

四川贡嘎山国家级自然保护区熊蜂物种多样性研究

郑笑傲^{1*}, 艾小晖^{2*}, 阮光发¹, 蒋勇¹, Paul H. Williams³,
顾垒², 孙成^{2**}

(1. 四川贡嘎山国家级自然保护区管理局, 四川康定 626001; 2. 首都师范大学生命科学院, 北京 100048; 3. Department of Life Sciences, Natural History Museum, London SW75BD, United Kingdom)

摘要: 熊蜂是蜜蜂科熊蜂属昆虫的统称, 它们在维护自然生态系统的稳定与促进农业生产等方面发挥着重要的作用。为了掌握四川贡嘎山国家级自然保护区中熊蜂物种多样性的现状与历史变化情况、评估它们的生态服务功能、鉴定出濒危蜂种进而进行保护, 本项目在 2022-2023 年间, 分 3 次在保护区中的 23 块采样地采用网捕的方式共采集了 919 头熊蜂样本, 并在采样的同时记录了熊蜂取食植物的种类。本研究使用形态特征与分子条形码技术相结合的方法对采集到的熊蜂标本进行了物种鉴定、计算了它们的多度及均匀度指数、分析了它们的海拔分布特点。研究结果显示, 保护区中现有熊蜂 21 种, 隶属于 7 个亚属, Shannon-Wiener 多样性指数为 2.2093。这 21 种熊蜂中有 8 种为稀有种, 其中的灰熊蜂 *Bombus grahmi*、卧龙熊蜂 *B. wolongensis*、拉达克熊蜂 *B. ladakhensis*、稳纹熊蜂 *B. waltoni* 等 4 种熊蜂, 不仅数量少、而且分布范围也非常狭窄, 因而它们是保护区中亟需高度关注的蜂种, 应尽早采取保护措施。随着海拔的升高保护区中熊蜂的数量和物种丰富度都逐渐增加, 并且在海拔 3 000~4 000 m 的区间二者均达到峰值。熊蜂在保护区中为超过 43 种野生、经济植物提供授粉服务。与 40 年前的调查结果相比, 拟熊蜂亚属的两种熊蜂(牛拟熊蜂 *B. bohemicus* 与探索拟熊蜂 *B. expolitus*) 均没有在保护区中被发现, 它们大概率已经发生了局地灭绝, 本研究的这一调查结果也证实了前人的猜测: 由于其社会性寄生的生活方式, 拟熊蜂亚属的熊蜂应该更容易濒危或灭绝。综上所述, 本研究掌握了保护区中熊蜂种质资源的现状及历史变化情况, 鉴定出亟需高度关注的蜂种, 这为保护区中熊蜂种群的动态监测与保护奠定了重要基础。

关键词: 熊蜂; 贡嘎山; 拟熊蜂; 稀有种; 濒危

中图分类号: Q968.1;

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2024)00-0000-00

The survey of bumblebee species diversity in the Sichuan Gongga Mountain National Nature Reserve

ZHENG Xiao-Ao^{1*}, AI Xiao-Hui^{2*}, RUAN Guang-Fa¹, JIANG Yong¹, WILLIAMS Paul³, GU Lei², SUN Cheng^{2**} (1. Sichuan Gongga Mountain National Nature Reserve Administration, Kangding 626001, Sichuan Province, China; 2. College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 3. Department of Life Sciences, Natural History Museum, London SW75BD, United Kingdom)

Abstract: Bumblebees (Hymenoptera: Apidae) are a group of pollinators in the genus *Bombus*, which play important roles in maintaining the balance of natural ecosystem and in promoting agricultural production. We conducted this survey to understand bumblebee species that are currently residing in the Sichuan Gongga Mountain National Nature Reserve and identify species that are under threaten. During the year of 2022-2023, we collected bumblebee samples from the Nature Reserve by sweeping nets for three times and recorded their food plants at the same time. A total of 919 bumblebee specimens were collected and DNA barcoding results indicated that they were from 21 species; the Shannon-Wiener index of bumblebees in the Nature Reserve was

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32270445)

*共同第一作者: 郑笑傲, 男, 本科学历, 助理工程师, 研究方向为野生动物保护, E-mail: 1449872551@qq.com; 艾小晖, 女, 在读本科生, E-mail: a834558553@qq.com

**通讯作者 Author for correspondence: 孙成, 男, 博士, 教授, 研究方向为生态基因组学, E-mail: cheng.sun@cnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-10-26; 接受日期 Accepted: 2024-03-26

2.2093. Of these 21 bumblebee species, three of them were abundant species and eight of them were rare species. In addition, four of the rare species (*Bombus graham*, *B. wolongensis*, *B. ladakhensis*, *B. waltoni*) were not only rare in number but had a very narrow geographic distribution in the Reserve, indicating their endangered status. The largest numbers of bumblebee individuals and species were founded at elevations between 3000-4000 m. Bumblebees provided pollination services for at least 43 wild and economic plants in the Reserve. Compared with the 40-year-ago survey results of the same region, two bumblebee species in subgenus *Psithyrus* (*B. bohemicus* and *B. expolitus*), which had shown up in the last survey but were absent in this survey. Moreover, no species from subgenus *Psithyrus* was collected during this survey. Our results suggested that, as proposed, bumblebees in subgenus *Psithyrus*, which exhibit socially parasitic behavior, were more vulnerable to population decline or even extinction than other bumblebees. Taken together, we had identified the currently available bumblebee species in the Reserve and provided a list of endangered species, which could be invaluable for the protection of bumblebees in the Reserve.

Key words: Bumblebee; Gongga Mountain; *Psithyrus*; rare species; endangered

熊蜂 *Bombus* spp. 是膜翅目蜜蜂科熊蜂属昆虫的统称，因其体态似熊所以被国人亲切地称之为熊蜂 (Williams *et al.*, 2017)。在世界范围内，熊蜂现存约 250~260 个种，隶属于 15 个熊蜂亚属 (Cameron *et al.*, 2007; Williams *et al.*, 2008)。熊蜂是重要的传粉昆虫：它体型大、吻长、还具有声震传粉的特性，在自然界中为超过 2 万种开花植物提供授粉服务。此外，熊蜂还可以为温室中的蔬菜水果（例如番茄、蓝莓等）提供授粉服务；使用熊蜂授粉不仅可以节约人力成本、减少化学农药的使用，还可以提高果实的产量和品质 (Fontaine *et al.*, 2005; Velthuis *et al.*, 2006; Garibaldi *et al.*, 2013)。因此，熊蜂在维持自然生态系统的稳定与促进农业生产等方面均发挥着重要的作用。

四川贡嘎山国家级自然保护区坐落于四川省甘孜州，位于全球 36 个生物多样性热点地区之一的横断山地区 (<https://www.conservation.org/priorities/biodiversityhotspots>)。保护区地跨康定市、泸定县、九龙县和石棉县，总面积 4 091 km²。保护区的主峰贡嘎山海拔 7 556 m，是横断山脉的第一高峰。保护区内复杂多样的自然地理条件，孕育了丰富多彩的动植物物种，素有动植物宝库之称。

我国是世界上熊蜂物种多样性最丰富的国家，共有熊蜂 125 个种左右，约占世界熊蜂物种数的一半，而四川省，尤其是贡嘎山保护区所在的横断山区，是我国熊蜂物种丰富度最高的地区之一 (Williams, 1998; Williams *et al.*, 2009; Huang and An, 2018)。然而，随着全球气候变暖和人类活动干扰的加剧（例如农业集约化、过度放牧、化学农药的使用等等），世界范围内包括四川地区，都报道了熊蜂种群下降的现象 (Xie *et al.*, 2008; Cameron *et al.*, 2011; Goulson *et al.*, 2015; Soroye *et al.*, 2020)。例如，在四川红原地区，由于过度放牧，越熊蜂 *Bombus supremus* 和盗熊蜂 *B. filchnerae* 等蜂种的数量发生了明显的下降 (Xie *et al.*, 2008)。在美国，一些蜂种，例如锈斑熊蜂 *B. affinis*，已经濒临灭绝 (Colla and Packer, 2008; Simanonok *et al.*, 2021)。熊蜂种群的下降不仅会破坏生态系统的稳定，还可造成人类食物的短缺，因而引起人们的高度关注。

根据 1982-1983 年的采样记录，贡嘎山保护区所在的区域约有 20 种熊蜂 (Williams *et al.*, 2009)。在保护区设立后，还未曾对该区域的熊蜂进行过系统的调查。因此，目前人们不清楚保护区中还有哪些蜂种？是否有些蜂种已经发生了种群下降、濒危甚至局地灭绝？保护区中的熊蜂都能为哪些植物提供授粉服务？对贡嘎山保护区中的熊蜂种质资源及其授粉植物

开展调查与分析,有助于掌握保护区中熊蜂种质资源的现状及历史变化情况、科学评估熊蜂的生态服务功能,并为濒危蜂种的监测与保护奠定基础。

1 材料与amp;方法

1.1 熊蜂采样地的设置

为了全面掌握贡嘎山保护区中熊蜂种质资源的现状,在覆盖保护区所涉及到的全部4个县(康定县、泸定县、九龙县和石棉县)的范围内布设采样地。采样地设置的原则是:1)人能到达;2)具有代表性。本研究一共设置了23块采样地(图1),这些采样地覆盖了保护区中可能会有熊蜂出现的所有生境类型;采样地的海拔分布范围为960~4 550 m。

1.2 熊蜂标本的采集与物种鉴定

采样在夏(6-7月份)、秋(8-9月份)两季进行,在布设的采样地内使用网捕的方式在开花植物上寻找并采集熊蜂。采集到的熊蜂标本置于昆虫收集管中,待标本干燥后制作熊蜂的针插标本。采集时使用GPS设备记录采样点的坐标、海拔,并使用相机为熊蜂及其采食的植物拍摄生态照片。

熊蜂标本采集之后,首先按照形态特征把熊蜂进行分组,分组的原则是只要外部形态特征有可察觉差别的熊蜂标本就尽可能地划分到不同的组。然后每个分组取其中1头熊蜂的1条后腿组织,使用Biospin全血/细胞/组织基因组DNA提取试剂盒(杭州博日科技股份有限公司)进行基因组DNA的提取,具体流程参照试剂盒的说明书。基因组DNA提取完成后,使用昆虫物种鉴定中针对COI基因所设计的通用DNA条形码扩增引物(Hebert *et al.*, 2004)对提取的基因组DNA进行PCR扩增。引物的名称及序列为(5'-3'):

LEPr, TAAACTTCTGGATGTCCAAAAAATCA;

LEPp, ATTCAACCAATCATAAAGATATTGG。

PCR反应体系为20 μ L,包含:GenStar 2 \times SuperTaq PCR StarMix(北京康润诚业生物科技有限公司)2 μ L;正反向PCR引物(LEPr与LEPp)各1 μ L(10 μ mol/L);基因组DNA 2 μ L(25 ng/ μ L);ddH₂O 14 μ L。

PCR反应的程序设定为:95 $^{\circ}$ C预变性5 min;95 $^{\circ}$ C变性30 s,50 $^{\circ}$ C退火30 s,72 $^{\circ}$ C延伸30 s,共33个循环;72 $^{\circ}$ C延伸5 min。

最后,将PCR产物纯化后进行Sanger测序(北京诺赛基因组研究中心有限公司),并对每一个样品所获得的条形码序列在BOLD(<http://www.boldsystems.org/index.php>)及私人数据库中(Paul H. Williams)进行物种鉴定。

1.3 熊蜂物种多样性分析

基于熊蜂的物种鉴定和计数结果,本研究使用以下多样性指数研究保护区中熊蜂的物种多样性:

1) Berger-Parker 指数分析熊蜂的物种相对多度(Relative abundance, D):

$$D=N_i/N$$

式中, N_i 为第*i*种熊蜂标本的数量, N 为保护区熊蜂的标本总数量。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) Shannon-Wiener 多样性指数(Diversity index, H'):

$$H'=-\sum (N_i/N) \ln (N_i/N)$$

式中, N_i 为蜂种的个数, N 为所有蜂种的个数;

3) Pielou 均匀度指数(Evenness index, J):

$$J=H'/\ln(S)。$$

式中, H' 是 Shannon-Wiener 多样性指数, S 是物种数目;

4) Berger-Parker 优势度指数 (Dominance index, D):

$$D = N_{max}/N$$

式中, N_{max} 为优势种的个体数; N 为全部熊蜂的个体数。

以上指数的计算, 都是通过把原始数据导入 Excel (版本 16.16.27) 中进行的。根据采集到的熊蜂标本所处的海拔信息, 使用 Excel 绘制了熊蜂在保护区中的海拔分布规律。

1.4 熊蜂授粉植物种类的鉴定

为了评价熊蜂在贡嘎山保护区及周边地区的生态服务功能, 本研究在采集熊蜂标本的同时对熊蜂所采集的植物进行拍照。首先, 利用植物物种智能识别软件花伴侣 (<http://www.aiplants.net>) 对图片中的植物进行识别。然后, 本项目参与者中的植物分类学者对鉴定结果进行复核与纠错。最后, 对熊蜂所提供授粉服务的植物进行归纳与总结。

1.5 熊蜂种群的历史变化情况分析

2009 年的一篇文章 (Williams *et al.*, 2009) 描述了整个四川、重庆地区的熊蜂种质资源, 该研究囊括了来自于贡嘎山保护区所在地的熊蜂资源 (文章 Supplementary data 中采样点包含 “Gongga Shan” 字样的熊蜂标本)。该结果是基于 1982-1983 年间对贡嘎山地区熊蜂种质资源的调查结果, 与本次调查的时间跨度为 40 年。为了理解这 40 年间该地区熊蜂种质资源的变化情况, 本研究把本次调查的结果 (出现的熊蜂物种及丰度) 与 40 年前的调查结果进行对比, 主要查看蜂种的有无以及丰度的变化情况。

2 结果与分析

2.1 熊蜂标本的采集与鉴定结果

本研究分别在 2022 年 7 月中旬、2022 年 8 月中旬以及 2023 年 7 月下旬分 3 次对贡嘎山保护区及周边的 23 块采样地进行熊蜂标本的野外采集, 一共采集到 919 头熊蜂样本。采样地的整体分布情况以及每一块采样地的标本采集数量请见图 1。详细的采集结果 (采样地名称、地理坐标、海拔、采样时间、采集到的熊蜂标本数量及物种名等) 请见附表 1。

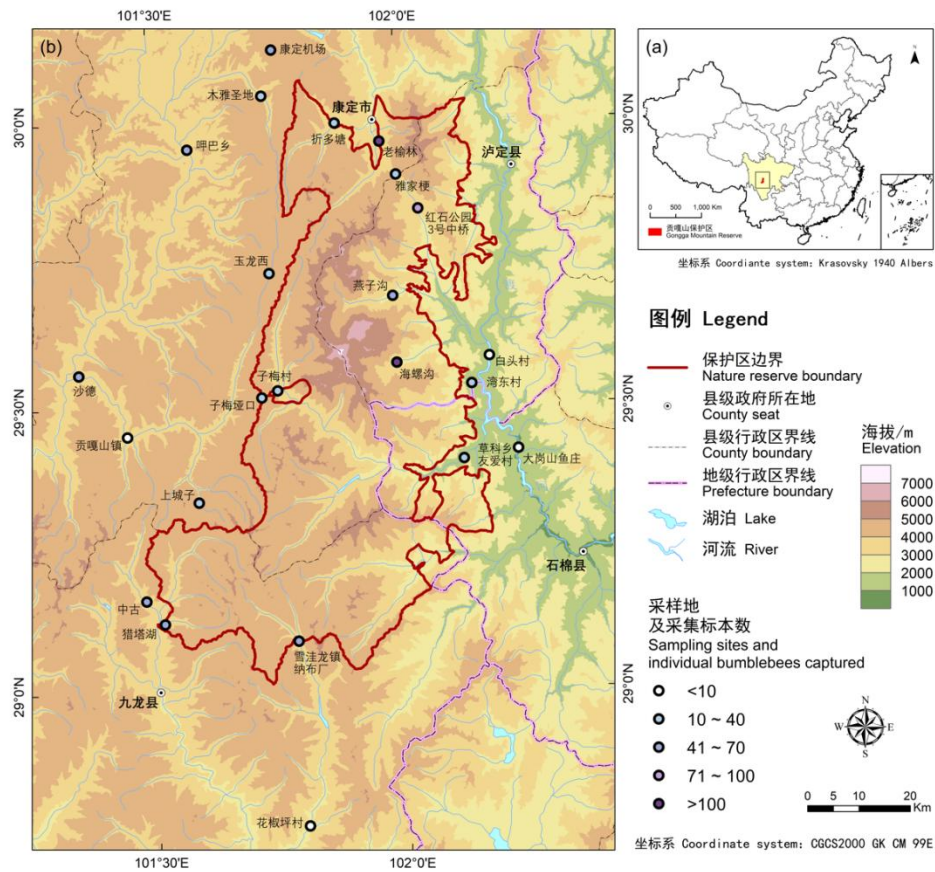


图 1 熊蜂采样地的分布及采集的标本数目

Fig. 1 Sampling sites and bumblebee specimens collected in the Gongga Mountain Reserve

注：（a）中国四川贡嘎山国家级自然保护区位置示意图；（b）采样地的布设位点。该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS（2016）2923 号的标准地图制作，底图无修改。Notes: (a) The location of the Gongga Mountain Reserve in Sichuan, China, and (b) the locations of sampling sites. This map was based on the standard map with the review number GS (2016) 2923 downloaded from the Standard Map Service website of the National Bureau of Surveying and Mapping Geographic Information. The base map had not been modified.

在采集熊蜂标本的同时，本研究也拍摄了 200 多张能够显示出熊蜂及其所取食植物种类的生态图片（图 2）。



图 2 几张代表性的熊蜂生态照片

Fig. 2 Ecological photos of bumblebees

对采集到的熊蜂标本，首先根据外部形态特征把这 919 头标本细分成 75 组，然后对每 1 组中的 1 头熊蜂标本进行基因组 DNA 提取并采用分子条形码技术进行物种鉴定。物种鉴定结果表明，这 75 组熊蜂标本来自于熊蜂的 21 个种，隶属于熊蜂 15 个亚属中的 7 个（表 1）。保护区中的这 21 种熊蜂所对应的分子条形码序列请见附表 2。

表 1 熊蜂的种类、采集数目及多度分级

Table 1 Bumblebee species, collection quantity and abundance classification

中文名 Species	拉丁学名 Scientific name	所属亚属 Subgenus	标本数 Individual numbers	出现的采样地 Sites presented	多度分级 Abundance classification
灰熊蜂	<i>Bombus grahami</i>	<i>Alpigenobombus</i>	1	海螺沟	稀有种 (Rare species)
卧龙熊蜂	<i>Bombus wolongensis</i>	<i>Pyrobombus</i>	1	燕子沟	稀有种 (Rare species)
拉达克熊蜂	<i>Bombus ladakhensis</i>	<i>Melanobombus</i>	2	子梅垭口	稀有种 (Rare species)
稳纹熊蜂	<i>Bombus waltoni</i>	<i>Mendacibombus</i>	3	子梅垭口	稀有种 (Rare species)
短头熊蜂	<i>Bombus breviceps</i>	<i>Alpigenobombus</i>	7	湾东村、大岗山鱼庄	稀有种 (Rare species)
击熊蜂	<i>Bombus impetuosus</i>	<i>Thoracobombus</i>	8	沙德、猎塔湖、老榆林	稀有种 (Rare species)
凸污熊蜂	<i>Bombus convexus</i>	<i>Mendacibombus</i>	9	折多塘、子梅村	稀有种 (Rare species)
饰带熊蜂	<i>Bombus lemniscatus</i>	<i>Pyrobombus</i>	9	子梅垭口、玉龙西	稀有种 (Rare species)
二色熊蜂	<i>Bombus bicoloratus</i>	<i>Megabombus</i>	11	白头村、湾东村、友爱村、大岗山鱼庄	常见种 (Common species)
三条熊蜂	<i>Bombus trifasciatus</i>	<i>Megabombus</i>	15	海螺沟、燕子沟、友爱村	常见种 (Common species)
小雅熊蜂	<i>Bombus lepidus</i>	<i>Pyrobombus</i>	15	上城子、老榆林	常见种 (Common species)
弱熊蜂	<i>Bombus infirmus</i>	<i>Pyrobombus</i>	15	红石公园 3 号中桥、海螺沟、燕子沟	常见种 (Common species)
疏熊蜂	<i>Bombus remotus</i>	<i>Thoracobombus</i>	24	贡嘎山镇、猎塔湖、沙德、子梅垭口、老榆林	常见种 (Common species)
颂杰熊蜂	<i>Bombus nobilis</i>	<i>Alpigenobombus</i>	28	海螺沟、燕子沟、子梅村	常见种 (Common species)
圣熊蜂	<i>Bombus religiosus</i>	<i>Megabombus</i>	29	海螺沟、猎塔湖、燕子沟	常见种 (Common species)
红束熊蜂	<i>Bombus rufofasciatus</i>	<i>Melanobombus</i>	40	康定机场、雅家梗、中古、子梅垭口、老榆林、玉龙西、木雅胜地、雪洼龙镇纳布厂	常见种 (Common species)
长翅熊蜂	<i>Bombus longipennis</i>	<i>Bombus</i>	47	红石公园 3 号中桥、猎塔湖、沙德、雅家梗、燕子沟、中古、老榆林、雪洼龙镇纳布厂	丰盛种 (Abundant species)
岷山熊蜂	<i>Bombus minshanensis</i>	<i>Bombus</i>	62	康定机场、木雅胜地	丰盛种 (Abundant species)
白背熊蜂	<i>Bombus festivus</i>	<i>Melanobombus</i>	116	红石公园 3 号中桥、贡嘎山镇、海螺沟、猎塔湖、沙德、湾东村、燕子沟、中古、老榆林、雪洼龙镇纳布厂、花椒坪、友爱村	优势种 (Dominant species)

稀熊蜂	<i>Bombus infrequens</i>	<i>Pyrobombus</i>	211	红石公园3号中桥、海螺沟、燕子沟	优势种 (Dominant species)
弗里熊蜂	<i>Bombus friseanus</i>	<i>Melanobombus</i>	266	呷巴乡、贡嘎山镇、康定机场、猎塔湖、沙德、上城子、雅家埂、折多塘、中古、子梅垭口、老榆林、木雅胜地、雪洼龙镇纳布厂、花椒坪	优势种 (Dominant species)

2.2 保护区中熊蜂物种多样性及多度分析

本研究采用 Berger-Parker 指数 D 分析保护区中熊蜂的物种多度。从结果可见, 在保护区的 21 种熊蜂中, 只有 3 种熊蜂 (弗里熊蜂 *Bombus friseanus*、稀熊蜂 *Bombus infrequens*、白背熊蜂 *Bombus festivus*) 为优势种; 有多达 8 个稀有种 (灰熊蜂、卧龙熊蜂、拉达克熊蜂、稳纹熊蜂、短头熊蜂、击熊蜂、饰带熊蜂、凸污熊蜂) (表 1)。保护区熊蜂的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 为 2.2093, Pielou 均匀度指数为 0.7257, Berger-Parker 优势度指数为 0.6453。

2.3 熊蜂在保护区中的海拔分布规律

本次调查所采集到的熊蜂标本, 海拔分布范围为 960~4 550 m (附表 1)。通过分析熊蜂标本数目和蜂种数目在不同海拔区间的分布特征时发现: 随着海拔的升高熊蜂标本数目与蜂种数目均逐渐增加, 并且在海拔区间段达到最高点之前的那个区间段 (在本研究中是海拔 3 000~4 000 m 的区间段) 二者均达到最大值; 在海拔达到最高点的区间段时二者的数值均下降 (图 3)。本研究所发现的熊蜂海拔分布规律与整个四川地区及其它几个相似研究中的熊蜂海拔分布规律相一致; 这一分布规律不仅表明熊蜂是高海拔或者冷适应的昆虫, 也强调了熊蜂在这些地区发挥授粉服务功能的重要性, 因为在这些高海拔地区其它种类的昆虫很难生存 (Williams *et al.*, 2009; Streinzer *et al.*, 2019; Sponsler *et al.*, 2022)。

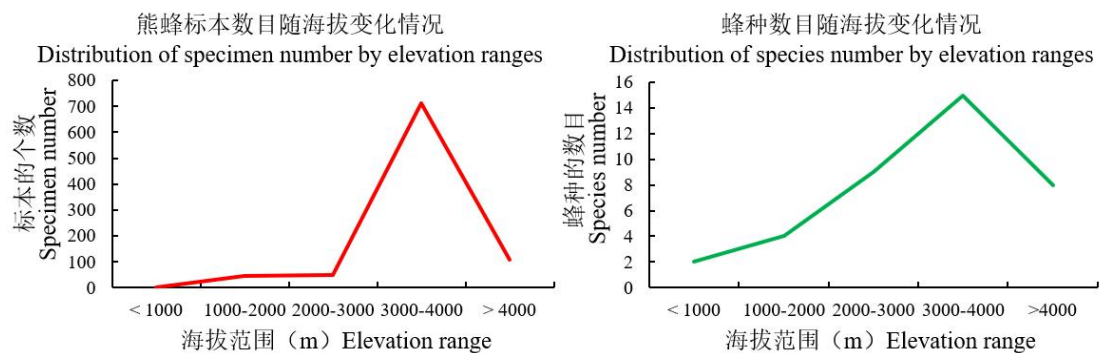


图 3 熊蜂在保护区中的海拔分布规律

Fig. 3 Altitude distribution feature of bumblebees in the Gongga Mountain Reserve

2.4 熊蜂所授粉植物的种类

本研究通过野外拍照和实验室内植物物种鉴定发现, 保护区中的熊蜂一共为至少 43 种植物提供授粉服务 (附表 3)。这些植物不仅包括野生和观赏植物, 也包括 4 种药用植物 (龙胆、黄芪等) 以及 6 种重要的经济作物 (辣椒、南瓜等)。由此可见, 熊蜂对于保护区中自然生态系统的稳定和附近居民的增产增收, 均发挥着重要的作用。

3 结论与讨论

本研究通过对四川贡嘎山国家级自然保护区中的熊蜂种质资源进行 2 年共 3 次的野外调查发现, 保护区中现有熊蜂 21 个种、隶属于熊蜂的 7 个亚属 (表 1)。通过分析不同蜂种在保护区中的多度发现, 灰熊蜂 *B. grahami*、卧龙熊蜂 *B. wolongensis*、拉达克熊蜂 *B.*

ladakhensis、稳纹熊蜂 *B. waltoni* 这 4 种熊蜂，不仅数量少、而且分布范围也都非常狭窄，它们都只能在 23 块采样地中的某一个被采集到（附表 1）。因此，这 4 种熊蜂是保护区中亟需高度关注的蜂种，可列为局地濒危种，应尽早采取保护措施。由于这 4 个濒危种的唯一检出地分别位于海螺沟、燕子沟、子梅垭口（附表 1），这 3 个地点恰好是游人较多的地方，所以这几种熊蜂的生存可能会受到更多的威胁。为了对这 4 个蜂种进行更好的保护，建议保护区在这 3 个地点：禁止游人破坏开花植物；保护区的工组人员也不要再在这些地区喷洒杀虫剂和除草剂；可以在这些地区人工播种一些开花植物，保证这里的熊蜂有充足的食物来源。

本研究对保护区中熊蜂能够提供传粉服务的植物种类进行了调查，发现熊蜂一共为至少 43 种植物提供传粉服务（附表 3）。由于本研究的调查时间主要集中在 7-8 月份，而且只有在某种植物的花上真正见到熊蜂采集时才把它统计为熊蜂传粉植物，所以本研究对熊蜂所能提供传粉服务的植物种类的统计结果应该是一个很保守的数字，熊蜂实际上应该能为更多的植物提供传粉服务。另外，本研究所调查出的植物种类也是熊蜂赖以生存的食物来源，在保护区中加种这些植物将有利于熊蜂种群的稳定、防止濒危蜂种的灭绝。

与贡嘎山地区 40 年前的熊蜂调查数据进行比较分析发现（Williams *et al.*, 2009），拟熊蜂亚属的两种熊蜂（牛拟熊蜂与探索拟熊蜂）均没有在这次调查中被发现，并且本次调查中一头来自于拟熊蜂亚属的熊蜂样本都没有被采集到（表 1）。由于本次调查的采样量（919 头）要明显多于 40 年前在本区域的采样量（76 头），因而拟熊蜂亚属的这两种熊蜂大概率在贡嘎山保护区所在的区域已经发生了局地灭绝。由于拟熊蜂亚属的熊蜂营社会性寄生的生活方式，它们自己不能筑巢、不能采集花粉、不能生育参与劳动的工蜂、完全依赖寄主的巢穴和食物繁衍后代，所以它们对于外界环境条件的波动应该更敏感、更容易灭绝（Lhomme and Hines, 2019; Bower *et al.*, 2023）。本次贡嘎山地区熊蜂种质资源的调查结果发现，40 年前曾在本区域出现过的两种拟熊蜂亚属的熊蜂全都消失了，这表明拟熊蜂亚属的熊蜂确实更加脆弱，所以将来在国内其它地方所进行的熊蜂保护工作应格外关注拟熊蜂的生存状况。

综上所述，本研究掌握了保护区中熊蜂种质资源的现状及历史变化情况，鉴定出当前亟需高度关注的 4 个蜂种以及在过去 40 年中可能已经发生局地灭绝的蜂种。本研究为保护区中熊蜂种群的动态监测与保护奠定了重要基础。

参考文献（References）

- Bower R, Bulling M, Norton B. Concern for cuckoo bumblebees (*Bombus* subgenus *Psithyrus*): Addressing our lack of knowledge [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2023, 27 (3): 517-522.
- Cameron SA, Hines HM, Williams PH. A comprehensive phylogeny of the bumble bees (*Bombus*) [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2007, 91 (1): 161-188.
- Cameron SA, Lozier JD, Strange JP, *et al.* Patterns of widespread decline in North American bumble bees [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2011, 108 (2): 662-667.
- Colla SR, Packer L. Evidence for decline in eastern North American bumblebees (Hymenoptera: Apidae), with special focus on *Bombus affinis* Cresson [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17 (6): 1379-1391.
- Fontaine C, Dajoz I, Meriguet J, *et al.* Functional diversity of plant-pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities [J]. *PLoS Biology*, 2005, 4 (1): 129-135.
- Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, *et al.* Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance [J]. *Science*, 2013, 339 (6127): 1608-1611.
- Goulson D, Nicholls E, Botías C, *et al.* Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers [J]. *Science*, 2015, 347 (6229): 1255-1257.
- Hebert PDN, Penton EH, Burns JM, *et al.* Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astrartes fulgerator* [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2004, 101 (41): 14812-14817.
- Huang JX, An JD. Species diversity, pollination application and strategy for conservation of the bumblebees of China [J]. *Biodiversity Science*, 2018, 26 (5): 486-497. [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]
- Lhomme P, Hines HM. Ecology and evolution of cuckoo bumble bees [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2019, 112 (3): 122-140.
- Simanonok MP, Otto CRV, Cormman RS, *et al.* A century of pollen foraging by the endangered rusty patched bumble bee (*Bombus affinis*): Inferences from molecular sequencing of museum specimens [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2021, 30 (1): 123-137.

- Soroye P, Newbold T, Kerr J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents [J]. *Science*, 2020, 367 (6478): 685-688.
- Sponsler DB, Requier F, Kallnik K, *et al.* Contrasting patterns of richness, abundance, and turnover in mountain bumble bees and their floral hosts [J]. *Ecology*, 2022, 103 (7): e3712.
- Streinzner M, Chakravorty J, Neumayer J, *et al.* Species composition and elevational distribution of bumble bees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latreille) in the East Himalaya, Arunachal Pradesh, India [J]. *Zookeys*, 2019, 851 (June): 71-89.
- Velthuis HHW, Van Doorn A. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination [J]. *Apidologie*, 2006, 37 (4): 421-451.
- Williams PH, Cameron SA, Hines HM, *et al.* A simplified subgeneric classification of the bumblebees (genus *Bombus*) [J]. *Apidologie*, 2008, 39 (1): 46-74.
- Williams PH, Huang JX, An JD. Bear wasps of the Middle Kingdom: A decade of discovering China's bumblebees [J]. *Antenna*, 2017, 41 (1): 21-24.
- Williams PH, Tang Y, Yao J, *et al.* The bumblebees of Sichuan (Hymenoptera: Apidae, Bombini) [J]. *Systematics and Biodiversity*, 2009, 7 (2): 101-187.
- Williams PH. An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini) [J]. *Bulletin of the Natural History Museum Entomology*, 1998, 67 (1): 79-152.
- Xie ZH, Williams PH, Tang Y. The effect of grazing on bumblebees in the high rangelands of the eastern Tibetan Plateau of Sichuan [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2008, 12 (6): 695-703.

附表 1 熊蜂采集、鉴定情况汇总表

Appendix Table 1 The summary of bumblebee collection and identification

采集地点 Collection site	采集时间 Collection date	坐标 Coordinates	海拔 Elevation	蜂种 Species	中文名 Chinese name	所属的亚属 Subgenus	采集数量 Number collected
红石公园 3 号中 桥	2022/8/17	N29°50'39"; E102°2'35"	3 150	<i>Bombus infrequens</i>	稀熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	82
				<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	2
				<i>Bombus infirmus</i>	弱熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	8
				<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	2
白头村	2022/8/17	N29°34'60"; E102°10'45"	1 150	<i>Bombus bicoloratus</i>	二色熊蜂	<i>Megabombus</i>	6
呷巴乡	2022/8/18	N29°57'19"; E101°34'50"	3 400	<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	52
贡嘎山镇	2022/8/18	N29°27'8"; E101°26'56"	3 400	<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	5
				<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	1
				<i>Bombus remotus</i>	疏熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	1
海螺沟	2022/8/16	N29°34'28"; E101°59'35"	3 040	<i>Bombus religiosus</i>	圣熊蜂	<i>Megabombus</i>	15
				<i>Bombus nobilis</i>	颂杰熊蜂	<i>Alpigenobombus</i>	3
				<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	4
				<i>Bombus grahami</i>	灰熊蜂	<i>Alpigenobombus</i>	1
				<i>Bombus trifasciatus</i>	三条熊蜂	<i>Megabombus</i>	1

				<i>Bombus infirmus</i>	弱熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	4
				<i>Bombus infrequens</i>	稀熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	116
康定机场	2022/8/20	N30°7'40"; E101°45'16"	4 250	<i>Bombus minshanensis</i>	岷山熊蜂	<i>Bombus</i>	39
				<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	7
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	13
猎塔湖	2022/8/19	N29°7'21"; E101°31'1"	3 270	<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	9
				<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	3
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	12
				<i>Bombus impetuosus</i>	击熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	4
				<i>Bombus religiosus</i>	圣熊蜂	<i>Megabombus</i>	12
				<i>Bombus remotus</i>	疏熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	3
沙德	2022/8/18	N29°33'40"; E101°21'13"	3 070	<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	11
				<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	5
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	22
				<i>Bombus remotus</i>	疏熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	15
				<i>Bombus impetuosus</i>	击熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	1
上城子	2022/8/19	N29°20'6"; E101°35'24"	4 050	<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	11
				<i>Bombus lepidus</i>	小雅熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	3
湾东村	2022/8/17	N29°32'7"; E102°8'33"	1 300	<i>Bombus bicoloratus</i>	二色熊蜂	<i>Megabombus</i>	2

				<i>Bombus breviceps</i>	短头熊蜂	<i>Alpigenobombus</i>	6
				<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	3
雅家梗	2022/8/17	N29°54'17"; E101°59'60"	3 970	<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	6
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	3
				<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	7
燕子沟	2022/8/15	N29°41'31"; E101°59'17"	2 670	<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	12
				<i>Bombus nobilis</i>	颂杰熊蜂	<i>Alpigenobombus</i>	2
				<i>Bombus trifasciatus</i>	三条熊蜂	<i>Megabombus</i>	8
				<i>Bombus infirmus</i>	弱熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	3
				<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	2
				<i>Bombus infrequens</i>	稀熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	13
				<i>Bombus wolongensis</i>	卧龙熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	1
				<i>Bombus religiosus</i>	圣熊蜂	<i>Megabombus</i>	2
折多塘	2022/8/18	N29°59'49; E101°52'44"	3 330	<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	6
				<i>Bombus convexus</i>	凸污熊蜂	<i>Mendacibombus</i>	4
中古	2022/8/19	N29°9'48"; E101°28'51"	3 370	<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	8
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	27
				<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	2
				<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	9

子梅村	2022/8/18	N29°31'45"; E101°45'9"	3 500	<i>Bombus nobilis</i>	颂杰熊蜂	<i>Alpigenobombus</i>	23
				<i>Bombus convexus</i>	凸污熊蜂	<i>Mendacibombus</i>	5
子梅垭口	2022/8/18	N29°31'2"; E101°43'13"	4 550	<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	9
				<i>Bombus lemniscatus</i>	饰带熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	4
				<i>Bombus waltoni</i>	稳纹熊蜂	<i>Mendacibombus</i>	3
				<i>Bombus ladakhensis</i>	拉达克熊蜂	<i>Melanobombus</i>	2
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	3
				<i>Bombus remotus</i>	疏熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	1
老榆林	2022/8/17	N29°57'48"; E101°58'6"	3 100	<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<i>Melanobombus</i>	39
				<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	1
				<i>Bombus impetuosus</i>	击熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	3
				<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<i>Melanobombus</i>	58
				<i>Bombus lepidus</i>	小雅熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	12
				<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<i>Bombus</i>	12
				<i>Bombus remotus</i>	疏熊蜂	<i>Thoracobombus</i>	4
玉龙西	2022/7/13	N29°44'7"; E101°44'26"	4 190	<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	8
				<i>Bombus lemniscatus</i>	饰带熊蜂	<i>Pyrobombus</i>	5
木雅圣地	2023/7/21	N30°2'50"; E101°43'57"	3 820	<i>Bombus minshanensis</i>	岷山熊蜂	<i>Bombus</i>	23
				<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	<i>Melanobombus</i>	3

附表 2 本研究发现的 21 种熊蜂所对应的条形码序列及数据库比对情况

Appendix Table 2 Barcoding sequences and their best hit in database for 21 bumblebee species identified in this study

熊蜂种名 Species	中文名 Chinese name	本研究所测得的条形码序列 Barcoding sequences obtained in this study	BOLD 或私人数据库中最优匹配 Best hit in BOLD or private database	比对相似度 (%) 或鉴定方法 Similarity (%) or identification method
<i>Bombus bicoloratus</i>	二色熊蜂	ATTTTTATTTTTTCGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCAGCAATAAGATTAATAATTCTGAATAG AATTAAGAAATCCTGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATTCTTTAGTAACTAATCAT GCATTTTAATAATTTTTTTTATAGTTATACCTTTCATAATTGGAGGTTTTGGAAATTATTTAATTC CTTAATAATTGGTTCACCAGATATAGCTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGAATCTTAC CCCCTCTCTATTTTTATTATTAATTAGAAATTTATTCACCCCAAATGTTGGAACAGGATGAACTA TTATCCTCCATTATCTTCTTATATATTTTCATTCTTCTCCAGCTGTAGATATTCTATTTTTTCTTTA CATTTAGCTGGAATTTCTTCTATTATTGGATCTTTAAATTTTATTGTTACTATTATAATAATAAAA AATTTTTCAATAAACTACGATCAAATTAATTTATTTTCATGATCTGTATGTATTACAGTAATTTTA TTACTTTTTCTCTCCAGTTTTAGCTGGAGCTATTACAATATTATTTTTCGATCGAAATTTCAATA CATTTTTTTTCGATCCAATAGGAGGTGGAGATCCTATCCTTTATCAACATTTATTTTGATTTTTTGG CCAAAAAACCTAAAAAT	GBMNA21927-1 9	99.38
<i>Bombus breviceps</i>	短头熊蜂	TTACCTTTATTTTTGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCTTCTATAAGTTTATTAATTCGTATAG AATTAAGACACCCAGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAACTCCTTAGTTACTAGTCAT GCATTCTTAATAATTTTTTTTATAGTTATACCATTTATAATTGGAGGTTTTGGTAATTATTTAATCC CTATAATAATAGGTTACCTGATATAGCTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTCTGACTTCTTC CTCCATCTTTATTATTATTAATAATAAGAAATTTATTCTCTCCAAATGTAGGAACCGGTTGAACTG TATACCCCTTTATCATCTTATCTTTATCATTCTCCTTCTATTGATATAGCAATTTTTTCTTTA CATATAACAGGAATCTCTCCATTATTGGATCTTTAAATTTTATTGTTACTATTATATACATAAAA AATATTTCAATAAACTATGATCAAATTAATCTATTTTCTTGATCTGTTTGTATTACAGTAATTTTAT TAATTCTATCATTACCAGTATTAAGTGGAGCTATCACTATACTTTTATTTGACCGAAATTTAATA CATTTTTTTTGATCCAATAGGAGGAGGAGACCTATTCTTTATCAACATCTATTTTGATTTTTTG GCACCGAAAAATTAAGTGACCCAAC	GBAH18190-19	98.29

<i>Bombus convexus</i>	凸污熊蜂	<p>AATTTTATTTTTGCTATATGATCAGGTATAATTGGCTCATCAATAAGACTATTAATTCGAATAGAA CTTAGTCACCCAGGAATATGAATTAACAACGATCAAATTTATAATTCCTTTAGTTACAAGACATGC TTTCTTAATAATTTTTTTCATAGTAATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTATTTAATCCC ACTAATACTTGGATCTCCTGATATAGCATTTCCTCCGAATAAATAATATTAATTTTTGATTACTCCC ACCATCTTTATTTATACTATTATTAAGAACTTTATTTTACCCAAATGCAGGAACTGGTTGAACAGT TTATCCCCCTTATCTTCATATATATTCCATTCATCTCCATCCATTGATATCGCAATTTTCTCACTT CACATAACAGGAATTTCTCAATTATTGGATCATTAAATTTTATTGTTACTATTTTATTAATAAAA AACTTCTCATTAAACTATGATCAAATTAATTTATTTTCATGATCTGTATGCATCACAGTAATTTTA TTAATTTTATCATTACCAGTTTTAGCCGGAGCTATTACTATACTTTTTATTTGATCGAAATTTTAATA CTTCTTTTTTTGATCCCATAGGAGGAGGTGATCCTATTCTTTACCAACACTTATTCTGATTTTTTTGG CACCAAAAAAATTA AAAAC</p>	Bombus convexus (BOLD private)	99.37
<i>Bombus festivus</i>	白背熊蜂	<p>TACTTTATTTATGCATATGATCAGGATAATTGGATCATCAATAAGTCTTTTAATTCGTATAGA ACT TAGTCATCCTGGAATATGAATTAATAATGACCAAATTTACAATTGATTAGTTACAAGTCATGCAT TCCTAATAATTTTTTTTTATAGTTATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTATTTAATTCCATT AATACTAGGATCTCCAGATATAGCTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGACTTCTTCCCCC TTCATTAATTATATTACTAAGAAATATATTTCTCCTAATGTCGGTACAGGATGA ACTGTTTA TCCCCCTTATCATCCTATTTATTCCATTCATCCCCATCAATCGATATTGCAATTTTTTCCCTTCAT ATAACAGGAATCTCTTCTATTATTGGTTCTTTAAATTTTATTGTA ACTATTTTTTTTATAAAAAATA TTTCATTA AATTATGATCAAATCAATTTATTTTCTTGATCCGTATGTATTACAGTAATCCTTCTAAT TTTATCTTTACCCGTA CTTCAGGAGCAATTACCATACTTTTATTTGATCGAAATTTTAATACATC CTTTTTTGATCCAATAGGAGGAGGAGATCCAATCTTTATCAACACTTATTTTGATTTTTTTGGCTA CAAAAAAATTA AAAA</p>	GBMNC44008-2 0	99.84
<i>Bombus friseanus</i>	弗里熊蜂	<p>TATGTA CTTTATTTTTGCTATATGATCCGGAATAATTGGATCGTCAATAAGACTTAATTCGAAT AGAACTTAGTCATCCTGGAATATGGATTAGAAATGACCAAATTTATAATTCCTTTGTTACAAGAC ATGCTTTTTTAATAATTTTTTTTTATAGTTATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTATTTAAT TCCTTTAATACTTGGGTCTCCTGACATAGCTTTTCCCTCGAATAAATAATATTAGATTTTGACTATT ACCTCCGTCATTATTTATATTACTTTTAAAGAACTTATTTTCCCCAAACGCAGGAACAGGATGAA CTGTATACCCACCTTTATCATCATACTTATTTACCCCTCACCGTCAGTTGATATTGCAATTTTCTC ACTTCATATAACAGGAATTTCTTCTATTATTGGATCTTTAAACTTTATTGTA ACTATTATATTCATA AAAAATTTCTCATTAAATTATGACCAAATTAATTTATTTTCTTGATCCGTATGTATTACAGTAATT CTATTAATTTTATCTTTACCAGTATTAGCAGGAGCAATTACAATACTTCTTTTTGATCGAAATTTT AATACATCTTTTTTTGACCAATAGGAGGAGGTGATCCAATCCTTTACCAACATTTATTTTGATTT</p>	GBMNC44006-2 0	99.84

TTTGGCCCCAAAAAATTA AAAA

<i>Bombus grahami</i>	灰熊蜂	AAGAATTTTATTTTCGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCTTCTATAAGATTACTAATTCGTATA GAATTAAGACATCCAGGAATATGAATCAATAATGATCAAATTTATAATTCCTTTAGTTACCAGTCA TGCATTTTATAATTTTCTTTATAGTAATACCATTTATAATTGGAGGGTTTGGGAATTATTTAATC CCTATTATATTAAGGTCACCTGATATAGCTTTTCCACCAATAAATAATATTTAAAATTTGACTTCTT CCCCCTCCTTAATAATAATATTAATAAAAAAATTAATCTCTCCAATGGAAGAACTGGGTGAAC TGGATATCCCCCTTAACATCCTAACCTTTTCATTCCCCCCCCCTCCAATGATATTGGAAATTTTTC TTACCAATAAAAGGAATTTCTCTATTATTGGATCTTAAATTTTATTGGTACTATTATAAGTATA AAAAATTTTCATTAAATTATGAACAAATTAATTTATTTTCTGATCTGTTGTATTACAGTAATTT ATTTATCTTATCATACCAGTCTTAGCTGAGCTAAACTATACTTTTATTGACCGAAATTTATACATC TTTTTTGTCCATAGGAGGAGAATCCTTTTTTATCAACATTTATTCTGATTTTGGATCCAAAAATTTA AA	私人数据库 Private database	依据系统演化树分 析 Analysis based on phylogenetic tree
<i>Bombus impetuosus</i>	击熊蜂	AATAATTTTATTTTGGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCTTCAATAAGATTAGTTAATTCGAAT AGGAATTAAGACATCCTGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATTCCTTTAGTTACTAGG CATGCATTTTAAATAATTTTTTTTATAGTTATACCGTTTTTAATTGGTGGGTTTGGAAATTTTAG TTCCTTTAATATTAGGTTCCACCAGATATAGCATTTCCTCGAATAAATAATATTAGGTTTTGAATTT TACCTCCTTCATTAATAATATTGTTATTAAGAAATTTATTTACACCTAATGTTGGGACAGGATGAA CAGTTTATCCTCCATTATCTTTATATTTATTTTATTTCATTCACCGTCTGTTGATATTGCAATTTTTC ACTTCATATAACTGGTATTCTTCAATTATTGGTCTTTAAATTTTATTGTTACTATTATAATAATA AAAAATTGTTCAATTAATTTATGATCAGATTAATTTATTTTCGTGATCAGTATGTATTACTGTGATT TTATTAATTTTATCTTTACCTGTTTTAGCAGGAGCAATTACAATATTATTATTGATCGAAATTTTA ATACATCTTTTTTTGATCCTATAGGAGGAGTGATCCAATCTTTATCAACATTTATTTTGGATTTT GGGGACTAAAAAAAATTTAAA	GBMNC44001-2 0	98.28
<i>Bombus infirmus</i>	弱熊蜂	TAATTTTTATCTTTTGGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCATCAATAAGATTATTAATTCGAAT AGAATTAAGTCATCCTGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATTCATTAGTTACAAGAC ATGCATTTTAAATAATTTTTTTCATAGTAATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTTATTTAA TTCCATTAATATTAGGATCACCTGATATAGCATTCCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGATTAC TTCTCCATCTTTATTTATATTACTATTAAGAAATTTATTTACACCAATGTTGGAACAGGATGAA CTGTATACCCCCCTTTATCATCATATATTTTATTTCATTCACCTTCAGTAGATATTGCAATTTTTTC TTTACATATAACAGGAATTTCTTCAATTATTGGATCTTTAACTTTATCGTAACTATTATATTAAT AAAAAATTTTTCATTAAATTATGATCAAATTAATTTATTTTCTTGATCAGTATGTATTACAGTAAT	私人数据库 Private database	依据系统演化树分 析 Analysis based on phylogenetic tree

<i>Bombus infrequens</i>	稀熊蜂	ATTATTAATATTATCATTACCAGTTTTAGCAGGAGCTATTACAATACTTCTTTTTGATCGAAATTT TAATACATCATTTTTTTGATCCAATAGGAGGTGGTATCCAATTCTTTACCAACATTTATTTTGATT TTTTGGCTACAAAAAAATTATAAA AATATTTTTTTATTTTTGCATATGATCAGGAATAATTGGTTCATCAATAAGATTATTAATTCGAAT AGAATTAAGACATCCAGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTACAATTCATTAGTAACAAGA CATGCTTTCTTAATAATCTTCTTTATAGTCATACCATTTCATAATCGGAGGATTTGGAAATTATTTA ATTCCAATAATATTAGGATCACCTGATATAGCTTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGATTA CTACCACCATCTCTTTTTTTATTATTATTAAGAAATCTATTCACACCAAACCTTAGGAACAGGATGA ACTGTATATCCTCCTTTATCATCTTATATATTTTCATTCATCTCCATCTGTAGATATCGCAATCTTTT CATTACATATAACAGGAATTTCCCTCAATTATCGGATCATTAAATTTTATTGTAACATTTATTTAA TAAAAAATTTTTCTTTAAATTTATGATCAAATCAATTTATTTTCATGATCAGTTTGTATTACTGTTAT ATTATTAATTTTATCACTACCAGTTTTAGCAGGAGCAATTACAATACTTATTTTTGATCGAAATTT TAATACATCTTTTTTTGATCCAATAGGAGGAGGTGATCCTATTCTATACCAACATTTATTTTGATT TTTTGGCTACAAAAAAATTTTATAAA	私人数据库 Private database	依据系统演化树分 析 Analysis based on phylogenetic tree
<i>Bombus ladakhensis</i>	拉达克熊蜂	TATTTTCTCTTCGCATATGATCAGGAATAATTGGATCATCAATAAGTTTATTAATTCGAATAGAAC TTAGTCATCCTGGAATATGAATTAACAATGATCAAATTTATAATTCACTTGTCAAGACATGCA TTTTAATAATTTTTTTCATAGTTATACCATTTCATAATTGGAGGATTTGGTAATTATTTAATTCCAT TAATATTAGGATCTCCTGATATAGCTTTCCCTCGAATAAATAATATTAGATTCTGACTTCTTCCTC CATCATTATTCTTACTACTATTAAGAAATTTATTTTCCCCAAATGTAGGTACAGGTTGAACGTGTTT ATCCACCTTTATCATCATACTTATTTTCATTTCCTCACCATCAATTGATATTGCAATCTTTTCCTTACA TATAACTGGAATTTCCCTCTATTATTGGATCTTTAAATTTTATTGTAACCATTATATTTATAAAAAA TTTTTCTCTAAATTTATGATCAAATCAATCTATTTTCCTGATCTGTTTGCATTACTGTAATTTTATTA ATTTTATCTTTACCAGTATTAGCAGGAGCAATTACAATACTTCTATTTGATCGAAATTTCAATACA TCTTTTTTTGATCCAATAGGAGGAGGTGATCCAATCTTTATCAACATCTTTTTTTGATTTTTTGGCT ACAAAAAAATTATAAA	BBWP691-18	99.83
<i>Bombus lemniscatus</i>	饰带熊蜂	AATTATTTCTTTTTGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCATCAATAAGACTATTAATCCGAATAG AATTAAGTCATCCTGGTATATGAATCAACAATGATCAAATTTATAATTCATTAGTTACAAGACAT GCATTTTAAATAATTTTTTTTATAGTTATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTATTTAATTC CACTAATATTAGGATCACCTGATATAGCTTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGATTACTTC CTCCATCTTTATTTATATTACTTTTAAAGAAATCTATTTACACCAAACGTAGGAACAGGGTGAACGT TATATCCTCCTTTATCATCTTATATATTTTCATTCATCACCTTCAGTAGATATTGCAATTTTTTCATT	Bombus lemniscatus (BOLD private)	99.37

		<p>ACATATAACAGGTATTTCTTCAATTATTGGTCTTTAACTTTATTGTAAC TATTATATTAATAAAA AAATTTTTCATTA AATTATGATCAAATTA ACTTATTTCTTGATCAGTTTGTATTACAGTAATATT ATTAATATTATCTTTACCAGTTTTAGCTGGAGCTATTACAATACTTCTTTTTGATCGTAATTTTAAT ACATCTTTTTTTGACCCAATAGGAGGAGGTGATCCAATTCTTTATCAACACTTATTTTGATTTTTT GGCTAAAAAAAAAATTTTAAA</p>		
<i>Bombus lepidus</i>	小雅熊蜂	<p>AATATTTTTTATTTTTGCTATATGATCAGGAATGATTGGATCATCAATAAGATTATTAATTCGAAT AGAATTAAGTCATCCTGGTATATGAATTAGTAATGATCAAATTTATAATTCATTAGTTACAAGAC ATGCATTTTAAATAATTTTTTTCATAGTTATAACATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTTTAG TTCCATTAATATTAGGATCACCTGATATAGCTTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGATTAC TACCTCCATCTTTATTTTTATTACTTTTAAAGAAATTTATTACACCAAATGTAGGAACAGGATGAA CTGTATATCCTCCTTATCATCTTATATATTTTCATTCATCACCATCTGTTGATATTGCAATTTTTTC ATTACATATAACAGGTATTTCTTCAATTATTGGATCTTTAAATTTTATTGTAAC TATTATATTAAT AAAAAATTTTTCATTA AATTATGATCAAATTAATTTATTTCTTGATCAGTTTGTATTACAGTAGT ATTATTAATATTATCTTTACCAGTTTTAGCTGGAGCTATTACAATACTTCTTTTTGATCGTAATTTT AATACATCTTTTTTTGATCCTATAGGAGGAGGTGATCCAATTTTATATCAACATTTATTTTGATT TTTGATAAAAAAAAAAATATAAAAAA</p>	GBMIN72044-17	99.67
<i>Bombus longipennis</i>	长翅熊蜂	<p>GGTTCATCAATAAGTTTATTAATTCGAATAGAATTAAGTCATCCAGGAATATGAATTAATAATGA TCAAATTTATAATCTTTAGTAACTAGACATGCATTTTAAATAATTTTTTTTATAGTAATACCATTT ATAATTGGAGGATTTGGTAATTATTTAATCCATTAATACTTGGATCACCAGATATAGCTTTCCCT CGAATAAATAATATTAGATTTTGACTTTTACCTCCATCATTATTTATATTATTAAGAAATATA TTTACACCTAATGTAGGAACAGGATGA ACTGTATATCCTCCTTTATCTTCTTATTTATTTTCATTCAT CCCCATCAATTGATATTGCAATTTTCTCTTTACATATATCAGGAATTTCTTCAATTATTGGATCATT AAATTTTATTGTTACTATTTTAAATAAAAAAATTTTTCATTA AATTATGATCAAATTAATTTATTT TCATGATCAGTATGTATTACTGTAATTTTATTAATTTTATCTTTACCAGTATTAGCTGGAGCAATT ACAATATTACTTTTTGATCGAAATTTTAAATACCTCATTTTTTGATCCTATAGGAGGAGGAGACCCT ATTTTATATCAACATTTATTTTGATTTTTTGGACT</p>	GBMIN72045-17	100
<i>Bombus nobilis</i>	颂杰熊蜂	<p>AATATTTTCTCTTTGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCTTCAATAAGATTATTAATTCGAATAG AATTAAGACATCCAGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATCTTTAGTTACAAGACAT GCATTTTAAATAATTTTTTTTATAGTTATAACATTTATAAATTGGTGGATTTGGAAATTA CTTAATTC CTATTATATTAGGATCTCCTGATATAGCTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTCTGACTTCTTC CTCCATCTTTAATAATACTCTTATTAAGAAATTTATTTTCACCAAATGTAGGAAC TGGTTGAAC TG</p>	私人数据库 Private database	依据系统演化树分 析 Analysis based on phylogenetic tree

		TATATCCACCTTTATCCTCATATTTATTCCATTCATCACCTTCTATTGATATTGCAATTTTTCTTTG CATATAACAGGAATTTCTTCTATTATTGGATCATTAAATTTTATTGTTACTATTATATTTATAAAA AATTATTCATTAAATTATGACCAAATTAATTTATTTTCTTGATCCGTATGTATTACAGTAATTTTAT TAATTTTATCCTTACCAGTTTTAGCTGGAGCTATTACTATACTTTTATTTGATCGAAATTTAATAC TTCTTTTTTTGATCCAATAGGAGGAGGTGATCCAATTCTTTACCAACATTTATTTTGATTTTTTGGC TACAAAAAAAATATATTTAAA		
<i>Bombus religiosus</i>	圣熊蜂	TTAAATTTTATTTTTGCTATATGATCTGGAATAATTGGATCAGCAATAAGATTTTTAATTCGAATA GAATTAAGACATCCTGGTATATGAATTAACAATGATCAAATTTATAATTCCTTAGTAAGTACTAGTCA TGCATTTTTAATAATTTTTTTTATAGTTATAACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAACTTAAAT CCACTAATAATTGGAGCTCCAGATATAGCATTTCCACGAAATAATAATCAGATTTTGAATTCT ACCTCCCTCATTATTTATATTATTATTAAGAAATTTATTTTCTCCAAATGTTGGAACCTGGATGAAC TGTTTATCCTCCTCTATCTTCTTATCTATTTTCATTCATCTCCATCTATTGATATTGCTATTTTTCT TACATATAACAGGAATCTCCTCTATTATTGGATCTTTAAATTTTATTGTAAGTATTATATTAATAA AAAATTATTCATTAAATTATGATCAAATTAATCTATTTTCTTGATCAGTATGTATTACAGTAATTT TATTATTATTATCTTTACCAGTTCTAGCAGGAGCTATTACAATATTACTTTTTGATCGAAATTTA ATACATCATTTTTTGACCCTATAGGAGGTGGTATCCAATTCTTTATCAACATTTATTTTGATTTTT TGATAACAAAAAAAATTAATAAAA	GBAH10937-15	99.69
<i>Bombus remotus</i>	疏熊蜂	AAATTTTTTATTTTTGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCTTCAATAAGATTATTAATTCGAAT AGAATTAAGACATCCTGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATTCCTTAGTACTAGAC ATGCATTTTTAATAATTTTTTTTATAGTTATAACCATTTTTAATTGGTGGATTTGGTAATTTTAGT TCCTTTAATATTAGGTTCCACCAGATATAGCATTTCCCTCGAATAAATAATATTAGATTTTGGATTT ACCTCCTTCATTAATGATATTGTTATTGAGAAATTTATTTACACCTAATGTTGGAACAGGATGGAC AGTTTATCCTCCATTATCTTCATATTTATTTTCATTCATCACCGTCTGTTGATATTGCAATTTTTTCA CTTCATATAACTGGAATTTTCATCAATTATTGGTTCTTTAAATTTTATTGTTACTATTATAATAATAA AAAATTATTCATTGAATTATGATCAAATTAATTTATTTTCATGATCAGTATGTATTACTGTAATTT TATTAATTTATCTTTACCTGTTTTAGCAGGAGCAATTACAATATTATTATTGATCGAAATTTA ATACATCTTTTTTTGATCCTATAGGGGGGGGTGATCCAATTCTTTATCAACATTTATTTTGATTTTT GGGAAAAAAAAAAAAAAAAATAATAAAA	GBMNC44003-2 0	98.91
<i>Bombus rufofasciatus</i>	红束熊蜂	AAACTTCTCTTTGCTATATGATCAGGAATAATTGGGTCATCAATAAGATTACTGATTCGAATAGA ACTTAGTCATCCAGGAATATGAATTAGAAATGATCAAATTTATAATTCCTTGTACAAGACATG CTTTTTAATAATTTTTTTCATAGTTATAACCTTTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTTAATCC	GBMIN72747-17	100

		<p>ATTAATACTTGGATCCCCTGATATAGCTTTTCCTCGAATAAATAATATTAGATTTTGACTTTTGCC CCCATCATTATTCATATTACTTTTAAGAAATTTATTTTCTCCAAACGCAGGGACAGGATGAACTGT TTATCCTCCATTATCTTCATACTTATTTTCATTCATCACCATCAATTGATATTGCAATTTTTTCTCTT CATATAACAGGAATTTCTTCTATTATTGGCTCTTAAACTTTATTGTAACTATCATATTTATAAAA AATTTTTTCATTAATTTATGACCAAATTAATTTATTTTCATGATCTGTATGTATTACAGTAATTTTAT TGATTTTATCTTTACCGGTATTAGCAGGAGCAATTACTATACTTCTCTTTGATCGAAATTTCAATA CATCTTTTTTTGATCCTATAGGAGGAGGTGACCCAATTCCTTATCAACATTTATTTTGATTTTTTGG CTACAAAAAAAAATTAATAA</p>		
<i>Bombus trifasciatus</i>	三条熊蜂	<p>AAAATTTTTCTATTTGCTATATGAGCTGGAATAATTGGATCCTCAATAAGTCTTTTAATTCGAATA GAATTAAGACATCCAGGAATATGAATTAATAATGACCAAATTTATAATTCATTAGTAACAAGAC ATGCATTTTAAATAATTTTTTTCATAGTGATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGAAATTTTAG TTCCCTTAATATTAGGAATCCAGATATAGCATTTCACGAATAAATAATATTAGATTTTGAATTT TACCCCTTCTTTAACAATATTATTATTAAGAAATCTATTTACTCCTAATATAGGAACAGGATGAA CTGCATATCCTCCACTATCAAATTATATATTTTCATTCATCTCCATCAGTTGATATTGCAATTCCTTC ACTTCATATAACAGGAATTTCTTCTATTATTGGATCATTAAATTTTATTATTACAATTATTATAAT AAAAAATTATTCATTAATTTTGATCAAATTAATTTATTTTCATGATCAATTTGTATTACAGTAAT TTTATTACTTATTTCCCTTCCAGTCTTAGCTGGATCAATTACTATACTTCTATTTGATCGAAATTTT AATACCTCTTTCTTTGATCCAATAGGAGGTGGTGATCCTATTTTATATCAACATTTATTTTGATTTT TTGGCTAAAAAAAAATTTTAAA</p>	BBWP500-10	100
<i>Bombus waltoni</i>	稳纹熊蜂	<p>ATTAATTTTTATATTTGCATATGATCAGGTATAATTGGATCATCAATAAGTTTATTAATTCGAATA GAACTTAGTCACCCAGGAATATGAATTAATAACGATCAAATTTATAATTCTTTAGTTACAAGACA TGCCTTTTTAATAATTTTTTTCATAGTAATACCATTTATAATTGGAGGATTTGGTAATTTAATT CCCCTAATACTTGGTTCTCCTGATATAGCATTTCACGAATAAATAATATTAGATTTTGATTACTT CCCCATCTTTATTTATATTATTATTAAGAACTCTATTTTTTCCAAATGCAGGAACTGGATGAACA GTATATCCTCCTTTATCTTCATATATATTTTCATTCATCCTCCTCTATTGATATTGCAATTTTTTCATT ACATATAACTGGAATTTCTTCAATTATTGGTTCATTAATTTTATTGTTACAATTTTATTAATAAAA AAATTTCTCATTAAATTATGATCAAATTAATTTATTTTCATGATCTGTGTGTATTACAGTAATCCT ATTAATTCTATCATTACCAGTTTTAGCTGGAGCTATTACTATACTTTTATTTGATCGAAATTTTAAAT ACCTCTTTTTTTGATCCAATAGGAGGTGGTGATCCTATTCCTTATCAACATTTATTTTGATTTTTTG GCTACAAAAAAAAATTAATAA</p>	Bombus waltoni (BOLD private)	99.69
<i>Bombus wolongensis</i>	卧龙熊蜂	<p>AATAATTTTTATTTTTTGGCTATATGATCAGGAATAATTGGATCATCTATAAGATTATTAATTCGTA</p>	私人数据库	依据系统演化树分

TAGAATTAAGACATCCTGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATCCTTTAGTAACAAGA
CATGCATTTTTAATAATTTTTTTTATAGTTATACCATTTATAAATTGGAGGATTTGGAAATTATTTA
ATTCCTTTAATATTAGGATCTCCTGATATAGCTTTCCACGAATAAATAATATTAGATTTTGACTT
CTTCCACCATCTTTATTAATACTTCTTTTAAGAAATCTATATACTCCAAATGTAGGTACAGGATGA
ACTGTATATCCACCTTTATCATCTTATATATTTCACTCATCACCTTCTATTGATATTGCTATTTTCT
CATTACACATAACTGGAATTTCTTCAATTATTGGTTCTCTAAATTTTATTGTTACTATTATATTAAT
AAAAAATTTTTTCATTAAATTATGATCAAATTAATTTATTCTCTTGATCAGTATGTATTACAGTAAT
ATTACTAATTCTATCTTTACCAGTTTTAGCAGGAGCAATCACTATACTTCTCTTTGATCGAAATTT
CAATACATCTTTCTTTGATCCTATAGGAGGAGGTGATCCAATTTTACCAACATTTATTTTGATT
TTTTGGCTACAAAAAAAATTATTTAA

Private database

析
Analysis based on
phylogenetic tree

Bombus minshanensis 岷山熊蜂

ATTAATTCGAATAGAATTAAGTCATCCTGGAATATGAATTAATAATGATCAAATTTATAATCCTTT
AGTAACTAGACATGCATTCTTAATAATTTTTTTTATAGTAATACCATTTATAAATTGGAGGATTCGG
AAATTATTTAATTCCATTAATACTTTGGATCACCAGATATAGCTTTCCCTCGAATAAATAATATTAG
ATTTTGACTTTTACCTCCATCATTATTTATATTATTATTAAGAAATATATTTACACCTAATGTAGG
AACAGGATGAACTGTTTATCCTCCTTTATCTTCTTATTTATTTTCATTCATCTCCATCAATTGACATT
GCAATTTTTCTTTACATATATCGGAATTTCTTCTATTATCGGATCATTAAATTTTATTGTTACTAT
TTAATAATAAAAAATTTTTTCATTAAATTATGATCAAATTAATTTATTCTCATGATCAGTATGTAT
TACTGTAATTTTATTAATTTTATCCTTACCAGTATTAGCTGGAGCAATTACAATATTACTTTTTGAT
CGAAATTTAATACTTCATTTTTTTGATCCTATAGGAGGAGGAGATCCAATTTTATACCAACATTTA

GBMIN72051-17

100

TTT

附表 3 熊蜂取食植物种类
Appendix Table 3 Plant species foraged by bumblebees

植物的中文名 Plant species	拉丁学名 Scientific name
黄腺香青	<i>Anaphalis aureopunctata</i>
斜茎黄耆	<i>Astragalus laxmannii</i>
黄芪	<i>Astragalus membranaceus</i>
金花小檗	<i>Berberis wilsonae</i>
辣椒	<i>Capsicum annuum</i>
柳兰	<i>Chamerion angustifolium</i>
网脉柳兰	<i>Chamerion conspersum</i>
马刺菊	<i>Cirsium monocephalum</i>
细风轮菜	<i>Clinopodium gracile</i>
匍匐风轮菜	<i>Clinopodium repens</i>
大苞鸭跖草	<i>Commelina paludosa</i>
秋英	<i>Cosmos bipinnatus</i>
马爬瓜	<i>Cucumis melo var. agrestis</i>
黄瓜	<i>Cucumis sativus</i>
南瓜	<i>Cucurbita moschata</i>
倒提壶	<i>Cynoglossum amabile</i>
川续断	<i>Dipsacus asper</i>
大头续断	<i>Dipsacus chinensis</i>
肾叶龙胆	<i>Gentiana crassuloides</i>
三歧龙胆	<i>Gentiana trichotoma</i>
麦蓝菜	<i>Gypsophila vaccaria</i>
卵萼花锚	<i>Halenia elliptica</i>
康定独活	<i>Heracleum souliei</i>
紫鄂凤仙花	<i>Impatiens platychnaena</i>
扭萼凤仙花	<i>Impatiens tortisepala</i>
侧茎囊吾	<i>Ligularia pleurocaulis</i>
丝瓜	<i>Luffa aegyptiaca</i>
微孔草	<i>Microula sikkimensis</i>
苦瓜	<i>Momordica charantia</i>
穗花荆芥	<i>Nepeta laevigata</i>
美观糙苏	<i>Phlomis ornata</i>
栗色鼠尾草	<i>Salvia castanea</i>
甘西鼠尾草	<i>Salvia przewalskii</i>
半琴叶风毛菊	<i>Saussurea semilyrata</i>

木里千里光	<i>Senecio muliensis</i>
双花华蟹甲	<i>Sinacalia davidii</i>
华蟹甲	<i>Sinacalia tangutica</i>
皱叶绢毛苣	<i>Soroseris hookeriana</i>
狼毒	<i>Stellera chamaejasme</i>
川西蒲公英	<i>Taraxacum chionophilum</i>
白缘蒲公英	<i>Taraxacum platyepidum</i>
野豌豆	<i>Vicia sepium</i>
赤小豆	<i>Vigna umbellata</i>
