

西南地区新发玉米害虫一点缀螟危害特点 及空间分布型*

陈 爽^{1,2**} 赵胜园² 刘大众^{2,3} 杨现明² 李 娜⁴ 吴孔明^{2***}

(1. 福建农林大学应用生态研究所, 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 3. 中国农业科学院农业信息研究所, 农业农村部农业信息服务技术重点实验室, 北京 100081; 4. 普洱市农业科学研究所, 普洱 665000)

摘 要 【目的】明确中国西南地区新发玉米害虫一点缀螟 *Paralipsa gularis* (Zeller) 幼虫对玉米的为害特征和空间分布, 为田间预测预报与防治工作提供理论支撑。【方法】采用 5 点随机取样法对云南省江城玉米田一点缀螟幼虫的发生与为害情况进行抽样调查, 通过聚集度指标法和回归分析法分析幼虫在玉米田的空间分布。【结果】田间调查发现, 幼虫自玉米乳熟期开始为害, 通过钻蛀玉米果穗、穗芯及茎秆, 造成籽粒残缺, 并引发穗腐。为害部位有明显的蛀孔和钻蛀隧道, 并产生的白色排泄物, 老熟幼虫在玉米苞叶和果穗上吐丝结茧化蛹。幼虫平均密度范围为 0.02–3.62 头/株, 玉米受害株率为 2%–58%, 玉米果穗受害率与虫口密度呈正相关。幼虫在玉米果穗上呈聚集分布, 个体间相互吸引, 分布的基本成分为个体群。聚集均数 λ 分析表明, 幼虫聚集的原因是由环境因素所导致的。基于空间分布型的研究结果, 建立了一点缀螟幼虫的理论抽样公式 $N = (3.8416 / D^2)(4.9015 / \bar{x} + 3.5031)$ 和基于幼虫密度防治指标的最佳序贯抽样公式 $T_{I_{wao}(n)} = nm_0 \pm 1.96\sqrt{n(4.9015m_0 + 3.5031m_0^2)}$ 。【结论】本文明确了玉米田一点缀螟的为害特征及其空间分布, 提出了田间种群的抽样方法, 为田间幼虫种群密度的调查和防治工作提供了技术支撑。

关键词 一点缀螟; 玉米; 为害特征; 空间分布; 理论抽样数

The damage characteristics and spatial distribution pattern of the new maize pest *Paralipsa gularis* (Zeller) in southwestern China

CHEN Shuang^{1,2**} ZHAO Sheng-Yuan² LIU Da-Zhong^{2,3}
YANG Xian-Ming² LI Na⁴ WU Kong-Ming^{2***}

(1. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Institute of Applied Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Key Laboratory of Agricultural Information Service Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Puer Institute of Agricultural Sciences, Puer 665000, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the damage characteristics and spatial distribution of larvae of *Paralipsa gularis* (Zeller), an emerging pest of maize in southwestern China, in order to provide theoretical support for the prediction and control of this species. 【Methods】A five-point random sampling method was used to survey the occurrence and damage caused by *P. gularis* larvae in summer maize fields in Jiangcheng county, Yunnan province. The spatial distribution patterns of larvae in maize fields were analyzed using the aggregation index method and regression analysis. 【Results】Field investigations found that larvae began to damage maize during the milk stage, and bored into maize ears, cores and stalks, causing grain defects and ear rot. Damaged areas had obvious borer holes, tunnels and white excrement, and mature larvae pupated on maize bracts and

*资助项目 Supported projects: 国家现代农业(玉米)产业技术体系(CARS-02)

**第一作者 First author, E-mail: c860994099@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wukongming@caas.cn

收稿日期 Received: 2022-01-09; 接受日期 Accepted: 2022-04-28

ears. Average larval densities ranged from 0.02 to 3.62 individuals per plant, and the rate of maize-damaged plants was 2% to 58%. The rate of damage to maize ears was positively correlated with average larval density. Larvae had an aggregated distribution in maize ears, indicating that individuals attracted each other. The basic component of the distribution was the individual group. The aggregation average λ indicated that larvae aggregated in response to environmental factors. Based on these results, we derived the theoretical sampling formula: $N = (3.8416 / D^2)(4.9015 / \bar{x} + 3.5031)$ for larvae of *P. gularis* and the larval density control index sampling formula: $T_{\text{Iwao}(n)} = nm_0 \pm 1.96\sqrt{n(4.9015m_0 + 3.5031m_0^2)}$. **[Conclusion]** The damage characteristics, spatial distribution habits of *P. gularis* larvae in maize fields were determined and a sampling method for field populations proposed. The results provide a scientific basis for population density surveys and the control of this pest in maize fields.

Key words *Paralipsa gularis* (Zeller); maize; damage characteristics; spatial distribution pattern; theoretical sampling

一点缀螟 *Paralipsa gularis* (Zeller), 属鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae 昆虫, 原生于东南亚地区, 伴随着国际食品贸易已扩散到印度、朝鲜、日本等亚洲国家、北欧和北美洲地区 (Trematerra, 1987; Kageyama *et al.*, 2010; Hong *et al.*, 2012), 国内曾报道在吉林、辽宁、河北、河南、山东、江苏、浙江、江西、四川、福建、贵州和云南等多个省份均有分布(王平远, 1980)。一点缀螟一直被认为是仓储害虫, 幼虫主要蛀食仓储玉米、小麦、大豆和干果等 (Trematerra, 1987), 但太红坤等 (2018)发现一点缀螟已从仓储害虫转为大田害虫, 其在云南省德宏州田间每年发生 2-3 代, 玉米果穗平均被害率可达 24.3%。

云南是我国西南重要的玉米生产地区之一, 年种植玉米 200 万 hm^2 左右, 传统害虫主要有小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg)、玉米蚜虫、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 和粟穗螟 *Mampava bipunctella* (Ragonat) 等 (吴安国, 1991; 太红坤等, 2016)。但受种植结构的改变、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的入侵和气候条件变化等因素的影响, 玉米优势害虫种群不断演替, 而研究玉米害虫种群发生规律的新变化, 对指导西南地区玉米害虫防控工作, 保障生产安全有重要的意义 (王振营和王晓鸣, 2019; Song *et al.*, 2021)。

作为玉米生产的新害虫, 国内外对一点缀螟的研究工作十分有限, 且主要集中在地理分布、为害对象及生物学习性等方面 (Yasumasa, 1980; 胡梅操和敖秋春, 1984; Trematerra, 1987; 徐伟等, 1999; 任国栋等, 2007; Guo *et al.*, 2021)。

目前, 在云南省普洱市的害虫种群监测与调查中发现, 一点缀螟已成为当地玉米生产的主要害虫, 而关于一点缀螟在玉米田的为害特征和空间分布特征未见相关报道。本文对一点缀螟在玉米地的发生为害及空间分布特征进行研究, 以期为一点缀螟田间种群调查和指导防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 田间发生为害特点调查

试验地点位于云南省普洱市江城哈尼族彝族自治县宝藏镇中国农业科学院植物保护研究所江城基地试验田 (北纬 $22^{\circ}40'52.87''$, 东经 $101^{\circ}39'4.65''$)。种植玉米品种为罗单 566 和中玉 335, 播种日期为 2021 年 4 月 11 日, 罗单 566 种植密度为 3 800 株/ 667 m^2 , 中玉 335 为 3 000 株/ 667 m^2 , 每个品种设置 3 个小区, 每个小区面积大于 0.333 hm^2 。在玉米整个生育期间, 除不施用杀虫剂外, 按照常规方法进行施肥、浇水等田间管理。自玉米 3 叶期开始, 每 10 d 调查 1 次一点缀螟的虫口密度、龄期及寄主受害情况。每个小区 5 点随机取样, 每点调查 20 株。

1.2 幼虫空间分布型调查

在 2021 年 7 月 15 日和 8 月 3 日, 玉米处于乳熟至蜡熟期时, 调查江城县宝藏镇农户玉米田一点缀螟幼虫发生为害情况。当地玉米品种为正 大 749、滇喜 1618、桂单 166、良禾 367、金亿 418、云瑞 21、兴单 105 和豫禾 536 等, 播种时间为 4 月, 玉米种植密度为 3 500-3 800 株/ 667 m^2 。

调查点选取单块面积大于 667 m² 的田块, 共计调查 22 块农户玉米田。调查均采用目测法, 每块田 5 点随机取样, 每点调查 20 株, 记录每株玉米果穗上一点缀螟幼虫的数量和为害情况。

1.3 统计分析方法

1.3.1 空间分布型分析 采用扩散系数 C 、平均拥挤度 M^* 、丛生指数 I 、负二项分布指数 K 、 C_A 指标、扩散指标 I_δ 和聚块指数 $M^*/\bar{x}$ 7 种聚集度指标分析一点缀螟的空间分布型 (徐汝梅, 1987; 丁岩钦, 1994), 各指标与空间分布型关

系见表 1。

$$C = S^2 / \bar{x},$$

$$M^* = \bar{x} + S^2 / \bar{x} - 1,$$

$$I = S^2 / \bar{x} - 1,$$

$$K = \bar{x}^2 / (S^2 - \bar{x}),$$

$$C_A = (S^2 - \bar{x}) / \bar{x}^2,$$

$$I_\delta = n \sum_{i=1}^n x_i(x_i - 1) / N'(N' - 1)。$$

式中 S^2 为样本方差, $\bar{x}$ 为平均密度, n 为抽样数, N' 为总虫数, x_i 为第 i 株玉米上的虫口数。

表 1 聚集度指标取值范围与空间分布型关系

Table 1 Relationship between range of aggregation index and spatial distribution

聚集度指标 Aggregation index	均匀分布 Uniform distribution	随机分布 Random distribution	聚集分布 Aggregate distribution
扩散系数 C Diffusion coefficient C	< 1	=1	> 1
平均拥挤度 M^* Mean crowding M^*	< 1	=1	> 1
丛生指数 I Clumping index I	< 0	=0	> 0
负二项分布指数 K Negative binomial distribution index K	< 0	$\rightarrow \infty$	> 0
C_A 指标 C_A index	< 0	=0	> 0
扩散指标 I_δ Population diffusion index I_δ	< 1	=1	> 1
聚块指数 $M^* / \bar{x}$ Aggregating index $M^* / \bar{x}$	< 1	=1	> 1

1.3.2 回归分析法 利用 Iwao 的 $M^*-\bar{x}$ 回归法 $M^* = \alpha + \beta\bar{x}$ (Iwao, 1968; 1972); α 表示分布基本成分的平均拥挤度; β 表示种群的空间分布型。当 $\alpha = 0$ 时, 分布的基本成分为单个个体; $\alpha > 0$ 时, 个体间相互吸引, 分布的基本成分是个体群; $\alpha < 0$ 时, 个体间相互排斥。当 $\beta < 1$ 时, 种群为均匀分布; $\beta = 1$ 时, 为随机分布; $\beta > 1$ 时, 为聚集分布。

利用 Taylor 幂法则 $S^2 = a\bar{x}^b$ (Taylor, 1961); 对数转换为如下回归方程: $\lg S^2 = \lg a + b \lg \bar{x}$ 。当 $\lg a > 0$, $b = 1$ 时, 种群为聚集分布, 不具有密度依赖性; $\lg a > 0$, $b > 1$ 时, 为聚集分布, 种群具有密度依赖性; $\lg a < 0$, $b < 1$ 时, 为均匀分布, 密度越高分布越均匀。

1.3.3 聚集原因分析 利用 Blackith 的种群聚集均数 λ 理论检验分析一点缀螟在玉米田上的

聚集原因 (丁岩钦, 1994)。公式为 $\frac{\bar{x}}{2K} r$, 式

中 r 为自由度等于 $2K$ 时的 χ^2 分布函数值 (概率为 0.5)。 K 为负二项分布参数, 当 $2K$ 为小数, 可用比例内插法求 r 值。当 $\lambda < 2$ 时, 表明个体的聚集是由环境因素引起的; 当 $\lambda \geq 2$ 时, 个体的聚集是由昆虫本身的聚集行为和环境因素综合作用所致。

1.3.4 抽样技术分析 采用 Iwao 提出的抽样数公式, 建立玉米田的一点缀螟幼虫最佳理论抽样数模型, 计算一点缀螟幼虫在不同虫口密度下的最适理论抽样数。模型如下:

$$N = \frac{t^2}{D^2} \left(\frac{\alpha + 1}{\bar{x}} + \beta - 1 \right)$$

式中: N 为最适理论抽样数; t 为一定置信度下的 t 分布值; D 为允许误差, α 、 β 为 Iwao 回归模型 $M^*-\bar{x}$ 的截距和斜率。

采用 Iwao 提出的复合序贯抽样模型计算抽样的上下限, 模型如下

$$T_{Iwao(n)} = nm_0 \pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_0 + (\beta-1)m_0^2]},$$

式中: n 为田间抽样数, m_0 为防治指标, t 为相应置信度下的分布值, α 、 β 为 Iwao 模型 $M^*-\bar{x}$ 回归式的截距和斜率。累计虫量的上限 $T_{1(n)}$ 取模型加号计算的数值, 下限 $T_{2(n)}$ 取模型减号计算的数值。抽样过程中, 若虫量大于上限则表明种群密度高于防治指标, 若虫量低于下限则表明种群密度低于防治指标, 否则需继续抽样。

2 结果与分析

2.1 玉米田一点缀螟幼虫的发生为害情况

一点缀螟幼虫自玉米乳熟期出现, 持续为害至玉米收获。乳熟期后, 随着玉米的生长, 幼虫数量逐渐增多, 蜡熟期时幼虫数量最高; 幼虫在品种罗单 566 和品种中玉 335 上为害时期一致, 虫口密度略有差别, 平均单株虫量分别达 (0.60 ± 0.16) 头和 (2.23 ± 0.66) 头 (图 1)。一点缀螟幼虫主要钻蛀玉米果穗端部、中下部及穗芯, 部分低龄幼虫也可钻蛀茎秆 (图 2: A, B, D, E)。高龄幼虫潜藏在玉米苞叶里为害果穗, 在果穗上留有明显的虫孔和隧道, 并伴有白色排泄物; 籽

粒被取食后残缺不全, 部分出现霉烂现象 (图 2: F), 降低了籽粒品质。玉米生长后期, 单个果穗可见多条幼虫聚集为害, 为害严重时高达 34 头/穗 (图 2: B), 严重影响玉米产量和质量。在玉米蜡熟期时, 部分老熟幼虫在玉米苞叶和果穗上化蛹 (图 2: C), 且出现部分羽化成成虫。

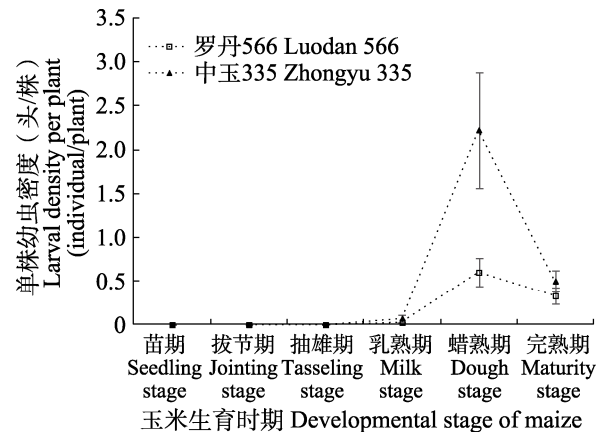


图 1 幼虫在玉米不同生育时期的发生量

Fig. 1 The population density of larvae occurring at different developmental stages of maize

除试验田块外, 22 块农户玉米田中有 2 块田无一点缀螟为害, 1 块玉米田一点缀螟幼虫数量极低, 仅为 0.02 头/株。一点缀螟发生的 20 块田中, 幼虫平均密度范围为 0.02-3.62 头/株, 玉米受害株率 2%-58%, 幼虫平均密度与受害株率呈显著正相关 $R^2=0.8193$ (图 3)。



图 2 一点缀螟田间危害症状

Fig. 2 The damaging symptoms of *Paralipsa gularis* in maize fields

- A. 钻蛀果穗; B. 聚集蛀食果穗; C. 果穗化蛹; D. 蛀食果穗底部; E. 钻蛀茎秆; F. 穗腐病。
A. Bored maize ear; B. Gather to feed on maize ear; C. Pupate on maize ear;
D. Feed on the bottom of maize ear; E. Bored stalks; F. Ear rot.

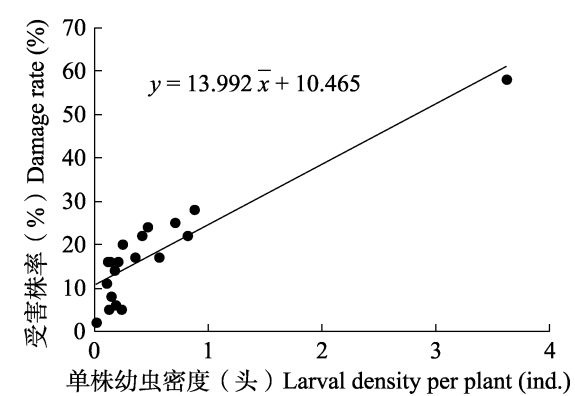


图 3 一点缀螟幼虫密度与玉米受害株率的关系
Fig. 3 Relationship between larval density of *Paralipso gularis* and maize plant damage rate

2.2 一点缀螟幼虫的空间分布型

2.2.1 聚集度指标测定 计算幼虫种群聚集度指标,除了未发现一点缀螟为害的 2 块田及种群密度较低 (0.02 头/株) 的 1 块田,其余 19 块田的扩散系数 C 、平均拥挤度 M^* 和聚块指数

$M^* / \bar{x}$ 都大于 1,聚集指数 I 、 C_A 指数和负二项分布指数 K 均大于 0。依据各聚集度分布标准,一点缀螟幼虫在玉米田间果穗的分布类型为聚集分布。

2.2.2 回归分析测定 对所有抽样田块的样本平均密度 $\bar{x}$ 与平均拥挤度 M^* 进行回归分析,得到 $\bar{x}$ 与 M^* 的线性回归方程: $M^* = 4.5031\bar{x} + 3.9015 (R^2 = 0.3809)$ (图 4)。其中,回归方程中的 $\alpha = 3.9015 > 0$,表明一点缀螟幼虫个体间相互吸引,分布的基本成分是个体群, $\beta = 4.5031 > 1$ 时,表明一点缀螟幼虫个体群在玉米田上为聚集分布。根据 Taylor 幂法则 $S^2 = a\bar{x}^b$; 对数转换为如下回归方程: $\lg S^2 = \lg a + b \lg \bar{x}$ 。根据表 2 中的 S^2 和 $\bar{x}$ 得到玉米田一点缀螟的回归方程 $\lg S^2 = 1.0396 + 1.6225 \lg \bar{x} (R^2 = 0.9226)$ (图 5),其中参数 $\lg a = 1.0396 > 0$, $b = 1.6225 > 1$,表明

表 2 玉米田一点缀螟幼虫聚集度指标
Table 2 Larval aggregation indices of *Paralipso gularis* in maize fields

样地 Sampling field	平均密度 $\bar{x}$ (头/株) Average density (ind./plant)	方差 (S^2) Variance (S^2)	扩散系数 (C) Diffusion coefficient (C)	平均拥挤度 (M^*) Mean crowding (M^*)	丛生指 (I) Clumping index (I)	负二项分 布指 (K) Negative binomial distribution index (K)	C_A 指标 C_A index	扩散指标 (I_δ) Population diffusion index (I_δ)	聚块指数 ($M^* / \bar{x}$) Aggregating index ($M^* / \bar{x}$)	聚集均数 (λ) Aggregation average (λ)
1	0.130	0.599	4.608	3.738	3.608	0.036	27.757	30.769	28.757	0.000
2	0.240	1.396	5.818	5.058	4.818	0.050	20.076	21.739	21.076	0.000
3	0.000	/	/	/	/	/	/	/	/	—
4	0.020	0.020	0.990	0.010	-0.010	-1.980	-0.505	0.000	0.495	—
5	0.150	0.452	3.013	2.163	2.013	0.074	13.423	15.238	14.423	0.000
6	0.120	0.309	2.572	1.692	1.572	0.076	13.103	15.152	14.103	0.000
7	0.190	0.863	4.540	3.730	3.540	0.054	18.630	20.468	19.630	0.000
8	0.110	0.261	2.368	1.478	1.368	0.080	12.438	14.545	13.438	0.000
9	0.180	0.351	1.951	1.131	0.951	0.189	5.281	6.536	6.281	0.016
10	0.420	1.478	3.520	2.940	2.520	0.167	6.000	7.085	7.000	0.025
11	0.210	1.319	6.281	5.491	5.281	0.040	25.149	27.143	26.149	0.000
12	0.000	/	/	/	/	/	/	/	/	—
13	0.360	5.425	15.068	14.428	14.068	0.026	39.079	40.794	40.079	0.000
14	0.180	0.594	3.297	2.477	2.297	0.078	12.763	14.379	13.763	0.000
15	0.140	0.202	1.446	0.586	0.446	0.314	3.185	4.396	4.185	0.037

续表 2 (Table 2 continued)

样地 Sampling field	平均密度 $\bar{x}$ (头/株) Average density (ind./plant)	方差 (S^2) Variance (S^2)	扩散系数 (C) Diffusion coefficient (C)	平均拥挤 度 (M^*) Mean crowding (M^*)	丛生指 数 (I) Clumping index (I)	负二项分 布指 (K) Negative binomial distribution index (K)	C_A 指标 C_A index	扩散指标 (I_δ) Population diffusion index (I_δ)	聚块指数 ($M^* / \bar{x}$) Aggre- gating index ($M^* / \bar{x}$)	聚集均数 (λ) Aggre- gation average (λ)
16	0.470	4.837	10.292	9.762	9.292	0.051	19.771	20.999	20.771	0.000
17	0.820	13.200	16.097	15.917	15.097	0.054	18.411	19.452	19.411	0.000
18	0.250	0.957	3.828	3.078	2.828	0.088	11.313	12.667	12.313	0.001
19	0.570	9.157	16.064	15.634	15.064	0.038	26.429	27.632	27.429	0.000
20	0.880	11.097	12.610	12.490	11.610	0.076	13.193	14.211	14.193	0.001
21	3.620	49.288	13.616	16.236	12.616	0.287	3.485	4.460	4.485	0.819
22	0.710	3.036	4.276	3.986	3.276	0.217	4.615	5.634	5.615	0.090

加粗数据表示均匀分布，未加粗数据表示聚集分布。/表示该田块未发现一点缀螟，未计算各项参数。—表示该田块一点缀螟为非聚集分布，不计算其聚集均数。
Bold data indicate uniform distribution, no bold data indicate aggregate distribution. / indicates various parameters cannot be calculated because of no individual of *P. gularis* in the specific maize field. — indicates that aggregation average can not be calculated because of the non-aggregative distribution of *P. gularis* in the specific maize fields.

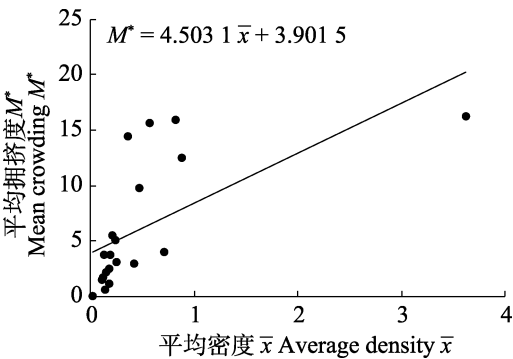


图 4 M^* 与 $\bar{x}$ 的相关关系
Fig. 4 Relationship between M^* and $\bar{x}$

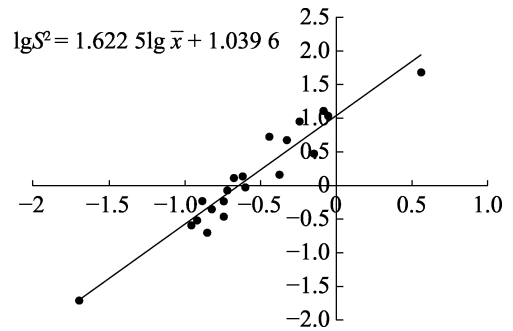


图 5 $\lg S^2$ 与 $\lg \bar{x}$ 的关系
Fig. 5 Relationship between $\lg S^2$ and $\lg \bar{x}$

玉米田中一点缀螟幼虫为聚集分布，且具有密度依赖性。因此，通过上述分析可以判定一点缀螟

幼虫在玉米田中为聚集分布。
2.2.3 聚集原因分析 采用 Blackith 的种群聚集均数 λ 理论公式，分析玉米田一点缀螟聚集的原因。由表 1 中的 $\bar{x}$ 和 K 值计算出玉米田一点缀螟的聚集均数 λ ，其数值分布在 0-0.82 之间。19 块田的聚集均数 λ 值均小于 2，这表明一点缀螟在玉米田中的聚集原因是由环境因素所导致的。将 λ 和 $\bar{x}$ 作回归分析，得到方程： $\lambda = 0.2258\bar{x} - 0.0638$ ($R^2 = 0.9111$) (图 6)，结果表明，一点缀螟幼虫的聚集程度与种群密度呈正相关。

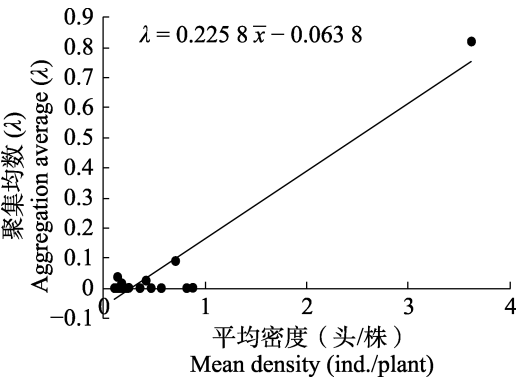


图 6 一点缀螟幼虫聚集均数与平均密度的关系
Fig. 6 Relationship between aggregation average and larval mean density of *Paralipsa gularis*

2.3 一点缀螟的抽样模型与技术

2.3.1 理论抽样数 将玉米田一点缀螟幼虫的 $I_{wao}M^*$ 和 $\bar{x}$ 回归模型系数 $\alpha = 3.9015$ 和 $\beta = 4.5031$, 带入公式得出在概率为 0.95 (t 值为 1.96) 条件下的最佳理论抽样模型:

$$N = (3.8416 / D^2)(4.9015 / \bar{x} + 3.5031)$$

计算在不同误差条件下 ($D=0.1, 0.2, 0.3$), 一点缀螟幼虫在相应密度 $\bar{x}$ 时的理论最佳抽样数 N (表 3); 由表 3 可见, 随着一点缀螟幼虫的虫口密度的增大, 理论抽样数逐渐减小。

表 3 不同虫口密度下玉米田中一点缀螟幼虫的理论抽样数
Table 3 Larval theoretical sampling number of *Paralipsa gularis* at different larval densities in maize fields

误差 D Errors	理论抽样单元数量 (个) The number of theoretical sampling unit (piece)					
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2
0.1	20 175	10 761	6 053	3 699	2 523	1 934
0.2	5 044	2 690	1 513	925	631	484
0.3	2 242	1 196	673	411	280	215

2.3.2 序贯抽样 将玉米田一点缀螟幼虫的 $I_{wao}M^*$ 和 $\bar{x}$ 回归方程系数 $\alpha=3.9015$, $\beta=4.5031$ 带入序贯抽样模型: $T_{I_{wao}(n)} = nm_0 \pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_0 + (\beta-1)m_0^2]}$, 得到一点缀螟幼虫序贯抽样公式为 $T_{I_{wao}(n)} = nm_0 \pm 1.96\sqrt{n(4.9015m_0 + 3.5031m_0^2)}$ 。

由于目前对玉米田一点缀螟幼虫没有统一防治指标, 根据本次调查结果, 拟设定防治指标 m_0 为 0.1 头, 计算不同取样株数 ($n=50、60、70、80、\cdots、200$) 时一点缀螟幼虫的序贯抽样区间列入表 4。抽样过程中, 若虫量大于表中上限则表明种群密度高于防治指标, 需要进行防治; 若虫量低于下限则表明种群密度低于防治指标, 不需防治; 如幼虫密度处于上、下限之间, 仍需要继续抽样调查。在本研究的序贯抽样模型中, 当抽样数为 200 株以下时, 一点缀螟幼虫累计虫口数下限为负值, 随着抽样数的增大, 一点缀螟幼虫累计虫口数下限逐渐变为正值, 说明需要调查

的样本数较大, 结果与上文的空间分布分析中, 一点缀螟具有较高的聚集强度有关, 本序贯抽样表不再一一罗列。

3 讨论

本研究结果表明, 新发害虫一点缀螟与玉米螟、粘虫、棉铃虫和草地贪夜蛾等害虫在为害时期和为害部位上存在差异 (王振营和王晓鸣, 2019; 林丹敏等, 2020)。一点缀螟幼虫自玉米乳熟期至收获期均有为害, 主要钻蛀玉米果穗和茎秆, 在危害部位有明显的蛀孔和为害隧道, 并产生大量的白色排泄物, 导致玉米籽粒残缺不全, 严重降低籽粒品质。这与太红坤等(2018)报道的该虫为害症状基本一致, 该症状可为田间调查的依据。因一点缀螟为害果穗和茎秆, 调查该虫为害时, 应整株剖查。在云南省江城县玉米重大害虫调查中发现, 多种害虫与一点缀螟生态位

表 4 玉米田一点缀螟幼虫种群序贯抽样表
Table 4 Larval sequential sampling limits of *Paralipsa gularis* in maize fields

抽样数(n) Sampling size	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
上限 $T_{1(n)}$ Upper limit	15	17	19	21	22	24	26	28	29	31	32	34	36	37	39	40
下限 $T_{2(n)}$ Lower limit	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0

重合,其中草地贪夜蛾与一点缀螟上升为玉米田主要害虫,在玉米果穗期混合发生。因此,在一点缀螟的种群调查时,应注意监测玉米田多种害虫种群混合发生及演替动态。

一点缀螟幼虫在田间玉米果穗上为聚集分布,聚集强度随虫口密度的增加而增强。这一分布形式与亚洲玉米螟、桃蛀螟、棉铃虫、草地贪夜蛾和斜纹夜蛾 5 种鳞翅目害虫在玉米田中的分布是一致的(汪恩国等, 2004; 陈浩等, 2016; 孙小旭等, 2019)。太红坤等(2018)发现一点缀螟低龄幼虫具有趋嫩、集聚的特性,本研究也发现了一点缀螟幼虫个体间相互吸引、相互依赖的现象。有研究者发现同种昆虫在不同龄期或不同地区表现出不同的分布类型,这可能与成虫产卵特点、幼虫龄期等生物学习性及地区间差异有关(Serra and Trumpep, 2006; 孙红霞等, 2007; Hernández-Mendoza *et al.*, 2008)。因此,今后应继续深入调查卵及不同龄期幼虫在不同地区的发生分布情况,以系统了解其发生为害规律,指导预测预报。

基于江城县玉米田中一点缀螟空间分布特征,我们建立了理论抽样数模型和序贯抽样模型,为玉米上一点缀螟的调查提供了抽样方法。从最佳理论抽样模型来看,为了提高调查效率及保证抽样的准确性,在一点缀螟幼虫低密度的田块中(≤ 0.4 头/株),每块田(面积大于 667 m^2)应调查 673-2 242 株,可保证误差 ≤ 0.3 ;在幼虫密度高的田块中(> 0.4 头/株),每块田(面积大于 667 m^2)应调查 208-568 株,可保证误差 ≤ 0.3 。田间一点缀螟防治决策时,参考序贯抽样表,以 0.1 头/株作为防治指标,抽样 100 株幼虫数量大于 24 头或抽样 200 株大于 40 头时,需进行防治。在生产中,还应考虑幼虫龄期及成虫的种群动态,确定科学合理的防治方案。未来建议对一点缀螟为害玉米的防治经济指标进行研究,以优化序贯抽样技术。

本研究通过对一点缀螟在云南省江城县玉米田的危害特点及空间分布型的研究,明确了该虫的为害特征和分布特点,提出了田间种群的抽样方法,为田间幼虫种群密度的调查和防治工作

提供了技术支撑。鉴于一点缀螟从仓储害虫转为田间发生为害,须进一步明确一点缀螟的跨国转移危害习性,建立跨境区域性种群监测预测和合作防控技术体系。

参考文献 (References)

- Chen H, Zhao WL, Men XY, Yu Y, Wang ZY, Li LL, 2016. Spatial distribution of *Ostrinia furnacalis*, *Conogethes punctiferalis* and *Helicoverpa armigera* at maize filling stage. *Journal of Maize Sciences*, 24(1): 160–165. [陈浩, 赵文路, 门兴元, 于毅, 王振营, 李丽莉, 2016. 玉米灌浆期 3 种鳞翅目害虫的空间分布. 玉米科学, 24(1): 160–165.]
- Ding YQ, 1994. *Insect Mathematical Ecology*. Beijing: Science Press. 22–132. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 22–132.]
- Guo P, Yu H, Xu J, Li YH, 2021. Next-generation sequencing yields the complete mitogenome of the stored nut moth, *Paralipsa gularis* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Mitochondrial DNA Part B: Resources*, 6(9): 2626–2627.
- Hernández-Mendoza JL, López-Barbosa EC, Garza-González E, Mayek-Pérez N, 2008. Spatial distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize landraces grown in Colima, Mexico. *International Journal of Tropical Insect Science*, 28(3): 126–129.
- Hong KJ, Lee JH, Lee GS, Lee S, 2012. The status quo of invasive alien insect species and plant quarantine in Korea. *Journal of Asia Pacific Entomology*, 15(4): 521–532.
- Hu MC, Ao QC, 1984. Studies on the rhythm of the main nocturnal insects to light trap in Nanchang suburbs. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 12(1): 25–32, 24. [胡梅操, 敖秋春, 1984. 南昌郊区主要夜出性昆虫扑灯规律的探讨. 江西林业科技, 12(1): 25–32, 24.]
- Iwao S, 1968. A new regress method for analyzing the aggregation pattern of animal population. *Population Ecology*, 10(1): 1–20.
- Iwao S, 1972. Application of the $m^* - m$ method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. *Population Ecology*, 14(1): 97–128.
- Kageyama D, Narita S, Imamura T, Miyanoishi A, 2010. Detection and identification of *Wolbachia* endosymbionts from laboratory stocks of stored-product insect pests and their parasitoids. *Journal of Stored Products Research*, 46(1): 13–19.
- Lin DM, Huang DC, Shao T, Li ZY, Wang L, Chen KW, Lu YY, 2020. Occurrence and damage of the fall armyworm *Spodoptera*

- frugiperda* (Smith) at different growth stages of corn. *Journal of Environmental Entomology*, 42(6): 1291–1297. [林丹敏, 黄德超, 邵屯, 李子园, 王磊, 陈科伟, 陆永跃. 不同生育期玉米上草地贪夜蛾的发生为害规律. 环境昆虫学报, 42(6): 1291–1297.]
- Ren GD, Guo SB, Zhen H, Zhang LS, Ma J, 2007. Studies on the insects of Xiaowutai mountain II: Lists of moths. *Journal of Hebei University (Natural Sciences Edition)*, 27(3): 304–312. [任国栋, 郭书彬, 甄卉, 张丽莎, 马靖, 2007. 河北小五台山景观昆虫研究 II: 蛾类名录. 河北大学学报(自然科学版), 27(3): 304–312.]
- Serra GV, Trumpep EV, 2006. Sequential sampling protocols for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), on zea mays fields: Influence of sampling unit size. *Bulletin of Entomological Research*, 96: 471–477.
- Song YF, Yang XM, Zhang HW, Zhang DD, He W, Wyckhuys KAG, Wu KM, 2021. Interference competition and predation between invasive and native herbivores in maize. *Journal of Pest Science*, 94(4): 1053–1063.
- Sun HX, Li Q, Zhang CB, Li HY, Zhang ZH, Wang Q, Shi ZH, Zhu ZR, 2007. Spatial distribution pattern of the common cutworm *Spodoptera litura* in greenhouse strawberry. *Journal of Fruit Science*, 24(5): 663–668. [孙红霞, 李强, 张长波, 李红叶, 张志恒, 王强, 施祖华, 祝增荣, 2007. 大棚草莓斜纹夜蛾的空间分布型. 果树学报, 24(5): 663–668.]
- Sun XX, Zhao SY, Jin MH, Zhao HY, Li GP, Zhang HW, Jang YY, Yang XM, Wu KM, 2019. Larval spatial distribution pattern and sampling technique of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize fields. *Plant Protection*, 45(2): 13–18. [孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 赵慧媛, 李国平, 张浩文, 姜玉英, 杨现明, 吴孔明, 2019. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术. 植物保护, 45(2): 13–18.]
- Tai HK, Bai SX, Gu ZL, Liu Z, Wang GQ, Li A, Zhang F, Wang ZY, 2016. Population dynamics and major damage region of Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* in Dehong prefecture of Yunnan province. *Plant Protection*, 42(2): 171–176. [太红坤, 白树雄, 顾中量, 刘峙, 王根权, 李翱, 张峰, 王振营, 2016. 云南省德宏州亚洲玉米螟发生动态及主要危害区域调查, 植物保护, 42(2): 171–176.]
- Tai HK, Bai SX, Han YL, Liu Z, Zhang Feng, Wang ZY, 2018. Biological characteristics of the stored nut moth *Paralipsa gularis* (Zeller) and its damage on corn in Dehong prefecture of Yunnan province. *Journal of Plant Protection*, 45(2): 251–256. [太红坤, 白树雄, 韩永连, 刘峙, 张峰, 王振营, 2018. 一点缀螟生物学特性及其在云南德宏玉米田的为害调查. 植物保护学报, 45(2): 251–256.]
- Taylor LR, 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189(4766): 732–735.
- Trematerra P, 1987. Distribution and activity of *Paralipsa gularis* (Zeller) (Lep., Galleriidae) in Italy. *Journal of Applied Entomology*, 104(1/5): 227–233.
- Wang EG, Chen KS, Li DL, Luo GL, 2004. The spatial distribution pattern and sampling technique of *Prodenia litura* in the cornfield. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 41(6): 585–588. [汪恩国, 陈克松, 李达林, 罗桂楼, 2004. 玉米田斜纹夜蛾空间分布型及抽样技术. 应用昆虫学报, 41(6): 585–588.]
- Wang PY, 1980. Economic Insect Fauna of China. Fasc. 21, Lepidoptera: Pyralidae. Beijing: Science Press. 33–34. [王平远, 1980. 中国经济昆虫志. 第二十一册, 鳞翅目, 螟蛾科. 北京: 科学出版社. 33–34.]
- Wang ZY, Wang XM, 2019. Current status and management strategies for corn pests and diseases in China. *Plant Protection*, 45(1): 1–11. [王振营, 王晓鸣, 2019. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策. 植物保护, 45(1): 1–11.]
- Wu AG, 1991. Occurrence and damage of maize diseases and insect pests in Yunnan province. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 1991(4): 7–10. [吴安国, 1991. 云南省玉米病虫害的发生及危害情况. 云南农业科技, 1991(4): 7–10.]
- Xu RM, 1987. The Bionomy of Insect Population. Beijing: Beijing Normal University Publishing House. 7–33. [徐汝梅, 1987. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社. 7–33.]
- Xu W, Lu H, Yuan HB, Kang XZ, 1999. A preliminary investigation of Pyralidae insect species in Changchun suburbs. *Journal of Jilin Agricultural University*, 21(3): 23–25, 28. [徐伟, 路红, 袁海滨, 康仙芝, 1999. 长春郊区螟蛾科昆虫种类初步调查. 吉林农业大学学报, 21(3): 23–25, 28.]
- Yasumasa K, 1980. Isolation and identification of male-secreted possible sex pheromone from a pyralid moth, *Aphomia gularis* Zeller (Pyralidae: Lepidoptera). *Applied Entomology & Zoology*, 15(4): 478–485.