

文章编号: 0455-2059(2009)04-0042-06

黑河中上游草原蝗虫生态分布与生境的关系

赵成章, 周 伟, 王科明, 董小刚

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 以黑河中上游天然草地为例, 采用野外调查和定量分析方法, 研究了不同草地蝗虫组成、生态种组分布及其与生境的相关关系. 结果表明: 黑河中上游天然草地的地形、气候条件和土壤、植被组成具有明显异质性; 连续 4 年野外采集蝗虫 38 种, 隶属于 3 科 11 属, 32 个多布种蝗虫在相关性系数 0.50 处, 聚为 8 个生态种组. 蝗虫具有极为广泛的生态适应性, 同时草原区的生境决定着蝗虫的地理分布格局, 研究区蝗虫主要分布在海拔 2 000~3 000 m 的祁连山地. 温度因子是蝗虫种属组成的促进因子, 其他因子为抑制因子; 温度与降水量是蝗虫密度的促进因子; 极端最低温与蝗虫种属组成存在极显著关系, 与蝗虫密度存在显著关系.

关键词: 草原蝗虫; 生境; 生态分布; 黑河中上游**中图分类号:** S812**文献标识码:** A

Relationship between ecological distribution of grasshoppers and their habitats in the middle and upper reaches of Heihe River

ZHAO Cheng-zhang, ZHOU Wei, WANG Ke-ming, DONG Xiao-gang

(College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: By using field investigation and quantitative analysis, we studied the correlation between grasshopper composition, ecological species groups and habitat in different grassland of the middle and upper reaches of Heihe River. The results indicate that terrain, climate condition, soil and vegetation composition had significant heterogeneity in the middle and upper reaches of Heihe River. A total of 38 grasshopper species belonging to 11 genera and 3 families were captured during continuous four years, 32 more area-distributed grasshopper species were classified as 8 ecological species groups when the correlation coefficient was 0.5. Grasshoppers have very widely ecological adaption, meanwhile grassland habitat determines the geographical distribution patterns of grasshoppers. Grasshoppers in the researched region are mainly distributed at the altitude range of 2~3 kilometers of Qilian Mountains. Temperature factors are promoting factors to grasshopper species composition, while other factors are inhibitors. Temperature and precipitation are promoting factors to grasshopper density. The correlation between extreme minimum temperature and grasshopper species composition was very significant, and there existed a significant correlation with grasshopper density.

Key words: grasshopper; habitat; ecological distribution; middle and upper reaches of Heihe River

生态分布是蝗虫在一定的(局部的)地理分布范围内, 对生存生境的选择和适应的特性以及内部组成的相互关系^[1]. 蝗虫生态分布不但与环境演变和人类活动具有密切联系, 而且严重地影响

着人民的生产、生活甚至生存. 国内外学者在蝗虫发生与生态环境因子间的相互关系^[2-5], 不同生境蝗虫生态分布规律^[6], 蝗虫的地理分布、空间格局和区系^[7-10], 蝗虫群落多样性与地貌类型的关

收稿日期: 2008-12-15; **修回日期:** 2009-04-03**基金项目:** “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD46B07); 西北师范大学知识与科技创新工程项目(NWNU-KJCXGC-03-20, NWNU-KJCXGC-03-46)**作者简介:** 赵成章(1967-), 男, 甘肃武威人, 博士, 副教授, e-mail: zhaocz@nwnu.edu.cn, 研究方向为恢复生态学与生态经济.

系^[1],蝗虫种群动态及时空异质性^[2]等方面开展了广泛研究.但是典型内陆河流域天然草地蝗虫的发生学规律、生态分布特征与环境的关系研究相对薄弱.调查研究蝗虫生态分布与环境因子的相关性,探讨其中的可能规律,对草原生态灾害控制和农牧业生产安全具有重要的理论和实践意义.本文在野外调查的基础上,研究黑河上中游地区天然草地蝗虫的生态分布特征与环境因素的关系.

1 研究方法

1.1 研究区域概况

黑河流域是中国西北干旱区第二大内陆河流域(38°~42°N, 98°~101°E),面积约13×10⁴ km².研究区域位于黑河上中游的祁连山地和河西走廊中段,属典型的大陆性气候.黑河中上游的天然草地分布于海拔1300~4100 m的祁连山区和祁连山与龙首山、合黎山之间的山前倾斜平原,是西北地区草原蝗虫的主要发生区,周期性的蝗灾常常造成严重的生态经济损失.

1.2 蝗虫分布区与种类调查

2004~2007年5~9月,在文献研究基础上^[13-14],野外调查了黑河中上游11个草地类的蝗虫生态分

布特征,调查草地为:沼泽草地类(I)、低湿地草甸草地类(II)、干荒漠草地类(III)、山地荒漠草地类(IV)、草原化荒漠草地类(V)、荒漠化草原草地类(VI)、山地草原草地类(VII)、山地草甸草原草地类(VIII)、山地草甸草地类(IX)、高寒草原草地类(X)、高寒草甸草地类(XI).根据地形地貌在每种草地设置5个面积50 hm²的样地,在每个样地测量草地群落的盖度、高度、地上生物量和主要植物的生物学特征,用1/4 m²无底样方框做样方20个,分种类计数虫口密度.在每个样地设置1 km样带2条,用捕虫网(网径3 cm)扫网,分种类记录扫捕的蝗虫个数,不能当场鉴定的蝗虫投入毒瓶,带回室内进一步鉴定、记录.

1.3 不同草地类型气候因子提取

以研究区域内高台、临泽、张掖、肃南、祁连、野牛沟、托勒7个气象站1960~2007年的气象资料为依据(资料来源于国家气象中心),采用梯度距离平方反比法^[15-16]进行空间插值获得11个草地类型的降水和温度等气候因子(表1).

实验数据采用SPSS 13.0和Excel进行聚类和相关性分析.

表1 黑河中上游各类天然草地的环境因子

Tab. 1 Environmental factors of natural grassland in middle and upper reaches of Heihe River

| 草地类型 | 海拔/m | 年均气温/°C | 极端最高温/°C | 极端最低温/°C | ≥0°C积温/°C | 年均降水量/mm | 盖度/% | 草本植物高度/cm | w(有机物质)/% | 鲜草产量/(kg·hm ⁻²) |
|------|------|---------|----------|----------|-----------|----------|------|-----------|-----------|-----------------------------|
| I | 1300 | 8.00 | 35.0 | -30.0 | 3768.0 | 275.0 | 80.0 | 96.0 | 1.75 | 3750.0 |
| II | 1400 | 7.80 | 38.1 | -30.2 | 3764.2 | 87.0 | 45.0 | 34.5 | 1.50 | 1341.0 |
| III | 1500 | 7.80 | 41.0 | -31.0 | 3760.0 | 152.8 | 17.9 | 10.0 | 0.50 | 567.0 |
| IV | 1800 | 6.00 | 37.5 | -28.5 | 3100.0 | 173.1 | 35.0 | 50.0 | 0.62 | 1057.0 |
| V | 1900 | 5.00 | 33.0 | -29.0 | 2800.0 | 222.0 | 37.0 | 45.0 | 0.90 | 870.0 |
| VI | 2500 | 4.00 | 32.4 | -27.6 | 2550.0 | 253.7 | 47.0 | 40.0 | 1.50 | 858.0 |
| VII | 2600 | 4.00 | 30.0 | -28.0 | 1750.0 | 325.0 | 68.0 | 31.0 | 3.72 | 1093.5 |
| VIII | 2950 | 1.00 | 32.4 | -29.0 | 1500.0 | 410.0 | 88.0 | 30.0 | 9.39 | 1425.0 |
| IX | 3400 | -1.75 | 27.0 | -36.0 | 1300.0 | 450.0 | 96.0 | 20.0 | 14.60 | 2208.0 |
| X | 3450 | -1.75 | 28.0 | -36.3 | 1200.0 | 252.2 | 53.0 | 48.0 | 6.16 | 510.0 |
| XI | 3900 | -5.00 | 20.0 | -36.5 | 1000.0 | 515.0 | 50.0 | 11.0 | 12.14 | 1228.5 |

2 结果与分析

2.1 黑河中上游天然草地的主要环境特征

不同草地分布区的气温差异明显(表1),年均温在-5.0~8.0°C,极端最高温在20~41°C,极端最低温在-36.5~-27.6°C.受地形和大气环流的影响,黑河中上游的降水量在祁连山中部、西部和不同海拔梯度以及河西走廊不同地貌单元间分布不均匀,导致了天然草地之间年均降水量波动在87~515 mm,其中4种草地分布区的年均降水量低于250 mm.

研究区域地处于旱半干旱地区,天然草地生

产力低,草层高10~96 cm,植被盖度17.9%~96.0%.位于祁连山中山区的山地草甸草地植被盖度达96%,位于走廊山前倾斜平原和冲击低洼地的低湿地草甸草地和沼泽草地草层高度比较高,位于河西走廊绿洲外的干荒漠草地高度和盖度均处于较低水平(表1).随着海拔梯度变化,各类草地主要植物的功能群组成由走廊平原区中湿生根茎丛生隐域植被、早生超早生耐盐植物,过渡到祁连山浅山区的早生小半灌木、早生草本,到祁连山中高山区的早生多年生草本、湿中生灌木、寒旱生多年生丛生禾草本和湿生湿中生草本.

2.2 黑河中上游草地蝗虫的生态分布特征

共采集到蝗虫38种,隶属3科11属(图1)。祁连山浅山区-中山区的蝗虫的种类和密度处于较高水平,祁连山高山区的高寒草原和高寒草甸以及走廊平原的冲击洼地的沼泽草地的蝗虫种类贫

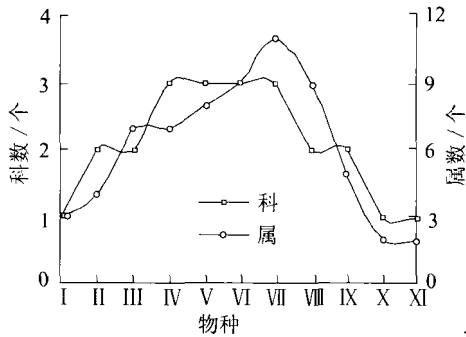


图1 不同草地蝗虫种类组成和密度比较

Fig. 1 Species composition and density of grasshopper community in different grassland

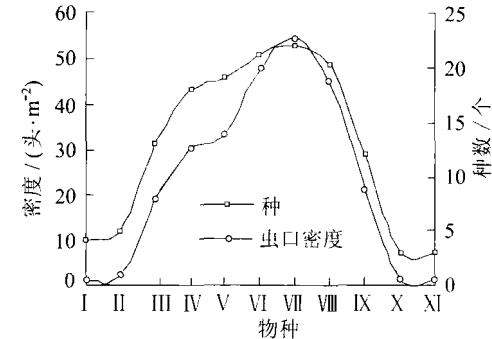
2.3 蝗虫的生态分布特征分析

2.3.1 多布种蝗虫的种组聚类特征

采用类平均聚类法,经过反复优化后,在相关性系数为0.5处将黑河中上游天然草地32种多布种蝗虫分为8个种组(图2)。各种组蝗虫的物种分布组成及其生态学特性如下:

第1组:包括两个小组。1a组包括鼓翅皱膝蝗(*Angaracris barabensis*)、毛足棒角蝗(*Dasyhippus barbipes*)、黄胫小车蝗(*Oedaleus infernalis*)、黑条小车蝗(*Oedaleus decorus*)、红翅皱膝蝗(*Angaracris rhodopa*)、黑翅皱膝蝗(*Angaracris nigroptera*)、祁连山痂蝗(*Bryodema qilianshanensis*)、轮纹痂蝗(*Bryodema tuberculatum*)、青海痂蝗(*Bryodema miramae*)。分布在海拔1600~2000 m的祁连山低山丘陵、冲洪积平原顶部的山地荒漠、草原化荒漠和祁连山地森林带的荒漠化草原、山地草原、山地草甸草原,植被以旱生、多年生禾草为主。后5种蝗虫在3000~3800 m的祁连山亚高山地带的山地草甸、高寒草原亦有分布,植被为湿中生灌木、寒旱生多年生丛生禾草。该组蝗虫体型差别大,皱膝蝗、小车蝗体中等,毛足棒角蝗体小型,痂蝗体粗大。生活型上分别属于地栖型、禾栖型和草栖型,早晚发生种均有。皱膝蝗主要取食菊科植物,退化草场是其最理想生境,毛足棒角蝗和小车蝗属中生类群,喜食羊草、冰草等,喜选含水量低的土壤产卵。1b组包括黑腿星翅蝗(*Calliptamus barbarus*)、意大利蝗(*Calliptamus italicus*)、裴氏短鼻蝗(*Filchnerella beicki*)、青海短鼻蝗(*Filchnerella kukunoris*)、亚洲小车蝗(*Oedaleus decoratus*)、祁连山短鼻蝗

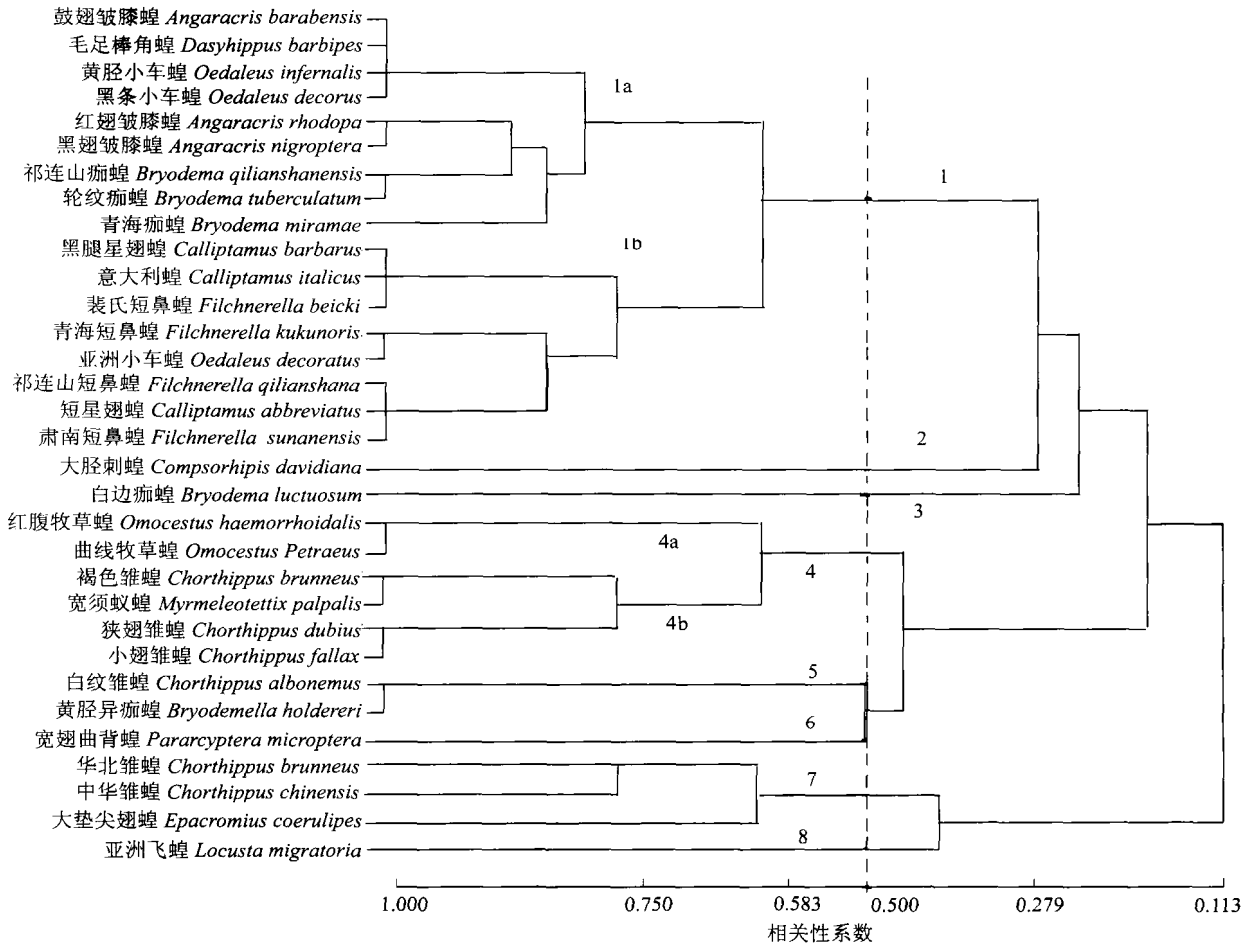
(*Filchnerella qilianshana*)、短星翅蝗(*Calliptamus abbreviatus*)、肃南短鼻蝗(*Filchnerella sunanensis*) 8种蝗虫。分布在山地荒漠、草原化荒漠、荒漠化草原、山地草原、干荒漠。喜食禾草和蒿属等杂类草,喜栖植被稀疏、土质板结、向阳温暖、湿度大的环境中,选择温暖湿润地面板结的场所产卵。生活型上亚洲小车蝗和短星翅蝗属地栖型,意大利蝗属禾栖型、短鼻蝗为草栖型。



第2组包括大胫刺蝗(*Compsorhhipis davidiana*)一种,分布在海拔1300~1700 m走廊平原的干荒漠和2000~3000 m的祁连山荒漠化草原区。分布区干旱缺水,植被稀疏,以旱生、超旱生及耐盐植物为主。大胫刺蝗体中型粗大,体色多灰黑或黄褐色,属旱生类群,为晚发生种,是荒漠地区的重要牧草害虫。

第3组包括白边痂蝗(*Bryodema luctuosum*)一种,广泛分布于海拔2000~4100 m的山前倾斜平原、中低山丘陵和祁连山中高山区的荒漠草原、山地草原、高寒草原和高寒草甸草地区。白边痂蝗体型较大、笨拙,体色通常为暗褐色,主要危害冷蒿、羊草、针茅、赖草和小旋花等。属于早发生种,喜欢选择植被稀疏、地表光硬的场所大量产卵。

第4组包括6种蝗虫。4a组的红腹牧草蝗(*Omocestus haemorrhoidalis*)、曲线牧草蝗(*Omocestus Petraeus*)分布于祁连山2800~3000 m的山地草甸草原,一般在6月上旬孵化,为中发生种,主要取食禾本科草类。4b组的褐色雏蝗(*Chorthippus brunneus*)、宽须蚁蝗(*Myrmeleotettix palpalis*)、狭翅雏蝗(*Chorthippus dubius*)和小翅雏蝗(*Chorthippus*



虚线表示分组所选相关性系数处, 1-8, 1a, 1b, 4a, 4b 表示分组情况

图 2 黑河中上游草地蝗虫多布种生态分布关系聚类图

Fig. 2 Dendrogram of more-area-distributed grasshopper species in middle and upper reaches of Heihe River

fallax) 主要分布在祁连山 2800~3800 m 的山地草原、山地草甸草原、山地草甸区和高寒草原。该类蝗虫体型比较小, 体褐色、黄褐色或绿褐色, 以取食禾草为主, 在退化草原常常形成灾害, 对牧业危害最大, 属于中-晚发生种。

第 5 组包括白纹雏蝗(*Chorthippus albonemus*) 和黄胫异痂蝗(*Bryodemella holdereri*), 分布在 2450~3000 m 的山地草原和山地草甸草地。主要危害冷蒿、针茅、赖草和小旋花等。生活史长, 早晚发生种均有, 生活型分别属植栖型和地栖型。

第 6 组只有宽翅曲背蝗(*Pararcyptera microptera*) 一种, 在海拔 1700~3800 m 的草原化荒漠、山地草原、山地草甸草原和高寒草原均有分布。体中型粗壮, 体褐色或黄褐色, 主要危害禾本科牧草, 有时也侵入农田, 个别年份单独发生危害成灾, 5 月上旬开始孵化, 属于早发生种。

第 7 组包括华北雏蝗(*Chorthippus brunneus*)、中华雏蝗(*Chorthippus chinensis*) 和大垫尖翅蝗(*Epacromius coerulipes*) 3 种蝗虫, 体中小型, 体褐

绿色、褐色或暗褐色, 分布在海拔 1300~1500 m 黑河沿岸泉水露出地带的洼地和地下水位高的低湿地草甸区。该组蝗虫生活型为植栖型, 属于湿生类群, 喜食禾本科牧草, 也常危害豆类及苜蓿等作物, 是河、湖沿岸湿地及盐碱荒地的重要害虫。

第 8 组只有亚洲飞蝗(*Locusta migratoria*) 一种, 体型较大, 体绿色或黄褐色, 主要以禾本科和莎草科牧草为食, 也喜食玉米、大麦、小麦等农作物。分布在海拔 1300~2000 m 的低湿地草甸、山地荒漠和草原化荒漠区。最早于 5 月开始孵化, 属早发生种。亚洲飞蝗如遇早秋寒, 成虫性成熟迟, 导致雌虫来不及产卵即死亡^[1]。

2.3.2 独布种蝗虫生态分布特征

本类蝗虫有 6 种。细距蝗(*Leptopternis gracilis*) 分布在海拔 1300~1700 m 的干荒漠草地, 体中型, 细瘦, 体黄褐色, 栖居生活在沙丘、沙地或砂砾上, 属早生类群。长翅突颜蝗(*Eotmethis longipennis*) 分布在海拔 1300~1500 m 的低湿地草甸草地, 体中型, 体黄褐色或褐色, 取食耐盐植物为主。笨蝗

(*Haplotropis brunneriana*)分布在海拔2000~3000 m的荒漠化草原草地,属杂食性蝗虫,以取食蒿草和百合科植物为主。笨蝗在温度适宜的情况下,喜欢在土质干燥、阳光充足的地方活动,动作迟缓,一般在5月下旬开始孵化,喜欢在向阳山坡田埂上产卵。友谊华赖蝗(*Sinotmethis amicus*)、甘肃疙蝗(*Pseudotmethis gansuensis*)均分布在干荒漠草地,体中大型,表面稍粗糙,体灰褐色或黄褐色。贺兰疙蝗(*Pseudotmethis alashanicus*)分布在荒漠化草原草地,体中型,粗壮,体表粗糙。喜食禾草、菊科和百合科的植物。

2.4 蝗虫分布特征与环境要素的关系

选择年均温、年均降水量、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、极端最高温、极端最低温、有机质含量、草本高度、盖度和鲜草产量9个环境因素指标,与蝗虫的生态分

布特征进行了相关性分析。

2.4.1 蝗虫种属组成与环境因素的关系

各种环境因子与蝗虫的科属种组成之间存在复杂的相关关系,且多数相关性不显著(表2)。各种温度因子与蝗虫种属组成之间存在正相关关系,其中极端最低温与蝗虫群落种属组成存在极显著关系($R=0.706, 0.761, P<0.01$)。年均降水量、有机质含量、草本植物高度、盖度和鲜草产量与种属组成呈不显著负相关。

2.4.2 蝗虫密度与环境因素的关系

草地蝗虫密度与年均温、年均降水量、极端最高温和最低温之间存在正相关关系(表2),只有蝗虫密度与极端最低温间相关性显著($R=0.665, P<0.05$)。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、有机物质含量、草本高度、草本盖度和鲜草产量与虫口密度呈不显著负相关。

表2 环境因素与蝗虫生态分布相关性系数

Tab. 2 Correlation coefficient between grasshopper distribution and environmental factors

| 类型 | 年均气温/ $^{\circ}\text{C}$ | 年均降水量/mm | $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温/ $^{\circ}\text{C}$ | 极端最高温/ $^{\circ}\text{C}$ | 极端最低温/ $^{\circ}\text{C}$ | w(有机质)/% | 草本植物高度/cm | 盖度/% | 鲜草产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) |
|----|--------------------------|----------|---|---------------------------|---------------------------|----------|-----------|--------|---|
| 属 | 0.326 | -0.089 | 0.084 | 0.311 | 0.761 | -0.299 | -0.19 | -0.369 | -0.309 |
| 种 | 0.230 | -0.028 | 0.012 | 0.244 | 0.706 | -0.230 | -0.174 | -0.366 | -0.32 |
| 密度 | 0.124 | 0.090 | -0.120 | 0.114 | 0.665 | -0.137 | -0.187 | -0.267 | -0.297 |

3 结论与讨论

本研究中共观测到蝗虫38种,多布种占84%,其中祁连山痲蝗、轮纹痲蝗和青海痲蝗等蝗虫的分布区跨越了8种草地,从海拔1300 m的干荒漠到海拔3800 m的高寒草原均有发现。许多同种组的蝗虫表现出不同的生物学特性,它们虽然属于同一生态种组,但在发生学上分属不同的科、属、种,在食性、栖息型、发生时间方面差别较大,这就形成了在生态需求上相同或相似的生态种组,在生境选择上表现出分化与重叠现象。这一结果与康乐等关于草地蝗虫营养生态位和直翅目昆虫生态分布规律的研究结果相似^[17-18]。

草原蝗虫的栖境选择与气候、栖境结构和植物群落季相有关。黑河流域蝗虫每年只能完成一个世代交替,一个完整的生活史需要75~90 d。牧草生长期是决定蝗虫生态分布的重要条件之一,显然适宜的温度能够保障牧草生活史的完整,冬季低温对蝗虫越冬卵不利,极端低温影响蝗卵的成活率,因而各项温度因子是研究区域蝗虫种属组成的促进因子(表2)。由于蝗虫一般栖息生活在地表干燥贫瘠,植被盖度和高度较低的草地上,高温、低湿、植被稀疏的环境将有利于蝗虫的生长,

因而年均降水量、草层高度、植被盖度、可食鲜草产量、有机物质含量成为蝗虫种类组成的抑制因子(表2)。研究区域深居西北内陆干旱区,水资源供给不足是制约草地生产能力的瓶颈^[19-20],而牧草的繁茂生长是蝗虫高密度爆发的前提,高温多雨的环境条件能够提供给蝗虫有效资源的栖境。因此,各项温度因子和年降水量是蝗虫密度的促进因子,其他环境因子为抑制因子。

蝗虫的地理分布格局是与生存环境协同进化的结果^[6]。黑河上游的草原蝗虫虽然具有多样性生态分布特征,受流域水热资源配置格局的影响,在垂直梯度上仍然呈现出“纺锤形”的地域性聚集分布规律(图3)。84%和68%的蝗虫种属的分布区和高密度发生区位于海拔2000~3000 m的荒漠化草原和干旱草区,该区光照充足、冬季积雪相对较厚、春季地温回升较快,有利于蝗卵孵化和蝗蛹繁育,较高的牧草生产水平为蝗虫的发生发育提供了物质基础。一些独布种蝗虫以较小密度分布在生境严酷的高寒区和河西走廊(图3),其中海拔3000 m以上高寒草原地势较高、气温较低、湿度较大,不利于蝗卵越冬和蝗虫生长发育,蝗虫种类少、虫口密度低。而海拔1500 m以下的走廊平

原低洼地,牧草种类单一,并以蝗虫不喜食的耐盐植物为主,蝗虫密度低。上述规律与近2000多年以来黑河中上游草原区蝗虫灾害发生记录吻

合^[21]。因此,黑河中上游的祁连山浅山、中山区是草原蝗虫分布的核心区,也是研究蝗虫响应全球变化问题的理想区域。

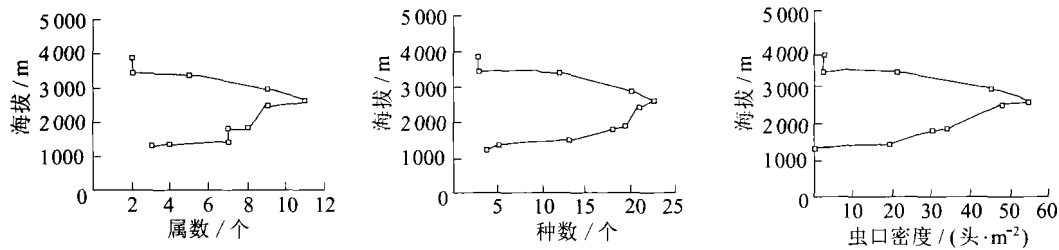


图3 黑河中上游垂直梯度蝗虫的生态分布规律

Fig. 3 Grasshopper ecological distribution law on the vertical gradient of middle and upper reaches of Heihe River

参 考 文 献

- [1] 马耀,李鸿昌,康乐. 内蒙古草地昆虫[M]. 杨凌: 天则出版社, 1991: 271-288.
- [2] TUCKER C J. The potential of satellite remote sensing of ecological condition for survey and forecasting desert-locust activity[J]. *Int J Remote Sensing*, 1985, 6(1): 127-138.
- [3] ALEXANDRE V L. Environmental factors governing population dynamics of rangeland grasshoppers in east Siberia: a novel approach using GIS and remote sensing[D]. Laramie: University of Wyoming, 1996.
- [4] 倪绍祥, 巩爱歧, 王薇娟. 环青海湖地区草地蝗虫发生的生态环境条件分析[J]. *农村生态环境*, 2000, 16(1): 5-8.
- [5] 张洪亮, 倪绍祥, 邓自旺, 等. GIS支持下青海湖地区草地蝗虫发生与月均温的相关性[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 837-840.
- [6] 刘奎, 鲁挺. 高山草原不同生境蝗虫生态分布规律研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2000, 35(2): 132-141.
- [7] 许升全, 郑哲民, 李后魂. 宁夏蝗虫地理分布格局的聚类分析[J]. *动物学研究*, 2004, 25(2): 96-104.
- [8] 白义, 许升全, 邓素芳. 陕西蝗虫地理分布格局的聚类分析[J]. *动物分类学报*, 2006, 31(1): 18-24.
- [9] 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.
- [10] 孙晓玲, 任炳忠, 赵卓, 等. 东北地区不同生境内蝗虫区系的比较[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(3): 286-289.
- [11] 巩爱歧, 王薇娟, 倪绍祥, 等. 青海湖环湖区蝗虫与地貌类型关系的研究[J]. *南京师范大学学报: 自然科学版*, 1999, 22(4): 111-115.
- [12] 康乐, 陈永林. 草原蝗虫时空异质性的研究[M]//草原生态系统研究: 第四集. 北京: 科学出版社, 1992: 109-123.
- [13] 甘肃省蝗虫调查协作组. 甘肃蝗虫图志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1985.
- [14] 柴来智, 张和平, 李瑜年. 甘肃省张掖地区草地资源[J]. *中国草业科学*, 1988, 12(专辑): 49-87.
- [15] 封志明, 杨艳昭, 丁晓强, 等. 气象要素空间插值方法优化[J]. *地理研究*, 2004, 23(3): 357-364.
- [16] 鲁振宇, 杨太保, 郭万钦. 降水空间插值方法应用研究——以黄河源区为例[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2006, 42(4): 11-14.
- [17] 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.
- [18] 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与地理环境类型关系的研究[J]. *植物生态学与地植物学报*, 1989, 13(4): 341-349.
- [19] 刘勇, 邹松兵. 祁连山地区高分辨率气温降水量分布模型[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2006, 42(1): 7-12.
- [20] 李文龙, 张彦宇, 李自珍, 等. 高寒草地植物生态位适宜度与生产力和多样性的关系及其对放牧的响应[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2007, 43(2): 53-56.
- [21] 甘肃省草原总站. 甘肃草地蝗虫[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997: 1-11.