

# 额尔齐斯河流域灌木昆虫群落特征及对环境因子 和植物群落特征的响应



赵远娥<sup>1</sup> 雷子怡<sup>1</sup> 万育欣<sup>1</sup> 周成龙<sup>1</sup> 易光平<sup>2</sup> 季 荣<sup>1\*</sup>

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心, 乌鲁木齐 830017; 2. 新疆阿勒泰地区蝗虫鼠害预测预报防治中心站  
阿勒泰治蝗灭鼠指挥部办公室, 阿勒泰 836500)

**摘要:** 为探究大空间尺度下灌木昆虫群落的分布规律, 于2023年6—9月对额尔齐斯河流域阿勒泰地区7个县(市)44个样地内灌木昆虫群落特征进行调查, 确定其发生状态, 采用回归分析和典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法探讨灌木昆虫物种丰富度与植物群落特征和环境因子的关系。结果显示, 44个样地内共采集昆虫1 245头, 经鉴定为9目44科117种, 其中鳞翅目和鞘翅目为主优势类群, 分别为440头和289头, 脉翅目和半翅目为次优势类群, 分别为214头和157头, 其余目为从属类群。额尔齐斯河流域灌木昆虫物种丰富度与海拔和温度均呈显著的三项式拟合关系, 与相对多度呈显著的二项式拟合关系, 与Pielou均匀度指数呈显著的线性拟合关系, 与Simpson多样性指数呈显著的二项式拟合关系, 与Margalef丰富度指数呈显著的二项式拟合关系。CCA分析结果显示, 温度、经度和海拔是影响灌木昆虫分布的主要环境因子, 灌木植物多样性和均匀程度是影响灌木昆虫分布的主要植物群落特征。表明大空间尺度下灌木昆虫分布存在明显驱动力, 在全球环境变化下应更加重视对植被结构的调整和对有害灌木昆虫的监测预防。

**关键词:** 灌木; 昆虫; 环境因子; 植物群落特征; 物种多样性; 典范对应分析

## Characteristics of shrub insect community and its response to environmental factors and plant community characteristics in the Irtysh River Basin

Zhao Yuan'e<sup>1</sup> Lei Ziyi<sup>1</sup> Wan Yuxin<sup>1</sup> Zhou Chenglong<sup>1</sup> Yi Guangping<sup>2</sup> Ji Rong<sup>1\*</sup>

(1. International Center for the Collaborative Management of Cross-Border Pests in Central Asia, Key Laboratory of Special Species and Regulatory Biology in Xinjiang, College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830017, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Xinjiang Altay Area Locust Rodent Pest Prediction and Control Center Station Altay Area Locust Rodent Control Headquarters Office, Altay 836500, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

**Abstract:** To explore the distribution of shrub insect communities on a large spatial scale, the characteristics of these insect communities were investigated in 44 plots across seven counties (cities) in the Altay region of the Irtysh River Basin from June to September 2023. This study aimed to determine their occurrence status and analyze the relationship between shrub insect species richness and plant community characteristics as well as environmental factors using regression analysis and canonical correspondence analysis (CCA). The results showed a total of 1 245 insects collected across the 44 plots, identified as 117 species from 44 families and nine orders. Lepidoptera and Coleoptera were the dominant

基金项目: 新疆第三次科考项目(2021xjkk0605), 2021—2023年新疆草原有害生物普查(XJCYYH-01)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: 1045644792@qq.com

收稿日期: 2023-12-20

groups, with 440 and 289 individuals, respectively. Neuroptera and Hemiptera were the secondary dominant groups, with 214 and 157 individuals, respectively. The remaining orders were subordinate groups. The species richness of shrub insects in the Ehe River Basin showed a significant trinomial fitting relationship with altitude and temperature. There was a significant binomial fitting relationship with relative abundance, and a significant linear relationship with the Pielou evenness index. In addition, there were significant binomial relationships with both the Simpson diversity index and the Margalef richness index. The CCA analysis results indicated that temperature, longitude, and altitude were the main environmental factors influencing the distribution of shrub insects. The diversity and uniformity of shrub plants were the key plant community characteristics affecting this distribution. It is suggested that there is an obvious driving force behind the distribution of shrub insects on a large spatial scale. It recommends that attention be given to the rectification of vegetation structure and the monitoring and prevention of harmful shrub insects in the context of global environmental changes.

**Key words:** shrub; insect; environment factor; plant community characteristic; species diversity; canonical correspondence analysis

额尔齐斯河作为我国唯一一条流入北冰洋的河流,水量仅次于伊犁河,居新疆维吾尔自治区(简称新疆)第2位(鞠彬等,2015a),河流全长4 248 km,流域面积164万km<sup>2</sup>,中国境内河长633 km,途经新疆阿勒泰地区,流域面积5.37万km<sup>2</sup>(李捷等,2008;鞠彬等,2015b)。该流域灌木植物资源丰富,为昆虫群落提供了栖息场所,而昆虫群落在维持生态系统的能量流动、物质循环和自然平衡等方面发挥着重要作用(李岳诚等,2014;刘继亮等,2020),然而额尔齐斯河流域灌木昆虫如何响应植被和环境的变化尚不清楚。

昆虫群落组成是环境与昆虫相互作用的结果(朱慧等,2008)。在多种生物因素与非生物因素中,栖息地植物群落是影响昆虫群落组成的主要因素(杨欢,2022)。昆虫会根据发育、交配及繁殖偏好来选择栖息场所(Karamaouna et al., 2019),如华北平原地区的大草蛉 *Chrysopa septempunctata* 倾向于选择具有田间杂草多样性高的栖息生境,此生境有利于大草蛉栖息和繁衍(吴专等,2007)。植食性昆虫也会根据植物所含营养物质来选择栖息场所(Awmack & Leather, 2002),如亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* 更倾向于取食碳水化合物含量高的植物,以满足其活动所需的能量(Talal et al., 2020)。此外气候、地理和空间等因素对昆虫群落组成也有重要影响(刘学琴,2022),如年均温对直翅目昆虫物种多度有极显著的正影响,极端高温对直翅目昆虫物种多度有极显著的负影响(何卫强等,2023);海拔是影响胡蜂科昆虫多样性的重要环境因子,胡蜂科昆虫的物种丰富度、筑巢量和孵育室数量随海拔升

高而呈现明显下降(林木青等,2023)。因此,探究昆虫多样性与环境因子相关性对于生态环境监测和保护具有重要意义(吴昊等,2021)。典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)和冗余分析(redundancy analysis, RDA)方法是一种直接排序方法,可将群落、物种与环境三者或两者之间的关系在同一二维排序图上呈现,能有效反映生物分布与环境的关系(杨贵军等,2010),目前被广泛用于生态学研究中(赵成章等,2011)。

近年来,关于额尔齐斯河流域灌木植被类群的研究时有报道,如张和钰等(2016)对额尔齐斯河流域典型地区植物种类、器官和物种多样性对优势种灌木热值的影响及其相关性进行分析,表明额尔齐斯河流域优势种灌木植物热值较高,具有作为能源植物的潜力,可以作为植被恢复和水土保持的先锋植物。然而该流域灌木昆虫群落发生状况及在大空间尺度上的决定因素未见报道。因此,本研究于2023年6—9月对额尔齐斯河流域阿勒泰地区7个县(市)44个样地内灌木昆虫群落特征进行调查,确定其发生状态,采用回归分析和CCA方法探讨灌木昆虫物种丰富度与植物群落特征(种群形态、 $\alpha$ -物种多样性指数)和环境因子(经度、纬度、海拔、气温、降雨量和风速)的关系,以期为该区域灌木昆虫监测提供本底数据,也为有害昆虫综合治理体系的建立提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试剂及仪器:试剂均为国产分析纯。450 W 高

压汞灯,长1.1 m、宽1.1 m、高1.7 m的诱虫帐篷,中山市达尔技电器有限公司;S5型GPS定位仪,成都恒易力科技有限公司;长1.7 m、口径28 cm可伸缩型捕虫网,河北廊坊固安渔具厂。

## 1.2 方法

### 1.2.1 额尔齐斯河流域灌木昆虫群落特征调查

于2023年6—9月对额尔齐斯河流域阿勒泰地区阿勒泰市及福海、哈巴河、富蕴、吉木乃、布尔津和青河6个县的灌木植被和昆虫种类及数量进行调查,每月调查1次,每次持续14 d,共调查3次。每个县(市)选择1~2条代表性路线作为样线,每条样线上随机布设2~5个样地,样地大小为20 m×20 m,每个样地内设置5个5 m×5 m的样方,7个县(市)共设置44个样地。利用GPS定位仪测量各样地经度、纬度和海拔等地理信息。逐株排查样地内灌木植物,记录各样方中植物的物种名称、株高和盖度,并捕获灌木植物上的昆虫,将捕获的昆虫放入装有75%酒精的小白瓶中,带回实验室;用可伸缩式捕虫网沿各样地对角线横扫20复网,将捕获的昆虫放入装有75%酒精的小白瓶中,带回实验室;每个样地内布置1顶诱虫帐篷,每个帐篷内布置1台450 W高压汞灯,将捕获的昆虫装进乙酸乙酯毒瓶,带回实验室。利用《新疆昆虫原色图鉴》(胡红英和黄人鑫,2013)、《新疆林果花草害虫害鼠名录及图谱》(王爱静和史彦江,2009)、国家动物标本资源库(<http://museum.ioz.ac.cn>)和中国动物主题数据库(<http://www.zoology.csdb.cn>)等资料对采集的灌木昆虫进行物种鉴定,统计各样地内灌木昆虫目、科和种类型及数量,并计算占比;分别统计各县(市)内昆虫目的数量。

### 1.2.2 额尔齐斯河流域灌木昆虫发生状态的确定

根据公式计算发生指数,发生指数= $q/Q \times 100\%$ ,其中 $q$ 为某种昆虫出现的样方数, $Q$ 为总样方数。根据发生指数,参考Júnior et al.(2003)和Waongo et al.(2015)方法确定灌木昆虫的发生状态,即当 $0 \leq q/Q \leq 25\%$ 时,该种昆虫为偶见种;当 $25\% < q/Q \leq 50\%$ ,该种昆虫为常见种;当 $50\% < q/Q \leq 100\%$ 时,该种昆虫为恒有种。

### 1.2.3 灌木昆虫物种丰富度对影响因子的响应分析

灌木昆虫物种丰富度对环境因子的响应分析:在全球气候网站(<https://www.worldclim.org>)获取全球气候数据图层,利用地理信息系统ArcGIS 10.2软件提取样地的温度、降雨量和风速3个气象数据。使用OriginPro 2021软件分别对样地的经度、纬度、海拔、温度、降雨量和风速6个环境因子与样地中灌

木昆虫物种丰富度(指该样地中灌木昆虫的物种数目)进行曲线回归分析。

灌木昆虫物种丰富度对植物群落特征的响应分析:选择株高、盖度、相对多度、Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数7个特征因子对灌木植物群落特征进行分析。相对多度= $n_i/N \times 100\%$ , Margalef丰富度指数= $(S-1)/\ln N$ , Shannon-Wiener多样性指数 $H'=-\sum P_i \ln P_i$ , Simpson多样性指数= $1-\sum P_i^2$ , Pielou均匀度指数= $H'/\ln S$ , 式中 $n_i$ 为某个种的个体数; $N$ 为所有物种的种群数量,即所有物种的个体数之和; $S$ 为物种数; $P_i$ 为第 $i$ 种生物的个体数占生物总数的比例(戈峰等,2000)。使用OriginPro 2021软件分别对样地的株高、盖度、相对多度、Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数与样地中灌木昆虫物种丰富度进行曲线回归分析。

### 1.2.4 灌木昆虫分布对影响因子的响应分析

使用数量生态学软件Canoco 5对灌木昆虫物种丰富度数据进行决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)法分析,当第1轴大于4.0,则选择CCA进行响应分析,当第1轴介于3.0~4.0之间,则选择RDA或者CCA进行响应分析分析,当第1轴小于3.0,则选择RDA进行响应分析。根据选择的分析方法绘制二维排序图,分析昆虫分布格局对灌木植物群落和环境因子的响应机制。利用基于499次置换的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 额尔齐斯河流域灌木昆虫群落特征

2023年6—9月,自额尔齐斯河流域阿勒泰地区7个县(市)的44个调查样地共采集灌木昆虫1 245头,涉及9目44科117种昆虫,其中鳞翅目和鞘翅目为主优势类群,分别为440头和289头,脉翅目和半翅目为次优势类群,分别为214头和157头,其余目昆虫为从属类群(表1)。鳞翅目昆虫的物种丰富度最高,为10科41种,科数和种数的占比分别为22.73%和35.04%,个体数量较多的昆虫为草地螟 *Loxostege sticticalis* 和沙枣白眉天蛾 *Celerio hippophaes*,分别为109头和82头;鞘翅目昆虫的物种丰富度次之,为11科37种,科数和种数的占比分别为25.00%和31.62%,个体数量较多的昆虫为花萤 *Soldier beetle* 和四点斑芫菁 *Mylabris quadripunctata*,分别

为30头和27头(表1)。在阿勒泰市、福海县、哈巴河县、富蕴县和吉木乃县鳞翅目和鞘翅目的灌木昆虫最多,在布尔津县鳞翅目和脉翅目的灌木昆虫最

多,在青河县半翅目和鞘翅目的灌木昆虫最多(图1)。

表1 额尔齐斯河流域阿勒泰地区7个县(市)采集的灌木昆虫种类、数量及占比

Table 1 Species, abundance, and proportion of shrub insects collected from seven counties (cities) in the Altay region of the Irtysh River Basin

目 Order	科数 No. of families	占比 Proportion/%	种数 No. of species	占比 Proportion/%	个体数 No. of individuals	占比 Proportion/%
鞘翅目 Coleoptera	11	25.00	37	31.62	289	23.21
鳞翅目 Lepidoptera	10	22.73	41	35.04	440	35.34
膜翅目 Hymenoptera	3	6.82	3	2.56	39	3.13
双翅目 Diptera	2	4.55	2	1.71	33	2.65
革翅目 Dermaptera	2	4.55	2	1.71	12	0.96
半翅目 Hemiptera	4	9.09	15	12.82	157	12.61
直翅目 Orthoptera	9	20.45	13	11.11	55	4.42
脉翅目 Neuroptera	2	4.55	3	2.56	214	17.19
蜻蜓目 Odonata	1	2.27	1	0.85	6	0.48
合计 Total	44	100.00	117	100.00	1 245	100.00

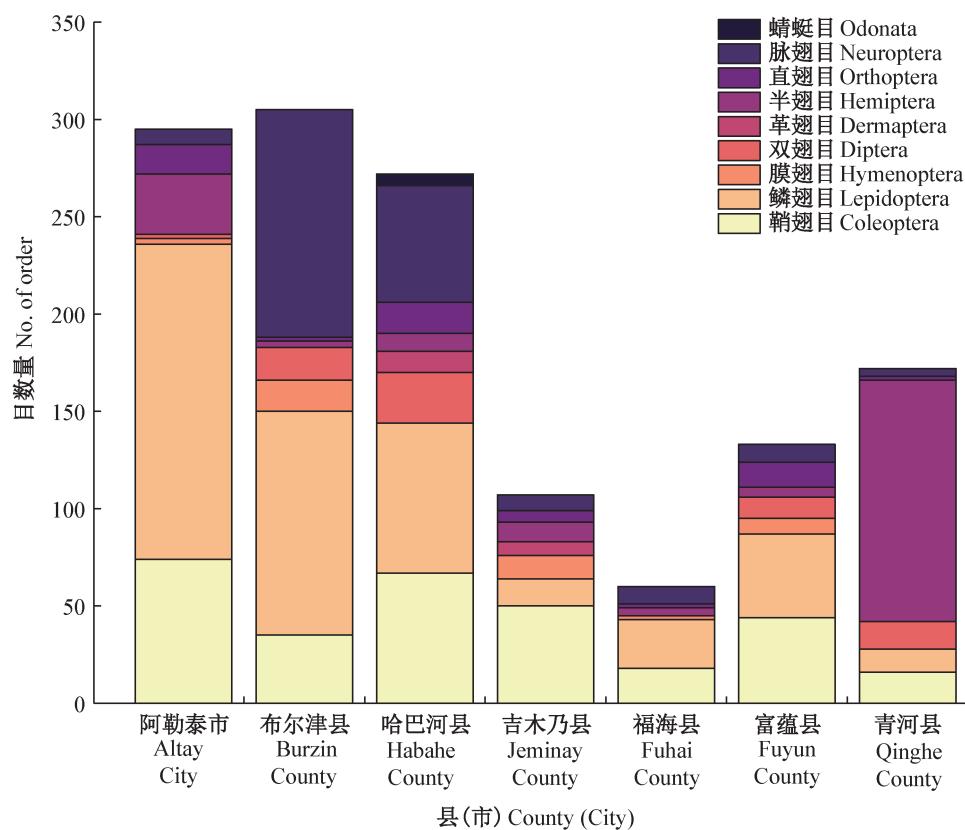


图1 额尔齐斯河流域阿勒泰地区7个县(市)灌木昆虫目的数量

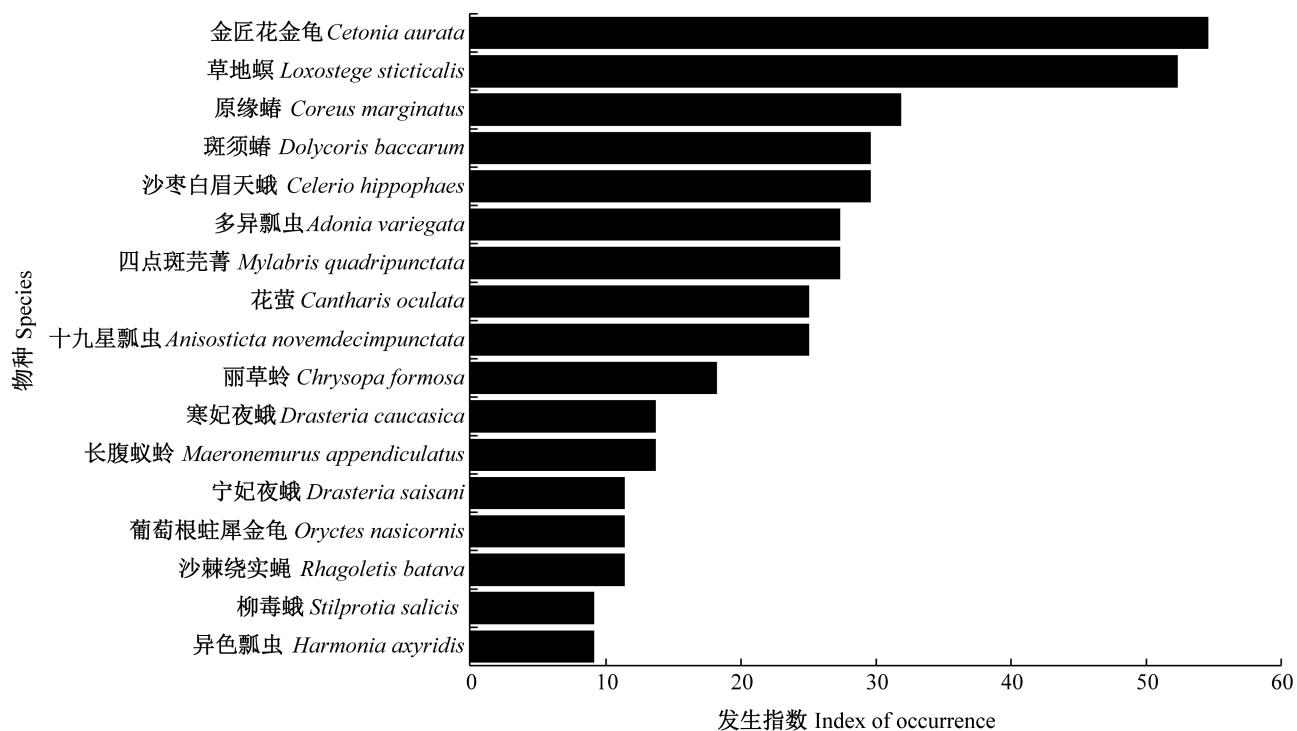
Fig. 1 Number of shrub insects in seven counties (cities) of the Altay region in the Irtysh River Basin

## 2.2 额尔齐斯河流域灌木昆虫的发生状态

根据发生指数,金匠花金龟 *Cetonia aurata* 和草地螟为额尔齐斯河流域灌木昆虫群落的恒有种,发生指数分别为 54.55% 和 52.27%;原缘蝽 *Coreus*

*marginatus*、斑须蝽 *Dolycoris baccarum*、沙枣白眉天蛾、四点斑芫菁、多异瓢虫 *Adonia variegata*、花萤、十九星瓢虫 *Anisosticta novemdecimpunctata* 七种昆虫为额尔齐斯河流域灌木昆虫群落的常见种,发生

指数分别为 31.82%、29.55%、29.55%、27.27%、27.27%、25.00% 和 25.00%，其余 98 种昆虫为额尔齐斯河流域灌木昆虫群落的偶见种(图 2)。



计算 117 种昆虫发生指数,选取发生指数 $\geq 9.00\%$ 的物种进行作图。The occurrence index of 117 insect species is calculated, and species with an occurrence index of  $\geq 9.00\%$  are selected for mapping.

图 2 额尔齐斯河流域阿勒泰地区灌木昆虫的发生指数

Fig. 2 Occurrence index of shrub insects in the Altay region of the Irtysh River Basin

### 2.3 灌木昆虫物种丰富度对影响因子的响应

#### 2.3.1 对环境因子的响应

额尔齐斯河流域阿勒泰地区昆虫物种丰富度分别与海拔和温度呈显著的三项式拟合关系( $R^2=0.261, P=0.007; R^2=0.192, P=0.003$ )，即随海拔和温度的增加昆虫物种丰富度呈先上升后下降的趋势(图 3-A~B)；经度、纬度、降水和风速其他环境因子与昆虫物种丰富度间均无显著相关性。

0.261,  $P=0.007$ ;  $R^2=0.192, P=0.003$ ), 即随海拔和温度的增加昆虫物种丰富度呈先上升后下降的趋势(图 3-A~B); 经度、纬度、降水和风速其他环境因子与昆虫物种丰富度间均无显著相关性。

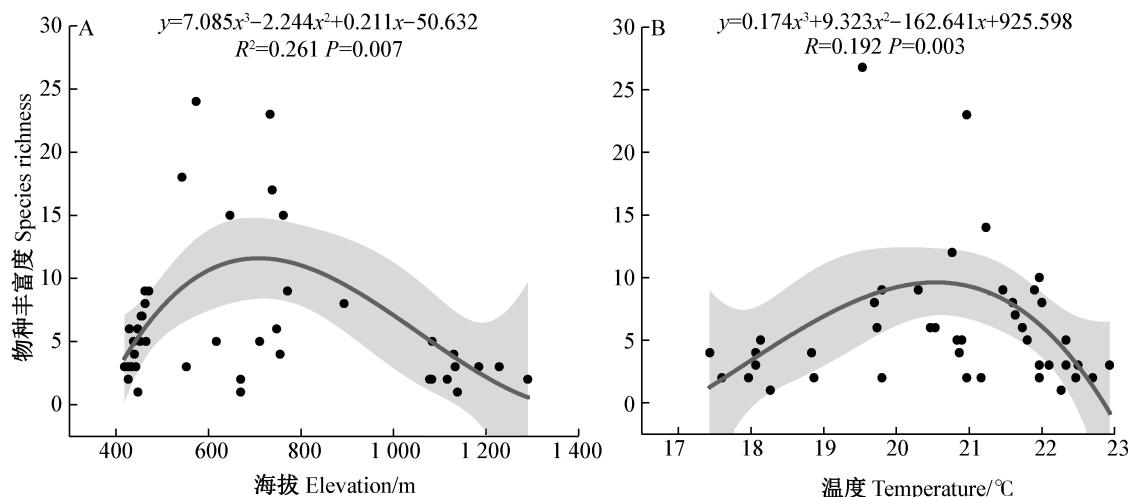


图 3 额尔齐斯河流域阿勒泰地区灌木昆虫物种丰富度与海拔(A)和温度(B)的回归拟合曲线

Fig. 3 Regression fitting curves of shrub insect species richness and Elevation (A) and tempetaure (B) in the Altay region of the Irtysh River Basin

### 2.3.2 对植物群落特征的响应

额尔齐斯河流域阿勒泰地区昆虫物种丰富度与相对多度呈显著的二项式拟合关系( $R^2=0.283, P=0.001$ ),即随相对多度的增加昆虫物种丰富度呈先上升后下降的趋势(图4-A);昆虫物种丰富度与Pielou均匀度指数呈显著的线性拟合关系( $R^2=0.127, P=0.019$ ),即随Pielou均匀度指数增加昆虫物种丰富度呈下降的趋势(图4-B);昆虫物种丰富度与Simpson多样性指数呈显著的二项式拟合关系

( $R^2=0.271, P=0.002$ ),即随Simpson多样性指数增加昆虫物种丰富度呈先上升后下降的趋势(图4-C);昆虫物种丰富度与Margalef丰富度指数呈显著的二项式拟合关系( $R^2=0.145, P=0.040$ ),即随Margalef丰富度指数增加昆虫物种丰富度呈先下降后上升的趋势(图4-D);高度、盖度、Shannon-Wiener多样性指数等其他灌木植物群落特征与昆虫物种丰富度均无显著相关性。

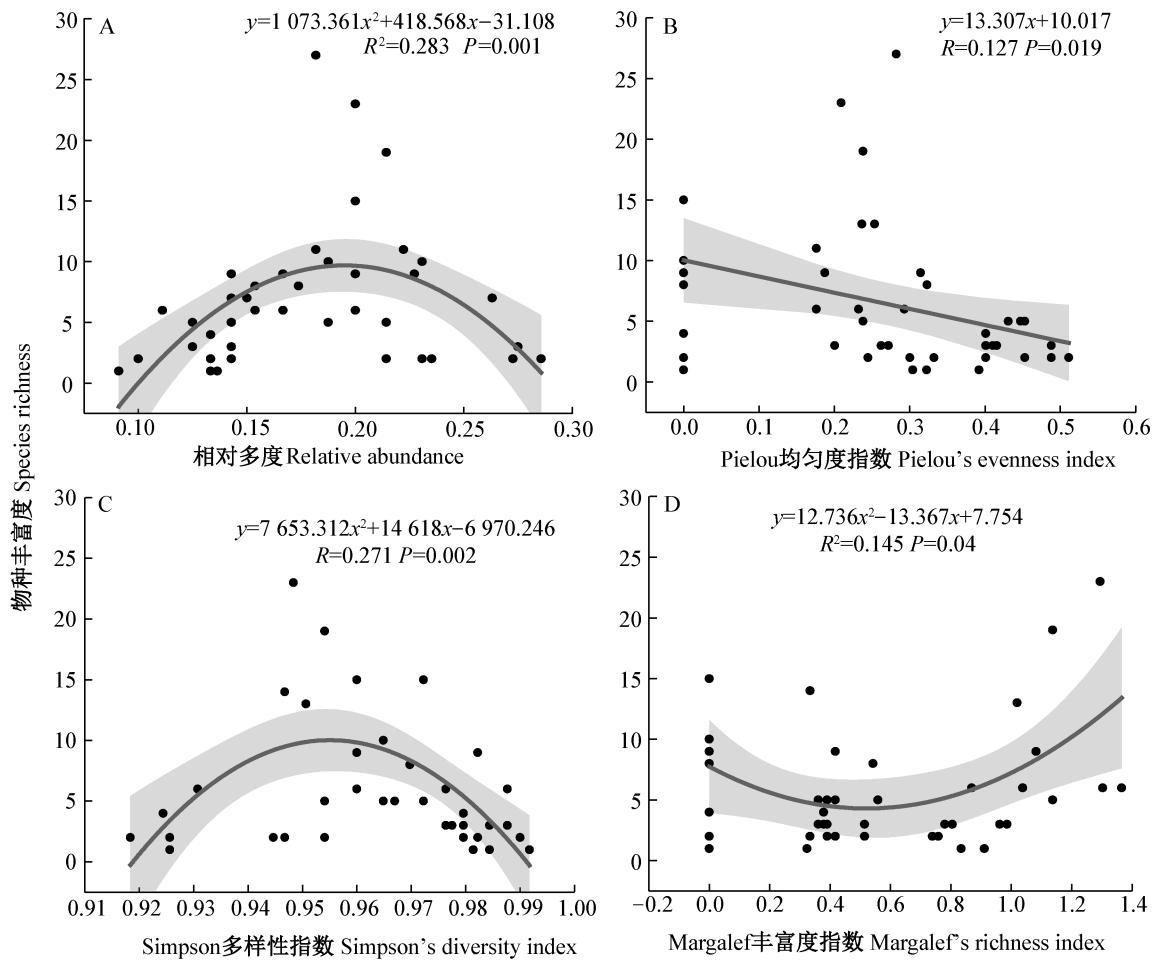


图4 额尔齐斯河流域阿勒泰地区灌木昆虫物种丰富度与植物群落特征的回归拟合曲线

Fig. 4 Regression fitting curves of shrub insect species richness and plant community characteristics in the Altay region of the Irtysh River Basin

### 2.4 灌木昆虫分布对影响因子的响应

DCA分析结果显示,第1轴长度为4.51,大于4.00,因此选用CCA方法研究灌木昆虫物种分布与环境因子和植物群落特征之间的关系。在CCA排序结果中,前2个排序轴对环境因子-昆虫分布关系解释的累计贡献率为52.01%,其中轴1为39.73%,轴2为12.28%;前2个轴对植物群落特征-昆虫分布关系解释的累计贡献率为57.62%,其中轴1为

31.50%,轴2为26.12%,且CCA排序所有轴蒙特卡罗前置性检验显示约束性排序模型均显著( $P=0.032, P=0.014$ ,表2),因此排序能较好反应昆虫分布与环境因子和植物群落特征间的关系(表2)。

对CCA轴1有显著影响的环境因子为温度( $P=0.002$ )、经度( $P=0.038$ )和海拔( $P=0.082$ ),6个环境因子均未对CCA轴2产生显著影响(图5-A)。半翅目灌木昆虫趋向分布于海拔较高的区域,脉翅目和

鳞翅目灌木昆虫趋向分布于温度较高的区域,其余目灌木昆虫均集中分布在排序轴附近,且同时受多个环境因子的影响(图5-A)。

对CCA轴1有显著影响的植物群落特征因子为Simpson多样性指数( $P=0.002$ );对CCA轴2有显著影响的植物群落特征因子为Pielou均匀度指数( $P=0.004$ )(图5-B)。与环境因子影响下的灌木昆虫分

布相比,植物群落特征影响下的昆虫分布较分散,半翅目、鞘翅目、革翅目和膜翅目灌木昆虫趋向分布于Simpson多样性指数大的区域,脉翅目和直翅目灌木昆虫趋向分布于Simpson多样性指数小的区域,鳞翅目和双翅目灌木昆虫趋向分布于Pielou均匀度指数小的区域(图5-B)。蜻蜓目灌木昆虫远离排序轴中心,表明蜻蜓目昆虫分布受植物群落影响极小。

表2 典范对应分析二维排序结果

Table 2 Two-dimensional sorting results of canonical correspondence analysis

项目 Item		特征值 Eigenvalue	相关性 Correlation	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	所有轴前置性检验结果 Permutation test result on all axes
环境因子 Environmental factor	轴1 Axis 1	39.73	75.70	39.73	$P=0.032$
	轴2 Axis 2	12.28	60.21	52.01	
	轴3 Axis 3	7.23	53.26	59.24	
	轴4 Axis 4	3.37	37.10	62.61	
植物群落特征 Characteristics of plant community	轴1 Axis 1	31.50	70.37	31.50	$P=0.014$
	轴2 Axis 2	26.12	85.40	57.62	
	轴3 Axis 3	12.54	63.84	70.16	
	轴4 Axis 4	3.90	43.13	74.06	

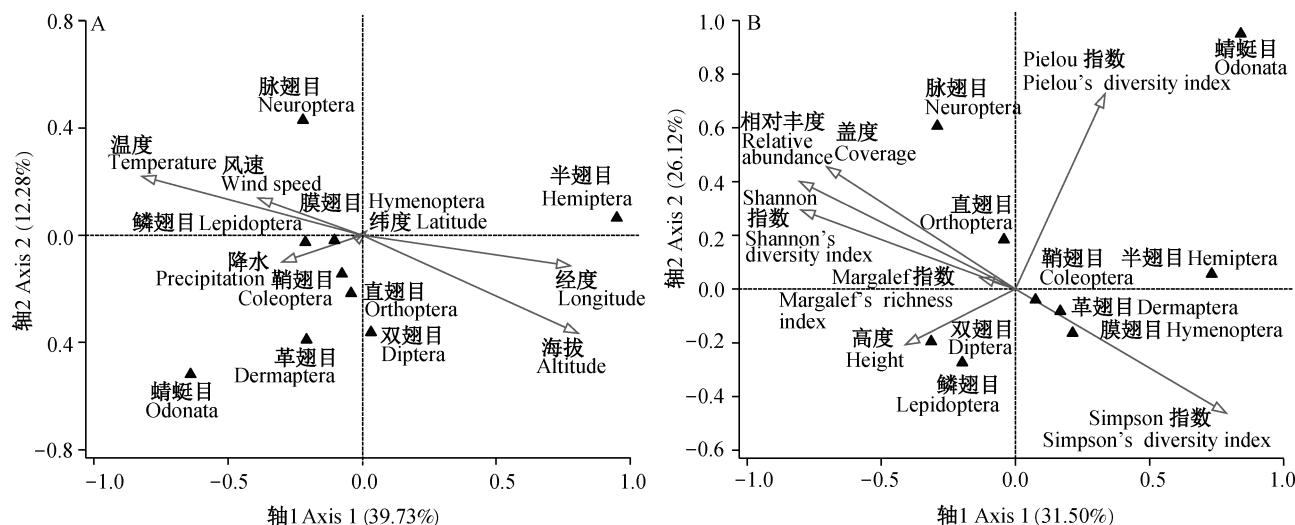


图5 灌木昆虫分布与环境因子(A)和植物群落特征(B)的典范对应分析二维排序图

Fig. 5 Two-dimensional ordination diagram of canonical correspondence analysis of shrub insect distribution with environmental factors (A) and plant community characteristics (B)

### 3 讨论

鞘翅目和鳞翅目为昆虫纲中种类最丰富的2个目,这也是这2个目为额尔齐斯河流域阿勒泰地区阿勒泰市、福海县、哈巴河县、富蕴县和吉木乃县5个县(市)灌木昆虫主优势类群的原因之一。赵明智等(2023)报道扎兰屯地区园林树木主要食叶害虫的主要优势类群为鞘翅目和鳞翅目;王淑枝等(2023)报道

洛阳市小麦、玉米、花生、大豆及甘薯农作物试验田害虫的主优势类群为鞘翅目和鳞翅目;阎雄飞等(2023)报道陕北沙区灌木长柄扁桃害虫的主优势类群为鞘翅目和鳞翅目,均与本研究结果一致。体形较大的鳞翅目昆虫幼虫常啃食灌木植物叶片或钻蛀枝干,反之则以卷叶、缀叶、结鞘、吐丝结网或钻入灌木植物组织等方式进行取食(张译文等,2023),而鞘翅目昆虫幼虫和成虫的食性较杂(董雯等,2023),这

也是它们成为优势类群的主要原因。

在生态系统中,气温是影响昆虫多样性的一个关键因素(Hawkins, 2004; Field et al., 2009)。Ernst & Buddle(2015)认为中高纬度地区昆虫物种丰富度会随着温度升高而增加,且温度与昆虫物种丰富度和多度显著相关,与本研究结果一致。昆虫新陈代谢和生长发育所需能量均受温度影响,因此在一定范围内,温度升高会导致昆虫物种丰富度增加,但温度过高,昆虫性腺发育及能量代谢会受阻,使昆虫的产卵数量和孵化率降低,影响雌雄性比,从而导致昆虫物种丰富度下降(蒋丰泽等,2015)。海拔与温度呈负相关关系,因此海拔也间接影响着昆虫多样性的分布格局(Ernst & Buddle, 2015),本研究中昆虫多样性随着海拔升高而下降,与预期结果相符。此外,经度也是影响昆虫多样性分布格局的间接因素,因为经度与降水量和温度等环境因素有共变效应(吴昊等,2019)。本研究的CCA分析结果显示经度是影响灌木群落昆虫分布的主要因子之一;吴昊等(2021)认为经度是影响陆生空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 群落昆虫多样性的主导性因子之一,与本研究结果一致。

植被不仅为大部分昆虫提供栖息场所、避难场所,而且还是植食性昆虫的食物来源,其物种丰富度和高度、盖度、生物量等指标均会对昆虫分布和昆虫多样性产生显著影响,因此昆虫多样性会随着植被物种多样性和功能群多样性的增加而增加(Hao et al., 2015; 高佳楠等,2023)。本研究结果显示,额尔齐斯河流域灌木昆虫物种丰富度随植物群落 Simpson 多样性指数增加呈先上升后下降的趋势。灌木植物大多数为蜜源植物,它可通过花蜜资源增加传粉昆虫的多样性(Cho et al., 2017; Luppi et al., 2018),此外,多种捕食性和寄生性天敌喜欢栖息于复杂的高植被生境中,从而灌木丛中天敌昆虫的物种和数量也会适当增加(贾春生等,2006),因此在 Simpson 多样性指数增长初期,半翅目、鞘翅目等昆虫物种丰富度增加,但当昆虫物种丰富度增大到一定程度后,种内及种间竞争加剧,死亡率明显增高,导致昆虫物种丰富度下降(姚晨晨等,2023)。本研究结果显示,额尔齐斯河流域灌木昆虫物种丰富度与 Pielou 均匀度指数呈负线性相关,究其原因可能是,植物分布均匀度增加,适合昆虫生存的异质性生境就会减少,进而昆虫多样性下降(贺创军,2018)。

本研究结果表明,影响灌木昆虫分布的驱动因子为温度、经度、海拔、灌木植物多样性和均匀程

度。基于此,对于多样性低、均质化较高的灌木种植区域可补植木本或草本植物,通过提高植物群落多样性等方式吸引多种传粉昆虫,提高植被结实率和观赏性,同时还可以有效抑制害虫暴发。此外,应加强对金匠花金龟和草地螟 2 个恒有种,原缘蝽、斑须蝽、沙枣白眉天蛾、四点斑芫菁等 7 个常见种的数量监测。虽然本研究已初步明确额尔齐斯河流域灌木昆虫群落特征及对环境因子的响应,但昆虫与环境的相互适应极为复杂,对昆虫多样性及时序变化对环境因子的响应等方面还需进一步深入研究。

## 参 考 文 献 (References)

- Awmack CS, Leather SR. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. Annual Review of Entomology, 47: 817–844
- Cho Y, Lee D, Bae S. 2017. Effects of vegetation structure and human impact on understory honey plant richness: implications for pollinator visitation. Journal of Ecology and Environment, 41(1): 2
- Dong W, Shi XD, Tang L, Cao TT, Gao CQ. 2023. Analysis of diversity and fauna of beetles in Laoshan Area of Nanjing. Journal of Environmental Entomology, 45(5): 1260–1268 (in Chinese) [董雯, 施筱迪, 汤亮, 曹婷婷, 高翠青. 2023. 南京老山地区鞘翅目昆虫多样性及区系分析. 环境昆虫学报, 45(5): 1260–1268]
- Ernst CM, Buddle CM. 2015. Drivers and patterns of ground-dwelling beetle biodiversity across northern Canada. PLoS ONE, 10(4): e0122163
- Field R, Hawkins BA, Cornell HV, Currie DJ, Diniz-Filho JAF, Guégan JF, Kaufman DM, Kerr JT, Mittelbach GG, Oberdorff T, et al. 2009. Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis. Journal of Biogeography, 36(1): 132–147
- Gao JN, Lu L, Guo XC, Qi L, Lin MY, Zhang ZW, Xiao NW. 2023. Insect richness and its environmental impact factors in Beijing. Journal of Plant Protection, 50(4): 1055–1061 (in Chinese) [高佳楠, 卢林, 郭晓晨, 齐力, 林美英, 张志伟, 肖能文. 2023. 北京市昆虫丰富度及其环境影响因子. 植物保护学报, 50(4): 1055–1061]
- Ge F, Li DM, Xie BY, Ding YQ, Liu XH. 2000. The diversity of energy flow of arthropod community in cotton agroecosystem. Acta Ecologica Sinica, 20(6): 971–976 (in Chinese) [戈峰, 李典漠, 谢宝瑜, 丁岩钦, 刘向辉. 2000. 棉田节肢动物群落的数量与能量多样性特征分析. 生态学报, 20(6): 971–976]
- Hao SG, Wang SP, Cease A, Kang L. 2015. Landscape level patterns of grasshopper communities in Inner Mongolia: interactive effects of livestock grazing and a precipitation gradient. Landscape Ecology, 30(9): 1657–1668
- Hawkins BA. 2004. Invited views in basic and applied ecology: are we making progress toward understanding the global diversity gradient? Basic and Applied Ecology, 5(1): 1–3
- He CJ. 2018. A preliminary study on the geographical distribution patterns and driving factors of insect diversity in northern grass-

- land. Master thesis. Changchun: Northeast Normal University (in Chinese) [贺创军. 2018. 北方草地昆虫多样性地理分布格局及其驱动因素初步研究. 硕士学位论文. 长春: 东北师范大学]
- He WQ, Zhang X, Gao ST, Li Q, Chen YQ. 2023. Effects of habitat types and environmental factors on the diversity of Orthoptera at different regional scales. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 43(3): 87–95 (in Chinese) [何卫强, 张翔, 高舒桐, 李巧, 陈又清. 2023. 不同区域尺度下生境类型和环境因子对直翅目昆虫多样性的影响. 西南林业大学学报(自然科学), 43(3): 87–95]
- Hu HY, Huang RX. 2013. Colored pictorial handbook of insects in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang University Press (in Chinese) [胡红英, 黄人鑫. 2013. 新疆昆虫原色图鉴. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社]
- Jia CS, Chi DF, Hu YY. 2006. Effects of forest plant communities on forest insect communities. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 34(9): 1871–1872, 1883 (in Chinese) [贾春生, 迟德富, 胡隐月. 2006. 森林植物群落对昆虫群落的影响. 安徽农业科学, 34(9): 1871–1872, 1883]
- Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, Zhang GR. 2015. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms. *Journal of Environmental Entomology*, 37(3): 653–663 (in Chinese) [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 张古忍. 2015. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制. 环境昆虫学报, 37(3): 653–663]
- Ju B, Ye W, Hu D. 2015a. Variation characteristics and trend of precipitation in Irtysh River Basin of Xinjiang. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 26(4): 115–119 (in Chinese) [鞠彬, 叶文, 胡丹. 2015a. 新疆额尔齐斯河流域降水量变化特征及趋势分析. 水资源与水工程学报, 26(4): 115–119]
- Ju B, Zhang ST, Hu D. 2015b. Characteristics and trend of precipitation changes over Irtysh River Basin. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 32(9): 21–25, 31 (in Chinese) [鞠彬, 张帅挺, 胡丹. 2015b. 额尔齐斯河流域气候变化特征分析. 长江科学院院报, 32(9): 21–25, 31]
- Júnior MS, Lansac-Tôha FA, Paggi JC, Velho LF, Robertson B. 2003. Cladocera fauna composition in a river-lagoon system of the Upper Paraná River floodplain, with a new record for Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63(2): 349–356
- Karamaouna F, Kati V, Volakakis N, Varikou K, Garantonakis N, Economou L, Birouraki A, Markellou E, Liberopoulou S, Edwards M. 2019. Ground cover management with mixtures of flowering plants to enhance insect pollinators and natural enemies of pests in olive groves. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 274: 76–89
- Li J, Xia ZQ, Guo LD, Wang X. 2008. Characteristics and trends of change in the climate of the Irtysh River Basin. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 36(3): 311–315 (in Chinese) [李捷, 夏自强, 郭利丹, 王霞. 2008. 额尔齐斯河流域气候特征及变化趋势分析. 河海大学学报(自然科学版), 36(3): 311–315]
- Li YC, Zhang DZ, He DH. 2014. Species diversity of ground-dwelling beetles and its relationship with environmental factors in the artificial *Caragana brushland* of fixed sandy lands in Ningxia. *Scientia Silvae Sinicae*, 50(5): 109–117 (in Chinese) [李岳诚, 张大治, 贺达汉. 2014. 荒漠景观固沙柠条林地地表甲虫多样性及其与环境因子的关系. 林业科学, 50(5): 109–117]
- Lin MQ, Zhang YM, Ouyang F, Shu ZF, Zhu O, Xiao HX. 2023. Spatial distribution of species diversity of solitary wasps (Vespidae) and its responses to environmental factors in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province. *Biodiversity Science*, 31(2): 130–140 (in Chinese) [林木青, 张应明, 欧阳芳, 束祖飞, 朱朝东, 肖治术. 2023. 广东车八岭国家级自然保护区独栖性胡蜂多样性空间分布特征及其对环境因子的响应. 生物多样性, 31(2): 130–140]
- Liu JL, Zhao WZ, Li FR, Ba YB. 2020. The relationship of ground spider and beetle assemblage with environmental factors in the natural and artificial fixed-sand shrub forests. *Acta Ecologica Sinica*, 40(21): 7987–7996 (in Chinese) [刘继亮, 赵文智, 李锋瑞, 巴义彬. 2020. 天然和人工固沙灌木林蜘蛛和甲虫分布与环境因子的关系. 生态学报, 40(21): 7987–7996]
- Liu XQ. 2022. Community characteristics of carabid beetle and its response to environmental factors within grassland in Ningxia. Master thesis. Yinchuan: Ningxia University (in Chinese) [刘学琴. 2022. 宁夏草原步甲群落特征及其对环境因子的响应. 硕士学位论文. 银川: 宁夏大学]
- Luppi M, Dondina O, Orioli V, Bani L. 2018. Local and landscape drivers of butterfly richness and abundance in a human-dominated area. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254: 138–148
- Talal S, Cease AJ, Youngblood JP, Farington R, Trumper EV, Medina HE, Rojas JE, Fernando Copa A, Harrison JF. 2020. Plant carbohydrate content limits performance and lipid accumulation of an outbreaking herbivore. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1940): 20202500
- Wang AJ, Shi YJ. 2009. Catalogue and atlas of pests and rats in Xinjiang forest, fruit and flowers. Urumqi: Xijiang People's Publishing House (in Chinese) [王爱静, 史彦江. 2009. 新疆林果花草害虫害鼠名录与图谱. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社]
- Wang SZ, Wang YH, Zhang ZQ, Wang LX, Han RH, Liu ST, Zhang XY, Duan AJ. 2023. Insect population structure and occurrence dynamics of main pests in Luoyang City under forecast lamp. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 52(9): 110–121 (in Chinese) [王淑枝, 王育红, 张自启, 王利霞, 韩瑞华, 刘顺通, 张向月, 段爱菊. 2023. 洛阳市测报灯下昆虫种群结构及主要害虫发生动态. 河南农业科学, 52(9): 110–121]
- Waongo A, Ba NM, Dabiré-Binsou LC, Sanon A. 2015. Diversity and community structure of insect pests developing in stored sorghum in the Northern-Sudan ecological zone of Burkina Faso. *Journal of Stored Products Research*, 63: 6–14
- Wu H, Dai WK, Cai SQ, An JL, Wang XX. 2019. Influences of heterogeneous habitats on the quantity distribution of biocontrol insect *Agasicles hygrophila*. *Plant Protection*, 45(3): 41–48 (in Chinese) [吴昊, 代文魁, 蔡水清, 安佳乐, 王笑笑. 2019. 异质生境对生防昆虫莲草直胸跳甲数量分布的影响. 植物保护, 45(3): 41–48]
- Wu H, Wang MX, Li YG. 2021. Richness and distribution of insects in

- Alternanthera philoxeroides* invaded communities and their determinants. *Ecology and Environmental Sciences*, 30(4): 726–735 (in Chinese) [吴昊, 王明霞, 李迎港. 2021. 空心莲子草入侵群落的昆虫丰富度和分布状况及其影响因素. 生态环境学报, 30(4): 726–735]
- Wu Z, Lü XH, Hu DF, Chen HZ, Li K. 2007. Preliminary research on habitat selection of *Chrysopa septempunctata* in farmland in central Hebei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 27(8): 3379–3383 (in Chinese) [吴专, 吕小红, 胡德夫, 陈合志, 李凯. 2007. 冀中农区大草蛉(*Chrysopa septempunctata*)栖息地选择. 生态学报, 27(8): 3379–3383]
- Yan XF, Wang TH, Shi T, Yang T, Li G, Zheng X. 2023. Investigation on the species and harm of pests on *Amygdalus pedunculatus* in the sandy area of northern Shaanxi Province of northwestern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 45(4): 70–77 (in Chinese) [阎雄飞, 王庭昊, 史腾, 杨涛, 李刚, 郑晰. 2023. 陕北沙区长柄扁桃害虫种类及危害调查. 北京林业大学学报, 45(4): 70–77]
- Yang GJ, He Q, Wang XP. 2010. Darkling beetle community structure and its relations with environmental factors in Sidunzi of Yanchi, Ningxia, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(9): 2375–2382 (in Chinese) [杨贵军, 贺奇, 王新谱. 2010. 盐池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, 21(9): 2375–2382]
- Yang H. 2022. Research on insect community structure and biodiversity in urban green space in Chengdu. Master thesis. Chengdu: Sichuan Agricultural University (in Chinese) [杨欢. 2022. 成都城市绿地昆虫群落结构及生物多样性研究. 硕士学位论文. 成都: 四川农业大学]
- Yao CC, Hou YX, Guo DX, Wan X. 2023. Diversity of pollinators and their relationships with environmental factors in typical forest-agriculture ecotone of Yaoluoping Nature Reserve. *Journal of Biology*, 40(4): 70–75 (in Chinese) [姚晨晨, 侯银续, 郭东旭, 万霞. 2023. 鹫落坪保护区典型农林交错带传粉昆虫多样性及其与环境因子间的关系. 生物学杂志, 40(4): 70–75]
- Zhang HY, Zhou HR, Ye Q, Wen B. 2016. Caloric values of dominant plants in typical areas of Irtysh River watershed in Xinjiang Region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 36(5): 299–305, 311 (in Chinese) [张和钰, 周华荣, 叶琴, 温彬. 2016. 新疆额尔齐斯河流域典型地区优势种灌木的热值. 水土保持通报, 36(5): 299–305, 311]
- Zhang YW, Niu RX, Wang WC, Wang CB, Wang FL. 2023. Investigation on the occurrence regularity of five major lepidopteran pests in grass orchards in Lanzhou. *Agricultural Science-Technology and Information*, (10): 121–124, 131 (in Chinese) [张译文, 牛茹萱, 王卫成, 王晨冰, 王发林. 2023. 兰州生草桃园5种主要鳞翅目害虫发生规律调查. 农业科技与信息, (10): 121–124, 131]
- Zhao CZ, Zhou W, Wang KM, Shi FX, Gao FY. 2011. The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River. *Acta Ecologica Sinica*, 31(12): 3384–3390 (in Chinese) [赵成章, 周伟, 王科明, 石福习, 高福元. 2011. 黑河上游蝗虫与植被关系的CCA分析. 生态学报, 31(12): 3384–3390]
- Zhao MZ, Zhang DS, Zhang LX, Yang J, Shen MY, Zhang ZR. 2023. Investigation and control techniques of main leaf-eating pests of garden trees in Zhalantun area. *Special Economic Animals and Plants*, 26(4): 155–158 (in Chinese) [赵明智, 张岱松, 张漓湘, 杨俊, 沈明元, 张赭苒. 2023. 扎兰屯地区园林树木主要食叶害虫调查及防治技术. 特种经济动植物, 26(4): 155–158]
- Zhu H, Peng YY, Wang DL. 2008. Effects of plant on insect diversity: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 27(12): 2215–2221 (in Chinese) [朱慧, 彭媛媛, 王德利. 2008. 植物对昆虫多样性的影响. 生态学杂志, 27(12): 2215–2221]

(责任编辑:张俊芳)