石羊河流域中上游草地蝗虫种类分布及其影响因子*

刘耀猛[1**] 甘辉林[2] 李晓鹏[3] 李东红[1] 张 航[1] 胡桂馨[1***]

（1. 甘肃农业大学草业学院，草业生态系统教育部重点实验室，兰州 730070；
2. 张掖市草原工作站，张掖 734000；3. 甘肃省草原技术推广总站，兰州 730046）

摘 要 **【目的】**明确石羊河流域中上游天然草地蝗虫的物种多样性与分布特点。**【方法】**于 2023-2024 年 6-8 月，采用网捕法调查了石羊河流域中上游不同类型草地上的蝗虫种类。**【结果】** 本次调查共捕获蝗虫 7 216 头，隶属 7 科 22 属 43 种，包括甘肃省一新纪录种——瘤背束颈蝗 *Sphingonotus salinus*。斑翅蝗科种类最多（7 属 15 种），其次为网翅蝗科（4 属 12 种）、癞蝗科（3 属 6 种）、斑腿蝗科（2 属 4 种）、槌角蝗科（3 属 3 种）、剑角蝗科（2 属 2 种），蚱科最少，仅 1 属 1 种。斑翅蝗科和网翅蝗科构成石羊河流域中上游蝗虫物种多样性的主体，占总物种数的 62.8%。温性草原上蝗虫的种类最多（4 科 12 属 22 种），占总物种数的 51.2%，其次为温性草原化荒漠（6 科 13 属 20 种），占总物种数的 46.5%；高寒草甸（3 科 6 属 12 种）最少，占总物种数的 27.9%。除温性荒漠外，白纹雏蝗 *Chorthippus albonemus* 和褐色雏蝗 *Chorthippus brunneus* 广泛分布于 7 个类型草地上，不同类型草地上的蝗虫优势种类各不相同。温性草原化荒漠与温性荒漠化草原的蝗虫群落相似性系数最高，为 0.73。蝗虫群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Margalef 丰富度指数均以温性荒漠化草原最高，Pielou 均匀性指数高寒草甸最高。**【结论】** 巨大的海拔落差以及复杂的山地地形对水热条件的分配差异，塑造了石羊河流域中上游草地植被的垂直分布格局以及草地植被群落结构的异质性，进而形成了蝗虫物种的多样性。

关键词 石羊河流域；天然草原；蝗虫种类；分布；物种多样性

Species distribution and influencing factors of grasshoppers in grasslands of the upper and middle reaches of the Shiyang River Basin

LIU Yao-Meng[1**] GAN Hui-Lin[2] LI Xiao-Peng[3] LI Dong-Hong[1] ZHANG Hang[1] HU Gui-Xin[1***]

(1. Key Laboratory of Grassland Ecosystem of the Ministry of Education, Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Grassland Workstation of Zhangye City, Zhangye 734000, China; 3. Grassland Technical Extension Station of Gansu Province, Lanzhou 730046, China)

Abstract **[Aim]** To clarify the species diversity and distribution of grasshoppers in natural grasslands in the upper and middle reaches of the Shiyang River Basin. **[Methods]** Grasshoppers on different types of grasslands were captured using nets in the upper and middle reaches of the Shiyang River Basin from June to August 2023-2024. **[Results]** A total of 7 216 grasshoppers, belonging to 7 families, 22 genera, and 43 species were captured, including *Sphingonotus salinus*, a new record for Gansu Province. Oedipodiae was the dominant family (7 genera and 15 species), followed by Arcypteridae (4 genera and 12 species), Pamphagidae (3 genera and 6 species), Catantopidae (2 genera and 4 species), Gomphoceridae (3 genera and 3 species), Acrididae (2 genera and 2 species), and Tetrigidae with just 1 genus and 1 species. Most species were of

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金项目（31960350）；草原蝗虫、高原鼠兔调查监测关键技术研究项目（GSXS-23-CYJSTG-11）；祁连山北麓昆虫群落调查与生境评估（GSAU-JSFW-2022-124）

**第一作者 First author，E-mail：m19896002933@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：huguixin@gsau.edu.cn

收稿日期 Received：2025-01-22；接受日期 Accepted：2025-03-08

Oedipodidae and Arcypteridae, which accounted for 62.8% of the total. The number of species was highest on temperate steppe (4 families, 12 genera and 22 species), accounting for 51.2% of all species, followed by the temperate steppe desert (6 families, 13 genera, and 20 species), accounting for 46.5% of all species. The least number of species was captured on alpine meadows; only 3 families, 6 genera and 12 species, accounting for 27.9% of the total. Except for temperate desert, *Chorthippus albonemus* and *Chorthippus brunneus* were widely distributed on all seven types of grasslands, but the dominant species differed with habitat. The highest similarity coefficient, 0.73, was found between the grasshoppers communities of temperate desert steppe and temperate grassland desert. Temperate desert steppe had the highest Shannon Wiener diversity index, Simpson dominance index, and Margalef richness index, but alpine meadow had the highest Pielou evenness index. **[Conclusion]** The huge differences in altitude, temperature and availability of water in the complex mountain terrain of this grassland region, combined with the heterogeneity of the grassland vegetation community, contribute to the diversity of grasshoppers in the upper and middle reaches of Shiyang River Basin.

Key words Shiyang River Basin; natural grassland; grasshopper species; distribution; species diversity

石羊河流域属于河西走廊三大核心内陆河系统（含黑河、疏勒河流域），位于祁连山北麓的东段，西部与大黄山和黑河流域相隔，东临黄河流域（王蓓等，2018）。全流域南北长 300 km 以上，东西宽约 150 km，面积 41 163 km^2（刘世增，2010）。流域内共涉及 4 市 9 县（区），包括：武威市全域单元：凉州区、古浪县、民勤县全境，及天祝县的旦马乡、祁连镇、哈溪镇、西大滩镇；金昌市全域单元：金川区与永昌县全境；张掖市局部单元：肃南裕固族自治县皇城镇、山丹县大马营镇及山丹军马场部分区域；白银市局部单元：景泰县少部地区（张刘东，2015）。石羊河流域内地势南高北低，地貌异质性突出，植被和气候垂直分异，规律明显，受气候和地形条件等影响，形成了多种植被类型，天然草原作为优势的植被类型，约占流域总面积的 53%（宋伟宏和程慧波，2018）。石羊河流域草原类型多样，从高海拔到低海拔，依次分布有高寒草甸、温性草甸、温性草甸草原、温性草原、温性荒漠化草原、温性草原化荒漠、温性荒漠和沼泽草甸（甘肃省草原总站，1999）。丰富多样的草原植被为草地蝗虫提供了丰富适宜的栖息条件。

蝗虫作为草地生态系统的初级消费者，驱动着物质循环与能量传递过程，在食物网中占据关键生态位（郝会文等，2019）。截止 2003 年，我国共计有蝗总科 8 科 253 属 1 053 种（郑哲民，2003），甘肃省分布有蝗虫 152 种，占全国已知物种的 14.4%（甘肃省草原总站，1997）。在甘肃省，祁连山地的地貌复杂、草地类型最多，分布的蝗虫种类也最多（甘肃省草原总站，1997；李东红等，2024）。关于石羊河流域的草原蝗虫种类及分布报道主要集中在祁连山中东段的肃南县皇城镇境内：孙涛等（2010）调查蝗虫 15 种、分属 4 科 10 属；胡靖等（2012，2014）调查共有 6 科 12 属 18 种蝗虫；郑成卓等（2023）调查蝗虫共计 5 科 13 属 23 种。然而，区域尺度的石羊河流域内，草地蝗虫的种类组成与空间分布规律，及其对关键生境因子的响应机制仍亟待阐明。

基于此，本研究于 2023-2024 年 6-8 月，在位处石羊河流域中上游的山丹县、永昌县、金川区、肃南县皇城镇、武威市凉州区、天祝藏族自治县和古浪县的草原分布区，调查了不同类型草原的蝗虫种类组成、数量特征和分布情况，明确该区域草地蝗虫物种的分布特征，初步揭示石羊河流域中上游草地蝗虫物种多样性与环境因子之间的关系，以及为该区域草地蝗虫的物种多样性保护与监测提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域地处石羊河流域中上游，行政区域包括山丹县、凉州区、永昌县、金川区、肃南县皇城镇、天祝藏族自治县、古浪县，地理坐标 37°-39°N，101°-104°E，海拔 1 300-4 800 m。该

区为典型温带大陆性干旱气候区，其特征表现为高太阳辐射通量、日照强、显著的温度日较差、降水稀缺、强烈蒸散发及持续低相对湿度。土壤类型自高海拔到低海拔依次为山地灰钙土、山地栗钙土、山地黑钙土、山地灰褐土、高山寒漠土、亚高山草甸土、亚高山灌丛草甸土和高山草甸土，草地类型主要有高寒草甸、温性草甸、温性草甸草原、温性草原、温性荒漠化草原、温性草原化荒漠、温性荒漠和沼泽草甸（甘肃省草原总站，1999）。

1.2　调查方法

1.2.1　样点设定　2023-2024 年 6-8 月，在各县区草原分布区，从低海拔到高海拔每 200 m 为一个梯度进行调查，每个梯度视为一个样地，每个样地至少设置 3 个样点，每个样点面积 1 hm^2，共 78 个样点。

1.2.2　蝗虫种类及数量组成调查　野外采样严格遵循《草原蝗虫调查规范》NY/T 1578-2007 的技术要求。样线布设：于各样点内按“Z”字形设置 3 条平行样线，采用正常步幅行进，完成总计 30 次扫网操作（单次扫网幅度为 180° 双侧扫动）。采集的蝗虫立即转移至含乙酸乙酯的毒杀容器中，遗漏个体需现场补捕，确保样本完整性。利用奥维互动地图软件通过打点的方式同步记录采集日期、采集地名、草地类型、优势种植物和次优势种植物、采集人姓名等关键数据，地理坐标（经纬度）、海拔打点后在系统中导出。

采集的蝗虫样本于当日移送室内，执行标准化针插标本制备流程：采用昆虫针定位固定（中胸背板的中央偏右处）；实施姿态标准化整姿（含翅展规范化处理）；全程规避形态结构完整性损伤。体型较小的标本借助体视显微镜（舜宇光学 SZM-7045TI）观察其特征，依据《中国动物志》（夏凯龄，1994；郑哲民和夏凯龄，1998；印象初和夏凯龄，2003；李鸿昌和夏凯龄，2006）、《蝗虫分类学》（郑哲民，1993）、《甘肃蝗虫图志》（甘肃省蝗虫调查协作组，1985）等蝗虫分类学著作进行种类鉴定。

1.2.3　植物群落调查　依据《草地调查规划学实习指导》（花立民和张鲜花，2021），各调查样地植被的盖度、频度、密度及高度测定方法如下：

样方设置：温性荒漠、温性草原化荒漠：10 m×10 m 大样方和 14.14 m 对角线测绳。沼泽草甸、温性草甸草原、温性草甸、高寒草甸：0.5 m×0.5 m 小样方框（含 100 个小方格）。温性荒漠化草原、温性草原：1 m×1 m 样方框（含 100 个小方格）。

盖度测定：灌木优势荒漠（温性荒漠、温性草原化荒漠）：卷尺测量植物垂直投影覆盖测绳的累计长度，除以测绳长度（14.14 m）计算百分比盖度。其他所有草地类型：统一执行针刺法测定盖度（分种盖度基于针刺点位的物种接触频次统计）。频度测定：灌木优势荒漠（温性荒漠、草原化荒漠）：在测绳上按 0.5 m 间距记录植物出现情况，计算出现频率。其他所有草地类型：使用 0.1 m^2 样圆等距抛掷 30 次，计算物种出现频次占比。密度测定（所有类型）：统计样方框内目标植物物种的个体数。高度测定（所有类型）：随机测量样方内目标物种 10 株个体的自然直立高度。

1.3　数据分析

1.3.1　优势度　蝗虫物种优势度通过以下公式量化：优势度=（某蝗虫个体数/生境中蝗虫总个体数）×100%，依据计算结果划分生态位等级：<1%，为稀有种；1%-10%，为常见种；>10%，为优势种（郭宗林等，2023）。

1.3.2　相似性指数　采用 Jaccard 相似性系数（C_j）评估不同草地类型间蝗虫群落的相似性特征，其计算公式为 $C_j = j/(a+b-j)$；式中：a 为草地类型 A 的蝗虫物种总数，b 为草地类型 B 的蝗虫物种总数，j 为 A、B 两类草地类型中共有的蝗虫物种数（中国科学院生物多样性委员会，1994）。依据系数值划分为 4 个相似性等级：0-0.25 为极不相似，0.25-0.50 为中等不相似，0.50-0.75 为中等相似；0.75-1.00 为极相似（李金星等，2022）。

1.3.3　多样性指数　利用 R 4.3.1 平台中的 vegan 包计算蝗虫群落和植被群落的多样性指

数，包括 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数。利用 SPSS 24.0 进行单因素方差分析（One-way ANOVA），运用 Duncan 氏检验对 8 种不同草地类的蝗虫与植被多样性指数进行差异显著性多重比较（P<0.05）。利用 Origin 2024 进行蝗虫群落多样性与植被群落多样性指数之间的冗余分析（RDA）。

2 结果与分析

2.1 石羊河流域中上游草地蝗虫科属种组成

经整理鉴定，共采集到蝗虫 7 216 头，隶属 7 科 22 属 43 种（表 1），包括甘肃省一新纪录种——瘤背束颈蝗 *Sphingonotus salinus*。斑翅蝗科 Oedipodidae 种类最多，有 7 属（31.8%）15 种（34.9%）；其次为网翅蝗科 Arcypteridae，有 4 属（18.2%）12 种（27.9%），癞蝗科 Pamphagidae 有 3 属（13.6%）6 种（14.0%），斑腿蝗科 Catantopidae 有 2 属（9.1%）4 种（9.3%），槌角蝗科 Gomphoceridae 有 3 属（13.6%）3 种（7.0%），剑角蝗科 Acrididae 有 2 属（9.1%）2 种（4.7%），蚱科 Tetrigidae 最少，仅有 1 属（4.5%）1 种（2.3%）。斑翅蝗科和网翅蝗科构成了石羊河流域中上游蝗虫区系的主体，两者共占 62.8%。

表 1 石羊河流域中上游草原蝗虫科、属、种组成

Table 1 Composition of families, genus, and species of grasshopper in the upper and middle reaches of the Shiyang River Basin

科 Families	属 Genus		种 Species	
	数量 Quantity	百分比（%） Percentage (%)	数量 Quantity	百分比（%） Percentage (%)
蚱科 Tetrigidae	1	4.5	1	2.3
癞蝗科 Pamphagidae	3	13.6	6	14.0
斑腿蝗科 Catantopidae	2	9.1	4	9.3
斑翅蝗科 Oedipodidae	7	31.8	15	34.9
网翅蝗科 Arcypteridae	4	18.2	12	27.9
槌角蝗科 Gomphoceridae	3	13.6	3	7.0
剑角蝗科 Acrididae	2	9.1	2	4.7
合计 Total	22	100.0	43	100.0

2.2 不同类型草地上蝗虫的科属种组成

由图 1 可知，温性草原上的蝗虫种类数量最多，有 4 科 12 属 22 种，种类占总物种数的 51.2%，其次为温性草原化荒漠（6 科 13 属 20 种），蝗虫种类占总物种数的 46.5%；温性荒漠化草原（5 科 12 属 19 种）蝗虫种类占总物种数的 44.2%；温性草甸（4 科 10 属 18 种），种类占总物种数的 41.9%；温性草甸草原（4 科 10 属 18 种）蝗虫种类占总物种数的 41.9%；温性荒漠（4 科 9 属 16 种）蝗虫种类占总物种数的 37.2%；沼泽草甸（5 科 7 属 14 种）蝗虫种类占总物种数的 32.6%；高寒草甸（3 科 6 属 12 种）蝗虫种类占总物种数的 27.9%。

2.3 蝗虫物种的分布特征

由表 2 可知，除温性荒漠外，白纹雏蝗 *Chorthippus albonemus* 和褐色雏蝗 *Chorthippus brunneus* 广泛分布于 7 个类型草地上；宽须蚁蝗 *Myrmeleotettix palpalis* 分布于除沼泽草甸和温性荒漠之外的 6 个类型草地；短星翅蝗 *Calliptamus abbrevitus*、亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus*、夏氏雏蝗 *Chorthippus hsiai* 和小翅雏蝗 *Chorthippus fallax* 分布于 6 个类型草地，但每种蝗虫分布的草地类型不同；大胫刺蝗 *Compsorhipis davidiana*、友谊华癞蝗 *Sinotmethis amicus*、盐池束颈蝗 *Sphingonotus yenchihensis*、短翅华癞蝗 *Sinotmethis brachypterus* 和宁夏

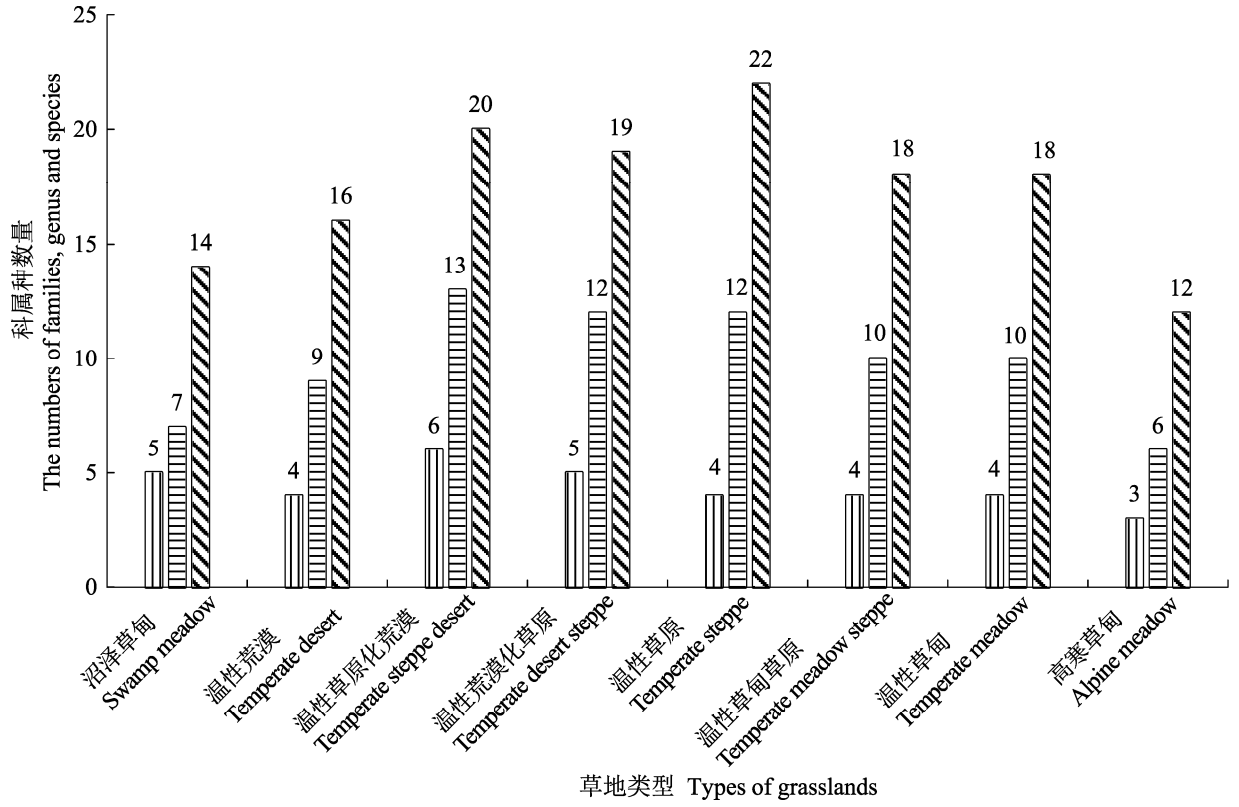


图 1　不同类型草地中蝗虫种类组成

Fig. 1　Composition of grasshopper species on different types of grasslands

束颈蝗 *Sphingonotus ningsianus* 分布于温性荒漠和温性草原化荒漠；日本蚱 *Tetrix japonica*、无齿稻蝗 *Oxya adentata*、甘蒙尖翅蝗 *Epacromius tergestinus extimus*、素色异爪蝗 *Euchorthippus unicolor*、大垫尖翅蝗 *Epacromius coerulipes*、条纹异爪蝗 *Euchorthippus vittatus* 和异翅鸣蝗 *Mongolotettix anomopterus* 仅分布在沼泽草甸；岩石束颈蝗 *Sphingonotus nebulosus nebulosus* 和瘤背束颈蝗仅分布于温性荒漠。

沼泽草甸的蝗虫优势种为青藏雏蝗 *Chorthippus qingzangensis*；温性荒漠的优势种为裴氏短鼻蝗 *Filchnerella beicki*、宁夏束颈蝗和盐池束颈蝗；温性荒漠化草原的优势种为短星翅蝗；温性草原的蝗虫优势种为亚洲小车蝗、黄胫异痂蝗 *Bryodemella holdereri holdereri* 和红翅皱膝蝗 *Angaracris rhodopa*；温性草甸草原的优势种为李氏大足蝗 *Gomphocerus licenti*；温性草甸和高寒草甸的蝗虫优势种均为小翅雏蝗和东方雏蝗 *Chorthippus intermedius*。

2.4　不同草地类型中蝗虫群落的相似性

根据分析结果（表 3），温性草原化荒漠与温性荒漠化草原的蝗虫群落相似度最高（相似性系数=0.73）。温性草甸分别与温性荒漠化草原、温性草原、温性草甸草原的蝗虫群落呈中等相似关系，其相似性系数依次为 0.53、0.59 和 0.64。相比之下，沼泽草甸与温性荒漠、温性草原化荒漠、温性荒漠化草原、温性草甸草原以及高寒草甸的蝗虫群落均表现出极低的相似性；其中，沼泽草甸与温性荒漠的相似性系数最低，仅为 0.04。

2.5　不同草地类型蝗虫多样性分析

不同草地类型蝗虫多样性指数变化见表 4。蝗虫 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数均以温性荒漠化草原最高，显著高于温性荒漠（$P<0.05$）；Margalef 丰富度指数温性荒漠化草原最高（1.48±0.65），温性荒漠最低（0.92±0.45）；

表 2　不同类型草地中蝗虫种类组成及其优势度

Table 2　Species composition and dominance of grasshopper in different grassland types

科 Families	种 Species	沼泽草甸 Swamp meadow	温性荒漠 Temperate desert	温性草原化荒漠 Temperate steppe desert	温性荒漠化草原 Temperate desert steppe	温性草原 Temperate steppe	温性草甸草原 Temperate meadow steppe	温性草甸 Temperate meadow	高寒草甸 Alpine meadow
蚱科 Tetrigidae	日本蚱 *Tetrix japonica*	+	-	-	-	-	-	-	-
癞蝗科 Pamphagidae	青海短鼻蝗 *Filchnerella kukunoris*	-	++	++	+	-	-	-	-
	裴氏短鼻蝗 *Filchnerella beicki*	-	+++	++	++	-	-	-	-
	祁连山短鼻蝗 *Filchnerella qilianshanensis*	-	++	++	++	-	-	-	-
	友谊华癞蝗 *Sinotmethis amicus*	-	+	+	-	-	-	-	-
	短翅华癞蝗 *Sinotmethis brachypterus*	-	+	+	-	-	-	-	-
	景泰突颜蝗 *Eotmethis jintaiensis*	-	+	+	+	-	-	-	-
斑腿蝗科 Catantopidae	短星翅蝗 *Calliptamus abbrevitus*	-	++	++	+++	+	+	+	-
	黑腿星翅蝗 *Calliptamus barbarus*	-	++	+	+	+	-	-	-
	意大利蝗 *Calliptamus italicus*	-	-	+	+	+	-	-	-
	无齿稻蝗 *Oxya adentata*	+	-	-	-	-	-	-	-
斑翅蝗科 Oedipodidae	黄胫异痂蝗 *Bryodemella holdereri holdereri*	-	-	+	+	+++	+	+	-
	轮纹异痂蝗 *Bryodemella tuberculatum dilutum*	-	-	-	-	++	+	+	-
	尤氏痂蝗 *Bryodema uvarovi*	-	+	+	+	-	-	-	-
	青海痂蝗 *Bryodema miramae miramae*	-	-	-	-	+	+	++	+
	白边痂蝗 *Bryodema luctuosum luctuosum*	-	-	-	-	+	-	-	+
	红翅皱膝蝗 *Angaracris rhodopa*	-	-	-	-	+++	++	++	+
	大垫尖翅蝗 *Epacromius coerulipes*	++	-	-	-	-	-	-	-
	甘蒙尖翅蝗 *Epacromius tergestinus extimus*	+	-	-	-	-	-	-	-
	黄胫小车蝗 *Oedaleus infernalis infernalis*	-	-	+	+	+	-	-	-
	亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus*	-	+	+	++	+++	++	+	-
	大胫刺蝗 *Compsorhipis davidiana*	-	++	+	-	-	-	-	-
斑翅蝗科 Oedipodidae	盐池束颈蝗 *Sphingonotus yenchihensis*	-	+++	+	-	-	-	-	-

续表 2 (Table 2 continued)

科 Families	种 Species	沼泽草甸 Swamp meadow	温性荒漠 Temperate desert	温性草原化荒漠 Temperate steppe desert	温性荒漠化草原 Temperate desert steppe	温性草原 Temperate steppe	温性草甸草原 Temperate meadow steppe	温性草甸 Temperate meadow	高寒草甸 Alpine meadow
斑翅蝗科 Oedipodidae	宁夏束颈蝗 *Sphingonotus ningsianus*	-	+++	+	-	-	-	-	-
	岩石束颈蝗 *Sphingonotus nebulosus nebulosus*	-	++	-	-	-	-	-	-
	瘤背束颈蝗 *Sphingonotus salinus*	-	+	-	-	-	-	-	-
网翅蝗科 Arcypteridae	宽翅曲背蝗 *Pararcyptera microptera meridionalis*	-	-	-	+	++	++	+	-
	红腹牧草蝗 *Omocestus haemorrhoidalis*	-	-	-	-	+	+	++	+
	青藏雏蝗 *Chorthippus qingzangensis*	+++	-	-	-	+	+	+	-
	白纹雏蝗 *Chorthippus albonemus*	+	-	+	+	++	+	+	+
	夏氏雏蝗 *Chorthippus hsiai*	+	-	-	+	++	+	+	+
	狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius*	-	-	-	-	+	++	++	+
	小翅雏蝗 *Chorthippus fallax*	+	-	-	-	+	++	+++	+++
	褐色雏蝗 *Chorthippus brunneus*	+	-	+	+	++	++	++	+
	华北雏蝗 *Chorthippus brunneus huabeiensis*	+	-	-	+	+	+	++	-
	东方雏蝗 *Chorthippus intermedius*	-	-	-	-	+	+	+++	+++
	素色异爪蝗 *Euchorthippus unicolor*	+	-	-	-	-	-	-	-
	条纹异爪蝗 *Euchorthippus vittatus*	+	-	-	-	-	-	-	-
槌角蝗科 Gomphoceridae	李氏大足蝗 *Gomphocerus licenti*	-	-	-	+	++	+++	++	+
	毛足棒角蝗 *Dasyhippus barbipes*	-	-	-	+	++	-	-	-
	宽须蚁蝗 *Myrmeleotettix palpalis*	-	-	+	+	++	++	++	+
剑角蝗科 Acrididae	异翅鸣蝗 *Mongolotettix anomopterus*	+	-	-	-	-	-	-	-
	中华剑角蝗 *Acrida cinerea*	+	+	-	-	-	-	-	-

+表示有分布（优势度<1%），++表示常见种（优势度为 1%-10%），+++表示优势种（优势度>10%），-表示无分布。

+ indicates distribution (dominance < 1%), ++ indicates common species (dominance: 1%-10%), +++ indicates dominant species (dominance > 10%), - indicates no distribution.

表 3　不同类型草地的蝗虫群落的相似性

Table 3　Similarity of grasshopper communities in different types of grasslands

草地类型 Grassland type	沼泽草甸 Swamp meadow	温性荒漠 Temperate desert	温性草原化荒漠 Temperate steppe desert	温性荒漠化草原 Temperate desert steppe	温性草原 Temperate steppe	温性草甸草原 Temperate meadow steppe	温性草甸 Temperate meadow	高寒草甸 Alpine meadow
沼泽草甸 Swamp meadow	1.00							
温性荒漠 Temperate desert	0.04	1.00						
温性草原化荒漠 Temperate steppe desert	0.18	0.27	1.00					
温性荒漠化草原 Temperate desert steppe	0.16	0.28	0.73	1.00				
温性草原 Temperate steppe	0.29	0.26	0.43	0.60	1.00			
温性草甸草原 Temperate meadow steppe	0.24	0.11	0.30	0.41	0.44	1.00		
温性草甸 Temperate meadow	0.26	0.08	0.39	0.53	0.59	0.64	1.00	
高寒草甸 Alpine meadow	0.21	0.12	0.33	0.35	0.34	0.56	0.43	1.00

表 4　不同类型草地中蝗虫群落特征指数

Table 4　Characteristics index of grasshoppers communities in different types of grasslands

草地类型 Grassland type	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Margalef 指数 Margalef index	Pielou 指数 Pielou index
沼泽草甸 Swamp meadow	1.47±0.53 ab	0.69±0.19 ab	1.34±0.33 a	0.41±0.02 b
温性荒漠 Temperate desert	1.10±0.36 b	0.59±0.12 b	0.92±0.45 a	0.42±0.04 b
温性草原化荒漠 Temperate steppe desert	1.47±0.25 ab	0.72±0.08 ab	1.35±0.36 a	0.44±0.05 ab
温性荒漠化草原 Temperate desert steppe	1.63±0.26 a	0.77±0.06 a	1.48±0.65 a	0.43±0.05 b
温性草原 Temperate steppe	1.51±0.31 ab	0.72±0.10 ab	1.20±0.31 a	0.39±0.03 b
温性草甸草原 Temperate meadow steppe	1.55±0.18 ab	0.76±0.05 a	1.39±0.33 a	0.45±0.02 ab
温性草甸 Temperate meadow	1.44±0.37 ab	0.70±0.10 ab	1.31±0.56 a	0.46±0.05 ab
高寒草甸 Alpine meadow	1.22±0.53 ab	0.65±0.14 ab	1.03±0.72 a	0.54±0.17 a

表中数据为平均值±标准误，同列不同字母表示差异显著（P<0.05，Duncan 氏多重比较）。下表同。

Data in the table are mean±SE, and followed by different letters in the same column indicate significant difference (P<0.05, Duncan's multiple range test). The same below.

Pielou 指数高寒草甸最高（0.54±0.17），显著高于沼泽草甸、温性荒漠、温性荒漠化草原和温性草原（P<0.05），且温性草原最低（0.39±0.03）。

2.6　不同类型草地植被多样性分析

不同草地类型之间植被群落特征明显不同（表 5），沼泽草甸、温性草甸和高寒草甸的植被盖度显著高于其它草地（P<0.05），温性荒漠盖度最低（23.50±2.38）；Shannon-Wiener 指数（2.21±0.35）、Simpson 指数（0.87±0.04）和 Margalef 指数（2.27±0.79）均以温性草甸最高，温性草原均为最低；Pielou 指数以温性草原最高（0.57±0.09），温性草甸草原最低（0.33±0.04）。

2.7　蝗虫群落多样性和植被群落多样性 RDA 的分析

对 8 个类型草地上的蝗虫群落多样性和植被群落多样性进行 RDA 分析（图 2），结果表明，蝗虫 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势（1.48±0.65），温性荒漠最低（0.92±0.45）；

表 5　不同类型草地植被多样性

Table 5　Vegetation diversity of different types of grassland

草地类型 Grassland type	植被盖度（%） Vegetation coverage (%)	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Margalef 指数 Margalef index	Pielou 指数 Pielou index
沼泽草甸 Swamp meadow	91.25±3.30 a	1.97±0.41 ab	0.83±0.06 a	1.77±0.74 ab	0.37±0.05 bcd
温性荒漠 Temperate desert	23.50±2.38 e	1.20±0.30 cd	0.65±0.05 bc	0.73±0.50 c	0.50±0.12 ab
温性草原化荒漠 Temperate steppe desert	35.60±3.05 d	1.79±0.18 ab	0.78±0.05 a	1.76±0.38 ab	0.36±0.05 cd
温性荒漠化草原 Temperate desert steppe	52.00±6.98 c	1.50±0.10 bc	0.76±0.01 ab	0.98±0.48 bc	0.46±0.09 abc
温性草原 Temperate steppe	55.29±7.30 c	0.92±0.26 d	0.56±0.10 c	0.40±0.16 c	0.57±0.09 a
温性草甸草原 Temperate meadow steppe	83.50±5.07 b	1.82±0.19 ab	0.77±0.09 ab	2.12±0.25 a	0.33±0.04 d
温性草甸 Temperate meadow	95.50±2.65 a	2.21±0.35 a	0.87±0.04 a	2.27±0.79 a	0.36±0.03 cd
高寒草甸 Alpine meadow	97.25±0.96 a	1.89±0.24 ab	0.82±0.03 a	1.82±0.58 a	0.36±0.04 cd

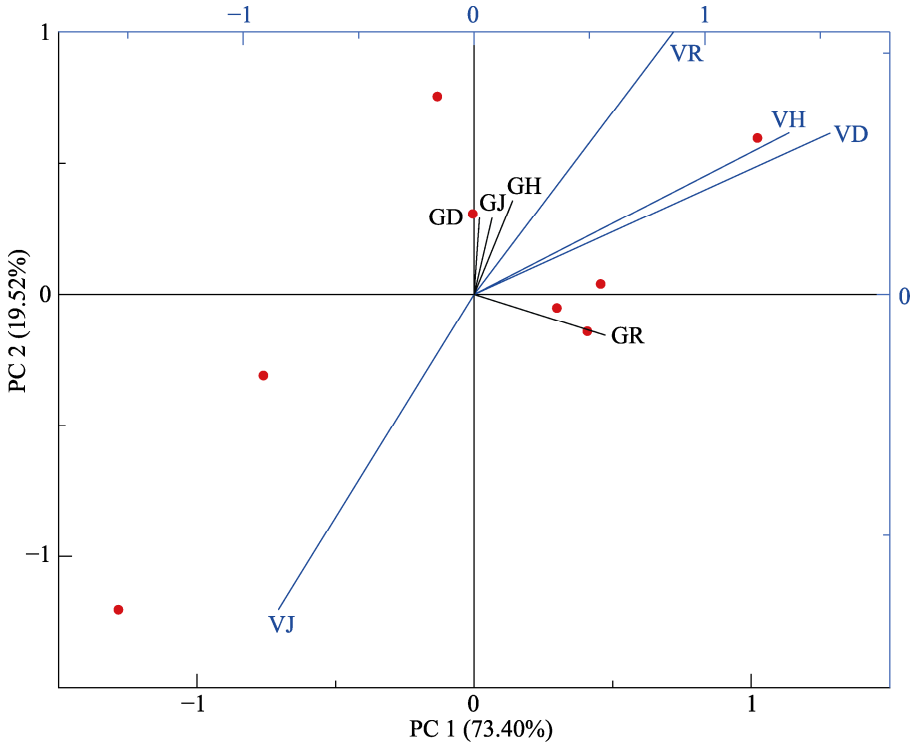


图 2　蝗虫群落多样性与植被群落多样性的 RDA 二维排序图

Fig. 2　The RDA two-dimensional ordination diagram between grasshoppers community diversity and vegetation community diversity

GH：蝗虫 Shannon-Wiener 多样性指数；GD：蝗虫 Simpson 优势度指数；GJ：蝗虫 Pielou 均匀度指数；GR：蝗虫 Margalef 丰富度指数；VH：植被 Shannon-Wiener 多样性指数；VD：植被 Simpson 优势度指数；VJ：植被 Pielou 均匀度指数；VR：植被 Margalef 丰富度指数。

GH: Grasshopper Shannon-Wiener diversity index; GD: Grasshopper Simpson dominance index; GJ: Grasshopper Pielou evenness index; GR: Grasshopper Margalef richness index; VH: Vegetation Shannon-Wiener diversity index; VD: Vegetation Simpson dominance index; VJ: Vegetation Pielou evenness index; VR: Vegetation Margalef richness index.

Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数为正相关，蝗虫 Pielou 均匀度与植被 Pielou 均匀度指数为负相关。

3　讨论

蝗虫种类的分布受气候、植被、地形、土壤等自然因素综合影响，不同的自然景观形成的不同土壤、植被地带都会有不同蝗虫类群的分布（夏凯龄，1994；陈永林，1981）。温性草甸和高寒草甸的植被盖度 70%以上，多分布小型植栖型蝗虫种类，如狭翅雏蝗、小翅雏蝗、东方雏蝗等。草地植被物种丰富度高，同时覆盖度较低，这种组合特征为蝗虫提供了多样化的栖息环境，进而导致其种类丰富（黄文广等，2014）。温性草原植被盖度 50%左右，这种生境既能提供蝗虫生长发育所需的食物资源，也提供了蝗虫的土壤产卵场所。在本次调查中，温性草原上分布的蝗虫种类最多，蝗虫种类占所有调查蝗虫种类的 51.20%。温性草甸草原植被盖度介于温性草原与温性草甸之间，植被组成较为丰富，盖度也较高，其中分布的主要种类为李氏大足蝗，也分布有小翅雏蝗、东方雏蝗等小型植栖型蝗虫。作为温性草原与温性荒漠之间的过渡类型，温性荒漠化草原和温性草原化荒漠的植被覆盖度约为 30%。此区域分布的蝗虫以中型、兼栖型种类为主，典型代表包括黑腿星翅蝗和尤氏痂蝗等。相比之下，典型的温性荒漠植被结构较为单一，覆盖度显著降低，栖息于此的蝗虫多为体型较大的地栖性种类，例如大胫刺蝗、癞蝗以及多种束颈蝗。而在水分条件优越的沼泽草甸和湿润草丛生境中，蝗

虫组成则截然不同，主要由适应潮湿环境的小型物种构成，如蚱类和青藏雏蝗。

物种本身较强的环境耐受力和扩散能力是其地理格局形成的主要原因（Hardouin *et al.*，2015；Tabata *et al.*，2019；袁娟娟等，2019）。本次调查的蝗虫种类均为土蝗，各具有其适生的生境，迁移能力均不强。在石羊河中上游，裴氏短鼻蝗、短星翅蝗、红翅皱膝蝗、亚洲小车蝗和白纹雏蝗广泛分布；褐色雏蝗、白纹雏蝗和宽须蚁蝗的适应能力最强，从东至西、从低海拔到高海拔的多个类型草地中均有分布，而毛足棒角蝗仅在石羊河流域东部的永昌温性草原上分布，在其他区域的相同生境中均未发现。土壤水分是沼泽草甸发育的主要控制因子，致使其空间分布多表现为非地带性（毛培胜，2015）。在这个类型草地中的青藏雏蝗、日本蚱、无齿稻蝗、大垫尖翅蝗、甘蒙尖翅蝗、条纹异爪蝗和素色异爪蝗的地理分布呈碎片化状。

祁连山北麓巨大的海拔落差以及复杂的山地地形对水热条件的分配差异，不仅使草地植被呈现垂直分布格局，也使山地阴坡和阳坡的植被群落呈异质性（Luoto *et al.*，2005）。生境异质性和地形变化会影响昆虫物种分布和多样性（Wang *et al.*，2023）。本研究发现，在石羊河流域海拔较高、气温较低、降水较多的地带，草地类型以高寒草甸为主，蝗虫种类相对较少，且多为适应低温环境的小型物种；而在海拔较低、气温较高、降水较少的地区，草地类型以温性荒漠和温性草原化荒漠为主，蝗虫种类则多为适应干旱环境的中型至大型物种。在山地草原，阴坡土壤水分含量高，草地植被盖度较高，适合喜阴湿环境的中小型蝗虫物种生存，分布有雏蝗类、李氏大足蝗、宽翅曲背蝗等；而阳坡日照充足、蒸发量大，植被覆盖密度低，适宜荒漠性或地栖性蝗虫生存，如短鼻蝗和痂蝗。相比之下，阴坡凭借较高的植被覆盖度和较大的地面湿度，为夏氏雏蝗、狭翅雏蝗等小型蝗虫提供了栖息地。而在植被稀少、地表裸露且富含砾石的荒漠化阳坡环境中，典型的代表物种是旱生性的青海痂蝗。

蝗虫栖息地的植被高度、盖度、组成、结构和生产力等因素对蝗虫群落的组成、结构和多样性具有重要作用（Perner *et al.*，2005；Stein *et al.*，2010；胡靖等，2021）。蝗虫种类多样性与环境干燥度和植物群落种类的复杂程度成正相关，在海拔较高、植被结构复杂、盖度较大、湿度较高的栖境内，其种类分布相对较少（贺达汉和郑哲民，1997）。在本研究中，温性荒漠化草原上蝗虫 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 指数和 Margalef 指数均最高，而植被 Shannon-Wiener 多样性指数高的温性草甸、沼泽草甸和高寒草甸上的蝗虫 Shannon-Wiener 多样性指数低，这与李东红等（2024 年）的研究结论一致。蝗虫与植被群落多样性指数的 RDA 分析进一步证明了植被群落丰富度对蝗虫物种多样性的重要影响。

草地的开垦、弃耕、农药施用以及过度放牧等人类活动，导致石羊河流域蝗虫的栖息生境被破坏或碎片化，使有些种类蝗虫数量少或发生迟滞，原来记载的蝗虫物种如亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria*（龚世鹏，2004），在本次调查中未发现。大面积的农田开垦严重破坏了蝗虫的栖息环境，导致某些蝗虫迁出。如呈地带性分布的毛足棒角蝗，在连续 2 年调查中，仅在永昌县的温性草原上有分布，而在石羊河流域其他区域的相同生境中均未发现。另外，像沼泽草甸这类非地带性分布的蝗虫栖息生境，一旦受到人类活动和气候变化的双重冲击，其中分布的物种极有可能面临濒危。气候变化导致的降水异常，可能使沼泽草甸的水位发生变化，影响这些物种的生存条件。而人类对沼泽草甸周边的开发活动，又进一步压缩了这类蝗虫的栖息地范围。

4　结论

（1）本次调查中，在石羊河流域中上游共采集到蝗虫 7 216 头，隶属 7 科 22 属 43 种，其中斑翅蝗科（7 属 15 种）和网翅蝗科（4 属 12 种）构成了石羊河流域中上游蝗虫区系的主体，二者共占总调查蝗虫种类数的 62.8%。

（2）温性草原上分布的蝗虫种类最多，有 22 种，高寒草甸上分布的蝗虫种类最少，只有 12 种；除温性荒漠外，白纹雏蝗和褐色雏蝗广泛分布于 7 个类型草地上。

（3）巨大的海拔落差以及复杂的山地地形对水热条件的分配差异，形成了石羊河流域中上游草地植被呈现垂直分布格局以及草地植被群落结构的异质性，进而形成了蝗虫物种的多样性。

参考文献 (References)

Chen YL, 1981. A study on the distribution of grasshoppers in Xinjiang Uygur Autonomous Region (continued). *Acta Entomologica Sinica*, 24(2): 166–173, 238. [陈永林, 1981. 新疆维吾尔自治区的蝗虫研究蝗虫的分布(续). 昆虫学报, 24(2): 166–173, 238.]

Gansu Province Grasshopper Investigation Cooperation Group, 1985. Gansu Grasshopper Atlas. Lanzhou: Gansu People's Press. 1–209. [甘肃省蝗虫调查协作组, 1985. 甘肃蝗虫图志. 兰州: 甘肃人民出版社. 1–209.]

Gansu Grassland General Station, 1997. Grasshoppers in Gansu Province. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 1–177. [甘肃省草原总站, 1997. 甘肃草地蝗虫. 兰州: 甘肃科学技术出版社. 1–177.]

Gansu Grassland General Station, 1999. Gansu Grassland Resources. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 1–687. [甘肃省草原总站, 1999. 甘肃草地资源. 兰州: 甘肃科学技术出版社. 1–687.]

Gong SP, 2004. Characteristics and control measures of grasshoppers occurrence in Wuwei City in 2003. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 35(4): 49–50. [龚世鹏, 2004. 武威市 2003 年蝗虫发生特点及防治措施. 甘肃农业科技, 35(4): 49–50.]

Guo ZL, Jiang FG, Wang YL, Cheng XY, Wang GB, 2023. Structural characteristics and seasonal dynamics of ground-dwelling ant communities in three habitats in Lishui District, Nanjing, East China. *Acta Entomologica Sinica*, 66(6): 816–824. [郭宗林, 蒋富国, 王亚璐, 陈潇奕, 王国兵, 2023. 南京溧水区三种生境地表蚂蚁群落结构特征及季节动态. 昆虫学报, 66(6): 816–824.]

Hao HW, Bao M, Ke J, Li LL, Ma CX, Dan ZC, Chen ZN, 2019. Fauna elements and eco-geographical distribution of locus in Qinghai province. *Journal of Biology*, 36(4): 62–68. [郝会文, 鲍敏, 柯君, 李雷雷, 马存新, 旦智措, 陈振宁, 2019. 青海省蝗虫区系成分及生态地理分布. 生物学杂志, 36(4): 62–68.]

Hardouin EA, Orth A, Teschke M, Darvish J, Tautz D, Bonhomme F, 2015. Eurasian house mouse (*Mus musculus* L.) differentiation at microsatellite loci identifies the Iranian plateau as a phylogeographic hotspot. *BMC Evolutionary Biology*, 15: 26.

He DH, Zheng ZM, 1997. Trophic niche and interspecific food competitive model of grasshoppers in desert grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 8(6): 605–611. [贺达汉, 郑哲民, 1997. 荒漠草原蝗虫营养生态位及种间食物竞争模型的研究. 应用生态学报, 8(6): 605–611.]

Hua LM, Zhang XH, 2021. Grassland survey and planning internship guide. Beijing: China Agricultural Publishing House. 1–165. [花立民, 张鲜花, 2021. 草地调查规划学实习指导. 北京: 中国农业出版社. 1–165.]

Huang WG, Yu Z, Zhang R, Wang L, Zhang Y, Zhu MM, Wei SH, 2014. The relationship between the occurrence of typical grassland grasshoppers and vegetation communities in Yanchi County. *Pratacultural Science*, 31(2): 306–312. [黄文广, 于钊, 张蓉, 王蕾, 张宇, 朱猛蒙, 魏淑花, 2014. 盐池县典型草原蝗虫发生与植被群落的关系. 草业科学, 31(2): 306–312.]

Hu J, 2012. Study on the distribution and dynamics of grasshoppers population in the grassland of Sunan County. Master dissertation. Lanzhou: Gansu Agricultural University. [胡靖, 2012. 甘肃省肃南县草原蝗虫种群分布及动态研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.]

Hu J, Han TH, Dai JC, Liu CZ, 2014. Relationship between grasshoppers and plant communities on alpine grassland of Qilian Mountains. *Journal of Northwest A&F University* (*Natural Science Edition*), 42(2): 113–122. [胡靖, 韩天虎, 代健聪, 刘长仲, 2014. 祁连山中段高山草原蝗虫与植物群落关系研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 42(2): 113–122.]

Hu J, Qian XJ, Liu CZ, 2021. The response of biodiversity and spatial aggregation intensity of grasshoppers communities in alpine grasslands to plant communities. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 202–211. [胡靖, 钱秀娟, 刘长仲, 2021. 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, 48(1): 202–211.]

Li DH, Hao YY, Gan HL, Zhang H, Liu YM, Ta FY, Hu GX, 2024. Species and distribution of grasshoppers in different types of grasslands in the middle section of the northern foot of the Qilian Mountains. *Biodiversity*, 32(9): 30–43. [李东红, 郝媛媛, 甘辉林, 张航, 刘耀猛, 他富源, 胡桂馨, 2024. 祁连山北麓中段不同类型草地蝗虫种类及分布. 生物多样性, 32(9): 30–43.]

Li HC, Xia KL, 2006. Fauna of Sinica: Insecta (Vol. 43), Orthoptera, Acridoidea: Catantopidae. Beijing: Science Press. 1–705. [李鸿昌, 夏凯龄, 2006. 中国动物志, 昆虫纲, 第四十三卷, 直翅目, 蝗总科: 斑腿蝗科. 北京: 科学出版社. 1–705.]

Li JX, Jin X, Guan TX, Li RC, Zhou DL, Daerhong·Biya Ke, Bu RD, Zhang XY, Ren JL, Zhao L, 2022. Diversity and community structure characteristics of grassland grasshoppers in Bortala Mongol Autonomous Prefecture, Xinjiang. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(5): 1213–1222. [李金星, 靳茜, 管廷贤, 李荣才, 周多林, 道尔洪·毕亚克, 布仁代, 张希永, 任金龙, 赵莉, 2022. 新疆博尔塔拉蒙古自治州草原蝗虫多样性及群落结构特征. 中国生物防治学报, 38(5): 1213–1222.]

Liu SZ, 2010. Research on vegetation changes and driving factors in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin. Doctor

dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [刘世增, 2010. 石羊河流域中下游河岸植被变化及其驱动因素研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Luoto M, Pöyry J, Heikkinen RK, Saarinen K, 2005. Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. *Global Ecology and Biogeography*, 14(6): 575–584.

Mao PS, 2015. Grassland Science. 4th edition. Beijing: China Agriculture Press. 1–375. [毛培胜, 2015. 草地学. 第 4 版. 北京: 中国农业出版社. 1–375.]

Perner J, Wytrykush C, Kahmen A, Buchmann N, Egerer I, Creutzburg S, Odat N, Audorff V, Weisser WW, 2005. Effects of plant diversity, plant productivity and habitat parameters on arthropod abundance in montane European grasslands. *Ecography*, 28(4): 429–442.

Song WH, Cheng HB, 2018. Temporal and spatial variation of land cover in Gansu Qilian Mountains nature reserve from 2000 to 2016. *Anhui Agricultural Science*, 46(30): 80–85. [宋伟宏, 程慧波, 2018. 2000-2016 年甘肃祁连山自然保护区土地覆被时空变化分析. 安徽农业科学, 46(30): 80–85.]

Stein C, Unsicker SB, Kahmen A, Wagner M, Audorff V, Auge H, Prati D, Weisser WW, 2010. Impact of invertebrate herbivory in grasslands depends on plant species diversity. *Ecology*, 91(6): 1639–1650.

Sun T, Long RJ, Liu ZY, 2010. Community composition, temporal dynamics and biological characteristics of grasshoppers on alpine grassland of the Qilian Mountains, China. *Chinese Journal of Applied and Envionmental Biology*, 16(4): 550–554. [孙涛, 龙瑞军, 刘志云, 2010. 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. 应用与环境生物学报, 16(4): 550–554.]

Tabata R, Kawaguchi F, Sasazaki S, Yamamoto Y, Bakhtin M, Kazymbet P, Meldevekob A, Suleimenov MZ, Nishibori M, Mannen H, 2019. The Eurasian steppe is an important goat propagation route: A phylogeographic analysis using mitochondrial DNA and Y-chromosome sequences of Kazakhstani goats. *Animal Science Journal*, 90(3): 317–322.

The Biodiversity Committee of the Chinese Academy of Sciences, 1994. Principles and Methods of Biodiversity Research. Beijing: China Science and Technology Press. 1–237. [中国科学院生物多样性委员会, 1994. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社. 1–237.]

Wang B, Zhao J, Hu XF, 2018. Research on the balance and synergy of ecosystem services in the Shiyang River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 38(21): 7582–7595. [王蓓, 赵军, 胡秀芳, 2018. 石羊河流域生态系统服务权衡与协同关系研究. 生态学报, 38(21): 7582–7595.]

Wang CJ, Wang SJ, Yu CM, Wang XT, Wang R, Wan JZ, 2023. Habitat heterogeneity and topographic variation as the drivers of insect pest distributions in alpine landscapes. *Acta Ecologica Sinica*, 43(4): 596–603.

Xia KL, 1994. Fauna of Sinica: Insecta (Vol. 4), Orthoptera, Acridoidea: Pamphagidae, Chrotogonidae, Pyrgomorphidae. Beijing: Science Press. 1–340. [夏凯龄, 1994. 中国动物志, 昆虫纲, 第四卷, 直翅目, 蝗总科: 癞蝗科、瘤锥蝗科、锥头蝗科. 北京: 科学出版社. 1–340.]

Yin XC, Xia KL, 2003. Fauna of Sinica: Insecta (Vol. 32), Orthoptera, Acridoidea: Comphoceridae, Acrididae. Beijing: Science Press. 1–270. [印象初, 夏凯龄, 2003. 中国动物志, 昆虫纲, 第三十二卷, 直翅目, 蝗总科: 槌角蝗科、剑角蝗科. 北京: 科学出版社. 1–270.]

Yuan JJ, Ye Z, Bu WJ, 2019. Phylogeography of widespread species in Eurasia: Current progress and future prospects. *Scientia Sinica* (*Vitae*), 49(9): 1155–1164. [袁娟娟, 叶瑱, 卜文俊, 2019. 欧亚大陆广布物种的谱系地理研究: 现状与发展趋势. 中国科学: 生命科学, 49(9): 1155–1164.]

Zhang LD, 2015. Research on water resources management and decision model in Shiyang River Basin irrigation area. Doctor dissertation. Beijing: China Agricultural University. [张刘东, 2015. 石羊河流域灌区水资源管理与决策模型研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.]

Zheng CZ, Liu HL, Wang XD, Dong ZX, Fu LH, Liu CZ, Qian XJ, 2023. Study on species diversity of grasshoppers in natural grasslands of Qilian Mountains. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(5): 1592–1600. [郑成卓, 刘恒亮, 王兴铎, 董子信, 付连海, 刘长仲, 钱秀娟, 2023. 祁连山天然草原蝗虫物种多样性研究. 应用昆虫学报, 60(5): 1592–1600.]

Zheng ZM, Xia KL, 1998. Fauna of Sinica: Insecta (Vol. 10), Orthoptera, Acridoidea: Oedipodidae, Arcypteridae. Beijing: Science Press. 1–609. [郑哲民, 夏凯龄, 1998. 中国动物志, 昆虫纲, 第十卷, 直翅目, 蝗总科: 斑翅蝗科、网翅蝗科. 北京: 科学出版社. 1–609.]

Zheng ZM, 1993. Acritaxonomy. Xi'an: Shaanxi Normal University Press. 1–442. [郑哲民, 1993. 蝗虫分类学. 西安: 陕西师范大学出版社. 1–442.]

Zheng ZM, 2003. Taxonomic study of Chinese grasshoppers. *Journal of Shaanxi Normal University* (*Natural Science Edition*), 31(S2): 46–58. [郑哲民, 2003. 中国蝗虫的分类学研究. 陕西师范大学学报(自然科学版), 31(S2): 46–58.]