昭苏县三种类型草原蝗虫群落特征和生态位分析

妮尕日·努尔买买提[1] 依木拉提·努拉克曼[2] 冯士骞[3] 牙森·沙力[1*]
涂雄兵[3*] 张泽华[4]

（1. 新疆农业大学农学院，农林有害生物监测与安全防控重点实验室，乌鲁木齐 830052；
2. 伊犁哈萨克自治州治蝗灭鼠指挥中心，新疆 伊宁 835000；3. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193；
4. 中国农业科学院西部农业研究中心，新疆 昌吉 831100）

摘要：为明确新疆维吾尔自治区昭苏县3种不同类型草原的蝗虫群落结构特征及空间生态位，通过扫网法对昭苏县温性草原、温性草甸草原和高寒草甸草原进行蝗虫调查，并运用相对多度、多样性指数、生态位指数、群落相似性及非度量多尺度分析方法进行系统评估。结果显示：共采集了20 434头蝗虫，涵盖5科14属24种。昭苏县草原蝗虫优势种为意大利蝗*Calliptamus italicus*和红腹牧草蝗*Omocestus haemorrhoidalis*；其中温性草原优势种为意大利蝗；温性草甸草原优势种为意大利蝗、肿脉蝗*Stauroderus scalaris*和红腹牧草蝗；高寒草甸草原优势种为拟黑翅牧草蝗*Omocestus peliopteroides*、红腹牧草蝗和西伯利亚蝗*Gomphocerus sibiricus*。不同类型草原的蝗虫群落丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均存在显著差异，优势度指数无显著差异，其中高寒草甸草原的蝗虫群落丰富度指数、多样性指数均显著低于其他2种类型草原，温性草原的蝗虫群落均匀度指数显著低于其他2种类型草原。红胫牧草蝗*Omocestus ventralis*的生态位宽度最大，为0.95，曲线牧草蝗*Omocestus petraeus*、狭条戟纹蝗*Dociostaurus brevicollis*等8种蝗虫生态位宽度最低，为0.33；共有28对蝗虫之间的生态位重叠度≥0.99。温性草原与温性草甸草原的蝗虫群落高度相似，相似性系数达0.80，与高寒草甸的蝗虫群落极不相似，相似性系数达仅为0.22；非度量多尺度分析显示3种草原类型的蝗虫群落结构存在明显分离，草原类型可解释蝗虫群落变异的63.6%。表明昭苏草原蝗虫群落特征存在显著差异，草原类型是影响蝗虫群落结构的主要因素。

关键词：昭苏县；草原类型；蝗虫群落特征；生态位；群落相似性

Community characteristics and ecological niches of grasshoppers across three grassland types in Zhaosu County

Nuermaimaiti Nigari[1] Nulakeman Yimulati[2] Feng Shiqian[3] Shali Yasen[1*]
Tu Xiongbing[3*] Zhang Zehua[4]

（1. Key Laboratory of Monitoring and Safe Control of Agricultural and Forestry Pests, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Command Center for Locust Control and Rodent Extermination, Yili Kazak Autonomous Prefecture, Yining 835000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China）

Abstract: To clarify the community structure characteristics and spatial ecological niche of grasshoppers in three different grassland types in Zhaosu County in Xinjiang Uygur Autonomous Region, grasshopper

基金项目：第三次新疆综合科学考察项目（2022xjkk0401）

* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：359749356@qq.com，txb1208@163.com

收稿日期：2025-11-10

surveys were conducted in temperate grassland, temperate meadow steppe, and alpine meadow steppe using the sweep-net method. Relative abundance, diversity indices, niche indices, community similarity, and non-metric multidimensional scaling (NMDS) were used for systematic assessment. The results showed that a total of 20 434 grasshopper individuals were collected, belonging to 24 species, 14 genera, and five families. The dominant species in Zhaosu County were *Calliptamus italicus* and *Omocestus haemorrhoidalis*. Specifically, *C. italicus* was dominant in temperate grassland; *C. italicus*, *Stauroderus scalaris* and *O. haemorrhoidalis* were dominant in temperate meadow steppe; and *O. peliopteroides*, *O. haemorrhoidalis*, and *Gomphocerus sibiricus* were dominant in alpine meadow steppe. Significant differences were observed in the richness, diversity, and evenness indices of grasshopper communities, while no significant difference was found in the dominance index. The richness and diversity indices in alpine meadow steppe were significantly lower than those in the other two grasslands types, whereas the evenness index in the temperate grassland was significantly lower than that in the other two types. Niche analysis indicated that *O. ventralis* had the widest niche breadth (0.95), while eight species including *Omocestus petraeus* and *Dociostaurus brevicollis*, had the lowest niche breadth (0.33). A total of 28 species pairs showed niche overlap values of ≥0.99. Community similarity analysis revealed high similarity between temperate grassland and temperate meadow steppe (similarity coefficient=0.81) and very low similarity with alpine meadow steppe (similarity coefficient=0.22). NMDS analysis demonstrated that grassland type explained 63.6% of the variation in grasshopper community composition. These results indicate significant differences in grasshopper community characteristics among grassland types in Zhaosu County, suggesting that grassland type is the primary factor influencing grasshopper community structure.

Key words: Zhaosu County; grassland type; grasshopper community characteristics; ecological niche; community similarity

中国蝗虫种类超过1 000种，其中约60种对农、林、牧业构成严重威胁（康乐和魏丽亚，2022）。新疆维吾尔自治区（简称新疆）蝗虫种类丰富，已知种类达170余种，其中对草原和农业造成显著危害的优势种包括意大利蝗*Calliptamus italicus*、黑腿星翅蝗*Calliptamus barbarus*和亚洲飞蝗*Locusta migratoria*等（刘宇贤等，2025a）。伊犁河谷作为新疆重要的草原牧区，蝗虫发生尤为频繁，现有记录135种，常年蝗虫发生面积达30万 hm^2左右，为害面积达10万 hm^2左右（于冰洁等，2019；郭继敏和李璇，2022）。昭苏县位于伊犁哈萨克自治州（简称伊犁）西部，地处特克斯河流域，与哈萨克斯坦接壤，草地资源丰富，是中国少数几乎没有荒漠草原的区域（胥洪军，2014）。但该地区同时面临本土与境外迁入蝗虫的双重影响，严重制约了当地畜牧业的稳定发展。蝗虫种群特征受温度、降水、日照等气候因子的显著影响，同时与植被类型、地形特征和土壤环境等密切相关（刘华湘等，2025）。因此，系统明确昭苏县不同草原类型的蝗虫群落结构特征，对推动当地蝗虫的精准防控、保障畜牧业生产与草原生态平衡具有重要的实践指导意义。

群落多样性是生物群落结构、组织水平及生境状况的重要指标，对草原蝗虫监测预警、科学防控和生态治理具有重要指导意义（王晢玮等，2015）。目前，利用Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数和Simpson优势度指数等一系列生态学度量指标已成为蝗虫生态学的常规研究方法（Fisher et al.，1943；Simpson，1949）。蝗虫群落结构具有显著的地理差异（Lv et al.，2023；刘华湘等，2025）。如内蒙古自治区（简称内蒙古）典型草原的优势种与新疆伊犁河谷的优势种截然不同，呈现出区域特异性（秦兴虎等，2015；宋兴敏等，2025）。草原类型及其植被特征是决定蝗虫栖息地选择与种群分布的关键因子（Fielding & Brusven，1993；Diaz & Cabido，1997；Van Der Werf et al.，2005）。然而，不同类型草原对蝗虫群落的影响呈现出显著的差异化特征。如伟军等（2024）研究发现在内蒙古植被适中的典型草原蝗虫多样性和丰富度最高；而刘缠民和廉振民（2001）则指出在陕西省北部荒漠草原的多样性显著高于典型草原和草甸草原；李金星等（2022）在博尔塔拉蒙

古自治州（简称博州）指出温性草原与温性荒漠草原的群落结构差异极大。此外，胡靖等（2021）研究甘肃省祁连山草原多样性时发现，在高山生境下，温性草原的生境异质性会导致蝗虫表现出极高的空间聚集强度。

目前对昭苏县草原蝗虫群落特征未见研究报道，且鉴于草原类型对蝗虫群落的显著驱动作用以及现有研究结论的局限性，本研究对昭苏县3种草原类型的蝗虫群落特征进行系统调查，对比分析群落结构特征、多样性指数、生态位宽度与重叠度及群落相似性，明确不同草原类型蝗虫群落差异并揭示其与草原类型之间的关联，以期为该区域蝗虫种群精准监测与生态治理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

样地选择与概述：昭苏县位于伊犁西南部（43°09′~43°15′ N、东经80°08′~81°30′ E），地处伊犁河上游特克斯河流域，位于特克斯-昭苏盆地西段。整个地形西高东低，海拔在1 323~6 995 m之间。昭苏县主要的3种类型草原为温性草原、温性草甸草原和高寒草甸草原（李海等，2004）。

1.2 方法

1.2.1 昭苏县不同类型草原蝗虫群落特征调查

对3种类型草原蝗虫进行野外采集调查，每种类型草原设置12个样地，每个样地设置5个样点，共设置36个样地，180个样点。采用对角线取样法，利用捕虫网在样地中心及四周进行扫网采集蝗虫，左右挥动180°为1个覆网，每次100个覆网，将采集的蝗虫转移到毒瓶中致死，按样地编号标记好再转移至长32.5 cm×宽22.8 cm的信封纸袋中，带回实验室进行种类鉴定，并统计数量。参考《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》《新疆昆虫原色图鉴》和《新疆蝗虫鉴定》进行物种鉴定（郑哲民和夏凯龄，1998；胡红英和黄人鑫，2013；王俊刚等，2014）。统计不同类型草原中蝗虫种类及数量，采用相对多度R_a区分优势种、常见种和稀有种蝗虫，计算公式为$R_a = \frac{N_i}{N} \times 100\%$，式中，$i$为第$N$种蝗虫的个体数，$N$为总个体数。$R_a$>10%为优势种，1%≤$R_a$≤10%为常见种，$R_a$<1%为稀有种（胡靖等，2021）。

1.2.2 昭苏县不同类型草原蝗虫群落多样性分析

采用Margalef丰富度指数D、Simpson优势度指数C、Shannon-Wiener多样性指数H'和Pielou均匀度指数J对不同草原类型中蝗虫群落进行多样性分析（李宏群等，2012；李金星等，2022）。丰富度指数反映群落中所含物种的多少，数值越高，表明物种丰富度越高，$D=(S-1)/\ln N$；优势度指数强调群落整体多样性而非单一优势种控制程度，$C=1-\sum_{i-1}^{S}(P_i)^2$；多样性指数综合反映群落的物种丰富程度与分布均匀性，数值越大，多样性水平越高，$H'=\sum_{i=1}^{S}P_i \ln P_i$；均匀度指数用于衡量物种个体数在群落中的分布均匀程度，指数越高，均匀性越强，$J = H'/\ln S$。上述式中，S为蝗虫物种数，N为蝗虫总个体数，P_i为该群落中第i个物种的个体数量占总数的比例。

1.2.3 昭苏县草原蝗虫群落生态位宽度和重叠度分析

采用Levins生态位宽度B_i和Pianka生态位重叠度Q_{ik}（宋占云等，2024）对昭苏县不同类型草原蝗虫群落生态位宽度和重叠度进行分析。生态位宽度反映了蝗虫种群对生境资源的利用能力与适应广度，$B_i=\frac{1}{r\sum_{j=1}^{r}P_{ij}^2}$，式中，$P_{ij}$表示第$i$种蝗虫在第$j$种草原类型中的个体数量占所有草原类型中该种蝗虫总数的比例，r为资源状态数（草原类型），该指数的理论取值范围为$1/r \le B_i \le 1$。在此基础上，为便于不同物种之间的比较，并将生态位宽度统一到0至1区间，对B_i进行线性标准化处理，$B'_i = \frac{B_i - 1/r}{1 - 1/r}$，标准化后的生态位宽度指数$B_i'$的取值范围为$0 \le B_i' \le 1$，数值越大表示物种生态位越宽。生态位重叠度则揭示不同物种间在空间资源利用上的相似程度及潜在的种间竞争压力，$Q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{r}P_{ij}P_{kj}}{\sum_{j=1}^{r}(P_{ij}^2) \times \sum_{j=1}^{r}(P_{kj})^2}$，式中，$Q_{ik}$为物种$i$、物种$k$之间的生态重叠值，$P_{ij}$、$P_{kj}$分别表示物种$i$、物种$k$在资源状态$j$内的个体数占物种$i$、物种$k$所有个体数的比例，$r$为资源集合中的总单元数。$Q_{ik}$的取值范围为0~1，$Q_{ik}$越大表示两物种间的生态位重叠值越大。

1.2.4 昭苏县不同类型草原蝗虫群落相似性分析

采用Jaccard相似性系数C_j来反映2个群落之间的相似程度（李金星等，2022），$C_j = j/((a+b)-j)$，式中，a为A草原类型中蝗虫种数，b为B草原类型中蝗虫种数，j为A、B两类草原类型中共有蝗虫种类数。根据相似性系数对不同草原类型蝗虫群落的相似性级别进行划分，0.75<相似性系数≤1.00，为极相似；0.50<相似性系数≤0.75，为中等相似；0.25<相

似性系数≤0.50，为中等不相似；0≤相似性系数≤0.25，为极不相似。

1.2.5 昭苏县不同类型草原蝗虫群落非度量多尺度分析

运用非度量多维尺度分析来可视化昭苏县不同类型草原蝗虫群落的Beta多样性（Anderson，2001）。非度量多尺度（non-metric multidimensional scaling，NMDS）分析基于Bray-Curtis相异矩阵，通过R语言vegan包中的metaMDS函数实现。该方法能更有效地提取群落数据的内在结构，其二维排序图可直观反映不同草原蝗虫群落的结构差异，点集聚集或分散的程度代表了蝗虫群落组成的相似性。此外，为检验不同草原类型间蝗虫群落结构差异的显著性，采用置换多元方差分析，通过vegan包中的adonis函数实现，置换次数设定为999次，以P<0.05表示差异显著，并利用R^2值量化生境类型对蝗虫群落结构变异的解释度。

2 结果与分析

2.1 昭苏县草原蝗虫种类及数量

本次调查共采集蝗虫标本20 434头，隶属于5科14属24种。网翅蝗科数量占比最高，达到52.55%，涉及7属15种蝗虫，其中牧草蝗属*Omocestus*和雏蝗属*Chorthippus*各5种，肿脉蝗属*Stauroderus*、曲背蝗属*Pararcyptera*、异爪蝗属*Euchorthippus*、米纹蝗属*Notostaurus*和戟纹蝗属*Dociostaurus*各1种；斑腿蝗科蝗虫占比次之，为37.36%，涉及2属4种（表1）。

从物种相对多度来看，所采集的24种蝗虫中，优势种2种，常见种15种，稀有种7种（表1）。意大利蝗和红腹牧草蝗*Omocestus haemorrhoidalis*的数量最多，相对多度分别为36.94%和10.10%，均为优势种；白边雏蝗*Chorthippus albomarginatus*和肿脉蝗*Stauroderus scalaris*数量次之，相对多度分别为7.37%和6.63%，为常见种（表1）。

表1 昭苏县草原蝗虫群落组成

Table 1 Composition of grasshopper communities in Zhaosu City

科 Family	属 Genus	种 Species	数量 Number	相对多度 Relative abundance/%	类型 Type
斑腿蝗科 Catantopidae	星翅蝗属 *Calliptamus*	意大利蝗 *Calliptamus italicus*	7 564	36.94	+++
		黑腿星翅蝗 *Calliptamus barbarus*	71	0.35	+
	裸蝗属 *Conophyma*	昭苏裸蝗 *Conophyma zhaosuensis*	44	0.22	+
		褐橄裸蝗 *Conophyma oliva*	119	0.58	+
网翅蝗科 Arcypteridae	牧草蝗属 *Omocestus*	红腹牧草蝗 *Omocestus haemorrhoidalis*	2 063	10.10	+++
		红胫牧草蝗 *Omocestus ventralis*	259	1.27	++
		曲线牧草蝗 *Omocestus petraeus*	240	1.17	++
		绿牧草蝗 *Omocestus viridulus*	221	1.08	++
		拟黑翅牧草蝗 *Omocestus peliopteroides*	1 054	5.16	++
	肿脉蝗属 *Stauroderus*	肿脉蝗 *Stauroderus scalaris*	1 354	6.63	++
	曲背蝗属 *Pararcyptera*	小翅曲背蝗 *Pararcyptera microptera*	464	2.27	++
	异爪蝗属 *Euchorthippus*	草原异爪蝗 *Euchorthippus pulvinatus*	903	4.42	++
	雏蝗属 *Chorthippus*	白边雏蝗 *Chorthippus albomarginatus*	1 509	7.37	++
		异色雏蝗 *Chorthippus bigutulus*	755	3.69	++
		长角雏蝗 *Chorthippus longicornis*	156	0.79	+
		翠饰雏蝗 *Chorthippus dichrous*	640	3.13	++
		中宽雏蝗 *Chorthippus apricarius*	514	4.50	++
	米纹蝗属 *Notostaurus*	红足米纹蝗 *Notostaurus rubripes*	444	2.17	++
	戟纹蝗属 *Dociostaurus*	狭条戟纹蝗 *Dociostaurus brevicollis*	162	0.79	+
斑翅蝗科 Oedipodidae	斑翅蝗属 *Oedipoda*	蓝斑翅蝗 *Oedipoda caerulescens*	122	0.60	+
	小车蝗属 *Oedaleus*	黑条小车蝗 *Oedaleus decorus*	554	2.71	++
槌角蝗科 Gomphoceridae	拟槌角蝗属 *Gomphoceroides*	新疆拟槌角蝗 *Gomphoceroides xinjiangensis*	919	4.50	++
	大足蝗属 *Gomphocerus*	西伯利亚蝗 *Gomphocerus sibiricus*	258	1.26	++
剑角蝗科 Acrididae	绿洲蝗属 *Chrysochraon*	大绿洲蝗 *Chrysochraon dispar major*	45	0.22	+

+：稀有种；++：常见种；+++：优势种。+: Rare species; ++: common species; +++: dominant species.

2.2 昭苏县不同类型草原蝗虫群落结构

不同类型草原中蝗虫种类组成、优势种存在显著差异，3种类型草原蝗虫数量及种类数从大到小为温性草原>温性草甸草原>高寒草甸草原。在温性草原共采集到19种11 159头蝗虫，种群数量最高；其中意大利蝗为绝对优势种，相对多度高达45.71%，稀有种有4种，分别为红胫牧草蝗*Omocestus ventralis*、长角雏蝗*Chorthippus longicornis*、大绿洲蝗*Chrysochraon dispar major*和蓝斑翅蝗*Oedipoda caerulescens*；其他15种均为常见种（表2）。在温性草甸草原共采集到17种7 804头蝗虫，其中优势种有3种，分别为意大利蝗、肿脉蝗和红腹牧草蝗，其相对多度分别为30.79%、11.93%和10.37%；稀有种为蓝斑翅蝗，相对多度为0.90%；常见种14种，包括白边雏蝗、拟黑翅牧草蝗*Omocestus peliopteroides*和异色雏蝗*Chorthippus biguttulus*等（表2）。高寒草原的蝗虫群落与其他两类草原存在明显差异，共采集到9种1 501头，其中优势种有3种，分别为拟黑翅牧草蝗、红腹牧草蝗和西伯利亚蝗*Gomphocerus sibiricus*，相对多度分别为38.04%、18.59%和17.19%，稀有种较多，如褐橄裸蝗*Conophyma oliva*和昭苏裸蝗*Conophyma zhaosuensis*，相对多度分别为7.93%和2.93%（表2）。

表2 不同类型草原蝗虫群落组成与优势度

Table 2 Community composition and dominance of grasshopper communities across different grassland types

种 Species	温性草原 Temperate grassland			温性草甸草原 Temperate meadow steppe			高寒草甸草原 Alpine meadow steppe		
	数量 Number	相对多度 Relative abundance/%	类型 Type	数量 Number	相对多度 Relative abundance/%	类型 Type	数量 Number	相对多度 Relative abundance/%	类型 Type
意大利蝗 *Calliptamus italicus*	5 087	45.71	+++	2403	30.79	+++	74	4.93	++
黑腿星翅蝗 *Calliptamus barbarus*	–	–	–	–	–	–	71	4.73	++
红腹牧草蝗 *Omocestus haemorrhoidalis*	975	8.76	++	809	10.37	++	279	18.59	+++
红胫牧草蝗 *Omocestus ventralis*	94	0.84	+	106	1.36	++	59	3.93	++
曲线牧草蝗 *Omocestus petraeus*	240	2.16	++	–	–	–	–	–	–
绿牧草蝗 *Omocestus viridulus*	–	–	–	221	2.83	++	–	–	–
肿脉蝗 *Stauroderus scalaris*	397	3.57	++	931	11.93	+++	26	1.73	++
小翅曲背蝗 *Pararcyptera microptera*	186	1.67	++	278	3.56	++	–	–	–
草原异爪蝗 *Euchorthippus pulvinatus*	703	6.32	++	200	2.56	++	–	–	–
白边雏蝗 *Chorthippus albomarginatus*	773	6.95	++	736	9.43	++	–	–	–
异色雏蝗 *Chorthippus bigutulus*	424	3.81	++	331	4.24	++	–	–	–
长角雏蝗 *Chorthippus longicornis*	65	0.58	+	91	1.17	++	–	–	–
翠饰雏蝗 *Chorthippus dichrous*	467	4.20	++	173	2.22	++	–	–	–
大绿洲蝗 *Chrysochraon dispar major*	45	0.40	+	–	–	–	–	–	–
拟黑翅牧草蝗 *Omocestus peliopteroides*	247	2.22	++	236	3.03	++	571	38.04	+++
红足米纹蝗 *Notostaurus rubripes*	188	1.69	++	256	3.28	++	–	–	–
狭条戟纹蝗 *Dociostaurus brevicollis*	162	1.46	++	–	–	–	–	–	–
西伯利亚蝗 *Gomphocerus sibiricus*	–	–	–	–	–	–	258	17.19	+++
蓝斑翅蝗 *Oedipoda caerulescens*	52	0.47	+	70	0.90	+	–	–	–
黑条小车蝗 *Oedaleus decorus*	386	3.47	++	168	2.15	++	–	–	–
昭苏裸蝗 *Conophyma zhaosuensis*	–	–	–	–	–	–	44	2.93	++
褐橄裸蝗 *Conophyma oliva*	–	–	–	–	–	–	119	7.93	+++
新疆拟槌角蝗 *Gomphoceroides xinjiangensis*	413	3.71	++	506	6.48	++	–	–	–
中宽雏蝗 *Cho. apricarius*	225	2.02	++	289	3.70	++	–	–	–

–：无数据；+：稀有种；++：常见种；+++：优势种。–: No data. +: rare species; ++: common species; +++: dominant species.

2.3 昭苏县不同类型草原蝗虫多样性分析

3种类型草原的蝗虫群落物种丰富度存在极显著差异（F=34.64，P<0.001），温性草原蝗虫群落物种丰富度指数最高，为2.10，温性草甸草原蝗虫群落次

之，为1.85，高寒草甸草原蝗虫群落物种丰富度指数最低，为1.35（图1）。优势度指数在3种类型草原的蝗虫群落间均无显著差异（F=1.36，P=0.27），温性草原、温性草甸草原和高寒草甸草原蝗虫群落的优势度分别为0.74、0.80和0.76（图1）。多样性指数在3种类型草原蝗虫群落间存在显著差异（F=7.07，P<0.05），温高寒草甸草原蝗虫群落的多样性指数为1.63，显著低于温性草原和温性草甸草原蝗虫群落（图1）。均匀度指数在3种类型草原蝗虫群落间存在显著差异（F=3.80，P=0.03），温性草原蝗虫群落的均匀度指数显著低于温性草甸草原和高寒草甸草原蝗虫群落（图1），说明不同类型草原中蝗虫分布的不均匀程度不同，表明温性草原中某一物种占据主导地位，其他物种的丰度较低，资源分布不均；而其他2种类型草原相对于温性草原生态系统资源的利用更加均匀，可能具有更高的生态稳定性和更强的抵抗力。

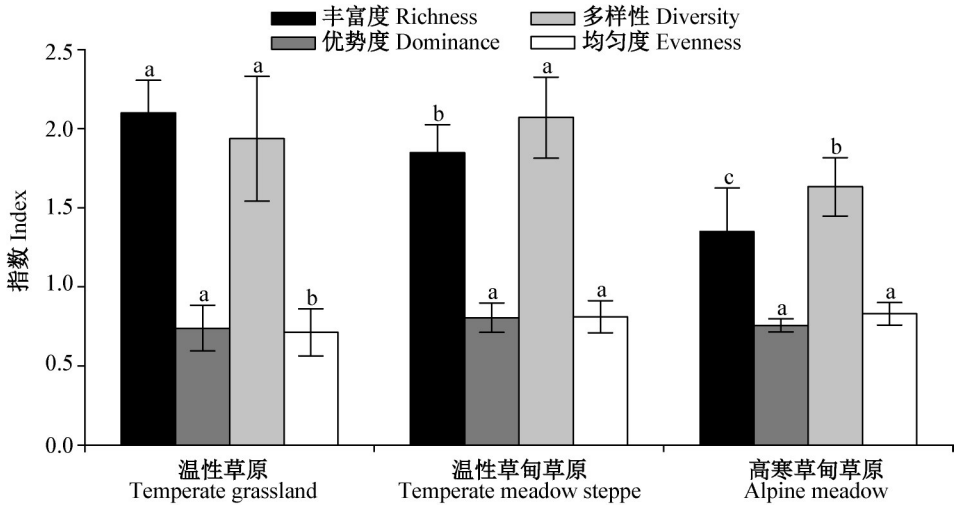


图1 昭苏县不同类型草原蝗虫多样性指数

Fig. 1 Diversity indices of grasshopper communities in different grassland types in Zhaosu County

图中数据为平均数±标准差。不同小写字母表示不同类型草原蝗虫群落间经Duncan氏新复极差法检验差异显著（P<0.05）。Data in figure are mean±SD. Different lowercase letters indicate significant differences among grasshopper communities in grassland types by Duncan's new multiple range test (P<0.05).

2.4 不同蝗虫群落生态位分析

在24种蝗虫中，红胫牧草蝗的生态位宽度最大，为0.95，其次为红腹牧草蝗、拟黑翅牧草蝗、白边雏蝗、新疆拟槌角蝗 *Gomphoceroides xinjiangensis*，生态位宽度分别为0.84、0.84、0.67和0.66，表明这些蝗虫有较强的生态适应性与资源利用能力。相反，曲线牧草蝗 *Omocestus petraeus*、狭条戟纹蝗 *Dociostaurus brevicollis*、绿牧草蝗 *Omocestus viridulus*、大绿洲蝗、西伯利亚蝗、黑腿星翅蝗、昭苏裸蝗和褐橄裸蝗的生态位宽度最小，均为0.33（图2），这些物种仅分布于一种草原类型中，表现出高度的生境特异性。

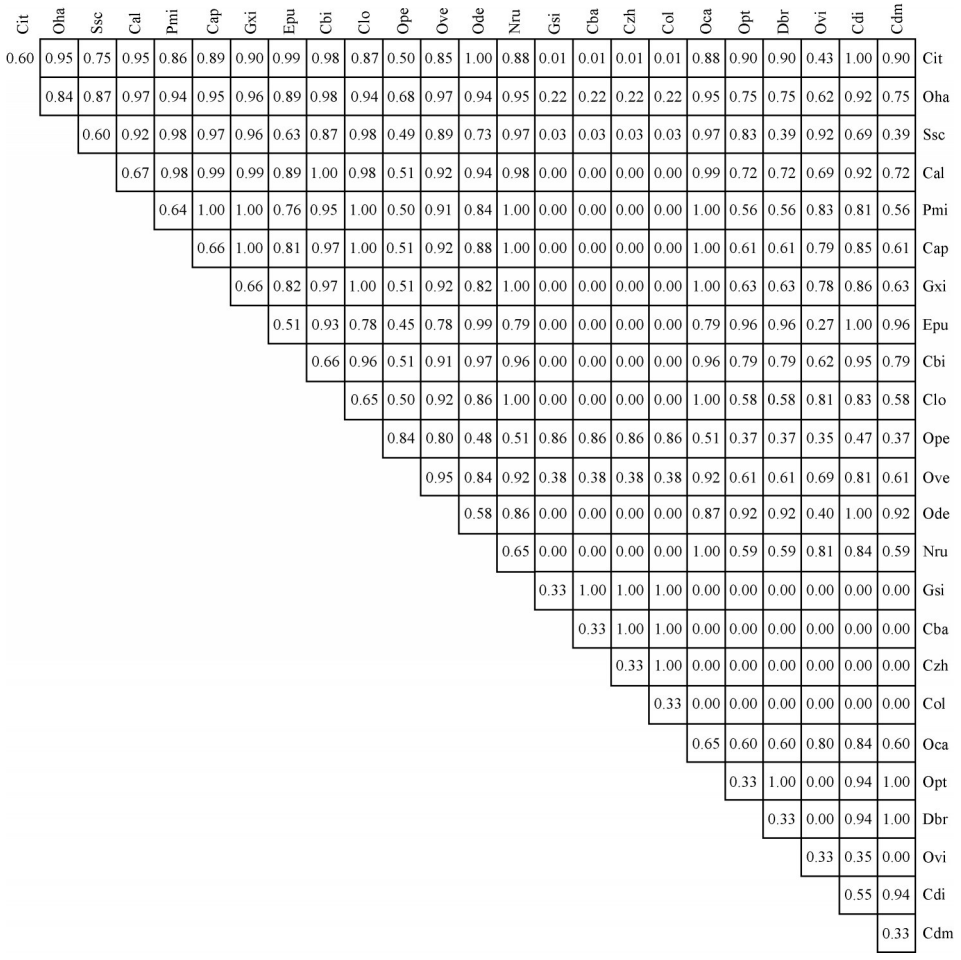
在生态位重叠矩阵中，共有28对蝗虫之间的重叠度≥0.99，表明这些高度重叠蝗虫在空间分布和资源利用上高度相似，种间竞争较强。而曲线牧草蝗、狭条戟纹蝗、绿牧草蝗、大绿洲蝗、西伯利亚蝗、黑腿星翅蝗、昭苏裸蝗和褐橄裸蝗这些仅存在于一种草原类型中，与绝大多数蝗虫的重叠度为0（图2），表明它们生态位高度特化，与其他物种无资源利用冲突。

2.5 蝗虫群落相似性

温性草原与温性草甸草原的蝗虫群落相似性系数最高，达到0.80。相比之下，温性草原与高寒草甸草原的蝗虫群落相似性系数仅为0.22，温性草甸草原与高寒草甸草原的蝗虫群落相似性系数为0.24，均处于较低水平，说明高寒草甸草原的蝗虫群落与2种温性草原蝗虫群落存在明显差异（表3）。

2.6 不同类型草原蝗虫群落的NMDS分析

基于Bray-Curtis距离的NMDS分析结果显示，3种草原类型的蝗虫群落结构存在明显分离（图3）。压力函数值为0.063，表明分析结果的拟合度非常高。置换多元方差分析进一步验证了不同草原类型间蝗虫群落结构存在显著差异（P<0.05），草原类型解释了蝗虫群落变异的63.60%，是影响蝗虫群落组成的主要因子。高寒草甸草原的样地在（NMDS）轴上显著分离于其他两类型草原，而温性草甸草原与温性草原的样地则在（NMDS）1轴负值区域重叠较多，表明其群落组成具有一定的相似性（图3）。



对角线表示生态位宽度，对角线上方表示生态位重叠度。Cit：意大利蝗；Oha：红腹牧草蝗；Ssc：肿脉蝗；Cal：白边雏蝗；Pmi：小翅曲背蝗；Cap：中宽雏蝗；Gxi：新疆拟槌角蝗；Epu：草原异爪蝗；Cbi：异色雏蝗；Clo：长角雏蝗；Ope：拟黑翅牧草蝗；Ove：红胫牧草蝗；Ode：黑条小车蝗；Nru：红足米纹蝗；Gsi：西伯利亚蝗；Cba：黑腿星翅蝗；Czh：昭苏裸蝗；Col：褐橄裸蝗；Oca：蓝斑翅蝗；Opt：曲线牧草蝗；Dbr：狭条戟纹蝗；Ovi：绿牧草蝗；Cdi：翠饰雏蝗；Cdm：大绿洲蝗。The diagonal represents niche breadth, and values above the diagonal represent niche overlap. Cit: *Calliptamus italicus*; Oha: *Omocestus haemorrhoidalis*; Ssc: *Stauroderus scalaris*; Cal: *Chorthippus albomarginatus*; Pmi: *Pararcyptera microptera*; Cap: *Chorthippus apricarius*; Gxi: *Gomphoceroides xinjiangensis*; Epu: *Euchorthippus pulvinatus*; Cbi: *Chorthippus bigutulus*; Clo: *Chorthippus longicornis*; Ope: *Omocestus peliopteroides*; Ove: *Omocestus ventralis*; Ode: *Oedaleus decorus*; Nru: *Notostaurus rubripes*; Gsi: *Gomphocerus sibiricus*; Cba: *Calliptamus barbarus*; Czh: *Conophyma zhaosuensis*; Col: *Conophyma oliva*; Oca: *Oedipoda caerulescens*; Opt: *Omocestus petraeus*; Dbr: *Dociostaurus brevicollis*; Ovi: *Omocestus viridulus*; Cdi: *Chorthippus dichrous*; Cdm: *Chrysochraon dispar major.*

图2 蝗虫在不同类型草原的生态位宽度和重叠度

Fig. 2 Niche breadth and overlap of grasshoppers across different grassland types

表3 不同类型草原蝗虫群落相似性系数

Table 3 Similarity coefficients of grasshopper communities across different grassland types

草原类型 Grassland type	温性草原 Temperate grassland	温性草甸草原 Temperate meadow steppe	高寒草甸草原 Alpine meadow steppe
温性草原 Temperate grassland	1.00	0.80	0.22
温性草甸草原 Temperate meadow steppe		1.00	0.24
高寒草甸草原 Alpine meadow steppe			1.00

3 讨论

本研究在昭苏县共采集到24种蝗虫，优势种为意大利蝗和红腹牧草蝗。这一结果与宋兴敏等（2025）关于新疆全域及伊犁州蝗虫优势种分布的研究结论高度一致。与陈永林（1981）早期记录的新疆及昭苏蝗虫区系相比，物种组成发生明显更替，虽然意大利蝗、黑腿星翅蝗、狭条戟纹蝗和红腹牧草蝗等

种群保持稳定，但土兰曲背蝗 *Pararcyptera microptera turanica*、简蚍蝗 *Eremippus simplex* 和黑赤翅蝗 *Celes variabilis* 等历史记录种未发现，而绿牧草蝗、褐橄裸蝗、新疆拟槌角蝗、红足米纹蝗和拟黑翅牧草蝗等成为新增记录种。这种群落结构动态变化可能与近几十年来的气候暖湿化趋势及草地利用方式（如人类活动、放牧强度）的综合影响有关（Latchininsky，2013；宋兴敏等，2025）。此外，乔永民等（1999）指出新疆蝗虫区系有高度的特有性，特有种占比达22.3%，本研究结果印证了这一观点，在高寒草甸发现的昭苏裸蝗和褐橄裸蝗可能属于此类特有种，反映了昭苏县作为山地–草甸过渡带具有的物种特异性。

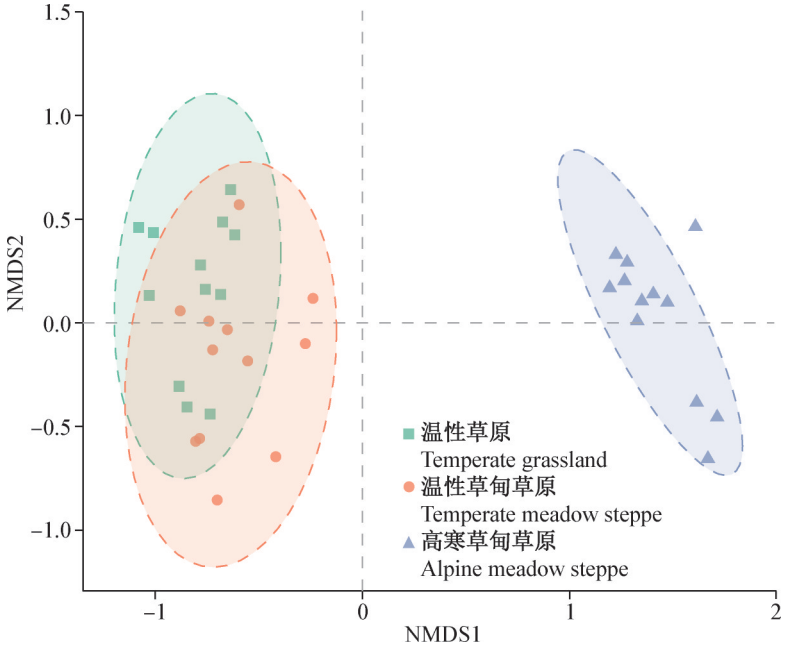


图3 蝗虫群落非度量多尺度分析

Fig. 3 Non-metric multidimensional scaling analysis of grasshopper communities

草原类型通过微气候环境与植被结构对蝗虫群落产生显著的生境筛选作用（Diaz & Cabido，1997）。本研究发现高寒草甸草原蝗虫群落的丰富度和多样性均显著低于温性草原和温性草甸草原蝗虫群落。这一结果与钱秀娟等（2024）在甘肃省草原的研究结果一致，表明高寒草甸草原低温、海拔和植被等环境因子可能限制了蝗虫群落的聚集和维持。相比之下，温性草甸草原蝗虫群落的多样性指数最高，呈现出与祁连山地区类似的分布格局（郑成卓等，2023），蝗虫群落多样性指数从高到低分别为温性草原>低地草甸>温性荒漠>高寒草甸。这种多样性分布格局可能因为海拔梯度变化的水热条件共同决定了植被的生产力与结构复杂性，进而影响蝗虫多样性（Körner，2007）。此外，本研究中3种类型草原的蝗虫群落优势度指数无显著差异，这与李金星等（2022）和李东红等（2024）的研究结果类似，均指出不同草地类型蝗虫群落的优势度指数差异不显著，表明在区域尺度上蝗虫群落的优势种结构可能受更大尺度环境因子（如气候）的调控，而非由局部生境差异决定。

生态位宽度和重叠度是衡量物种对环境资源利用能力及种间关系的重要指标。秦兴虎等（2015）在内蒙古典型草原的研究表明生态位宽度较大的物种往往为群落的优势种，但本研究结果并未完全支持这一观点。本研究中红胫牧草蝗的生态位宽度最大，表明其具有极强的生态可塑性，能利用温性草原、草甸草原等多种生境资源。相比之下，意大利蝗为绝对优势种，对生境具有较强的选择性，但其具有极高的繁殖潜力和表型可塑性，一旦环境条件适宜，该物种能迅速抢占资源并暴发成灾（Sergeev，2021）。西伯利亚蝗、昭苏裸蝗和褐橄裸蝗等8种蝗虫生态位宽度最小，仅分布于单一生境，显示出对特定环境因子的高度依赖性。在生态位重叠方面，本研究显示大部分物种之间的重叠度较高，反映了昭苏县草原蝗虫在空间分布和资源利用上有较高的相似性。然而，这些物种在昭苏县草原能够长期稳定共存首先可能是因为降水充沛，植被覆盖度高，食物资源相对丰富。当资源供给超过群落中个体的总需求时，种间竞争强度会显著降低，允许生态位高度重叠的

物种共存(Pianka, 1974)。其次是多维生态位的互补分化，康乐和陈永林(1994)提出的多维生态位理论指出，共存物种若在空间维度上高度重叠，往往会在时间或营养维度上发生分化。例如，王婷(2016)针对新疆7种主要蝗虫的食性分析证实，即便是在同一生境中共存的蝗虫，其寄主选择也存在显著分化。因此，推测昭苏县草原的蝗虫同样通过多维生态位分化及丰富的资源，从而在维持高生态位重叠的同时避免了资源利用冲突。

群落相似性与NMDS分析揭示了生境异质性对蝗虫群落空间格局的塑造作用，其结果表明草原类型是解释群落变异的主要驱动力。这与刘宇贤等(2025b)和Song et al.(2024)研究结论一致，即生境异质性是驱动草原蝗虫群落空间格局的重要因素。综上，昭苏县草原蝗虫群落结构受草原类型显著调控。鉴于温性草原和温性草甸草原的蝗虫群落相似性较高且是意大利蝗和红腹牧草蝗主要优势种的集中发生区，建议将其列为重点监测区域，并关注意大利蝗和红腹牧草蝗的扩散潜力。同时加强高寒草甸草原保护与管理，侧重于保护稀有种蝗虫，以实现蝗虫群落的可持续调控。

参 考 文 献（References）

Anderson MJ. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecology, 26(1): 32−46

Chen YL. 1981. Studies on the acridoids of Xinjiang Uighur Autonomous Region: distribution of acridoids, I: faunal & regional distribution. Acta Entomologica Sinica, 24(1): 17−27 (in Chinese) [陈永林. 1981. 新疆维吾尔自治区的蝗虫研究: 蝗虫的分布. 昆虫学报, 24(1): 17−27]

Diaz S, Cabido M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. Journal of Vegetation Science, 8(4): 463−474

Fielding DJ, Brusven MA. 1993. Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) community composition and ecological disturbance on southern Idaho rangeland. Environmental Entomology, 22(1): 71−81

Fisher RA, Corbet AS, Williams CB. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. The Journal of Animal Ecology, 12(1): 42−48

Guo JM, Li X. 2022. Popularization and effect of locust control technology in grassland of Yili River Valley. Forestry of Xinjiang, (6): 38−40 (in Chinese) [郭继敏, 李璇. 2022. 伊犁河谷草原蝗虫防控技术的推广及成效. 新疆林业, (6): 38−40]

Hu HY, Huang RJ. 2013. Colored pictorial handbook of insects in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang University Press (in Chinese) [胡红英, 黄人金. 2013. 新疆昆虫原色图鉴. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社]

Hu J, Qian XJ, Liu CZ. 2021. Responses of the grasshopper community biodiversity and pattern intensity to the plant community. Journal of Plant Protection, 48(1): 202−211 (in Chinese) [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]

Kang L, Chen YL. 1994. Multidimensional analysis of resource utilization by grasshopper guilds in grassland (Orthoptera: Acrididae). Entomologia Sinica, 37(3): 264−282 (in Chinese) [康乐, 陈永林. 1994. 草原蝗虫种团资源利用的多维分析(直翅目: 蝗科). 昆虫学报, 37(3): 264−282]

Kang L, Wei LY. 2022. Progress of acridology in China over the last 60 years. Journal of Plant Protection, 49(1): 4−16 (in Chinese) [康乐, 魏丽亚. 2022. 中国蝗虫学研究60年. 植物保护学报, 49(1): 4−16]

Körner C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. Trends in Ecology & Evolution, 22(11): 569−574

Latchininsky AV. 2013. Locusts and remote sensing: a review. Journal of Applied Remote Sensing, 7(1): 075099

Li DH, Hao YY, Gan HL, Zhang H, Liu YM, Ta FY, Hu GX. 2024. Distribution of grasshoppers (Orthoptera: Acridoidea) in different grassland types across the middle zone of the northern Qilian Mountains, western China. Biodiversity Science, 32(9): 30−43 (in Chinese) [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 H, Jiang SH, Wang XF, Ma JF, Deng HF. 2004. The Zhaosu grassland resources and their sustainable use. Pratacultural Science, 21(3): 7−9 (in Chinese) [李海, 江世华, 王雪芬, 马江飞, 邓海峰. 2004. 昭苏草地资源及其可持续利用. 草业科学, 21(3): 7−9]

Li HQ, Han ZX, Wu SB, Cao CL, Liu HF. 2012. Diversity of grasshopper community in Huanglong Mountain of Shaanxi Province. Guizhou Agricultural Sciences, 40(6): 128−130 (in Chinese) [李宏群, 韩宗先, 吴少斌, 曹长雷, 刘红芳. 2012. 陕西黄龙山蝗虫群落的生物多样性分析. 贵州农业科学, 40(6): 128−130]

Li JX, Jin Q, Guan TX, Li RC, Zhou DL, Dorhong·Biyak, Bu RD, Zhang XY, Ren JL, Zhao L. 2022. Diversity and community structure characteristics of grassland locusts in Bortala Mongol Autonomous Prefecture, Xinjiang. Chinese Journal of Biological Control, 38(5): 1213−1222 (in Chinese) [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 CM, Lian ZM. 2001. The study on diversity of grasshoppers community in North Shaanxi. Journal of Xuzhou Normal University (Natural Science Edition), 19(2): 63−65 (in Chinese) [刘缠民, 廉振民. 2001. 陕西北部蝗虫群落多样性研究. 徐州师范大学学报(自然科学版), 19(2): 63−65]

Liu HX, Song XM, Wang MJ, Li CE, Cao ZJ, Ji R, Yuan L, Liu HX. 2025. Study on community structure and influencing factors of grasshoppers under different plants functional groups in Yili River basin desert grasslands. Journal of Agricultural Science and Technology, 27(10): 151−159 (in Chinese) [刘华湘, 宋兴敏, 王梦佳,

李传恩, 曹竹君, 季荣, 袁亮, 刘慧霞. 2025. 伊犁河流域荒漠草原不同植物功能群下蝗虫群落结构及其影响因子的研究. 中国农业科技导报, 27(10): 151−159]

Liu YX, Shi JY, Wang SS, He YH, Yuan GZ, Pu XY, Zhou C, Liu CY. 2025b. Diversity and community structure characteristics of grassland grasshoppers. Xinjiang Agricultural Sciences, 62(5): 1258−1265 (in Chinese) [刘宇贤, 师建银, 王少山, 何宇恒, 原官正, 蒲星宇, 周超, 刘长月. 2025b. 草原蝗虫多样性及群落结构特征. 新疆农业科学, 62(5): 1258−1265]

Liu YX, Wang SS, He YH, Yuan GZ, Pu XY, Zhou C. 2025a. Research progress on grasshoppers in Xinjiang. Plant Protection, 51(1): 30−36, 122 (in Chinese) [刘宇贤, 王少山, 何宇恒, 原官正, 蒲星宇, 周超. 2025a. 新疆蝗虫研究进展. 植物保护, 51(1): 30−36, 122]

Lv YY, Yu HY, Chen W, Li M, Yi SH, Meng BP. 2023. Predicting inhabitable areas for locust based on field observation and multi-environmental factors in alpine grassland: a case study in the Qilian Mountain National Park, China. Frontiers in Ecology and Evolution, 11: 1149952

Pianka ER. 1974. Niche overlap and diffuse competition. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 71(5): 2141−2145

Qian XJ, Wang XD, Zheng CZ, Liu CZ. 2024. Diversity and spatial niche of grasshoppers in alpine steppe of Gansu Province. Journal of Plant Protection, 51(5): 1134−1146 (in Chinese) [钱秀娟, 王兴铎, 郑成卓, 刘长仲. 2024. 甘肃省天然草原蝗虫群落结构及生态位. 植物保护学报, 51(5): 1134−1146]

Qiao YM, Lian ZM, Hu YQ. 1999. A survey of acridological research works on grasshoppers in Xinjiang. Journal of Xi'an University, 2 (2): 15−18, 24 (in Chinese) [乔永民, 廉振民, 胡玉琴. 1999. 新疆蝗虫学研究概况. 西安联合大学学报, 2(2): 15−18, 24]

Qin XH, Wu HH, Huang XB, Wang GJ, Cao GC, Nong XQ, Zhang ZH. 2015. Community structure and ecological niche of grasshopper in typical steppes in Inner Mongolia. Plant Protection, 41(5): 17−25 (in Chinese) [秦兴虎, 吴惠惠, 黄训兵, 王广君, 曹广春, 农向群, 张泽华. 2015. 内蒙古典型草原蝗虫群落结构和生态位研究. 植物保护, 41(5): 17−25]

Sergeev MG. 2021. Distribution patterns of grasshoppers and their kin over the Eurasian steppes. Insects, 12(1): 77

Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. Nature, 163(4148): 688

Song XM, Lin J, Chen JJ, Ji R. 2025. Species and distribution of major locusts in Xinjiang and occurrence trend. Forest Pest and Disease, DOI: 10.19688/j. cnki. issn1671-0886. 20250032 (in Chinese) (in Chinese) [宋兴敏, 林峻, 陈吉军, 季荣. 2025. 新疆主要蝗虫种类分布及发生趋势. 中国森林病虫, DOI: 10.19688/j.cnki.issn1671-0886. 20250032.]

Song XM, Wang MJ, Li CN, Jashenko R, Cao ZJ, Liu HX, Ji R. 2024. Changes in locusts diversity, niche and interspecific association at different altitudes in the Ili River basin of China. Ecological Indicators, 167: 112668

Song ZY, Wan YX, Zha XD, Chen R, Yang J, Jashenko R, Ji R. 2024. Spatial niche study of grasshoppers in Tacheng-Emin Basin. Journal of Environmental Entomology, 46(3): 625−634 (in Chinese) [宋占云, 万育欣, 查绪栋, 陈冉, 杨静, Jashenko R, 季荣. 2024. 塔额盆地草原蝗虫空间生态位研究. 环境昆虫学报, 46(3): 625−634]

Van Der Werf W, Woldewahid G, Van Huis A, Butrous M, Sykora KV. 2005. Plant communities can predict the distribution of solitarious desert locust *Schistocerca gregaria*. Journal of Applied Ecology, 42(5): 989−997

Wang JG, Zhao L, Lei YH. 2014. Identification of locusts in Xinjiang. Wujiaqu: Xinjiang Production and Construction Corps Press (in Chinese) [王俊刚, 赵莉, 雷勇辉. 2014. 新疆蝗虫鉴定. 五家渠: 新疆生产建设兵团出版社]

Wang T. 2007. Studies on the choice of seven primary grasshoppers for host plant and system evolution relationships of them in Xinjiang. Master thesis. Urumqi: Xinjiang Normal University (in Chinese) [王婷. 2007. 新疆7种主要蝗虫对寄主植物的选择及其系统进化关系研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆师范大学]

Wang XW, Han X, Zhang LX, Fan JS, Sun Y, Wang SX, Zhou YL, Chen ZH, Zhang K, Wang GQ. 2015. Research on community dynamics of rangeland grasshopper in western Heilongjiang Province. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 6(1): 60−68 (in Chinese) [王晢玮, 韩笑, 张李香, 范锦胜, 孙元, 王世喜, 周艳丽, 陈中华, 张坤, 王贵强. 2015. 黑龙江省西部草地蝗虫群落时间动态的研究. 黑龙江大学工程学报, 6(1): 60−68]

Wei J, Sa L, Zhu BB, Hu SL, Liu H, Bai HT, Hu XB, Liu Y. 2024. Diversity analysis of grasshoppers in the grasslands of Xinbaerhu Left Banner, Inner Mongolia. Journal of Plant Protection, 51(5): 1147−1157 (in Chinese) [伟军, 萨拉, 朱宾宾, 呼斯勒, 刘昊, 白海涛, 胡晓彬, 刘毅. 2024. 内蒙古新巴尔虎左旗草原蝗虫多样性分析. 植物保护学报, 51(5): 1147−1157]

Xu HJ. 2014. Distribution and characteristics of grassland resources in Zhaosu County. Xinjiang Xumuye, 30(12): 50−51 (in Chinese) [胥洪军. 2014. 昭苏县草地资源分布与特征. 新疆畜牧业, 30(12): 50−51]

Yu BJ, Chen JJ, Ji R. 2019. Advances in research on locusts and locust monitoring technology in Xinjiang. Chinese Journal of Applied Entomology, 56(5): 927−933 (in Chinese) [于冰洁, 陈吉军, 季荣. 2019. 新疆蝗虫及其监控技术研究进展. 应用昆虫学报, 56 (5): 927−933]

Zheng CZ, Liu HL, Wang XD, Dong ZX, Fu LH, Liu CZ, Qian XJ. 2023. Species diversity of grasshoppers (Orthoptera: Oedipodidae and Catantopidae) in natural grassland of Qilian Mountains. Chinese Journal of Applied Entomology, 60(5): 1592−1600 (in Chinese) [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 Sinica (Vol. 10). Insecta: Orthoptera: Acridoidea: Oedipodidae, Arcypteridae. Beijing: Science Press (in Chinese) [郑哲民, 夏凯龄. 1998. 中国动物志第十卷. 昆虫纲: 直翅目 蝗总科 斑翅蝗科, 网翅蝗科. 北京: 科学出版社]

(责任编辑:王 璇)