

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

胡 靖^{1,2} 钱秀娟¹ 刘长仲^{1*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070; 2. 重庆文理学院园林与生命科学学院/特色植物研究院, 永川 402160)

摘要: 为明确高山草地蝗虫群落生物多样性和空间聚集强度变化及其对植物群落的响应, 在位于甘肃省祁连山中段北坡的研究区调查温性草原、山地草甸和高寒草甸3类草地中的蝗虫种类和数量, 对不同蝗虫群落进行生物多样性分析, 并观察不同蝗虫种群的聚集程度。结果显示, 共捕获蝗虫15种, 8月温性草原内蝗虫虫口密度最大, 为8.17头/m², 且此时Shannon-Wiener指数和Margalef丰富度指数均最大, 分别为1.58和2.27; 7月蝗虫群落的空间聚集程度高于其他两类草地。山地草甸和高寒草甸中蝗虫空间聚集高峰出现在8月, 晚于温性草原。东亚飞蝗*Locusta migratoria manilensis*种群的空间聚集程度最高, 其次为白边蝗蝗*Bryodema luctuosum*、狭翅雏蝗*Chorthippus dubius*和小翅雏蝗*Chorthippus fallax*种群, 鼓翅皱膝蝗*Angaracris barabensis*种群的聚集程度最弱。冗余分析结果显示, 蝗虫群落种类组成和数量以及空间聚集强度与植物群落生物多样性、覆盖度和高度存在显著相关性。

关键词: 草地类型; 蝗虫群落; 空间聚集强度; 植物群落

Responses of the grasshopper community biodiversity and pattern intensity to the plant community

Hu Jing^{1,2} Qian Xiujuan¹ Liu Changzhong^{1*}

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China; 2. College of Landscape Architecture and Life Science/Institute of Special Plants, Chongqing University of Arts and Sciences, Yongchuan 402160, Chongqing, China)

Abstract: To clarify the changes of biodiversity and spatial aggregation intensity of grasshopper communities and their responses to plant communities, three grassland types, namely temperate steppe, mountain meadow and alpine meadow, were selected to investigate the grasshopper community abundance and species in the northern slope area of the middle part of Qilian Mountains. The biodiversity of different grasshopper communities was studied, and the aggregation degrees of different grasshopper populations were observed. A total of 15 species of grasshoppers were caught during the study period. During the sampling period in August, the grasshopper community density (8.17 individual/m²), Shannon-Wiener index (1.58) and Margalef index (2.27) were the highest in the temperate steppe. The degree of grasshopper community aggregation was stronger in temperate steppe than in mountain meadow and alpine meadow. The aggregation peak in mountain meadow and alpine meadow occurred in August. The aggregation degree of *Locusta migratoria manilensis* was the highest, followed by those of *Bryodema luctuosum*, *Chorthippus dubius* and *Chorthippus fallax*. The aggregation degree of *Angaracris barabensis*

was the weakest. Redundancy analysis showed the close relationship between the spatio-temporal dynamics of grasshopper community and plant community diversity, coverage and height ($P < 0.05$).

Key words: grassland types; grasshopper community; pattern intensity; plant community

草地蝗虫与食草性经济牲畜存在强烈的食物资源竞争关系(van der Plas & Olf, 2014),是草原上主要害虫之一(Guo et al., 2020)。近年来,一些地区发生大规模蝗灾,其数量是正常年份的8 000倍(Madeleine, 2020; 于红妍和石旺鹏, 2020),在我国西北地区,平均每年遭受蝗虫啃食的草场超过2 000万 hm^2 ,造成的直接或间接经济损失超过1亿元(Sun et al., 2015),严重威胁农牧业生产安全。

散居和聚集是蝗虫空间分布格局的2种主要形态(刘长仲和冯光翰, 1999; 2000)。当蝗虫从散居形态向聚集形态转变时,其对生境内植被的威胁程度增加,当发生大规模聚集时,很有可能对生境内植被造成毁灭性威胁(Guo et al., 2020)。空间聚集强度能够反映蝗虫发生高密度区和低密度区在空间分布格局上的差异程度(鲁挺, 2001; 刘长仲和王刚, 2003; 蔡建堤等, 2017)。一方面,不同草地内蝗虫群落的空间聚集强度可以揭示蝗虫在草地上的聚集情况,对于蝗虫在草地上发生的斑块大小起到预判作用;另一方面,空间聚集强度对于揭示蝗虫群落与植物群落之间的相互关系至关重要。

植物群落生物多样性和结构差异是引起食草动物群落组成结构和空间分布格局变化的关键(Kemp et al., 1990; Unsicker et al., 2010; 胡靖等, 2016)。研究表明,植物与蝗虫的紧密联系并不完全是由于植物作为蝗虫的主要食物来源发挥着自下而上的调节控制作用,更多的是在于植物群落结构改变了蝗虫的栖息环境(康乐, 1995),影响蝗虫交配、产卵以及躲避天敌等个体行为,从而决定蝗虫发生密度以及空间分布格局(赵成章等, 2012; Guo et al., 2020)。

以往研究多集中于单一蝗虫种群空间分布格局的变化,比如,亚洲小车蝗 *Oedaleus decoratus* (胡靖等, 2012)、狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* (刘长仲和王刚, 2003)等,也有研究调查了蝗虫混合种群的空间分布格局变化规律(冯今等, 2004),这些研究结果为蝗虫群落时空动态变化提供了相关参考。然而,不同草地类型中蝗虫群落种类组成差异明显,同时,蝗虫群落内不同种类的蝗虫个体发育历期、成虫食量以及产卵时间等生物学特性差异明显(刘长仲和冯光翰, 1999; 2000),很可能导致不同蝗虫群落空间

分布格局的时空动态存在差异。

甘肃省境内祁连山中段北坡是我国重要的畜牧业生产草场,特殊的地理和气候条件造就了类型多样的草场资源。以往对该地区蝗虫群落的研究多关注于蝗虫群落组成结构、蝗虫发育历期、生物学特性、蝗虫年际变化等(孙涛等, 2010; Sun et al., 2015)。而关于祁连山中段北坡区域不同草地类型内,蝗虫群落生物多样性和空间聚集强度特征及其与植物群落之间的相互关系尚不明确,本研究选取温性草原、山地草甸和高寒草甸3类草地,调查蝗虫种类和数量,分析蝗虫群落生物多样性和种群聚集程度,并探讨蝗虫群落种类组成和数量以及空间聚集强度与植物群落特征之间的相关性,以期为高山草地蝗虫监测和防控措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区概况:本研究区位于甘肃省境内的祁连山北坡中段草原生态系统($37^{\circ}54' \sim 38^{\circ}19' \text{N}$, $98^{\circ}36' \sim 101^{\circ}48' \text{E}$)。研究区地势起伏变化明显,海拔1 327~3 816 m。山地气候特征明显,属大陆性高寒半干旱气候,最热月一般出现在7—8月,最冷月一般出现在1月,最低温度可达 -24°C ,年平均温度 $1 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。年降雨量300~400 mm,无霜期120 d以上。土壤包括山地栗钙土、山地黑钙土和山地灰褐土(孙涛等, 2010)。

试剂及仪器:本研究所用试剂均为国产试剂。蝗虫群落取样器,自制,底部为由铁丝焊接而成的边长1 m的方框,40 cm高纱布网封口;植物群落取样器,自制,底部为由铁丝焊接而成的边长1 m的方框。

1.2 方法

1.2.1 植物群落调查

根据中华人民共和国农业部2017年实施的《草地分类》行业标准,将研究区内草地划分为温性草原、山地草甸和高寒草甸3种类型。温性草原分布在海拔2 609~2 726 m的区域内,主要以西北针茅 *Stipa sareptana* var. *krylovii*、冷蒿 *Artemisia frigida* 和扁穗冰草 *Agropyron cristatum* 为主;山地草甸分布在海拔2 540~2 557 m的区域内,主要以蒿草 *Kobresia bellardii myosuroides*、马蔺 *Iris lactea* var. *chinensis*

sis 和委陵菜 *Potentilla chinensis*, 以及苔草属 *Carex* sp. 植物为主; 高寒草甸分布在海拔 2 864~3 068 m 的区域内, 主要以高山蒿草 *Kobresia robusta* 为主, 伴生黄花棘豆 *Oxytropis ochrocephala* 以及杂类草植物。

在坡向、地形环境较为一致的草地生境类型内设置 4 块样地, 样地面积 100 m×100 m。于 2011 年 7 月中旬对不同生境内的植物种群开展调查, 利用 1 m×1 m 的方框取样器随机取样, 每个样地内随机选取 3 个样方, 记录样方框内植物的种类、数量、高度和植被覆盖度。采用 Shannon-Wiener 指数 (H') 反映植物群落生物多样性, $H' = -\sum p_i \ln p_i$, 其中 p_i 为第 i 物种的数量在植物群落中所占比例。

1.2.2 蝗虫群落调查

参照 Evans & Bailey (1993) 的扫网法在选取的样地中利用捕虫网复网 50 次, 将捕获的蝗虫装入含有氰化钠的毒瓶中灭活, 统计蝗虫种类和数量, 依据《甘肃蝗虫图志》和《青藏高原的蝗虫》进行种类鉴定 (印象初, 1984; 甘肃省蝗虫调查协作组, 1985)。参照刘长仲和冯光翰 (2000) 的样方法计算蝗虫发生的虫口密度, 取样时迅速将取样器抛向草地, 统计取样器内以及逃逸的蝗虫数量, 每个样地随机取样 3 次, 本研究统计的蝗虫种类和数量均为 4~5 龄的大龄蝗蝻和成虫个体。取样时天气晴朗无风, 于 2011 年 6 月开始, 每月取样 1 次, 9 月底结束取样。

1.2.3 蝗虫群落生物多样性特征分析

依据单种蝗虫个体数量占蝗虫群落总数的百分比判定群落优势种, 百分比 > 10% 为优势种, 1% < 百分比 ≤ 10% 为常见种, 百分比 ≥ 1% 为稀有种。利用生物指示值 ($indval$) 分析不同草地类型中的蝗虫指示物种, 采用 R 软件的 Labdsv 软件包对生物指示值进行分析, 当物种 $indval$ 值大于 0.5 时, 认为该物种为相应草地内的环境指示物种。

本研究采用 Margale 丰富度指数 (M')、Shannon-Wiener 指数 (H') 和 Simpson 优势度指数 (λ) 对不同草

地类型中蝗虫群落的生物多样性进行分析, 其中 $M' = (S-1)/\ln N$, $\lambda = \sum p_i^2$, 式中, p_i 为第 i 物种的数量在群落中所占比例, S 为群落物种数, N 为样品中蝗虫物种的个体总数。

1.2.4 蝗虫种群空间聚集强度

采用改良的聚集指标 (I') (冯今等, 2004; 蔡建堤等, 2017) 分析蝗虫群落的空间聚集强度, $I' = (M^* + 1) / D$, 其中, M^* 表示 Lloyd 平均拥挤度 (Lloyd, 1967; 蔡建堤等, 2017), D 为样本的平均密度。聚集指标值越大表示物种在空间上表现出强烈的聚集形态, 形成少数团聚斑块, 相反, 聚集指标值越小表示物种越趋向于散居的分布形态。

1.2.5 蝗虫群落与植物群落之间相关性分析

利用冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 方法对蝗虫群落种类组成和空间聚集强度与植物群落之间的相互关系进行分析, 采用 Bray-Curtis 距离进行排序, 第一排序轴表示降维第一主成分, 第二排序轴表示降维第二主成分。通过主响应曲线 (principal response curves, PRC) 分析不同蝗虫种群空间聚集强度及其在时间上的变化情况, 采用蒙特卡罗模拟确定标准轴的显著性。RDA 和 PRC 分析过程在 CANOCO 5.0 软件上进行 (赖江山, 2013)。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析, 应用最小显著差数法 (LSD) 进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 植物群落特征

温性草原、山地草甸和高寒草甸的植物群落高度、植物覆盖度和 Shannon-Wiener 指数存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 1)。其中山地草甸内的植物群落高度最高, 为 28.67 cm, Shannon-Wiener 指数最低, 为 0.87, 高寒草甸中的植物群落高度最低, 为 12.67 cm, 植被覆盖度和 Shannon-Wiener 指数均最高, 分别为 88.67% 和 1.46。

表 1 不同草地类型植物群落特征

Table 1 The characteristics of plant community in different grassland types

草地类型 Grassland type	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	植物群落高度 Plant community height/cm	植被群落覆盖度 Plant community coverage/%
温性草原 Temperate steppe	1.26±0.30 a	16.75±5.86 b	63.75±11.61 b
山地草甸 Mountain meadow	0.87±0.36 b	28.67±3.44 a	66.33±17.86 b
高寒草甸 Alpine meadow	1.46±0.25 a	12.67±6.11 b	88.67±2.83 a

表中数据为平均数±标准误。同列数据不同小写字母表示经 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.

2.2 蝗虫群落生物多样性特征

2.2.1 蝗虫群落物种组成以及环境指示物

本研究调查期间共捕获蝗虫 15 种。根据蝗虫物种个体数量占总量的百分比可知,温性草原内小翅雏蝗 *Chorthippus fallax*、狭翅雏蝗 *Ch. dubius* 和短星翅蝗 *Calliptamus abbreviatus* 为优势种,鼓翅皱膝蝗 *Angaracris barabensis* 为稀有种,其余为常见种。山地草甸内永宁异爪蝗 *Euchorthippus yungningensis*、狭翅雏蝗和白边痼蝗 *Bryodema luctuosum* 为优

势种,红翅皱膝蝗 *Angaracris rhodopa*、青海短鼻蝗 *Filchnerella kukunoris* 和宽翅曲背蝗 *Pararcyptera holdereri* 为稀有种。高寒草甸内宽须蚁蝗 *Myrmeleotettix palpalis* 和狭翅雏蝗为优势种,鼓翅皱膝蝗、红翅皱膝蝗、青海痼蝗 *B. miramae* 和青海短鼻蝗为稀有种。此外,小翅雏蝗、永宁异爪蝗、宽须蚁蝗和狭翅雏蝗分别为温性草原、山地草甸、高寒草甸的环境指示物种(表 2)。

表 2 不同草地类型中蝗虫群落物种个体数量占蝗虫群落总量的百分比

Table 2 Proportion of each grasshopper species of various grasshoppers to the grasshopper assemblage in different grassland types %

科 Family	亚科 Sub-family	种 Species	温性草原 Temperate steppe	山地草甸 Mountain meadow	高寒草甸 Alpine meadow
丝角蝗科 Oedipodidae	痼蝗亚科 Bryodeminae	鼓翅皱膝蝗 <i>Angaracris barabensis</i>	0.64	—	0.35
		红翅皱膝蝗 <i>Angaracris rhodopa</i>	2.53	0.94	0.69
		青海痼蝗 <i>Bryodema miramae</i>	1.11	—	0.42
		白边痼蝗 <i>B. luctuosum</i>	6.47	11.03	1.76
	斑腿蝗亚科 Catantopinae	短星翅蝗 <i>Calliptamus abbreviatus</i>	12.44	4.48	—
	网翅蝗亚科 Arcypterinae	狭翅雏蝗 <i>Chorthippus dubius</i>	12.07	16.06	25.40
		白纹雏蝗 <i>Chorthippus albonemus</i>	5.34	4.12	7.81
		小翅雏蝗 <i>Chorthippus fallax</i>	33.96	6.60	7.12
		永宁异爪蝗 <i>Euchorthippus yungningensis</i>	4.22	27.58	2.14
		红腹牧草蝗 <i>Omocestus haemorrhoidalis</i>	4.50	1.97	1.74
		宽翅曲背蝗 <i>Pararcyptera holdereri</i>	1.60	0.93	7.36
		青海短鼻蝗 <i>Filchnerella kukunoris</i>	1.54	0.42	0.26
	丝角蝗亚科 Oedipodinae	亚洲小车蝗 <i>Oedaleus decoratus</i>	3.59	—	7.28
斑翅蝗科 Oedipodidae	飞蝗亚科 Locustinae	东亚飞蝗 <i>Locusta migratoria manilensis</i>	6.11	3.88	5.64
槌角蝗科 Gomphoceridae	槌角蝗亚科 Gomphocerinae	宽须蚁蝗 <i>Myrmeleotettix palpalis</i>	3.87	3.25	29.95

—表示该种蝗虫未出现或所占百分比小于 0.01; 粗体表示该蝗虫种类为该草地类型中的环境指示生物(*indval* 值大于 0.5)。— represents the grasshopper species with less than 0.01 of contribution to the total population, or not found. The bold type indicates that the grasshopper species is an indicator of the grassland types (*indval*>0.5).

2.2.2 蝗虫群落生物多样性动态特征

不同草地类型对蝗虫群落虫口密度、Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数具有显著影响 ($P<0.05$), 对 Simpson 优势度指数无显著影响。取样时间对虫口密度、Shannon-Wiener 指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数均有显著影响 ($P<0.05$)。草地类型和取样时间的交互作用显著影响虫口密度 ($P<0.05$) (表 3)。

在温性草原、山地草甸和高寒草甸中,蝗虫群落 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 指数和虫口

密度最大值均在 8 月出现,其中, Margalef 丰富度指数分别为 2.27、1.82 和 2.18; Shannon-Wiener 指数分别为 1.58、1.17 和 1.49; 虫口密度分别为 8.17、4.08 和 5.75 头/ m^2 (图 1)。

2.2.3 蝗虫群落空间聚集强度动态特征

蝗虫空间聚集指标的主响应曲线分析结果显示,不同草地内蝗虫群落空间聚集强度变化趋势并不一致(图 2)。温性草原蝗虫群落的空间聚集强度高于其他 2 类草地,同时,蝗虫群落的聚集高峰出现在 7 月,早于山地草甸和高寒草甸。8 月取样时间

内,高寒草甸蝗虫群落聚集强度高于山地草甸和温性草原。东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 种群的聚集程度最高,其次为白边痠蝗、狭翅雏蝗和小翅雏蝗,鼓翅皱膝蝗种群的聚集程度最弱。

表3 草地类型和取样时间对蝗虫群落生物多样性的影响
Table 3 Effects of grassland types and sampling time on the grasshopper community biodiversity

项目 Item	参数 Parameter	虫口密度 Density	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 优势度指数 Simpson index	Margalef 丰富度指数 Margalef index
草地类型 Grassland type	<i>df</i>	2	2	2	2
	<i>F</i>	35.76	14.05	0.14	8.14
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.874	0.001
取样时间 Sampling time	<i>df</i>	3	3	3	3
	<i>F</i>	36.59	15.05	16.40	27.63
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
草地类型×取样时间 Grassland type×sampling time	<i>df</i>	6	6	6	6
	<i>F</i>	3.70	1.23	1.09	0.85
	<i>P</i>	<0.01	0.30	0.37	0.53

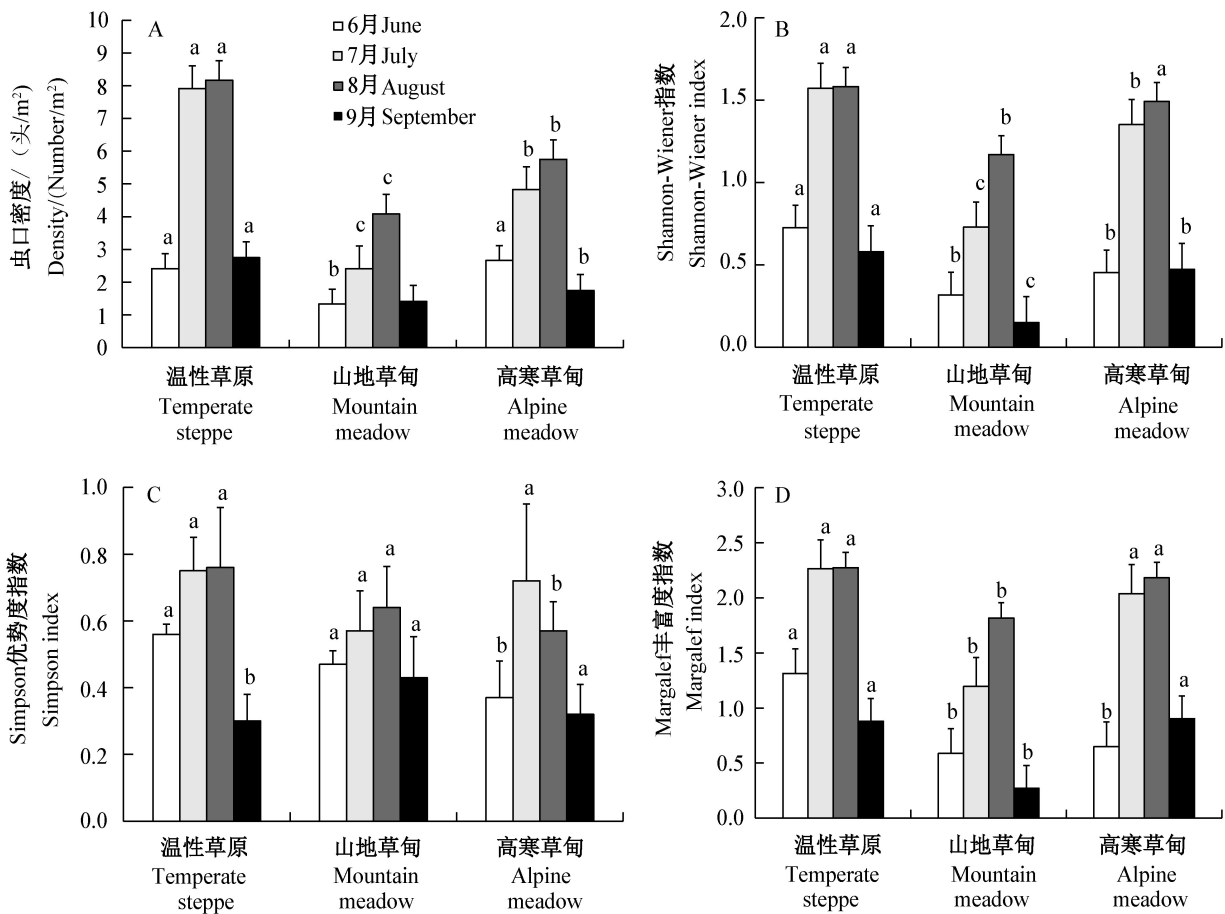


图1 不同草地类型下蝗虫群落生物多样性特征

Fig. 1 The characteristics of grasshopper community biodiversity in different grassland types

表中数据为平均数±标准误。同色柱上不同小写字母表示经LSD法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters on the same bars indicate significant difference at $P < 0.05$ level by LSD test.

2.3 草地蝗虫群落特征对植物群落的响应

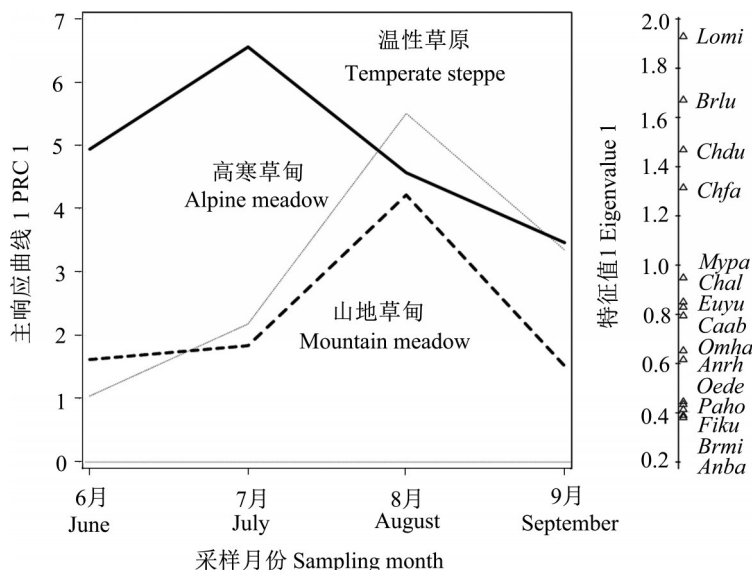
2.3.1 蝗虫群落生物多样性对植物群落的响应

利用冗余分析对不同草地类型下的蝗虫群落物

种组成进行排序(图3)。结果显示,不同草地类型内蝗虫群落组成差异明显。除了永宁异爪蝗与植物群落高度正相关,大部分蝗虫种类与植物群落高度

负相关。宽翅曲背蝗、白纹雏蝗、东亚飞蝗、宽须蚁蝗较多出现在高寒草甸内,与植物群落生物多样性和植物群落覆盖度呈正相关。小翅雏蝗、红翅皱膝

蝗和短星翅蝗等物种通常出现在温性草原内,与植物群落生物多样性、植物群落覆盖度和植物高度存在负相关关系。



Anba: 鼓翅皱膝蝗; Anrh: 红翅皱膝蝗; Brmi: 青海痼蝗; Brlu: 白边痼蝗; Caab: 短星翅蝗; Chal: 白纹雏蝗; Chdu: 狭翅雏蝗; Chfa: 小翅雏蝗; Euyu: 永宁异爪蝗; Fiku: 青海短鼻蝗; Lomi: 东亚飞蝗; Mypa: 宽须蚁蝗; Oede: 亚洲小车蝗; Omha: 红腹牧草蝗; Paho: 宽翅曲背蝗。Anba: *Angaracris barabensis*; Anrh: *Angaracris rhodopa*; Brmi: *Bryodema miramae*; Brlu: *B. luctuosum*; Caab: *Calliptamus abbreviatus*; Chal: *Chorthippus albonemus*; Chdu: *Ch. dubius*; Chfa: *Ch. fallax*; Euyu: *Euchorthippus yungningensis*; Fiku: *Filchnerella kukunoris*; Lomi: *Locusta migratoria manilensis*; Mypa: *Myrmeleotettix palpalis*; Oede: *Oedaleus decoratus*; Omha: *Omocestus haemorrhoidalis*; Paho: *Paracyrtus holdereri*.

图2 蝗虫群落不同种群空间聚集强度的主响应曲线

Fig. 2 Principal response curves (PRC) for spatial pattern aggregation intensity of different grasshopper populations in different grassland types

2.3.2 蝗虫空间聚集强度对植物群落的响应

利用冗余分析对不同草地类型下的蝗虫群落空间聚集强度进行排序。结果显示,永宁异爪蝗的聚集强度与植物群落高度正相关。大部分物种,比如白纹雏蝗、短星翅蝗、红腹牧草蝗等种群的聚集强度与植物群落覆盖度和生物多样性呈负相关,相反,东亚飞蝗、小翅雏蝗的聚集强度与植物群落覆盖度和生物多样性呈正相关。宽翅曲背蝗、青海短鼻蝗和亚洲小车蝗的聚集强度与植物群落生物多样性呈正相关(图4)。

3 讨论

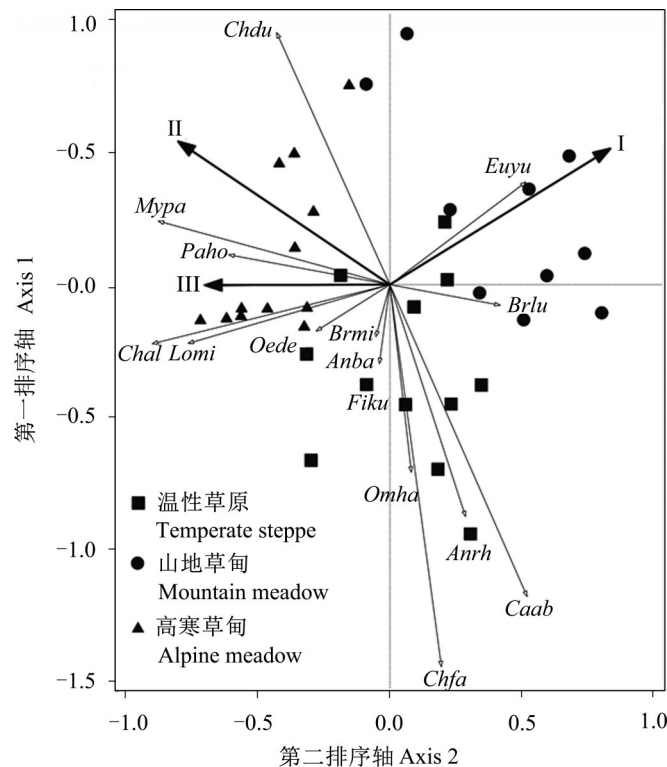
在本研究中共鉴定到蝗虫15种,与内蒙古自治区锡林郭勒盟镶黄旗东部地区典型草原(秦兴虎等, 2015)、祁连山北坡白大坂草原(赵成章等, 2012)研究区发现的蝗虫物种数接近,而低于科尔沁平原丘

陵草甸草原发现的物种数(孙崑等, 2013),高于甘肃省天祝县境内的高山北向坡地莎草科、禾本科、杂类草型草地内的物种数(鲁挺, 2001)。

防治草地蝗虫灾害的关键在于明确不同草地类型中蝗虫群落的优势种和环境指示物种(Bazelet & Samways, 2011; Sun et al., 2015; 赵紫华等, 2020)。本研究结果表明,小翅雏蝗、永宁异爪蝗分别为温性草原和山地草甸的环境指示物种,而宽须蚁蝗和狭翅雏蝗是高寒草甸的环境指示物种。温性草原内,优势种小翅雏蝗与植物群落覆盖度存在负相关关系,说明草地退化为小翅雏蝗大量繁殖提供了理想生境,增加了小翅雏蝗暴发的风险。山地草甸内,永宁异爪蝗栖境环境具有特异性,喜居高大、潮湿的草丛,与网翅蝗亚科中的邱氏异爪蝗具有类似的生活习性(秦兴虎等, 2015)。高寒草甸内,宽须蚁蝗和狭翅雏蝗与植物群落覆盖度和生物多样性呈正相关,

主要原因可能是由于宽须蚁蝗的空间生态位宽度较广,可利用的资源较丰富(秦兴虎等,2015),且蝗蝻发育历期较长(刘长仲和冯光翰,2000),而高寒草甸较高的植物多样性为蝗虫提供了丰富的食物资源。此外,宽须蚁蝗属于槌角蝗亚科,研究发现,槌角蝗亚科中的物种在股骨内侧发育出一条特殊的凸起物,这一结构可以通过摩擦发声,以此快速被同种个体识别,有利于性选择并成功交配产卵(Gottsberger

& Mayer, 2007; Bazelet & Samways, 2011),说明高寒草甸内的植物群落特征有利于宽须蚁蝗的食物选择,同时,生境内的土壤理化性质、气候特性等都有可能成为宽须蚁蝗优先选择的生存环境要素。本研究进一步明确了蝗虫作为草地植物环境特征指示生物的有效性(赵新全和周兴民,1999; Sauberer et al., 2004; Bazelet & Samways, 2011)。



图中植物和蝗虫群落采用7月调查数据。I: 植物群落高度; II: 植被群落覆盖度; III: 植物群落生物多样性。Anba: 鼓翅皱膝蝗; Anrh: 红翅皱膝蝗; Brmi: 青海痂蝗; Brlu: 白边痂蝗; Caab: 短星翅蝗; Chal: 白纹雏蝗; Chdu: 狭翅雏蝗; Chfa: 小翅雏蝗; Euyu: 永宁异爪蝗; Fiku: 青海短鼻蝗; Lomi: 东亚飞蝗; Mypa: 宽须蚁蝗; Oede: 亚洲小车蝗; Omha: 红腹牧草蝗; Paho: 宽翅曲背蝗。The data of plant and grasshopper communities in the figure were sampled in July. I: Plant community height; II: plant community coverage; III: plant community biodiversity. Anba: *Angaracris barabensis*; Anrh: *Angaracris rhodopa*; Brmi: *Bryodema miramae*; Brlu: *B. luctuosum*; Caab: *Calliptamus abbreviatus*; Chal: *Chorthippus albonemus*; Chdu: *Ch. dubius*; Chfa: *Ch. fallax*; Euyu: *Euchorthippus yungningensis*; Fiku: *Filchnerella kukunoris*; Lomi: *Locusta migratoria manilensis*; Mypa: *Myrmeleotettix palpalis*; Oede: *Oedaleus decoratus*; Omha: *Omocestus haemorrhoidalis*; Paho: *Paracyp-tera holdereri*.

图3 不同类型草地中蝗虫群落物种组成与植物群落的冗余分析

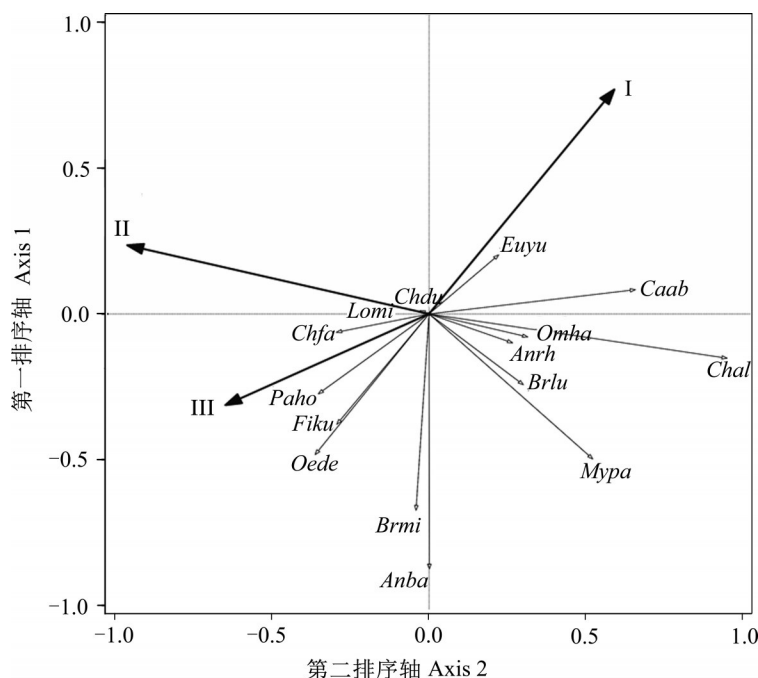
Fig. 3 The redundancy analysis (RDA) of grasshoppers and plant community structures in different types

平均拥挤度是群落或种群空间聚集强度的重要表征,也是聚集指标的计算基础,受到零样方的影响较大(蔡建堤等,2017)。本研究利用聚集指标定量描述蝗虫群落空间格局聚集强度,比较不同种群在不同取样时间和草地类型上的群落斑块组成形式。

调查过程中,当蝗虫交配产卵时,蝗虫主要集中出现在个别样方内,虽然个体数量为零的样方数量较多,但是,交配产卵期的蝗虫一般都处于种群拥挤程度较高的时期(刘长仲和王刚,2003)。主响应曲线分析显示,蝗虫种群空间聚集强度差异明显,其中,东

亚飞蝗的聚集程度非常明显。研究表明,飞蝗有2种形态,即群居型和散居型,Guo et al.(2020)从东亚飞蝗体内分离出30多种化合物,发现其中引起其聚集行为的关键信息素是4-乙烯基苯甲醚(4-vinylanisole),且当少量蝗虫个体聚集时(4~5只),便开始释放该信息素,以此吸引更多的蝗虫聚集,由此推

断,本研究区内蝗虫种群较高的空间聚集强度可能与其释放的4-乙烯基苯甲醚有关,使其由散居型转变为群居型,进而为蝗虫大规模迁飞爆发提供机会。而鼓翅皱膝蝗和青海痂蝗等可能产生较少的4-乙烯基苯甲醚,进而降低其聚集程度,但相关研究还需进一步验证。



I: 植物群落高度; II: 植被群落覆盖度; III: 植物群落生物多样性。Anba: 鼓翅皱膝蝗; Anrh: 红翅皱膝蝗; Brmi: 青海痂蝗; Brlu: 白边痂蝗; Caab: 短星翅蝗; Chal: 白纹雏蝗; Chdu: 狭翅雏蝗; Chfa: 小翅雏蝗; Euyu: 永宁异爪蝗; Fiku: 青海短鼻蝗; Lomi: 东亚飞蝗; Mypa: 宽须蚁蝗; Oede: 亚洲小车蝗; Omha: 红腹牧草蝗; Paho: 宽翅曲背蝗。I: Plant community height; II: plant community coverage; III: plant community biodiversity. Anba: *Angaracris barabensis*; Anrh: *Angaracris rhodopa*; Brmi: *Bryodema miramae*; Brlu: *Bryodema luctuosum*; Caab: *Calliptamus abbreviatus*; Chal: *Chorthippus albonemus*; Chdu: *Chorthippus dubius*; Chfa: *Chorthippus fallax*; Euyu: *Euchorthippus yungningensis*; Fiku: *Filchnerella kukunoris*; Lomi: *Locusta migratoria manilensis*; Mypa: *Myrmeleotettix palpalis*; Oede: *Oedaleus decoratus*; Omha: *Omocestus haemorrhoidalis*; Paho: *Pararcyptera holdereri*.

图4 不同蝗虫种群空间格局聚集强度与植物群落特征的冗余分析

Fig. 4 The redundancy analysis of relationships between grasshopper spatial pattern aggregation intensity and plant community characteristics

不同草地类型中蝗虫群落空间聚集发生的时间并不一致。温性草原内,蝗虫空间聚集强度高出现的时间最早,山地草甸和高寒草甸内蝗虫空间聚集高峰较晚。以往研究证实,草地蝗虫出现聚集分布的强度与蝗虫生物学特性有关。蝗虫在孵化后的低龄发育阶段,尤其是在6月初,1龄蝗蛹大量孵化出土,此时蝗虫空间聚集强度增加,之后,伴随蝗虫体型变大,活动能力增强,开始四处扩散,当蝗虫成

虫交配产卵时,再一次表现为聚集格局(刘长仲和王刚,2003;冯今等,2004;胡靖等,2012)。本研究野外调查统计的蝗虫为大龄蝗蛹和成虫个体,因此,草地蝗虫聚集的目的主要是雌雄成虫交配产卵。

秦兴虎等(2015)认为,植物群落结构不同的草地中,蝗虫种群的时空分化现象非常明显,即不同蝗虫种群在草地上进化得到了各自的时空生态位,由此形成了特异的生态对策。蝗虫空间聚集强度和草

地植物群落环境因素密切相关,本试验发现,小翅雏蝗种群表现出较强的空间聚集格局,该类蝗虫的空间聚集指标与植物群落覆盖度和植物群落生物多样性呈正相关,然而小翅雏蝗发生密度与植物结构表现出负相关关系,这一结果表明高山草地蝗虫群落发生密度和空间分布格局的复杂性。

本研究对祁连山中段北坡高山草地蝗虫群落生物多样性和空间聚集强度进行分析,明确了该区域内3种不同类型草地中蝗虫发生和聚集动态,将为预判蝗虫发生的潜在威胁和监测预警提供理论依据,并为草地管理以及草地生态系统结构功能提供具有重要指导依据。

参 考 文 献 (References)

- Bazelet CS, Samways MJ. 2011. Identifying grasshopper bioindicators for habitat quality assessment of ecological networks. *Ecological Indicators*, 11(5): 1259–1269
- Cai JD, Xu CY, Ma C, Liu Y, Zhuang ZD, Chen J, Shen CC. 2017. Aggregations of the *Solenocera crassicornis* in the sea area northeast of Fujian. *Acta Ecologica Sinica*, 37(6): 1844–1850 (in Chinese) [蔡建堤, 徐春燕, 马超, 刘勇, 庄之栋, 陈洁, 沈长春. 2017. 闽东北海域中华管鞭虾种群聚集特性. *生态学报*, 37(6): 1844–1850]
- Evans EW, Bailey KW. 1993. Sampling grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in Utah grasslands: pan trapping versus sweep sampling. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 66(2): 214–222
- Feng J, Qin DM, Ma LX. 2004. Spatial pattern of grassland locusts and sampling technique. *Acta Prataculturae Sinica*, 13(2): 118–122 (in Chinese) [冯今, 秦冬梅, 马隆喜. 2004. 草原蝗虫空间格局及其抽样技术的研究. *草业学报*, 13(2): 118–122]
- Gansu Province Locust Investigation Cooperation Group. 1985. Iconography of grasshoppers in Gansu Province. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, pp. 1–265 (in Chinese) [甘肃省蝗虫调查协作组. 1985. 甘肃蝗虫图志. 兰州: 甘肃人民出版社, pp. 1–265]
- Gottsberger B, Mayer F. 2007. Behavioral sterility of hybrid males in acoustically communicating grasshoppers (Acrididae, Gomphocerinae). *Journal of Comparative Physiology a Sensory Neural & Behavioral Physiology*, 193(7): 703–714
- Guo XJ, Yu QQ, Chen DF, Wei JN, Yang PC, Yu J, Wang XH, Kang L. 2020. 4-vinylanisole is an aggregation pheromone in locusts. *Nature*, 584: 584–588
- Hu J, He GY, Yin X, Li LP, Chen H, Yan J, Du GZ. 2016. Effect of grazing on soil nematode in alpine meadow on east edge of the Tibetan Plateau and its mechanism. *Acta Pedologica Sinica*, 53(6): 1506–1516 (in Chinese) [胡靖, 何贵勇, 尹鑫, 李兰平, 陈哈, 闫俊, 杜国祯. 2016. 放牧管理对青藏高原东缘高寒草甸土壤线虫的影响. *土壤学报*, 53(6): 1506–1516]
- Hu J, Zhang TW, Liu CZ, Han TH, Dai JC, Chen W, Wang XQ. 2012. Analysis on the population spatial distribution of *Oedaleus decorus asiaticus* by fuzzy cluster method. *Journal of Gansu Agricultural University*, 47(3): 62–66 (in Chinese) [胡靖, 张廷伟, 刘长仲, 韩天虎, 代健聪, 陈威, 王小强. 2012. 基于模糊聚类法的亚洲小车蝗种群空间格局分析. *甘肃农业大学学报*, 47(3): 62–66]
- 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]
- Kemp WP, Harvey SJ, O'Neill KM. 1990. Patterns of vegetation and grasshopper community composition. *Oecologia*, 83(3): 299–308
- Lai JS. 2013. Canoco 5: a new version of an ecological multivariate data ordination program. *Biodiversity Science*, 21(6): 765–768 (in Chinese) [赖江山. 2013. 生态学多元数据排序分析软件Canoco 5介绍. *生物多样性*, 21(6): 765–768]
- Liu CZ, Feng GH. 1999. Studies on the bionomics of *Myrmeleotettix palpalis* (Zubovskiy). *Journal of Plant Protection*, 26(2): 153–156 (in Chinese) [刘长仲, 冯光翰. 1999. 宽须蚁蝗生态学特性研究. *植物保护学报*, 26(2): 153–156]
- Liu CZ, Feng GH. 2000. Investigations of the species and biology of grasshoppers in high mountain grassland in Gansu Province. *Journal of Plant Protection*, 27(1): 42–46 (in Chinese) [刘长仲, 冯光翰. 2000. 高山草原主要蝗虫的生物学特性. *植物保护学报*, 27(1): 42–46]
- Liu CZ, Wang G. 2003. Biological characteristics and spatial distribution of *Chorthippus dubius* on high mountain grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(10): 1729–1731 (in Chinese) [刘长仲, 王刚. 2003. 高山草原狭翅雏蝗的生物学特性及种群空间分布. *应用生态学报*, 14(10): 1729–1731]
- Lloyd M. 1967. Mean crowding. *Journal of Animal Ecology*, 36(1): 1–30
- Lu T. 2001. Studies on composition of grasshopper community in alpine. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 10(3): 60–64 (in Chinese) [鲁挺. 2001. 高山草地蝗虫群落组成研究. *草业学报*, 10(3): 60–64]
- Madeleine S. 2020. A plague of locusts has descended on East Africa. Climate change may be to blame. *Science*, <https://www.national-geographic.com/science/2020/02/locust-plague-climate-science-east-africa/>
- 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]
- Sauberer N, Zülka KP, Abensperg-Traun M, Berg HM, Grabherr G, Mulasowszky N, Moser D, Plutzer C, Pollheimer M, Tröstl R. 2004. Surrogate taxa for biodiversity in agricultural landscapes of eastern Austria. *Biological Conservation*, 117(2): 181–190

- Sun T, Liu ZY, Qin LP, Long RJ. 2015. Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) community composition in the rangeland of the northern slopes of the Qilian mountains in northwestern China. *Journal of Insect Science*, 15(1): 1–7
- Sun T, Long RJ, Liu ZY. 2010. Community composition, temporal dynamics and biological characteristics of grasshoppers on alpine grassland of the Qilian mountains, China. *China Journal of Applied Environment Biology*, 16(4): 550–554 (in Chinese) [孙涛, 龙瑞军, 刘志云. 2010. 祁连山高山草地蝗虫群落组成、发生时间动态及生物学特性. *应用与环境生物学报*, 16(4): 550–554]
- Sun W, Lei CP, Zhang ZT, Dong H, Qian HT, Cong B. 2013. Guild structure of grasshopper communities in hilly meadow steppe of Horqin plain, North China. *Chinese Journal of Ecology*, 32(5): 1269–1276 (in Chinese) [孙嵬, 类成平, 张柱亭, 董辉, 钱海涛, 丛斌. 2013. 科尔沁平原丘陵草甸草原蝗虫群落集团结构. *生态学杂志*, 32(5): 1269–1276]
- Unsicker SB, Franzke A, Specht J, Köhler G, Linz J, Renker C, Stein C, Weisser WW. 2010. Plant species richness in montane grasslands affects the fitness of a generalist grasshopper species. *Ecology*, 91(4): 1083–1091
- van der Plas F, Olff H. 2014. Mesoherbivores affect grasshopper communities in a megaherbivore-dominated South African savannah. *Oecologia*, 175(2): 639–649
- Yin XC. 1984. Grasshoppers and locusts from Qinghai-Xizang Plateau of China. Beijing: Science Press, pp. 1–168 (in Chinese) [印象初. 1984. 青藏高原的蝗虫. 北京: 科学出版社, pp. 1–168]
- 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>]
- Zhao CZ, Li LL, Wang DW, Yin CQ, Sheng YP. 2012. Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe. *Acta Ecologica Sinica*, 32(13): 4166–4172 (in Chinese) [赵成章, 李丽丽, 王大为, 殷翠琴, 盛亚萍. 2012. 黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局. *生态学报*, 32(13): 4166–4172]
- Zhao XQ, Zhou XM. 1999. Ecological basis of alpine meadow ecosystem management in Tibet: Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station. *AMBIO-A Journal of the Human Environment*, 28(8): 642–647 (in Chinese) [赵全新, 周兴民. 1999. 青藏高原高寒草甸生态系统管理的生态学基础: 海北高寒草甸生态系统研究站. *Ambio-人类环境杂志*, 28(8): 642–647]
- Zhao ZH, Tu XB, Zhang ZH, Li ZH. 2020. The alert of population expansion of the desert locust *Schistocerca gregaria* and its risk to enter China. *Journal of Plant Protection*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2020.2020802> (in Chinese) [赵紫华, 涂雄兵, 张泽华, 李志红. 2020. 警惕沙漠蝗种群持续增加和入侵我国边境地区的风险. *植物保护学报*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2020.2020802>]

(责任编辑:王 璇)