

# 枣飞象成虫在陕北枣区的空间分布型及抽样技术\*

阎雄飞\*\* 蒲泰勋 李 刚 刘永华

(榆林学院生命科学学院, 榆林 719000)

**摘 要** 【目的】枣飞象 *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto 是枣树 *Ziziphus jujuba* Mill 主要害虫之一。近年来, 枣飞象在陕北黄河沿岸枣树种植区暴发成灾, 给陕北红枣产业造成了严重的经济损失。明确枣飞象成虫在陕北枣区的空间分布型及最佳抽样技术, 为枣飞象的监测预报和有效防治提供理论依据。

【方法】2015 年于陕西省佳县枣区, 首先选取具有代表性的枣树样地, 采用五点抽样法、双对角线抽样法、棋盘式抽样法、平行线抽样法和 Z 形抽样法抽取受害枣树, 随后采取分层取样法分别统计每株枣树上枣飞象成虫数量。采用 *t*-检验对这 5 种抽样方法的适合性、代表性和变异程度进行了比较, 确定最理想的抽样方法; 随后用聚集度指标、Iwao  $m^*-m$  回归分析法以及 Taylor 幂法则对枣飞象成虫在枣区的空间分布型进行了研究, 选用 Iwao 提出的理论抽样公式和序贯抽样公式确定了枣飞象成虫的理论抽样数和序贯抽样模型。【结果】结果表明, 5 种抽样方法都适合枣飞象成虫在陕北枣园的调查, 其中以平行线抽样方法最为理想, 枣飞象成虫的空间分布型为聚集分布, 分布的基本成分是个体间相互吸引的个体群, 且个体群的聚集度与其成虫数量成正比, 枣飞象个体群聚集原因是由于某些环境成分或者是本身聚集性活动中的一个因素或共同作用引起的。建立的理论抽样数公式为  $N=t^2/D^2(18.995/m+0.0203)$ , 序贯抽样模型为  $T'_0, T''_{0(n)} = 30n \pm 47.53\sqrt{n}$ 。【结论】枣飞象成虫在田间最理想调查方法为平行线抽样法, 枣飞象在陕北枣区成虫分布型呈聚集分布, 为陕北枣区枣飞象的监测预报及可持续防治提供基础资料。

**关键词** 枣飞象; 成虫; 空间分布型; 抽样技术

## Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* adults and sampling techniques for this species in the Jujube growing region of Northern Shaanxi

YAN Xiong-Fei\*\* PU Tai-Xun LI Gang LIU Yong-Hua

(College of Life and Science, Yulin University, Yulin 719000, China)

**Abstract** [Objectives] *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto is one of the most important pests of jujube trees. In recent years, *S. yasumatsui* irruptions in the jujube growing region along the banks of the Yellow River in North Shaanxi have caused enormous economic losses to the jujube industry of this region. The aim of this research is to determine the spatial distribution pattern of *S. yasumatsui* adults in the region, and develop effective sampling techniques for this species, thereby providing a theoretical basis for more accurate monitoring, prediction and control of this pest. [Methods] We selected 5 representative jujube fields as sampling sites in Jia County in 2015, and evaluated five different sampling methods (five-point sampling, double diagonal sampling, chessboard sampling, parallel sampling lines and Z-shaped sampling). The number of adult weevils on each jujube tree was recorded using stratified sampling. The suitability, representativeness and variability of the five sampling methods were compared and analyzed using *t*-tests. The spatial distribution pattern of *S. yasumatsui* adults in

\*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金地区项目 (31760211); 教育部归国留学人员启动基金项目 (13GK42); 2014 榆林市产学研科技计划项目 (2014cxy-02-01)

\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: yxfei1220@126.com

收稿日期 Received: 2018-10-08; 接受日期 Accepted: 2019-03-15

the jujube region was studied using aggregation indices, Iwao's  $m^* - m$  regression analysis method and Taylor's power law. The theoretical sampling number and a sequential sampling model for adult weevils was determined using Iwao's theoretical sampling and sequential sampling formulae. [Results] All five sampling methods were effective but the parallel sampling method was the best. *S. yasumatsui* adults have an aggregated spatial distribution in the jujube growing region of Northern Shaanxi. The basic component of the distribution was a group of individuals; individuals attract each other so the greater the density the higher the degree of aggregation. The reason for this aggregation is either some environmental factors or an innate tendency of this weevil to aggregate. The optimum theoretical sampling model was  $N = t^2/D^2$  (18.995/ $m + 0.020$  3) and the optimum sequential sampling model was  $T'_0, T''_{0(n)} = 30n \pm 47.53\sqrt{n}$ . [Conclusion] The parallel line sampling method was the best for investigating the spatial distribution of *S. yasumatsui* adults, which was found to be aggregated. These results provide basic data for monitoring, predicting, and the effective and sustainable control of *S. yasumatsui* in the jujube growing region of Northern Shaanxi.

**Key words** *Scythropus yasumatsui*; adult; spatial distribution pattern; sampling technique

枣飞象 *Scythropus yasumatsui* Kono *et* Morimoto, 属鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae, 又称食芽象甲、太谷月象、枣月象等, 是危害枣树的一种重要害虫 (师光禄等, 2000)。这种害虫在我国广泛分布于陕西、山西、河南、河北、宁夏、新疆等诸多枣区, 主要以成虫取食枣树幼芽和嫩叶为害, 严重时会将枣芽全部吃光, 导致枣树二次萌芽, 二次萌芽再次消耗枣树营养, 致使枣果变小, 质量下降 (师光禄等, 2000; 阎雄飞等, 2017)。近年来枣树作为陕北丘陵沟壑区的主要经济树种, 栽培面积日益增加, 仅佳县枣树的栽培面积约为 5.3 万  $\text{hm}^2$  以上 (柏秦凤等, 2016), 但是由于该枣区管理粗放, 加上全球气温升高、干旱频发等气候因素影响, 致使枣飞象在陕北枣区暴发成灾, 并且日趋严重, 对陕北枣果的安全生产构成了严重威胁 (唐学亮等, 2013; 洪波等, 2017)。鉴于此, 如何有效控制枣飞象成虫发生危害, 保障陕北枣果的产量及品质, 成为当前亟待解决的问题。

种群空间分布型是种群在一定环境内的空间散布结构, 是种群的一种重要属性 (丁岩钦, 1980; 徐汝梅, 2005)。研究有害昆虫种群空间分布型和抽样技术, 可解释有害昆虫种群内部和种群之间的空间格局和空间结构特性, 揭示有害生物种群消长和扩散规律, 从而为有害生物的监测预报、制定持续有效防治手段提供科学依据。有害昆虫在枣树上种群空间分布已有不少报道, 如枣尺蠖 *Sucra jujuba* Chu 幼虫在枣树上种群空

间分布为聚集型 (刘贤谦等, 1995), 枣瘿蚊 *Contarinia datifolia* Jiang 幼虫在低龄和高龄枣树上空间分布型均为聚集分布 (蔡志平等, 2016); 绿盲蝽 *Apolygus lucorum* Meyer-Dür 越冬卵和若虫在枣树上的空间分布均呈聚集分布 (张秀梅等, 2006; 王振亮等, 2010; 段春华等, 2016)。迄今为止, 关于枣飞象空间分布型和抽样技术的研究不多, 黄维正和李东成 (1993) 报道了枣飞象越冬幼虫在土壤中垂直和水平空间分布格局均呈聚集分布; 阎雄飞等 (2014) 采用 8 种聚集度指标和回归模型分析法, 发现枣飞象越冬幼虫在枣园的空间分布呈聚集分布。洪波等 (2017) 对枣园树冠下层枣飞象成虫进行统计, 使用 Z 形抽样法研究了成虫在枣树上的空间分布。关于枣飞象种群空间分布型, 以往对越冬幼虫土壤中分布和成虫树冠下层分布进行了研究。由于枣飞象成虫在树冠各层均有分布, 采用分层取样更具有代表性, 能客观反映枣飞象在树冠分布的实际情况。鉴于此, 本研究通过分层取样法对枣树全冠枣飞象进行数量统计, 再对枣飞象成虫进行五点抽样、双对角线抽样、棋盘式抽样、平行线抽样和 Z 形抽样 5 种抽样方法进行对比分析, 确定最佳的抽样方法, 然后运用聚集度指标法、Iwao 的  $m^* - m$  回归分析法和 Taylor 的幂法则研究枣飞象成虫在枣园的空间分布型, 以揭示其分布特征, 确定理论抽样模型, 以期对枣飞象成虫监测预报及可持续防治提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

样地选在陕西省榆林市佳县佳芦镇(N38°11'13", E110°29'35"), 北与毛乌素沙漠接壤, 南连梁峁丘陵区; 地处属中温带大陆半干旱季风性气候, 年平均温度 10.5 , 日温差较大, 年平均相差 11.5 , 最高月平均温度 24.7 (7 月), 最低月平均温度 - 7.2 (1 月); 全年平均无霜期为 199 d, 年均降水量 375 mm, 平均海拔高度 856 m; 枣树种植面积达 2 000 hm<sup>2</sup>, 枣树平均树龄 30 年, 平均树高 5 m, 平均冠幅 5.6 m, 株行距为 6 m×4 m。

1.2 调查方法

于 2015 年 4-5 月份枣飞象成虫取食期即成虫的危害盛期, 选取具有代表性的样地, 分别采取 5 种不同的抽样方法(即五点抽样法、双对角线抽样法、棋盘式抽样法、平行线抽样法和 Z 形抽样法)对样地进行调查。“五点抽样法”取 5 个点, 每个点 3 株枣树, 共 15 株; “双对角线抽样法”取 20 个点, 每点 1 株枣树, 共 20 株; “棋盘式抽样法”取 9 个点, 每点 3 株树, 共 27 株; “平行线抽样法”取 3 条平行线, 每条线 15 株树, 共 45 株; “Z 形抽样法”取 33 个点, 每点 1 株枣树, 共 33 株。利用枣飞象成虫早晨活动能力较差的习性, 选择早晨 5:30-8:30, 采用分层取样法, 将枣树树冠分为上、中、下三层, 在

每层的东、西、南、北四个方向, 分别选取 60 cm 粗度和生长势一致的枣树枝条, 采集树冠各层每个方向的枣飞象成虫, 分别放入 75%酒精的塑料瓶中, 统计每株枣树上枣飞象成虫数量。确定最佳抽样方法以后, 再选取 5 块代表性样地, 按照上述方法统计枣飞象数量, 进行空间分布和抽样技术研究。

1.3 不同抽样方法的比较

分别用上述 5 种抽样方法在标准抽样地内进行抽样, 分析出 5 种抽样法的平均成虫数量  $m$ 、标准差  $S$ 、变异系数  $CV$  和标准误等, 并以所有抽查对象作为参照, 与 5 种抽样方法进行  $t$ -检验, 确定最佳的抽样方法(郑燕等, 2011)。

1.4 空间分布型的测定方法

1.4.1 聚集度指标法 先计算出每块抽样地的平均成虫数量  $m$  (头/株) 和方差  $S^2$ , 然后依据 (1) 扩散系数  $C=S^2/m$ ; (2) David 和 Moore 的  $I$  指标:  $I=S^2/m - 1$ ; (3) Waters 的负二项分布  $K$  指标:  $K=m^2/(S^2 - m)$ ; (4) Cassie and Kuno 的  $C_A$  指标:  $C_A=(S^2/m - 1)/m$ ; (5) 平均拥挤度  $m^*$ :  $m^*=m+(S^2/m - 1)$ ; (6) Lloyd 聚集度指标( $m^*/m$ ) 即是平均拥挤度与平均成虫数量的比值:  $m^*/m=1 + S^2/m - 1/m$ ; (7)  $L_a$  指标:  $L_a=(m - C)/(S + 1)$  共 7 个指标进行判断。各个聚集度指标(丁岩钦, 1980; 兰星平, 1993; 徐汝梅, 2005) 的判断标准见表 1。

表 1 各个聚集度指标判断标准  
Table 1 The aggregation index judgment standard

|                                | 扩散系数 $C$<br>Diffusion<br>coefficient | $I$ 指标<br>$I$ index | 负二项分布 $K$ 指标<br>Negative binomial<br>distribution $K$ index                      | $C_A$ 指标<br>$C_A$ index | 平均拥挤度 $m^*$<br>Mean crowding $m^*$ | $m^*/m$ | $L_a/m$ |
|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------|---------|
| 均匀分布<br>Uniform distribution   | <1                                   | <0                  | <0                                                                               | <0                      | < $m$                              | <1      | <1      |
| 随机分布<br>Random distribution    | =1                                   | =0                  | 趋向于 $\infty$ Infinite                                                            | =0                      | = $m$                              | =1      | =1      |
| 聚集分布<br>Aggregate distribution | >1                                   | >0                  | >0 (8 以上时逼近<br>Poisson 分布)<br>More than 8<br>approximate Poisson<br>distribution | >0                      | > $m$                              | >1      | >1      |

**1.4.2 Iwao 的  $m^*-m$  回归分析法** 用回归方程为  $m^*=\alpha+\beta m$  进行回归, 其中,  $\alpha$  是  $m^*$  轴上的截距,  $\beta$  是回归斜率。当  $m^*$  与  $m$  呈直线时, 常数  $\alpha$  与  $\beta$  揭示了种群的分布型特征 (Iwao, 1972)。根据  $\alpha$  值判断分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度 ( $\alpha=0$  说明分布的基本成分是单个个体;  $\alpha<0$  说明个体间相互排斥;  $\alpha>0$  说明分布的基本成分是个体间相互吸引的个体群)。  $\beta$  值的大小解释了分布的基本成分的空间分布型 ( $\beta<1$  是均匀分布;  $\beta=1$  是随机分布;  $\beta>1$  是聚集分布)。

**1.4.3 Taylor 的幂法则** Taylor 总结出的方差 ( $S^2$ ) 与样本均数 ( $m$ ) 的公式, 即

$$\log S^2 = \log a + b \log m \quad (1)$$

式中  $b$  指示聚集度与种群密度依赖性的关系。当  $\log a=0, b=1, S^2=m$  时, 说明种群在一切密度下为随机分布; 当  $\log a>0, b=1, S^2/m=a$  时, 说明种群在一切密度下都是聚集的; 当  $\log a>0, b>1, S^2/m=am^{b-1}$  时, 说明种群在一切密度下均是聚集的, 且  $m$  越大, 种群聚集度越高即具有密度依赖性; 当  $\log a<0, b<1$  时, 说明种群密度越高分布的越均匀 (王利军等, 2011)。

## 1.5 聚集原因分析

聚集原因根据 Blackith (1961) 的方法进行分析, 当群聚均数  $\geq 2$  时, 聚集原因是由于某些环境成分或者是昆虫本身的聚集性活动中的一个因素或共同作用引起的, 当群聚均数  $< 2$  时, 聚集原因只可能是环境成分影响的。

$$\text{种群群聚均数 } (\lambda): \lambda = m\gamma / 2K \quad (2)$$

式中,  $m$  表示平均成虫数;  $\gamma$  表示具有自由度等于  $2K$  的  $\chi^2$  分布的函数。计算群聚均数应用 0.5 的概率值, 即  $\gamma = \chi^2$  分布表中自由度等于  $2K$  与 0.5 概率值的对应处的  $\chi^2$  值, 由于  $2K$  一般是小数, 可用比例的内插估值计算。

## 1.6 序贯抽样分析法

进行抽样方法的比较之后, 继续进行序贯抽样分析技术, 即采取拒绝限和接受限 (合称决策限) 的序贯抽样决策模型。本文选用 Iwao 的  $m^*-m$  回归分析模型确定枣飞象成虫的序贯抽样

模型和最适理论抽样数 (许向利等, 2012; 张永强等, 2015; 余杰颖等, 2015)。

## 1.7 数据处理

所有数据的处理都采用统计分析软件 SPSS Statistics 17.0 和 Excel 2016 进行处理。

# 2 结果与分析

## 2.1 枣飞象成虫最适抽样方法的确定

**2.1.1 5 种抽样方法适合性的比较** 由表 2 可知, 运用五点抽样法、双对角线抽样法、棋盘式抽样法、平行线抽样法和 Z 形抽样法调查的枣飞象成虫数量与参照对象 (认为总体抽样枣飞象总数量为参照对象) 的成虫数量进行适合性  $t$ -检验, 当  $t$ -值分别是 -0.209、0.542、-0.073、-0.510 和 0.328,  $t_{0.05}$  检验值分别为 0.838、0.594、0.942、0.613 和 0.745,  $t$ -检验结果均不显著, 说明 5 种抽样方法都适用于枣飞象成虫的抽样, 其中以平行线抽样法适合性最好, 双对角线抽样法最差。

**2.1.2 5 种抽样方法代表性的比较** 通过比较 5 种抽样方法抽取的平均成虫头数与参照对象的平均数间的标准误, 可以得出 5 种抽样方法的抽样代表性。依据表 2 数据可知, 五点抽样法、双对角线抽样法、棋盘式抽样法、平行线抽样法和 Z 形抽样法, 5 种抽样方法的标准误分别为 8.793、7.984、6.389、4.865 和 6.039。可以看出, 平行线抽样法的代表性最强, 棋盘式抽样法和 Z 形抽样法代表性次之, 而五点抽样法代表性最差。

**2.1.3 5 种抽样方法变异程度的比较** 变异系数  $CV$  是标准差  $S$  与平均成虫个数  $m$  之间的比值, 经过计算得出参照对象的变异系数是 0.4697, 由表 2 不难看出, 五点抽样法、双对角线抽样法、棋盘式抽样法、平行线抽样法和 Z 形抽样法的变异系数  $CV$  分别为 0.491、0.472、0.469、0.475 和 0.474; 与参考对象相比, 棋盘式抽样变异程度最小, 其次为双对角线抽样法、棋盘式抽样法和平行线抽样法, 五点抽样法变异程度最大。

表 2 枣飞象成虫 5 种田间抽样方法的比较  
Table 2 Comparison of 5 kinds of field sampling methods of *Scythropus yasumatsui* adults

| 抽样方法<br>Sampling methods | 抽取株数<br>Sampling number | 平均成虫<br>个数<br>Sample mean | 标准差 <i>S</i><br>Standard deviation | 标准误<br>Standard error | 变异系数<br><i>CV</i><br>Variation coefficient | 与总样本 $t_{0.05}$<br>检验值<br>Total sample $t_{0.05}$ test value | 自由度 <i>df</i><br>Degree of freedom | <i>t</i> -值<br><i>t</i> -value | 适合性<br>Fit |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------|
| 五点<br>Five points        | 15                      | 69.333                    | 34.056                             | 8.793                 | 0.491                                      | 0.838                                                        | 14                                 | - 0.209                        | 适合 Fit     |
| 双对角线<br>Double diagonal  | 20                      | 75.500                    | 35.706                             | 7.984                 | 0.472                                      | 0.594                                                        | 19                                 | 0.542                          | 适合 Fit     |
| 棋盘式<br>Chessboard        | 27                      | 70.704                    | 33.200                             | 6.389                 | 0.469                                      | 0.942                                                        | 26                                 | - 0.073                        | 适合 Fit     |
| 平行线<br>Parallel lines    | 45                      | 68.689                    | 32.638                             | 4.865                 | 0.475                                      | 0.613                                                        | 44                                 | - 0.510                        | 适合 Fit     |
| Z 形 Z pattern            | 33                      | 73.152                    | 34.691                             | 6.039                 | 0.474                                      | 0.745                                                        | 32                                 | 0.328                          | 适合 Fit     |

综上, 5 种抽样方法都适合枣飞象成虫的抽样调查, 其中以平行线抽样适合性最好, 平行线抽样法代表性最强, 棋盘式抽样法变异程度最小。因此, 在实际进行枣飞象成虫抽样时, 平行线抽样法为最理想抽样方法。

2.2 枣飞象成虫的空间分布型

2.2.1 聚集度指标测定结果 通过对枣飞象田间调查数据进行处理, 枣飞象成虫空间分布型的聚集度指标见表 3。数据显示, 扩散系数 *C* 大于 1; David 和 Moore 的 *I* 指标大于 0; 负二项分布 *K* 指标大于 0 小于 8; Cassie and Kuno 的 *C<sub>A</sub>* 指标大于 0; 平均拥挤度 *m*\* 大于 *m*; 聚集性指标 *m*\*/*m* 值大于 1; *L<sub>a</sub>*/*m* 指标大于 1。各个聚集度指标都表明枣飞象成虫在枣园的空间分布型呈聚集分布。

2.2.2 Iwao 的 *m*\*-*m* 回归分析法 联合样本均数 *m* 和平均拥挤度 *m*\*, 可以得出枣飞象成虫的回归直线方程:  $m^* = 1.020\ 3m + 17.995$ ,  $R^2 = 0.997\ 4$  (图 1), 分析表明,  $\beta = 1.020\ 3 > 1$ , 说明空间分布型为聚集分布;  $\alpha = 17.995 > 0$ , 说明分布的基本成分是个体间相互吸引的个体群。

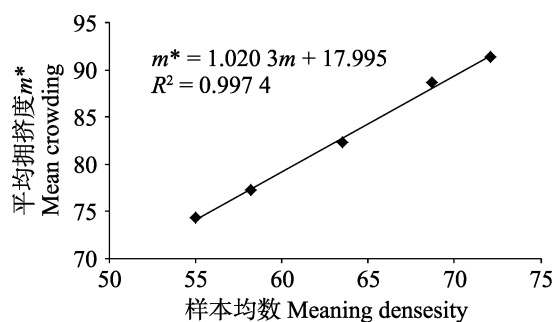
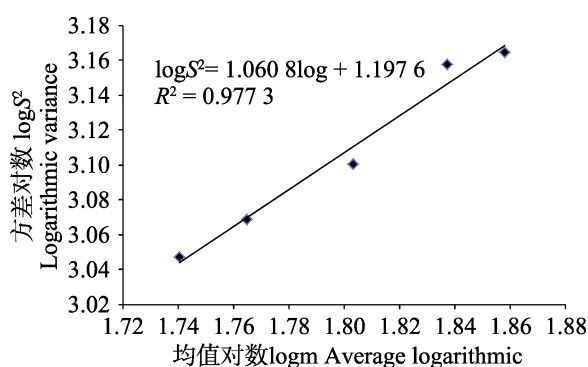
2.2.3 Taylor 的幂法则 根据表 3 数据, 将方差 *S*<sup>2</sup> 和样本均数 *m* 进行对数转换, 可以得到它们之间关系为:  $\log S^2 = 1.060\ 8\log m + 1.197\ 6$ ,  $r^2 = 0.977\ 3$  (图 2),  $\lg a = 1.197\ 6 > 0$ ,  $b = 1.060\ 8 > 1$ ,  $S^2/m = am^{b-1}$ , 说明枣飞象成虫种群在一切密度下均是聚集的, 且 *m* 越大, 种群聚集度越高越具有密度依赖性。

2.3 枣飞象成虫聚集原因分析

按照 Blackith (1961) 提出的聚集均数 ( $\lambda$ )

表 3 枣飞象成虫空间分布型的聚集度指标  
Table 3 The aggregation index of spatial distribution pattern for *Scythropus yasumatsui* adults

| 样地<br>Sample              | 样本均数 <i>m</i><br>Sample mean | 方差 <i>S</i> <sup>2</sup><br>Variance | 扩散系数 <i>C</i><br>Diffusion coefficient | <i>I</i> 指标<br><i>I</i> index | <i>C<sub>A</sub></i> 指标<br><i>C<sub>A</sub></i> index | <i>K</i> 指标<br><i>K</i> index | 平均拥挤度 <i>m</i> *<br>Mean crowding <i>m</i> * | <i>m</i> */ <i>m</i> | <i>L<sub>a</sub></i> / <i>m</i> |
|---------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1                         | 58.200                       | 1 171.171                            | 20.123                                 | 19.123                        | 0.329                                                 | 3.043                         | 77.323                                       | 1.329                | 1.017                           |
| 2                         | 63.533                       | 1 260.124                            | 19.834                                 | 18.834                        | 0.297                                                 | 3.373                         | 82.367                                       | 1.296                | 1.016                           |
| 3                         | 72.067                       | 1 460.495                            | 20.266                                 | 19.266                        | 0.267                                                 | 3.741                         | 91.333                                       | 1.267                | 1.014                           |
| 4                         | 55.000                       | 1 115.000                            | 20.273                                 | 19.273                        | 0.350                                                 | 2.854                         | 74.273                                       | 1.350                | 1.018                           |
| 5                         | 68.733                       | 1 473.495                            | 20.914                                 | 19.914                        | 0.290                                                 | 3.452                         | 88.647                                       | 1.290                | 1.014                           |
| 聚集度<br>Aggregation degree |                              |                                      | >1                                     | >0                            | >0                                                    | >0                            | > <i>m</i>                                   | >1                   | >1                              |

图 1 枣飞象成虫的  $m^*$  与  $m$  回归模型Fig. 1 Regression model of  $m^*$ - $m$  *Scythropus yasumatsui* adults图 2 枣飞象成虫的  $\lg S^2$  与  $\lg m$  回归模型Fig. 2 Regression model of  $\lg S^2$  and  $\lg m$  *Scythropus yasumatsui* adults

分析枣飞象成虫的聚集原因。用已知的样本均数  $m$ ，负二项分布指数  $K$ ，采用比例的内插估值计算出  $\gamma$ ，最后求出  $\lambda$  (表 4)。根据表 4，分析出 5 块样地的聚集均数  $\lambda$  都大于 2，说明枣飞象成虫的聚集原因是由于某些环境成分或者是该虫本身的聚集性活动中的一个因素或共同作用引起。

## 2.4 枣飞象成虫的抽样技术

2.4.1 理论抽样数的确定 按照 Iwao 提出的最适理论抽样公式确定最适抽样量，

$$N = t^2 / D^2 [(\alpha + 1) / m + \beta - 1] \quad (3)$$

式中， $N$  为最适理论抽样数； $D$  为相对允许误差； $t$  为置信度是 95% 条件下的所对应的值，一般取  $t = 1.96$ ； $m$  是估计的成虫数量； $\alpha$ 、 $\beta$  为 Iwao 的  $m^*$ - $m$  回归模型中的参数值。

将  $\alpha = 17.995$ ， $\beta = 1.0203$  代入公式 3 中，可得公式 4，即

$$N = t^2 / D^2 (18.995 / m + 0.0203) \quad (4)$$

假设相对允许误差  $D$  分别为 0.1、0.2 和 0.3 时，可以得出枣飞象成虫在不同成虫数量下的最适抽样数 (表 5)。由表 5 可得出，在同一个相

表 4 枣飞象成虫聚集均数与均值分析

Table 4 The analysis of aggregation average and sample mean for *Scythropus yasumatsui* adults

| 抽样地<br>Sample | 样本均数 $m$<br>Sample mean | $K$   | $2K$  | $\gamma$ | 聚集均数 $\lambda$<br>Aggregation average |
|---------------|-------------------------|-------|-------|----------|---------------------------------------|
| 1             | 58.200                  | 3.043 | 6.087 | 5.437    | 51.985                                |
| 2             | 63.533                  | 3.373 | 6.747 | 6.097    | 57.412                                |
| 3             | 72.067                  | 3.741 | 7.481 | 7.821    | 75.342                                |
| 4             | 55.000                  | 2.854 | 5.708 | 3.070    | 29.588                                |
| 5             | 68.733                  | 3.452 | 6.906 | 6.253    | 62.261                                |

表 5 枣飞象成虫不同成虫密度下的最适理论抽样数

Table 5 The optimal sampling number in different densities of *Scythropus yasumatsui* adults

| 相对允许<br>误差 $D$<br>Permissible<br>variation | 估计的成虫数量 (头/株) The number of adults estimated |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
|                                            | 10                                           | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| 0.1                                        | 738                                          | 373 | 251 | 190 | 154 | 129 | 112 | 99 | 89 | 81  | 74  | 69  | 64  |
| 0.2                                        | 184                                          | 93  | 63  | 48  | 38  | 32  | 28  | 25 | 22 | 20  | 19  | 17  | 16  |
| 0.3                                        | 82                                           | 41  | 28  | 21  | 17  | 14  | 12  | 11 | 10 | 9   | 8   | 8   | 7   |

对允许误差里,最适理论抽样数的确定与成虫数量的多少成反比;在相等的成虫数量下,最适理论抽样数的确定与相对允许误差的变化成反比。

**2.4.2 序贯抽样模型** 序贯抽样决策模型公式,即

$$T'_0, T''_{0(n)} = nm_0 \pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_0 + (\beta-1)m_0^2]} \quad (5)$$

式中,  $\alpha$ 、 $\beta$  为 Iwao  $m^*-m$  回归方程中相对应的值,  $t=1.96$ ,  $m_0$  为防治指标,  $n$  为抽样调查的株数。

实际防治中,设防治指标  $m_0 = 10-30$  (头/株)。将  $\alpha = 18.995$ ,  $\beta = 1.0203$ ,  $t=1.96$  代入公式 5 中,得公式 6,

$$T'_0, T''_{0(n)} = nm_0 \pm 1.96\sqrt{n[18.995m_0 + 0.0203m_0^2]} \quad (6)$$

依据公式 5 和公式 6,可以得出在不同调查株数 (5、10、15、20、25、30、35、40、45 和 50) 时所累计的枣飞象成虫数量的上限  $T'_0$  和下限  $T''_0$  (表 6)。

在枣飞象的实际防治中,枣飞象防治指标 ( $m_0$ ) 为 30 头/株,序贯抽样模型为,  $T'_0, T''_{0(n)} = 30n \pm 47.53\sqrt{n}$  如果调查受害枣树为 30 株时,枣飞象成虫数量累计达到 1 161 头时,则需要进行治疗;如果累计没有达到 640 头时,则不需要进行治疗;如果在调查这 30 株枣树过程中,成虫累计数介于 1 161 (上限) 和 640 (下限) 之间,则不能确定是否进行治疗,需要继续往下抽样调查,根据具体情况决定。

表 6 枣飞象成虫序贯抽样表  
Table 6 Sequential sampling table of *Scythropus yasumatsui* adults

| 防治指标<br>Control threshold |         | 不同调查株数累计的枣飞象成虫数量 (头/株) Number of jujube tree |     |     |     |     |       |       |       |       |       |
|---------------------------|---------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           |         | 5                                            | 10  | 15  | 20  | 25  | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    |
| $m_0=10$                  | $T'_0$  | 111                                          | 186 | 256 | 322 | 386 | 449   | 511   | 572   | 633   | 692   |
|                           | $T''_0$ | —                                            | 15  | 46  | 80  | 115 | 152   | 191   | 230   | 269   | 309   |
| $m_0=15$                  | $T'_0$  | 150                                          | 256 | 355 | 450 | 542 | 633   | 723   | 811   | 899   | 986   |
|                           | $T''_0$ | 1                                            | 45  | 96  | 151 | 209 | 268   | 328   | 390   | 452   | 515   |
| $m_0=20$                  | $T'_0$  | 187                                          | 323 | 450 | 573 | 693 | 812   | 929   | 1 045 | 1 159 | 1 273 |
|                           | $T''_0$ | 14                                           | 78  | 151 | 228 | 307 | 389   | 472   | 556   | 641   | 727   |
| $m_0=25$                  | $T'_0$  | 222                                          | 387 | 543 | 694 | 842 | 987   | 1 131 | 1 274 | 1 416 | 1 556 |
|                           | $T''_0$ | 30                                           | 114 | 208 | 307 | 409 | 513   | 619   | 727   | 835   | 944   |
| $m_0=30$                  | $T'_0$  | 257                                          | 451 | 635 | 813 | 988 | 1 161 | 1 332 | 1 501 | 1 669 | 1 837 |
|                           | $T''_0$ | 44                                           | 150 | 266 | 388 | 513 | 640   | 769   | 900   | 1 032 | 1 164 |

### 3 讨论

种群的空间分布型是种群的重要属性之一,是该种群在空间相对静止的分布状况,揭示生物个体某一时期的行为、环境因子对其迭加影响,以及空间结构异质性程度 (徐汝梅, 2005)。通过对有害昆虫的空间分布型进行研究,可以揭示其空间分布特征,制定科学合理的抽样技术,对了解该虫的扩散、种群的预测预报及持续的综合治理有实际意义 (郭建蒲和袁忠林, 2013; 段春

芳等, 2015)。本研究表明枣飞象成虫在陕红枣区空间分布型呈聚集分布,分布的基本成分是个体间相互吸引的个体群,且个体群的聚集度与其密度成正比,这与洪波等 (2017) 的研究结果一致,同时也与稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* (曲辉等, 1998; 丁新华等, 2015)、稻象甲 *Echinocnemus squameus* (黄金水等, 2000)、茶丽纹象 *Myloccerinus aurolineatus* (朱俊庆等, 1988)、绿鳞象甲 *Hypomeces squamosus* (董丽丽和陈向阳, 2010)、云杉树叶象 *Phyllobius* sp (张

永强等, 2015) 等象甲成虫空间分布型相同, 均呈现聚集分布。一般来说, 很多象甲科成虫本身具有聚集为害的习性 (杨毅等, 2012), 在陕北枣园田间调查危害情况时发现, 枣飞象往往喜欢聚集取食危害枣芽, 引起该虫聚集的原因究竟是成虫体内存在聚集信息素引起枣飞象聚集危害, 还是寄主挥发物和环境因素引起的枣飞象聚集, 需要进一步研究。在枣飞象的田间控制中, 可以利用成虫聚集危害的习性, 进行集中防治达到事半功倍的效果。

一般来说, 对林木食芽和食叶害虫进行调查, 通常使用全冠法采样进行研究, 例如茶角胸叶甲 *Basilepta melanopus* (李密等, 2014)、枣尺蠖 (刘贤谦等, 1995)、绿盲蝽 (王振亮等, 2010)、茶丽纹象 (朱俊庆等, 1988)、绿鳞象甲 (董丽丽和陈向阳, 2010)、云杉树叶象 (张永强等, 2015) 等。洪波等 (2017) 对枣树下层抽样统计枣飞象成虫数量, 得出该虫的理论抽样数和序贯抽样方法, 仅选取特定空间分布取样的方法不一定能代表整株树的情况。该研究得出当枣飞象防治指标  $m_0=30$  头/株, 10 株枣树成虫累计虫口密度达到 409 头时需要防治。本研究使用枣树全冠取样法 (上、中、下三层), 统计了枣飞象成虫数量, 同样的防治指标, 10 株枣树累计虫口密度达到 419 头时需要防治。也就是说, 假如枣飞象在树冠各层分布相对均匀, 不存在明显差异的情况下, 采用树冠下层取样法统计枣飞象数量, 10 株枣树枣飞象累计数量达到约 150 头, 就应该采取防治措施, 因为枣飞象为食芽害虫, 对枣树造成的危害比较大, 因此, 本研究结果更符合枣飞象在陕北枣园的实际情况。

五点取样法、双对角线取样法、棋盘式取样法、平行线法和 Z 形抽样法是有害昆虫种群实际调查中被广泛采用的方法; 选择适当的取样方法, 常可获得代表性较高的样本值, 得到的数据更具有实际价值 (金瑞华等, 1982)。本研究比较了 5 种抽样方法之间的适合性、代表性、变异程度, 发现 5 种抽样方法均适合枣飞象田间调查, 平行线抽样法是最理想的调查方法, 这同茶丽纹象甲 (朱俊庆等, 1988) 和绿鳞象甲 (董丽

丽和陈向阳, 2010) 成虫在茶园的研究结果一致, 为枣飞象在陕北枣区田间危害调查, 提供了比较可靠的调查方法。需要说明的是, 陕北的丘陵沟壑地貌导致枣树分布不均匀, 有峁顶的、半坡的和沟底的, 在实际的调查抽样中, 需要根据立地条件和成虫密度进行灵活应用抽样技术, 成虫数量和相对允许误差确定该虫的理论抽样数, 成虫数量比较少时, 增加枣树的抽样数; 成虫数量比较多时, 减少枣树的抽样数。枣飞象以成虫危害枣树, 发生时间较为集中, 危害面积广, 应用最适理论抽样数和序贯抽样模型, 既能节约大量的人力、物力和时间, 又可以使调查结果与实际受害情况一致, 提高调查的准确性, 减少调查的盲目性, 为枣飞象成虫的监测预报和有效防治提供科学、合理的依据。

## 参考文献 (References)

- Bai QF, Wang JH, Zhang Y, 2016. Investigation and forecast of main diseases and insect pests of jujube in hilly region of loess plateau. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32(6): 176–181. [柏秦凤, 王景红, 张勇, 2016. 黄土高原丘陵区红枣主要病虫害调查及预测. *中国农学通报*, 32(6): 176–181.]
- Blackith RE, 1961. The water reserves of hatchling locusts. *Comparative Biochemistry and Physiology A-molecular & Integrative Physiology*, 3(2): 99–107.
- Cai ZP, Peng Y, Li KF, Jiang MJ, Zhang DH, 2016. Spatial distribution and sampling technique of larvae of *Contarinia datifolia* in jujube trees. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 44(9): 152–154. [蔡志平, 彭延, 李克福, 姜明军, 张栋海, 2016. 枣瘿蚊幼虫在幼龄枣树上的空间分布型及抽样技术. *江苏农业科学*, 44(9): 152–154.]
- Ding XH, Tu EX, He J, Guo WC, Fu WJ, Ban XL, Guan ZJ, Zhou J, 2015. Studies on space distribution model of the adult of rice water weevil in the ecological regions of oasis in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 52(5): 875–881. [丁新华, 吐尔逊, 何江, 郭文超, 付文君, 班晓丽, 关志坚, 周俊, 2015. 新疆荒漠绿洲生态区稻水象甲成虫空间分布型研究. *新疆农业科学*, 52(5): 875–881.]
- Ding YQ, 1980. *Insect Population Ecology Principle and Method of Mathematics*. Beijing: Science Press. 22–122. [丁岩钦, 1980. 昆虫数学生态学原理与应用. 北京: 科学出版社. 22–122.]
- Dong LL, Chen XY, 2010. Spatial distribution pattern of *Hypomeces*

- squamosus* Fabricius in tea garden. *Hunan Agricultural Sciences*, (3): 74–76. [董丽丽, 陈向阳, 2010. 茶园害虫茶树绿鳞象甲空间分布型研究. 湖南农业科学, (3): 74–76.]
- Duan CF, Song JM, Shen SB, Yan W, Liu Q, Li YX, Lou YQ, Xiong XK, Zhou YC, Yi HF, Zhang LH, Liu GH, 2015. Study on spatial distribution patterns of *Bemisia tabaci* adults in different cassava species. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 36(8): 1456–1461. [段春芳, 宋记明, 沈绍斌, 严炜, 刘倩, 李月仙, 娄予强, 熊贤坤, 周迎春, 易怀锋, 张林辉, 刘光华, 2015. 烟粉虱成虫在不同木薯品种上的空间分布型研究. 热带作物学报, 36(8): 1456–1461.]
- Duan CH, Wang QH, Liu XH, Zhu WC, Niu ZG, Qi YK, 2016. Studies on spatial distribution pattern and sampling technique of overwintering eggs of *Lygus lucorum* on ‘Dongzao’ jujube trees in northern Shandong province. *Shandong Agricultural Sciences*, 48(9): 107–109. 段春华, 王清海, 刘幸红, 朱文成, 牛贻光, 元玉昆, 2016. 绿盲蝽越冬卵在鲁北地区冬枣树上空间分布型及抽样技术研究. 山东农业科学, 48(9): 107–109.]
- Guo JP, Yuan ZL, 2013. Spatial distribution pattern and sampling technology of adult of *Hoplia spectabilis*. *Journal of Qingdao Agricultural University*, 30(3): 188–191. [郭建蒲, 袁忠林, 2013. 明亮长脚金龟甲成虫的空间分布型及抽样技术研究. 青岛农业大学学报, 30(3): 188–191.]
- Hong B, Zhang F, Li YM, Zhang SL, Chen ZJ, 2017. Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* Kôno et Morimoto adults in jujube orchid of Northern Shaanxi. *Plant Protection*, 43(6): 113–117. [洪波, 张锋, 李英梅, 张淑莲, 陈志杰, 2017. 食芽象甲成虫在陕北枣园的空间分布格局. 植物保护, 43(6): 113–117.]
- Huang SJ, Zhang GP, Fei RG, Liu JQ, Hu ZD, 2000. Study on spatial distribution pattern of adult of *Echinocnemus squamous*. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 12(4): 30–35. [黄水金, 章根平, 裴润根, 刘剑青, 胡祖栋, 2000. 稻象甲成虫空间分布型的研究. 江西农业学报, 12(4): 30–35.]
- Huang WZ, Li DC, 1993. Study on spatial distribution pattern overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui*. *Entomological Knowledge*, 30(6): 348–350. [黄维正, 李东成, 1993. 枣飞象越冬幼虫空间分布格局的研究. 昆虫知识, 30(6): 348–350.]
- Iwao S, 1972. Application of the  $m^*-m$  method to the analysis of spatial patterns by changing the quadratic size. *Researches on Population Ecology*, 14(1): 97–128.
- Jin RH, Zhang JX, 1982. A tentative discussion about the sampling method for inquire into an insect population. *Acta Agriculture Universitatis Pekinensis*, 8(4): 11–28. [金瑞华, 张家娴, 1982. 试论昆虫种群调查中的抽样方法. 北京农业大学学报, 8(4): 11–28.]
- Lan XP, 1993. Application of La analysis method to the examining insect spatial pattern and sampling technique. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 21(1): 20–26. [兰星平, 1993. La 指标在测定昆虫空间分布型与抽样调查中的应用. 贵州林业科技, 21(1): 20–26.]
- Li M, Zhou G, He Z, Tan JC, Liu YJ, Wu YP, 2014. Spatial distribution patterns and the environmental interpretations of *Basilepta melanopus* adults in *Camellia oleifera* young forests. *Scientia Silvae Sinicae*, 50(10): 173–180. [李密, 周刚, 何振, 谭济才, 刘跃进, 伍义平, 2014. 油茶幼林茶角胸叶甲成虫空间分布型及环境解释. 林业科学, 50(10): 173–180.]
- Liu XQ, Shi GL, Li SH, Li LC, Zhang XH, 1995. Studies on the spatial distribution pattern and the sampling technique of jujube looper larvae. *Scientia Silvae Sinicae*, 31(1): 17–22. [刘贤谦, 师光禄, 李世虎, 李连昌, 张仙红, 1995. 枣步曲幼虫空间分布型及抽样技术的研究. 林业科学, 31(1): 17–22.]
- Qu H, Li TY, Jiang D, Ding XY, Wang EB, 1998. Studies on space distribution model and sampling methods of the adult of rice water weevil. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 29(1): 30–33. [曲辉, 李腾友, 江冬, 丁秀云, 王恩波, 1998. 辽宁省稻水象甲成虫的空间分布型及抽样方法的研究. 沈阳农业大学学报, 29(1): 30–33.]
- Shi GL, Fan BH, Jia FB, Liu SQ, Cao H, 2000. Studies on the occurrence and copulation behavior of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. Chinese Entomology towards the 21st Century - The Chinese Society of Insects in 2000 Academic Essays. 589–593. [师光禄, 樊宝华, 贾峰彪, 刘素琪, 曹辉, 2000. 枣飞象发生规律及交配行为的研究. 走向 21 世纪的中国昆虫学 - 中国昆虫学会 2000 年学术年会论文集. 589–593.]
- Tang XL, Zhao HZ, Zhang XW, 2013. Techniques for the control of *Scythropus yasumatsui* in the Northern Shaanxi. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (4): 131–132. [唐学亮, 赵宏志, 张学武, 2013. 陕北枣树食芽象甲防治技术研究. 陕西林业科技, (4): 131–132.]
- Wang ZL, Han HZ, Liu MJ, Shao XH, Liu P, Zhang XH, 2010. Spatial distribution of *Lygus lucorum* in the jujube canopy and the harm regularity of the first-generation nymphs to jujube stocks. *Forest Pest and Disease*, 29(3): 15–17. [王振亮, 韩会智, 刘孟军, 邵学红, 刘平, 张秀红, 2010. 绿盲蝽蟥在树冠内的空间分布及第 1 代若虫对枣股的危害规律. 中国森林病虫, 29(3): 15–17.]
- Xu RM, 2005. The Bionomy of Insect Population. Beijing: Science

- Press. 7–33. [徐汝梅, 2005. 昆虫种群生态学. 北京: 科学出版社. 7–33.]
- Xu XL, Cheng JL, Guo LN, Zhang LL, Wu JX, 2012. Spatial distribution pattern and sampling techniques of the sloe bug. *Journal of Northwest A&F University*, 40(6): 114–119. [许向利, 成巨龙, 郭丽娜, 张林林, 仵均祥, 2012. 烟田斑须蝽空间分布型格局及抽样技术研究. 西北农林科技大学学报, 40(6): 114–119.]
- 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. [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, Liu YH, Li G, Qiang DH, Xu YP, 2017. EAG and olfactory behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* to seven volatiles from the *Zizyphus jujube*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(4): 621. [阎雄飞, 刘永华, 李刚, 强大宏, 许育平, 2017. 枣飞象对枣树七种挥发物 EAG 和嗅觉行为反应. 应用昆虫学报, 54(4): 621.]
- Yang Y, Liang XY, Yang CP, Yang H, Yang W, 2012. A review of research on Curculionidae pheromones. *Journal of Zhejiang A&F University*, 29(1): 125–129. [杨毅, 梁潇予, 杨春平, 杨桦, 杨伟, 2012. 象甲科昆虫信息素研究概况. 浙江农林大学学报, 29(1): 125–129.]
- Yu JY, Zhang B, Ren KL, Li M, Song ZS, Geng K, 2015. Field spatial distribution patterns and sampling techniques of *Erythroneura apicalis* (Nawa) adults and nymphs. *Journal of Southern Agriculture*, 46(12): 2140–2145. [余杰颖, 张斌, 任轲亮, 李梅, 宋致书, 耿坤, 2015. 葡萄斑叶蝉成虫及若虫田间空间分布型及抽样技术研究. 南方农业学报, 46(12): 2140–2145.]
- Zhang XM, Liu XJ, Yang ZJ, 2006. Studies on the spatial distribution pattern of *Lygus lucorum* Meyer-Dür' s over winter eggs in jujube trees. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 14(3): 157–159. [张秀梅, 刘小京, 杨振江, 2006. 绿盲蝽越冬卵在枣树上的空间分布型研究. 中国生态农业学报, 14(3): 157–159.]
- Zhang YQ, Ma YF, Chang CX, Zhu HY, Guo YL, Ma H, 2015. Spatial distribution pattern and sampling technology of *Phyllobius* sp. adults. *Forest Pest and Disease*, 34(5): 45–46. [张永强, 马艳芳, 常承秀, 朱惠英, 郭彦林, 马慧, 2015. 云杉树叶象成虫空间分布和抽样技术. 中国森林病虫, 34(5): 45–46.]
- Zheng Y, Jiang C, Yang CL, Li WM, Li JJ, Li XL, 2011. Study on special distribution pattern and sampling technique of *Paridea angulicollis* adult in *Gyanostemma pentaphyllum*. *Journal of Northwest A&F University*, 39(4): 99–104. [郑燕, 姜超, 杨晨亮, 李万梅, 李建军, 李修炼, 2011. 三星黄萤叶甲成虫在绞股蓝田的空间分布型及抽样技术研究. 西北农林科技大学学报, 39(4): 99–104.]
- Zhu JQ, Shang JN, Guo MM, 1988. Study on special distribution pattern and sampling technique of *Myllocerinus aurolineatus*. *Entomological Knowledge*, 25(5): 277–280. [朱俊庆, 商建农, 郭敏明, 1988. 茶丽纹象甲空间分布型及抽样技术的研究. 昆虫知识, 25(5): 277–280.]