

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.06.027

引用格式:李有为,张振豪,靳三玲,等.河北坝上地区土地利用方式对昆虫群落结构与多样性的影响研究[J].草地学报,2026,34(6):2252-2260

LI You-wei, ZHANG Zhen-hao, JIN San-ling, et al. Effects of Different Land-Use Types on Insect Community Structure and Diversity in the Bashang Region of Hebei, China[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(6):2252-2260

河北坝上地区土地利用方式对昆虫群落结构与多样性的影响研究

李有为^{1,2}, 张振豪^{1,2}, 靳三玲^{1,2}, 王德平^{1,2}, 戎郁萍^{1,2*}

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193;

2. 河北国家牧草体系张家口综合试验站, 河北 张家口 075000)

摘要:土地利用变化是影响生物多样性的重要因素,为探讨坝上农牧交错区不同土地利用方式对昆虫群落结构与多样性的影响,2024年7—9月在河北坝上地区的围封草地(FG)、放牧地(GL)和农田(CL)开展昆虫种类组成和结构的调查研究。共采集昆虫937头,涉及6目45科103种。研究发现土地利用方式显著影响昆虫群落结构与多样性($P < 0.05$),其中FG多样性最高,GL次之,CL最低;群落功能群和优势科随土地利用方式变化明显,但均以植食性昆虫为主。不同功能类群对环境响应不同:捕食性偏好温暖、低矮且资源丰富的环境;腐食性偏好高草、干燥且生物量低的环境;植食性偏好湿润、植被稀疏的环境。相关性分析表明,土壤温度、植物种类数及地上生物量是关键影响因子($P < 0.001$)。多元分析发现不同土地利用下群落组成差异显著($R^2=0.238, P < 0.05$)。因此,土地利用管理方式通过改变植被与土壤环境调控昆虫群落结构与功能,本研究可为坝上地区基于生物多样性保护的土地利用变化提供参考。

关键词:土地利用方式;昆虫多样性;昆虫功能群;环境因子;河北坝上

中图分类号:F301.24;Q938

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)06-2252-09

Effects of Different Land-Use Types on Insect Community Structure and Diversity in the Bashang Region of Hebei, China

LI You-wei^{1,2}, ZHANG Zhen-hao^{1,2}, JIN San-ling^{1,2}, WANG De-ping^{1,2}, RONG Yu-ping^{1,2*}

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Zhangjiakou Comprehensive Experimental Station, National Forage Industry Technology System, Zhangjiakou, Hebei Province 075000, China)

Abstract: Land-use change is a significant factor affecting biodiversity. To explore the effects of different land-use types on insect community structure and diversity in the agro-pastoral ecotone of the Bashang region, a study on insect species composition and community structure was conducted from July to September 2024 in fenced grassland (FG), grazed grassland (GL), and cropland (CL) in the Bashang region of Hebei Province. A total of 937 insect individuals were collected, representing 103 species belonging to 45 families and 6 orders. The study revealed that land-use type significantly affected insect community structure and diversity ($P < 0.05$). Among them, FG had the highest diversity, followed by GL, and CL had the lowest diversity. The community functional groups and dominant families varied significantly across different land-use types, with herbivorous insects being the predominant group in all habitats. Different functional groups responded differently to environmental conditions: predators preferred warm, low-vegetation, and resource-rich environments. Detritivores favored tall, dry environments with low biomass. And herbivores preferred moist environments with sparse vegetation. Correlation analysis revealed that soil temperature, plant species richness, and aboveground

收稿日期:2025-11-17;修回日期:2026-01-04

基金项目:财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-34)资助

作者简介:李有为(2001-),男,汉族,安徽六安人,硕士研究生,主要从事草地生态研究, E-mail:937468557@qq.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail:rongyuping@cau.edu.cn

biomass were the key influencing factors ($P < 0.001$). Multivariate analysis showed significant differences in community composition among the different land-use types ($R^2 = 0.238$, $P < 0.05$). In conclusion, land-use management regulates insect community structure and function by altering vegetation and soil conditions. This study provides a reference for land-use changes aimed at biodiversity conservation in the Bashang region.

Key words: Land use type; Insect diversity; Insect functional group; Environmental factors; Bashang region of Hebei

昆虫在维持生态系统稳定性与功能方面具有不可替代的作用,特别是在传粉、营养物质循环、种子传播和害虫调控等生态过程中扮演着关键角色^[1]。作为陆地生态系统中生物多样性最丰富的一类生物,昆虫不仅参与多种营养级之间的能量流动,还对维系生态系统的可持续性和生产力具有重要意义^[2]。然而,随着土地利用方式的剧烈变化,如耕作、放牧、城市扩展和基础设施建设等活动,昆虫的栖息环境遭到破坏,其群落结构与多样性也受到严重影响^[3]。土地利用变化已成为驱动全球昆虫多样性下降的核心因素之一。研究表明,自然或半自然生境(如天然草地、林地)的昆虫多样性普遍高于人工干预较强的生态系统,如农田或城市绿地^[4]。特别是在草地生态系统中,不同的利用方式,如封育、放牧或开垦农田,对植被结构、物种组成、微气候环境等造成多层面的影响,并通过底层资源变化影响昆虫群落^[5]。例如,天然草地由于植物结构复杂、覆盖度高,为昆虫提供了更为丰富的食物资源与庇护空间,从而维持更高的昆虫丰富度与功能多样性^[6]。相反,农田的单一种植模式、农药施用与耕作活动等人为干扰会大大降低生境异质性,导致昆虫群落趋同化且多样性下降^[7]。此外,放牧强度是影响草地昆虫多样性的关键生态因子。适度放牧有时能通过增加微生物异质性促进某些昆虫类群的活动^[8],但过度放牧会破坏植被结构,减少植物种类与覆盖度,从而导致昆虫资源基础削弱、个体密度和物种数下降^[9]。封育草地作为一种生态修复手段,通过限制人畜干扰,有助于草地植被恢复和土壤结构改善,成为提高昆虫栖息地质量的重要方式^[10]。河北坝上地区位于燕山山脉与内蒙古高原的过渡带,是典型的农牧交错带区域,地处温带大陆性季风气候区,生态系统脆弱,对人类活动高度敏感。随着近年农业开垦与放牧强度增加,该地区草地利用方式逐渐多样化,传统天然草地向农田化和退化的方向演变,加剧了区域生态系统结构和功能的变化^[11]。已有研究表明,坝上地区草地植被类型的变迁会显著影响土壤理化性质和植被多样性,但对于其对昆虫群落结构与多样性的具体影响尚缺乏系统研究。因此,本研究选取坝上地区的围

封草地、放牧草地和农田三种典型的土地利用方式,通过调查研究不同土地利用方式下昆虫种类组成、多样性指数和功能群分布,结合植被和土壤环境因子,探讨土地利用变化对昆虫群落结构与多样性的影响机制。研究结果有助于揭示人类土地管理方式对生态系统昆虫类群的影响过程,从而为草地生态保护与可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

河北坝上地区地处内蒙古高原的东南边缘地带,41°30'N~42°20'N,114°30'E~116°00'E之间,地势总体北高南低,海拔1300~1600 m。属温带半干旱大陆性季风气候,年均气温2~4℃,极端最高气温可达30℃以上,极端最低气温低于-30℃。年降水量为350~450 mm,主要集中在6—8月,年蒸发量最高可超过2000 mm,干燥指数较高。年有效积温在1800~2200℃之间,霜冻期较长。该地区冬季寒冷漫长,夏季凉爽短促。自然植被是草甸草原和草甸,主要土地利用方式包括围封草地、放牧草地与农田等。草地优势植物为羊草(*Leymus chinensis*)、大针茅(*Stipa grandis*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)及冰草(*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.)。天然草地开垦转化成农田后,主要种植马铃薯、燕麦、小麦等作物。

本研究选取农田(Cropland, CL)、放牧地(Grazed Grassland, GL)与围封草地(Fenced Grassland, FG)等土地利用类型进行昆虫群落的调查研究。

1.2 样本采集

1.2.1 昆虫调查方法 2024年7—9月,在河北坝上地区草地及农田生态系统中开展昆虫群落调查。为全面了解不同土地利用方式下昆虫群落物种组成及多样性变化,采用扫网法与陷阱法相结合的方法进行样本采集。其中,扫网法主要用于采集活动于植被上层的飞行性和爬行性昆虫,如蝗虫、叶甲和瓢虫等。每种土地利用类型设置4个独立样地,

每个样地面积为 $15\text{ m} \times 20\text{ m}$ 。在每块样地内,选择植被分布均匀且具有代表性的区域,沿 S 形路线布设 3 个扫网点。在每个扫网点进行 30 次连续扫网,每次扫动覆盖约 1 m 的水平范围。所有土地利用类型均在 3 个时间(7、8 和 9 月)进行调查,各次调查之间样地位置保持一致,从而确保样本的可比性和代表性。采集时间选在昆虫活动频繁的 9:00—11:00 及 15:00—17:00,操作时保持扫网高度一致,并尽量减少人为干扰。为了调查草层或地表活动性较强的昆虫(如甲虫、蚁类等),采用地面陷阱法进行补充采集。在每块样地中设置 5 个陷阱点,沿对角线均匀布设,陷阱为直径 7 cm 、深度 9 cm 的塑料杯,埋入地面使杯口与地面齐平,内置少量乙醇(70%)和几滴洗洁精用于固定和防止昆虫逃逸。陷阱连续开启 48 h,每 24 h 收集一次。

1.2.2 环境变量的测定 2024 年在植物生长季(6—9 月)于各样地均匀布设 5 个 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的样方,对各样方内的植物物种数、密度、盖度及地上生物量进行调查。每隔 10 d 利用便携式土壤温湿度测定仪(Turf-Tec International,北京,POGO mini)测量每种利用方式的各样方土壤含水量与温度(5 cm)。

1.3 数据统计与分析

为分析不同土地利用方式下昆虫群落多样性的差异,本研究计算了香农多样性指数(Shannon-Wiener diversity index, H')、Simpson 优势度指数(Simpson's diversity index, D)、Pielou 均匀度指数(Pielou's evenness index, E)和 Margalef 丰富度指数(Margalef's richness index, R),计算公式如下:

Shannon-Wiener 指数用于衡量物种多样性,考虑了物种的丰富度和均匀度,公式为:

$$\text{Shannon} = -\sum (P_i \times \ln P_i)$$

式中, P_i 为第 i 物种个体数占总个体数的比例;

Simpson 优势度指数用于衡量最常见物种在群落中的相对优势度,公式为:

$$H = 1 - \sum P_i^2$$

均匀度指数用于衡量个体在各物种间的分布均匀程度,公式为:

$$E = -\sum (P_i \times \ln P_i) / \ln S$$

式中, S 为样地中物种总数;

Margalef 丰富度指数用于衡量样地中的物种数量,公式为:

$$R = (S - 1) / \ln N$$

式中, N 为个体总数。

以上指标均在 R(4.4.2)中使用 vegan 包完成计算。对各土地利用方式下昆虫群落多样性的差异进行单因素方差分析(Anova)。为进一步探讨土地利用方式对群落结构的影响,本研究采用非度量多维尺度分析(Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS)进行群落相似性可视化,并基于 Bray-Curtis 距离计算样本间的生态距离。同时采用置换多元方差分析(Permutational Multivariate Analysis of Variance, PERMANOVA)检验土地利用方式对昆虫群落结构的影响。

2 结果与分析

2.1 昆虫群落结构与组成

共采集昆虫 937 头,隶属于 6 目 45 科 103 种。其中,鞘翅目为优势目,共记录个体数 324 头,占总个体数的 34.60%。在科水平上,个体数量最多的为金龟子科(Scarabaeidae, 144 头,占 15.40%)。从功能群划分来看,占比最高的昆虫类群是植食性(Herbivores)、腐食性(Detritivore)和捕食性(Predator)昆虫。其中,植食性昆虫共计 423 头,主要包括粉蝶科和网翅蝗科等,占总个体数的 45.10%,为群落中最主要的功能群。腐食性类昆虫共计 188 头,主要为金龟子科昆虫。捕食性昆虫共计 161 头,步甲科为其主要类群。整体上,该地区昆虫群落以植食性和食碎屑类昆虫为主,群落结构相对稳定,生态功能相对完整。

在 3 种土地利用方式中,围封草地中昆虫个体数最多,共计 39 科 74 种 431 头;放牧地昆虫个体数次之,共计 30 科 57 种 369 头;农田中昆虫的科数、物种数最少,共计 22 科 31 种 137 头(表 1)。

2.2 昆虫群落多样性指数

方差分析表明,不同土地利用方式之间 Shannon-Wiener 多样性指数存在显著差异($P < 0.05$)。其中,围封草地(FG)的多样性水平最高,放牧地(GL)次之,农田(CL)的多样性水平最低。随着土地利用强度的增加,昆虫群落的多样性呈现逐渐降低的趋势(图 1-A)。Simpson 优势度指数同样存在显著差异($P < 0.05$),且围封草地(FG)优势度最低,农田(CL)优势度最高(图 1-B)。Pielou 均匀度指数在不同土地利用方式间未见显著差异,各地块昆虫群落的均匀度相对稳定,种间分布较为均衡(图 1-C)。

表 1 不同土地利用方式下的昆虫群落结构组成

Table 1 Insect community structure under different land use types

土地利用类型 Land use type	围封草地 FG			放牧地 GL			农田 CL		
项目 Item	科数 Family richness	种数 Species richness	个数 Count	科数 Family richness	种数 Species richness	个数 Count	科数 Family richness	种数 Species richness	个数 Count
鞘翅目 Coleoptera	8	20	113	6	12	148	5	9	63
双翅目 Diptera	6	10	49	7	13	43	4	6	16
半翅目 Hemiptera	6	9	49	5	6	29	4	5	23
膜翅目 Hymenoptera	4	5	24	3	4	18	5	6	18
鳞翅目 Lepidoptera	8	12	61	4	9	57	1	1	3
直翅目 Orthoptera	7	18	135	5	13	74	3	4	14
合计 Total	39	74	431	30	57	369	22	31	137

Margalef 丰富度指数存在显著差异 ($P < 0.05$), 围封草地 (FG) 表现出较高的物种丰富度, 放牧地 (GL) 则

有所下降, 农田 (CL) 最低, 进一步反映了土地利用强度对昆虫物种丰富度的负面影响 (图 1-D)。

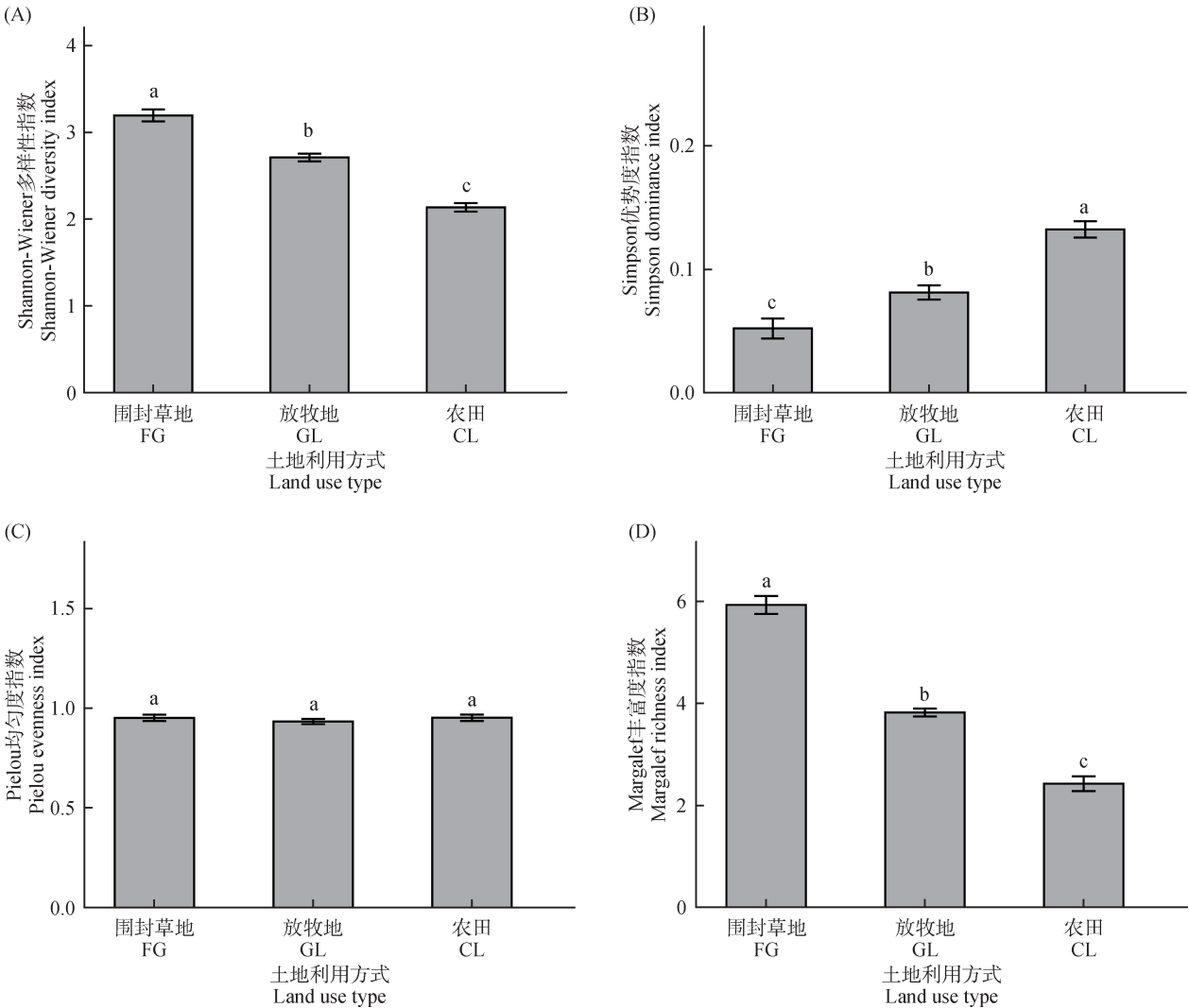


图 1 不同土地利用方式下昆虫群落多样性的差异

Fig. 1 Differences in insect diversity among land use types

注: FG 为围封草地、GL 为放牧地、CL 为农田。不同小写字母表示各处理在 $P < 0.05$ 水平下差异显著, 下同
Note: FG denoted fenced grassland, GL denoted grazing grassland, and CL denoted cropland. Different lowercase letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level, the same as below

2.3 昆虫群落功能群组成

不同土地利用方式下昆虫群落的功能群组成

存在显著差异 (图 2)。在围封草地 (FG) 中, 昆虫群落以植食性、捕食性和腐食性类群为主, 其中植食

性昆虫数量较多,捕食性类群次之。放牧地(GL)中植食性昆虫所占比例最高,腐食性类群较为丰富。农田(CL)中昆虫群落以腐食性和植食性昆虫为主,捕食性类群相对较少。总体来看,不同土地利用方式下昆虫功能群组成差异明显,反映出土地利用变化对昆虫群落结构的显著影响。此外,各土地利用

类型中优势科类群也有所不同:围封草地以蝗科和步甲科为主,放牧草地以金龟子科和粉蝶科为主,农田中以金龟子科和叶甲科较为常见。整体上,植食性昆虫在该地区各类土地利用方式中普遍占据优势,而捕食性和腐食性昆虫在围封草地和放牧地中更为丰富。

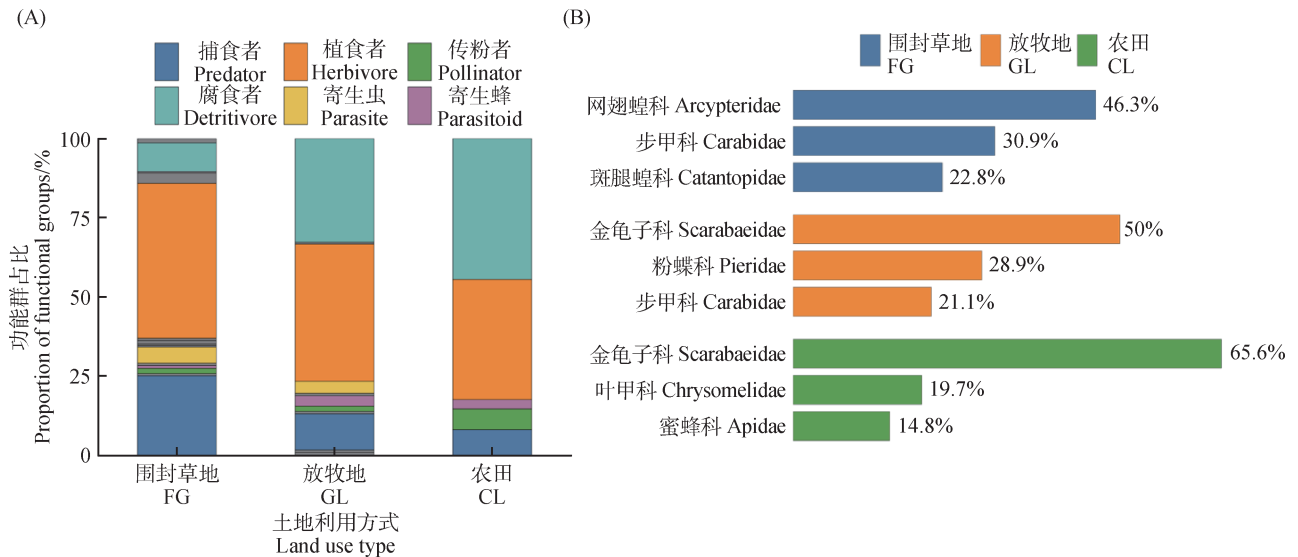


图2 不同土地利用方式下的昆虫功能群构成

Fig. 2 Functional group composition of insects under different land use types

注:(A)主要昆虫功能群在不同土地利用类型下的相对丰度;(B)各土地利用类型中主要科级类群的比例分布

Note: (A) Relative abundance of main insect functional groups across different land use types; (B) Proportional distribution of dominant insect families within each land use type

2.4 昆虫群落结构相似性分析

非度量多维尺度分析(NMDS)与置换多元方差分析(PERMANOVA)结果表明,土地利用方式对昆虫群落结构具有显著影响($R^2=0.238$, $P=0.037$)。NMDS排序的Stress值为0.168,表明模型拟合度较好。不同土地利用方式下昆虫群落结构呈现明显分异趋势(图3):围封草地(FG)、放牧地(GL)和农田(CL)的样点在NMDS空间中分布清晰且聚类良好。FG的样点在空间上更为集中,表明其群落结构相对稳定;而GL与CL的样点分布较为分散,显示出较高的群落异质性和差异性。

2.5 昆虫群落与环境因子的关系

相关性分析与线性回归分析表明,昆虫群落多样性与植被特征及环境因子密切相关。其中,Shannon指数、Simpson指数和Margalef指数均与土壤温度(ST)、植被种类数(Species)及植被地上生物量(Biomass)呈显著正相关关系(图4-5, $P<0.001$)。捕食性昆虫(Predator)在多变量共同作用下主要受土壤温度和植被种类数的正向影响,而与植被高度呈显著负

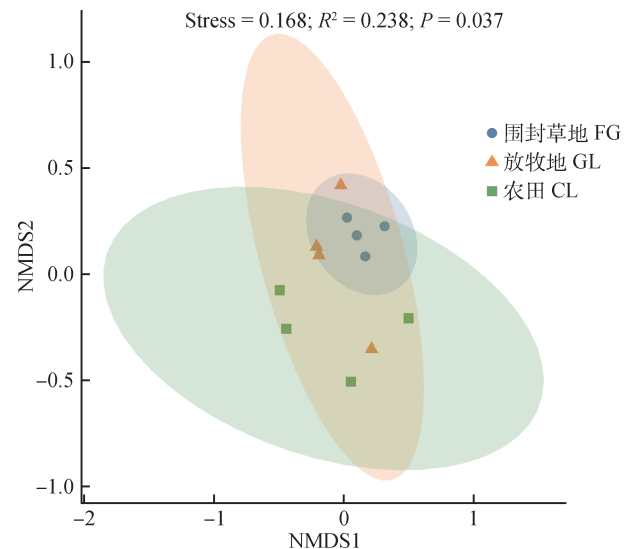


图3 不同土地利用方式下昆虫群落结构的NMDS排序图

Fig. 3 NMDS ordination of insect community structure under different land use types

注:不同土地利用方式下昆虫群落的NMDS排序结果。点代表样地,椭圆表示95%置信区间。Stress表示拟合度, R^2 和 P 值来自PERMANOVA分析
Note: NMDS ordination of insect communities under different land use types. Points represent sampling sites, ellipses show 95% confidence intervals. Stress indicates goodness of fit, and R^2 and P values are from PERMANOVA

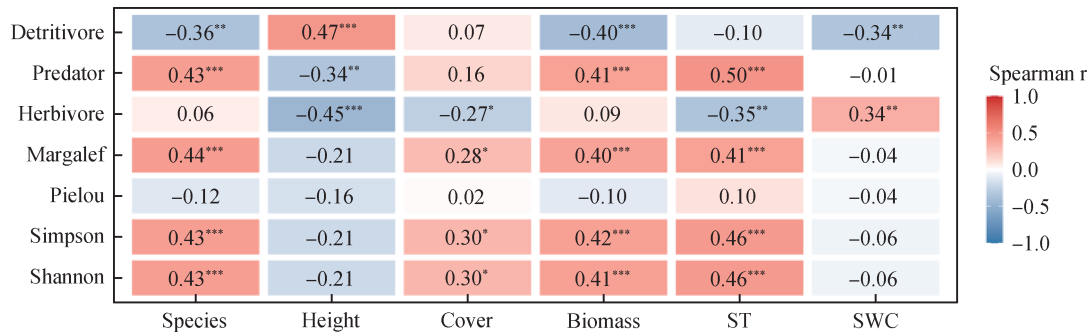


图4 不同土地利用方式昆虫多样性与环境因子的相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis between insect diversity and environmental factors under different land use types

注:相关性采用 Spearman 秩相关分进行检验,相关系数为正表示随着环境因子数值增大,昆虫多样性指标或功能类群丰度呈增加趋势(正相关);相关系数为负表示随着环境因子数值增大,昆虫多样性指标或功能类群丰度呈降低趋势(负相关)。Species 为植物物种数、Height 为植物高度、Cover 为植被盖度、Biomass 为地上植物生物量、ST 为土壤温度、SWC 为土壤含水量。功能类群包括捕食性昆虫(Predator)、草食性昆虫(Herbivore)和腐食性昆虫(Detritivore)。*表示相关性系数显著性,* $P<0.05$,** $P<0.01$,*** $P<0.001$

Note: Correlations were tested using Spearman's rank correlation analysis. A positive correlation coefficient indicates that insect diversity indices or the abundance of functional groups increase with increasing values of environmental factors (positive correlation), whereas a negative correlation coefficient indicates a decreasing trend with increasing environmental factor values (negative correlation). Species represents plant species richness, Height represents plant height, Cover represents vegetation cover, Biomass represents aboveground plant biomass, ST represents soil temperature, and SWC represents soil water content. Functional groups include predators (Predator), herbivores (Herbivore), and detritivores (Detritivore). Asterisks indicate the significance of correlation coefficients: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$

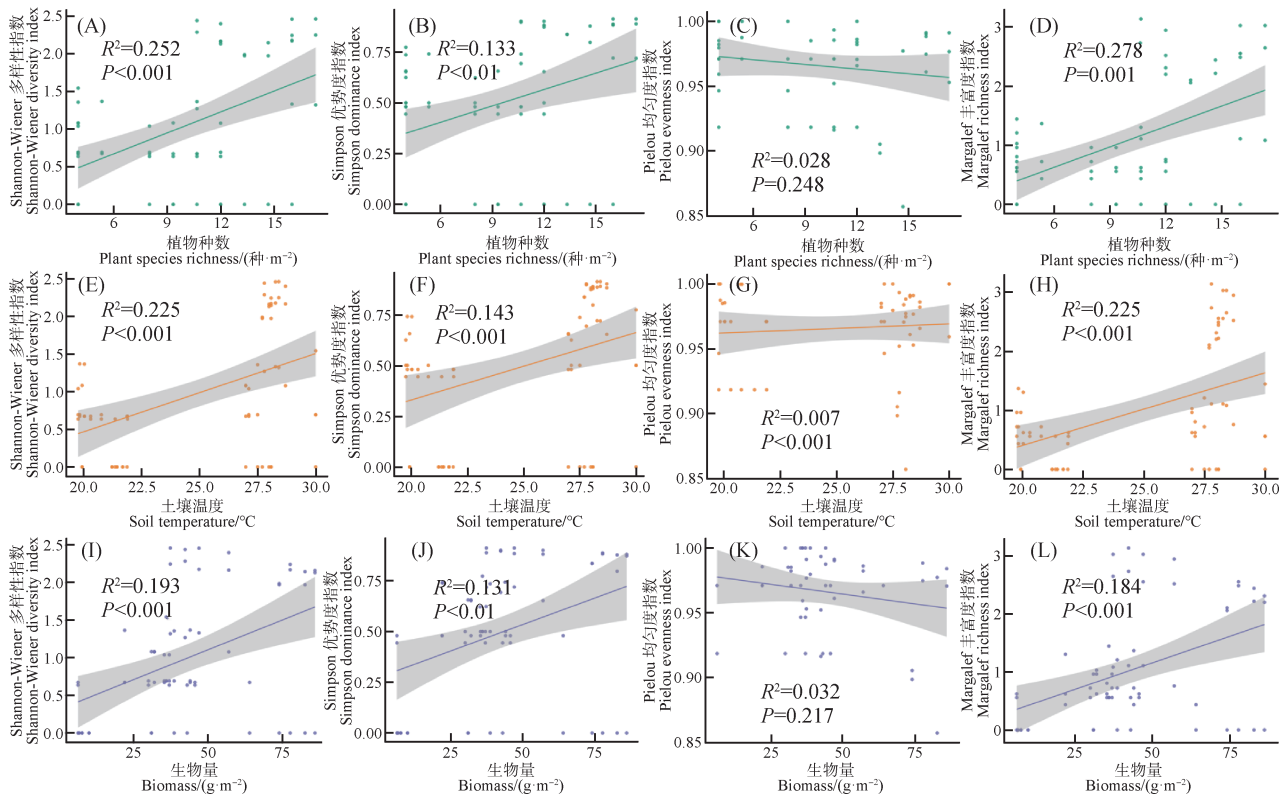


图5 环境因子对昆虫多样性指数的影响

Fig. 5 Linear relationships between environmental factors and insect diversity indices

注:(A~D)植物物种数与昆虫 Shannon, Simpson, Pielou 和 Margalef 指数的线性关系;(E~H)土壤温度与昆虫 Shannon, Simpson, Pielou 和 Margalef 多样性指数的线性关系;(I~L)植物生物量与昆虫 Shannon, Simpson, Pielou 和 Margalef 多样性指数的线性关系

Note: (A~D) Linear relationships between plant species richness and insect Shannon, Simpson, Pielou, and Margalef diversity indices; (E~H) Linear relationships between soil temperature and insect Shannon, Simpson, Pielou, and Margalef diversity indices; (I~L) Linear relationships between plant biomass and insect Shannon, Simpson, Pielou, and Margalef diversity indices

相关,表明其更偏好结构复杂但不过度封闭的生境条件。腐食性昆虫(Detritivore)则主要受植被高度的正向影响,而对生物量和土壤含水量(SWC)表现出负响应,反映其对枯落物积累及湿度条件的敏感性。相比之下,草食性昆虫(Herbivore)对植被高度和盖度呈显著负相关,而与土壤含水量呈正相关,说明其更依赖低矮、湿润且资源可获取性较高的植被环境。在此基础上,进一步采用多元线性回归分析,在控制其他环境变量的条件下,厘清不同因子对昆虫多样性的独立贡献。结果表明,植被种类数和土壤温度对 Shannon

指数和 Margalef 指数均具有显著的独立正效应(图 5-A, D, E, K),且效应量较大($\text{partial } \eta^2 = 0.14 \sim 0.31$),而生物量在控制其他变量后其独立效应不显著(图 5-I-L, $\text{partial } \eta^2 < 0.02$),表明生境异质性和微气候条件是影响昆虫多样性的关键驱动因子(表 2)。此外,不同功能类群昆虫对环境因子的响应存在明显差异。综上,昆虫群落多样性主要受土壤温度、植被结构特征(种类、高度和盖度)及其交互作用的共同调控,其中植被种类数和土壤温度在多元框架下表现出更强的独立解释力。

表 2 昆虫多样性指数与环境因子的多元线性回归系数

Table 2 Multiple linear regression coefficients of environmental factors for insect diversity indices

多样性指数 Diversity index	植物种数 Plant species	土壤温度 Soil temperature	生物量 Biomass	决定系数 R^2	显著性 P	效应量 Partial η^2
Shannon	0.335	0.316	0.109	0.366	<0.001	0.366
Simpson	0.204	0.252	0.134	0.218	0.001	0.218
Pielou	-0.111	0.191	-0.243	0.071	0.338	0.071
Margalef	0.381	0.316	0.073	0.382	<0.001	0.382

注:表中数值为多元线性回归分析得到的标准化回归系数(β)。 R^2 为模型决定系数,表示环境因子对昆虫多样性指数的解释程度; P 值为回归模型整体显著性(F 检验)结果; Partial η^2 表示模型效应量,反映环境因子对多样性指数变异的解释比例。显著性水平为 $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$

Note: Values represent standardized regression coefficients (β) derived from multiple linear regression models. R^2 indicates the coefficient of determination for each model. P values correspond to the overall significance of the regression model based on the F-test. Partial η^2 represents the effect size of the model, indicating the proportion of variance explained by environmental factors. Significance levels are indicated as $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$

3 讨论

在河北坝上地区,土地利用方式对昆虫群落的结构与多样性存在显著影响。围封草地昆虫群落的 Shannon-Wiener 与 Margalef 指数最高,表明低干扰、高资源供给能够维持丰富、多样的昆虫群落。这主要归因于如下三方面机制:首先,复杂的植被结构提供多样的生态位、荫凉与微气候缓冲,有助于不同昆虫类群(如捕食性步甲科、蚁科与腐食性金龟子科)生存繁衍^[12];其次,植物多样性与昆虫群落功能多样性存在正相关,植物种类多样与草丛层次分明能够支持更复杂的食物网结构^[13];再者,围封为昆虫幼虫阶段提供更稳定的资源环境,从而显著提升群落稳定性^[14]。与围封相比,放牧导致昆虫群落多样性下降,优势种支配结构增强,生态稳定性受到冲击,这可能与放牧导致的植被退化、物种饱和以及土壤压实等有关^[15-16]。与草地相比,农田中的昆虫群落多样性显著降低,生态结构趋于单一。这与全球农业同质化趋势一致:单种栽培、耕作扰动、农药投入等农业操作削弱了生态网络的连通性,导致传粉群体减弱,同时植食性蚜虫等优势

害虫的暴发可能有所上升^[17]。研究发现,将生态补丁(如野花带、草带)整合至田块中,可显著提升昆虫多样性与生态功能,但在传统农业体系中此类做法少被实施^[18]。从功能群层面来看,围封草地中捕食性与腐食性类群具有明显优势,而农业系统则被植食性类群主导,这表明生态功能结构受土地利用方式严重影响,群落的生态服务能力(如害虫控制、分解作用)在农业系统中大打折扣^[19]。例如在欧洲农业景观中,捕食性天敌下降与害虫增多呈正相关,从而迫使农田依赖化学防控^[20]。整体上,放牧地和农田由于放牧强度或耕作干扰较大,植被结构较简单,导致昆虫群落组成发生变化,群落优势种占比上升而多样性降低^[21-22]。综合来看,随着土地利用从天然草地向农田演变,昆虫群落经历从复杂多样、功能完整到简单功能的转变。这一模式揭示了生态系统服务提升与脆弱性之间的冲突,强调在实践中需平衡生产与生态功能的需求。保护天然与围封草地、实施生态农业措施、优化草地放牧制度,是维持昆虫多样性与生态系统健康的关键路径。

相关性分析和线性回归结果表明, Shannon-

Wiener, Simpson 及 Margalef 指数与土壤温度、植被种类数和生物量均呈显著正相关关系,说明较高的土壤温度和植被复杂度能够提升昆虫群落的物种丰富度和均匀度^[23-25]。捕食性昆虫对土壤温度和生物量反应敏感,表现为正相关关系,但与植被高度负相关,提示捕食性类群偏好温暖、低矮且资源丰富的栖息环境^[22,25]。腐食性昆虫则与植被高度正相关,但与生物量及土壤含水量负相关,显示其偏向于高草、干燥但食物资源较少的环境^[22]。草食性昆虫与植被高度和盖度呈显著负相关,而与土壤含水量正相关,反映其在湿润且植被较稀疏的环境中活动频率较高^[22]。综合来看,不同土地利用方式通过改变植被结构和土壤环境条件,对昆虫群落的多样性及功能群分布产生调控作用^[21-25]。围封草地由于植被种类丰富、覆盖度高、土壤环境稳定,为昆虫提供了更适宜的栖息与觅食环境,从而维持了群落结构的多样性和生态功能完整性;而放牧地和农田的强度管理导致栖息环境单一化,导致昆虫群落功能群组成发生改变,且多样性降低^[21-22]。这些结果提示,在坝上草地生态系统管理中,应兼顾土地利用与植被维护,以保障昆虫群落多样性和生态服务功能。

4 结论

本研究发现,不同土地利用方式对河北坝上地区昆虫群落的结构和多样性具有显著影响。围封草地(FG)群落多样性最高,放牧地(GL)次之,农田(CL)最低,且群落功能群比例及优势科随土地利用方式变化明显,但均以植食性昆虫类群为主。土壤温度、植被种类数与植被地上生物量是影响昆虫群落多样性的关键因子,且不同功能群对环境因子的响应存在显著差异:捕食性昆虫偏好温暖、植被较矮且资源丰富的环境,腐食性昆虫偏好高草、干燥且生物量低的环境,而植食性昆虫则偏好湿润且植被稀疏的环境。土地利用强度和管理方式是调控昆虫群落结构的重要因素,本研究为河北坝上地区草地资源管理与生物多样性保护提供了重要参考。

参考文献

- [1] 朱慧,王德利,任炳忠. 放牧对草地昆虫多样性的影响研究进展[J]. 生态学报,2017,37(21):7368-7374
ZHU H, WANG D L, REN B Z. Effects of grazing by large herbivores on insect diversity in grasslands[J]. Acta Ecologica

- Sinica, 2017, 37(21):7368-7374
- [2] 杨婧,褚鹏飞,陈迪马,等. 放牧对内蒙古典型草原 α 、 β 和 γ 多样性的影响机制[J]. 植物生态学报,2014,38(2):188-200
YANG J, CHU P F, CHEN D M, et al. Mechanisms underlying the impacts of grazing on plant α , β and γ diversity in a typical steppe of the Inner Mongolia grassland[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2014, 38(2):188-200
- [3] 郑君,罗鹤峰. 农田景观异质性对昆虫群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4082-4090
ZHENG J, LUO H F. Effects of farmland landscape heterogeneity on insect community diversity [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(12): 4082-4090
- [4] 胡靖,钱秀娟,刘长仲. 放牧模式对高山草地蝗虫群落生物多样性的影响及其作用机制[J]. 植物保护学报, 2021, 48(1): 212-220
HU J, QIAN X J, LIU C Z. Effects of grazing patterns on grasshopper community biodiversity and its mechanism on the Alpine meadow[J]. Journal of Plant Protection, 2021, 48(1):212-220
- [5] 王昕,刘静. 荒漠草原不同放牧强度蝗虫群落多样性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(12): 112-119
WANG X, LIU J. Diversity of grasshopper communities under different grazing intensities in desert steppe[J]. Resources and Environment in Arid Regions, 2021, 35(12): 112-119
- [6] 李小锋,惠婷婷,李耀明,等. 不同放牧管理方式对新疆山地草原植物群落特征的影响[J]. 干旱区研究, 2024, 41(1): 124-134
LI X F, HUI T T, LI Y M, et al. Effects of different grazing management strategies on plant diversity in the mountain grassland of Xinjiang, China[J]. Arid Zone Research, 2024, 41(1): 124-134
- [7] 张义,程杰,苏纪帅,等. 长期封育演替下典型草原植物群落生产力与多样性关系[J]. 植物生态学报,2022,46(2):176-187
ZHANG Y, CHENG J, SU J S, et al. Diversity-productivity relationship of plant communities in typical grassland during the long-term grazing exclusion succession[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2022, 46(2):176-187
- [8] HADDAD N M, TILMAN D, HAARSTAD J, et al. Contrasting effects of plant richness and composition on insect communities: a field experiment[J]. The American Naturalist, 2001, 158(1):17-35
- [9] HADDAD N M, TILMAN D, HAARSTAD J, et al. Plant diversity and the distribution of insect biomass in native grasslands[J]. Science, 2001, 292(5516): 281-284
- [10] LIU J, ZHANG Y, LI D, et al. Enclosure fencing promotes grassland restoration and biodiversity[J]. Land Degradation & Development, 2020, 31(3): 294-300
- [11] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science, 1978, 199(4335):1302-1310
- [12] WANG N, SONG X X, WANG J Y, et al. Impacts of different fencing periods and grazing intensities on insect diversity in the desert steppe in Inner Mongolia[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2022, 10:1021677

- [13] NEWBOLD T, HUDSON L N, HILL S L L, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity[J]. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50
- [14] TSCHARNTKE T, TYLIANAKIS J M, RAND T A, et al. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses[J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2012, 87(3): 661-685
- [15] BÁLDI A. Agricultural landscape heterogeneity correlates with bird species richness in Hungary[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 124(3-4): 197-201
- [16] SNYDER W E, IVES A R. Natural enemy biodiversity and pest control[J]. *Annual Review of Entomology*, 2006, 51: 45-69
- [17] SIEMANN E, TILMAN D, HAARSTAD J, et al. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity[J]. *The American Naturalist*, 1998, 152(5): 738-750
- [18] LIU J, LI X, LUO W, et al. Long-term grazing exclusion improves soil carbon and nitrogen storage in China's grasslands[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 126: 107704
- [19] BARDGETT R D, WARDLE D A. Aboveground-below-ground linkages[M]. Oxford: Oxford University Press, 2010: 125-130
- [20] DE DEYN G B, CORNELISSEN J H C, BARDGETT R D. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes[J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(5): 516-531
- [21] JERRENTROP J S, WRAGE-MÖNNIG N, RÖVER K U, et al. Grazing intensity affects insect diversity *via* sward structure and heterogeneity in a long-term experiment[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 51(4): 968-977
- [22] ZHU H, WANG D L, GUO Q F, et al. Interactive effects of large herbivores and plant diversity on insect abundance in a meadow steppe in China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 212: 245-252
- [23] ROBINSON S I, MCLAUGHLIN Ó B, MARTEINSDÓTTIR B, et al. Soil temperature effects on the structure and diversity of plant and invertebrate communities in a natural warming experiment[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2018, 87(3): 634-646
- [24] BARNETT K L, FACEY S L. Grasslands, invertebrates, and precipitation: a review of the effects of climate change[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7: 1196
- [25] GEPPERT C, LA BELLA G, BOSCUCCI F, et al. Effects of temperature and plant diversity on orthopterans and leafhoppers in calcareous dry grasslands[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2021, 25(2): 287-296

(责任编辑 刘婷婷)