

网络出版时间:2014-01-02 16:02

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.060

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.060.html>

祁连山中段高山草原蝗虫与 植物群落关系研究

胡 靖¹, 韩天虎², 代健聪³, 刘长仲¹

(1 甘肃农业大学 草业学院, 甘肃 兰州 730070;

2 甘肃省草原技术推广总站, 甘肃 兰州 730010;

3 肃南县草原站, 甘肃 肃南 734400)

【摘要】【目的】研究祁连山中段高山草原蝗虫与植物群落之间的生态关联性。【方法】于 2011-05-09, 在甘肃省肃南县皇城镇周边草场中设置 12 块样地, 在样地内采用方框取样器和样方框(1 000 mm×1 000 mm)对蝗虫群落和植物群落进行系统随机抽样调查, 利用典型相关分析(CCA)法对蝗虫群落与植物群落的相关性进行分析, 并在此基础上, 用主成分分析(PCA)法对群落特征进行进一步分析与排序。【结果】①捕获蝗虫成虫 3 148 头, 隶属 6 科, 10 属, 共 12 种; 小翅雏蝗、狭翅雏蝗、永宁异爪蝗和宽须蚁蝗为优势类群, 分别占捕获成虫总数的 34.78%, 18.43%, 14.52%, 11.76%; 亚洲小车蝗、红翅皱膝蝗、短星翅蝗和白纹雏蝗为常见类群, 分别占捕获成虫总数的 5.72%, 4.94%, 4.15%, 3.68%; 宽翅曲背蝗、李氏大足蝗、青海痂蝗和裴氏短鼻蝗为稀有类群, 分别占捕获成虫总数的 0.63%, 0.63%, 0.54%, 0.22%。②CCA 分析结果表明, 红翅皱膝蝗、宽翅曲背蝗、亚洲小车蝗以及宽须蚁蝗、小翅雏蝗种群的发生特征与栖息地内植物群落均匀度和莎草科优势度密切相关($P<0.01$); PCA 分析结果显示, 前 3 个主成分分别为白纹雏蝗、亚洲小车蝗、短星翅蝗种群特征与莎草科优势度和禾本科优势度关系的综合因子, 小翅雏蝗、宽须蚁蝗和狭翅雏蝗种群特征与植被群落盖度关系的综合因子以及永宁异爪蝗种群特征与植被群落垂直结构关系的综合因子。③PCA 排序结果显示, 12 块样地可归为 5 个类群, 不同类群中蝗虫群落丰富度、多样性、均匀性、平均密度指标的排序结果有明显差异。【结论】植物群落中, 禾本科类植物为食物广谱性蝗虫提供了充足食料, 莎草科、菊科等非禾本科类植物对蝗虫群落的影响, 不仅在于食物资源供应方面, 更多地体现在植物自身的生物学特性对蝗虫发育不同时期群落结构的影响; 蝗虫自身的生活习性以及植物群落的水平、垂直结构共同影响着蝗虫对栖息地的选择。

【关键词】 蝗虫; 植物群落; 典型相关分析; 主成分分析; 高山草原; 祁连山

【中图分类号】 Q968

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)02-0113-10

Relationship between grasshopper and plant communities on alpine grassland of Qilian Mountains

HU Jing¹, HAN Tian-hu², DAI Jian-cong³, LIU Chang-zhong¹

(1 College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2 General Grassland Working Station of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3 Sunan Grassland Station, Sunan, Gansu 734400, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to investigate the ecological relevance between grasshopper and plant communities on alpine grassland of Qilian Mountains. 【Method】 From May to September 2011, 12 sample plots were set up on grassland around Sunan County, Gansu Province. Box sampler and quadrat

〔收稿日期〕 2013-03-13

〔基金项目〕 公益性行业(农业)科研专项(201003079); 甘肃省农牧厅肃南县草原蝗虫综合治理技术研究项目

〔作者简介〕 胡 靖(1986—), 男, 河北秦皇岛人, 硕士, 主要从事昆虫生态学 research。E-mail: 9986hujing@163.com

〔通信作者〕 刘长仲(1962—), 男, 重庆人, 教授, 博士, 主要从事昆虫生态学及病虫害防治研究。E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn

frame(1 000 mm×1 000 mm)were used to survey grasshopper and plant communities with system sampling method,canonical correlation analysis (CCA) was used to analysis relevance between grasshopper and plant communities,and principal component analysis (PCA) was used to do further analysis and sorting.【Result】①A total of 3 148 grasshoppers belonging to 12 species,10 genera and 6 families were captured.*Chorthippus fallax* (Zub.),*Chorthippus fallax* (Zub.),*Euchorthippus yungningensis* Cheng et Tu,and *Myrmeleotettix palpalis* (Zub.) were dominating species,accounting for 34.78%,18.43%,14.52%,and 11.76%,respectively.*Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bienko,*Angaracris rhodopa* (F.-W.),*Calliptamus abbreviatus* Ikonn.and *Chorthippus albonemus* were common species,accounting for 5.72%,4.94%,4.15%,and 3.68%,respectively.*Pararcyptera microptera meridionalis* (Ikonn.),*Gomphocerus licenti* (Cheng),*Bryodemira miramae miramae* B.-Bienko and *Filchnerella beicki* Ramme were rare species,accounting for 0.63%,0.63%,0.54%,and 0.22%, respectively.②Canonical correlation analysis (CCA) showed that population characteristics of *Angaracris rhodopa* (F.-W.),*Pararcyptera microptera meridionalis* (Ikonn.),*Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bienko,*Myrmeleotettix palpalis* (Zub.),and *Chorthippus fallax* (Zub.) were closely related with evenness of plant communities and cyperaceous dominance ($P<0.01$).The first three main components of principal component analysis (PCA) were the comprehensive factor of the relationship between population characteristics of *Chorthippus albonemus* Cheng et Tu,*Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bienko,and *Calliptamus abbreviatus* Ikonn. with dominance of cyperaceous and grass,the relationship between population characteristics of *Chorthippus fallax* (Zub.),*Myrmeleotettix palpalis* Zub. and *Chorthippus dubius* (Zub.) with vegetation coverage,and the relationship between population characteristics *Euchorthippus yungningensis* Cheng et Tu and vertical structure.③ Ordination consequence classified 12 sample plots into 5 groups with significant differences in richness of grasshopper,diversity,uniformity and average density.【Conclusion】Gramineae plants afforded enough food to grasshoppers with broad spectrum feeding habits.Cyperaceous plants and compositae plants had restrictive effects on grasshopper.Plants biological property influenced different development stages of grasshopper.The living behavior and horizontal and vertical structure of plant communities also influenced habitat selection.

Key words: grasshopper; plant community; canonical correlation analysis; principal component analysis; alpine grassland; Qilian Mountain

蝗虫与植物存在着密切的联系,对两者生物多样性关系的探讨一直受到生态学者的关注^[1-10]。植物为蝗虫生存提供了食物资源以及栖息环境等,决定着蝗虫群落的构成和生物多样性,同时蝗虫的食草行为也影响着植物群落的格局。自然演变过程以及人为干扰活动改变了蝗虫的栖息环境,前人的研究认为,放牧强度和沙化过程^[2-3]、土地利用方式^[4]、生境面积^[5-6]等的改变对蝗虫群落的种类组成、数量、时空分布等结构性特征的影响较大。近年来,围绕着植物多样性、群落结构、功能类群等对蝗虫发生影响的研究已经展开^[7-10],但关于蝗虫与植物群落生态学关联的定量解释较少。典型相关分析(Canonical Correlation Analysis,CCA)和主成分分析(Principal Component Analysis,PCA)法在群落结构与环境因子间相互关系研究方面的应用比较成

熟,现已取得了很多研究成果^[11-13],但将群落作为变量,采用CCA和PCA法对其内部数量特征关系排序及分类的研究尚比较少。

由于地理位置和地形地貌的复杂性,祁连山北麓同时受到大陆性气候、高山气候和高寒大陆性气候的综合影响,造就了我国西北内陆温带干旱草原。多样化的植物群落与复杂的蝗虫群落间形成了紧密的关联体系。近年来,由于过度放牧对草原生态系统造成破坏,蝗虫的发生呈现出周期性,并具有范围大、数量多等特点,给甘肃、青海农牧业造成了巨大的损失,因之开展了该地区蝗虫种类组成、群落特征、分布规律以及生物学特性等方面的研究工作^[8-9,14-16]。本研究拟运用CCA法揭示蝗虫群落优势类群的数量特征、植被群落的多样性指标,以及垂直、水平分布特点对各自群落产生的影响或支配作

用,在明确蝗虫群落与植物群落两者生态关联的基础上,采用 PCA 法对蝗虫栖境进行排序和分类,探讨蝗虫空间分布对生境的选择适应性,以期为该地区蝗虫生态特征的科学研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省肃南县皇城镇(北纬 $37^{\circ}54'36''$ 、东经 $101^{\circ}48'37''$),平均海拔 2 700 m,年均温 1°C 左右,月均最高气温 23°C (8 月),最低可达 -24°C (1 月),年降水量 300~400 mm,降雨主要集中在 7—8 月,海拔 3 500 m 处终年积雪。该地带处于内蒙-河西干草原区的河西走廊洲,特殊的山地气候特征,以及强烈的地势起伏变化,在长年的演变过程中,形成了特殊的高山草地群落,而多样的植物类型进而导致了蝗虫群落的异质性。

1.2 调查方法

在皇城镇管辖范围内的草场中,依据植物群落特征、地形地貌特征以及受人为干扰后的草地状况,选择 4 种草地类型,共设 A—L 12 块样地。即 1) 温性草原。海拔 2 609~2 726 m,针茅属、赖草属植物为优势种,主要植物有西北针茅(*Stipa krylovii* Roshev)、赖草(*Leymus secaliumm* (Gergi) Tzvel.)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、醉马草(*Achnatherum inebrians* (Hance) Keng) 等,包括样地 A、C、I、K、L; 2) 草原化荒漠。海拔 2 694~2 806 m,植被覆盖度低,地表干燥,混生豆科、禾本科、莎草科、菊科类植物,主要植物有宽苞棘豆(*Oxytropis latibracteata* Jurtz.)、披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata* R. Br.)、扁穗冰草、沙生冰草(*Agropyron desertorum*)、西北针茅、蒿草(*Kobresia bellardii myosuroides*)、乳白香青(*Anaphalis lacteal* Maxim.)、狼毒(*Stellera chamejasme* L.) 等,包括样地 B、J; 3) 山地草甸。分布于东大河河床北侧,海拔 2 540~2 557 m,土壤潮湿,植被以莎草科类为主,主要植物有苔草(*Carex* L.)、蒿草、委陵菜(*Potentilla* L.)、马蔺(*Iris lactea* Pall. var. *chinensis* Fisch. Koidz.) 等,包括样地 F、G、H; 4) 草地-农田过渡带。海拔 2 601~2 606 m,地势平坦,杂草类居多,混生西北针茅、扁穗冰草、沙生冰草等禾本科牧草,包括样地 D、E。在选定为样地的草地上,于 2011-05—09,每隔 7~8 d 随机用方框取样器取样 1 次^[17],样框面积 0.25 m^2 ,每块样地单次取样总面积 10 m^2 ,记录样

框内蝗虫的种类、虫龄及数量;植物群落特征于 7 月中旬展开调查,在样地内用 $1\,000\text{ mm}\times 1\,000\text{ mm}$ 样方框随机取样,记录样方框内植物的种类、数量、高度、盖度等,每块样地取样总面积 10 m^2 。

1.3 数据处理

1.3.1 蝗虫群落优势类群划分 依据单种蝗虫成虫个体数量占成虫总数的百分比判定群落优势类群:大于 10% 为优势类群, $\geq 1\% \sim \leq 10\%$ 为常见类群,1% 以下为稀有类群^[18]。

1.3.2 群落多样性的测定 采用 Shannon-Wiener 指数(H)反映物种多样性: $H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$; 采用 Pielou 均匀度指数(R)反映群落均匀度: $R = H/H_{\max} = (-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln S$; 采用 Simpson 指数(C)反映群落优势度: $C = \sum_{i=1}^S (P_i)^2$ 。式中: $P_i = \frac{n_i}{N}$, 其中 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; S 为物种丰富度。

1.3.3 数据的典型相关分析(CCA)与主成分分析(PCA) 首先,采用标准差法在 Excel 上对数据进行标准化处理,然后利用 Spss 19.0 软件包,用 CCA 法揭示蝗虫群落与植物群落之间的相关性。PCA 法的分类和排序是认识一定区域内群落特征的重要手段,是进行蝗虫群落多样性研究的基础,而群落的物种多样性又是生态系统多样性研究的核心内容。因此,在进行群落物种多样性研究之前,对群落进行 PCA 分析是必要的^[19]。所以,在得到蝗虫群落与植物群落之间的相关性之后,进一步对样地群落进行分析,用 PCA 法对样地群落进行排序和归类。

2 结果与分析

2.1 祁连山中段高山草原各样地植物群落的多样性特征分析

由表 1 可知,山地草甸中的样地 F、G 和 H 中,海拔高度、草层高度、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均较低,而植被盖度较其他样地高,表明该类型草地中,植物物种单一且生长茂盛。海拔最高的样地 J 出现在草原化荒漠中,其植被盖度在所有样地中最低。Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数最高的样地出现在草地-农田过渡带中。而温性草原中,样地海拔高度适中,植被盖度、群落多样性及群落均匀度均较高,是发育良好的天然草地。

Table 1 Basic features of each sampling plot in grasshopper habitats on alpine grassland of Qilian Mountains

样地编号 Samples number	海拔/m Altitude	草层高度/m Grass layer height	植被盖度 Vegetation coverage	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
A	2 677±5	0.36±0.16	0.79±0.01	2.21±0.23	0.70±0.24
B	2 694±8	0.22±0.19	0.33±0.20	2.64±1.01	0.88±0.43
C	2 726±6	0.26±0.19	0.55±0.01	2.49±0.98	0.78±0.28
D	2 606±3	0.32±0.23	0.70±0.06	2.58±0.88	0.78±0.22
E	2 601±4	0.38±0.23	0.59±0.02	3.50±1.48	0.92±0.31
F	2 540±6	0.14±0.03	0.96±0.09	0.34±0.09	0.17±0.02
G	2 543±2	0.15±0.03	0.95±0.00	0.83±0.08	0.28±0.03
H	2 557±3	0.32±0.04	0.85±0.22	1.41±0.01	0.47±0.01
I	2 609±5	0.39±0.10	0.71±0.02	2.59±1.14	0.75±0.24
J	2 806±2	0.25±0.14	0.22±0.04	3.01±0.82	0.87±0.33
K	2 634±6	0.31±0.19	0.79±0.01	2.01±0.11	0.67±0.16
L	2 622±7	0.36±0.06	0.80±0.13	2.31±1.55	0.70±0.21

W.))、短星翅蝗(*Calliptamus abbreviatus* Ikonn.)和白纹雏蝗(*Chorthippus albonemus* Cheng et Tu),分别占捕获成虫总数的5.72%,4.94%,4.15%和3.68%;稀有类群包括宽翅曲背蝗(*Pararcyptera microptera meridionalis* (Ikonn.))、李氏大足蝗(*Gomphoceris licenti* (Cheng))、青海痼蝗(*Bryodema miramae* B.-Bienko)和裴氏短鼻蝗(*Filchnerella beicki* Ramme),分别占捕获成虫总数的0.63%,0.63%,0.54%和0.22%。

通过统计、鉴定,在 12 块样地内,共捕获蝗虫成虫 3 148 头,隶属 6 科,10 属,共 12 种。其中,网翅蝗科的种类和数量较丰富,该科中的小翅雏蝗(*Chorthippus fallax* (Zub.))、狭翅雏蝗(*Chorthippus dubius* (Zub.))、永宁异爪蝗(*Euchorthippus yungningensis* Cheng et Tu)以及槌角蝗科中的宽须蚁蝗(*Myrmeleotettix palpalis* Zub.)为祁连山中段高山草原蝗虫的优势类群,分别占捕获成虫总数的 34.78%,18.43%,14.52%和 11.76%;常见类群包括亚洲小车蝗(*Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bienko)、红翅皱膝蝗(*Angaracris rhodopa* (F.-

祁连山中段高山草原植物群落和蝗虫群落特征参数的标准化数据见表 2 和表 3。

Table 2 Standardized parameters for plant communities on alpine grassland of Qilian Mountains

项目 Items	样地编号 Samples number											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Shannon-Wiener指数(Y_1) Shannon-Wiener index	0.052 5	0.533 8	0.364 9	0.464 9	1.489 2	-2.023 5	-1.477 2	-0.829 9	0.481 6	0.943 2	-0.170 5	0.171 1
Pielou 均匀度指数(Y_2) Pielou evenness index	0.139 2	0.911 2	0.511 8	0.474 8	1.076 3	-2.076 2	-1.623 8	-0.807 6	0.363 1	0.868 0	0.023 2	0.140 0
植被盖度(Y_3) Vegetation coverage	0.446 8	-1.558 2	-0.599 3	0.098 1	-0.425 0	1.187 7	1.144 1	0.708 3	0.098 1	-2.037 6	0.446 8	0.490 3
草层高度(Y_4) Grass layer height	0.821 9	-0.802 6	-0.338 4	0.357 8	1.054 0	-1.730 9	-1.614 9	0.357 8	1.286 1	-0.454 5	0.241 7	0.821 9
禾本科优势度(Y_5) Dominance of grass	1.231 2	-0.281 8	-0.109 6	-0.531 7	-0.650 7	-1.006 1	-1.011 1	-0.959 1	1.248 2	1.003 9	-0.606 2	1.673 0
莎草科优势度(Y_6) Dominance of sedges	-0.448 0	-0.592 1	-0.376 1	-0.551 3	-0.743 9	2.161 1	1.600 1	0.824 1	-0.670 4	-0.803 6	0.227 2	-0.627 2
豆科优势度(Y_7) Dominance of legumes	-0.512 8	2.516 2	1.516 8	0.396 8	-0.512 8	-0.512 8	-0.512 8	-0.512 8	-0.512 8	-0.327 8	-0.512 8	-0.512 8
菊科优势度(Y_8) Dominance of forbs	-0.497 8	3.067 0	-0.352 7	0.201 8	-0.136 8	-0.497 8	-0.497 8	-0.497 8	-0.404 9	0.007 7	0.103 2	-0.493 9
其他杂草优势度(Y_9) Dominance of other plants	-0.720 4	-0.092 2	-0.606 4	2.562 2	1.249 5	-0.728 2	-0.318 3	0.484 1	-0.734 5	-0.347 1	-0.080 7	-0.668 1

表 3 祁连山中段高山草原蝗虫群落特征参数的标准化数据

Table 3 Standardized parameters for grasshopper alpine grassland of Qilian Mountains

项目 Items	样地编号 Samples number											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
宽须蚊蝗(X_1) <i>Myrmeleotettix palpalis</i> Zub.	-0.279 4	-0.076 7	-0.238 1	-0.523 2	-0.537 0	-0.567 9	-0.567 9	-0.567 9	0.998 3	-0.482 0	-0.004 6	2.846 2
狭翅雏蝗(X_2) <i>Chorthippus dubius</i> (Zub.)	-0.143 4	0.179 3	-0.573 7	-0.573 7	-0.708 2	-0.735 0	-0.573 7	-0.277 9	1.281 8	-0.358 6	-0.170 3	2.653 3
小翅雏蝗(X_3) <i>Chorthippus fallax</i> (Zub.)	-0.169 9	-0.378 1	-0.375 4	-0.386 0	-0.430 7	-0.346 4	-0.370 2	-0.386 0	0.380 7	-0.386 0	-0.249 0	3.096 9
白纹雏蝗(X_4) <i>Chorthippus albonemus</i> Cheng et Tu	-0.938 6	0.953 6	0.232 8	-0.398 0	-0.848 5	-0.938 6	-0.938 6	-0.938 6	1.133 8	1.674 4	-0.217 7	1.223 9
短星翅蝗(X_5) <i>Calliptamus abbreviatus</i> Ikonn.	-0.696 2	1.556 6	-0.696 2	-0.696 2	-0.696 2	-0.696 2	-0.696 2	-0.696 2	1.838 2	0.383 3	-0.179 9	1.275 0
红翅皱膝蝗(X_6) <i>Angaracris rhodopa</i> (F.-W.)	-0.835 8	1.641 7	0.363 0	-0.835 8	-0.835 8	-0.835 8	-0.835 8	-0.835 8	1.521 8	1.282 0	0.123 2	0.083 2
宽翅曲背蝗(X_7) <i>Pararcyptera microptera meridionalis</i> (Ikonn.)	-0.539 3	0.867 6	-0.539 3	-0.257 9	-0.539 3	-0.539 3	-0.539 3	-0.539 3	1.149 0	-0.539 3	-0.539 3	2.556 0
亚洲小车蝗(X_8) <i>Oedaleus decorus asiaticus</i> B.-Bienko	-0.758 4	1.426 6	-0.240 3	-0.713 3	-0.735 8	-0.758 4	-0.758 4	-0.758 4	1.359 1	0.525 6	-0.398 0	1.809 6
李氏大足蝗(X_9) <i>Gomphocerus licenti</i> (Cheng)	-0.658 5	-0.658 5	0.735 9	0.271 1	-0.658 5	-0.658 5	-0.658 5	-0.658 5	2.595 1	0.735 9	-0.658 5	0.271 1
永宁异爪蝗(X_{10}) <i>Euchorthippus yungningensis</i> Cheng et Tu	-0.436 7	-0.436 7	-0.436 7	-0.436 7	-0.157 5	0.959 2	2.913 5	-0.243 4	-0.436 7	-0.415 2	-0.436 7	-0.436 7
青海痼蝗(X_{11}) <i>Bryodema miramae</i> B.-Bienko	-0.337 2	0.240 9	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	3.131 3	-0.337 2	-0.337 2
裴氏短鼻蝗(X_{12}) <i>Filchnerella beicki</i> Ramme	-0.337 2	0.240 9	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	-0.337 2	3.131 3	-0.337 2	-0.337 2

对调查样地内蝗虫群落和植物群落特征参数的标准化数据(表 2 和表 3)进行 CCA 分析。本试验以 F 表示蝗虫群落综合因子、 L 表示植物群落综合因子,它们分别揭示了群落各因子的综合变化情况。典型相关系数的假设检验表明,前 2 组典型变量通过检验($P<0.01$),具有显著相关性,所以只需要分析前 2 组典型变量^[9]。2 个群落典型相关系数的值都为 1,说明 F_1 与 L_1 之间以及 F_2 与 L_2 之间具有高度的相关关系,即蝗虫群落与植物群落综合因子 2 组指标间存在典型相关关系,并有 2 组典型相关变量。

第 1 组典型相关变量:

$$F_1 = -32.892X_1 + 7.823X_2 + 23.853X_3 + 37.566X_4 + 28.345X_5 - 52.959X_6 - 76.544X_7 + 59.016X_8 - 0.366X_9 + 0.047X_{10} - 8.594X_{11} - 17.501X_{12},$$

$$L_1 = 1.355Y_1 - 9.659Y_2 - 2.144Y_3 + 1.342Y_4 - 4.072Y_5 - 8.384Y_6 - 0.606Y_7 + 0.243Y_8 - 1.351Y_9,$$

相关系数 $r=1.000$ 。

第 2 组典型相关变量:

$$F_2 = 30.288X_1 + 2.689X_2 - 35.911X_3 + 4.454X_4 - 8.807X_5 - 18.772X_6 - 5.194X_7 + 22.598X_8 - 1.181X_9 + 1.208X_{10} + 1.620X_{11} + 1.054X_{12},$$
$$L_2 = 2.369Y_1 - 12.155Y_2 + 0.798Y_3 - 2.082Y_4 - 5.275Y_5 - 16.113Y_6 - 1.632Y_7 + 0.761Y_8 - 2.290Y_9,$$

相关系数 $r=1.000$ 。

式中: $X_1\sim X_{12}$ 代表蝗虫群落变量, $Y_1\sim Y_9$ 代表植物群落变量。

第 1 组典型相关变量中,植被群落综合因子 L_1 的公式中,系数绝对值较大的为 Y_2 、 Y_6 ,表明植物群

落均匀度和莎草科优势度与植物群落特征关系密切;蝗虫群落综合因子 F_1 的公式中,系数绝对值较大的为 X_7 、 X_8 、 X_6 ,其次是 X_4 、 X_1 ,表明宽翅曲背蝗、亚洲小车蝗和红翅皱膝蝗与蝗虫群落特征关系密切。由此可知,栖息环境内植物群落均匀度和莎草科优势度对宽翅曲背蝗、亚洲小车蝗、红翅皱膝蝗种群的发生特征存在显著影响。第 2 组典型相关变量中,植被群落综合因子 L_2 的公式中,系数绝对值较大的为 Y_6 和 Y_2 ,表明莎草科优势度和植被群落均匀度与植被群落特征关系密切,蝗虫群落综合因子 F_2 的公式中,系数绝对值较大的是 X_3 、 X_1 ,其次为 X_8 ,表明样地内小翅雏蝗、宽须蚁蝗与蝗虫群落

表 4 祁连山中段高山草原蝗虫群落与植物群落特征关系的主成分分析(PCA)
Table 4 Principal component analysis(PCA) between characters of grasshopper and plant communities on alpine grassland of Qilian Mountains

项目 Items	主成分得分 Principal component scores			项目 Items	主成分得分 Principal component scores		
	1	2	3		1	2	3
宽须蚁蝗 <i>Myrmeleotettix palpalis</i> Zub.	0.686	0.695	−0.032	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.677	−0.476	−0.502
狭翅雏蝗 <i>Chorthippus dubius</i> (Zub.)	0.732	0.662	0.004	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	0.713	−0.510	−0.445
小翅雏蝗 <i>Chorthippus fallax</i> (Zub.)	0.556	0.733	−0.046	植被盖度 Vegetation coverage	−0.613	0.762	−0.121
白纹雏蝗 <i>Chorthippus albonemus</i> Cheng et Tu	0.917	−0.095	0.319	草层高度 Grass layer height	0.487	0.163	−0.804
短星翅蝗 <i>Calliptamus abbreviatus</i> Ikonn.	0.860	0.183	0.295	禾本科优势度 Dominance of grass	0.793	0.264	−0.071
红翅皱膝蝗 <i>Angaracris rhodopa</i> (F.-W.)	0.801	−0.265	0.414	莎草科优势度 Dominance of sedges	−0.797	0.326	0.475
宽翅曲背蝗 <i>Paracryptera microptera meridionalis</i> (Ikonn.)	0.746	0.561	0.073	豆科优势度 Dominance of lugumes	0.271	−0.492	0.211
亚洲小车蝗 <i>Oedaleus decorus asiaticus</i> B.-Bienko	0.909	0.213	0.296	菊科优势度 Dominance of forbs	0.332	−0.502	0.268
李氏大足蝗 <i>Gomphocerus licenti</i> (Cheng)	0.623	0.103	−0.009	其他杂草优势度 Dominance of other plants	−0.212	−0.382	−0.597
永宁异爪蝗 <i>Euchorthippus yungningensis</i> Cheng et Tu	−0.626	0.249	0.488	蝗虫和植物群落特征值 Eigenvalue of grasshopper and plant communities	9.032	4.547	2.835
青海痼蝗 <i>Bryodema miramae</i> B.-Bienko	0.361	−0.562	0.403	蝗虫和植物群落贡献率/% Contribution ratio of grasshopper and plant communities	43.01	21.65	13.50
裴氏短鼻蝗 <i>Filchnerella beicki</i> Ramme	0.361	−0.562	0.403	蝗虫和植物群落累积贡献率/% Accumulating contribution ratio of grasshopper and plant communities	43.01	64.66	78.16

由表 4 可以看出,在第 1 主成分中,得分较高的参数主要在蝗虫群落上,即白纹雏蝗、亚洲小车蝗、短星翅蝗在群落结构中占优势;样地植物群落特征与莎草科优势度和禾本科优势度关系密切,且第 1 主成分与 3 类蝗虫种群特征呈正相关,与莎草科优势度呈负相关,与禾本科优势度呈正相关。在第 2 主成分中,其贡献率为 21.65%;在蝗虫群落上,小翅雏蝗、宽须蚁蝗和狭翅雏蝗在群落结构中占优势;

特征关系密切。由此可知,栖息环境内植物群落均匀度和莎草科优势度对小翅雏蝗和宽须蚁蝗种群的发生特征也存在显著影响。

2.4 祁连山中段高山草原蝗虫群落与植被群落特征关系的 PCA 分析

为进一步分析蝗虫群落与植被群落间的特征关系,探讨两者之间的相互作用,采用 PCA 法对 12 块样地内蝗虫和植物群落结构进行排序和归类,结果见表 4。表 4 显示,前 3 个主成分的累积方差贡献率达到 78.16%,基本反映了蝗虫和植物群落的绝大部分信息。

样地植物群落特征与植被盖度关系密切,且第 2 主成分与 3 类蝗虫种群特征以及植被盖度呈正相关。在第 3 主成分中,蝗虫群落得分最高的是永宁异爪蝗种群,其在群落结构中为优势种;样地植物群落特征与植被群落垂直结构(草层高度)关系密切,且第 3 主成分与永宁异爪蝗种群特征呈正相关,与植被群落垂直结构(草层高度)呈负相关。由此可确定,第 1、2、3 主成分分别为白纹雏蝗、亚洲小车蝗、短星

翅蝗种群特征与莎草科优势度和禾本科优势度关系的综合因子,小翅雏蝗、宽须蚁蝗和狭翅雏蝗种群特征与植被盖度关系的综合因子及永宁异爪蝗种群特征与植被群落垂直结构关系的综合因子。

根据表 4 数据计算排序坐标及负荷量,得到各调查样地中群落特征相应于各主成分上的三维排序图(图 1)。由图 1 可以看出,根据每个样地在三维空间上的相应坐标和作用方向得到的排序和归类结果,较好地反映了样地内群落的主要特征。样地 I

与 L 为类群 I,B 与 J 为类群 II,F 与 G 为类群 III,D 与 E 为类群 IV,A、C、H 和 K 为类群 V。结果显示,采用 PCA 排序得到的类群中所包含的样地与 4 种草地区型中包含的样地有所差异,如类群 V 中既包含了温性草原中的样地 A、C 和 K,也包含了山地草甸中的样地 H。由此可以看出,在按照植物群落特征划分出的生境中,不同样地内蝗虫的发生存在差异,进一步说明用 PCA 法可以合理地对蝗虫发生规律进行分析。

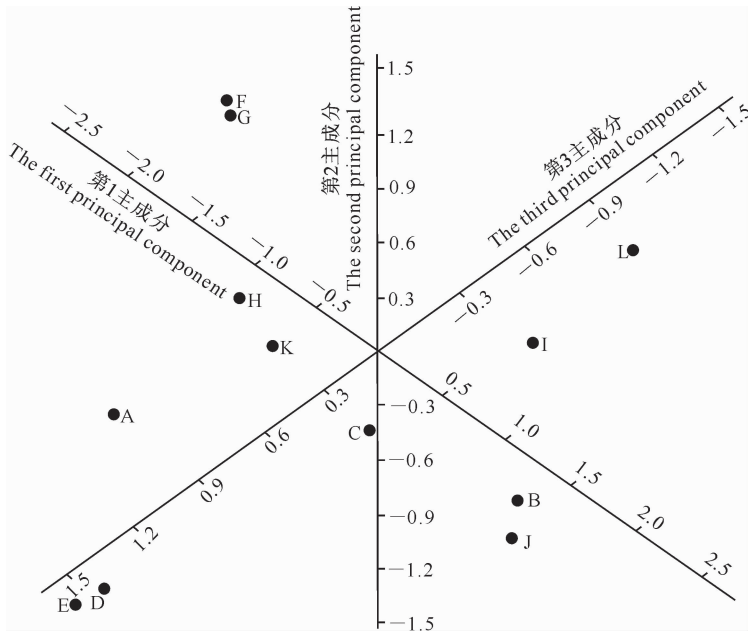


图 1 祁连山中段高山草原 12 块样地内蝗虫群落与植物群落特征主成分得分的三维排序结果
Fig. 1 Three dimensional sorting of principal component scores for characters of grasshopper and plant communities in 12 sampling plots on alpine grassland of Qilian Mountains

类群 I:样地 I、L,草地植被盖度中等,物种分布和植被覆盖范围均匀,禾本科类牧草为优势种,适宜的温湿度、光照条件、复杂的草层结构等为蝗虫提供了丰盛的食物和栖息场所。小翅雏蝗、宽须蚁蝗为主要优势种,喜食西北针茅、扁穗冰草等,发生密度大,危害严重,伴生种有狭翅雏蝗、亚洲小车蝗,发生较少的种类有李氏大足蝗、宽翅曲背蝗。

类群 II:样地 B、J,草地内植被数量稀少,物种多样性增加,菊科、豆科植物加剧了种间竞争作用,使非禾本科类植物增加,草地植被丰富度的增加为不同种类蝗虫提供了更广的食物资源,造成该类群蝗虫丰富度升高,但发生密度较低,且群落内蝗虫多样性增大。种类包括宽须蚁蝗、亚洲小车蝗、短星翅蝗、青海痼蝗等,其中红翅皱膝蝗、青海痼蝗喜栖居在禾本科与菊科等混生的灌丛内。

类群 III:样地 F、G,莎草科类植物茂密,地表常

年潮湿,草地植被种类和成分比值都趋向单一化发展,与之对应,蝗虫群落结构也呈现出单一化变化。调查期间,捕获到的蝗虫仅限于小翅雏蝗、狭翅雏蝗和永宁异爪蝗,其中,永宁异爪蝗在该类型生境中大量产卵,同时也是该生境的优势种,且在空间分布上明显向着草地湿润、苔草丰富的河滩地扩散。

类群 IV 和类群 V:分别为 D、E 和 A、C、H、K。类群 IV 中,由于农药、化肥等对植被、土壤理化性质的改变以及枯落植被堆积等因素的影响,蝗虫的产卵、交配受到一定程度限制,蝗虫发生种类和数量受到抑制,主要以小翅雏蝗、宽须蚁蝗为主,在蝗虫发生初期未见多数种类若虫,只在发生中后期采集到少量成虫,如永宁异爪蝗、狭翅雏蝗、亚洲小车蝗,这些成虫很可能是从类群 III 内迁徙至此;对于类群 V,温性草原中,样地 A、C、K 的蝗虫以小翅雏蝗和宽须蚁蝗为优势种,伴生有狭翅雏蝗、白纹雏蝗、亚洲

小车蝗、短星翅蝗以及少量的红翅皱膝蝗,山地草甸中的样地 H 与上述 3 个样地中的群落特征类似,发

生规律较复杂。

表 5 祁连山中段高山草原 5 个类群内蝗虫群落的多样性特征

Table 5 Diversity characters of grasshopper communities in 5 groups on alpine grassland of Qilian Mountains

类群 Group	样地 Samples	平均密度/ (头·m ⁻²) Average density	Pielou 均匀度指数(R) Pielou evenness index	Shannon- Wiener 指数(H) Shannon- Wiener index	物种丰富度(S) Index of richness
I	I、L	14.95±6.68	0.37±0.05	1.25±0.18	8.50±0.50
II	B、J	2.32±0.75	0.18±0.04	1.92±0.15	10.50±1.50
III	F、G	1.21±0.37	0.62±0.08	0.60±0.05	2.50±0.50
IV	D、E	0.33±0.09	0.30±0.02	1.44±0.11	6.50±0.50
V	A、C、H、K	1.56±0.44	0.36±0.02	1.19±0.13	5.00±1.15

由表 5 可知,物种多样性(H)综合反映了物种丰富度(S)和群落均匀度(R)的变化,类群 II 中, S 、 H 值最大, R 值最小,蝗虫平均密度较高,说明随着植被的退化和荒漠化过程加剧,蝗虫群落的多样性和稳定性增高。类群 I 中,蝗虫平均密度最大,样地 I、L 内蝗虫发生猖獗, R 、 S 值均较高, H 值居中。类群 III 中, S 、 H 值均最小, R 值最大,蝗虫平均密度较低,显示出蝗虫群落具有最低的多样性和稳定性。类群 IV 中,蝗虫平均密度最低,但 H 较高, S 、 R 值均较小。类群 V 中,蝗虫群落的丰富度、多样性、均匀度和平均密度均居中,说明温性草原样地 A、C、K 及山地草甸样地 H 内蝗虫的发生情况类似,即使处于不同的生境类型中,蝗虫群落特征也无明显的差异。

3 讨论与结论

有关蝗虫与植物生态关联的研究表明,植物群落为蝗虫提供了广泛的食谱选择,同时植物群落的结构异质性对蝗虫生存环境也有制约作用^[2,13,20-21]。本研究的 CCA 分析结果表明,中型蝗虫种类宽翅曲背蝗、亚洲小车蝗、红翅皱膝蝗以及小型蝗虫种类小翅雏蝗、宽须蚁蝗 5 种蝗虫的食谱选择与莎草科牧草相关性明显。而 PCA 分析及排序则显示,小翅雏蝗、宽须蚁蝗对栖息地的选择多偏向禾本科牧草占优势的草场,喜食西北针茅、扁穗冰草等牧草,属早发生或中发生种;红翅皱膝蝗、青海痼蝗多选择在禾本科与菊科类杂草混生的灌丛内,发生时间较晚,生态位发生了明显分化。由此可以看出,禾本科为食物广谱性蝗虫种类提供了充足食料的同时,莎草科、菊科等非禾本科类植物也影响着蝗虫发生的种类及数量,这种影响不仅体现在食物资源数量方面,更多地是体现在植物的理化性质、季相等功能结构对蝗虫发育各阶段的影响。草原生态系统中,由于时间和空间变化而引起植物呈多样性变化趋势,在这个

过程中,蝗虫的取食能力、取食范围等也发生了相应的变化,但植物群落多样性与蝗虫群落的相应变化是非平行相关^[3,22-23]。本研究的 PCA 分析结果显示,在第 1 主成分中,白纹雏蝗、亚洲小车蝗、短星翅蝗对整个蝗虫群落结构的影响较大,而这 3 种蝗虫并非本研究区域内的优势类群,说明这 3 种蝗虫在祁连山中段高山草原内对不同草地类型的适应性高于其他种类,属广布种,能反映蝗虫群落与植物群落的生态关联性,它们可作为高山草原植物群落演替的指示生物^[2-3]。

蝗虫对栖息地的选择还体现在植物群落的水平、垂直结构上。由于祁连山中段地区水热条件变化明显,地形复杂,降雨和光照条件对海拔变化极其敏感,在水平和垂直空间中出现了多样化的草地群落结构。在对栖息环境主动适应的过程中,草地蝗虫生态位上发生分化,形成了特有的类型和生物学特性^[24-25]。在调查中,本研究发现,植物分布均匀、无明显优势种的草地,宽翅曲背蝗、亚洲小车蝗、红翅皱膝蝗等表现出较高的适应性,属兼栖型类群^[9]。青海痼蝗、裴氏短鼻蝗与植物盖度的关系密切,只出现在植被稀疏、地表干燥、高温的环境内,为地栖型类群,原因在于其属旱生种^[9],活动范围一般在有较大面积裸露沙地的植物周围,交配季节多选择在高温、少植被覆盖的土壤表面进行产卵,在发育阶段需要充足的光照以及较好的空间条件,而荒漠化草地能为其提供有利的生存环境。本研究结果显示,类群 II 的蝗虫群落趋于向种类多样性发展,进而抑制了优势种的数量,故物种多样性和丰富度最大。贺达汉等^[23]在研究荒漠化草地蝗虫多样性时指出,草地植被结构的复杂多样化以及覆盖度下降是造成蝗虫种类丰富的一个重要原因。本研究中,类群 II 生境内蝗虫群落的发展与草原荒漠化过程有密切的生态效应,具有潜在的大规模发生条件。永宁异爪蝗一般分布在空间地势较低、植被稠密、湿润的河滩地

内,与植被的垂直结构密切相关,属植栖类型,产卵地集中在植被低矮的潮湿草地(类群Ⅲ),这可能是由于高密度植被阻碍了周围空气的流通,使小气候环境热量的流通具有滞后性,从而导致蝗虫在产卵、胚胎发育以及孵化、羽化等过程中产生适应性,类群Ⅲ内蝗虫群落结构单一,物种多样性和丰富度均最低,发生密度也较低。优势类群小翅雏蝗、狭翅雏蝗更多地出现在禾本科植物繁茂的生境(类群Ⅰ)中,食物资源的数量对其分布产生了较大的影响,温性草原内样地 I、L 植被生长良好,是优良的天然牧场,因而蝗虫发生猖獗,平均密度明显高于其他类型草场,在防治中应着重加强防范。在类群Ⅳ中,由于人为干扰,土壤受到农药、化肥以及耕作的影响,从而对蝗虫产卵也产生了影响,故蝗虫多数是由邻近草地内的成虫迁徙而来,危害程度较轻,但是一旦蝗虫通过选择,逐步适应该环境,其危害也应得到重视。本研究的 PCA 排序结果较好地反映了实际情况,可以为蝗虫防治提供理论依据。

本研究发现,同一类型草地不同生境条件下的蝗虫群落结构特征有所差异,PCA 分析及排序对 CCA 分析结果进行了补充,使其更加具体地揭示了蝗虫群落与植物群落内在的生态关联性,是分析植物与蝗虫群落相互关系的较好的数学工具,但在一些环境较为复杂的蝗虫发生地,除了对群落进行宏观分析外,还需对土壤环境、气候因子等诸多生态因素进行分析。

[参考文献]

[1] Vallerdu I, Pedrocchi J C. Effect of the abandonment of mountain pastures on the orthoptera population in the northwest of Spain [J]. *Articulata*, 1994, 9(2): 15-23.

[2] Kang L, Chen Y L. Dynamics of grasshopper communities under different grazing intensities in Inner Mongolian steppes [J]. *Entomologia Sinica*, 1995, 2(3): 265-281.

[3] 贺达汉, 郑哲民. 草原不同沙化地段蝗虫与植物群落多样性的变化及相互关系的数值分析 [J]. *应用与环境生物学报*, 1997, 3(1): 6-12.

He D H, Zheng Z M. Mathematical analysis of the changes in grasshopper and plant community diversities and the relationships between them in the desertification of steppe [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 1997, 3(1): 6-12. (in Chinese)

[4] 李 巧, 陈又清, 陈彦林, 等. 紫胶林-农田复合生态系统蝗虫群落多样性 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 729-735.

Li Q, Chen Y Q, Chen Y L, et al. Diversity of grasshopper community in lac plantation-farmland ecosystem [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 729-735. (in Chinese)

[5] 贺达汉, 郑哲民, 顾才东, 等. 荒漠草原蝗虫群落空间格局的研

究 [J]. *生态学报*, 1997, 17(6): 660-665.

He D H, Zheng Z M, Gu C D, et al. The study on spatial pattern of grasshopper community on the desert steppe in the Ningxia [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(6): 660-665. (in Chinese)

[6] 刘继民, 廉振民. 南泥湾片段森林蝗虫群落多样性比较 [J]. *生态学报*, 2003, 23(6): 1223-1229.

Liu C M, Lian Z M. Comparisons of diversity of grasshopper community in fragmentary forest of Nanniwan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1223-1229. (in Chinese)

[7] 颜忠诚, 陈永林. 草原蝗虫的栖境选择: 栖境的选择与水平结构的关系 [J]. *武夷科学*, 1998(14): 251-257.

Yan Z C, Chen Y L. Habitat selection in grasshoppers in typical steppe: Relationship between habitat selection and horizontal structure [J]. *Wuyi Science Journal*, 1998(14): 251-257. (in Chinese)

[8] 颜忠诚, 陈永林. 内蒙古锡林河流域不同生境中蝗虫种类组成的分析 [J]. *昆虫学报*, 1997, 40(3): 271-275.

Yan Z C, Chen Y L. Compositions of grasshopper species of different habitats in Xilin River District, Inner Mongolia [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1997, 40(3): 271-275. (in Chinese)

[9] 赵成章, 周 伟, 王科明, 等. 黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析 [J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3384-3390.

Zhao C Z, Zhou W, Wang K M, et al. The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3384-3390. (in Chinese)

[10] 孙 涛, 龙瑞军, 刘志云. 祁连山北麓四种天然草地蝗虫物种多样性比较研究 [J]. *昆虫学报*, 2010, 53(6): 702-707.

Sun T, Long R J, Liu Z Y. A comparative study of grasshopper species (Orthoptera: Acridoidea) diversity in different grasslands in the northern slopes of Qilian Mountains [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53(6): 702-707. (in Chinese)

[11] 余伟苍, 郭建英, 胡小龙, 等. 浑善达克沙地东南部退化草场植物群落 DCCA 排序与环境解释 [J]. *干旱区地理*, 2008, 31(5): 759-764.

Yu W C, Guo J Y, Hu X L, et al. DCCA of the degenerated rangeland community in Hunshandake Sandyland [J]. *Arid Land Geography*, 2008, 31(5): 759-764. (in Chinese)

[12] 王文颖, 王启基. 高寒嵩草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析 [J]. *草业学报*, 2001, 10(3): 8-14.

Wang W Y, Wang Q J. The structure and plant species diversity of the degraded ecosystems in alpine Kobresia meadow [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2001, 10(3): 8-14. (in Chinese)

[13] 贺达汉, 郑哲民. 环境因子对蝗虫群落生态效应的数值分析 [J]. *草地学报*, 1996, 4(3): 213-220.

He D H, Zheng Z M. Mathematical demonstration for the ecological effects of environmental factors on grasshopper community [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(3): 213-220. (in Chinese)

[14] 冯光翰, 李新文. 肃南县大河地区草原蝗虫调查 [J]. *甘肃农*

业大学学报,1984(2):112-116.

Feng G H,Li X W. A survey of grassland grasshoppers in Da-he District,Sunan County,Gansu Province [J]. J Gansu Agric Univ,1984(2):112-116. (in Chinese)

[15] 史奎英,李焕仁. 肃南县草地蝗虫发生及防治对策 [J]. 四川草原,1991(4):35-38.

Shi K Y,Li H R. The controlling strategy and breakout of grasshoppers of Sunan county [J]. J Sichuan Grassland,1991(4):35-38. (in Chinese)

[16] 苏晓红,王世贵. 祁连山草地蝗虫群落结构及对草地危害的研究 [J]. 西北大学学报:自然科学版,2008,38(5):771-774.

Su X H,Wang S G. A study on the population composition and damage of rangeland grasshopper in the Qilian Mountains [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition,2008,38(5):771-774. (in Chinese)

[17] 刘长仲,周淑荣,王 刚,等. 模糊聚类法在小翅雏蝗种群动态分析中的应用 [J]. 应用生态学报,2008,13(8):1054-1056.

Liu C Z,Zhou S R,Wang G,et al. Application of fuzzy cluster in analyzing population dynamics of *Chorthippus fallax* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(8):1054-1056. (in Chinese)

[18] 吴东辉,尹文英,陈 鹏. 刈割活动对松嫩草原碱化羊草草地土壤线虫群落的影响 [J]. 生物多样性,2007,15(2):180-187.

Wu D H,Yin W Y,Chen P. Effect of moving practice on soil nematode community in alkalized grasslands of *Leymus chinensis* in Songnen Plain [J]. Biodiversity Science,2007,15(2):180-187. (in Chinese)

[19] 高贤明,陈灵芝. 北京山区辽东栎(*Quercus liaotungensis*)群落物种多样性研究 [J]. 植物生态学报,1998,22(1):23-32.

Gao X M,Chen L Z. Studies on the species diversity of *Quercus liaotungensis* communities in Beijing mountains [J]. Acta Phytoecologica Sinica,1998,22(1):23-32. (in Chinese)

[20] 卢 辉,韩建国,张泽华. 锡林郭勒典型草原植物多样性和蝗虫种群的关系 [J]. 草原与草坪,2008(3):21-28.

Lu H,Han J G,Zhang Z H. Study on the relationship between plant diversity and grasshopper population in the steppe of Xilinguole [J]. Grassland and Turf,2008(3):21-28. (in Chinese)

[21] 康 乐,李鸿昌,陈永林. 内蒙古锡林河流域直翅目昆虫生态分布规律与植被类型关系的研究 [J]. 植物生态学与地理植物学学报,1989,13(4):341-349.

Kang L,Li H C,Chen Y L. Studies on the relationships between distribution of orthopterans and vegetation types in the Xilin River Basin District, Inner Mongolia Autonomous Region [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin,1989,13(4):341-349. (in Chinese)

[22] 贺达汉,田 真,金桂兰,等. 荒漠草原蝗虫种群地位及时空变化的数量分析 [J]. 宁夏农学院学报,1996,17(3):17-26.

He D H,Tian Z,Jin G L,et al. Mathematical analysis of the population position, temporal and spatial heterogeneity of grasshoppers on the desert grasslands in Ningxia [J]. Journal of Ningxia Agricultural College,1996,17(3):17-26. (in Chinese)

[23] 贺达汉,郑哲民. 荒漠草原蝗虫营养生态位及种间食物竞争模型的研究 [J]. 应用生态学报,1997,8(6):605-611.

He D H,Zheng Z M. Trophic niche and interspecific food competitive model of grasshoppers in desert grassland [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1997,8(6):605-611. (in Chinese)

[24] 康 乐,陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究 [J]. 昆虫学报,1994,37(2):178-189.

Kang L,Chen Y L. Trophic niche of grasshoppers within steppe ecosystem in Inner Mongolia [J]. Acta Entomologica Sinica,1994,37(2):178-189. (in Chinese)

[25] 颜忠诚,陈永林. 内蒙古草原蝗虫个体大小及生活型划分的探讨 [J]. 生态学报,1997,17(6):666-670.

Yan Z C,Chen Y L. Studies on the individual size group and the life form of grasshoppers in typical steppe of Inner Mongolia [J]. Acta Entomologica Sinica,1997,17(6):666-670. (in Chinese)