

河北省坝上红松洼草原蝗虫群落结构与多样性调查

栗金丽 周国娜 高明 潘凡 高立杰*

(河北农业大学, 保定 071000)

摘要: 为明确不同分区治理下河北省坝上红松洼草原生态环境对蝗虫群落多样性的影响, 采用样方法于2019—2020年在不同草原类型和不同功能分区对蝗虫群落进行调查, 通过丰富度、个体数、多样性指数以及均匀度指数分析蝗虫的多样性, 并对不同生态因子和蝗虫多样性指标进行相关性分析。结果表明: 该地区蝗虫发生种类共有5科8亚科14属25种, 其中优势种是异色雏蝗 *Chorthippus biguttulus* 和北方雏蝗 *Chorthippus hammarstroemi*。在不同草原类型中, 杂草草甸和苔草 *Carex* 草甸的蝗虫群落各指标之间均无显著差异, 沼柳 *Salix rosmarinifolia* var. *brachypoda* 灌木丛草甸的蝗虫多样性指数为0.60, 均匀度指数为0.57, 均显著低于杂草草甸和苔草草甸。在不同功能分区中, 试验区蝗虫群落的丰富度和多样性指数分别为5.17和1.33, 显著高于核心区的3.33和0.85, 试验区蝗虫个体数为111.50, 显著高于核心区的44.73及缓冲区的45.67; 缓冲区蝗虫群落均匀度指数为0.69, 显著低于核心区的0.84及试验区的0.90。植物群落对蝗虫群落有显著影响, 随着植物群落物种数和个体数的增加, 蝗虫群落部分指标出现降低, 蝗虫群落的多样性和均匀度则显著升高, 使蝗虫群落结构更加稳定; 海拔对蝗虫群落结构及其多样性也有显著影响, 温度和土壤对蝗虫群落结构无显著影响。

关键词: 蝗虫; 群落; 多样性; 草原类型; 红松洼; 功能分区; 生态因子

Community structure and diversity of grasshoppers in different grassland types of Hongsongwa grasslands in Bashang, Hebei

Li Jinli Zhou Guona Gao Ming Pan Fan Gao Lijie*

(Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: To clarify the influences of ecological environment on the diversity of grasshopper communities in the Hongsongwa grasslands of Bashang, Hebei Province under different functional zones, the quadrat sampling method was used to investigate the grasshopper communities in different grassland types and different functional zones from 2019 to 2020. The richness, number of individuals, diversity index and evenness index of grasshoppers were analyzed, and the correlation between different ecological factors and grasshopper diversity index were analyzed. The results showed that there were five families, eight subfamilies, 14 genera and 25 species of grasshoppers in these zones, among which the dominant species were *Chorthippus biguttulus* and *Chorthippus hammarstroemi*. There was no significant difference in the indices of grasshopper communities between weed meadow and *Carex* meadow among different grassland types. The diversity index and evenness index of grasshopper communities were 0.60 and 0.57, both of which were significantly lower than those of weed meadow and *Carex* meadow. The ecological environment of Hongsongwa grassland in Bashang, Hebei Province should be controlled by different zones. The richness and diversity indices of the grasshopper community in the experimental

基金项目: 国家林业和草原局行业科技重大项目(LCZD202008)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: gaolijie1975@163.com

收稿日期: 2020-12-31

areas were 5.17 and 1.33, respectively, significantly higher than those in the core area (3.33 and 0.85). The number of grasshopper individuals in the experimental areas was 111.50, significantly higher than those in the core area (44.73) and the buffer area (45.67). The evenness index of the grasshopper community in the buffer area was 0.69, which was significantly lower than those in the core area (0.84) and the experimental area (0.90). Among the ecological factors, the plant community had a significant effect on the grasshopper community. With the increase of the numbers of species and individuals in the plant community, some indicators of the grasshopper community decreased, while the diversity and evenness of the grasshopper community increased significantly, which made the community structure more stable. Altitude had significant effects on the community structure and diversity of grasshoppers, while temperature and soil had no significant effects on the community structure of grasshoppers.

Key words: grasshopper; community; diversity; prairie type; Hongsongwa; functional zone; ecological factor

我国草原资源丰富,拥有近4亿 hm^2 草原,是我国面积最大的陆地生态系统,也是我国畜牧业发展的坚强后盾(洪军等,2014)。近年来随着全球气候变暖,生态环境也受到了不同程度的影响,草原蝗虫数量持续增长,2020年蝗灾的暴发更加引起了我国对蝗虫发生动态监测的高度重视(于红妍和石旺鹏,2020)。蝗虫属于陆栖、植食性生物,是草原生态系统的重要组成部分,同时也是世界农、林、牧业生产中的一类重要害虫(柳小妮等,2007)。有些蝗虫在生态系统对能量的转换是同一地区的鸟或者哺乳动物的5~10倍(Michael, 1993)。因此,蝗虫在草原生态系统稳定性以及功能发挥上起着重要作用。

蝗虫在自然生态系统中是一个相对较大的类群,在生物群落结构方面是重要的研究对象之一。蝗虫群落的多样性主要受植物群落及环境因子的影响(王源等,2020)。在草原生态系统中,土壤理化性质、海拔和微气候等的差异会造成草原植被类型的不同,进而影响蝗虫群落的多样性(李家玉,2018)。草原上人类的放牧、开垦等活动也会明显改变草原的植被类型及土壤的理化性质,从而影响到蝗虫群落结构及多样性(董鑫,2020)。蝗虫群落结构及多样性的变化能够体现植物群落的变化趋势,因此关于蝗虫群落结构及其多样性的研究对生态环境变迁和生态恢复工作评估具有重要意义。

红松洼草原地处河北省最北部,位于蒙古高原东南缘,是大兴安岭南端余脉与燕山山脉北端汇合结节处,属塞罕坝东段,是不同自然地理区域的过渡地带,草原植被具有不同自然气候地带的典型代表性,蝗虫在不同气候地带的分布及群落结构有所不同,因此开展对不同生境下蝗虫的研究更具有代表性。本研究对河北省坝上红松洼草原不同生境的蝗

虫群落进行调查,明确不同生境下蝗虫的分布、群落结构及其多样性,以期为该地区草原蝗虫的发生动态、预测预报及防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区概况:研究地点位于河北省围场满族蒙古族自治县红松洼国家级自然保护区,以亚高山草甸草原为主要保护对象,面积约1.33万 hm^2 ,是北方较大的草原风景区,是河北省坝上草原的主要组成部分。该地区属于寒温带季风气候。年平均温度0~3℃,年蒸发量1557 mm,年降水量453 mm,成土母质为玄武风化的残坡积物。

药剂和仪器:硫酸,山东振兴化工有限公司;盐酸,德山化工有限公司;重铬酸钾,天津市安吉瑞化工有限公司;HL-PW捕虫网,北京合力科创科技发展有限公司;FM-TS地温计,河北飞梦电子科技有限公司;Kestrel 4300手持风速仪,南通沃特环保科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 不同草原类型对蝗虫群落的影响调查

采用样方法在红松洼不同草原类型区对蝗虫进行调查,主要包括杂草草甸(优势种是地榆 *Sanguisorba officinalis* 和裂叶蒿 *Artemisia tanacetifolia*)、苔草 *Carex* 草甸、沼柳 *Salix rosmarinifolia* var. *brachypoda* 灌木丛草甸,每个类型设置3个样地,即3次重复,每个样地面积约为1 hm^2 ,共9块样地,采用五点取样法在每个样地随机选取5个样方,样方面积为1 m×1 m。在每个样方用直径35 cm的捕虫网贴近草面随机扫100网,在扫网过程中遇见一些因惊吓飞走的蝗虫采用目测法加以辅助计量,然后将采集到的蝗虫迅速转移到毒瓶,处死后转移到贴有标签

的塑料袋中,带回实验室进行鉴别和计数。并通过数量等级划分来确定优势种,当个体数量占群落个体数的比例 $\geq 10\%$ 时为优势种,当 $1\% \leq$ 个体数量占群落个体数的比例 $< 10\%$ 时为常见种,当个体数量占群落个体数的比例 $< 1\%$ 为稀有种(秦伟春等, 2018)。同时计算蝗虫群落多样性指标,其中物种丰富度利用物种数 S 来表示;多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数 H' 来表征, $H' = -\sum P_i \ln P_i$, P_i 为第 i 个个体数占群落总个体数的比例;均匀度指数采用 Pielou 均匀度指数 J 来表征, $J = H'/\ln S$ 。

1.2.2 不同功能分区对蝗虫群落的影响调查

本试验在红松洼草原设置了不同功能分区,包括核心区、缓冲区和试验区。核心区是具有代表性且保存完整的草原生态系统;缓冲区位于核心区周围,是与核心区草原生态系统类型基本一致的过渡区域;试验区设置在缓冲区外围,可从事科学试验、教学实习、参观考察、旅游等活动。每个功能分区设置3个样地,即3次重复,每个样地面积约 1 hm^2 ,共9块样地,采用五点取样法在每个样地随机选取5个样方,样方面积为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 。蝗虫群落的调查统计方法及多样性指标计算公式同1.2.2。

1.2.3 不同生态因子与蝗虫群落多样性的相关性分析

本研究中生态因子的调查主要包括植物、土壤和海拔,在不同草原类型设置的9个样地的45个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方进行样品采集。其中,植物调查指标包括种类、个体数和群落特征参数(物种多样性指数和均匀度指数)。在上述每个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方中设置2个固定的 $0.2 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 小样方,将小样方中所有植物收集起来,带回实验室统计植物种类和个体数,并采用

1.2.1 公式计算物种多样性指数和均匀度指数。土壤调查时在每个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方中钻取 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 深的土壤,装袋带回实验室参考《土壤农化分析》(鲍士旦, 2000)测定土壤理化性质,其中,pH采用 $2.5:1.0$ 的水土比,用电位计法测定,有机质含量采用硫酸重铬酸钾氧化为容量法测定,碳酸钙含量采用气量法测定,速效氮含量采用凯式定氮仪测定,速效磷含量采用盐酸-硫酸浸提法测定,速效钾含量采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定,土壤紧实度采用圆锥指数法测定,土壤容重是单位体积自然状态土体(含粒间孔隙)的质量。同时,利用手持风速仪在同一时间对不同样地测定海拔和气温;地温采用地温计测量,插入深度根据植被类型和根系发达程度确定,一般深入地下 20 cm 测量地温。利用 SPSS 20.0 软件采用 Pearson 相关分析法对上述不同生态因子与1.2.1和1.2.2中所得蝗虫群落多样性指标进行相关性分析。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 20.0 软件对试验数据进行单因素方差分析,应用最小显著差数(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 红松洼草原蝗虫种类

对不同草原类型和不同功能分区采集到的所有标本进行整理、鉴定和统计,共采集到2 042头标本,分属5科8亚科14属25种。其中优势种为网翅蝗科的异色雏蝗 *Chorthippus biguttulus* 和北方雏蝗 *Chorthippus hammarstroemi*,分别采集到911头和392头,占采集总数的44.61%和19.20%(表1)。

表1 河北省坝上红松洼草原蝗虫群落的组成

Table 1 Composition of grasshopper community in Hongsongwa grasslands in Bashang of Hebei Province

科 Family	种 Species	总数 Total	百分比 Percentage/%
斑翅蝗科 Oedipodidae	红翅皱膝蝗 <i>Angaracris rhodopa</i>	2	0.10
	黄胫小车蝗 <i>Oedaleus infernalis</i>	38	1.86
	亚洲小车蝗 <i>Oedaleus asiaticus</i>	2	0.10
	沼泽蝗 <i>Mecostethus grossus</i>	8	0.39
斑腿蝗科 Catantopidae	大斑外腿蝗 <i>Xenocatantops humilis</i>	4	0.20
	短角斑外腿蝗 <i>Xenocatantops brachycerus</i>	11	0.54
	短星翅蝗 <i>Calliptamus abbreviatus</i>	1	0.05
	黑腿星翅蝗 <i>Calliptamus barbarus</i>	6	0.29
	中华盗蝗 <i>Oxya chinensis</i>	10	0.49
槌角蝗科 Comphoceridae	宽须蚁蝗 <i>Myrmeleotettix palpalis</i>	70	3.43
	李氏大足蝗 <i>Aeropus licenti</i>	148	7.25
	毛足棒角蝗 <i>Dasyhippus barbipes</i>	19	0.93
	长翅蚁蝗 <i>Myrmeleotettix longipennis</i>	2	0.10

续表 1 Continued

科 Family	种 Species	总数 Total	百分比 Percentage/%
剑角蝗科 Acrididae	条纹鸣蝗 <i>Mongolotettix vittatus</i>	4	0.20
网翅蝗科 Arcypteridae	白边雏蝗 <i>Chorthippus albomarginatus</i>	4	0.20
	白纹雏蝗 <i>Chorthippus albonemus</i>	173	8.47
	北方雏蝗 <i>Chorthippus hammarstroemi</i>	392	19.20
	东方雏蝗 <i>Chorthippus intermedius</i>	62	3.03
	短翅雏蝗 <i>Chorthippus brevipterus</i>	5	0.24
	褐色雏蝗 <i>Chorthippus brunneus</i>	34	1.67
	黑膝异爪蝗 <i>Euchorthippus fusigeniculatus</i>	14	0.68
	宽翅曲背蝗 <i>Pararcyptera microptera meridionalis</i>	12	0.59
	条纹异爪蝗 <i>Euchorthippus vittatus</i>	6	0.29
	异色雏蝗 <i>Chorthippus biguttulus</i>	911	44.61
	小翅雏蝗 <i>Chorthippus fallax</i>	104	5.09
总计 Total		2 042	100.00

2.2 不同草原类型对蝗虫群落的影响

杂草草甸、苔草草甸和沼柳灌木丛草甸蝗虫群落的物种丰富度平均分别为 4.30、4.20 和 3.00,三者之间无显著差异,表明不同草原类型对蝗虫群落的物种丰富度无显著影响。苔草草甸中蝗虫个体数最多,沼柳灌木丛草甸次之,杂草草甸中蝗虫个体数最少,平均分别为 66.87、55.90 和 46.20,三者之间无显著差异,表明不同草原类型对蝗虫个体数无显著影

响。杂草草甸和苔草草甸的蝗虫群落多样性指数平均分别为 1.01 和 1.12,两者均显著高于沼柳灌木丛草甸的蝗虫群落多样性指数 0.60,表明不同草原类型对蝗虫群落多样性指数有显著影响。杂草草甸和苔草草甸的蝗虫群落均匀度指数平均分别为 0.83 和 0.89,两者均显著高于沼柳灌木丛草甸的蝗虫群落均匀度指数 0.57(表 2),表明不同草原类型对蝗虫群落均匀度指数有显著影响。

表 2 红松洼不同草原类型对蝗虫群落结构及多样性的影响

Table 2 Effects of different grassland types on the community structure and diversity of grasshoppers in Hongsongwa grasslands

草原类型 Style of prairie	物种丰富度 Species richness	个体数 No. of individuals	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index
杂草草甸 Weed meadow	4.30±0.65 a	46.20±8.71 a	1.01±0.18 a	0.83±0.03 a
苔草草甸 <i>Carex</i> meadow	4.20±0.55 a	66.87±17.13 a	1.12±0.12 a	0.89±0.02 a
沼柳灌木丛草甸 Marsh willow shrub meadow	3.00±0.58 a	55.90±13.65 a	0.60±0.16 b	0.57±0.08 b

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

2.3 不同功能分区对蝗虫群落的影响

草原不同功能分区对蝗虫群落的物种丰富度、个体数、多样性指数和均匀度指数均有显著影响,其中试验区的各指标均为最高,物种丰富度、个体数、多样性指数和均匀度指数平均分别为 5.17、111.50、

1.33 和 0.90,显著高于缓冲区除蝗虫群落物种丰富度(3.67)外的其他指标(45.67、0.82 和 0.69),也显著高于核心区除均匀度指数(0.84)外的其他指标(3.33、44.73、0.85);核心区和缓冲区之间的各指标均无显著差异(表 3)。

表 3 红松洼草原不同功能分区对蝗虫群落结构及多样性的影响

Table 3 Effects of different functional zones on the community structure and diversity of grasshoppers in Hongsongwa grasslands

功能分区 Functional zone	物种丰富度 Species richness	个体数 No. of individuals	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index
核心区 The core zone	3.33±0.49 b	44.73±8.85 b	0.85±0.14 b	0.84±0.05 ab
缓冲区 The buffer zone	3.67±0.44 ab	45.67±7.28 b	0.82±0.12 b	0.69±0.06 b
试验区 The experimental zone	5.17±0.95 a	111.50±34.41 a	1.33±0.19 a	0.90±0.04 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

2.4 不同生态因子与蝗虫群落多样性指标的相关性

2.4.1 植物群落指标与蝗虫群落指标的相关性

植物物种丰富度与蝗虫群落的物种丰富度和个体数呈显著负相关,而与蝗虫群落均匀度指数呈显著正相关,植物物种丰富度越高,蝗虫群落的物种丰富度和个体数越低,而蝗虫群落均匀度指数越高。植物个体数与蝗虫群落的物种丰富度、多样性指数

以及均匀度指数均呈极显著负相关。植物多样性指数对蝗虫群落也会有一定影响,当植物多样性指数升高时,蝗虫群落多样性指数显著升高,蝗虫群落均匀度指数极显著升高。植物均匀度指数与蝗虫群落的物种丰富度、个体数、多样性指数和均匀度指数均呈显著正相关,随着植物均匀度指数的升高,蝗虫群落各多样性指标显著升高(表4)。

表4 植物群落指标与蝗虫群落多样性指标的 Pearson 相关性分析

Table 4 Pearson correlation analysis of plant community index and grasshopper community diversity index

指标 Index	植物物种丰富度 Plant species richness	植物个体数 No. of plant individuals	植物多样性指数 Plant diversity index	植物均匀度指数 Plant evenness index
蝗虫群落物种丰富度 Grasshopper species richness	-0.178*	-0.506**	0.075	0.282*
蝗虫个体数 No. of grasshoppers	-0.256*	0.027	0.036	0.241*
蝗虫群落多样性指数 Grasshopper diversity index	-0.029	-0.715**	0.271*	0.336*
蝗虫群落均匀度指数 Grasshopper evenness index	0.272*	-0.755**	0.510**	0.272*

*和**分别表示经LSD法检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。* and ** indicate significant correlation at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by LSD test.

2.4.2 土壤理化性质与蝗虫群落指标的相关性

土壤的pH、容重、紧实度与蝗虫群落均匀度指数均呈显著正相关,相关系数分别为0.475、0.404和0.393,而土壤的速效氮含量和速效钾含量与蝗虫群落均匀度指数均呈显著负相关,相关系数分别为-0.391和-0.406;但这些土壤指标与蝗虫群落的物种丰富度、个体数和多样性指数均无显著相关性。土壤的有机质含量、速效磷含量和碳酸钙含量与蝗虫群落各多样性指标均无显著相关性(表5)。

2.4.3 其他生态因子与蝗虫群落指标的相关性

气温与蝗虫群落各指标均无显著相关性,而地温与蝗虫群落个体数呈显著正相关,与其他指标均无显著相关性。海拔与蝗虫群落的物种丰富度和多样性指数均呈显著负相关,随着海拔的上升,蝗虫物种丰富度和多样性指数显著降低;海拔与蝗虫群落个体数呈极显著负相关,随着海拔的上升,蝗虫群落的个体数极显著降低,但是海拔与蝗虫群落均匀度指数无显著相关性(表5)。

表5 土壤理化性质及其他生态因子与蝗虫群落多样性指标的 Pearson 相关性分析

Table 5 Pearson correlation analysis of soil physical and chemical properties, other ecological factors and diversity index of grasshopper community

指数 Index	土壤 pH Soil pH	有机质 含量 Organic content	土壤 容重 Soil bulk density	速效氮 含量 Available nitrogen content	速效磷 含量 Available phosphor content	速效钾 含量 Available nitrogen content	土壤 紧实度 Soil Compa- ctness	土壤碳酸 钙含量 Soil carbon calcium acid content	海拔 Altitude	气温 Air tem- perature	地温 Ground tempe- rature
蝗虫群落物种丰富度 Grasshopper richness	-0.072	-0.139	0.006	0.035	0.259	0.137	0.026	0.156	-0.355*	0.028	0.133
蝗虫个体数 No. of grasshopper individuals	-0.046	0.121	0.028	0.003	0.197	0.279	0.023	0.282	-0.512**	-0.124	0.414*
蝗虫群落多样性指数 Grasshopper diversity index	0.002	-0.137	-0.003	-0.019	0.194	-0.025	0.007	0.031	-0.420*	0.032	0.134
蝗虫群落均匀度指数 Grasshopper evenness index	0.457*	-0.133	0.404*	-0.391*	-0.306	-0.406*	0.393*	-0.338	-0.313	0.122	0.189

*和**分别表示经LSD法检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。* and ** indicate significant correlation at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by LSD test.

3 讨论

物种多样性的形成是各种因素相互作用的结果(Gaston, 2000)。生境的改变、环境因子中的水分、能量等都会共同影响群落中物种丰富度的改变(王源等, 2020)。环境的异质性增强为昆虫的采食及生存环境提供了有利条件(Zhang et al., 2016)。本研究发现,随着生境的改变,3种不同草原类型中蝗虫的物种丰富度以及个体数没有显著差异,但多样性指数和均匀度指数存在显著差异,其中杂草草甸和苔草草甸蝗虫的多样性指数和均匀度指数显著高于沼柳灌木丛草甸。这可能与杂草草甸和苔草草甸蝗虫物种及个体分布相对均匀有关。一般来说,生物多样性越丰富,生态系统就越稳定(包春泉等, 2013; 董鑫, 2020)。本研究结果显示,红松洼草原生态系统中,杂草草甸和苔草草甸的生态系统相对比较稳定,蝗虫群落结构相对稳定。

红松洼草原划分的不同功能分区对蝗虫群落结构有着不同程度的影响,蝗虫群落的物种丰富度、个体数、多样性指数和均匀度指数都存在显著差异。宋珊珊等(2017)研究结果表明,不同功能分区对直翅目昆虫群落的影响不同,直翅目昆虫多样性指数在缓冲区最高,而在核心区最低,其中核心区的直翅目昆虫丰富度指数与缓冲区和试验区差异显著。这可能是因为直翅目昆虫的分布与其所处的植物群落有关,草地植被类型丰富、裸露地面适宜、人畜适当干扰都有益于直翅目昆虫数量及种类的增多(廉振民和梁沛, 1999; 尚占环等, 2006)。表明蝗虫群落不同功能分区中存在显著差异,可能与不同功能分区植被种类及其分布情况有关。

在草原生态系统中,昆虫与植物之间相互影响,不可分割(Joern, 2002; 李巧, 2011)。植物可以为昆虫提供栖息环境和栖息场所,其群落特征也会影响昆虫的多样性和均匀度,而蝗虫对自然生态环境据有广泛的适应性(康乐和陈永林, 1994; Kruess & Tscharnkte, 2002; Joern, 2005)。植被不同,其中的生物种类也不同,这体现了生物对环境的适应,反映了生物群落与物种间的关系。有研究表明昆虫群落多样性与植物群落多样性呈极显著正相关(周伟, 2011; 王曦鸿, 2019)。本研究结果显示,植物群落对蝗虫群落的物种丰富度和个体数均有显著影响,两者都有不同程度的降低,同时蝗虫群落的多样性指数以及均匀度指数有所提高,这与上述研究结果类似。

环境可为蝗虫提供能够生长发育以及繁殖的良好物质基础和环境基础,土壤理化性质对节肢动物的影响比植物更显著(Lachat et al., 2006)。土壤中的有机质可以使植物种间或者种内发生变异,从而直接或间接影响植食性动物及其他昆虫,进而改变昆虫的多样性(Bennett, 2010)。本研究中土壤理化性质对蝗虫群落的多样性无显著影响,但是在蝗虫群落均匀度分布上存在显著影响。这可能是土壤理化性质对不同功能分区植物群落产生影响,进而影响了蝗虫群落的分布。本研究发现海拔对蝗虫群落结构及其多样性有着显著影响,可能是因为不同海拔对蝗虫基因的表达有所影响。张杰(2016)研究结果表明,海拔影响小菜蛾 *Plutella xylostella* 体内基因的表达,通过改变其外部形态和内部生理反应,提高了其生存能力,所以在高海拔地区其幼虫仍有较高的存活率。晁雪庭(2019)研究报道绿翅绢野螟 *Diaphania angustalis* 的生长和发育会受到环境因子中温度的影响,在 20~30℃ 范围内,绿翅绢野螟各虫态发育历期和存活率均随着温度的升高而缩短,寿命也会随着温度的升高而降低。张子龙等(2017)研究发现不同土壤环境对昆虫群落结构动态变化有很大的影响,昆虫群落相对稳定性降低。本试验中温度和土壤对蝗虫的群落结构无显著影响,可能是因为蝗虫对环境温度和土壤酸碱度具有较强的耐受性,但还有待进一步研究验证。

参考文献 (References)

- Bao CQ, Hu DS, Ding XZ, Yu XQ, Pan CY. 2013. Comparative analysis of forest insect diversity index. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 19(7): 53–37 (in Chinese) [包春泉, 胡德胜, 丁晓章, 余雪棋, 潘昌尧. 2013. 森林昆虫多样性指数比较分析. *安徽农学通报*, 19(7): 53–37]
- Bao SD. 2000. *Soil and agriculture chemistry analysis*. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [鲍士旦. 2000. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社]
- Bennett A. 2010. The role of soil community biodiversity in insect biodiversity. *Insect Conservation and Diversity*, 3(3): 157–171
- Chao XT. 2019. Effects of environmental factors on growth, development and reproduction of *Diaphania angustalis* (Snellen). Master thesis. Nanning: Guangxi University (in Chinese) [晁雪庭. 2019. 环境因子对绿翅绢野螟生长发育和繁殖的影响. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学]
- Dong X. 2020. Survey on species diversity of insect diversity in different areas of Liaoning Bailang Mountain National Nature Reserve of China. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 26(8): 18–19 (in Chinese) [董鑫. 2020. 辽宁白狼山国家级自然保护区不同区域昆虫物种多样性的调查与分析. *安徽农学通报*, 26(8):

- 18–19]
- Gaston KJ. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783): 220–227
- Hong J, Du GL, Wang GJ. 2014. The occurrence and control situation of grasshopper in the grassland of China (review). *Acta Agrestia Sinica*, 22(5): 929–934 (in Chinese) [洪军, 杜桂林, 王广君. 2014. 我国草原蝗虫发生与防治现状分析. *草地学报*, 22(5): 929–934]
- Joern A. 2002. Context-dependent foraging and enemy-free space: grasshopper sparrows (*Ammodramus savannarum*) searching for grasshoppers (Acrididae). *Écoscience*, 9(2): 231–240
- Joern A. 2005. Disturbance by fire frequency and bison grazing modulate grasshopper assemblages in tallgrass prairie. *Ecology*, 84(4): 861–873
- Kang L, Chen YL. 1994. Study on the nutritional niche of grassland locust. *Acta Entomologica Sinica*, 37(2): 178–189 (in Chinese) [康乐, 陈永林. 1994. 草原蝗虫营养生态位的研究. *昆虫学报*, 37(2): 178–189]
- Kruess A, Tscharntke T. 2002. Grazing intensity and the diversity of grasshoppers, butterflies, and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology*, 16(6): 1570–1580
- Lachat T, Attignon S, Djego J, Goergen G, Nagel P, Sinsin B, Peveling R. 2006. Arthropod diversity in Lama Forest Reserve (South Benin), a mosaic of natural, degraded and plantation forests. *Biodiversity and Conservation*, 15(1): 3–23
- Li JY. 2018. Study on community structure of grasshoppers from ecological restoration in the hilly and gully area of Loess Plateau of Yan'an. Master thesis. Yan'an: Yan'an University (in Chinese) [李家玉. 2018. 生态恢复背景下延安黄土丘陵沟壑区蝗虫群落结构的研究. 硕士学位论文. 延安: 延安大学]
- Li Q. 2011. Indicator value (IndVal) method and its application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 457–462 (in Chinese) [李巧. 2011. 指示值方法及其在昆虫中的应用. *应用昆虫学报*, 48(2): 457–462]
- Lian ZM, Liang P. 1999. The diversity of grasshopper communities in Qinling-Bashan Mountainous Region. *Chinese Biodiversity*, 7(2): 119–122 (in Chinese) [廉振民, 梁沛. 1999. 秦巴山区蝗虫群落多样性研究. *生物多样性*, 7(2): 119–122]
- Liu XN, Jiang WL, Liu XJ, Shi SL. 2007. Dominant species of determination and nonlinear models for estimating the population density peak value of grasshopper in grassland of Ganjia in Xiahe. *Grassland and Lawn*, (4): 30–34, 39 (in Chinese) [柳小妮, 蒋文兰, 刘晓静, 师尚礼. 2007. 夏河甘加草原草地蝗虫优势种的确定及混合种群密度高峰值模型研究. *草原与草坪*, (4): 30–34, 39]
- Michael JS. 1993. Insects in biodiversity conservation: some perspectives and directives. *Biodiversity and Conservation*, 2: 258–282
- Qin WC, Tian HG, Wang XP, Yang GJ. 2018. Community diversity of carabid beetles in the Luo Mountain National Nature Reserve in Ningxia. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 46(5): 109–117 (in Chinese) [秦伟春, 田会刚, 王新谱, 杨贵军. 2018. 宁夏罗山步甲昆虫群落多样性研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 46(5): 109–117]
- Shang ZH, Xin M, Yao AX, Long RJ. 2006. Studies on insect diversity of desert grassland in Xiangshan Mountain, Ningxia. *Natural Enemies of Insects*, 28(1): 1–7 (in Chinese) [尚占环, 辛明, 姚爱兴, 龙瑞军. 2006. 宁夏香山荒漠草原区的昆虫多样性. *昆虫天敌*, 28(1): 1–7]
- Song SS, Pang HC, Wang ZX, Wang XP. 2017. Community structure and diversity of orthopteran in Mt. Yunwu Grassland Nature Reserve, Ningxia. *Journal of Ningxia University (Natural Science Edition)*, 38(2): 180–185, 192 (in Chinese) [宋珊珊, 庞洪翠, 王章训, 王新谱. 2017. 宁夏云雾山草原直翅目昆虫群落结构及其多样性. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 38(2): 180–185, 192]
- Wang XH. 2019. Study on structure and diversity of insect community in natural grassland under different management modes. Master thesis. Baoding: Hebei Agricultural University (in Chinese) [王曦鸿. 2019. 不同管理模式天然牧草地昆虫群落结构与多样性研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学]
- 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]
- Yu HY, Shi WP. 2020. Outbreak, monitoring and control technology of desert locust *Schistocerca gregaria*. *Journal of Plant Protection*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2020.2020801> (in Chinese) [于红妍, 石旺鹏. 2020. 沙漠蝗灾发生、监测及防控技术进展. *植物保护学报*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2020.2020801>]
- Zhang J. 2016. Effects of landscape diversity and altitude on the adaptation of *Plutella xylostella* (Linnaeus). Master thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese) [张杰. 2016. 景观多样性和海拔对小菜蛾种群适应性的影响机制. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Zhang K, Lin SL, Ji YQ, Yang CX, Wang XY, Yang CY, Wang HS, Jiang HS, Harrison RD, Yu DW. 2016. Plant diversity accurately predicts insect diversity in two tropical landscapes. *Molecular Ecology*, 25(17): 4407–4419
- Zhang ZL, Gu W, Ma L, Kou JM. 2017. Differences in insect community structure in broad-leaved Korean pine forests under different soil environments. *Forest Engineering*, 33(3): 12–17 (in Chinese) [张子龙, 顾伟, 马玲, 寇冀蒙. 2017. 不同土壤环境下阔叶红松林昆虫群落结构差异. *森林工程*, 33(3): 12–17]
- Zhou W. 2011. Study on the relationship between grasshopper and vegetation community in the upper reaches of Hei River. Master thesis. Baoding: Northwest Normal University (in Chinese) [周伟. 2011. 黑河上游草地蝗虫与植被群落关系研究. 硕士学位论文. 保定: 西北师范大学]

(责任编辑: 李美娟)