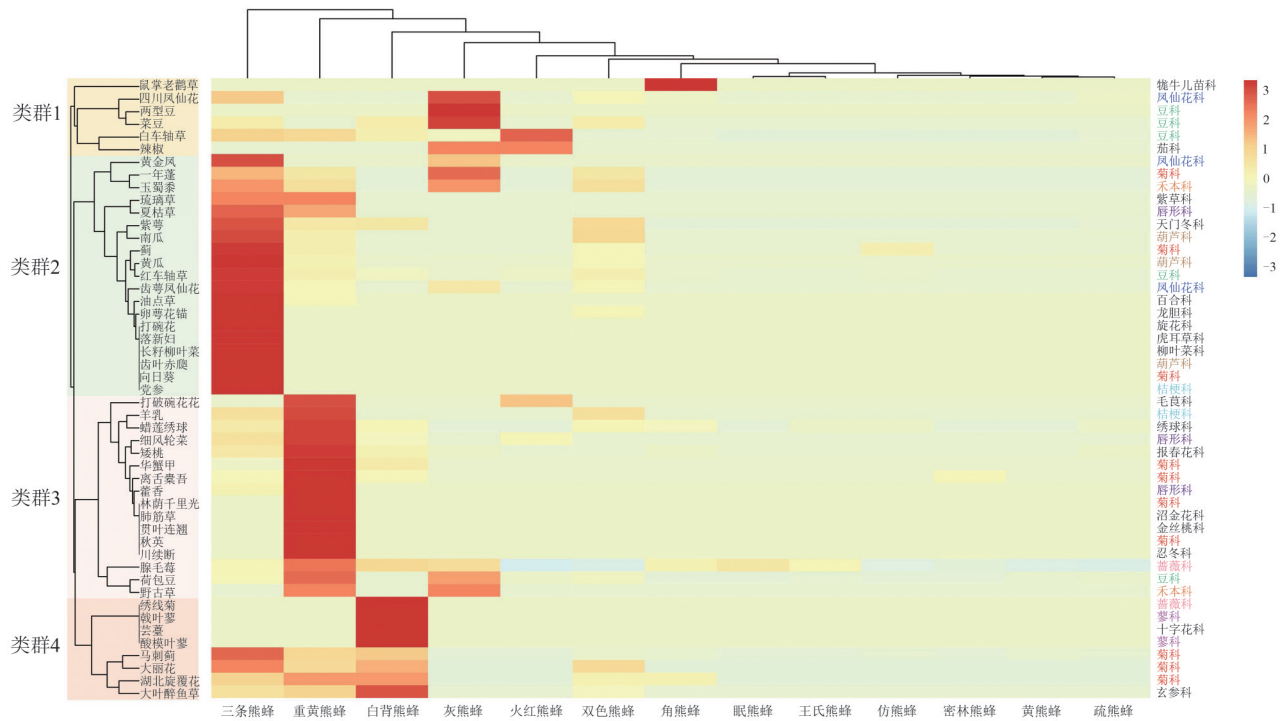


图 6 熊蜂访花偏好性热图

Fig. 6 Heatmap showing *Bombus* species visiting flowers

类群 2(三条熊蜂传粉群)包括 19 种植物,主要包括红车轴草、紫萼、蓟、齿萼凤仙花、油点草、卵萼花锚、以及栽培物种黄瓜和南瓜等。在这些植物上采集的熊蜂中三条熊蜂占绝对优势,占比 63.2%(442/699)。同时,69.5% 的三条熊蜂标本采集自此类群植物(442/636)。

类群 3(重黄熊蜂传粉群)包括 16 种植物,主要包括腺毛莓、华蟹甲、矮桃、细风轮菜、蜡莲绣球、离舌藁吾、以及栽培物种荷包豆等。在这些植物上采集的熊蜂中主要是重黄熊蜂,占比约 43%(288/670),64.86% 的重黄熊蜂标本采集自此类群(288/444)。

类群 4(白背熊蜂-三条熊蜂传粉群)包括 8 种植物,主要包括马刺蓟、大叶醉鱼草等。三条熊蜂依旧是这类群植物上采集的熊蜂中比例最高的(111/266),白背熊蜂比例次之(76/266)。但是,约 40% 的

白背熊蜂标本采集自此类群的植物(76/192)。

3 讨论

3.1 湖北七姊妹山国家级自然保护区熊蜂资源现状

中国是全球熊蜂物种资源最丰富的国家,已发现的物种占全球已知熊蜂总数的 50%,包括 14 个亚属 125 个熊蜂物种^[17]。湖北七姊妹山国家级自然保护区目前分布有 7 个亚属类型(占全国 50%)和 13 个物种(占全国 10.4%)。该区域熊蜂特有性高,超过一半(6 种,占比 54.5%)的熊蜂物种为中国特有种,占中国特有熊蜂总数(22 种)的 27.3%。横断山区(尤其是西北部高寒草甸)是熊蜂的一个分布热点区,同域物种丰富度可达十余种^[18-20]。研究区域灌

草群落熊蜂物种多样性水平与之相当,表明中亚热带森林系统保护区农林交错带同样支撑了丰富的熊蜂资源.相比之下,北亚热带森林系统保护区和农林交错带(如安徽鹞落坪记录2种,皖南地区仅5种)农林交错带地区的熊蜂多样性显著较低^[20-21].研究表明,随着海拔的升高,熊蜂的数量和物种丰富度均显著增加,这与高海拔地区的气候稳定性和植被多样性密切相关^[22].

从分布格局来看,中国熊蜂呈现四大生物地理区系:华南、华北-东北、蒙古高原及其周边山地、青藏高原及其周边山地.青藏高原及其周边山地(含西藏、四川、云南等省区)熊蜂物种丰富度最高,其中横断山区和青藏高原东缘是重点保护区域^[17,23].七姊妹山保护区隶属于华南区系,熊蜂多样性较丰富.本研究记录的13种熊蜂符合全国范围经纬度 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 网格多样性规律(C96网格:10-15种).此外,在14种华南相关熊蜂中,本区分布6种;7种区域指示种中分布3种:三条熊蜂(*B. trifasciatus*)、双色熊蜂(*B. picipes*)、黄熊蜂(*B. flavescens*),其中三条熊蜂是研究区域的优势蜂种.

尽管中国熊蜂资源丰富,但是直到2017年才完成了比较系统的野外调查,对中国大部分地区进行了熊蜂标本采集.已有的研究多集中在青海、云南、甘肃、四川、贵州、河北和山西等地,湖北等地的研究仍显不足^[22-28].本研究初步明确了七姊妹山保护区的熊蜂分布,为鄂西南山区熊蜂资源的保护和利用奠定了基础.

3.2 土地利用方式对熊蜂多样性的影响

中国的蜂类传粉者尤其是熊蜂和中华蜜蜂多样性正面临着多重威胁,包括农业集约化、农业暴露、气候变化和外来入侵等多种因素.其中,土地利用导致的生境丧失和破碎化是主要的直接因素^[29-32].例如,熊蜂密度随自然半自然生境面积百分率的增加而上升,随耕地面积百分率及距自然半自然生境距离增加而下降^[31].本研究同样发现随着农田面积扩张导致熊蜂物种减少(样带4只记录8种熊蜂),其核心驱动机制为生境类型与人类干扰强度的梯度变化.林缘开阔生境的花资源丰富度高,有利于维持熊蜂多样性和生态专业化;而农田化造成的半自然生境丧失则限制资源可获得性^[17, 32-33].此外,农药使用及生境清理等人工干扰进一步降低野生蜜粉源植物的多样性,从而制约熊蜂多样性.

研究表明,土地利用对熊蜂多样性的影响在海拔梯度上存在显著差异^[34].以三江源地区为例,在

低海拔区域(约1100 m),气候因素主导,土地利用的影响较弱;在中海拔区域(1650~3749 m),气候与土地覆盖类型(如农田和草地)共同作用显著;而在高海拔区域(>3500 m),土地覆盖成为关键因子.此外,与小体型熊蜂相比,大体型熊蜂对周围林地和耕地覆盖比例的变化更为敏感^[20].七姊妹山属中亚热带季风湿润型气候,按海拔划分为低山带(<800 m)、二高山带(800~1200 m)、高山带(>1200 m).土地利用对熊蜂多样性的影响是否存在海拔地带性差异,需要通过全域调查进一步验证.

3.3 熊蜂访问植物的分布特征

熊蜂为泛化传粉昆虫,其访花植物以菊科、豆科、蔷薇科和唇形科为主^[22,28].一方面,这些植物花蜜丰富且易于访问,熊蜂蜂振传粉的行为对豆科和唇形科等特殊花结构具高效传粉能力;另一方面,其访花偏好直接取决于区域植被类型和花资源可用性,与物种丰富度和均匀度也密切相关,这些科属植物在研究区域广泛分布^[16].熊蜂的访花特征不仅反映物种偏好,亦揭示其在生态系统中的传粉功能,为多样性保护和传粉服务优化提供依据.

本区熊蜂生态位宽度较大(如三条熊蜂和重黄熊蜂访花物种>30多种),但物种水平仍存在明显的选择偏好,体现出花资源的分化利用策略.熊蜂对植物的选择偏好受到多种因素的综合影响,包括植物种类、花部特征、资源可获得性以及熊蜂自身的形态特征和行为策略^[35].传统理论认为同域熊蜂需通过生态位分化(如喙长与花形态匹配)实现资源的差异化利用和物种共存^[36].但是,在横断山区的研究显示,多种熊蜂物种的共存未必依赖严格的资源分化,短舌蜂泛化传粉、花色/花形偏好和多度效应也可以维持熊蜂共存^[37-28].七姊妹山保护区农林交错带具有丰富的熊蜂和花资源,其共存机制是否与横断山区类似,尚待深入研究.

3.4 熊蜂资源的利用开发和保护

野生传粉者多样性是农业可持续性的基石,可提高作物产量和果实品质.熊蜂因其独特的生物学特性,正从辅助性传粉者转变为核心传粉资源,在设施农业中展现出不可替代性^[39-42].当前,全球农业已应用于50余种经济作物传粉,其中番茄、草莓、辣椒的产业化应用最为成熟.

然而,欧洲地熊蜂(*B. terrestris*)驯化蜂群的全球引种已导致多国生物入侵,威胁本土熊蜂多样性^[19].因此,筛选与驯化本土优良熊蜂对保障授粉需求及资源保护至关重要^[43-44].目前我国已经筛选

出9种驯化潜力蜂种:明亮熊蜂 *B. lucorum*、密林熊蜂 *B. patagiatus*、红光熊蜂 *B. ignitus*、火红熊蜂 *B. pyrosoma*、重黄熊蜂 *B. picipes*、兰州熊蜂 *B. lantschouensis*、新疆野生地熊蜂 *B. terrestris*、短头熊蜂 *B. breviceps* 和弗里熊蜂 *B. friseanus*。其中,本研究区分布3种:优势蜂种重黄熊蜂,访问的栽培植物主要是荷包豆;常见种火红熊蜂,访问的栽培植物主要是辣椒;偶见种密林熊蜂主要访问腺毛莓。

综上所述,湖北七姊妹山国家级自然保护区农林交错带地区熊蜂的多样性较高,但其多样性也受到多种环境因素的影响,需要采取有效的保护措施以维持其稳定性和可持续性。在林缘区,需加强保护自然栖息地以及关键资源植物(菊科、豆科、唇形科等),减少人为干扰。在农耕区,则应合理保留野生植被,减少除草剂与系统性杀虫剂使用。同时,进行适当的农业管理,比如种质多样化的蜜源植物,构建传粉者友好的农业生态范式。本研究为熊蜂资源保护和农业应用提供了科学依据,并为保护区熊蜂种群动态监测奠定基础。

参 考 文 献

- [1] TONG Z Y, WU L Y, FENG H H, et al. New calculations indicate that 90% of flowering plant species are animal-pollinated[J]. National Science Review, 2023, 10(10): nwad219.
- [2] POTTS S G, IMPERATRIZ-FONSECA V, NGO H T, et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being[J]. Nature, 2016, 540(7632): 220-229.
- [3] SEIBOLD S, GOSSNER M M, SIMONS N K, et al. Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers[J]. Nature, 2019, 574(7780): 671-674.
- [4] ULYSHEN M, URBAN-MEAD K R, DOREY J B, et al. Forests are critically important to global pollinator diversity and enhance pollination in adjacent crops[J]. Biological Reviews, 2023, 98(4): 1118-1141.
- [5] REN P, DIDHAM R K, MURPHY M V, et al. Forest edges increase pollinator network robustness to extinction with declining area[J]. Nature Ecology & Evolution, 2023, 7(3): 393-404.
- [6] BEDUSCHI T, KORMANN U G, TSCHARNTKE T, et al. Spatial community turnover of pollinators is relaxed by semi-natural habitats, but not by mass-flowering crops in agricultural landscapes[J]. Biological Conservation, 2018, 221: 59-66.
- [7] SHI X, XIAO H, LUO S, et al. Can landscape level semi-natural habitat compensate for pollinator biodiversity loss due to farmland consolidation[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2021, 319: 107519.
- [8] GARDNER E, BREEZE T D, CLOUGH Y, et al. Field boundary features can stabilise bee populations and the pollination of mass-flowering crops in rotational systems[J]. Journal of Applied Ecology, 2021, 58(10): 2287-2304.
- [9] KNIGHT T M, ASHMAN T L, BENNETT J M, et al. Reflections on, and visions for, the changing field of pollination ecology[J]. Ecology Letters, 2018, 21(8): 1282-1295.
- [10] WAHENGAM J, RAUT A, PAL S, et al. Role of Bumble Bee in Pollination[J]. Annals of Biology, 2019, 35(2): 290-295.
- [11] BIE M, SONG K, DONG H, et al. Advancing sustainable agriculture through bumblebee pollination: Bibliometric insights and future directions[J]. Sustainability, 2025, 17(5): 2177.
- [12] DICKS L V, BREEZE T D, NGO H T, et al. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline[J]. Nature Ecology & Evolution, 2021, 5(10): 1453-1461.
- [13] RAVEN P H, WAGNER D L. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity[J]. PNAS, 2021, 118(2): e2002548117.
- [14] POWNEY G D, CARVELL C, EDWARDS M, et al. Widespread losses of pollinating insects in Britain[J]. Nature Communications, 2019, 10: 1018.
- [15] GHISBAIN G, THIERY W, MASSONNET F, et al. Projected decline in European bumblebee populations in the twenty-first century[J]. Nature, 2024, 628(8007): 337-341.
- [16] XIANG G, JIANG Y, LAN J, et al. Different influences of phylogenetically conserved and independent floral traits on plant functional specialization and pollination network structure[J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1084995.
- [17] 黄家兴, 安建东. 中国熊蜂多样性、人工利用与保护策略[J]. 生物多样性, 2018, 26(5): 486-497.
- [18] 李月华, 黄文, 何勇登, 等. 熊蜂多样性对群落花资源及其周围景观特征的差异性响应[J]. 植物科学学报, 2024, 42(3): 314-327.
- [19] 梁铨, 张学文, 黄家兴, 等. 云南熊蜂地理区划及物种多样性分析[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(6): 1045-1053.
- [20] 姚晨晨, 侯银续, 郭东旭, 等. 鹞落坪保护区典型农林交错带传粉昆虫多样性及其与环境因子间的关系[J]. 生物学杂志, 2023, 40(4): 70-75.
- [21] 朱斌, 姜丽君, 谢婷婷, 等. 皖南地区农林交错带传

- 粉蜂类多样性及分布格局[J]. 应用昆虫学报, 2022, 59(6): 1240-1258.
- [22] 郑笑傲, 艾小晖, 阮光发, 等. 四川贡嘎山国家级自然保护区熊蜂物种多样性研究[J]. 环境昆虫学报, 2025, 47(1): 206-213.
- [23] Naeem Muhammad. 中国熊蜂分布格局及其受威胁评估[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [24] 安建东, 姚建, 黄家兴, 等. 山西省熊蜂属区系调查(膜翅目, 蜜蜂科)[J]. 动物分类学报, 2008, 33(1): 80-88.
- [25] 安建东, 黄家兴, WILLIAMS P H, 等. 河北地区熊蜂物种多样性与蜂群繁育特性[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1542-1550.
- [26] 王磊, 赵芳, 陈振华, 等. 青海省东部地区熊蜂物种多样性分析[J]. 草业科学, 2018, 35(6): 1539-1547.
- [27] 胥勋露, 常雪梅, 曾桂, 等. 甘南草原和若尔盖湿地的熊蜂物种资源调查[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2024, 45(3): 239-245.
- [28] 梁程博, 王久利, 孙国, 等. 三江源地区熊蜂物种多样性研究[J]. 草地学报, 2022, 30(8): 2126-2134.
- [29] TEICHROEW J L, XU J, AHREND S A, et al. Is China's unparalleled and understudied bee diversity at risk[J]. Biological Conservation, 2017, 210: 19-28.
- [30] WILLIAMS N M, HEMBERGER J. Climate, pesticides, and landcover drive declines of the western bumble bee[J]. PNAS, 2023, 120(7): e2221692120.
- [31] 谢正华, TEICHROEW J, 安建东. 滇东南南瓜传粉昆虫密度对生境丧失的差异化响应[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(3): 337-344.
- [32] BAŁ-BADOWSKA J, WOJCIECHOWSKA A, CZERWIK-MARCINKOWSKA J. Effects of open and forest habitats on distribution and diversity of bumblebees (*Bombus*) in the małopolska upland (southern Poland): Case study[J]. Biology, 2021, 10(12): 1266.
- [33] GRAB H, POVEDA K, DANFORTH B, et al. Landscape context shifts the balance of costs and benefits from wildflower borders on multiple ecosystem services[J]. Proceedings Biological Sciences, 2018, 285(1884): 20181102.
- [34] LIANG C, LIU D, JIANG F, et al. In plateaus, land cover replaced climate as the vital environmental factor on the spatial composition of bumblebees with the altitude rising[J]. Ecological Entomology, 2023, 48(4): 409-420.
- [35] 周峰, 姚丽媛, 石涵, 等. 传粉熊蜂访花行为的研究进展[J]. 昆虫学报, 2023, 66(3): 419-438.
- [36] PYKE G H. Local geographic distributions of bumblebees near crested butte, Colorado: Competition and community structure[J]. Ecology, 1982, 63(2): 555-573.
- [37] XU X, LIANG H, REN Z X, et al. Generalised bumblebee-flower interactions demonstrate weak floral niche partitioning despite a high bee diversity[J]. Ecography, 2025: e07956.
- [38] YE Z M, HE Y D, BERGAMO P J, et al. Floral resource partitioning of coexisting bumble bees: Distinguishing species-, colony-, and individual-level effects[J]. Ecology, 2024, 105(5): e4284.
- [39] KLEIN A M, VAISSIÈRE B E, CANE J H, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops[J]. Proceedings Biological Sciences, 2007, 274(1608): 303-313.
- [40] GARIBALDI L A, CARVALHEIRO L G, LEONHARDT S D, et al. From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(8): 439-447.
- [41] GAZZEA E, BATÁRY P, MARINI L. Global meta-analysis shows reduced quality of food crops under inadequate animal pollination[J]. Nature Communications, 2023, 14: 4463.
- [42] OCHOLA A C, NJOROGE D M, SHAO X L, et al. Global meta-analysis shows an indispensable role of pollinator diversity in promoting fruit quality[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2025, 393: 109829.
- [43] 刘艳, 田里, 郑浩, 等. 我国农业授粉昆虫研究进展及应用现状[J/OL]. 植物保护, 2025, 51(3): 229-237, 295.
- [44] SU L, DING L, WILLIAMS P H, et al. Genetic differentiation and adaptive evolution of buff-tailed bumblebees in Asia[J]. Insect Science, 2025: 70050.

(责编&校对 姚春娜)