

DOI: 10.20103/j.stxb.202312282848

刘晓丽, 刘艺杉, 孟迪, 朱锐, 胡洋, 孙涛. 祁连山植被类型对蝗虫群落组成及多样性的影响. 生态学报, 2024, 44(18): 8304-8313.

Liu X L, Liu Y S, Meng D, Zhu R, Hu Y, Sun T. Influence of vegetation type on grasshopper community composition and diversity in the Qilian Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(18): 8304-8313.

## 祁连山植被类型对蝗虫群落组成及多样性的影响

刘晓丽<sup>1</sup>, 刘艺杉<sup>2</sup>, 孟迪<sup>1</sup>, 朱锐<sup>1</sup>, 胡洋<sup>1</sup>, 孙涛<sup>1,\*</sup>

1 淮北师范大学 生命科学学院, 淮北 235000

2 北京润禾泽源生态科技有限公司, 北京 101300

**摘要:** 调查祁连山草地不同植被类型蝗虫群落组成、数量和多样性, 揭示不同植被类型间草地蝗虫多样性分布规律, 为该草地生态系统蝗虫多样性形成、维持和种群数量调控提供科学依据。采用网捕法对祁连山荒漠草地、高山草地、高山草甸和高山灌丛蝗虫群落组成、丰富度以及多样性进行调查, 共捕到草地蝗虫个体数 1551 只, 隶属 5 科 41 种。植被类型对蝗虫群落组成、数量和多样性有显著影响。高山草地和荒漠草地各调查到 26 和 25 种蝗虫, 占全部物种数的 63.4% 和 60.9%, 高山草甸和高寒灌丛各调查到 18 和 10 种, 分别占总物种数 43.9% 和 24.4%。科分类单元下, 网翅蝗科和斑翅蝗科各含有 15 种和 13 种, 分别占所有物种数的 36.6% 和 21.7%, 为祁连山草地蝗虫优势类群。蝗虫物种丰富度、Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数表现为荒漠草地最高, 而高山灌丛最低。Simpson 多样性指数则是高山灌丛最大, 而高山草地最小。不同植被类型蝗虫群落相似性也有差异, 荒漠草地与高山草地和高山草甸间相似性较高, 而荒漠草地与高山灌丛之间相似性较小。冗余分析结果发现, 禾本科频度、豆科盖度及其生物量在祁连山草地蝗虫群落组成与分布变异的过程中发挥了关键作用。研究结果表明, 祁连山不同海拔、地形特征和放牧干扰相互耦合, 形成水热资源与植被群落特性异质性, 对蝗虫栖息、生存、生殖和食性产生了重要影响, 从而推动了不同植被类型草地蝗虫组成、分布和数量的变异。

**关键词:** 祁连山; 植被类型; 群落结构; 草地蝗虫; 多样性

## Influence of vegetation type on grasshopper community composition and diversity in the Qilian Mountains

LIU Xiaoli<sup>1</sup>, LIU Yishan<sup>2</sup>, MENG Di<sup>1</sup>, ZHU Rui<sup>1</sup>, HU Yang<sup>1</sup>, SUN Tao<sup>1,\*</sup>

1 College of Life Science, Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China

2 Beijing Wisteria Ecological Technology Company, Beijing 101300, China

**Abstract:** The grasshopper community composition, amount and species diversity were surveyed among four vegetation types in the Qilian Mountains to reveal the distribution patterns of grasshopper diversity among varying habitats. This research aims to offer scientific insights into the formation and maintenance of grasshopper diversity, as well as the regulation of population levels within rangeland ecosystems. The netting method was used to investigate the community composition, abundance, and diversity of grasshoppers across the desert rangeland, mountain rangeland, alpine meadow, and alpine brushlands of the Qilian Mountains. A total of 1 551 individuals of grasshoppers were collected, belonging to 5 families and 41 species. The composition, abundance, and diversity of grasshopper communities are significantly influenced by vegetation type. There were 26 and 25 species under mountain rangeland and desert rangeland, accounting for 63.9% and 60.9% of the total species, respectively. In alpine meadows and alpine brushlands, 18 and 10 species were surveyed,

**基金项目:** 安徽省教育厅自然科学基金项目(2022AH050382); 西藏自治区科技计划重点研发项目(XZ202301ZY0019N); 国家自然科学基金项目(31872413)

收稿日期: 2023-12-28; 网络出版日期: 2024-07-13

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunt231@126.com

accounting for 43.9% and 24.4% of the total species, respectively. In the taxonomic unit of family, Tettigoniidae and Acrididae contain 15 and 13 species, respectively, accounting for 36.6% and 21.7% of the total species diversity. They represent dominant groups among grasshoppers in the Qilian Mountains. In the desert rangeland, grasshopper species richness, Shannon-Wiener diversity index, and evenness index are the highest, whereas in the alpine brushlands, they are at their lowest. Conversely, the Simpson diversity index is highest in the alpine brushlands and lowest in the mountain rangeland. The similarities in grasshopper communities varied across different vegetation types, with the highest similarity observed between the desert rangeland and the mountain rangeland and alpine meadow. In contrast, the similarity is lower between the desert rangeland and alpine brushlands. The redundancy analysis results revealed that the frequency of gramineae the coverage of legumes, and their biomass played a crucial role in shaping the variation of grasshopper community composition and distribution in the Qilian Mountains grasslands. The results indicate that different altitudes, terrain characteristics, and grazing disturbances are coupled, leading to heterogeneity in water and thermal resources as well as vegetation community characteristics in the Qilian Mountains. This heterogeneity significantly influences the habitat, survival, reproduction, and feeding habits of grasshoppers, thereby driving variations in the composition, distribution, and abundance of grasshopper communities across different vegetation types.

**Key Words:** the Qilian Mountains; vegetation types; community structure; rangeland grasshopper; diversity

蝗虫多样性及其时空动态是草原生态系统长期演化产物,受周围环境和植被群落等因素制约<sup>[1]</sup>。蝗虫作为草原生态系统主要组分,其群落组成、数量、发生动态、空间分布不仅与气候、降雨、光照、地形和海拔等因子密切相关<sup>[2-5]</sup>,同时也受植被群落特征(结构、组成和多样性等)影响<sup>[6-7]</sup>。作为植食性动物,蝗虫主要依赖植物提供营养、栖息地、活动场所、繁殖场所和隐蔽场所。同时,植物的高度、盖度、组成、结构和生产力等因素对蝗虫群落的组成、结构和多样性产生重要作用<sup>[8-10]</sup>。环境中的水热资源会影响虫卵的孵化、卵块的空间分布格局和虫卵的生存能力,从而决定蝗虫在不同时间尺度上的种群多样性动态和发生数量动态<sup>[11]</sup>。由于植被和微气候水热资源等条件的差异,塑造了多样的生境类型,这对蝗虫群落组成、发生动态和适合度产生了重要影响<sup>[12-14]</sup>。此外,家畜放牧和草地管理等活动对草原造成的干扰,导致草原生态系统内部植被和微生境特征发生变化。这些变化不仅牵动生态系统各组分的耦合关系,更对蝗虫多样性时空格局产生影响,有时甚至可能引发蝗虫群落数量的急剧增长,进而对草原畜牧业生产带来严重危害<sup>[8,15]</sup>。此外,蝗虫作为重要的植食性无脊椎动物和初级消费者,在草原生态系统中扮演着关键角色,对物质循环、能量流动以及植物生产力和演替产生重要影响<sup>[2,13]</sup>。蝗虫因具有个体小、种群数量庞大、生殖潜能高以及对生境条件变异反应敏感等特点,它们被广泛应用作为生物指示剂,用于生态系统健康评估和生境条件监测<sup>[2,16]</sup>。因此,研究草地蝗虫群落组成、数量特征及多样性分布特征,优化草地资源管理利用策略以及制定有效的虫害防治措施具有极其重要的意义。

祁连山国家级自然保护区位于青藏、蒙新、黄土三大高原的交汇地带。这一区域不仅是我国西部重要的生态安全屏障和生物多样性保护优先区域,也是我国草地蝗虫灾害易发频发的地区。长期以来,受气候变暖的影响,加之过度放牧和垦殖等人为活动的干扰,祁连山的草地生态系统遭受严重破坏,植被的退化、水土流失的加剧以及草地超载过牧等问题,加剧了草地退化,毒杂草滋生蔓延和蝗灾发生频次,严重影响到草地生态系统中昆虫群落结构和多样性的时空动态和分布格局<sup>[17-19]</sup>。近些年来,针对祁连山草地蝗虫开展了一系列研究工作,就微地形因子与草地蝗虫物种丰富度之间关系<sup>[20]</sup>,高山草地蝗虫群落组成、发生时间动态及生物学特性<sup>[11]</sup>,生境类型对蝗虫生态空间分布格局的影响<sup>[21]</sup>,草地蝗虫物种数和多样性对放牧模式和毒杂草侵入的响应等方面进行了较为深入系统的研究<sup>[22-23]</sup>。然而,关于祁连山草地不同植被类型下蝗虫群落组成、发生数量和多样性的时空分布格局的研究较为有限,对不同植被类型对蝗虫多样性的影响机制了解甚少,尤其是缺乏大尺度系统性全面的调查和分析。因此,本研究选择了四种主要的植被群落类型,旨在系统研究草地

蝗虫的多样性和分布格局,以揭示其影响机制。该研究有助于明晰蝗虫多样性的形成过程及其与植被等因素的耦合关系,同时为揭示草地生态系统中蝗虫多样性的形成、维持条件和数量调控提供科学依据。

## 1 研究区概况

本研究区位于祁连山草地北坡甘肃省肃南和山丹县境内,地理位置 N 37°28′—39°49′, E 97°20′—102°13′。该地区海拔 1, 327—3, 816 m, 最热和最冷月均气温分别为 14.1℃ 和 -11.9℃, 年降水量 70—650 mm 左右, 主要集中于 6—9 月, 蒸发量 1828 mm, 相对湿度 55%, 年均日照时数 2200 h 以上, 相对无霜期 80—110d。土壤为山地栗钙土, pH 值 7.0—8.3。具有大陆性气候、高寒和高山气候特点。受地形和气候和海拔等因素影响, 植被性分布明显。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设计

在研究区内, 依照优势种植物组成、植被盖度、生物量和空间分布等特性, 分别选择以下植被类型作为蝗虫群落调查样地。分别为: 荒漠草地 (Desert Rangeland, MR)、高山草地 (Mountain Rangeland, AR)、高山草甸 (Alpine Meadow, AM)、高山灌丛 (Alpine Brushlands, AB)。每种植被类型样地面积大小约为 3 hm<sup>2</sup>, 有关不同植被类型样地基本信息见表 1。

### 2.2 蝗虫和植被群落调查

在每个植被群落样区中, 选择 3 个典型样带 (20 m×500 m), 样带间相距约 20 m, 每个典型样带内选取 3 个相距 10 m 面积约 2000 m<sup>2</sup> 样点, 采样点数为 27 个 (3 个植被群落×3 样带×3 样点)。每个植被类型样带选择地势平坦、草地利用方式、坡向和优势种组成一致。

表 1 不同植被类型基本概况

Table 1 The basic information of different vegetation types

| 植被类型<br>Vegetation type | DR   | MR   | AM   | AB   |
|-------------------------|--|--|--|--|
| 优势种<br>Dominancespecies | 驴驴蒿、芨芨草<br><i>Artemisidalai alme</i> ,<br><i>Achnatherum splendens</i> | 紫花针茅、赖草<br><i>Stipa purpures</i> ,<br><i>Aneurolopidium dasutachys</i> | 矮嵩草、高山嵩草<br><i>Kobrica humilis</i> ,<br><i>Ko. pygmaea</i> Willd | 山生柳、金露梅<br><i>Salix oritrepha</i> Schneid,<br><i>Potentilla fruticosa</i> L. |
| 盖度 Coverage/%           | 45   | 60   | 70   | 80   |
| 海拔 Altitude/m           | 1450—1520  | 2800—3000  | 3400—3500  | 2800—3950  |
| 年降水量 AR/mm              | 220  | 300  | 450  | 450  |
| 年均温 AMT/℃               | 5  | 1.5  | -5.4   | -3.1   |

DR: 荒漠草地 Desert rangeland; MR: 高山草地 Mountain rangeland; AM: 高山草甸 Alpine meadow; AB: 高山灌丛 Alpine Brushlands; AR: 年降水量 Annual rainfall; AMT: 年均温 Annual mean temperature

采用“Z”字型扫网法和样方框法进行蝗虫群落组成和发生数量的调查<sup>[24]</sup>。2018 年 6 到 9 月, 每月采样 1 次。具体采样方法及注意事项参照相关文献<sup>[6]</sup>。对采集到的蝗虫成虫标本进行现场鉴定和数量统计。对于幼虫或者现场难以辨识的标本, 经毒瓶致死并保存于 U 型管中带回实验室, 在体视显微镜下进行种类鉴定并统计个体数量。蝗虫分类鉴定参照《甘肃蝗虫图志》和《青藏高原的蝗虫》进行分类鉴定到种<sup>[25,26]</sup>。同年 8 月下旬, 在每个样区内随机设置 10 个样方, 测量各样方内植物群落的盖度、高度和生物多样性, 以及该草地类型优势种豆科和禾本科植物功能群的高度 (cm)、盖度 (%)、频度 (%) 和生物量。

### 2.3 数据处理

草地蝗虫群落  $\alpha$ 、 $\beta$  多样性采用相对多度、物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数, 相关计算见文献<sup>[27]</sup>。群落  $\beta$  多样性选择 Whittaker 指数 ( $\beta_w$ ) 和 Cody 指数 ( $\beta_c$ ), 群落相似性采用 Jaccard 指数和 Sorenson 指数, 具体计算公式参考文献<sup>[28]</sup>。草地蝗虫群落调查自取样开始, 将各样

点调查蝗虫群落组成和数量数据进行逐月累积,合并为每个采样点数据。再将各植被类型样地内 3 个样带合并 1 个完整样本数据,每个典型样地 3 个样本,用于统计分析不同植被类型蝗虫物种多样性的差异。利用冗余分析分析植物群落特征和蝗虫群落物种组成的相关性。冗余分析采用 CANOCO5.3 软件进行<sup>[29]</sup>,采用 SPSS 21.0 和 Excel 2016 软件对试验数据进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和相关图片制作,运用 Tukey HSD 进行各处理间数据差异性检验。

### 3 结果

#### 3.1 不同植被类型蝗虫群落组成与数量特征

祁连山不同植被类型草地蝗虫群落组成见图 1。本次共收集到 1551 只蝗虫个体,隶属 5 科 41 种。在祁连山 4 种植被群落中,网翅蝗科表现出明显优势地位,共包含 15 种,占总物种数的 36.6%。斑翅蝗科有 13 个种,占总物种数的 31.7%。癞蝗科、槌角蝗科和斑腿蝗科分别包含 6 种、4 种和 3 种蝗虫物种,分别占总物种数的 14.6%、9.8%和 7.3%。其中,亚洲小车蝗 (*Oedaleus asiaticus*) 和红翅皱膝蝗 (*Angaracris rhodopa*) 在荒漠草地和高山草地的数量较多,占有物种个体数的 10% 以上。癞蝗科中,除祁连山短鼻蝗 (*Filchnerella ilianshanensis*) 在高山草地有发现外,其它物种仅在荒漠草地被采集到。相对于其它植被类型,高山灌丛调查到蝗虫较少,主要以网翅蝗科和槌角蝗科为主。此外,不同草地植被群落中存在特有物种,如毛足棒角蝗 (*Dasyhippus barbipes*) 仅在高山草地和高山灌丛的样地中有发现。同时,一些蝗虫物种在各种植被类型中均有

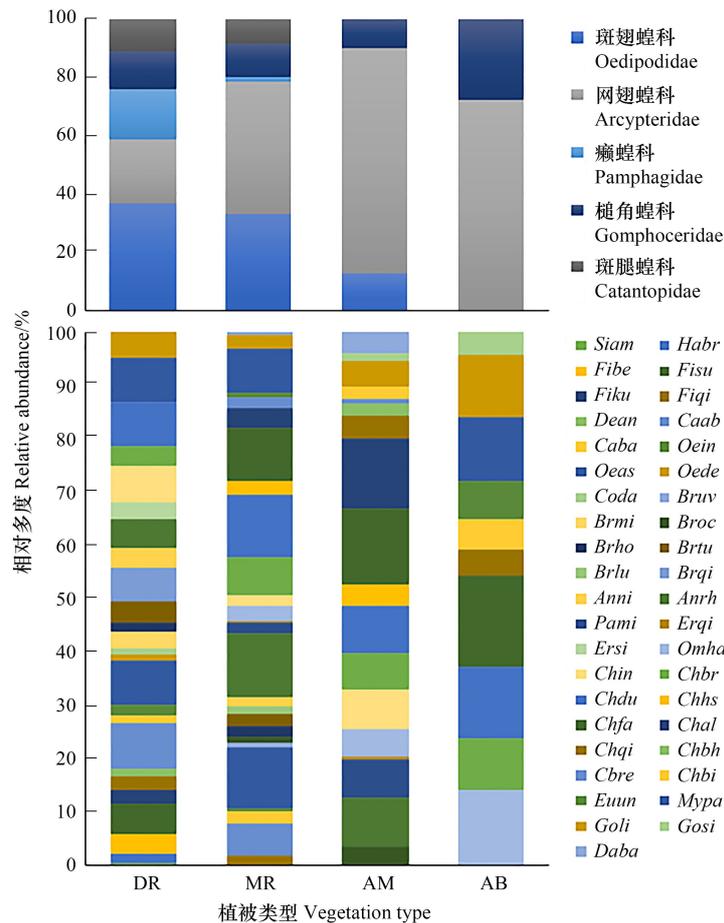


图 1 不同植被群落蝗虫群落组成及其相对多度/%

Fig.1 Composition and relative abundance (%) of grasshopper communities in different vegetation types

代码表示的蝗虫物种名见表附 1

分布,属于广布种,比如褐色雏蝗、狭翅雏蝗和李氏大足蝗(*Gomphocerus licenti*)。

### 3.2 不同植被类型蝗虫生物多样性

祁连山不同植被群落间蝗虫物种组成及其多度也存有较大差异(图1)。在高山草地调查到26种蝗虫,占有物种数的63.4%,荒漠草地和高寒灌丛分别调查到25和18种,各占总物种数的60.9%和43.9%。在高寒灌丛中,采集到10种蝗虫,占总物种数的24.4%。不同植被类型蝗虫相对多度和分布也有差异。荒漠草地蝗虫相对多度大于5%以上物种,多达7种以上,其中有短星翅蝗(*Calliptamus abbreviatus*)、狭翅雏蝗(*Chorthippus dubius*)和宽须蚁蝗(*Myrmeleotettix Palpalis*)相对多度高于8%,为荒漠草地优势种。高山草地蝗虫分布物种数较多、分布较为分散,其中亚洲小车蝗、红翅皱膝蝗和狭翅雏蝗相对多度均大于10%,为该植被类型绝对优势种。高山草甸蝗虫物种相对多度变化较大,小翅雏蝗(*Ch. fallax*)相对多度达到14.25%,白纹雏蝗(*Ch. albonemus*)次之,达到13.2%。同时,宽翅曲背蝗(*Paracryptera microptera meridionalis*)和红翅皱膝蝗相对多度也超过8%,为该类型植被类型优势种。高寒灌丛蝗虫各物种发生数量差异较大,小翅雏蝗和红腹牧草蝗(*Omocestus haemorrhoidalis*)相对多度分别达17.19%和14.35%,成为该植被类型优势种群。

不同植被群落类型间草地蝗虫群落物种的丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数差异显著(图2)。荒漠草地和高山草地的物种丰富度显著高于高山草甸和高山灌丛( $P < 0.05$ ),但荒漠草地与高山草地间没有显著差异( $P > 0.05$ )。Shannon-Wiener 多样性指数呈现为荒漠草地>高山草地>高山草甸>高山灌丛,且它们之间差异显著( $P < 0.05$ )。均匀度指数变化趋势与 Shannon-Wiener 多样性指数相似,从大到小的次序为荒漠草地、高山草地、高山草甸和高山灌丛。Simpson 多样性指数的最高值和最低值分别出现于高寒灌丛和高山草地,荒漠草地和高山草甸居中,两者之间未见明显差异( $P > 0.05$ )。

### 3.3 不同植被类型蝗虫群落间 $\beta$ 多样性与相似性

从群落间物种更替来看,不同植被类型之间草地蝗虫群落 Whittaker 指数和 Cody 指数变化趋势基本一致。荒漠草地与高山草地和高山草甸之间呈现较高值,而高山草地和高山灌丛之间,它们的值最小(表2)。但从基于物种组成的群落相似性角度来看,不同植被类型间蝗虫群落间  $\beta$  多样性呈现出不同变化趋势,Jaccard 指数和 Sørensen 指数最小值均在荒漠草地与高山草甸和高山灌丛之间,而最大值均在高山灌丛与高山草甸之间,Jaccard 指数和 Sørensen 指数次高值则均出现在荒漠草地和高山草地之间。

表2 不同植被群落蝗虫群落  $\beta$  多样性与相似性

Table 2 The  $\beta$  diversity and similarity of grasshopper communities in different vegetation types

|                   | Whittaker 指数<br>Whittaker indices | Cody 指数<br>Cody indices | Jarrard 指数<br>Jarrard indices | Sørensen 指数<br>Sørensen indices |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| DR 与 MR DR and MR | 0.45                              | 11.50                   | 0.38                          | 0.55                            |
| DR 与 AM DR and AM | 0.76                              | 16.50                   | 0.13                          | 0.23                            |
| DR 与 AB DR and AB | 0.77                              | 13.50                   | 0.13                          | 0.23                            |
| MR 与 AM MR and AM | 0.36                              | 8.00                    | 0.19                          | 0.32                            |
| MR 与 AB MR and AB | 0.61                              | 11.00                   | 0.24                          | 0.39                            |
| AM 与 AB AM and AB | 0.43                              | 6.00                    | 0.40                          | 0.57                            |

### 3.4 不同植被类型蝗虫群落数量和虫口密度

不同植被类型间蝗虫群落数量和蝗虫虫口密度差异显著(图3)。蝗虫种群数量由大到小次序为:高山草地>高山草甸>荒漠草地>高寒灌丛,且不同植被类型间差异达显著水平( $P < 0.05$ )。高山草地每200网采集蝗虫数量分别是高山草甸、荒漠草地和高山灌丛的1.3倍、2倍和3.4倍。采用无底样框法对蝗虫虫口密度的调查结果显示,高山草地蝗虫虫口密度最大,高寒灌丛蝗虫密度最小,且高山草地蝗虫虫口密度分别是高山草甸、荒漠草地和高山灌丛的2.3倍、2.6倍和7倍,统计分析显示不同植被类型间差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

### 3.5 蝗虫群落与植被特性 RDA 的分析

不同植被类型蝗虫种类与植物因子间关系 RDA 排序图可知(图4),第一轴解释了53.6%的变量信息,第

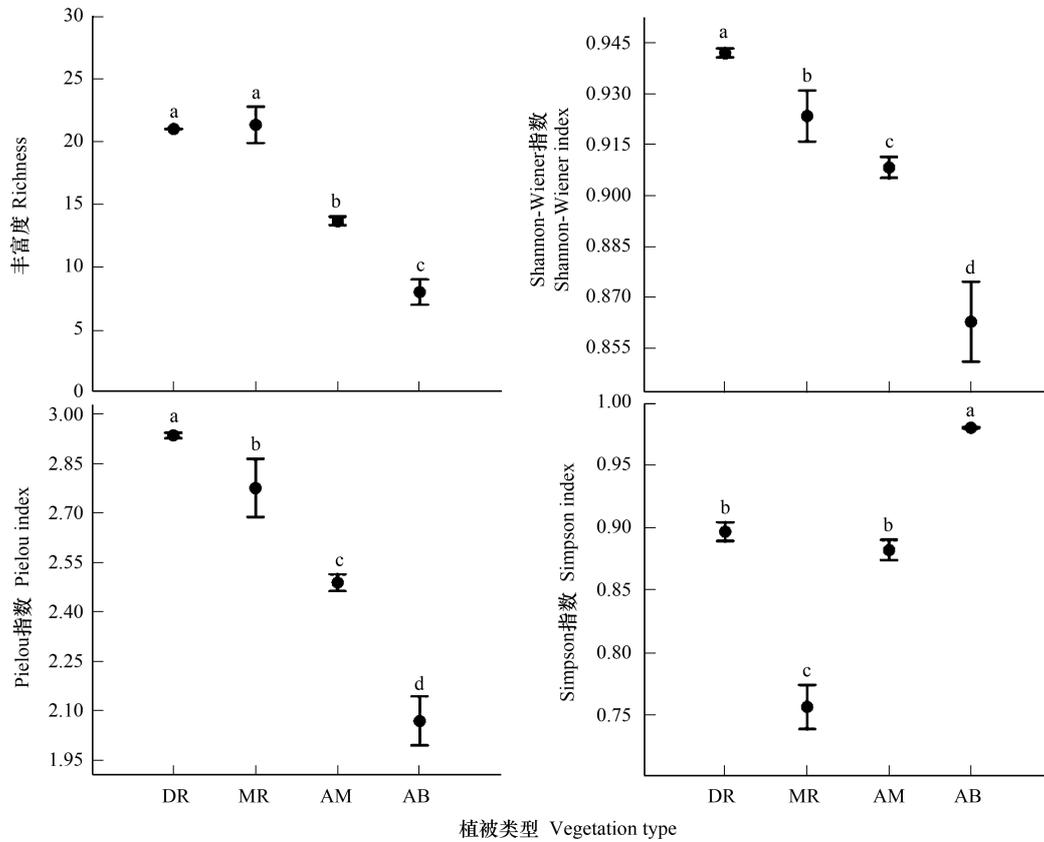


图 2 不同植被群落类型蝗虫多样性

Fig.2 Diversity of grasshopper communities in different vegetation types

不同小写字母表示不同植被类型间差异显著 ( $P < 0.05$ )

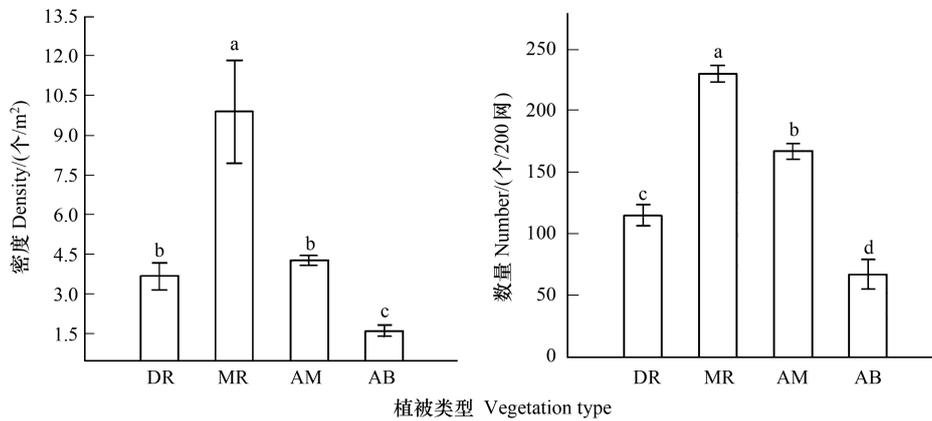


图 3 不同植被类型对蝗虫数量和密度的影响

Fig.3 Population densities (individuals /m<sup>2</sup>) and number (individuals per/200 net) of the grasshopper in different vegetation types

不同小写字母表示不同植被类型间差异显著 ( $P < 0.05$ )

二轴解释了 26.3% 的变异信息, 禾本科频度与生物量之间存在显著正相关, 而与豆科生物量和盖度呈负相关。结合蝗虫生态习性, 第一排序轴负方向蝗虫的种类体型较大, 在高山草地和高山灌丛中占有优势地位, 而正方向物种, 如短角雏蝗、狭翅雏蝗、红翅皱膝蝗和白边痂蝗等在高山草地分布更多。因此, 可初步推测第一排序轴反映了禾本科植物数量与盖度的关系, 从左到右禾本科植物频度减小, 豆科植物盖度增加。与第一排序轴

关系最为密切的植被因子是禾本科植物频度,它们之间呈现显著的负相关性。第二排序轴主要由植物生物量决定,自下而上,豆科和禾本科植物生物量逐渐增加,而豆科植物盖度则在减少。可以看出,以禾本科植物频度、豆科植物盖度以及两者的生物量对祁连山草地蝗虫群落组成与分布产生重要影响。

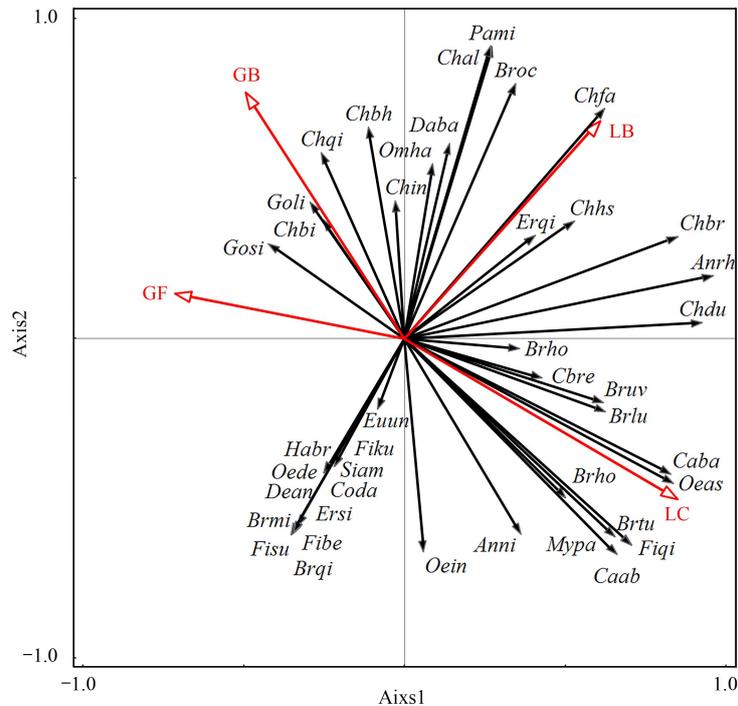


图4 蝗虫种类与植被关系的 RDA 二维排序图

Fig.4 The RDA two-dimensional ordination diagram of grasshopper species and vegetation

黑色箭头代表蝗虫种类,红色箭头代表植被因子;LC 为豆科盖度;GF 为禾本科频度;GB 和 LB 分别为禾本科和豆科生物量

## 4 讨论

### 4.1 不同植被类型草地蝗虫组成特征

祁连山不同植被类型间蝗虫群落组成的显著差异,与不同植被类型下植被群落组成、结构层次、功能群以及蝗虫所处微环境和食物资源有密切的关系<sup>[3,17,22]</sup>。植物既是蝗虫主要食物源,更是其栖息、躲避天敌和不良天气的理想场所<sup>[16,19]</sup>。本研究中,因地形、海拔、坡向及其引发的水热资源分布和人为活动强度的差异,导致不同植被类型的草地在物种多样性、优势种植物物候、植被层次结构以及生物量方面呈现出时空尺度上的显著差异,它们进一步对蝗虫群落组成和物种分布产生影响,进而成为制约其分布格局的重要因素。四种植被类型中,荒漠草地有其特有种,如友谊华癩蝗、笨蝗、裴氏短鼻蝗、肃南短鼻蝗和祁连山痲蝗,它们通常体型较大,大多以地栖型为主,就其原因主要与荒漠草地植被稀疏、覆盖度小、低海拔热量资源充足以及地表沙质土壤,适宜蝗虫产卵、越冬、孵化和体型较大的地栖型蝗虫繁殖、生长<sup>[23,30]</sup>。高山灌丛蝗虫物种及其发生数量相对较少,主要以植栖型雏蝗属为主,其中,小翅雏蝗和狭翅雏蝗相对多度占比超 30%。这可能与高山灌丛地处高海拔、年均温较低,降水多,导致早期发生蝗虫的孵化和虫卵的发育过程受限,适宜该植被类型的蝗虫物种数减少<sup>[3,7]</sup>。高山草地植物物种丰富、植被群落层次结构复杂以及水热资源充足,这为草地蝗虫提供了多样的食物来源、栖息生境和产卵场地,既有中大体型植栖型和兼栖型类群,如皱膝蝗属、痲蝗属和星翅蝗属,也有体型较小、植栖型的雏蝗属等类别。因此,高山草地蝗虫呈现较高的物种丰富度和发生数量。

### 4.2 不同植被类型蝗虫多样性和数量特征

生物多样性是多种非生物和生物因子相互作用的结果<sup>[30]</sup>。在草地生态系统中,植被群落演替、水分、温

度、地形地貌以及人类活动等环境因子都可能对群落中的蝗虫多样性和发生数量产生不同程度的影响<sup>[12,19,31]</sup>。本研究发现不同植被类型环境异质性影响了蝗虫多样性特性。高山灌丛物种丰富度、多样性指数和均匀度指数显著低于其他植被类型。就其原因可能与高山灌丛样地高海拔形成低温、高湿微环境下,蝗虫的有效发育时间较短,部分早期种和晚期种因温度限制而未能成功孵化。此外,高山灌丛降水较多,较高的土壤水分含量对蝗虫卵的越冬和孵化产生了不利影响<sup>[10,23]</sup>。另外,家畜放牧活动也是导致高山灌丛和高山草甸蝗虫物种和数量较少一个因素。研究表明,家畜放牧通过改变植物高度,土壤水分含量、土壤孔隙和土壤结构,影响蝗虫产卵和孵化,进而引发物种和群落数量变化<sup>[22,30,32]</sup>。祁连山草地主要通过家畜轮牧方式利用,在蝗虫发生季,家畜主要散布在作为夏季牧场的高山草甸和高山灌丛。在此期间牛羊啃食、踩踏等放牧行为影响植被群落组成和生物量,进而对蝗虫的物种和发生数量产生影响。同时,放牧行为还通过扰动土壤特性进而间接干扰和破坏蝗虫产卵空间、虫卵的孵化以及若虫的生长发育<sup>[33]</sup>。与高山灌丛和草甸不同,荒漠草地和高山草地海拔较低,地势较为平坦,其水热资源可满足不同发生期蝗卵孵化、生长发育需求,导致蝗虫物种丰富度和发生数量较高。这两种植被类型通常作为冬春季牧场,蝗虫发生期很少受家畜放牧干扰。以上这些因素叠加,便于蝗虫孵化、生长、栖息、交配和产卵,从而有助于蝗虫丰度和数量的增加。

#### 4.3 植被因子对草地蝗虫群落组成和多样性的影响

草地生态系统中,除环境因素和人类活动外,植被因子在草地蝗虫组成和多样性形成过程中发挥重要作用<sup>[31,34]</sup>。不同植被类型间植物群落组成、结构、空间层次和生物量的差异,导致植物营养功能群组成、频度、高度和盖度等特性的变化<sup>[4,8,33,35]</sup>。不同植被类型优势种组成、生活型、物候、空间结构和营养成分上存在差异,在漫长进化历程中,为了与所处植被的特性相契合,蝗虫通过不断调整发生时期、优化体型特征、增强生殖能力、适应营养需求以及完善代谢特征,来确保与周围植被环境的协调性同步性<sup>[3,10,30]</sup>。不同植被类型植物冠层、茎叶空间数量和分布格局不同,导致承接蝗虫栖息的叶面张力、植被覆盖度和地表凋落物数量的变异,不仅能影响蝗虫栖息生境、取食和交配场所,还能引起土壤微生境气候(如可利用光、土壤温湿度)的差异<sup>[36]</sup>。它们对蝗卵越冬、发育孵化、以及幼虫发育和生理机能等方面有重要影响<sup>[34]</sup>。根据排序分析结果,发现禾本科植物的频度、豆科植物的盖度,以及它们生物量大小,是影响草地蝗虫群落组成与分布的主要植被因子。草地生态系统中,禾本科和豆科植物群落因具有较高的群落高度,为植栖型蝗虫提供了良好的视野,有助于它们在寻找食物、争夺配偶和躲避天敌的竞争中占据优势<sup>[37]</sup>。此外,植物的化学成分影响蝗虫的取食、生长和繁殖。不同种类的蝗虫取食偏好不同,亚洲小车蝗和宽须蚁蝗选择禾本科植物,而短星翅蝗更喜欢菊科植物<sup>[38]</sup>。前期研究发现,植物中高氮含量促进了植食性昆虫的多样性和丰度<sup>[39]</sup>。然而,有研究指出,亚洲小车蝗更倾向于选择氮含量较低的植物,这可能导致在过度放牧的草场中蝗虫数量增加<sup>[40]</sup>。在祁连山的不同植被类型中,随着植物特性多样化,草地蝗虫取食、栖息、存活和繁殖选择随之改变,从而引发了植被群落与蝗虫物种组成及多样性之间密切的生态关联性,形成了不同植被类型下植物因子驱动的蝗虫多样性分布格局。

## 5 结论

本研究对祁连山的四种植被类型下,环境与植被异质性对草地蝗虫群落组成、发生数量、分布特征和多样性的影响进行了较为全面的调查研究。结果发现,祁连山不同植被类型间蝗虫群落组成与多样性特性的显著差异。就其原因,首先不同植被类型因海拔、地形等环境因子的变异形成的水热资源要素对蝗虫的产卵、孵化、羽化和生殖行为产生影响,进而驱动蝗虫发生期、物种和发生数量特性的变化;其次,不同植被类型间放牧干扰和植物物种多样性垂直分布格局,引起植被群落的组成、功能群、高度、盖度和空间层次结构的不同,造成蝗虫的栖息生境、生活场所和生殖繁衍微生境的分离,形成草地蝗虫分布区域性、可塑性和多样性。总之,祁连山海拔、地形和放牧干扰相互耦合,形成的水热资源与植被群落特性异质性,对草地蝗虫的生长、栖息、食性和分布格局产生重要影响,有助于形成不同植被类型下草地蝗虫组成、分布和多样性的空间格局。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] Franzke A, Unsicker S B, Specht J, Koehler G, Weisser W W. Being a generalist herbivore in a diverse world: how do diets from different grasslands influence food plant selection and fitness of the grasshopper *Chorthippus parallelus*? *Ecological Entomology*, 2010, 35(2): 126-138.
- [ 2 ] 陈永林. 蝗虫生态种及其指示意义的探讨. *生态学报*, 2001, 21(1): 156-158.
- [ 3 ] Gebeyehu S, Samways M J. Topographic heterogeneity plays a crucial role for grasshopper diversity in a southern African megabiodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15(1): 231-244.
- [ 4 ] Fartmann T, Poniatowski D, Holtmann L. Habitat availability and climate warming drive changes in the distribution of grassland grasshoppers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 320, 107565.
- [ 5 ] 李金星, 管廷贤, 布仁代, 李荣才, 靳茜, 道尔洪·毕亚克, 张希永, 刘兴义, 任金龙, 赵莉. 基于 DCA 和 CCA 分析博州草原优势蝗虫与生态因子的关系. *草业科学*, 2023, 40(5): 1378-1386.
- [ 6 ] Branson D H, Sword G A. Grasshopper herbivory affects native plant diversity and abundance in a grassland dominated by the exotic grass *Agropyron cristatum*. *Restoration Ecology*, 2009, 17(1): 89-96.
- [ 7 ] Humphreys J M, Srygley R B, Lawton D, Hudson A R, Branson D H. Grasshoppers exhibit asynchrony and spatial non-stationarity in response to the El Niño/Southern and Pacific Decadal Oscillations. *Ecological Modelling*, 2022, 471, 110043.
- [ 8 ] 胡靖, 钱秀娟, 刘长仲. 高山草地蝗虫群落生物多样性和空间聚集强度对植物群落的响应. *植物保护学报*, 2021, 48(1): 202-211.
- [ 9 ] Perner J, Wytrykush C, Kahmen A, Buchmann N, Egerer I, Creutzburg S, Odat N, Audorff V, Weisser W W. Effects of plant diversity, plant productivity and habitat parameters on arthropod abundance in montane European grasslands. *Ecography*, 2005, 28(4): 429-442.
- [ 10 ] Stein C, Unsicker S B, Kahmen A, Wagner M, Audorff V, Auge H, Prati D, Weisser W W. Impact of invertebrate herbivory in grasslands depends on plant species diversity. *Ecology*, 2010, 91(6): 1639-1650.
- [ 11 ] 孙涛, 龙瑞军, 刘志云. 祁连山高山草地蝗虫群落组成、发生时间动态及生物学特性. *应用环境与生物学报*, 2010, 16(4): 550-554.
- [ 12 ] 栗金丽, 周国娜, 高明, 潘凡, 高立杰. 河北省坝上红松洼草原蝗虫群落结构与多样性调查. *植物保护学报*, 2021, 48(1): 195-201.
- [ 13 ] Unsicker S B, Franzke A, Specht J, Köhler G, Linz J, Renker C, Stein C, Weisser W W. Plant species richness in montane grasslands affects the fitness of a generalist grasshopper species. *Ecology*, 2010, 91(4): 1083-1091.
- [ 14 ] Fielding, D. Optimal diapause strategies of a grasshopper, *Melanoplus sanguinipes*. *Journal of Insect Science*, 2006, 6(2): 1-16.
- [ 15 ] 刘敏敏, 赵鸿彬, 张圣微, 叶德成, 林汐, 赵星宇, 王帅. 放牧到禁牧对草地土壤有机碳累积及其主控因子的影响. *生态学报*, 2023, 43(21): 8739-8748.
- [ 16 ] 郑成卓, 刘恒亮, 王兴铎, 董子信, 付连海, 刘长仲, 钱秀娟. 祁连山天然草原蝗虫物种多样性研究. *应用昆虫学报*, 2023, 60(5): 1592-1600.
- [ 17 ] 王川, 王丽莎, 张勇勇, 赵文智, 冯相艳. 2000—2020 年祁连山植被净初级生产力时空变化及其驱动因素. *生态学报*, 2023, 43(23): 9710-9720.
- [ 18 ] 马亚春, 张洁, 高亚敏, 姚拓, 李海云, 李昌宁, 金艳丽. 祁连山不同退化草地土壤养分变化特征及质量综合评价. *草地学报*, 2022, 30(7): 1621-1629.
- [ 19 ] 孙涛, 赵景学, 田莉华, 刘志云, 龙瑞军. 草地蝗虫发生原因及可持续管理对策. *草业学报*, 2010, 19(3): 220-227.
- [ 20 ] 李丽丽, 赵成章, 殷翠琴, 王大为, 张军霞. 黑河上游天然草地蝗虫物种丰富度与地形关系的 GAM 分析. *昆虫学报*, 2011, 54(11): 1312-1318.
- [ 21 ] 赵成章, 李丽丽, 王大为, 殷翠琴, 盛亚萍. 黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局. *生态学报*, 2012, 32(13): 4166-4172.
- [ 22 ] 孙涛, 陈强, 赵亚雄, 龙瑞军. 祁连山高山草地毒杂草侵入对蝗虫相对多度的影响. *草业学报*, 2013, 22(3): 85-91.
- [ 23 ] 胡靖, 钱秀娟, 刘长仲. 放牧模式对高山草地蝗虫群落生物多样性的影响及其作用机制. *植物保护学报*, 2021, 48(1): 212-220.
- [ 24 ] Evans E W. Grasshopper (Insecta: Orthoptera: Acrididae) assemblages of tallgrass prairie: Influences of fire frequency, topography, and vegetation. *Canadian Journal of Zoology*, 1988, 66(7): 1495-1501.
- [ 25 ] 甘肃省蝗虫调查协作组. 甘肃蝗虫图志. 1985, 兰州: 甘肃人民出版社, 1-265
- [ 26 ] 印象初. 1984. 青藏高原的蝗虫. 北京: 科学出版社, 1-168
- [ 27 ] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 1994. 北京: 中国科学技术出版社, 1-237.
- [ 28 ] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [ 29 ] 赖江山. 生态学多元数据排序分析软件 Canoco5 介绍. *生物多样性*, 2013, 21(6): 765-768
- [ 30 ] Schwarz C, Fartmann T. Traditional grazing management creates heterogeneous swards and fosters grasshopper densities. *Insect Science*, 2022, 29(6): 1805-1818.
- [ 31 ] van der Mescht, A C, Codron, D. Mountains and their ecotones increase landscape heterogeneity and maintain a unique assemblage of grasshoppers in the southern Kalahari. *Ecological Entomology*, 2023, 48(2): 226-239.
- [ 32 ] Guo W, Ma C, Kang, L. Community change and population outbreak of grasshoppers driven by climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 2024, 61, 101154.
- [ 33 ] Ortis G, Mazzon L, Marini L. Effect of summer temperature on prolonged diapause of Tettigoniidae (Orthoptera) under realistic field conditions. *Journal of Insect Physiology*, 2023, 146, 104499.
- [ 34 ] 康乐, 陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究. *昆虫学报*, 1994, 37(2): 178-189.
- [ 35 ] Allen W J, Waller L P, Barratt B I, Dickie I A. Puke or poop? Comparison of regurgitate and faecal samples to infer alpine grasshopper (*Paprides nitidus* Hutton) diet in experimental plant communities. *Ecology and Evolution*, 2023, 13(8), e10444.
- [ 36 ] Wang D, Nkurunziza V, Barber N A, Zhu H, Wang J. Introduced ecological engineers drive behavioral changes of grasshoppers, consequently linking to its abundance in two grassland plant communities. *Oecologia*, 2021, 195(4): 1007-1018.
- [ 37 ] Branson, D H. Grasshopper feeding preference affects cascading effects of predators on plant biomass in a mixed-grass prairie. *Food Webs*, 2022, 31, e00224.
- [ 38 ] 卢辉, 韩建国. 典型草原三种蝗虫种群死亡率和竞争的研究. *草地学报*, 2008, 16(5): 480
- [ 39 ] Haddad NM, Haarstad J, Tilman D. The effects of long-term nitrogen loading on grassland insect communities. *Oecologia*, 2000, 124: 73-84.
- [ 40 ] Cease A J, Elser J J, Ford C F, Hao S, Kang L, Harrison J F. Heavy livestock grazing promotes locust outbreaks by lowering plant nitrogen content. *Science*, 2012, 335, 467-469.

附表 1 RDA 排序中蝗虫种类名称及其代码

Appendix table 1 Species and their codes of grasshopper for RDA

| 种名 Species                                      | 代码 Code | 种名 Species                           | 代码 Code |
|---|---------|--------------------------------------|---------|
| 黄胫小车蝗 <i>Oedaleus infernalis</i>                | Oein    | 小翅雏蝗 <i>Ch. fallax</i>               | Chfa    |
| 亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>                       | Oeas    | 白纹雏蝗 <i>Ch. albonemus</i>            | Chal    |
| 黑条小车蝗 <i>O. decorus</i>                         | Oede    | 青藏雏蝗 <i>Ch. qingzangensis</i>        | Chqi    |
| 大胫刺蝗 <i>Compsorhipes davidiana</i>              | Coda    | 华北雏蝗 <i>Ch. Brunneus huabeiensis</i> | Chbh    |
| 尤氏痲蝗 <i>Bryodema uwarovi</i>                    | Bruv    | 短角雏蝗 <i>Ch. brevicornis</i>          | Cbre    |
| 青海痲蝗 <i>B. miramae miramae</i>                  | Brmi    | 异色雏蝗 <i>Ch. biguttulus</i>           | Chbi    |
| 黄翅痲蝗 <i>B. ochrooenna</i>                       | Broc    | 素色异爪蝗 <i>Euchorthippus unicolor</i>  | Euun    |
| 黄胫异痲蝗 <i>B. holdereri holdereri</i>             | Brho    | 友谊华痲蝗 <i>Sibotmethis amicus</i>      | Siam    |
| 轮纹痲蝗 <i>B. tuberculatum dilutum</i>             | Brtu    | 笨蝗 <i>Haplotropis brunneriana</i>    | Habr    |
| 白边痲蝗 <i>B. luctuosum luctuosum</i>              | Brlu    | 裴氏短鼻蝗 <i>Filchnerella beicki</i>     | Fibe    |
| 祁连山痲蝗 <i>B. qilianshanensis</i>                 | Brqi    | 肃南短鼻蝗 <i>F. sunanensis</i>           | Fisu    |
| 黑翅皱膝蝗 <i>Angaraeris nigripennis</i>             | Anni    | 青海短鼻蝗 <i>F. kukunris</i>             | Fiku    |
| 红翅皱膝蝗 <i>A. rhodopa</i>                         | Anrh    | 祁连山短鼻蝗 <i>F. qilianshanensis</i>     | Fiqi    |
| 宽翅曲背蝗 <i>Pararcyptera microptera meridional</i> | Pami    | 宽须蚁蝗 <i>Myrmeleotettix palpalis</i>  | Mypa    |
| 祁连山蚰蝗 <i>Eremippus qilianshanensis</i>          | Erqi    | 李氏大足蝗 <i>Gomphocerus licenti</i>     | Goli    |
| 筒蚰蝗 <i>E. simplex maculatus</i>                 | Ersi    | 西伯利亚蝗 <i>G. sibiricus</i> (L.)       | Gosi    |
| 红腹牧草蝗 <i>Omocestus haemorrhoidalis</i>          | Omha    | 毛足棒角蝗 <i>Dasyhippus barbipes</i>     | Daba    |
| 东方雏蝗 <i>Chorthippus intermedius</i>             | Chin    | 短星翅蝗 <i>Calliptamus abbreviatus</i>  | Caab    |
| 褐色雏蝗 <i>Ch. brunneus</i>                        | Chbr    | 黑腿星翅蝗 <i>C. barbarus cephalotes</i>  | Caba    |
| 狭翅雏蝗 <i>Ch. dubius</i>                          | Chdu    | 红翅瘤蝗 <i>Dericorys annulata</i>       | Dean    |
| 夏氏雏蝗 <i>Ch. hsiai</i>                           | Chhs    |                                      |         |