

天山东部草甸草原访花昆虫种类 及访花行为研究*

孙凯瑞^{1**} 牙森·沙力^{1***} 迪丽胡玛尔·安尼瓦尔¹
买买提·胡加^{2***} 阿迪力·衣米提²

(1. 新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安防重点实验室, 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆生产建设兵团第十三师新星市林业工作管理站, 新星 839001)

摘要 【目的】访花昆虫是草甸草原内生物多样性的重要组成部分, 为草原多种植物提供授粉服务。掌握天山东部草甸草原访花昆虫种类及主要访花昆虫访花行为规律, 为利用和保护草原访花昆虫资源奠定基础。【方法】本研究于 2021 年 6-8 月内, 采用扫网、网捕、目测和摄像等方式对当地访花昆虫与开花植物种类关系, 主要访花昆虫日活动规律、访花行为和访花频率进行了调查和采集。【结果】天山东部草甸草原主要访花昆虫有 5 目 17 科 33 种, 双翅目、膜翅目和鳞翅目为当地主要访花昆虫, 所访开花植物涉及 8 目 9 科 15 种, 其中西方蜜蜂 *Apis mellifera* 为朝天委陵菜 *Potentilla supina* 的主要传粉者, 凹带食蚜蝇 *Syrphus nitens* 为蛇床 *Cnidium monnieri* 主要传粉者, 斑缘豆粉蝶 *Colias erate* 为蓟 *Cirsium japonicum* 主要访花者。3 种访花昆虫日活动高峰期均在 12:00-14:00, 且多个时间段内斑缘豆粉蝶与前者存在显著性差异。在日活动高峰期中, 西方蜜蜂访朝天委陵菜的访花频率平均值为 (9.43±2.27) 朵, 访花朵数为 7 时, 访花频率最大, 单花停留时间平均为 (6.71±1.45) s; 凹带食蚜蝇访蛇床的访花频率平均值为 (5.30±1.23) 朵, 访花朵数为 4 时, 访花频率最大, 单花停留时间平均为 (13.79±3.40) s; 斑缘豆粉蝶访蛇床的访花频率平均值为 (1.58±0.13) 朵, 访花朵数为 1 时, 访花频率最大, 单花停留时间平均为 (10.42±2.90) s。【结论】综合以上调查结果, 认为天山东部访花昆虫及所访开花植物种类会随时间推移发生变化, 可根据增加对应植物资源来提高草原内访花昆虫资源。合理利用不同访花昆虫的行为特点, 达到为特定植物资源进行授粉服务目的。

关键词 草甸草原; 访花昆虫; 开花植物; 访花行为

Species and pollination behavior of flower-visiting insects in the meadow steppe of the eastern Tianshan Mountains

SUN Kai-Rui^{1**} Yasen·Shali^{1***} Dilihumaer·Anniwaer¹ Maimaiti·Hujia^{2***} Adili·Yimiti²

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests, Urumqi 830052, China; 2. Xinjing Forestry Work Management Station, 13th Division of Xinjiang Production and Construction Crops, Xinjing 839001, China)

Abstract 【Objectives】To identify the species of flower-visiting insects in the meadow steppe of the eastern Tianshan Mountains, and investigate their flower visiting behavior, in order to better protect these species and the essential pollination services they provide to various plant resources in this grassland region. 【Methods】The relationship between local flower-visiting insects and flowering plant species was investigated from June to August 2021 using sweep nets, visual inspection and videography. 【Results】Thirty-three species from 17 families and 5 orders of flower visiting insects were identified, of which the main orders were the Diptera, Hymenoptera and Lepidoptera. Flowering plants visited by these insects

*资助项目 Supported projects: 科技部基础资源调查专项 (2019FY100404)

**第一作者 First author, E-mail: 1426294738@qq.com

***共同通讯作者 Co-correspondence authors, E-mail: ysxjau@sina.com; 1542835671@qq.com

收稿日期 Received: 2022-05-05; 接受日期 Accepted: 2022-12-30

included 15 species in 8 orders, and 9 families. *Apis mellifera* was the main pollinator of *Potentilla supina*, whereas *Syrphus nitens* was the main pollinator of *Cnidium monnieri* and *Colias erate* was the main pollinator of *Cirsium japonicum*. The peak of daily activity of these three flower-visiting insects is between 12:00 and 14:00. During this period, the average frequency of *Apis mellifera* visits to *P. supina* was (9.43 ± 2.27) , with most visits recorded when 7 flowers were visited. The average visit duration to a single flower was (6.71 ± 1.45) s. The average frequency of *S. nitens* visits to *C. monnieri* flowers was (5.30 ± 1.23) , the highest frequency was recorded when 4 flowers were visited. The average duration of a visit to a single flower was (13.79 ± 3.40) s; The average frequency of visits of *C. erate* to *Cirsium japonicum* was (1.58 ± 0.13) , the highest frequency of visits was recorded when just 1 flower was visited. The average duration of a visit to a single flower was (10.42 ± 2.90) s.

[Conclusion] Flower-visiting insects and types of flowering plants in the eastern Tianshan Mountains will change over time. The abundance of pollinating insects in this grassland region can be improved by increasing the corresponding host plant resources. Reasonable use of the behavioral characteristics of different flower-visiting insects can be made to pollinate specific plant resources.

Key words meadow grassland; flower visiting insects; flowering plant; flower-visiting behavior

新疆天然草原是我国重要的自然资源和生态屏障,是新疆少数民族最重要的聚集地,更是民族文化遗产的天然基础(张彦虎和李万明, 2014)。但由于近年来过度放牧、乱采滥挖、不合理的利用制度等原因,造成新疆天然草原不断退化(付建军, 2018)。本研究调查区域隶属新疆天山东部草原的一部分,也存在草原退化问题,草原退化进一步导致内部植被丰度减少,最终造成生物多样性丧失,生态系统遭到破坏。针对上述问题,哈密伊州区 2019 年退牧还草工程建设禁牧围栏 0.53 万 hm^2 ,用于改善和恢复草原生态环境(云晓娟, 2020),历经 3 年,当地草原生态恢复情况迫切需要被了解。

访花昆虫,是指在植物花朵上活动,提供传粉服务功能、维持生态系统平衡的重要生物类群(袁轲, 2020)。访花昆虫类群是草甸草原内生物多样性重要组成部分,在草原生态系统中,开花植物与访花昆虫一直保持着相互依存、互利共生的关系,花朵花粉量、花色及花蜜量等各项生态特征都会引导访花昆虫的访花行为,进而改变开花植物的繁殖效率,增加区域内开花植物丰富度(Sobreiro *et al.*, 2021)。已有研究证明,访花昆虫种类和数量随着开花植物丰富度和花朵数量的增加而增多(Wratten *et al.*, 2012)。Lefebvre 等(2018)在阿尔卑斯山上调查不同海拔高度下开花植物与访花昆虫相互关系,发现随着海拔高度升高,开花植物种类及数量逐渐减

少,进而影响访花昆虫种类和数量。腾悦等(2018)针对内蒙古不同围栏禁牧年限草场内调查访花昆虫种类,发现围栏禁牧后草场内的开花植物种类得到恢复,进而增加访花昆虫多样性。徐志峰等(2020)针对不同海拔梯度不同生境内蝴蝶多样性情况,发现低海拔地区开花植物种类单一,蝴蝶多样性较少,中或高海拔地区虽然温度低,但植物种类多,蝴蝶种类丰富度较低海拔地区也有所增加,因此掌握草甸草原内访花昆虫种类及活动规律,对了解与恢复草甸草原生态环境至关重要。

鉴于此,本研究调查天山东部夏季草甸草原访花昆虫种类及所访开花植物种类,分析访花昆虫与开花植物间的相互关系,研究优势访花昆虫的访花行为特点,揭示天山东部不同草原生境访花昆虫资源情况与访花行为规律,为当地草原生态系统的恢复以及生物多样性的保护提供依据与参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概括

研究区草原属于新疆天山东部天然草原,位于庙儿沟河上游,黄田农场北端喀尔里克山主峰——木尔提峰的南山坡上,距离哈密市约 100 km。该地区草原属于天山东部天然草原,受大陆性中温带干旱气候影响,年均降水量约 37 mm,年蒸

发量 2 771 mm, 7-9 月为该地最热季节, 平均温度达到 26.4 °C (徐国保等, 2009)。研究区域为人为控制围护, 不受放牧影响的围栏禁牧区域, 海拔 1 910 m, 北纬 42°56'44"-43°0'47", 东经 94°9'11"-94°14'60" 之间, 区域内主要以苜蓿 *Medicago sativa* 等栽培牧草为主, 此外还有蒲公英 *Taraxacum mongolicum*、朝天委陵菜 *Potentilla supina* 等多种野生开花植物。

1.2 调查方法

1.2.1 访花昆虫和开花植物种类 由于 6-8 月为区域内多种开花植物的盛花期, 因此访花昆虫种类调查选择在 2021 年 6-8 月, 利用扫网和网捕 2 种方法进行。在调查区域内设置 5 个 50 m×50 m 重复样点进行观察与捕捉, 每个样方相隔 200 m 以上。扫网法: 每 15 d 调查一次, 每个样地在东南西北 4 个方向各扫 100 复网, 每网间隔 2 m; 网捕法: 捕捉在花朵上停留或有访花行为的访花昆虫, 记录收集的访花昆虫, 制成针插标本或装入盛有 70% 酒精的离心管内, 在室内用双目式体视显微镜 (Nikon SMZ 745T) 详细观察访花昆虫的形态特征, 依据相关文献 (彩万志等, 2011; 张巍巍和李元胜, 2011) 进行形态学比对, 完成鉴定。开花植物种类调查选择 2021 年 6-8 月区域内被访花昆虫所访开花植物, 采集后制成植物标本保存, 依据《新疆北部野生维管植物图鉴》(杨宗宗等, 2021) 进行鉴定。

1.2.2 访花昆虫行为观察 于 2021 年 6-8 月, 选择晴天 08:00-18:00 时段, 随机选择样点内 10 m×10 m 的调查区域, 每小时观察 20 mins, 利用人为观察, 相机拍照和录像的方法, 记录出现在视野内的访花昆虫种类及数量。持续观察主要访花昆虫访花行为, 针对日活动高峰期的主要访花昆虫进行访花频率和停留时间的测定: 选择晴天日活动高峰期间, 利用摄像机拍摄记录访花昆虫访花行为, 再根据录像内容利用秒表记录主要访花昆虫在 1 min 内对开花植物的访花次数和单次访花停留时间, 重复观察 20 组 (王伟等, 2008)。

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS25.0 软件对访花行为间的显著性差异进行统计分析和比较, 应用最小显著差数法 (LSD) 进行差异显著性检验; 采用 GraphPad Prism.v5.0 软件对所记录的 3 种主要访花昆虫访花频率和单花停留时间数据进行分析 and 图像制作。

2 结果与分析

2.1 访花昆虫组成特点

调查实验区域后发现 (表 1), 2021 年 6-8 月天山东部草甸草原访花昆虫共有 5 目 17 科 33 种, 以膜翅目、双翅目和鳞翅目昆虫为主, 同时存在鞘翅目和半翅目的访花昆虫, 蜜蜂科随着时间推移相对密度呈现下降趋势, 熊蜂亚科只在 6 月出现; 双翅目昆虫相对密度在 7 月达到最高值; 鳞翅目昆虫相对密度 3 个月内保持在较低水平。

2.2 主要访花昆虫访花行为

针对 6-8 月天山东部草甸草原访花昆虫及所访开花植物种类进行调查后比较, 发现各月份访花昆虫种类和所访开花植物均存在变化。6 月访花昆虫与开花植物网络图 (图 1) 显示, 膜翅目共有 4 科昆虫访花, 其中蜜蜂科共访 10 种开花植物, 是数量最多, 所访植物种类最广的科。此外, 蜜蜂科是唯一访田旋花 *Convolvulus arvensis*、苦豆子 *Sophora alopecuroides*、手参 *Gymnadenia conopsea*、甘青铁线莲 *Clematis tangutica* 和米口袋 *Gueldenstaedtia verna* 的昆虫, 也是蒲公英的主要访花昆虫。双翅目访花昆虫中, 除食蚜蝇科昆虫访黄刺玫 *Rosa xanthina*、蛇床 *Cnidium monnieri* 和棉团铁线莲 *Clematis hexapetala* 3 种开花植物外, 其余双翅目昆虫仅访蛇床一种开花植物。所有鳞翅目访花昆虫均在蒲公英上发现访花行为。瓢甲科和蜻科分别是鞘翅目和半翅目仅有的一科, 其中瓢甲科以蛇床和棉团铁线莲为访花对象, 蜻科仅访棉团铁线莲一种开花植物。从植物角度出发, 蛇床是吸引访花昆虫科数最多的开花植物, 朝天委陵菜仅吸引膜翅目访花昆虫进行访问, 马蔺 *Iris lactea* 仅被蚁科作为访花对象。

表 1 2021 年 6-8 月草甸草原访花昆虫种类
Table 1 Species of insects visiting flowers in Hami Badashi meadow grassland from June to August 2021

目级分类 Order	6 月 June	7 月 July	8 月 August
膜翅目 Hymenoptera	蜜蜂科 Apoidae++++ 熊蜂亚科 Bombidae+++ 木蜂亚科 Xylocopinae+ 胡蜂科 Vespidae+ 泥蜂科 Sphecidae+	蜜蜂科 Apoidae+++ 胡蜂科 Vespidae+ 姬蜂科 Ichneumonidae+	蜜蜂科 Apoidae++ 胡蜂科 Vespidae+ 姬蜂科 Ichneumonidae+ 木蜂亚科 Xylocopinae+ 胡蜂科 Vespidae+ 泥蜂科 Sphecidae+
鳞翅目 Lepidoptera	蚁科 Formicidae++ 粉蝶科 Pieridae+ 蛱蝶科 Nymphalidae+ 灰蝶科 Lycaenidae+	粉蝶科 Pieridae++ 蛱蝶科 Nymphalidae+ 灰蝶科 Lycaenidae+	粉蝶科 Pieridae+ 灰蝶科 Lycaenidae+
双翅目 Diptera	食蚜蝇科 Calliphoridae+++ 丽蝇科 Vespidae+ 麻蝇科 Sarcophagidae++ 蝇科 Muscidae+	食蚜蝇科 Calliphoridae+++++ 丽蝇科 Vespidae++ 麻蝇科 Sarcophagidae+ 蝇科 Muscidae+++ 蜂虻科 Bombyliidae+	食蚜蝇科 Calliphoridae+++ 丽蝇科 Vespidae+ 蝇科 Muscidae++ 蜂虻科 Bombyliidae+
鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae+	瓢甲科 Coccinellidae++	瓢甲科 Coccinellidae+
半翅目 Hemiptera	蝽科 Pentatomidae+		

+表示访花昆虫的相对密度, 即为 0-5 头/m²; ++为 6-10 头/m²; +++为 11-15 头/m²; ++++为 > 15 头/m²。

+ stands for the number of flower visitors, namely + is 0-5 ind./m²; ++ is 6-10 ind./m²; +++ is 11-15 ind./m²; ++++ is > 15 ind./m².

7 月访花昆虫与开花植物网络图(图 2)与 6 月相比,半翅目访花昆虫未在开花植物上出现,膜翅目中蚁科和泥蜂科消失,出现姬蜂科访花昆虫,蜜蜂科所访植物种类减少为 7 种,但仍为访开花植物种类最多的访花昆虫。双翅目出现蜂虻科访花昆虫,且各科昆虫所访植物种类基本不变。开花植物方面,蛇床仍为吸引访花昆虫种类最广的开花植物,由于黄刺玫和蒲公英已过盛花期,导致鳞翅目昆虫将访问对象转移至蓟 *Cirsium japonicum* 和紫苜蓿 *Medicago sativa*。新增草木樨 *Melilotus officinalis* 和长裂苦苣菜 *Sonchus brachyotus* 2 种开花植物,且这 2 种开花植物仅被蜜蜂科作为访花对象。

8 月访花昆虫与开花植物网络图(图 3)与 7 月相比,访花昆虫种类及各科访花昆虫所访开花植物种类未发生变化。野韭 *Allium ramosum* 为 8 月新增开花植物,由于此时蛇床等多种开花植物处于盛花期末期,野韭成为双翅目访花昆虫的新对象。

2.3 主要访花昆虫访花频率及停留时间

针对西方蜜蜂 *Apis mellifera*、凹带食蚜蝇 *Syrphus nitens* 和斑缘豆粉蝶 *Colias erate* 3 种主要访花昆虫进行日活动规律调查,结果(图 4)表明,8:00 时西方蜜蜂(2.00±2.82)头/20 min、凹带食蚜蝇(1.52±2.12)头/20 min 和斑缘豆粉蝶(0.51±0.70)头/20 min 平均数量均处于最低值,8:00 以后 3 种访花昆虫平均数量均出现显著增高趋势,西方蜜蜂(17.50±4.94)头/20 min 和凹带食蚜蝇(17.54±0.71)头/20 min 在 12:00 时数量达到最高值。斑缘豆粉蝶(10.54±4.94)头/20 min 在 13:00 时数量达到最高值,3 种访花昆虫最高值均保持到 14:00 时,之后呈现下降趋势,斑缘豆粉蝶(7.53±0.68)头/20 min 在 16:00 时出现第 2 次小高峰后,继续开始降低。其中,在 11:00、12:00、13:00、14:00 和 15:00 这 5 个时间点上,斑缘豆粉蝶与另外 2 种访花昆虫日活动规律上存在显著性差异($P \leq 0.05$)。

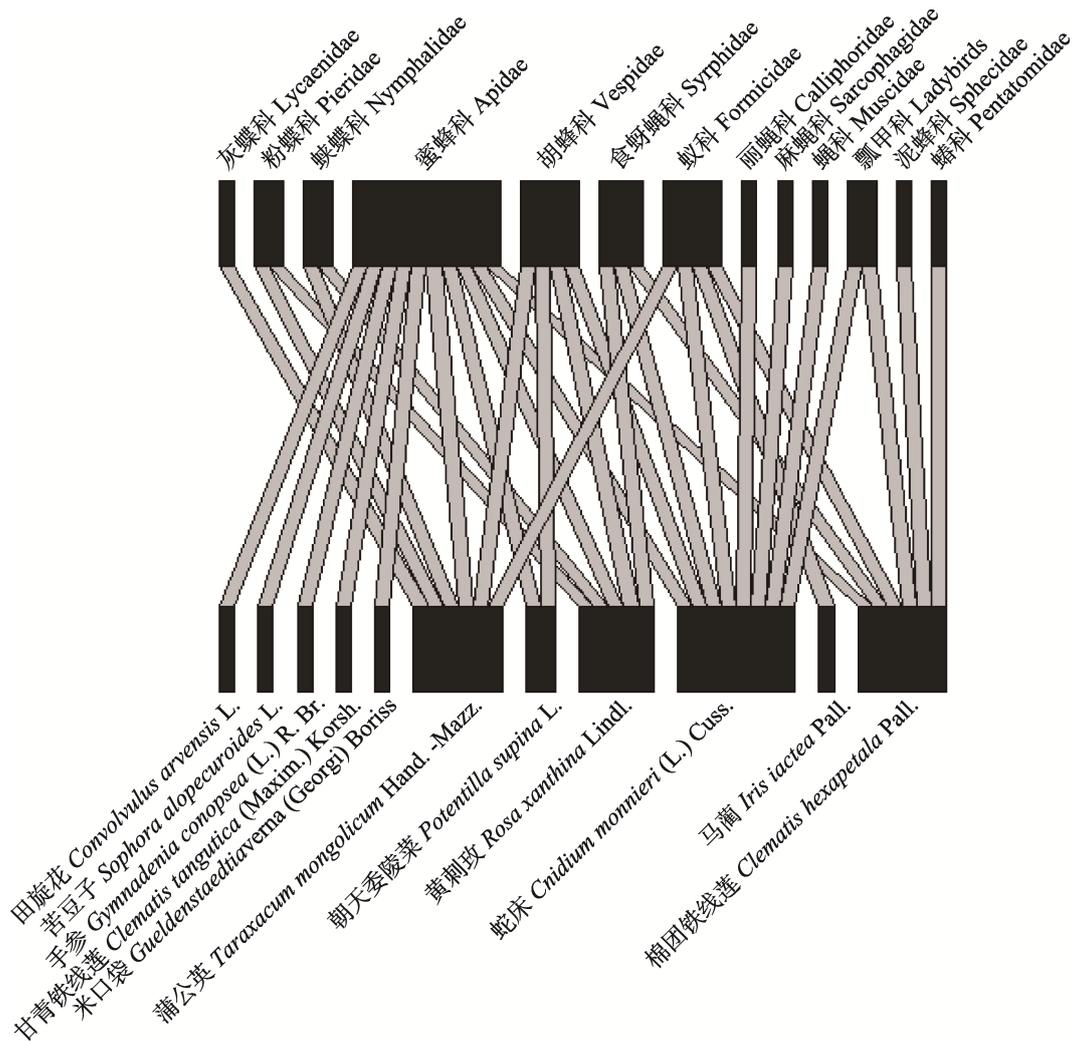


图 1 6 月访花昆虫及开花植物种类

Fig. 1 Flower visiting insects and flowering plant species in June

根据 3 种访花昆虫日活动规律, 选择日活动规律高峰期即 12:00-14:00 时间段对 3 种访花昆虫的访花频率 (图 5) 和停留时间 (图 6) 进行观察, 结果表明, 1 min 内西方蜜蜂访朝天委陵菜访花频率最大值为 17 朵, 最小值为 5 朵, 平均值为 (9.43 ± 2.27) 朵, 1 min 内访问 7 朵的概率最大, 其次是 8 朵、15 朵和 17 朵的概率最小, 且 1 min 内访问 7 朵的概率与 5、15 和 17 朵的概率存在显著性差异 ($P \leq 0.05$); 1 min 内凹带食蚜蝇访蛇床花频率最大值为 12 朵, 最小值为 1 朵, 平均值为 (5.30 ± 1.23) 朵, 1 min 内访问 4 朵的概率最大, 其次是 3 朵和 5 朵, 11 朵和 12 朵的概率最小, 且 1 min 内访问 4 朵的概率与 5、

15 和 17 朵的概率存在显著性差异 ($P \leq 0.05$); 1 min 内斑缘豆粉蝶访蓍访花频率最大值为 4 朵, 最小值为 1 朵, 平均值为 (1.58 ± 0.13) 朵, 1 min 内访问 1 朵的概率最大, 其次是 2 朵, 4 朵的概率最小, 且 1 min 内访问 1 朵的概率与 2 朵、3 朵和 4 朵的概率之间均存在显著性差异 ($P \leq 0.05$)。

西方蜜蜂访朝天委陵菜单花停留时间的最大值为 14.54 s, 最小值为 2.30 s, 平均为 (6.71 ± 1.45) s。停留时间在 6-8 s 的概率最大, 其次是 4-6 s, 14-16 s 的概率最小, 且停留时间在 6-8 s 的概率与 12-14 s、14-16 s 内的概率存在显著差异 ($P \leq 0.05$); 凹带食蚜蝇访蛇床单花停留时间

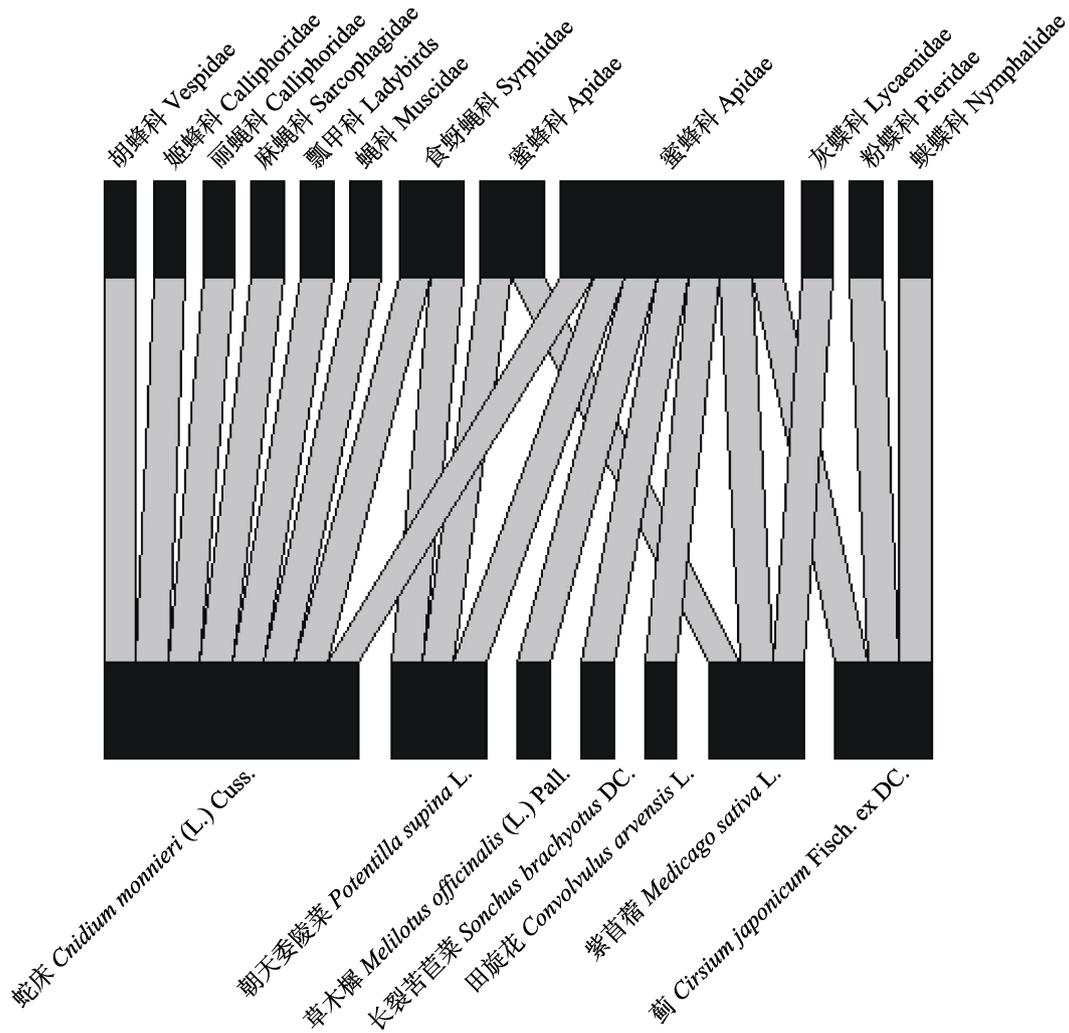


图 2 7 月访花昆虫及开花植物种类

Fig. 2 Flower visiting insects and flowering plant species in July

的最大值为 52.11 s, 最小值为 4.22 s, 平均为 (13.79±3.42) s, 停留时间在 10-12 s 的概率最大, 其次是 20-52 s, 18-20 s 内的概率最小, 且停留时间在 10-12 s 内的概率与 4-6 s、16-18 s 和 18-20 s 内的概率存在显著差异 ($P \leq 0.05$); 斑缘豆粉蝶访蓟单花停留时间的最大值为 62.43 s, 最小值为 2.60 s, 平均为 (10.42±2.90) s。停留时间在 8-10 s 的概率最大, 其次是 6-8 s 和 18-20 s 的概率最小, 且停留时间在 8-10 s 的概率与 2-4 s、10-12 s、12-14 s、14-16 s、16-18 s、18-20 s 及大于 20 s 的概率存在显著差异 ($P \leq 0.05$)。

综上所述, 蜜蜂科访朝天委陵菜在 1 min 内访花数在 9 朵左右, 平均访问一朵花的时间约为

6 s; 凹带食蚜蝇访蛇床在 1 min 内访花数在 5 朵左右, 平均访问一朵花的时间约为 13 s; 斑缘豆粉蝶访蓟在 1 min 内访花数在 1 朵左右, 平均访问一朵花的时间约为 10 s。

3 结论与讨论

草原野生开花植物与生境内访花昆虫关系是维护草原生态环境的主要问题之一 (Xu *et al.*, 2021), 访花昆虫为草原多种野生植物提供授粉服务, 同时部分访花昆虫具有害虫天敌身份, 能提供天然害虫防治, 为维护草原生态平衡提供巨大作用 (Scheper *et al.*, 2021)。本研究对天山东部草甸草原访花昆虫及所访开花植物种类进行

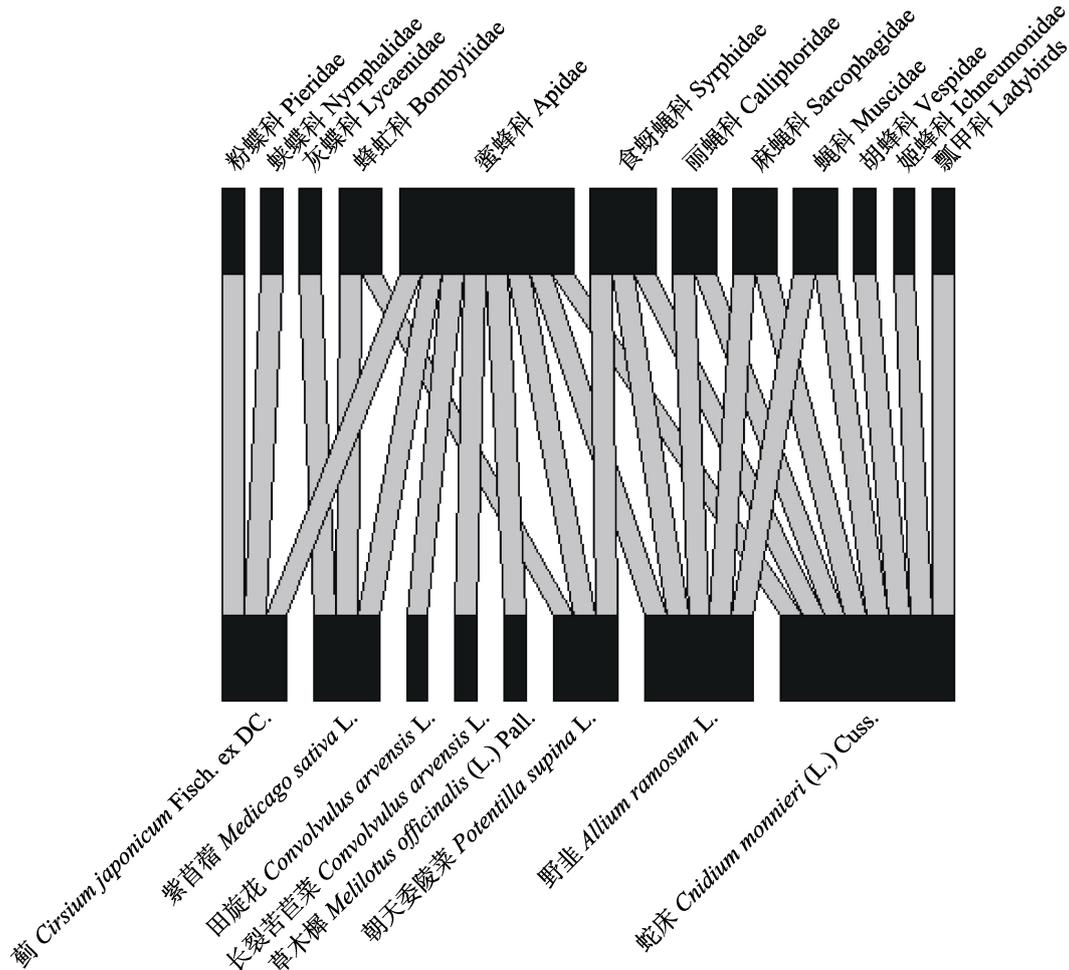


图 3 8 月访花昆虫及开花植物种类
 Fig. 3 Flower visiting insects and flowering plant species in August

调查发现, 区域内访花昆虫 33 种, 隶属 5 目 17 科, 不同月份之间各访花昆虫相对密度存在较小差异, 均以膜翅目、双翅目和鳞翅目为主。草甸草原内 15 种开花植物为当地访花昆虫提供丰富食物来源, 同时多种开花植物资源还具有较高药用价值。花色、气味以及花形构造是吸引访花昆虫的主要因素 (Teixeira *et al.*, 2004), 因此不同开花植物之间吸引的访花昆虫种类存在差异。换言之, 由于不同目之间的昆虫形态差异, 造成在访花选择方面出现差别, 其中朝天委陵菜和紫苜蓿主要吸引膜翅目访花昆虫, 蛇床和野韭主要吸引双翅目访花昆虫, 蓟主要吸引鳞翅目访花昆虫。

本研究中, 3 种主要访花昆虫在嗜好开花植物上的日活动规律都表现出较强的规律性, 早上气温低、露水多, 草甸草原内开花植物上的访花

昆虫数量少; 随着当日时间推移, 气温逐渐升高, 访花昆虫变得活跃, 在 12:00-14:00 时间段 3 种访花昆虫均达到日活动高峰期, 参考刘林德等 (2002) 和王怡等 (2012) 的结果, 猜测高峰期的产生可能与此时间段内的温度、昆虫生理状态、花粉散布程度以及花蜜含量有关。西方蜜蜂和凹带食蚜蝇的日活动平均数量较为相似, 明显高于斑缘豆粉蝶, 且多个时间段与斑缘豆粉蝶呈现显著性差异。不同访花昆虫的访花行为存在差异, 这与郝德君等 (2015) 研究结果相似。针对 3 种访花昆虫的行为比较发现, 西方蜜蜂的平均访花频率高于凹带食蚜蝇和斑缘豆粉蝶, 即西方蜜蜂可在 1 min 内多次访问委陵菜, 且不重复访问同一朵花, 访问时直接落在花药上觅食花蜜, 采集花粉时以前足抱握花药, 用后足快速收集,

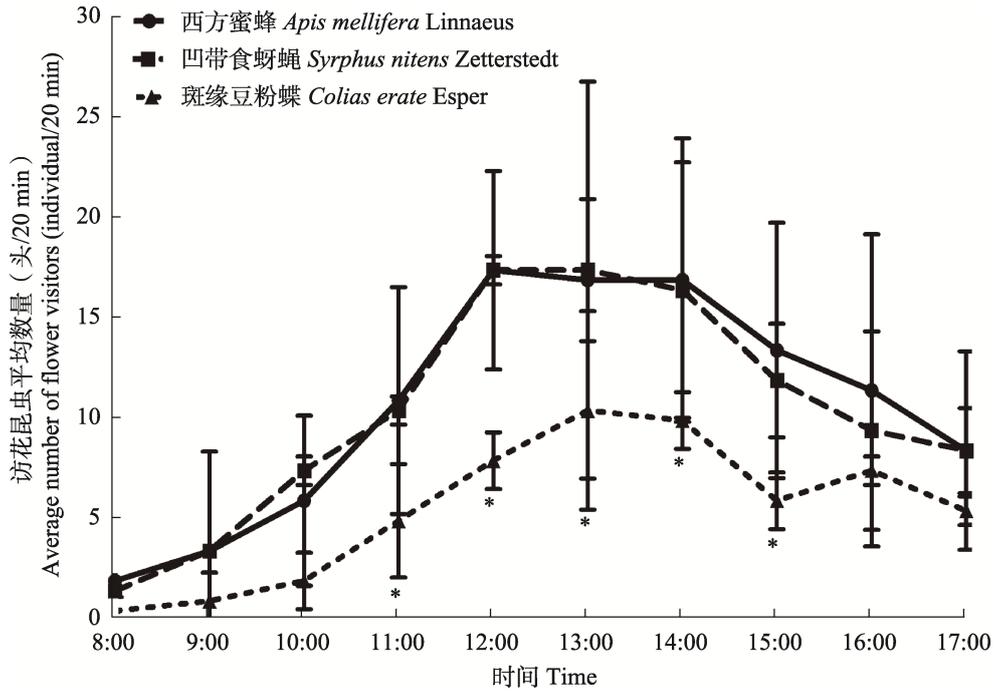


图 4 3 种访花昆虫日活动规律变化

Fig. 4 Changes in the daily activities of the three flower-visiting insects

折线上标有*表示差异显著 ($P \leq 0.05$, LSD 检验)。

Broken lines with * indicates significant differences at 0.05 level by LSD's test.

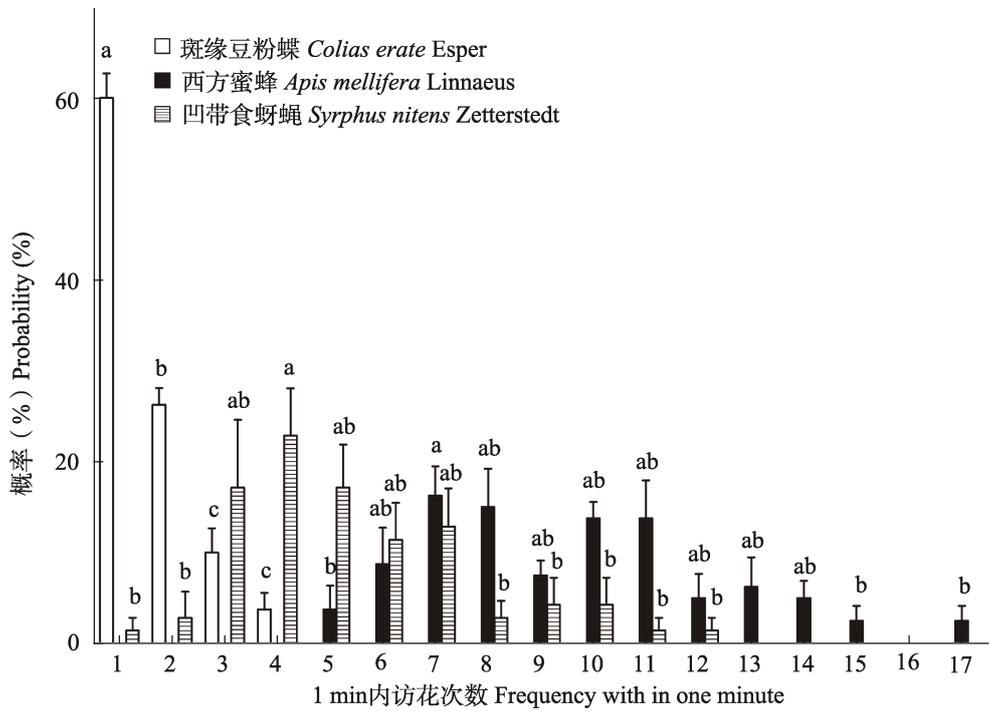


图 5 西方蜜蜂对朝天委陵菜、凹带食蚜蝇对蛇床和斑缘豆粉蝶对蓟 1 min 内的访花频率

Fig. 5 Frequency of flower visits within 1 minute by *Apis mellifera* to *Potentilla supina*, *Syrphus nitens* to *Cnidium monnieri* and *Colias erate* to *Cirsium japonicum*

柱上标有不同小写字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$, LSD 检验)。下同。

Histograms with different small letters indicate significant differences at 0.05 level by LSD's test. The same below.

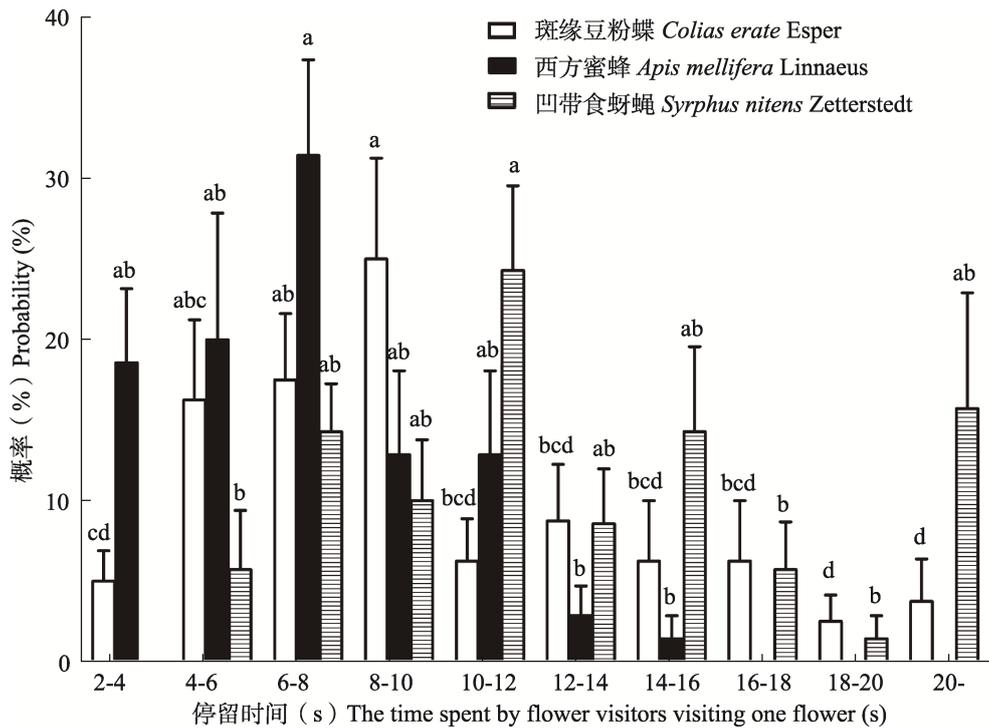


图 6 西方蜜蜂对朝天委陵菜、凹带食蚜蝇对蛇床和斑缘豆粉蝶对蓟 1 min 内的单花停留时间

Fig. 6 Duration of per flower by *Apis mellifera* to *Potentilla supina*, *Syrphus nitens* to *Cnidium monnieri* and *Colias erate* to *Cirsium japonicum*

与王伟等 (2008) 结果一致。而斑缘豆粉蝶在访问蓟时, 1 min 内很少进行多次访问, 通常仅在访问 1-2 朵, 且行为敏感, 极易受到环境或者竞争影响。单花停留时间方面, 西方蜜蜂低于凹带食蚜蝇和斑缘豆粉蝶, 其中斑缘豆粉蝶单花停留时间最长达到 62.43 s, 而凹带食蚜蝇在无外界其他因素干扰且花粉或花蜜足够充足情况下, 也会长时间对一株花朵进行长时间访问, 本次调查凹带食蚜蝇单花停留时间最长达到 52.11 s, 较长时间的单花停留时间导致了其 1 min 内访花次数略低于西方蜜蜂。

草地中开花植物种类丰富但花粉含量少, 又由于草原面积不断退化减少, 因此草原中的访花昆虫丰富度一直处于较低水平。除此之外, 人类在草原上的活动规模较大, 干扰了草原上访花昆虫的栖息地, 进一步影响访花昆虫多样性 (Abrahamczyk *et al.*, 2020; Nathan and Douglas, 2020)。本研究开展天山东部草甸草地访花昆虫及所访开花植物种类调查, 掌握当地主要访花昆虫群落结构及所访植物习性, 发现当地主要访花昆虫在开花植物上日活动高峰期的访花规律, 为

更好利用和保护当地草甸草原内的访花昆虫资源提供依据。针对访花昆虫受环境因素影响, 访花昆虫的访花行为节律以及不同植物花期对访花昆虫行为影响等内容, 尚需进一步研究。

参考文献 (References)

- Abrahamczyk S, Wohlgemuth T, Nobis M, Nyffeler R, Kessler M, 2020. Shifts in food plant abundance for flower-visiting insects between 1900 and 2017 in the canton of Zurich, Switzerland. *Ecological Applications*, 30(6): 47-59.
- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, 2011. General Entomology (Second Edition). Beijing: China Agriculture University Press. 214-360. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 2011. 普通昆虫学(第二版). 北京: 中国农业大学出版社. 214-360.]
- Fu JJ, 2018. Reasons for degradation of natural pastures and countermeasures. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 48(6): 88-89. [付建军, 2018. 天然草场退化的原因及防治对策. 甘肃畜牧兽医, 48(6): 88-89.]
- Hao DJ, Hu HT, Chen J, Chen RX, Ling MQ, Chen MY, 2015. Visiting insects species and their behavior characteristics of flowering plants in early spring in Nanjing city. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition)*, 39(1):

- 33–38. [郝德君, 胡海桃, 陈娟, 陈瑞旭, 凌梦沁, 陈梦义, 2015. 南京市早春访花昆虫种类及其行为研究. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 39(1): 33–38.]
- Lefebvre V, Villemant C, Fontaine C, Daugeron C, 2018. Altitudinal, temporal and trophic partitioning of flower-visitors in Alpine communities. *Scientific Reports*, 8(1): 1–12.
- Liu LD, Li W, Zhu N, Shen JH, Zhao HX, 2002. The relations among the nectar secretive rhythms, nectar compositions and diversities of floral visitors for both *Eleutherococcus senticosus* and *E. sessiliflorus*. *Acta Ecologica Sinica*, 22(6): 847–853. [刘林德, 李玮, 祝宁, 申家恒, 赵惠勋, 2002. 刺五加、短梗五加的花蜜分泌节律、花蜜成分及访花者多样性的比较研究. *生态学报*, 22(6): 847–853.]
- Nathan LH, Douglas AL, 2020. Grassland disturbance effects on first-instar monarch butterfly survival, floral resources, and flower-visiting insects. *Biological Conservation*, 243(4): 58–64.
- Scheper J, Bukovinszky T, Huigens ME, Kleijn D, 2021. Attractiveness of sown wildflower strips to flower-visiting insects depends on seed mixture and establishment success. *Basic and Applied Ecology*, 56(7): 41–47.
- Sobreiro AI, Peres LL, Henrique JA, Mussury RM, Alves-Junior VV, 2021. Recover and they'll come: Flower visiting bees benefit from the continuous of micro-environments set by regenerating forest fragments. *Sociobiology*, 68(1): e5861–e5861.
- Teixeira SDP, Borba EL, Semir J, 2004. Lip anatomy and its implications for the pollination mechanisms of *Bulbophyllum* species (Orchidaceae). *Annals of Botany*, 93(5): 499–505.
- Teng Y, 2018. Diversity and pollination behavior of flower-visiting insects in degraded typical steppe with different enclosure durations in Inner Mongolia. Master dissertation. Hohhot: Inner Mongolia University. [滕悦, 2008. 内蒙古典型草原不同围封年限样地访花昆虫多样性及访花行为. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古大学.]
- Wang W, 2008. Correlation between floral traits of chrysanthemum (*Dendranthema morifolium*) and insect visitors. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [王伟, 2008. 小菊花部特征及花冠精油组分与访花昆虫的相关性. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Wang W, Liu Y, Chen FD, Dai HG, 2008. Behaviour and activity rhythm of flower-visiting insects on *Chrysanthemum morifolium* in Nanjing suburb. *Chinese Journal of Ecology*, 27(7): 1167–1172. [王伟, 刘勇, 陈发棣, 戴华国, 2008. 南京郊区小菊花昆虫的行为与活动规律. *生态学杂志*, 27(7): 1167–1172.]
- Wang Y, Quan QM, Li YX, 2012. Effects of flowering period on nectar secretion and fruit set of *Epimedium wushanense* (Berberidaceae). *Plant Diversity*, 34(5): 471–477. [王怡, 权秋梅, 黎云祥, 2012. 开花时间对巫山淫羊藿花蜜分泌和结实的影响. *植物分类与资源学报*, 34(5): 471–477.]
- Wratten SD, Gillespie M, Decourtye A, Mader E, Desneux, N, 2012. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 159: 112–122.
- Xu GB, Liu XH, Chen T, An WL, Hou SG, Li ZQ, 2009. Temperature variations recorded in tree-ring width at timberline forest in Hami, Xinjiang. *Mountain Research*, 27(4): 402–410. [徐国保, 刘晓宏, 陈拓, 安文玲, 侯书贵, 李忠勤, 2009. 新疆哈密八大石森林上限树轮记录的温度变化信息. *山地学报*, 27(4): 402–410.]
- Xu X, Ren ZX, Trunschke J, Kuppler J, Zhao YH, Knop E, Wang H, 2021. Bimodal activity of diurnal flower visitation at high elevation. *Ecology and Evolution*, 11(19): 13487–13500.
- Xu ZF, Zhong W, Zhang DK, Hu HY, 2020. Diversity of butterfly communities in Jimusaer county, Xinjiang. *Biodiversity Science*, 28(8): 993–1002. [徐志峰, 钟问, 张东康, 胡红英, 2020. 新疆吉木萨尔县蝴蝶群落多样性. *生物多样性*, 28(8): 993–1002.]
- Yang ZZ, Chi JC, Ma M, 2021. Atlas of Wild Vascular Plants in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press. 97–877. [杨宗宗, 迟建才, 马明, 2021. 新疆北部野生维管植物图鉴. 北京: 科学出版社. 97–877.]
- Yuan K, 2020. Research on the effects of floa scent of *Medicago sativa* on its dominant flower visiting insects. Master dissertation. Changchun: Northeast Normal University. [袁轲, 2020. 紫花苜蓿花挥发物对其优势访花昆虫的影响研究. 硕士学位论文. 长春: 东北师范大学.]
- Yun XJ, 2020. The necessity for implementation of grazing prohibition by fencing in Karlik grassland of Xinjiang. *Grass-Feeding Livestock*, 2020(3): 58–61. [云晓娟, 2020. 喀尔里克山草场实施围栏禁牧工程必要性分析. *草食家畜*, 2020(3): 58–61.]
- Zhang WW, Li YS, 2011. Chinese Insects Illustrated. Chongqing: Chongqing University Press. 348–466. [张巍巍, 李元胜, 2011. 中国昆虫生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社. 348–466.]
- Zhang YH, Li WM, 2014. Research on the development of grassland eco-tourism industry in Xinjiang—Taking the grassland on the northern slope of East Tianshan as an example. *Journal of Southwest Minzu University (Humanities and Social Science)*, 35(11): 135–138. [张彦虎, 李万明, 2014. 新疆草原生态旅游产业发展研究——以东天山北坡草原为例. *西南民族大学学报(人文社会科学版)*, 35(11): 135–138.]