

锡林郭勒盟典型草原昆虫多样性分析

畅 笑^{1,2} 李 霜^{3*} 黄训兵⁴ 涂雄兵^{1,2*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193; 2. 农业农村部锡林郭勒草原有害生物科学观测实验站, 内蒙古 锡林浩特 026000; 3. 重庆市农业科学院, 重庆 401329; 4. 临沂大学农林科学学院, 山东 临沂 276000)

摘要: 为典型草原害虫监测预警和生态治理提供理论依据, 选取害虫发生相对严重的锡林郭勒盟7个旗县典型草原作为调查对象, 采用乙字形扫网取样法对昆虫数量和种类进行调查, 对昆虫尤其是主要昆虫蝗虫群落差异和多样性进行分析, 并对蝗虫群落和环境因子进行冗余分析。结果显示, 在7个典型草原区域中, 正镶白旗、镶黄旗、阿巴嘎旗、西乌珠穆沁旗和锡林郭勒市的昆虫 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均较高, 且这5个草原区域之间均差异不显著; 在7个典型草原区域内共采集到草原蝗虫6科11属16种, 种类较丰富, 约占所有昆虫种类的20.00%; 亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* 作为锡林郭勒盟典型草原蝗虫的优势种, 在所有典型草原区域中的数量均高于其他蝗虫; 镶黄旗和锡林浩特市的蝗虫种数最多, 均为14种, 而苏尼特左旗的蝗虫种数最低, 为8种; 植被覆盖度和海拔对蝗虫 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数有正影响。锡林浩特市与镶黄旗的蝗虫群落相异性最小, 相异性系数为0, 与其他5个典型草原区域的蝗虫群落相异性也较低, 相异性系数介于0.04~0.20之间, 表明锡林浩特市的典型草原基本包含了锡林郭勒盟的大多数蝗虫群落。

关键词: 典型草原; 蝗虫; 多样性指数; 冗余分析

Analysis of insect diversity in typical steppe of Xilin Gol League

Chang Xiao^{1,2} Li Shuang³ Huang Xunbing⁴ Tu Xiongbing^{1,2*}

(1. State Key Laboratory of Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Scientific Observation and Experimental Station of Pests in Xilin Gol Rangeland, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xilinhot 026000, Inner Mongolia Autonomous Region, China; 3. Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China; 4. College of Agriculture and Forestry Sciences, Linyi University, Linyi 276000, Shandong Province, China)

Abstract: In order to provide theoretical guidance for pest monitoring and warning as well as ecological management in typical grasslands, seven counties in Xilin Gol League with relatively serious insect infestation were surveyed. The relevant insects were investigated by Z-shaped sweep sampling, while the differences and diversity of insect communities were analyzed, especially grasshopper communities. In addition, the redundancy analysis of grasshopper communities and environmental factors was carried out. According to the research results, the Margalef richness index, Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index of insects found in Plain and Bordered White Banner, Bordered Yellow Banner, Abaga Banner, West Ujimqin Banner and Xilinhot City were higher in the seven typical steppe regions. However, there was no significant difference between the five regions. A total of 16 species of grasshop-

pers in 11 genera and six families were collected from the seven typical grassland areas, accounting for about 20.00% of all insect species. Specifically, *Oedaleus asiaticus* was the dominant species of grasshoppers in the typical grassland of Xilin Gol League, with its density higher in all typical grassland areas compared to other grasshoppers. The number of grasshopper species found in Bordered Yellow Banner and Xilinhot City was the highest, reaching 14. In contrast, the number of grasshopper species in Sonid Left Banner was the lowest (eight). The coverage and altitude of vegetation exerted positive effects on Margalef richness index, Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index. The dissimilarity of grasshopper communities between Xilinhot City and Bordered Yellow Banner was least significant, with a dissimilarity coefficient of 0. There was also a low dissimilarity of grasshopper communities between Xilinhot City and other five typical grassland areas, and the dissimilarity coefficients ranged between 0.04 and 0.20. It indicated that the typical grassland of Xilinhot City covered most of the grasshopper communities in Xilin Gol League.

Key words: typical grassland; grasshopper; diversity index; redundancy analysis

草原是地球生态系统的一种,分为热带草原、温带草原等多种类型,是地球上分布最广的植被类型。中国是世界上草原资源最丰富的国家之一,草原总面积近4亿 hm^2 ,占全国土地总面积的40%,为现有耕地面积的3倍。锡林郭勒草原位于内蒙古自治区(简称内蒙古)东中部锡林郭勒盟境内,是华北地区主要的生态屏障,是距离北京最近的草原牧区,是中国四大草原之一,是典型草原分布区,其植被具有广泛的代表性(康乐,1998;娄佩卿等,2019),其以典型草原为主,主要有克氏针茅 *Stipa krylovii*、大针茅 *S. grandis*、羊草 *Leymus chinensis*、大籽蒿 *Artemisia sieversiana*、冷蒿 *A. frigida* 和小叶锦鸡儿 *Caragana microphylla* 等植物(张连义等,2006;吴明殷,2015;翟夏杰等,2015),适宜众多昆虫及其近亲生存,尤其是食草性昆虫,其多样性总体水平较高(Sergeev,1992;1993)。

气候、放牧、人为因素以及虫害造成草原生态系统恶化,其中蝗虫灾害是草原最严重的自然灾害之一(孟庆梅,2010),尤其对于具有广褒草原的内蒙古来说,直接影响着草原生态系统的结构(郭中伟和李鸿昌,2002)。蝗虫作为威胁草原生态系统可持续发展的主要昆虫,在各种类型的草原中均有分布。蝗虫分布与植被类型密切相关(康乐,1995),不同种蝗虫对植物的趋向不同(吴惠惠等,2012)。植被类型不同,生活在其中的蝗虫种类也会不同(黄文广等,2014),因此研究草原上蝗虫的多样性,分析其群落构成及发生数量,将其用来指示地区植物群落或者环境的变化。对昆虫群落进行多样性分析时常使用 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数(尚占环等,2002)。目前,针对

典型草原上昆虫多样性研究主要集中在某一区域内放牧对昆虫群落组成的影响、草原蝗虫生态位及其成灾原因等方面(哈斯巴特尔,2007;秦兴虎等,2015),但未对典型草原昆虫多样性进行系统调查与分析。

本研究以内蒙古锡林郭勒盟典型草原为研究对象,采用Z字形扫网取样法对锡林郭勒盟7个典型草原的昆虫种类和数量进行调查,对这7个典型草原区域的昆虫尤其是主要昆虫蝗虫的群落差异和多样性进行分析,并对蝗虫群落和环境因子进行冗余分析,旨在阐明昆虫群落的演替变化及其相互关系,以期对典型草原害虫监测预警和生态治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区概况:锡林郭勒盟(简称锡盟)位于内蒙古中部($42^{\circ}32' \sim 46^{\circ}41' \text{N}$, $111^{\circ}59' \sim 120^{\circ}00' \text{E}$),全盟海拔800~1400 m,属北半球温带半干旱大陆性气候,平均无霜期100~120 d,年平均气温约2.5 $^{\circ}\text{C}$,气温由西向东逐渐降低(谢锦萍和刘海英,2004;刘亚红等,2021)。根据地理位置及优势种植物的不同,选取典型草原中7个不同区域进行调查,分别为锡林浩特市哈那乌拉嘎查($116^{\circ}15'26'' \text{E}$, $44^{\circ}2'49'' \text{N}$,海拔1050.17 m,植被覆盖度56%)、西乌珠穆沁旗呼格吉勒图嘎查($116^{\circ}55'40'' \text{E}$, $44^{\circ}28'16'' \text{N}$,海拔1014.31 m,植被覆盖度53%)、东乌珠穆沁旗呼热图淖尔苏木($119^{\circ}0'29'' \text{E}$, $45^{\circ}37'59'' \text{N}$,海拔876.32 m,植被覆盖度52%)、阿巴嘎旗乃林浑德($115^{\circ}20'38'' \text{E}$, $43^{\circ}25'15'' \text{N}$,海拔1214.71 m,植被覆盖度55%)、苏

尼特左旗塔拉音滚(113°34'13" E, 43°50'18" N, 海拔 1 002.47 m, 植被覆盖度 42%)、镶黄旗那日图嘎查(113°39'8" E, 42°15'49" N, 海拔 1 081.26 m, 植被覆盖度 49%)、正镶白旗浩来呼都嘎(115°3'31" E, 42°11'23" N, 海拔 1 366.51 m, 植被覆盖度 52%), 调查区域均为中度放牧, 土壤类型均为钙栗土。

试剂及仪器: 试剂均为国产分析纯。捕虫网, 自制, 网兜直径 30 cm, 网深约 80 cm, 网孔直径 1 mm。

1.2 方法

1.2.1 7个典型草原区域昆虫种类与数量的调查

于 2021 年 6 月底至 7 月底对 7 个典型草原区域进行调查, 每个区域选取 1 个样地, 每个样地内随机选取 5 个样点, 每个样点取 10 m×10 m 样方, 采用 Z 字形扫网法调查每个样方内昆虫数量, 每个样方每次扫网 100 次, 将采集的昆虫装入含乙酸乙酯的 500 mL 密封锥形瓶中, 静置 5 min 后取出, 放入试管或棉花包中保存(栗金丽等, 2021)。根据《内蒙古自治区蝗虫地图集》(内蒙古自治区草原工作站, 2018)、《中国昆虫图鉴》(彩万志和李虎, 2015)和《中国百种蝗虫原色图鉴》(张龙, 2019)等对标本种类进行鉴定, 并统计相应数量。

1.2.2 7个典型草原区域昆虫群落多样性分析

利用 Margalef 丰富度指数 D 、Shannon-Wiener 多样性指数 H 和 Pielou 均匀度指数 J 对 7 个典型草原区域的昆虫尤其是草原主要昆虫蝗虫的群落进行多样性分析。 $D=(S-1)/\ln N$, $H=-\sum P_i \ln P_i$, $J=H/\ln S$; 式中 $P_i=n_i/N$, N 为样方中各物种多度指标总和; n_i 为第 i 个种的多度指标; P_i 为第 i 个物种的数量在昆虫群落中所占比例, S 为物种数。

1.2.3 7个典型草原区域昆虫群落差异分析

群落的相异性系数在一定程度上反映了群落物种的时空变化, 可揭示物种多样性形成和维持的机理(蒙洋等, 2017)。因此, 以相异性系数为指标对 7 个典型草原区域的昆虫尤其是主要昆虫蝗虫的群落差异进行分析。相异性系数 $=1-2c/(a+b)$, a 与 b 分别为两个群落各自的物种数, c 为两个群落共有的物种数。相异性系数越大, 说明两个群落差异越大。

1.2.4 蝗虫群落与环境因子的冗余分析

为明确环境因子与草原蝗虫群落之间的关系, 使用 canoco 5.0 软件对环境因子和草原蝗虫多样性指数进行冗余分析。环境因子的直线越长, 说明其与蝗虫多样性指数的相关性越大, 反之越小; 蝗虫多样性指数与环境因子之间的夹角表示相关性, 当蝗虫多样性指数与某个环境因子之间的夹角为锐角

时, 表明两者之间呈正相关关系, 当夹角为钝角, 则表明两者之间呈反相关关系, 即夹角越小, 相关性越大。

1.3 数据分析

采用 SAS 15.0 软件对试验数据进行统计分析, 应用最小显著差数(least significant difference, LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 7个典型草原区域的昆虫多样性

在 7 个典型草原区域中共采集到 9 目 27 科 82 种昆虫, 其中正镶白旗的昆虫种类和数量最多, 分别为 72 种和 793 头, 苏尼特左旗的昆虫种类和数量最少, 分别为 31 种和 219 头。

在 7 个典型草原区域中, 正镶白旗、镶黄旗、阿巴嘎旗、西乌珠穆沁旗和锡林郭勒市的 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均较高, 且这 5 个区域之间差异不显著; 苏尼特左旗的 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均显著最低($P<0.05$), 分别为 5.57、1.37 和 0.40(表 1)。

2.2 7个典型草原区域的昆虫群落相异性

在 7 个典型草原区域中, 苏尼特左旗与镶黄旗的昆虫群落相异性最大, 相异性系数高达 0.68; 正镶白旗与除苏尼特左旗外的其他 5 个典型草原区域的昆虫群落的相异性系数均较低, 介于 0.12~0.41 之间, 且与镶黄旗的昆虫群落相异性系数最低, 为 0.12(表 2), 表明这 2 个区域之间的昆虫群落差异较小。

2.3 7个典型草原区域的蝗虫发生数量

在 7 个典型草原区域内共采集到 6 科 11 属 16 种草原蝗虫, 种类较丰富, 约占所有昆虫种类的 20.00%, 其中亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus*、白边痠蝗 *Bryodemella luctuosum*、红腹牧草蝗 *Omocestus haemorrhoidalis*、黄胫小车蝗 *Oe. infernalis* 和毛足棒角蝗 *Dasyhippus barbipes* 分布广泛, 在 7 个典型草原区域内均有分布; 白纹雏蝗 *Chorthippus albonemus*、黄胫异痠蝗 *Bryodemella holdereri* 和宽翅曲背蝗 *Pararcyptera microptera meridionalis* 次之, 在 6 个典型草原区域内中均有分布(表 3)。亚洲小车蝗作为锡林郭勒盟典型草原蝗虫的优势种, 在所有典型草原区域中的数量均高于其他蝗虫, 而小翅雏蝗 *Chorthippus fallax* 和突颜蝗 *Eotmethis nasutus* 分别只在西乌珠穆沁旗和苏尼特左旗有分布(表 3)。

表1 锡林郭勒盟7个典型草原区域的昆虫多样性

Table 1 Insect diversity in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

区域 Area	种数 Species	昆虫数量 No. of insects	Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
锡林浩特市 Xilinhot City	62	823±52 a	9.09±0.83 ab	2.56±0.21 a	0.62±0.05 a
西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	56	698±51 a	8.40±0.72 ab	2.44±0.13 a	0.61±0.03 a
东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	46	407±37 b	7.49±0.63 b	2.03±0.10 b	0.53±0.02 b
阿巴嘎旗 Abaga Banner	63	732±42 a	9.40±1.09 ab	2.69±0.19 a	0.65±0.03 a
苏尼特左旗 Sonid Left Banner	31	219±26 c	5.57±0.65 c	1.37±0.09 c	0.40±0.02 c
镶黄旗 Bordered Yellow Banner	69	762±46 a	10.25±1.36 a	2.51±0.23 a	0.59±0.03 a
正镶白旗 Plain and Bordered White Banner	72	793±43 a	10.64±1.52 a	2.68±0.27 a	0.63±0.04 a

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经LSD法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by LSD test ($P<0.05$).

表2 锡林郭勒盟7个典型草原区域昆虫群落的相异性系数

Table 2 Community dissimilarity of insect communities in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

区域 Area	西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	阿巴嘎旗 Abaga Banner	苏尼特左旗 Sonid Left Banner	镶黄旗 Bordered Yel- low Banner	正镶白旗 Plain and Bordered White Banner
锡林浩特市 Xilinhot City	0.31	0.44	0.25	0.59	0.25	0.22
西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	—	0.45	0.28	0.61	0.25	0.20
东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	—	—	0.42	0.64	0.43	0.41
阿巴嘎旗 Abaga Banner	—	—	—	0.64	0.22	0.20
苏尼特左旗 Sonid Left Banner	—	—	—	—	0.68	0.67
镶黄旗 Bordered Yellow Banner	—	—	—	—	—	0.12

表3 锡林郭勒盟7个典型草原区域的蝗虫发生数量

Table 3 Grasshopper densities in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

种类 Species	锡林浩特市 Xilinhot City	西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	阿巴嘎旗 Abaga Banner	苏尼特左旗 Sonid Left Banner	镶黄旗 Bordered Yellow Banner	正镶白旗 Plain and Bordered White Banner
亚洲小车蝗 <i>Oedaleus asiaticus</i>	12.2±3.1 a	10.6±2.6 ab	6.6±2.3 b	11.2±3.4 ab	2.2±0.2 c	13.8±3.1 a	9.6±2.3 ab
白边痠蝗 <i>Bryodema luctuosum</i>	3.4±1.2 a	1.4±0.3 bc	1.2±0.3 bc	2.0±0.6 a	1.2±0.2 c	2.2±0.7 a	1.8±0.3 b
红腹牧草蝗 <i>Omocetus haemorrhoidalis</i>	3.2±0.9 ab	2.4±0.5 bc	3.6±1.1 ab	2.0±0.4 c	1.2±0.1 d	2.8±0.5 bc	4.8±1.5 a
黄胫小车蝗 <i>Oe. infernalis</i>	2.6±0.6 ab	3.8±1.2 a	2.4±0.8 bc	4.2±1.3 a	1.6±0.4 c	3.8±0.9 a	4.2±1.7 a
毛足棒角蝗 <i>Dasyhippus barbipes</i>	2.2±0.5 b	1.6±0.4 bc	4.2±1.3 a	2.0±0.5 b	1.2±0.3 c	2.0±0.4 b	1.2±0.2 c
黄胫异痠蝗 <i>Bryodemella holdereri</i>	3.0±1.1 a	2.4±0.7 ab	1.2±0.4 c	2.2±0.4 ab	—	1.8±0.3 b	1.6±0.5 bc
宽翅曲背蝗 <i>Paracryptera microptera meridionalis</i>	2.0±0.4 bc	4.2±1.4 a	1.4±0.6 c	3.0±0.8 ab	—	3.2±0.6 a	1.8±0.5 c

续表3 Continued

种类 Species	锡林浩特市 Xilinhot City	西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	阿巴嘎旗 Abaga Banner	苏尼特左旗 Sonid Left Banner	镶黄旗 Bordered Yellow Banner	正镶白旗 Plain and Bor- dered White Banner
白纹雏蝗 <i>Chorthippus albonemus</i>	4.0±1.5 a	4.2±1.1 a	2.8±0.9 ab	3.2±1.1 a	—	2.0±0.5 b	2.6±0.7 b
短星翅蝗 <i>Calliptamus abbreviatus</i>	3.6±1.3 a	—	1.2±0.2 b	2.4±0.7 a	—	2.4±0.4 a	3.2±0.8 a
宽须蚁蝗 <i>Myrmeleotettix palpalis</i>	3.0±1.3 a	—	—	2.4±0.6 ab	—	3.2±1.1 a	2.0±0.4 b
鼓翅皱膝蝗 <i>Angaracris barabensis</i>	2.4±0.7 a	—	—	1.2±0.2 b	2.0±0.5 a	1.2±0.2 b	1.6±0.3 ab
红翅皱膝蝗 <i>An. rhodopa</i>	2.0±0.5 ab	1.6±0.3 bc	—	2.8±0.6 a	—	1.0±0.2 c	1.4±0.4 c
华北雏蝗 <i>Chorthippus brunneus</i> <i>huabeiensis</i>	2.0±0.6 b	3.2±0.9 a	1.4±0.3 c	—	—	2.4±0.7 ab	3.8±1.3 a
中华剑角蝗 <i>Acrida cinerea</i>	0.6±0.1 b	—	—	—	1.2±0.3 a	0.8±0.1 ab	—
小翅雏蝗 <i>Chorthippus fallax</i>	—	1.4±0.3 bc	—	—	—	—	—
突颜蝗 <i>Eotmethis nasutus</i>	—	—	—	—	5.2±1.2 e	—	—

表中数据为平均数±标准误。同行数据后不同小写字母表示经LSD法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by LSD test ($P<0.05$).

2.4 7个典型草原区域的蝗虫多样性分析

在7个典型草原区域中,镶黄旗和锡林浩特市的蝗虫种数最多,均为14种,蝗虫Margalef丰富度指数分别为3.46和3.40,而苏尼特左旗的蝗虫种数最低,为8种,蝗虫Margalef丰富度指数和Shannon-Wiener多样性指数也均最低,分别为2.53和1.03,显著低于其他大部分区域($P<0.05$),其蝗虫数量也最

低,为15.8头(表4)。在7个典型草原区域中,锡林浩特市、镶黄旗、阿巴嘎旗、正镶白旗和西乌珠穆沁旗的蝗虫Shannon-Wiener多样性指数均较大,五者之间差异不显著,但均显著高于苏尼特左旗的蝗虫Shannon-Wiener多样性指数($P<0.05$,表4)。7个典型草原区域的蝗虫Pielou均匀度指数介于0.50~0.65之间,且七者之间差异不显著(表4)。

表4 锡林郭勒盟7个典型草原区域的蝗虫数量、所占比例和多样性

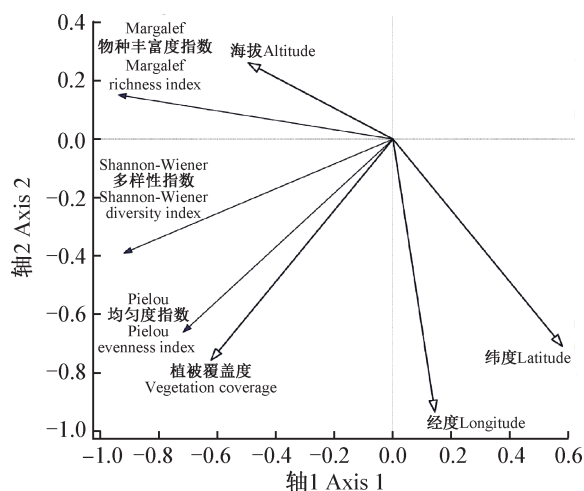
Table 4 Density, percentage and diversity index of grasshoppers in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

区域 Area	种数 Species	蝗虫数量 No. of grasshoppers	Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
锡林浩特市 Xilinhot City	14	46.2±3.2 a	3.40±0.43 a	1.69±0.14 a	0.64±0.08 a
镶黄旗 Bordered Yellow	14	42.6±4.1 ab	3.46±0.29 a	1.64±0.16 a	0.62±0.04 a
正镶白旗 Plain and Bordered White Banner	13	39.6±3.5 ab	3.26±0.33 ab	1.57±0.08 ab	0.61±0.06 a
阿巴嘎旗 Abaga Banner	12	38.6±2.8 bc	3.01±0.31 ab	1.62±0.09 a	0.65±0.06 a
西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	11	36.8±3.7 c	2.77±0.36 b	1.52±0.13 ab	0.63±0.05 a
东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	10	26.0±3.1 d	2.70±0.28 bc	1.45±0.06 b	0.63±0.06 a
苏尼特左旗 Sonid Left Banner	8	15.8±3.2 e	2.53±0.23 c	1.03±0.11 c	0.50±0.03 a

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经LSD法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by LSD test ($P<0.05$).

2.5 7个典型草原区域蝗虫与环境因子的冗余分析

在7个典型草原区域,植被覆盖度和海拔对蝗虫 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数有正影响(图1),其贡献率分别为40.0%和15.8%(表5),其中植被覆盖度对蝗虫群落的影响较大,表明植被覆盖度越高,草原蝗虫的物种丰富度与多样性也越高。



空心箭头表示环境因子,实心箭头表示多样性指数。

The hollow arrows indicate the environmental factors, the solid arrows indicate the diversity index.

图1 锡林郭勒盟7个典型草原区域草原蝗虫群落多样性指数与环境因子的冗余分析

Fig. 1 Redundancy analysis of grasshopper community diversity index and environmental factors in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

表5 锡林郭勒盟7个典型草原区域环境因子对草原蝗虫群落的贡献率

Table 5 Contribution rates of environmental factors in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

环境因子 Environmental factor	贡献率 Contribution rate/%	F	P
植被覆盖度 Vegetation coverage	40.0	3.0	0.114
经度 Longitude	0.8	0.2	0.704
纬度 Latitude	43.4	7.2	0.066
海拔 Altitude	15.8	5.7	0.068

2.6 7个典型草原区域的蝗虫群落相异性

在7个典型草原区域中,苏尼特左旗与西乌珠穆沁旗的蝗虫群落相异性最大,相异性系数为0.47;锡林浩特市与镶黄旗的蝗虫群落相异性最小,相异性系数为0,两个典型草原区域的蝗虫种类完全一致,仅在发生数量上有差异,但差异不显著(表3和

表4);锡林浩特市与其他5个典型草原区域的蝗虫群落相异性也较低,相异性系数介于0.04~0.20之间(表6),表明锡林浩特市的典型草原基本包含了锡林郭勒盟的大多数蝗虫群落。

3 讨论

物种多样性不是受某个因子单独影响,而是各种因素相互作用的结果(Gaston,2000),不同区域内影响物种多样性的环境因子也不同(王源等,2020)。植食性昆虫多样性与植物物种多样性、植物结构多样性、不同植被斑块的出现和植物生产力呈正相关(Huntly,1991;Waide et al.,1999),因此蝗虫作为草原植食性昆虫优势种,是昆虫生物群落结构研究的重要对象之一(Sergeev,2021)。本研究通过对典型草原蝗虫多样性调查发现,在7个典型草原区域中,锡林浩特市植被覆盖度最高,阿巴嘎旗次之,苏尼特左旗最低;而在昆虫多样性上,阿巴嘎旗最高,苏尼特左旗最低,这与植被覆盖度的变化相似,即植物覆盖度越高的地区,草原蝗虫的物种丰富度及多样性也同样越高;亚洲小车蝗为锡林郭勒盟典型草原优势种,其数量均明显高于其他种,也是内蒙古典型草原上为害最严重的蝗虫种类之一。亚洲小车蝗对禾本科植物选择性较强(黄文广等,2014),而禾本科植物是粮食和饲料的主要来源,因此对典型草原昆虫多样的调查可为蝗虫适生区的划分提供参考,进而为亚洲小车蝗防治提供依据。

蝗虫作为威胁草原生态系统可持续发展的主要昆虫,在各种类型的草原中均有分布。蝗虫分布与植被类型密切相关(康乐,1995),植被类型不同,生活在其中的蝗虫种类也会不同,所以不同草原类型分布的蝗虫也差异较大(黄文广等,2014)。宽须蚁蝗 *Myrmeleotettix palpalis* 和狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* 为高寒草甸草原的优势种蝗虫,其发生密度与植物覆盖度呈正相关(胡靖等,2021)。本研究结果显示,在7个典型草原区域内宽须蚁蝗种群数量较低,未发现狭翅雏蝗。在温性草原区内,蝗虫优势种为小翅雏蝗,其密度与植物群落覆盖度呈负相关关系(胡靖等,2021),本研究仅在西乌珠穆沁旗内发现少量小翅雏蝗。林丽(2017)调查发现温性草原以草沙蚕 *Tripogon bromoides*、高山嵩草 *Kobresia pygmaea* 和黑褐穗薹草 *Carex atrofusoides* 为主(吴姣姣等,2022),高寒草甸以小嵩草 *Kobresia humilis*、矮生嵩草 *Kobresia humilis* 和伴生黄花棘豆 *Oxytropis ochrocephala* 为主,典型草原以克氏针茅、羊草和糙

隐子草 *Cleistogenes squarrosa* 为主,不同植物群落、土壤类型等适宜不同的蝗虫生存,因此蝗虫多样性可作为区域的一个标志性特征,用来指示该地区植物群落或者环境的变化。

表 6 锡林郭勒盟 7 个典型草原区域蝗虫群落的相关性系数
Table 6 Community dissimilarity of grasshopper communities in seven typical grassland regions in Xilin Gol League

区域 Area	西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	阿巴嘎旗 Abaga Banner	苏尼特左旗 Sonid Left Banner	镶黄旗 Bordered Yellow Banner	正镶白旗 Plain and Bordered White Banner
锡林浩特市 Xilinhot City	0.20	0.17	0.08	0.36	0.00	0.04
西乌珠穆沁旗 West Ujimqin Banner	—	0.14	0.04	0.47	0.20	0.17
东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	—	—	0.18	0.44	0.17	0.13
阿巴嘎旗 Abaga Banner	—	—	—	0.40	0.08	0.04
苏尼特左旗 Sonid Left Banner	—	—	—	—	0.36	0.43
镶黄旗 Bordered Yellow Banner	—	—	—	—	—	0.04

本研究结果表明同类型草原位置不同,其植被覆盖度、植被种类也不同,这会导致昆虫群落多样性不同,蝗虫作为锡林郭勒盟典型草原优势种害虫之一,环境变化对其群落构成也会产生较大影响。对草原昆虫特别是蝗虫多样性的研究,不仅可维护昆虫多样性,确定具有作为环境健康指标潜力的昆虫,还为蝗虫的暴发和迁移预测提供理论依据。将蝗虫作为典型草原生态环境变化的指示物种能快速反应生态系统的变化。但本研究仅进行 1 年数据的采集,后续需进行长期监测,以期草原生态系统的保护和可持续发展提供理论依据。

参 考 文 献 (References)

Cai WZ, Li H. 2015. Illustration of insects in China. Taiyuan: Shanxi Scientific & Technical Publishers, pp. 1–320 (in Chinese) [彩万志, 李虎. 2015. 中国昆虫图鉴. 太原: 山西科学技术出版社, pp. 1–320]

Gaston KJ. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783): 220–227

Grassland Workstation of Inner Mongolia Autonomous Region. 2018. Atlas of grasshoppers from Inner Mongolia Autonomous Region. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [内蒙古自治区草原工作站. 2018. 内蒙古自治区蝗虫地图集. 北京: 中国农业出版社]

Guo ZW, Li HC. 2002. Some scientific problems for the relationship between locust diversity and the sustainable development of grassland ecosystems. *Entomological Knowledge*, 39(6): 401–405 (in Chinese) [郭中伟, 李鸿昌. 2002. 关于蝗虫多样性与草原生态系统可持续发展的若干科学问题. *昆虫知识*, 39(6): 401–405]

Hasibater, Gao W, Si Q, Zhang P. 2007. Causes and control counter-measures of grassland locusts in Inner Mongolia. *Grassland and*

Prataculture, 19(4): 52–55 (in Chinese) [哈斯巴特尔, 高娃, 斯琴, 张鹏. 2007. 内蒙古草原蝗虫成灾原因与防治对策. *内蒙古草业*, 19(4): 52–55]

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]

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

Huntly N. 1991. Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22: 477–503

Kang L. 1995. Grasshopper-plant interactions under different grazing intensities in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 15(1): 1–11 (in Chinese) [康乐. 1995. 放牧干扰下的蝗虫-植物相互作用关系. *生态学报*, 15(1): 1–11]

Kang L. 1998. Study on grassland locust ecology. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 13(3): 204–206 (in Chinese) [康乐. 1998. 草原蝗虫生态学研究. *中国科学院院刊*, 13(3): 204–206]

Li JL, Zhou GN, Gao M, Pan F, Gao LJ. 2021. Community structure and diversity of grasshoppers in different grassland types of Hongsongwa grasslands in Bashang, Hebei. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 195–201 (in Chinese) [栗金丽, 周国娜, 高明, 潘凡, 高立杰. 2021. 河北省坝上红松洼草原蝗虫群落结构与多样性调查. *植物保护学报*, 48(1): 195–201]

Lin L. 2017. Response and adaptation of plant-soil system of alpine meadows in different successional states to grazing intensity. PhD thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University (in Chinese) [林丽. 2017. 高寒草甸不同演替状态下植物、土壤对放

- 牧强度的响应与适应. 博士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学]
- Liu YH, Shi L, Chang H, Xie Y, Wei L, Sun HL, Zhai X. 2021. Analysis of driving factors that influence the pattern and quality of the ecosystem in Xilingol League. *Acta Prataculturae Sinica*, 30(12): 17–26 (in Chinese) [刘亚红, 石磊, 常虹, 谢宇, 维拉, 孙海莲, 翟琇. 2021. 锡林郭勒盟生态系统格局演变及驱动因素分析. 草业学报, 30(12): 17–26]
- Lou PQ, Fu BL, Liu HX, Gao ET, Fan DL, Tang TY, Lin XC. 2019. Dynamic evaluation of grassland ecosystem services in Xilingol League. *Acta Ecologica Sinica*, 39(11): 3837–3849 (in Chinese) [娄佩卿, 付波霖, 刘海新, 高二涛, 范冬林, 唐廷元, 林星辰. 2019. 锡林郭勒盟草地生态系统服务功能价值动态估算. 生态学报, 39(11): 3837–3849]
- Meng QM. 2010. Occurrence regularity and early warning monitoring of locusts in Ulanhot City. *Inner Mongolia Prataculture*, 22(1): 10–11 (in Chinese) [孟庆梅. 2010. 乌兰浩特市蝗虫发生规律及预警监测. 内蒙古草业, 22(1): 10–11]
- Meng Y, Qiu Y, Zhang L, Wang CL, Zang ZH, Zhang XY, Shen GZ, Yan CF, Chen QS. 2017. Effects of geographical distance and differences in climate and altitude on species dissimilarity of vascular plant communities in the Dulongjiang River Watershed Area. *Biodiversity Science*, 25(12): 1313–1320 (in Chinese) [蒙洋, 邱月, 张亮, 王翠玲, 臧振华, 张学耀, 申国珍, 闫彩凤, 陈全胜. 2017. 地理距离、海拔和气候差异对独龙江流域维管植物群落物种空间相异性的影响. 生物多样性, 25(12): 1313–1320]
- 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. 1992. Distribution patterns of *Orthoptera* in North and Central Asia. *Journal of Orthoptera Research*, (1): 14
- Sergeev MG. 1993. The general distribution of *Orthoptera* in the main zoogeographical regions of North and Central Asia. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 36(1): 53–76
- Sergeev MG. 2021. Distribution patterns of grasshoppers and their kin over the Eurasian steppes. *Insects*, 12(1): 77
- Shang ZH, Yao AX, Guo XS. 2002. Evaluation and review on measurement methods of biodiversity at home and abroad. *Journal of Ningxia Agricultural College*, 23(3): 68–73 (in Chinese) [尚占环, 姚爱兴, 郭旭生. 2002. 国内外生物多样性测度方法的评价与综述. 宁夏农学院学报, 23(3): 68–73]
- Waide RB, Willig MR, Steiner CF, Mittelbach G, Gough L, Dodson SI, Juday GP, Parmenter R. 1999. The relationship between productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30: 257–300
- Wang Y, Shi XF, Yang GJ, Jia L. 2020. Distribution patterns and its environmental associations of beetle species diversity in Ningxia in Northwest China. *Chinese Journal of Ecology*, 39(11): 3738–3747 (in Chinese) [王源, 时项锋, 杨贵军, 贾龙. 2020. 宁夏甲虫物种多样性分布格局及其与环境因子的关系. 生态学杂志, 39(11): 3738–3747]
- Wu HH, Xu YH, Cao GC, Gexigeduren, Liu ZY, He B, Erendengbatu, Wang GJ, Zhang ZH. 2012. Ecological effects of typical grassland types in Inner Mongolia on grasshopper community. *Scientia Agricultura Sinica*, 45(20): 4178–4186 (in Chinese) [吴惠惠, 徐云虎, 曹广春, 格希格都仁, 刘朝阳, 贺兵, 额尔登巴图, 王广君, 张泽华. 2012. 内蒙古典型草原草地类型对蝗虫群落优势种群的生态效应. 中国农业科学, 45(20): 4178–4186]
- Wu JJ, Xiang MX, La D, Wu JX. 2022. Analysis of niche and interspecific association of dominant plant species of temperate grassland under different grazing intensities in Lhasa River valley. *Acta Agrestia Sinica*, 30(3): 513–522 (in Chinese) [吴姣姣, 向明学, 拉多, 武俊喜. 2022. 不同放牧强度对拉萨河谷温性草原主要植物生态位及种间联结的影响. 草地学报, 30(3): 513–522]
- Wu MY. 2015. Study on the dynamics of three *Stipa* communities in Xilin Gol League grassland of Inner Mongolia. Master thesis. Hohhot: Inner Mongolia University (in Chinese) [吴明殷. 2015. 内蒙古锡林郭勒盟草原区三种针茅群落动态研究. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古大学]
- Xie JP, Liu HY. 2004. On the causes of grassland ecological environment deterioration in Xilin Gol League and its control countermeasures. *Inner Mongolia Water Resources*, (4): 78–79 (in Chinese) [谢锦萍, 刘海英. 2004. 浅谈锡林郭勒盟草原生态环境恶化的原因及防治对策. 内蒙古水利, (4): 78–79]
- Zhai XJ, Huang D, Wang K. 2015. Effects of fencing and grazing on vegetation and soil in typical grassland. *Chinese Journal of Grassland*, 37(6): 73–78 (in Chinese) [翟夏杰, 黄顶, 王堃. 2015. 围封与放牧对典型草原植被和土壤的影响. 中国草地学报, 37(6): 73–78]
- Zhang L. 2019. A guide to 100 species of grasshoppers in China. Beijing: China Agricultural University Press (in Chinese) [张龙. 2019. 中国百种蝗虫原色图鉴. 北京: 中国农业大学出版社]
- Zhang LY, Liu AJ, Xing Q, Liu DF, Gao W. 2006. Trend and analysis of vegetation variation of typical rangeland in Inner Mongolia: a case study of typical rangeland of Xilinguole. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 20(2): 185–190 (in Chinese) [张连义, 刘爱军, 邢旗, 刘德福, 高娃. 2006. 内蒙古典型草原区植被动态与植被恢复——以锡林郭勒盟典型草原区为例. 干旱区资源与环境, 20(2): 185–190]

(责任编辑: 张俊芳)