

# 新疆草原马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型 及其与微地形的关系



陈毅君<sup>1</sup> 腾 达<sup>1</sup> 范 毅<sup>2</sup> 加马力丁·吾拉扎汗<sup>2</sup> 阿依多斯·托力肯努尔<sup>1</sup>  
穆拉迪力·玉荪<sup>1</sup> 邓 桃<sup>1</sup> 任金龙<sup>1\*</sup> 赵 莉<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安全防控重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆伊犁哈萨克自治州治蝗灭鼠指挥中心, 伊宁 835000)

**摘要:** 为明确新疆草原的重要害虫马铃薯鳃金龟 *Amphimallon solstitiale* (L.) 在不同微地形的分布特征, 采用棋盘式取样法在伊犁草原不同微地形区域进行取样, 统计其中的马铃薯鳃金龟幼虫数量, 利用 9 种聚集度指标(扩散系数  $C$ 、丛生系数  $I$ 、扩散型指数  $I_s$ 、负二项分布  $K$  值、久野指数  $C_A$ 、平均拥挤度  $m^*$ 、聚块性指数  $m^*/m$ 、 $L_a$  指标和  $Z$  指标) 和 2 种回归模型(Iwao  $m^*-m$  回归模型和 Taylor 幂法则模型) 分析幼虫的空间分布类型, 通过聚集均数  $\lambda$  分析其聚集原因, 并利用 Iwao 理论抽样数模型和 Kuno 序贯抽样模型提出抽样调查技术。结果显示: 马铃薯鳃金龟幼虫的平均虫口密度随着伊犁草原地势的升高而降低, 且 9 种聚集度指标和 Taylor 幂法则模型均表明马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型属于聚集分布。微地形对聚集度指标表征的聚集程度和 Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合结果存在影响, 其中  $C$ 、 $I$ 、 $m^*$ 、 $L_a$  和  $Z$  显示马铃薯鳃金龟幼虫聚集程度均随地势的升高而逐渐降低,  $K$ 、 $C_A$ 、 $m^*/m$  和  $I_s$  显示幼虫聚集程度均随地势的升高呈先升高后降低的趋势; 位于平地和坡麓的马铃薯鳃金龟幼虫经 Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合呈均匀分布。由  $\lambda$  值可知马铃薯鳃金龟幼虫在 4 种微地形的聚集行为均由外部因素导致。基于马铃薯鳃金龟幼虫数量建立了 Iwao 理论抽样数模型和 Kuno 序贯抽样模型并得到理论抽样数和临界累计虫量, 当允许误差为 0.2 时, 平均虫口密度为 6 头/0.09 m<sup>2</sup> 的理论抽样数为 49 个样方; 在允许误差为 0.2 时调查 40 个样方, 临界累计虫量为 33.22 头。表明马铃薯鳃金龟幼虫在伊犁草原的空间分布型为聚集分布, 微地形会影响其发生密度, 但并不影响其空间分布类型。

**关键词:** 马铃薯鳃金龟; 草原; 空间分布型; 抽样技术; 聚集分布; 地势

## Relationship between microtopography and spatial distribution patterns of summer chafer *Amphimallon solstitiale* (L.) in Xinjiang grasslands

Chen Yijun<sup>1</sup> Teng Da<sup>1</sup> Fan Yi<sup>2</sup> Wulazaha Jiamalidin<sup>2</sup> Tuolikenur Ayiduo<sup>1</sup> Yusun Muradil<sup>1</sup>  
Deng Tao<sup>1</sup> Ren Jinlong<sup>1\*</sup> Zhao Li<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Pest Monitoring and Safety Control on Crops and Forest, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Locust and Rodent Control Center of Ili Kazak Autonomous Prefecture, Yining 835000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

**Abstract:** To clarify the spatial distribution pattern of the significant pest summer chafer *Amphimallon solstitiale* (L.) in different microtopographies of the Xinjiang grasslands, the checkerboard sampling method was employed to sample different microtopographic regions of the Yili grasslands. The number

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1401102-5)

\* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: rjlinsect@163.com, xjkcjys@163.com

收稿日期: 2024-07-19

of *A. solstitiale* larvae was recorded, and their spatial distribution patterns were analyzed by using nine aggregation indices (the diffusion coefficient  $C$ , clumping index  $I$ , diffusivity index  $I_\delta$ , negative binomial distribution index  $K$ , Cassie index  $C_A$ , mean crowding  $m^*$ , patchiness index  $m^*/m$ ,  $L_\alpha$  index, and  $Z$  index) along with two regression models (the Iwao  $m^*-m$  regression model and Taylor's power law). The cause of aggregation was analyzed using the aggregation mean  $\lambda$ , and a sampling technique was established based on Iwao's theoretical sampling number model and Kuno sequential sampling model. The results showed that the population density of *A. solstitiale* larvae diminished as the elevation increased in the Yili grasslands. Nine aggregation indexes and Taylor's power law suggested that *A. solstitiale* larvae followed an aggregated distribution pattern. Microtopography influenced the level of aggregation represented by aggregation indices and Iwao  $m^*-m$  regression model; for example, the degree of aggregation for five aggregation indices ( $C$ ,  $I$ ,  $m^*$ ,  $L_\alpha$  and  $Z$ ) tended to decrease as the elevation increased. In contrast, the four aggregation indices,  $K$ ,  $C_A$ ,  $m^*/m$ , and  $I_\delta$ , showed that the degree of aggregation of the larvae initially rose and then fell with rising elevation. Larvae in the plains and toe slopes showed a uniform distribution pattern according to the Iwao  $m^*-m$  regression model. The aggregation mean  $\lambda$  indicated that the aggregation behavior of *A. solstitiale* larvae in the four microtopographies was caused by external factors. Based on the number of *A. solstitiale* larvae, Iwao's theoretical sampling number model and Kuno's sequential sampling model were established to obtain the theoretical sampling number and the critical cumulative number of larvae. When the permissible error  $D$  was 0.2 and the population density was 6 larvae/0.09 m<sup>2</sup>, the theoretical sampling number was 49 sample squares; when the permissible error  $D$  was 0.2 and 40 sample squares were investigated, the critical cumulative population was 33.22 larvae. The findings indicated that the spatial distribution type of *A. solstitiale* larvae in Yili grasslands followed an aggregated distribution pattern. While microtopography influenced population density, it did not alter the spatial distribution pattern.

**Key words:** *Amphimallon solstitiale* (L.); grassland; spatial distribution pattern; sampling technique; aggregation distribution; terrain

马铃薯鳃金龟 *Amphimallon solstitiale* (L.) 隶属于鞘翅目金龟总科鳃金龟亚科(张芝利, 1984; Koçcaevik et al., 2015; Boyes et al., 2024), 在国外分布于欧洲和中亚地区, 在我国则主要分布于新疆、青海以及内蒙古等省区(张芝利, 1984; Tolasch et al., 2003; Niyazova, 2021)。马铃薯鳃金龟是草原重要的地下害虫之一(Bıryol et al., 2020; Sajnaga et al., 2022)。该虫首次于2005年在新疆维吾尔自治区(简称新疆)伊犁哈萨克自治州(简称伊犁)特克斯县山地草原暴发成灾, 受灾面积达到533 km<sup>2</sup>(张泉等, 2007); 到2021年, 伊犁草原地下害虫为害面积达到792.7 km<sup>2</sup>(郭继敏等, 2021)。马铃薯鳃金龟幼虫多取食牧草根部, 为害严重时造成大片牧草枯死, 历时数年难以恢复, 使当地的畜牧生产损失严重(银建民和李桂花, 1989)。

空间分布型是指昆虫种群在田间的分布形式, 研究种群的空间分布型有助于设计相应的抽样技术, 这对于昆虫种群的有效管理具有重要意义(刘长

仲, 2016)。常用的昆虫种群空间分布型研究方法有频次分布法、聚集度指标和回归模型3种(丁岩钦, 1994)。由于频次分布法损失的信息较多, 因此近几十年来多使用聚集度指标法, 并结合回归模型来研究昆虫种群的空间分布型(丁岩钦, 1994)。常用的聚集度指标有扩散系数 $C$ 、丛生系数 $I$ 和负二项分布系数 $K$ 等9种; 常用的回归模型有Iwao  $m^*-m$ 模型和Taylor幂法则模型2种(王伟等, 2016; 阎雄飞等, 2019)。目前, 利用这些方法已对多种鳃金龟的空间分布型进行了研究报道, 如大栗鳃金龟 *Melolontha hippocastani* Fabricius(马艳芳等, 2009)、暗黑齿爪鳃金龟 *Holotrichia parallela* Motschulsky(刘旭等, 1994)、灰胸秃鳃金龟 *Hoplosternus incanus* Motschulsky(曹秀文等, 1995)和马铃薯鳃金龟(刘新民和郭砾, 2004)等。尽管刘新民和郭砾(2004)采用扩散系数 $C$ 、丛生系数 $I$ 、负二项分布 $K$ 值、久野指数 $C_A$ 、平均拥挤度 $m^*$ 和聚块性指数 $m^*/m$ 研究发现马铃薯鳃金龟在内蒙古草原呈较低程度的聚集分布, 但其他

金龟对马铃薯鳃金龟的分布存在一定影响,不能很好地反映马铃薯鳃金龟作为地下害虫唯一优势种时的分布特点。本研究拟采用上述9种聚集度指标和2种回归模型对伊犁草原马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型进行分析。

微地形通过地表起伏等形态的变化使光、热、土壤、水分及各类营养物质等环境因素在空间上重新分配(田迅等,2015),对昆虫的空间分布型存在潜在影响。有研究表明,马铃薯鳃金龟幼虫多发生于新疆的丘陵山地,其发生和空间分布会受到微地形的影响(丁岩钦,1994;刘继亮和李锋瑞,2008)。另外,马铃薯鳃金龟幼虫在地下取食为害具有隐蔽性高、监测难的特点(刘思雨等,2020;陆俊姣等,2021)。因此,建立有效的田间取样和抽样技术及适用于基层草原工作的监测技术,有助于增加害虫的监测效率,减少微地形对监测效果的影响。本研究于2023—2024年6月对伊犁草原4种微地形的马铃薯鳃金龟幼虫发生数量进行调查,利用9种聚集度指标和2种回归模型分析其幼虫的空间分布类型,利用Iwao理论抽样数模型和Kuno序贯抽样模型建立抽样调查技术,探讨微地形与其空间分布型间的关系,以期建立针对马铃薯鳃金龟有效的田间取样和抽样技术,并为其高效监测提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试样地:于2023—2024年6月在伊犁昭苏草原根据垂直剖面的相对高度选取平地、坡麓、坡中和坡顶4种微地形,其生境基本一致,优势种主要为薹草属 *Carex* 植物。在每种微地形随机选取8个长20 m×宽20 m的样地,每个样地采用棋盘式取样法挖取9个长0.3 m×宽0.3 m的样方,深度为0.3 m,每个样方之间间隔5 m,位于外侧的样方与样地边缘间隔5 m。将挖取的土样粉碎,分拣出全部金龟幼虫泡在75%酒精中,带回实验室进行鉴定。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 马铃薯鳃金龟幼虫分布特征和聚集度指标分析

将带回的金龟幼虫在室内参考张芝利(1984)和魏鸿钧等(1989)描述进行物种鉴定,统计并记录马铃薯鳃金龟幼虫数量,分别计算伊犁草原4种微地形的平均虫口密度  $m$  和方差  $S^2$ ,分析不同微地形中该虫幼虫的分布特征;再分别计算扩散系数  $C$ (丁岩钦等,1978;李少华等,2022)、丛生指数  $I$ (David & Moore, 1954; 张治科和南紫瑶, 2023)、扩散型指数  $I_s$

(丁岩钦, 1994; 林兆里等, 2012)、负二项分布  $K$  值(Waters, 1959; 陈红星和童晓立, 2014)、久野指数  $C_A$ (Kuno, 1969; 常亚文等, 2016)、平均拥挤度  $m^*$ (Lloyd, 1967; 王锟等, 2022)、聚块性指数  $m^*/m$ (Lloyd, 1967; 高磊等, 2017)、 $L_a$  指标(兰星平, 1993; 阎雄飞等, 2019)和  $Z$  指标(张连翔等, 1997; 阎雄飞等, 2014)这9种聚集度指标,计算公式分别为  $C=S^2/\sum_{i=1}^n(x_i(x_i-1))$   
 $m, I=S^2/m - 1, I_s=n\frac{\sum_{i=1}^n(x_i(x_i-1))}{X(X-1)}, C_A=(S^2-m)/m^2, K=m^2/(S^2-m), m^*=m+S^2/m - 1, m^*/m=1+(S^2-m)/m^2, L_a=m-m/S^2+1$  和  $Z=S^2/m - 1+S^2$ , 式中,  $n$  为抽样数,  $x_i$  为第  $i$  个样方中的虫口数,  $X$  为总虫口数。当  $C<1, I<0, I_s<1, C_A<0, K<0, m^*<1, m^*/m<1, L_a/m<1, Z/S^2<1$  时均为均匀分布;当  $C>1, I>0, I_s>1, C_A>0, 0 \leq K < 8, m^*>1, m^*/m>1, L_a/m>1, Z/S^2>1$  时均为聚集分布;当  $C=1, I=0, I_s=1, C_A=0, K \rightarrow +\infty, m^*=1, m^*/m=1, L_a/m=1, Z/S^2=1$  时均为随机分布。按照相应判断标准判定伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型。

#### 1.2.2 马铃薯鳃金龟幼虫的回归分析

Iwao  $m^*-m$  回归分析模型为  $m^*=\alpha+\beta m$ 。该模型利用1.2.1得到的马铃薯鳃金龟幼虫种群的平均拥挤度  $m^*$  和平均虫口密度  $m$ ,代入模型计算获得  $\alpha$  和  $\beta$  两个参数,  $\alpha$  说明分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度,  $\beta$  为基本成分的空间分布型(常亚文等, 2016)。当  $\alpha>0$  时,表明分布的基本成分为个体群,且个体间相互吸引;当  $\alpha=0$  时,表明分布的基本成分为单个个体;当  $\alpha<0$  时,表明个体间相互排斥。当  $\beta>1$  时,为聚集分布;当  $\beta=1$  时,为随机分布;当  $\beta<1$  时,为均匀分布(王锟等, 2022)。按照相应判断标准判定伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型。

Taylor 幂法则模型为  $\lg S^2=\lg a+b\lg m$ 。该模型利用1.2.1得到的马铃薯鳃金龟幼虫种群的方差  $S^2$  和平均虫口密度  $m$ ,代入模型计算得到  $a$  和  $b$  两个参数,  $a$  是一个与样方大小和计算方式有关的因子,受环境异质性的影响,  $b$  不受抽样样方大小的影响,是一个描述种群内在性质的聚集度指标,根据这2个参数的不同组合形式来解释不同的空间分布型信息(Taylor, 1961)。兰星平(1996)分述了全部9种组合形式:当  $a=1, b=1$  时种群为随机分布;当  $a=1, b>1$  时,若  $m>1$  为聚集分布,若  $m=1$  为随机分布,若  $m<1$  为均匀分布;当  $a=1, b<1$  时,若  $m>1$  为均匀分布,若  $m=1$  为随机分布,若  $m<1$ ,且  $m^{b-1}>1$  为聚集分布,  $m^{b-1}=$

1为随机分布,  $m^{b-1}<1$ 为均匀分布;当 $a>1, b=1$ 时为聚集分布,种群聚集度不具有密度依赖性;当 $a>1, b>1$ 且 $m\geq 1$ 时为聚集分布;当 $a>1, b<1$ 时,若 $C>1$ 为聚集分布,若 $C=1$ 为随机分布,若 $C<1$ 为均匀分布;当 $a<1, b=1$ 时为均匀分布;当 $a<1, b>1, m\neq 1$ 时,若 $C>1$ 为聚集分布,若 $C=1$ 为随机分布,若 $C<1$ 为均匀分布;当 $a<1, b<1$ ,且 $m\geq 1$ 时为均匀分布。按照相应判断标准判定伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型。

### 1.2.3 马铃薯鳃金龟幼虫的聚集原因分析

利用Blackith种群聚集均数 $\lambda$ 分析马铃薯鳃金龟幼虫的聚集原因(陆俊姣等,2021)。 $\lambda=0.5m\gamma/K$ ,式中 $\gamma$ 为自由度是 $2K$ 时的 $\chi^2_{0.05}$ 分布的值。当 $\lambda<2$ 时,种群聚集是由外界因素引起的;当 $\lambda\geq 2$ 时,种群聚集是由昆虫自身的生活习性和外界因素综合作用或其中1种因素引起的(丁岩钦,1994)。

### 1.2.4 马铃薯鳃金龟幼虫的抽样技术

为有效地对马铃薯鳃金龟幼虫进行田间抽样调查,需明确其最适抽样技术。目前常用的抽样技术分析方法有理论抽样数模型和序贯抽样模型(高磊等,2017),本研究采用这2种方法进行分析。

**理论抽样数:**利用Iwao理论抽样数模型拟合得到不同虫口密度 $m$ 下马铃薯鳃金龟幼虫的最适抽样数。公式为 $N=(t/D)^2[(\alpha+1)/m+\beta-1]$ ,式中 $N$ 为理论抽取样方数, $t$ 为可靠概率为95%条件下的正态离差值,取 $t=1.96$ ;允许误差 $D$ 取0.1、0.2或0.3; $\alpha$ 和 $\beta$ 为Iwao  $m^*-m$ 回归模型中的参数(Iwao,1975;殷郑艳等,2022)。

**序贯抽样技术:**利用Kuno序贯抽样模型拟合得到马铃薯鳃金龟幼虫的理论抽样量。公式为 $T_y=(\alpha+1)/[D^2-(\beta-1)y]$ , $T_y$ 为临界累计虫口数, $y$ 为累积调查样方数。在允许误差 $D$ 下,当所抽取几个样方的累计虫口数大于或等于 $T_y$ ,且 $m>(\beta-1)/D^2$ 时停止抽样,否则继续抽样(Kuno,1969;高磊等,2017)。

## 1.3 数据分析

利用SPSS 23.0软件对伊犁草原4种微地形的马铃薯鳃金龟幼虫密度、9种聚集度指标和聚集均数 $\lambda$ 进行单因素方差分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯鳃金龟幼虫的分布特征

对伊犁草原4种微地形32个样地的马铃薯鳃金龟幼虫密度进行分析,平均虫口密度为6.16头/ $0.09\text{ m}^2$ ,

而且平均虫口密度随着地势的升高而降低,如平地、坡麓和坡中的平均虫口密度分别为8.18、7.25和6.88头/ $0.09\text{ m}^2$ ,三者之间无显著差异;而坡顶的平均虫口密度最低,为2.33头/ $0.09\text{ m}^2$ ,显著低于平地、坡麓和坡中的平均虫口密度(图1)。

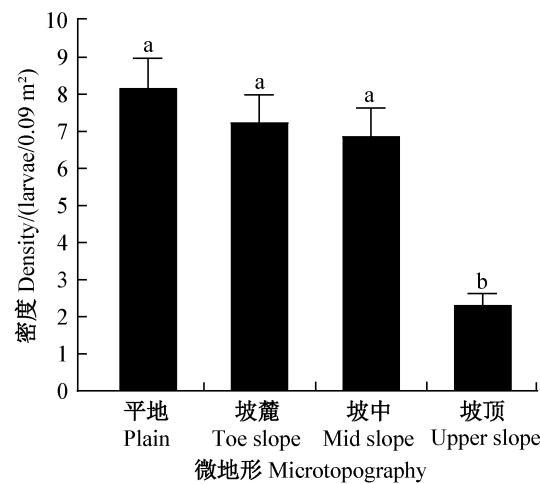


图1 伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的密度

Fig. 1 Density of *Amphimallon solstitiale* larvae in four types of microtopographies in Yili grassland

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different letters indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ )。

### 2.2 马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型

#### 2.2.1 聚集度指标分析

依据9种聚集度指标的判断标准,马铃薯鳃金龟幼虫在伊犁草原4种微地形的空间分布型均符合聚集分布。但各聚集度指标显示的聚集程度与微地形有所关联,其中扩散系数 $C$ 、丛生指数 $I_a$ 、平均拥挤度 $m^*$ 、 $L_a$ 指标和Z指标5种聚集度指标显示马铃薯鳃金龟幼虫的聚集程度随地势的升高而逐渐降低,如马铃薯鳃金龟幼虫在平地、坡麓、坡中和坡顶的扩散系数 $C$ 分别为5.11、3.07、2.70和1.46;该虫的扩散系数 $C$ 和丛生指数 $I_a$ 均在平地最高,显著高于在其余地形的相应指标值;而该虫的平均拥挤度 $m^*$ 、 $L_a$ 指标和Z指标在平地、坡麓和坡中最高,显著高于在坡顶的相应指标值(图2)。负二项分布 $K$ 值、扩散型指数 $I_s$ 、聚块性指数 $m^*/m$ 和久野指数 $C_A$ 这4种指标显示马铃薯鳃金龟幼虫的聚集程度随地势的升高呈先降低后升高的趋势,其中在坡中的聚集程度最低,如该虫在平地、坡麓、坡中和坡顶的扩散型指数 $I_s$ 分别为1.55、1.34、1.25和1.69,且四者间均无显著差异;负二项分布 $K$ 值显示出的聚集程度与 $K$ 值呈反

比,  $K$  值越大, 聚集程度越低(图2)。

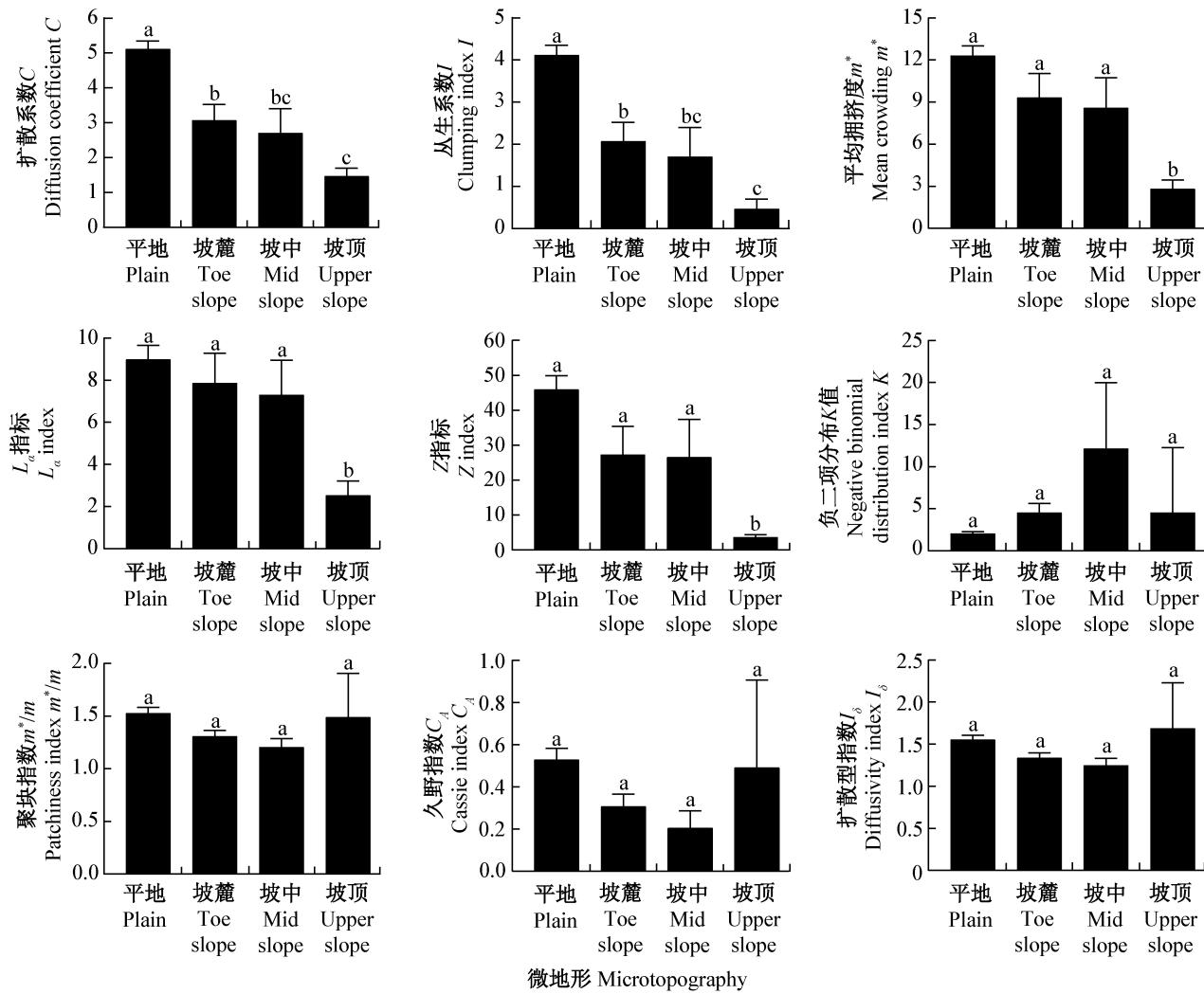


图2 马铃薯鳃金龟幼虫在伊犁草原4种微地形中的9种聚集度指标的差异

Fig. 2 Differences in nine aggregation indicators of *Amphimallon solstitiale* larvae in four types of microtopography in Yili grasslands

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different letters indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ )。

### 2.2.2 回归分析

利用马铃薯鳃金龟幼虫在伊犁草原4种微地形中的平均拥挤度  $m^*$  和平均虫口密度  $m$  建立 Iwao  $m^*-m$  回归模型,发现马铃薯鳃金龟幼虫整体上呈聚集分布( $\alpha=0.055>0, \beta=1.330>1$ )。但马铃薯鳃金龟幼虫在不同微地形的空间分布型不一致,其中在平地( $\alpha=4.196>0, \beta=0.990<1$ )和坡顶( $\alpha=0.688>0, \beta=0.903<1$ )时均呈均匀分布,在坡麓( $\alpha=0.478>0, \beta=1.219>1$ )和坡中( $\alpha=-0.846<0, \beta=1.371>1$ )时均呈聚集分布(表1)。

利用马铃薯鳃金龟幼虫在伊犁草原4种微地形的平均虫口密度  $m$  和方差  $S^2$  建立 Taylor 幂法则模型,发现马铃薯鳃金龟幼虫整体上呈聚集分布( $\alpha=1.195>1, b=1.492>1$ , 平均虫口密度  $m>1$ )。马铃薯鳃金龟幼虫在4种微地形的空间分布型均为聚集分布,但其回归方程系数有所差异,在针对平地、坡麓、坡中和坡顶幼虫拟合的回归方程中,  $a$  分别为 5.163、1.212、0.931 和 1.419,  $b$  分别为 0.991、1.461、1.513 和 0.904(表2),而扩散系数  $C$  分别为 5.11、7.25、6.06 和 2.33。

2 种回归模型拟合结果均显示马铃薯鳃金龟幼虫在整体上呈聚集分布,但微地形对 Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合结果存在影响,对 Taylor 幂法则模型分析结果则无影响,如位于平地和坡麓的幼虫在 Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合结果中呈均匀分布,而在 Taylor 幂法则模型分析结果中则呈聚集分布。

表1 伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的Iwao  $m^*-m$  回归模型Table 1 Iwao  $m^*-m$  regression models for *Amphimallon solstitiale* larvae in four types of microtopography in Yili grasslands

微地形 Microtopography	样地数量 No. of plots	回归模型 Regression model	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$	$\alpha$	$\beta$
平地 Plain	8	$m^*=0.990m+4.196$	0.886	4.196	0.990
坡麓 Toe slope	8	$m^*=1.219m+0.478$	0.960	0.478	1.219
坡中 Mid slope	8	$m^*=1.371m-0.846$	0.966	-0.846	1.371
坡顶 Upper slope	8	$m^*=0.903m+0.688$	0.883	0.688	0.903
整体 Whole	32	$m^*=1.330m+0.055$	0.941	0.055	1.330

 $m^*$ : 平均拥挤度;  $m$ : 平均虫口密度。 $m^*$ : Mean crowding;  $m$ : mean density of larvae.

表2 伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的Taylor 幂法则模型

Table 2 Taylor' power laws model of *Amphimallon solstitiale* larvae in four types of microtopography in Yili grasslands

微地形 Microtopography	样地数量 No. of plots	回归模型 Regression model	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$	$a$	$b$
平地 Plain	8	$\lg S^2 = \lg 5.163 + 0.991 \lg m$	0.732	5.163	0.991
坡麓 Toe slope	8	$\lg S^2 = \lg 1.212 + 1.461 \lg m$	0.842	1.212	1.461
坡中 Mid slope	8	$\lg S^2 = \lg 0.931 + 1.513 \lg m$	0.889	0.931	1.513
坡顶 Upper slope	8	$\lg S^2 = \lg 1.419 + 0.904 \lg m$	0.899	1.419	0.904
整体 Whole	32	$\lg S^2 = \lg 1.195 + 1.492 \lg m$	0.832	1.195	1.492

 $S^2$ : 方差;  $m$ : 平均虫口密度。 $S^2$ : Variance;  $m$ : mean density of larvae.

### 2.3 马铃薯鳃金龟幼虫聚集原因的分析

马铃薯鳃金龟幼虫在伊犁草原4种微地形的聚集均数 $\lambda$ 均小于2(图3),表明其聚集是由外部因素所致,如气候、土壤、寄主或天敌等。且幼虫在4种微地形间的聚集均数 $\lambda$ 存在显著差异,其中在坡麓的聚集均数 $\lambda$ 为0.063,显著高于在坡中和坡顶的聚集均数 $\lambda$ (0.025和0.011)(图3)。

### 2.4 马铃薯鳃金龟幼虫抽样技术的提出

利用Iwao  $m^*-m$  回归模型中的参数 $\alpha$ 和 $\beta$ 建立得到Iwao理论抽样数模型, $N=(1.96/D)^2 \times 1.055/m+0.330$ ,以及不同允许误差和平均虫口密度下的理论抽样数,在允许误差下,平均虫口密度越高,所需的抽样数越少,如允许误差为0.2时,若平均虫口密度达到6头/ $0.09\text{ m}^2$ ,则最少需要取49个样方;而在相同平均虫口密度下,所需抽样数随允许误差的升高而减少,如在平均虫口密度为4头/ $0.09\text{ m}^2$ 条件下,允许误差为0.1时需调查228个样方,允许误差为0.2时则只需调查57个样方(表3)。

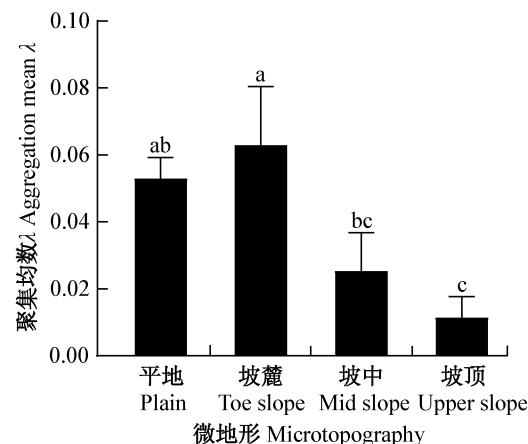


图3 伊犁草原4种微地形中马铃薯鳃金龟幼虫的聚集均数

Fig. 3 Aggregation mean of *Amphimallon solstitiale* larvae in four types of microtopographies in Yili grassland

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different letters indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ ).

表3 马铃薯鳃金龟幼虫在不同虫口密度下的理论抽样数

Table 3 Theoretical sampling sizes of *Amphimallon solstitiale* larvae at different population densities

允许误差 Permissible error	平均虫口密度/(头/ $0.09\text{ m}^2$ ) Mean of density/(larvae/ $0.09\text{ m}^2$ )									
	1	2	4	6	8	10	12	15	18	
0.1	531.95	329.28	227.95	194.17	177.29	167.15	160.40	153.64	149.14	145.04
0.2	132.99	82.32	56.99	48.54	44.32	41.79	40.10	38.41	37.28	36.26
0.3	59.11	36.59	25.33	21.57	19.70	18.57	17.82	17.07	16.57	16.12

利用Iwao  $m^*-m$  回归模型中的参数 $\alpha$ 和 $\beta$ 建立得到Kuno序贯抽样模型  $T_y=1.055/(D^2-0.330/y)$ 。根据不同调查样方数量计算得到不同允许误差下停止抽样的临界累计虫量,若调查一定样方后的累计虫量

高于对应的临界累计虫量时即可停止抽样,如在允许误差为0.2时调查40个样方,若临界累计虫量达到33.22头则可停止抽样(表4)。

表4 马铃薯鳃金龟幼虫的Kuno序贯抽样表

Table 4 Kuno sequential sampling table of *Amphimallon solstitiale* larvae

调查样方数 Number of sample plots	临界累计虫量 Critical mass		
	D=0.1	D=0.2	D=0.3
40	599.49	33.22	12.90
80	179.44	29.41	12.29
120	145.46	28.32	12.09
160	132.88	27.81	12.00
200	126.33	27.51	11.94
240	122.31	27.32	11.90
280	119.59	27.18	11.88
320	117.63	27.07	11.86
360	116.14	27.00	11.84

D: 允许误差。D: Permissible error.

### 3 讨论

马铃薯鳃金龟幼虫多发生于新疆丘陵山地,其发生和空间分布会受到微地形的影响。本研究对马铃薯鳃金龟幼虫在新疆伊犁草原4种微地形中的分布规律、空间分布类型及其与微地形的关系进行了分析,发现马铃薯鳃金龟幼虫呈聚集分布,微地形会影响其发生密度,但并不影响其空间分布类型。本研究基于聚集度指标和Taylor幂法则模型分析结果发现马铃薯鳃金龟幼虫呈聚集分布,这与内蒙古草原马铃薯鳃金龟幼虫的分布型一致(刘新民和郭砾,2004)。马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型不受其他蛴螬种间竞争和发生地植被的影响,因为其在单一发生条件下(本研究)和蛴螬混生群落中(刘新民和郭砾,2004)均呈聚集分布;其在薹草生境(本研究)和大针茅 *Stipa grandis* Smirn. 生境(刘新民和郭砾,2004)均呈聚集分布。蛴螬的空间分布型一般呈聚集分布,如大栗鳃金龟(马艳芳等,2009)、灰胸突鳃金龟(曹秀文等,199)、中喙丽金龟 *Adoretus sinicus* Burmeister(高磊等,2017)、铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* Motschulsky(曾凡梅和刘义,2010)、烟草码绢金龟 *Maladera* sp.(刘晓波等,2000)以及暗黑齿爪鳃金龟(刘旭等,1994)等。整体上,微地形并不影响马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型。本研究发现Iwao  $m^*-m$  回归模型与Taylor幂法则模型的拟合结果不一致,如Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合结果显示,位

于平地和坡顶的马铃薯鳃金龟幼虫呈均匀分布,而Taylor幂法则模型拟合结果则显示这2种微地形的幼虫呈聚集分布。此现象也在同为地下害虫的黄地老虎 *Agrotis segetum* (Denis et Schiffermüller) 幼虫的空间分布型分析中出现,即Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合结果表明黄地老虎幼虫呈均匀分布,而Taylor幂法则模型拟合结果表明其呈聚集分布(张圭松和吴婷芳,1987)。本研究还发现Iwao  $m^*-m$  回归模型会受到样本量的影响,如当坡顶的样本量为3个时,马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型为聚集分布;而当样本量为8个时,马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型为均匀分布,表明利用Iwao  $m^*-m$  回归模型分析害虫的空间分布型时应重视样本量的选择。

微地形对马铃薯鳃金龟幼虫的发生密度有显著影响,该虫在伊犁草原平地、坡麓和坡中的平均虫口密度均显著高于坡顶。这与对其他昆虫的研究报道相似,如落叶松毛虫 *Dendrolimus superans* (Butler) 在坡顶的发生数量显著高于坡中和坡麓(韩大校等,2023),这可能是由于马铃薯鳃金龟为地下害虫,而落叶松毛虫为地上害虫。马铃薯鳃金龟幼虫在4种微地形的聚集均数 $\lambda$ 均小于2,表明其聚集是由外部因素所致,如气候、土壤、寄主或天敌等。而烟草田蛴螬混生群落的聚集原因亦如此(刘思雨等,2020)。本研究认为马铃薯鳃金龟幼虫的聚集可能主要受土壤含水量的影响。因为土壤含水量通常被认为是影响蛴螬种群最重要的环境因素,其直接影响

响金龟成虫的产卵、卵的孵化和幼虫的存活,如金龟甲科的 *Ligyrus subtropicus* (Blatchley) 和犀金龟甲科的 *Cyclocephala parailda* Casey 雌成虫产卵量随土壤含水量的升高而先增加后减少(Cherry et al., 1990; Frew et al., 2016);犀金龟甲科的南部圆头无斑犀金龟 *Cyclocephala immaculata* (Olivier) 卵在土壤含水量高于一定阈值时才会孵化(Potter, 1983);暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* Motschulsky 幼虫的存活率随土壤含水量升高而先升高后降低(冯晓洁等,2017)。

以往的抽样技术研究均会建立 Iwao 理论抽样数模型和 Kuno 序贯抽样模型(高磊等,2017;蒋华等,2023)。本研究也建立了 Iwao 理论抽样数模型和 Kuno 序贯抽样模型,并得到了相应的理论抽样表,可根据不同允许误差水平确定其取样数,如田间虫口密度为 8 头/0.09 m<sup>2</sup> 的草地时,在允许误差小于 0.1 条件下,以 0.09 m<sup>2</sup> 为调查单位建议至少调查 177 个样方;在允许误差小于 0.2 条件下,以 0.09 m<sup>2</sup> 为调查单位建议调查至少 44 个样方。基于本研究结果,为提高对马铃薯鳃金龟幼虫发生的监测效率,建议在平地、坡麓和坡中进行取样调查,而不应该选择坡顶,如果在有限的条件下仅在平地取样即可明确其发生情况;另外,马铃薯鳃金龟幼虫的空间分布型属于聚集分布,可利用棋盘式、平行线或 Z 字形取样法进行取样(刘长仲,2016);同时可利用本研究所得理论抽样表和 Kuno 序贯抽样表在不同允许误差水平下确定取样数。

## 参 考 文 献 (References)

- Bıryol S, Efe D, Eskı A, DemIrbağ Z, Demır İ. 2020. Fungal pathogens of *Amphimallon solstitiale* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Scarabaeidae). Turkish Journal of Entomology, 44(3): 375–384
- Boyes D, Crowley LM, Holland PWH. 2024. The genome sequence of the summer chafer, *Amphimallon solstitiale* (Linnaeus, 1758). Wellcome Open Research, 9: 138
- Cao XW, Chang XG, Liu JQ. 1995. Spatial distribution of *Hoplosternus incanus* Motschulsky larvae and application of sampling techniques. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 20(2): 57–59 (in Chinese) [曹秀文, 常学国, 刘锦乾. 1995. 灰胸突鳃金龟幼虫空间构型及抽样技术研究应用. 甘肃林业科技, 20(2): 57–59]
- Chang YW, He YT, Shen Y, Gong WR, Tian ZH, Du YZ. 2016. The spatial distribution patterns of larva of the *Liriomyza trifolii* and its sampling technique. Journal of Environmental Entomology, 38(4): 866–873 (in Chinese) [常亚文, 何娅婷, 沈媛, 龚伟荣, 田予华, 杜予州. 2016. 三叶斑潜蝇幼虫种群空间格局及抽样技术研究. 环境昆虫学报, 38(4): 866–873]
- Chen HX, Tong XL. 2014. Spatial distribution of gall thrips, *Gynaikothrips uzeli* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), in *Ficus benjamina*. Journal of Environmental Entomology, 36(5): 828–832 (in Chinese) [陈红星, 童晓立. 2014. 垂叶榕管蓟马空间分布型及其抽样模型. 环境昆虫学报, 36(5): 828–832]
- Cherry RH, Coale FJ, Porter PS. 1990. Oviposition and survivorship of sugarcane grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) at different soil moistures. Journal of Economic Entomology, 83(4): 1355–1359
- David FN, Moore PG. 1954. Notes on contagious distributions in plant populations. Annals of Botany, 18(1): 47–53
- Ding YQ. 1994. Mathematical ecology of insects. Beijing: Science Press (in Chinese) [丁岩钦. 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社]
- Ding YQ, Li DM, Chen YP. 1978. Studies on the patterns of distribution of the oriental migratory locust and its practical significance. Acta Entomologica Sinica, 21(3): 243–259 (in Chinese) [丁岩钦, 李典模, 陈玉平. 1978. 东亚飞蝗分布型的研究及其应用. 昆虫学报, 21(3): 243–259]
- Feng XJ, Xi GC, Liu FS, Wu Y, Liu CQ, Wang QL. 2017. Effects of temperature, soil water content and food on the survival and development of *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. Acta Entomologica Sinica, 60(8): 920–926 (in Chinese) [冯晓洁, 席国成, 刘福顺, 吴斌, 刘春琴, 王庆雷. 2017. 温湿度和食物对暗黑鳃金龟幼虫存活及生长发育的影响. 昆虫学报, 60(8): 920–926]
- Frew A, Barnett K, Nielsen UN, Riegler M, Johnson SN. 2016. Below-ground ecology of scarabs feeding on grass roots: current knowledge and future directions for management in Australasia. Frontiers in Plant Science, 7: 321
- Gao L, Li L, Tian G, Luo L, Xu B, Lu GL, Wang F, Luo QQ, Xu Y. 2017. Spatial distribution and sampling of the larvae of Chinese rose beetle, *Adoretus sinicus* on turfgrass. Plant Protection, 43(2): 117–121 (in Chinese) [高磊, 李丽, 田龚, 罗萝, 徐冰, 路广亮, 王凤, 罗卿权, 徐颖. 2017. 草坪害虫中喙丽金龟幼虫的空间分布与理论抽样数. 植物保护, 43(2): 117–121]
- Guo JM, Wulazahan J, Fan Y, Wen J, Liu YL, Hou TT. 2021. Management effectiveness of pests in grassland directly under Yili Prefecture during “the Thirteenth Five-Year” and “the Fourteenth Five-Year” plan. Journal of Agricultural Catastrophology, 11(12): 5–6, 8 (in Chinese) [郭继敏, 加马力丁·吾拉扎汗, 范毅, 文俊, 刘艳丽, 侯婷婷. 2021. 伊犁州直草原有害生物“十三五”治理成效及“十四五”规划. 农业灾害研究, 11(12): 5–6, 8]
- Han DX, Wang QX, Wang S, Ji HN, Chai LQ, Zhang JL. 2023. Effects of topography and forest vegetation factors on occurrence and population size of overwintering *Dendrolimus superans*. Forest Research, 36(2): 144–152 (in Chinese) [韩大校, 王千雪, 王炼, 纪昊男, 柴林琦, 张吉利. 2023. 地形和森林植被因子对落叶松毛虫越冬代发生及数量的影响. 林业科学, 36(2): 144–152]
- Iwao S. 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. Researches on Population

- Ecology, 16(2): 281–288
- Jiang H, Huang JC, Xie Y, Yu ZH, Yang JP. 2023. Spatial distribution of *Conogethes punctiferalis* in the fruit of *Camellia reticulata* and sampling technique. Plant Protection, 49(1): 285–290 (in Chinese) [蒋华, 黄佳聪, 谢胤, 余祖华, 杨继萍. 2023. 腾冲红花油茶果实桃蛀螟的空间分布及抽样技术. 植物保护, 49(1): 285–290]
- Kocaçevik S, Sönmez E, Demirbağ Z, Demir I. 2015. Isolation, characterization and virulence of highly promising entomopathogenic fungi from *Amphimallon solstitiale* (Coleoptera: Scarabaeidae)/ Proceedings of the Fifth International Entomopathogens and Microbial Control Congress. Ankara, Turkey, pp. 9–11
- Kuno E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. Researches on Population Ecology, 11(2): 127–136
- Lan XP. 1993. Application of  $L_a$  index in determining the spatial distribution pattern of insect population and sampling investigation. Guizhou Forestry Science and Technology, 21(1): 20–26 (in Chinese) [兰星平. 1993.  $L_a$ 指标在测定昆虫种群空间分布型与抽样调查中的应用. 贵州林业科技, 21(1): 20–26]
- Lan XP. 1996. Discussion on Taylor's power law. Scientia Silvae Sinicae, 32(1): 86–91 (in Chinese) [兰星平. 1996. 关于Taylor幂法则的讨论. 林业科学, 32(1): 86–91]
- Li SH, Wang YP, Wang RC, Yin P, Li XD, Zheng FQ. 2022. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Conogethes punctiferalis* larvae in maize fields. Scientia Agricultura Sinica, 55(10): 1961–1970 (in Chinese) [李少华, 王云鹏, 王荣成, 尹萍, 李向东, 郑方强. 2022. 玉米田桃蛀螟幼虫的空间分布型与抽样技术. 中国农业科学, 55(10): 1961–1970]
- Lin ZL, Xu JH, Xu LP. 2012. The spatial distribution pattern and sampling technique of egg masses of *Chilo sacchariphagus* on sugar-cane plants. Plant Protection, 38(3): 59–62 (in Chinese) [林兆里, 徐金汉, 许莉萍. 2012. 甘蔗条螟卵空间分布型及其抽样技术. 植物保护, 38(3): 59–62]
- Liu CZ. 2016. Plant entomology. Beijing: China Forestry Publishing House, pp. 102–117 (in Chinese) [刘长仲. 2016. 植物昆虫学. 北京: 中国林业出版社, pp. 102–117]
- Liu JL, Li FR. 2008. Slope direction and topographic position interact to shape spatial distribution of soil macrofauna in a temperate secondary forest, China. Journal of Desert Research, 28(6): 1104–1112 (in Chinese) [刘继亮, 李峰瑞. 2008. 坡向和微地形对大型土壤动物空间分布格局的影响. 中国沙漠, 28(6): 1104–1112]
- Liu SY, Hu YX, Fan ZY, Du GZ, Sun JW, Chen B. 2020. Species composition, spatial distribution pattern and sampling technique of white grubs in tobacco fields. Journal of Southern Agriculture, 51(11): 2722–2730 (in Chinese) [刘思雨, 户艳霞, 范志勇, 杜广祖, 孙军伟, 陈斌. 2020. 烟草田间蛴螬种类及其空间分布与抽样技术研究. 南方农业学报, 51(11): 2722–2730]
- Liu X, Shi WC, Li JR. 1994. Studies on the spatial distribution and sampling techniques of larvae of *Holotrichia parallela* Mostchulsky in peanut field. Journal of Shenyang Agricultural University,
- 25(3): 268–272 (in Chinese) [刘旭, 石万成, 李健荣. 1994. 花生地暗黑齿爪螬金龟幼虫空间格局及抽样技术研究. 沈阳农业大学学报, 25(3): 268–272]
- Liu XB, Yang BL, Chen GH, Li ZY, Tao M. 2000. The spatial distribution and sampling techniques for the larvae of *Maladera* sp. in tobacco field. Journal of Yunnan Agricultural University, 15(4): 317–320 (in Chinese) [刘晓波, 杨本立, 陈国华, 陈斌, 李正跃, 陶政. 2000. 烟草码绢金龟(*Maladera* sp.)幼虫空间分布型及其抽样技术. 云南农业大学学报, (4): 317–320]
- Liu XM, Guo L. 2004. Characteristics of spatial distribution for the main populations of scarabaeoideal larvae in *Stipa grandis* steppe. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol, 35(1): 77–82 (in Chinese) [刘新民, 郭砾. 2004. 大针茅草原蛴螬群落主要种群空间分布特征研究. 内蒙古大学学报(自然科学版), 35(1): 77–82]
- Lloyd M. 1967. Mean crowding. Journal of Animal Ecology, 36(1): 1–30
- Lu JJ, Ren MF, Li DQ, Li X, Shi GC, Dong JM. 2021. Spatial distribution pattern and sampling technique of the larvae of subterranean pest insects in wheat fields. Journal of Plant Protection, 48(2): 340–347 (in Chinese) [陆俊姣, 任美凤, 李大琪, 李霞, 史高川, 董晋明. 2021. 小麦田地下害虫幼虫的空间分布型与抽样技术. 植物保护学报, 48(2): 340–347]
- Ma YF, Xie ZM, Zhang YQ, Guo YL. 2009. Spatial distribution patterns of *Melolontha hippocastani* larvae. Plant Protection, 35(4): 140–142 (in Chinese) [马艳芳, 谢宗谋, 张永强, 郭彦林. 2009. 大栗螬金龟幼虫空间分布型研究. 植物保护, 35(4): 140–142]
- Niyazova OB. 2021. Systematic structure, ecology and economical meaning of soil macrofauna of Zarafshan Valley's orchards. Bulletin of Pure & Applied Sciences-Geology, 40(1): 18–24
- Potter DA. 1983. Effect of soil moisture on oviposition, water absorption, and survival of southern masked chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) eggs. Environmental Entomology, 12(4): 1223–1227
- Sajnaga E, Skowronek M, Kalwasinska A, Kazimierczak W, Lis M, Jach ME, Wiater A. 2022. Comparative nanopore sequencing-based evaluation of the midgut microbiota of the summer chafer (*Amphimallon solstitiale* L.) associated with possible resistance to entomopathogenic nematodes. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(6): 3480
- Taylor LR. 1961. Aggregation, variance and the mean. Nature, 189(4766): 732–735
- Tian X, Gao K, Zhang LJ, Yu YQ, Han GD. 2015. Effects of slope position on spatial distribution of soil water and vegetation in sandy land. Bulletin of Soil and Water Conservation, 35(5): 12–16 (in Chinese) [田迅, 高凯, 张丽娟, 于永奇, 韩国栋. 2015. 坡位对土壤水分及植被空间分布的影响. 水土保持通报, 35(5): 12–16]
- Tolasch T, Sölder S, Tóth M, Ruther J, Francke W. 2003. (*R*)-acetoin-female sex pheromone of the summer chafer *Amphimallon solstitiale* (L.). Journal of Chemical Ecology, 29(4): 1045–1050
- Wang K, Zhang LL, Li B, Du GZ, Chen B. 2022. Spatial distribution of larvae *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in mountainous corn

- plants and field. *Journal of Southern Agriculture*, 53(10): 2894–2903 (in Chinese) [王锟, 张丽兰, 黎斌, 杜广祖, 陈斌. 2022. 山地玉米植株及田间草地贪夜蛾幼虫的空间分布特征. 南方农业学报, 53(10): 2894–2903]
- Wang W, Zhang RF, Liu HY, Zhang Y, Yao J. 2016. Spatial distribution pattern of common meadow bug *Lygus pratensis* (Linnaeus) in Xinjiang cotton fields. *Journal of Plant Protection*, 43(6): 972–978 (in Chinese) [王伟, 张仁福, 刘海洋, 张瑜, 姚举. 2016. 新疆棉田牧草盲蝽的空间分布规律. 植物保护学报, 43(6): 972–978]
- Waters WE. 1959. A quantitative measure of aggregation in insects. *Journal of Economic Entomology*, 52(6): 1180–1184
- Wei HJ, Zhang ZL, Wang YC. 1989. Subterranean pests of China. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, pp. 181–184 (in Chinese) [魏鸿钧, 张治良, 王荫长. 1989. 中国地下害虫. 上海: 上海科学技术出版社, pp. 181–184]
- Yan XF, Li G, Liu YH, He Y, Wang JH. 2014. Study on spatial distribution pattern and sampling technique of overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(31): 285–289 (in Chinese) [阎雄飞, 李刚, 刘永华, 贺英, 王敬辉. 2014. 枣食芽象甲越冬幼虫空间分布型和抽样技术研究. 中国农学通报, 30(31): 285–289]
- Yan XF, Pu TX, Li G, Liu YH. 2019. Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* adults and sampling techniques for this species in the jujube growing region of northern Shaanxi. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 585–594 (in Chinese) [阎雄飞, 蒲泰勋, 李刚, 刘永华. 2019. 枣食芽象甲成虫在陕北枣区的空间分布型及抽样技术. 应用昆虫学报, 56(3): 585–594]
- Yin JM, Li GH. 1989. Study on biological characteristics and control of subspecies of potato gill beetle. *Entomological Knowledge*, 26(4): 212–214 (in Chinese) [银建民, 李桂花. 1989. 马铃薯鳃金龟中亚种生物学特性及防治研究. 昆虫知识, 26(4): 212–214]
- Yin ZY, Luo Y, Wu CX, Zhao RN, He YQ, Dai XQ, Chen WL. 2022. The spatial distribution patterns of and sampling technique for *Stephanitis chinensis* Drake. *Plant Protection*, 48(4): 226–230 (in Chinese) [殷郑艳, 罗优, 武承旭, 赵如娜, 何应琴, 代祥青, 陈文龙. 2022. 茶网蝽空间分布型及其抽样技术研究. 植物保护, 48(4): 226–230]
- Zeng FM, Liu Y. 2010. Study on spatial distribution pattern of *Scarabaeus aeruginosus* larvae on lawn. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 20(2): 178, 181 (in Chinese) [曾凡梅, 刘义. 2010. 草坪铜绿丽金龟幼虫空间分布型研究. 现代农业科技, 20(2): 178, 181]
- Zhang GS, Wu TF. 1987. A study on the spatial distribution and sampling technique of cutworm's larva (*Agrotis segetum* Schiff.). *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 10(2): 12–16 (in Chinese) [张圭松, 吴婷芳. 1987. 黄地老虎越冬幼虫空间分布型及抽样技术研究. 八一农学院学报, 10(2): 12–16]
- Zhang LX, Lü SB, Wen HR, Jin XM. 1997. Model Z-V and sampling method in the research of spatial patterns of population. *Journal of Northwest Forestry University*, 12(1): 75–79 (in Chinese) [张连翔, 吕尚彬, 温豁然, 金秀梅. 1997. 种群空间格局研究的Z-V模型及其抽样设计方法. 西北林学院学报, 12(1): 75–79]
- Zhang Q, Umar Beek, Ayrantija, Lou SQ, Li H. 2007. Preliminary study on the biological characteristics of *Amphimallon solstitialis* in Yili mountain grassland. *Xinjiang Livestock*, 22(Suppl. 1): 59–60 (in Chinese) [张泉, 乌麻尔别克, 艾然提江, 娄水清, 李宏. 2007. 伊犁山地草原马铃薯鳃金龟生物学特性初探. 新疆畜牧业, 22(增刊1): 59–60]
- Zhang ZK, Nan ZY. 2023. Spatial distribution patterns and sampling techniques of tomato leafminer *Tuta absoluta* larvae on tomatoes in greenhouses. *Journal of Plant Protection*, 50(6): 1571–1578 (in Chinese) [张治科, 南紫瑶. 2023. 宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾的空间分布型及抽样技术. 植物保护学报, 50(6): 1571–1578]
- Zhang ZL. 1984. Economic insect fauna of China: vol. 28. Beijing: Science Press, pp. 83–84 (in Chinese) [张芝利. 1984. 中国经济昆虫志: 第二十八册. 北京: 科学出版社, pp. 83–84]

(责任编辑:李美娟)