

DOI: 10.20103/j.stxb.202411042696

王雪岩, 吴馨怡, 林峻, 何岚, 张永军, 杨坤, 季荣, 董化楠. 环境因子对新疆玛纳斯县不同草地类型地表节肢动物群落结构的影响. 生态学报, 2025, 45(23): - .

Wang X Y, Wu X Y, Lin J, He L, Zhang Y J, Yang K, Ji R, Dong H N. The influence of environmental factors on the community structure of surface arthropods in different grassland types in Manas County, Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(23): - .

环境因子对新疆玛纳斯县不同草地类型地表节肢动物群落结构的影响

王雪岩¹, 吴馨怡¹, 林峻², 何岚^{1,*}, 张永军¹, 杨坤², 季荣¹, 董化楠¹

1 新疆师范大学生命科学学院, 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心, 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 塔城昆虫迁飞生物学新疆野外科学观测研究站, 乌鲁木齐 830054

2 新疆维吾尔自治区蝗虫鼠害预测预报防治中心站, 乌鲁木齐 830001

摘要: 为了解不同草地类型地表节肢动物群落结构特征及其驱动因素, 以新疆玛纳斯县温性荒漠草原、温性草甸草原和温性草原为研究区域, 于 2023 年 5—9 月及 2024 年 4 月通过巴氏罐诱集法调查节肢动物群落组成特征及优势种的变化规律, 结合气候、植被及土壤数据, 分析影响其时空动态的驱动因子。主要结果: (1) 共诱集到节肢动物 1986 只, 隶属于 5 科 9 属 9 种, 以拟步甲科 (Tenebrionidae) 和金龟科 (Scarabaeidae) 为优势类群。(2) 地表节肢动物群落结构显示出显著的季节性差异, 相对湿度是影响地表节肢动物群落时序变化的主要驱动因子。(3) 温度是三种草地类型群落结构的核心驱动因子。此外, 地表节肢动物群落结构还受到其他环境因子的影响, 但作用强度在不同草地类型间存在显著差异: 土壤 pH 对温性荒漠草原地表节肢动物群落影响最显著, 月降雨量、相对湿度是影响温性草甸草原地表节肢动物群落的显著因子, 温性草原中地表节肢动物群落受土壤湿度影响最显著。研究结果为理解环境因子与不同草地类型地表节肢动物群落结构的关系补充理论数据, 为保护草地地表节肢动物多样性和有害物种防治措施的制定提供参考依据。

关键词: 群落结构; 地表节肢动物; 干旱半干旱区; 驱动因素

The influence of environmental factors on the community structure of surface arthropods in different grassland types in Manas County, Xinjiang

WANG Xueyan¹, WU Xinyi¹, LIN Jun², HE Lan^{1,*}, ZHANG Yongjun¹, YANG Kun², JI Rong¹, DONG Huanan¹

1 School of Life Sciences, Xinjiang Normal University; International Center for the Collaborative Management of Cross-border Pests in Central Asia; Xinjiang Laboratory of Special Pests Conservation and Regulatory Biology; Xinjiang Field Scientific Observation and Research Station for Insect Migration Biology in Tacheng, Urumqi 830054, China

2 The Central Station of Locust and Rodent Prediction and Control of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830001, China

Abstract: In the arid and semi-arid desert grasslands of Xinjiang, we chose Manas County as the study area due to its unique ecological characteristics and diverse surface arthropod populations. To collect surface arthropods effectively, we employed the pitfall trap method from May to September 2023 and April 2024, which allowed us to capture a wide range of specimens while minimizing disturbance to their natural environment. We conducted a thorough investigation into the composition of both ground vegetation and surface arthropod communities present in this area. This involved detailed field surveys where we documented plant species diversity alongside our surface arthropod captures. We analyzed the

基金项目: 新疆师范大学青年拔尖人才项目 (XJNUQB2023-12); 新疆草原有害生物普查项目 (2021-2023) (XJCYYH-01); 天山英才领军人才项目 (TSYCLJ0016)

收稿日期: 2024-11-04; 网络出版日期: 2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 517804636@qq.com

characteristics of these surface arthropod communities by examining factors such as abundance, richness, and evenness within each grassland type over time. Additionally, we focused on alterations in dominant species throughout different months; this temporal aspect provided insights into seasonal dynamics within these communities. To interpret the relationships between surface arthropod distribution patterns and environmental factors more comprehensively, we utilized Redundancy Analysis (RDA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA). These statistical methods enabled us to identify significant correlations between abiotic variables such as temperature fluctuations and biotic responses observed in our collected data. The outcomes demonstrated that across three types of grassland located within Manas County, a total of 1986 individual surface arthropods were captured during our survey period. These specimens belonged to five families encompassing nine genera and nine distinct species. Tenebrionidae beetles dominated from April to July, but were replaced by Scarabaeidae in August, suggesting shifts in ecological interactions or resource availability during warmer months. Consequently, it is essential for future research efforts to enhance monitoring protocols specifically targeting Tenebrionidae and Scarabaeidae populations from April through August when their activity peaks are most pronounced. The composition of the surface arthropod community exhibited significant variation across different months. In April, the diversity of surface arthropods was markedly higher compared to other months. Conversely, the diversity of surface arthropod communities declined substantially in August, with evenness reaching its lowest level during this period. Relative humidity emerged as the primary driving factor influencing the temporal dynamics of the surface arthropod community. Overall, temperature served as the predominant factor affecting changes in surface arthropod communities across all grassland types. Additionally, the composition and structure of the surface arthropod community were influenced by other environmental factors, though the extent of their impact varied considerably among different grassland types. For example, in temperate desert steppe soil pH proved pivotal determining factor affecting local distribution; whereas relative humidity coupled with monthly rainfall exhibited the strongest correlation regarding population dynamics observed in temperate meadow steppe; finally concluding observations made at temperate steppe highlighted the importance attributed to maintaining adequate soil moisture levels necessary sustaining viable habitats conducive supporting thriving biodiversity therein.

Key Words: community structure; surface arthropods; arid and semi-arid areas; Driving factor

新疆作为中国西北部干旱与半干旱生态区域的典型代表^[1],生态系统较为脆弱^[2-3]。草地是该区域主要的生态系统类型,也是畜牧业发展的重要基础^[4-7]。玛纳斯县是新疆天山北坡经济带中重要的组成部分,草地资源丰富,全县拥有天然草场 58.08 万 hm^2 ,占土地总面积的 52.76%^[8]。县内有玛纳斯河与塔西河两条主要河流,为草地生态系统提供了涵养水源,同时保障了草地生态系统的生物多样性。然而随着玛纳斯河流域水土资源不合理的开发利用^[9]以及塔西河流域的山体滑坡等因素^[10-11],玛纳斯县草地生态系统功能逐渐退化。

地表节肢动物作为草地生态系统的重要组成部分^[12],在维持草地生态系统功能与稳定性中起着至关重要的作用^[13-16]。在干旱、半干旱生态系统中,地表节肢动物是草地生态系统的生物指示剂^[17],受到生境中植物组成、结构和多样性的影响^[18-20]。目前已有的研究多侧重于节肢动物的多度和分布特征^[21],但针对节肢动物群落结构驱动因子的研究较少,这些资料的缺乏可能制约草地生态系统决策的严谨性。本研究以玛纳斯县 3 种常见草地类型为研究区域,调查其地表节肢动物群落结构的变化,明确气候、植被及土壤因子对地表节肢动物群落结构的影响,为草原有害物种防治策略提供参考依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

玛纳斯县坐落于新疆昌吉回族自治州的最西端,雄踞天山山脉北麓中段,准噶尔盆地西南缘,依傍玛纳斯河东岸,地处北纬 $43^{\circ}28'$ — $45^{\circ}38'$,东经 $85^{\circ}34'$ — $86^{\circ}43'$ 之间,最高海拔 5,222 m。该地区属温带大陆性气候,

具有冬季严寒,夏季酷热,日照充足,干旱少雨等特点。年平均气温 7.2 ℃,盛夏(七月)均温 24.4 ℃,严冬(一月)均温-18.4 ℃,极端温差 39.6 ℃至-37.4 ℃。年均降水 173.3 mm,峰值年份可达 251.1 mm,单日之最 34.5 mm。年均降雪 74.4 mm,占全年降水 27%。盛行东风,入夏转西,平均风速 2.5 m/s,瞬时极值 20 m/s。土壤体系涵盖七大类别:灌淤土、潮土、灰漠土、栗钙土、棕钙土、风沙土和盐土。农田多为灌淤土,玛纳斯河、塔西河两河冲积扇中部和上部多为灰漠土,栗钙土、棕钙土,是半干旱草原地区形成的热带性土壤^[22]。本研究选取的 3 块样地位于玛纳斯县塔西河流域附近,且 3 块样地地形与生境各不相同。

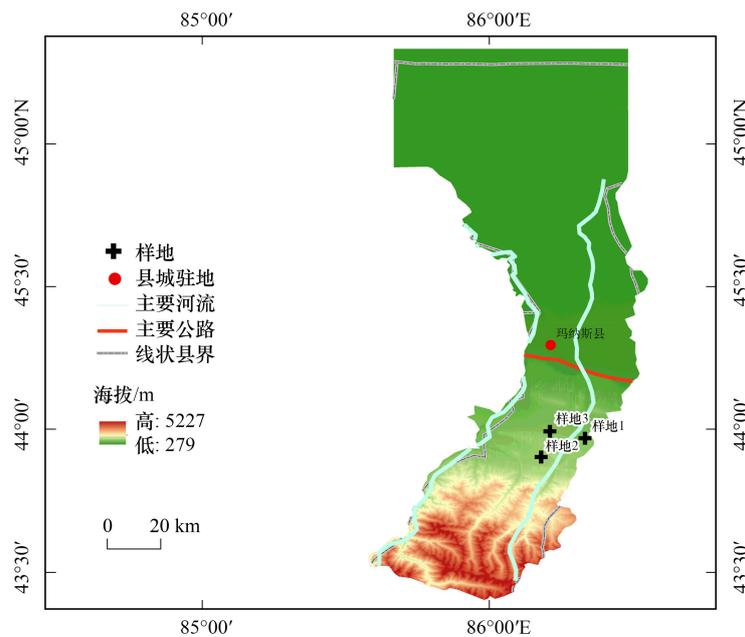


图 1 玛纳斯县诱集点示意图

Fig.1 Schematic diagram of the luring points in Manas County

1.2 样地设计与样品采集

本研究选择了 3 种不同草地类型的样地:(1)样地 1 为温性荒漠草原(43°58'14.6"N,86°32'57.5"E),地形为山地,植物以蒿属(*Artemisia*)和碱蓬(*Suaeda glauca*)为主。(2)样地 2 为温性草甸草原(43°58'14.6"N,86°11'12.4"E),地势较为平坦,植物以苔草(*Carex tristachya*)、米口袋(*Gueldenstaedtia verna*)、细叶鸢尾(*Iris tenuifolia*)为主。(3)样地 3 为温性草原(43°59'42.0"N,86°13'3.8"E),山地牧场,植物以苔草(*Carex tristachya*)、猪毛菜(*Kali collinum*)为优势种。草地类型的划分参照北京农业大学谭慎修的标准^[23]。

2023 年 5—9 月及次年 4 月,采用改良的巴氏罐诱集法,以一次性塑料杯作为诱集装置,其规格高 9 cm,杯口内径 7.5 cm。将塑料杯埋入土中,确保杯口与地面齐平,维持与自然环境的一致性。诱捕剂的主要成分为醋、糖、医用酒精和水(2:1:1:20),以吸引地表节肢动物。在杯壁四分之一处开孔,旨在防止雨水聚积^[24—26]。诱集杯间隔 2 m 左右,一个小样方为 4 m×4 m(一个样方 9 个诱集杯)。在每个样地内,于阴坡、阳坡和坡顶各设置了 3 个诱集点,每个诱集点选择 3 个样方,共计 27 个样方。每月月末进行为期 3 日的诱捕工作,之后回收诱集杯,将诱捕的地表节肢动物保存于 75%酒精内,带回实验室制成针插标本,进行种类鉴定与统计分析。

地表节肢动物的分类鉴定主要参考《土壤拟步甲志(第二卷鳖甲类)》^[27]、《中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫》^[28]、《新疆昆虫原色图鉴》^[29]、《昆虫分类》^[30]等方法进行。所有地表节肢动物鉴定到种水平。

1.3 环境因子调查

(1)植物因子:每月在各个样地的每个坡向随机选取 3 个 1 m×1 m 的植物样方,测定植物的密度、盖度,记录物种数。

(2) 土壤因子: 每月在各个样地利用土壤硬度计 (TYD-1、台州市艾测仪器有限公司)、土壤检测仪 (TQ-95、温州绿萝电子商务有限公司) 测定土壤湿度、酸碱度和硬度。

(3) 气候因子: 气候数据包含月均温、降雨量、相对湿度, 气象数据主要来源于和风天气网站 (<https://www.qweather.com/>)。

表 1 环境变量信息表

Table 1 Environment Variable Information Table

变量 Variable	缩写 Acronym	单位 Unit of measurement	变量 Variable	缩写 Acronym	单位 Unit of measurement
月均温 Average monthly temperature	AMT	℃	植物群落优势度 Plant community dominance	<i>D</i>	-
月降雨量 Monthly rainfall	<i>MR</i>	mm	植物群落均匀度 Plant community uniformity	<i>J</i>	-
相对湿度 relative humidity	<i>RH</i>	%	土壤湿度 Soil moisture	<i>SM</i>	%
植物盖度 Plant coverage	<i>PC</i>	%	土壤硬度 Soil hardness	<i>SH</i>	kPa
植物密度 Plant density	<i>PD</i>	株/m ²	土壤 pH 值 Soil pH	pH	-
植物群落多样性 Plant community diversity	<i>H</i>	-			

1.4 数据处理

(1) 个体数量统计

每种昆虫的个体数量是其各虫态数量的总和。

个体数量在全部捕获量中占比达 10% 以上者为优势类群, 占比在 1%–10% 之间的为常见类群, 占比处于 0.1%–1% (不含 1%) 之间的则为稀有类群。

(2) 群落多样度的测定

群落多样性的测定采用 Shannon-Wiener 法。其公式为:

$$H' = - \sum_i^S P_i \times \ln P_i ; P_i = \frac{N_i}{N}$$

S 为物种丰富度; N_i 为 i 物种的个体数; N 为群落中的总个体数。

根据多样性指数计算相应 Pielou 均匀度 (J')。 J' 的取值范围在 0~1 之间, J' 越大群落内均匀度越高, 其公式为: $J' = \frac{H'}{\ln S}$

群落优势度采用 Simpson 优势度指数 (D), 其公式为: $D = \sum (n_i/N)^2$

对应数据采用单因素方差分析 (ANOVA) 和邓肯显著性检验, 比较不同数据之间的差异。利用 SPSS19、Origin2021 对数据进行统计和制图。

(3) 环境因子对地表节肢动物的影响

利用 Canoco5.0 软件对 3 块样地的地表节肢动物丰度数据进行除趋势对应分析 (DCA), 确定排序轴的梯度长度 (LGA)。若 DCA 分析结果中的轴长度大于 4.0, 则使用典型对应分析 (CCA) 来确定地表节肢动物群落分布与环境因子间的关系; 若轴长度在 3.0 到 4.0 之间, 可以选择 RDA 或 CCA; 若轴长度小于 3.0, 则使用冗余分析 (RDA)。根据选择的分析方法绘制二维排序图, 分析地表节肢动物群落与环境因子的关系。利用 Monte Carlo 前置性检验法判断自变量与所有排序轴相关系数的显著性。

2 结果与分析

2.1 地表节肢动物群落组成特征

3 块样地诱集到地表节肢动物共计 1986 只, 属 5 科, 9 种。所有样地中, 拟步甲科 Tenebrionidae 数量最多, 共 1340 只, 占总数的 67.5%, 其次是金龟科 Scarabaeidae, 共 541 只, 占总数的 27.2%。突颊侧琵甲

(*Prosodes dilaticollis*)、白星花金龟(*Protaetia brevitarsis*)和卵形刺甲(*Platyscelis ovata*)分别占总个体数的 57.3%、12.3%和 10.1%,为优势种。亮蜚螂(*Copris lunaris*)占总个体数的 7.9%,为常见种。黑斑齿足象(*Deracanthus grumi*)、谷婪步甲(*Harpalus calceatus*)、四齿普玉米犀金龟(*Pentodon quadridens*)和黑额喙丽金龟(*Adoretus nigrifrons*),占比小于总个体数的 1%,为稀有种。

2.2 地表节肢动物群落组成的时间序列动态变化及其与环境因子的关系

从时间序列看,拟步甲科在总群落中的相对丰度呈现显著波动,5月、6月、7月及次年4月,拟步甲科昆虫占据总个体数量的比例超过 55%,为优势类群,但在 8月和 9月分别降至 16.7%和 6.5%。8月金龟科(占比 72.2%)、9月钳蝎科(占比 74%)成为优势类群。

5月突颊侧琵琶甲为绝对优势种(占比 73.4%);6—7月卵形刺甲逐渐取代前者成为群落优势物种(占比 > 40%);8月亮蜚螂种群数量急剧上升(占比 72.2%);9月东亚钳蝎成为优势种(占比 74%);次年 4月,突颊侧琵琶甲重新恢复其优势地位(占比 41.3%)。

表 2 5—9月及次年 4月各月份诱捕的个体数量及各科占比

Table 2 The monthly number of specimens collected from May to September 2023 and April 2024, along with the proportion of each family relative to the total

月份 Month	总个体数 Total population	拟步甲科 Tenebrionidae	金龟科 Scarabaeidae	象甲科 Curculionidae	步甲科 Carabidae	钳蝎科 Buthidae
5	1462	1081(73.9%)	381(26.1%)	0	0	0
6	53	35(66%)	18(34%)	0	0	0
7	173	115(66.5%)	29(16.8%)	0	14(0.81%)	15(8.7%)
8	90	15(16.7%)	65(72.2%)	6(6.7%)	0	4(4.4%)
9	46	3(6.5%)	4(8.7%)	5(10.9%)	0	34(74%)
4	162	91(56.2%)	44(27.2%)	0	0	27(16.7%)

节肢动物群落的多样性、均匀度以及优势度也随时间变化呈显著波动,4月地表节肢动物多样性显著高于其他月份($F=17.918, P<0.001$),8月均匀度显著低于其他月份($F=2.285, P=0.057$),7月和 4月的优势度显著低于其他月份($F=9.742, P<0.05$)。

表 3 玛纳斯县地表节肢动物群落的多样性、均匀度以及优势度

Table 3 The diversity, evenness and dominance of the surface arthropod community in Manas County

月份 Month	H (多样性) Diversity	J (均匀度) Uniformity	D (优势度) Dominance	月份 Month	H (多样性) Diversity	J (均匀度) Uniformity	D (优势度) Dominance
5	0.60±0.24bc	0.63±0.16a	0.77±0.11a	8	0.35±0.35c	0.40±0.36b	0.86±0.16a
6	0.66±0.45bc	0.63±0.4a	0.69±0.23a	9	0.30±0.39c	0.85±0.12a	0.69±0.37a
7	0.74±0.28b	0.76±0.23a	0.63±0.18b	4	1.6±0.52a	0.59±0.14a	0.58±0.12b

表中同列不同小写字母表示月份间多度的差异显著($P<0.05$)

将月份作为响应因子,环境作为解释因子进行 RDA 分析,前两轴的共同解释率高达 99.45%。结果显示,相对湿度对地表节肢动物群落影响最显著($P=0.026$)。如图 2 所示,相对湿度和植物密度对黑额喙丽金龟、黑斑齿足象的影响较大且呈正相关,植物优势度对亮蜚螂、突颊侧琵琶甲等优势种的影响较大且呈正相关。

2.3 不同草地类型中地表节肢动物群落的空间分布差异及其与环境因子的关系

不同草地类型节肢动物群落结构不同,但 3 种草地类型中的共优种群相同,为拟步甲科和金龟科。其中拟步甲科占比超 50%,金龟科占比超 20%。温性荒漠草原与温性草原中,钳蝎科占比超 1%,为常见种群,象甲科占比低于 1%,为稀有种群。温性草甸草原中,未诱集到象甲科和钳蝎科。

针对 3 种草地类型中地表节肢动物与环境变量进行 RDA/CCA 分析,结果表明,温性荒漠草原的 RDA 分析中第一与第二排序轴的特征值分别定格于 0.2297 和 0.176,前两轴共同解释率为 59.16%。温性草甸草原的

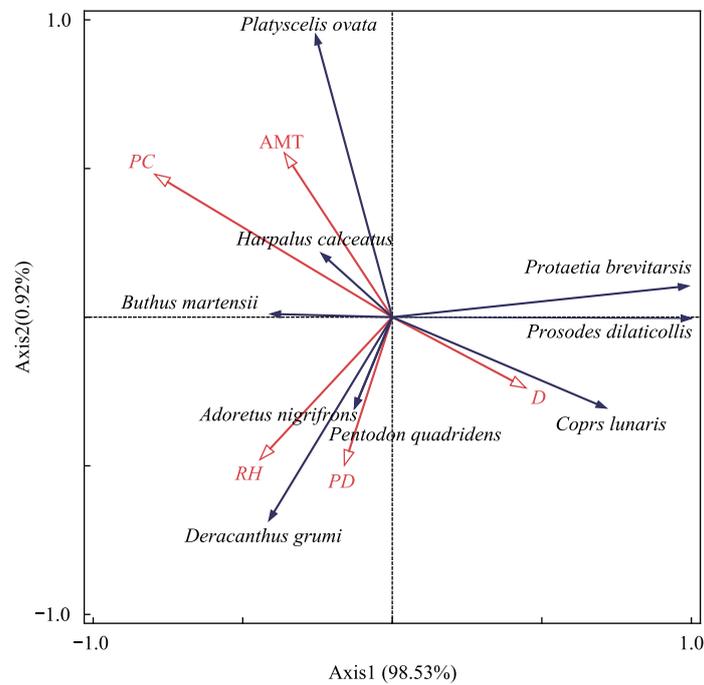


图2 地表节肢动物分布与环境因子的 RDA 二维排序图

Fig.2 A two-dimensional RDA plot of the distribution of surface arthropods and environmental factors

AMT 为月均温;RH 为相对湿度;PD 为植物密度;PC 为植物盖度;D 为植物群落优势度

CCA 分析中,前两轴共同解释率为 77.89%。温性草原的 RDA 分析中,前两轴共同解释率为 99.22%。由此可见,RDA 分析与 CCA 分析能够映射出地表节肢动物分布与关键环境因子间的内在联系,前两个主成分轴概括了地表节肢动物分布的基本特性,体现了分析的有效性。

表4 各样地诱捕的个体数量及各科占比

Table 4 The number of specimens collected in each plot and the proportion of each family to the total

样地 Sample plot	总个体数 Total population	拟步甲科 Tenebrionidae	金龟科 Scarabaeidae	象甲科 Curculionidae	步甲科 Carabidae	钳蝎科 Buthidae
1	686	411(59.9%)	215(31.3%)	3(0.4%)	4(0.6%)	53(7.7%)
2	245	187(76.3%)	55(22.4%)	0	3(1.2%)	0
3	1055	742(70.3%)	271(25.7%)	8(0.76%)	7(0.66%)	27(2.6%)

表5 地表节肢动物分布与环境因子的 RDA/CCA 排序结果

Table 5 The RDA/CCA ranking results of surface arthropod distribution and environmental factors

项目 Item	轴 Axis	特征值 Eigenvalue	相关性系数 Correlation coefficient	累积贡献率 Cumulative contribution rate
样地 1 Sample plot 1	Axis1	0.2297	0.8684	33.5
	Axis2	0.176	0.9458	59.16
	Axis3	0.107	0.7906	74.77
	Axis4	0.0755	0.8792	85.77
样地 2 Sample plot 2	Axis1	0.9368	0.9905	45.67
	Axis2	0.661	0.9712	77.89
	Axis3	0.3078	0.9652	92.89
	Axis4	0.1088	0.5246	98.2
样地 3 Sample plot 3	Axis1	0.872	0.9651	97.86
	Axis2	0.0121	0.6378	99.22
	Axis3	0.006	0.441	99.9
	Axis4	0.0006	0.5635	99.96

温性荒漠草原的地表节肢动物群落受土壤 pH ($P=0.016$) 和月均温 ($P=0.01$) 影响最为显著。突颊侧琵甲、白星花金龟与土壤 pH 呈较强正相关;卵形刺甲、四齿普玉米犀金龟、黑额喙丽金龟与植物多度、土壤湿度、土壤硬度等呈较强正相关;亮蜚螂、黑斑齿足象则与植物多度等环境变量呈较强负相关。

温性草甸草原地表节肢动物群落受相对湿度 ($P=0.004$)、月降雨量 ($P=0.002$) 和月均温 ($P=0.002$) 影响最显著。突颊侧琵甲与植物群落多样性、植物群落优势度及土壤 pH 呈较强正相关;亮蜚螂与上述环境因子呈较强负相关;卵形刺甲等与土壤湿度、植物盖度和月降雨量呈较强正相关。

温性草原地表节肢动物群落受土壤湿度 ($P=0.016$) 和月均温 ($P=0.002$) 的影响最为显著。突颊侧琵甲、白星花金龟、亮蜚螂与植物多度和植物密度呈较强正相关;卵形刺甲、谷婪步甲与月均温和植物盖度呈较强正相关;其他物种则与土壤湿度、相对湿度、月降雨量等呈正相关。

3 讨论

从物种组成来看,拟步甲科和金龟科在数量上占据主导地位,突颊侧琵甲、白星花金龟和卵形刺甲为优势种。这一结果与该地区的生态环境特点密切相关,干旱、半干旱区的典型特征之一是降水稀少,这是限制节肢动物生存的重要因子^[31-32]。拟步甲科和金龟科昆虫具有鞘翅坚硬、附肢发达等特征可以减少水分散失^[33-34],因此具有较强的适应干旱环境的能力,成为干旱、半干旱区主要的优势类群。温性草原稳定的植物群落结构和较高的土壤湿度等条件提供了更稳定的食物来源和栖息场所,因而温性草原诱集到的节肢动物个体数量最多。

不同月份间地表节肢动物群落组成发生显著变化,且与环境因子的变化密切相关^[34]。4月化雪后,土壤水分显著增加,温度回升,植物逐渐复苏,节肢动物陆续解除休眠,种类和数量逐渐增加,且各类群相对均匀分布。因此,4月地表节肢动物多样性显著高于其他月份。这一结果与 Christina Fischer 等^[35]的研究一致,即季节性降水通过触发植物生长和土壤湿度变化,间接促进节肢动物的多样性和均匀性。8月份土壤节肢动物群落多样性显著下降,均匀度降至最低,可能是由于优势种数量急剧增加,优势种的竞争挤压了其他物种的生存空间^[36-37],使得群落中物种分布更为集中。

通过 RDA/CCA 分析,明确了不同草地类型地表节肢动物群落与环境因子之间的关系。在三种草原中,月均温是影响地表节肢动物分布的显著因子,其中东亚钳蝎、卵形刺甲和谷婪步甲均与月均温呈显著的正相关,可能与这些物种对温度变化的敏感性相关。刘继亮等^[38]的研究也发现,在河西走廊中部典型砾质戈壁中钳蝎科活动密度与月平均温度呈显著正相关,与本研究的结果一致,说明这类地表节肢动物分布更容易受到温度的影响。在温性荒漠草原中,突颊侧琵甲与白星花金龟的分布与土壤 pH 呈显著正相关,可能与其对弱碱性生境的适应性有关。大多数土壤动物适宜在微酸性或近中性土壤中生存,土壤 pH 值升高可能对一些土壤动物产生不利影响^[39]。例如, Sarah Duddigan 等^[40]在英国珀贝克岛的研究中认为蚯蚓等土壤动物密度与土壤 pH 值呈负相关,土壤 pH 较高的环境土壤动物密度降低。而突颊侧琵甲与白星花金龟对弱碱性土壤环境的适应性,避免了与其他动物的直接竞争,这种特异性适应策略,是这类节肢动物适应不利环境的重要特征。

除月均温外,温性草甸草原中,相对湿度和月降雨量也对地表节肢动物分布影响显著,温性草原中土壤湿度为地表节肢动物的主导调控因子,这可能与这两种草原植被较多,受水分影响较大有关。任嘉隆等^[41]在甘肃荒漠区的研究发现,拟步甲科、叶甲科及粪金龟科活动密度与降水存在显著正相关,与本研究结果一致。但高鑫等^[42]对花椒园内节肢动物的研究显示,当月降雨量小于 99.3 mm 时,地表节肢动物群落特征与月降雨量呈正相关,当月降雨量大于 164.5 mm 群落特征与降雨量表现为负相关性。表明节肢动物对降水的适应有一定的范围,地表节肢动物虽然多在地表取食和活动,但在产卵孵化时需要水分条件适宜的环境^[43]。新疆属于典型的干旱、半干旱区域,降水稀少,土壤含水量变化更容易影响节肢动物分布和群落结构转变。

综上所述,本研究通过多尺度时空解析,明确了气候、植被和土壤因子对地表节肢动物群落的差异化影

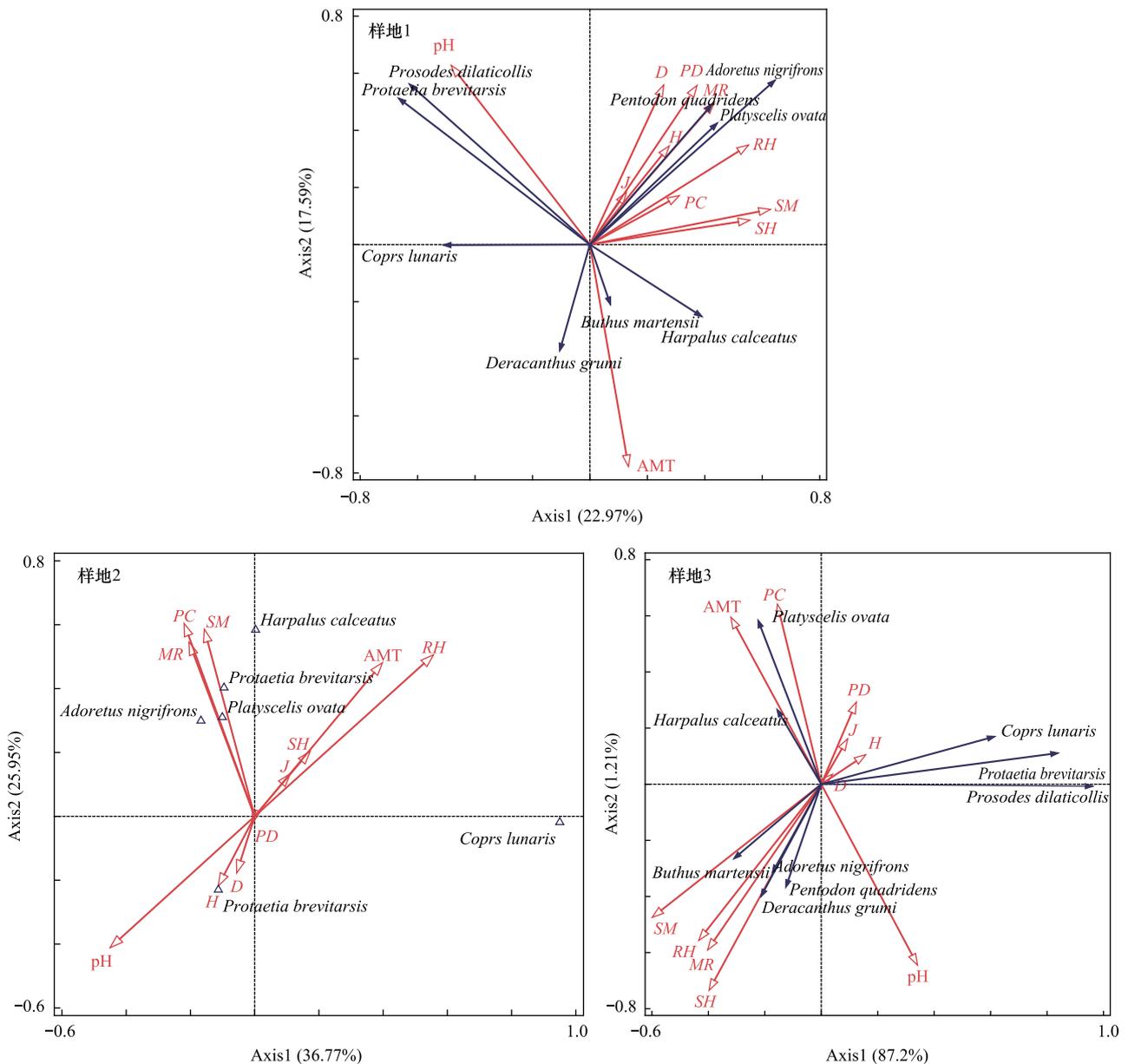


图3 地表节肢动物分布与环境因子的 RDA/CCA 二维排序图

Fig.3 A two-dimensional RDA/CCA plot of the distribution of surface arthropods and environmental factors

MR: 月降雨量; H: 植物群落多样性; J: 植物群落均匀度; pH: 土壤 pH

响。然而,本研究仅涵盖了6个月的调查数据,时间跨度相对较短,未来研究可延长调查时间,进一步探究长期气候变化和环境因子波动对地表节肢动物群落的影响。同时,可深入研究各环境因子之间的交互作用,以及它们如何共同影响地表节肢动物的生态分布。

4 结论

- (1) 在玛纳斯县草原中拟步甲科与金龟科为地表节肢动物群落的优势类群。
- (2) 优势种和节肢动物多度在不同样地和月份间发生明显转变,表明环境因素对群落结构的影响具有时空差异。
- (3) 温度和降水是显著影响地表节肢动物群落变化的环境因子,温度是影响不同草地类型地表节肢动物

群落变化的主要因子,而降水是影响不同月份地表节肢动物群落变化的主要因子。

参考文献 (References):

- [1] 徐燕, 邓铭江, 白涛, 朱峰, 张洁, 杨鹏年. 干旱半干旱区“三生融合”视角下水平衡策略研究——以新疆哈巴河县为例. 中国水利, 2023(9): 55-58.
- [2] 白云岗, 木沙·如孜, 雷晓云, 张江辉. 新疆干旱灾害的特征及其影响因素分析. 人民黄河, 2012, 34(7): 61-63.
- [3] 叶鲁青, 胥孝川, 顾晓薇, 王青. 新疆半干旱生态脆弱区露天煤矿生态成本. 东北大学学报(自然科学版), 2023, 44(9): 1318-1327.
- [4] 张仁平, 郭靖, 张云玲. 新疆草地净初级生产力(NPP)空间分布格局及其对气候变化的响应. 生态学报, 2020, 40(15): 5318-5326.
- [5] 杨红飞, 刚成诚, 穆少杰, 章超斌, 周伟, 李建龙. 近 10 年新疆草地生态系统净初级生产力及其时空格局变化研究. 草业学报, 2014, 23(3): 39-50.
- [6] 布尔金, 赵澍, 何峰, 徐大伟, 朱小林, 李向林, 辛晓平. 新疆草地畜牧业可持续发展战略研究. 中国农业资源与区划, 2014, 35(3): 120-127.
- [7] 伊丽君. 加快乡土草种发展与促进新疆草原生态修复治理的思考. 安徽农业科学, 2023, 51(22): 69-71.
- [8] 景辉. 玛纳斯县草原生态保护补助奖励机制政策效益评价. 草食家畜, 2016(5): 74-78.
- [9] 张青青, 于辉, 安沙舟, 吐尔逊娜依·热依木, 井长青. 玛纳斯河流域草地生态功能区划研究. 新疆农业科学, 2017, 54(5): 969-977.
- [10] 魏建军. 新疆玛纳斯县塔西河红沙湾山体滑坡发生机理影响因素的分析及防治措施. 水利建设与管理, 2008, 28(10): 58-59.
- [11] 李卫红, 王琳. 新疆塔西河流域水土环境分析及保护利用. 干旱区地理, 1997, 20(2): 54-60.
- [12] Prather C M, Pelini S L, Laws A, Rivest E, Woltz M, Bloch C P, Del Toro I, Ho C K, Kominoski J, Newbold T A, Parsons S, Joern A. Invertebrates, ecosystem services and climate change. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2013, 88(2): 327-348.
- [13] Hartley S E, Jones T H. Insect Herbivores, Nutrient Cycling and Plant Productivity//Weisser W W, Siemann E. *Insects and Ecosystem Function*: Vol. 173. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008: 27-52.
- [14] Prasannakumar N R, Kumar K P. Impact of climate change on arthropod diversity. *Arthropod Diversity and Conservation in the Tropics and Sub-tropics*, 2016: 1-18.
- [15] Huhta V. The role of soil fauna in ecosystems: a historical review. *Pedobiologia*, 2007, 50(6): 489-495.
- [16] Goosey H B, Smith J T, O' Neill K M, Naugle D E. Ground-dwelling arthropod community response to livestock grazing: implications for avian conservation. *Environmental Entomology*, 2019, 48(4): 856-866.
- [17] Echude D, Abubakar N E, Enete P I, Ahmad S L, Onyia K, Nnachi I A, Okoye C O, Egbeja T I, Egwu L S. Organic Farming: A Practice for Conserving Arthropod Diversity and Soil Health in an Agroecosystem. *West African Journal of Applied Ecology*, 2024, 32(2): 34-44.
- [18] 臧建成, 孙涛, 洪大伟, 杨小林. 拉萨半干旱河谷植被对地表节肢动物多样性的影响. 生态学报, 2018, 38(22): 8205-8212.
- [19] Wenninger E J, Inouye R S. Insect community response to plant diversity and productivity in a sagebrush - steppe ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(1): 24-33.
- [20] Rohde A T, Pilliod D S. Spatiotemporal dynamics of insect pollinator communities in sagebrush steppe associated with weather and vegetation. *Global Ecology and Conservation*, 2021, 29: e01691.
- [21] 蒋嘉瑜, 刘任涛, 张安宁, 陈蔚. 干旱与半干旱区灌丛微生境中红砂枯落物分解特征及中小型节肢动物的作用. 生态学报, 2023, 43(5): 1981-1994.
- [22] 吴秀兰. 伪步甲灾害遥感监测与空间分布特征研究——以新疆玛纳斯—呼图壁草场为例[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2015.
- [23] 贾慎修. 中国草地区划的商讨. 资源科学, 1985, 7(2): 1-13.
- [24] 杨贵军, 贺海明, 王新谱. 盐池荒漠草地拟步甲昆虫群落时间结构和动态. 昆虫知识, 2012, 49(6): 1610-1617.
- [25] 杨贵军, 贺奇, 王新谱. 盐池四墩子拟步甲昆虫群落组成与环境因子的相关性. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2375-2382.
- [26] 刘继亮, 赵文智, 李锋瑞. 黑河中游荒漠地面节肢动物分布特征. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1192-1200.
- [27] 任国栋, 巴义彬. 中国土壤拟步甲志. 第二卷, 蟹甲类. 北京: 科学出版社, 2010: 134-134.
- [28] 任国栋, 于有志. 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫. 保定: 河北大学出版社, 1999: 250-261.
- [29] 胡红英, 黄人鑫. 新疆昆虫原色图鉴. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2013: 97-147.
- [30] 蔡邦华, 蔡晓明, 黄复生修订. 昆虫分类学. 修订版. 北京: 化学工业出版社, 2017: 19-31.
- [31] 罗定, 杨亚军, 徐红星, 郑许松, 吕仲贤. 植物干旱胁迫对植食性昆虫及其天敌的影响. 环境昆虫学报, 2012, 34(2): 229-235, 253.
- [32] 党志浩, 陈法军. 昆虫对降雨和干旱的响应与适应. 昆虫知识, 2011, 48(5): 1161-1169.
- [33] 魏鸿钧, 张治良, 王荫长. 中国地下害虫. 上海: 上海科学技术出版社, 1989: 73-232.
- [34] 刘晓丽, 丁训欢, 宁杰, 张旭, 孙涛. 皖北石灰岩山地植被对地表节肢动物组成及多样性的影响. 生态学报, 2021, 41(15): 6115-6122.
- [35] Fischer C, Gerstmeier R, Wagner T C. Seasonal and temporal patterns of rainfall shape arthropod community composition and multi-trophic interactions in an arid environment. *Scientific Reports*, 2022, 12: 3742.
- [36] 黄保宏, 邹运鼎, 毕守东, 李恒奎, 朱巧丽. 梅园昆虫群落特征、动态及优势种生态位. 应用生态学报, 2005, 16(2): 307-312.
- [37] 顾欣, 杨秀娟, 任国栋. 河北小五台山半翅目昆虫的多样性研究. 安徽农业科学, 2011, 39(36): 22358-22360.
- [38] 刘继亮, 赵文智, 李锋瑞, 巴义彬. 河西走廊中部砾质戈壁蛛形节肢动物群落特征. 中国沙漠, 2021, 41(3): 155-164.
- [39] 孙儒泳, 王德华, 牛翠娟, 刘定震, 张立. 动物生态学原理. 4 版. 北京: 北京师范大学出版社, 2019: 72-73.
- [40] Duddigan S, Fraser T, Green I, Diaz A, Sizmur T, Tibbett M. Plant, soil and faunal responses to a contrived pH gradient. *Plant and Soil*, 2021, 462(1): 505-524.
- [41] 任嘉隆, 刘继亮, 王永珍, 方静, 冯怡琳, 高安岭, 宋媛媛, 辛未冬. 戈壁荒漠地表节肢动物聚集对降水及温度的响应. 中国沙漠, 2024, 44(2): 207-219.
- [42] 高鑫, 张晓明, 杨洁, 陈国华, 石安宪, 宋家雄, 李强. 花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系. 生态学报, 2011, 31(10): 2788-2796.
- [43] 杨敏, 刘任涛, 曾飞越, 吉雪茹, 方进, 赵文智. 腾格里沙漠东南缘人工固沙植被演替地面节肢动物群落多样性分布特征. 生态学报, 2024, 44(1): 428-439.