

番茄潜叶蛾卵和幼虫在温室大棚及露地的空间分布型及抽样技术*

王海旭** 袁玲 丁嘉欣 薛育 刘思源 顾欣 王新谱***

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要 【目的】明确外来入侵害虫番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 的卵及幼虫的空间分布型(温室和露地), 建立最适理论和序贯抽样模型, 为其田间取样调查提供科学依据, 更精准地进行测报与防控。【方法】于2023年在宁夏银川市及石嘴山市的温室大棚及露地番茄种植区进行, 采用隔行取样法和5点取样法调查了种植区内番茄潜叶蛾的虫口密度, 根据聚集度指标和Iwao回归模型等对数据进行分析, 建立了理论抽样模型和序贯抽样模型。【结果】番茄潜叶蛾卵和幼虫在温室及露地的扩散系数、负二项分布 K 指标、扩散指数、丛生指标、平均拥挤度综合呈现为聚集分布。温室内的番茄潜叶蛾种群聚集均数 $\lambda > 2$, 露地的种群聚集均数 $\lambda < 2$ 。拟合得到番茄潜叶蛾卵和幼虫的线性回归方程 $m^* = 4.01 + 0.46m$ 、 $m^* = 2.11 + 0.93m$; 露地卵和幼虫分别为 $m^* = 2.00 + 2.75m$ 、 $m^* = 7.38 + 0.48m$ 。【结论】在温室及露地番茄种植区内, 番茄潜叶蛾的卵和幼虫均为聚集分布, 种群个体间相互吸引。当番茄潜叶蛾在露地及温室内的卵量为2粒/叶时, 建议分别取样310和190片; 当幼虫量为2头/叶时, 建议分别取样350和140片。

关键词 番茄潜叶蛾; 空间分布型; 聚集分布; 抽样技术

Spatial distribution patterns of *Tuta absoluta* eggs and larvae in greenhouses and open fields and sampling techniques for monitoring their abundance

WANG Hai-Xu** YUAN Ling DING Jia-Xin XUE Yu
LIU Si-Yuan GU Xin WANG Xin-Pu***

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract 【Aim】To determine the spatial distribution patterns of eggs and larvae of *Tuta absoluta* in greenhouses and open fields, develop optimal theoretical, sequential, sampling models to improve the precision of monitoring, occurrence prediction, prevention, and control measures for this pest. 【Methods】Surveys were conducted in 2023 in tomato growing areas in Yinchuan and Shizuishan, Ningxia. The interlaced and five-point sampling methods were used to assess the density of *T. absoluta*. Data analysis was performed using an aggregation index and the Iwao regression model, leading to the establishment of theoretical sampling models and sequential sampling models. 【Results】Based on the diffusion coefficient, the negative binomial distribution K index, diffusion index, clumping index, and mean crowding of the eggs and larvae in both greenhouse and open field conditions, our findings demonstrate an aggregation distribution pattern. Specifically, we observed a mean aggregation number (λ) greater than 2 in the greenhouse environment while λ was less than 2 in the open field. Linear regression equations were derived as $m^* = 4.01 + 0.46m$ and $m^* = 2.11 + 0.93m$ for eggs and larvae in the greenhouse respectively; whereas for open field samples, the equations were $m^* = 2.00 + 2.75m$ and $m^* = 7.38 + 0.48m$ for eggs and larvae respectively. 【Conclusion】The results revealed that the eggs and larvae of *T. absoluta* had an aggregated distribution in both

*资助项目 Supported project: 宁夏重点研发计划重点项目 (2023BCF01045)

**第一作者 First author, E-mail: wanghaixu0521@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangxinpu@nxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-05-11; 接受日期 Accepted: 2024-06-28

greenhouses and open fields. For an egg density of 2 eggs per leaf in open fields or greenhouses, we recommend sampling 310 or 190 specimens, respectively, whereas for a larval density of two per leaf, we recommend sampling 350 or 140 specimens, respectively.

Key words *Tuta absoluta*; spatial distribution pattern; aggregation distribution; sampling technique

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 是一种潜叶性害虫 (Desneux *et al.*, 2010; Karadjova *et al.*, 2013)。其主要为害番茄、马铃薯、茄子、甜椒和人参果等茄科作物, 尤其嗜食番茄 (Karadjova *et al.*, 2013; Abbes *et al.*, 2016; Bawin *et al.*, 2016; Campos *et al.*, 2017; CABI, 2024)。成虫喜欢在番茄的冠层活动, 偏好在幼嫩叶片上产卵 (海永强和刘媛, 2022)。幼虫孵化后潜食叶肉为害, 被取食叶片上形成半透明、形状各异的潜道或潜斑, 虫口密度大时会导致叶片皱缩、干枯, 仅残留绿色叶脉, 严重影响寄主植物的光合作用; 幼虫还可蛀食花蕾或果实, 造成花蕾脱落或果实畸形、停止生长, 严重影响作物产量, 甚至造成绝产 (Biondi *et al.*, 2018; 张桂芬等, 2018; Araujo and Ribeiro, 2022)。

昆虫个体间的相互作用及对环境适应性, 使其种群形成了不同的空间分布格局。昆虫空间分布格局是种群的重要特征之一, 也是种群生态学的重要研究内容。昆虫种群分布包括均匀分布、聚集分布和随机分布 (丁岩钦, 1980; 王辉等, 2017)。明确昆虫种群的空间格局类型可以揭示种群的空间结构和变化, 是昆虫抽样技术的理论基础。同时, 对深入了解昆虫种群的猖獗和扩散情况, 及对种群管理和可持续性控制具有重要意义 (嵒薇等, 2013; 李密等, 2014)。

自 2017 年 8 月番茄潜叶蛾成功入侵我国以来, 其已扩散到全国 13 个省 (直辖市、自治区) (张桂芬等, 2022b)。番茄潜叶蛾在宁夏的发生为害规律和田间主要扩散方式尚不明确, 加之其卵和幼虫较小, 不易被发现, 且在叶片上的危害状易与斑潜蝇 *Liriomyza* 混淆 (张润志, 2019; 张桂芬等, 2022a), 生产中最适防治时期容易被错过, 这对开展番茄潜叶蛾有效和安全合理的综合防治形成了极大障碍。本研究于 2023 年 5-9 月在宁夏青铜峡市、银川市平罗县大棚和露地春茬

番茄上调查了番茄潜叶蛾的卵和幼虫的空间分布, 旨在明确番茄潜叶蛾的空间分布特点及规律, 探索在番茄潜叶蛾为害发生调查中更易辨识的指标, 为宁夏地区番茄潜叶蛾的调查取样提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在宁夏石嘴山市平罗县农业技术培训中心番茄大棚 (38.913 544° N, 106.523 474° E) 和银川市灵武市滨河大道河忠五队番茄露地 (38.102 655° N, 106.340 054° E), 两地番茄种植品种均为普罗旺斯。调查的试验大棚 (棚 1-棚 5) 每 7-14 d 用 10% 四氯虫酰胺悬浮剂、10% 烯啶虫胺水剂、1.8% 阿维菌素乳油和苏云金芽孢杆菌交替防治番茄潜叶蛾。露地番茄种植区未使用药剂。

1.2 试验方法

调查时间: 2023 年 5-9 月。首次调查时间 5 月 8 日, 每半月调查一次。

大棚: 调查方法参考阿米热·牙生江等 (2021)。随机选取不连续的 5 行, 每行选取长势相近且不相邻的 2 株番茄进行调查, 共调查 10 株。每株根据株高, 人为将其平均分为上、中和下 3 个部分, 每个部分随机调查 10 片叶, 记录卵数、幼虫数、虫道数和被害叶片数。

露地: 采用 5 点取样法, 每个样点选取长势相近且不相邻的 2 株番茄进行调查, 共调查 10 株。每株根据株高, 人为将其平均分为上、中和下 3 个部分, 每个部分随机调查 10 片叶, 记录卵数、幼虫数、虫道数及被害叶片数。

1.3 空间分布分析方法

选用 Iwao 法的 m^*/m 直线回归法和 Taylor

法的幂法则对番茄潜叶蛾卵和幼虫的空间分布型进行分析 (Iwao, 1970; 丁岩钦, 1980; Taylor, 1984; 张孝羲, 2001; 徐汝梅和成新跃, 2005)。聚集度指标主要采用:

(1) 扩散系数: $C = S^2/m$ 。当 $C < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $C = 1$ 时, 为随机分布; 当 $C > 1$ 时, 为聚集分布;

(2) 负二项分布 K 指标: $K = m^2/(S^2 - m)^2$ 。当 $K < 0$ 时, 为均匀分布; 当 $0 \leq K \leq 8$ 时, 为聚集分布; 当 $K > 8$ 时, 为随机分布;

(3) 平均拥挤度: $m^* = m + S^2/m - 1$;

(4) 丛生指标 I 值法: $I = S^2/\bar{x} - 1$ 。当 $I < 0$ 时, 为均匀分布; 当 $I = 0$ 时, 为随机分布; 当 $I > 0$ 时, 为聚集分布;

(5) C_A 指标: $C_A = (S^2 - m)/m^2$ 。当 $C_A < 0$ 时, 为均匀分布; 当 $C_A = 0$ 时, 为随机分布; 当 $C_A > 0$ 时, 为聚集分布;

(6) 聚块指数 m^*/m : 即平均拥挤度与其平均值比值。当 $m^*/m < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $m^*/m = 1$ 时, 为随机分布; 当 $m^*/m > 1$ 时, 为聚集分布;

(7) Iwao 回归关系: $m^* = \alpha + \beta m$ 。由 α 和 β 值分析种群分布情况, 当 $\alpha > 0$ 时, 分布的基本成分为个体群组且个体间相互吸引; 当 $\alpha = 0$ 时, 分布的基本成分为单个个体; 当 $\alpha < 0$ 时, 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;

(8) Taylor 幂法则: $\lg(S^2) = \lg(a) + b \lg(m)$ 。当 $b < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $b = 1$ 时, 为随机分布; 当 $b > 1$ 时, 为聚集分布。

以上公式中, m 为平均数, S^2 为样本方差。数据采用 Microsoft Office 2012 和 SPSS 26.0 软件进行统计分析。

1.4 聚集因素分析

根据种群聚集均数 (λ) 分析番茄潜叶蛾幼虫在大棚及田间的聚集原因。 $\lambda = m/2K \times \gamma$, γ 为自由度 $2K$, 概率为 0.5 的卡方值。由于 K 为小数, γ 利用比例内插法估计卡方值。当 $\lambda < 2$ 时, 幼虫聚集主要是由环境因素引起; 当 $\lambda \geq 2$ 时,

聚集是由于昆虫自身的行为和环境因素共同作用, 或由其中一个因素引起。

1.5 理论抽样数

将 Iwao 的线性回归方程 $m^* = \alpha + \beta m$ 中的 α 和 β 带入下列公式, 确定不同虫口密度下的最适抽样数: $N = (t/D)^2[(\alpha + 1)/m + (\beta - 1)]$, 式中 N 表示理论抽样数, t 表示置信度, 取 $t = 1.96$, D 表示允许误差, 取 $D = 0.1$ 、 0.2 和 0.3 , 建立理论抽样数模型。

1.6 序贯抽样

依据序贯抽样理论, 建立抽样模型:

$T_n = nm_0 \pm t\sqrt{n[(\alpha + 1)m_0 + (\beta - 1)m_0^2]}$, 将 1.5 所得的 α 和 β 值带入, 计算出不同经济阈值下的调查叶片数, 及虫量的上限值和下限值, 绘制序贯抽样表。

2 结果与分析

2.1 空间分布型测定

2.1.1 番茄潜叶蛾卵的空间分布型 番茄潜叶蛾卵在调查的 5 个试验大棚中, 扩散系数 $C_A > 1$, 负二项分布 $0 \leq K \leq 8$, 平均拥挤度 $m^* > 1$, 丛生指标 $I > 0$, 扩散指数 $C_A > 0$ 及聚块指数 $m^*/m > 1$, 通过相关指标检验, 符合聚集分布 (表 1)。在 5 个露地番茄试验地中, 当平均密度小于 1 时, 平均拥挤度 (m^*)、丛生指标 (I) 和聚块指数 (m^*/m) 指标均呈均匀分布 ($m^* < 0$, $I < 0$, $m^*/m < 1$); 当平均密度大于 1 时, 平均拥挤度、丛生指标和聚块指数指标则呈聚集分布 ($m^* > 0$, $I > 0$, $m^*/m > 1$)。其他聚集度检验指标在 5 个样地中一致, 均为聚集分布 (扩散系数 $C_A > 1$, 负二项分布 $0 \leq K \leq 8$, 扩散指数 $C_A > 0$)。

2.1.2 番茄潜叶蛾幼虫的空间分布型 番茄潜叶蛾的幼虫在 5 个试验大棚中, 聚集度检验指标一致, 呈现聚集分布 (表 2)。而在 5 个露地番茄试验地中, 当平均密度小于 1 时, 平均拥挤度 (m^*)、丛生指标 (I) 和聚块指数 (m^*/m) 指标均呈均匀分布 ($m^* < 0$, $I < 0$, $m^*/m < 1$); 当

表 1 番茄潜叶蛾卵在大棚及露地内的空间分布型测定指标

Table 1 Determination index of spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* eggs in greenhouses and open fields

地点 Locations	平均数 Mean number	方差 S^2 Variance	扩散系数 C Diffusion coefficient	负二项分布	平均拥挤 度 m^* Average crowding	丛生指 标 I Cluster index	C_A 指 标 C_A index	聚块指数 m^*/m Agglomeration index	种群聚集均 数 λ Population aggregation mean
				值 K Negative binomial distribution value					
棚 1 Greenhouse 1	1.10	2.92	2.65	0.37	30.30	29.20	1.50	27.55	2.67
棚 2 Greenhouse 2	3.70	5.80	1.57	3.10	5.85	2.15	0.15	1.58	5.07
棚 3 Greenhouse 3	3.05	4.31	1.41	5.86	5.15	2.10	0.14	1.69	2.22
棚 4 Greenhouse 4	1.90	2.71	1.43	5.50	4.91	3.01	0.23	2.59	3.84
棚 5 Greenhouse 5	2.30	3.69	1.60	2.74	5.14	2.84	0.26	2.23	0.80
露地 1 Open field 1	0.10	0.32	3.16	0.21	- 0.26	- 0.36	21.62	- 2.60	1.11
露地 2 Open field 2	0.90	1.91	2.12	0.79	- 18.22	- 19.12	1.25	- 20.24	0.48
露地 3 Open field 3	1.50	2.12	1.41	5.85	5.74	4.24	0.28	3.83	0.40
露地 4 Open field 4	1.10	1.52	1.39	6.86	16.34	15.24	0.35	14.85	0.48
露地 5 Open field 5	3.30	4.83	1.46	4.65	5.40	2.10	0.14	1.64	0.40

表 2 番茄潜叶蛾幼虫在大棚及露地内的空间分布型测定指标

Table2 Determination index of spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* larvae in greenhouses and open fields

地点 Locations	平均数 Mean number	方差 S^2 Variance	扩散系数 C Diffusion coefficient	负二项分	平均拥挤 度 m^* Average crowding	丛生指 标 I Cluster index	C_A 指 标 C_A index	聚块指数 m^*/m Agglomeration index	种群聚集均 数 λ Population aggregation mean
				布值 K Negative binomial distribution value					
棚 1 Greenhouse 1	4.75	6.61	1.39	6.52	6.51	1.76	0.08	1.37	0.61
棚 2 Greenhouse 2	5.85	8.04	1.38	7.14	7.51	1.66	0.06	1.28	2.22
棚 3 Greenhouse 3	9.20	12.58	1.36	7.41	10.73	1.53	0.04	1.17	1.18
棚 4 Greenhouse 4	4.50	6.16	1.37	7.35	6.26	1.76	0.08	1.39	3.84
棚 5 Greenhouse 5	3.30	4.55	1.38	6.97	5.28	1.98	0.12	1.60	2.42
露地 1 Open field 1	1.10	1.60	1.45	4.84	17.05	15.95	0.41	15.50	0.40
露地 2 Open field 2	1.70	2.36	1.39	6.63	5.07	3.37	0.23	2.98	0.48
露地 3 Open field 3	1.10	1.66	1.51	3.86	17.73	16.63	0.47	16.12	0.48
露地 4 Open field 4	0.80	1.14	1.42	5.54	- 4.88	- 5.68	0.52	- 6.10	0.48
露地 5 Open field 5	1.70	2.31	1.36	7.77	5.00	3.30	0.21	2.94	1.67

平均密度大于 1 时,平均拥挤度、丛生指标和聚块指数指标则呈聚集分布 ($m^* > 0$, $I > 0$, $m^*/m > 1$)。其他聚集度检验指标均呈聚集分布 (扩散系数 $C > 1$, 负二项分布 $0 \leq K \leq 8$, 扩散指数 $C_A > 0$)。

2.2 番茄潜叶蛾卵和幼虫聚集原因分析

由表 1 和表 2 可知,番茄潜叶蛾卵和幼虫在大棚的种群聚集均数 $\lambda > 2$,其聚集原因是番茄潜叶蛾自身的行为和环境因素共同作用或由其中一个因素引起;卵和幼虫在露地的种群聚集均

数 $\lambda < 2$, 其聚集是由环境因素引起的。

2.3 空间分布型回归模型分析

分别根据试验大棚及露地试验田卵和幼虫的统计数据, 建立 $m^* - m$ 回归模型, 分别得到大棚内番茄潜叶蛾卵和幼虫的线性回归方程 $m^* = 4.01 + 0.46m$ ($R^2 = 0.81$) 和 $m^* = 2.11 + 0.93m$ ($R^2 = 1.00$); 露地中卵和幼虫的线性回归方程分别为 $m^* = 2.00 + 2.75m$ ($R^2 = 0.07$) 和 $m^* = 7.38 + 0.48m$ ($R^2 = 4.16 \times 10^{-4}$)。 α 和 β 均大于 0, 表明在大棚和露地番茄潜叶蛾个体间相互吸引, 个体群是分布其个体成分, 与聚集度指标检验结论相同。

2.4 理论抽样数

将 $\alpha = 2.11$ 、 $\alpha = 4.01$ 代入理论抽样数公式 $N = (t/D)^2[(\alpha+1)/m + (\beta - 1)]$, 建立番茄潜叶蛾卵和幼虫在大棚中的理论抽样数模型, 即 $N =$

$(t/D)^2[(3.11/m) - 0.07]$ 和 $N = (t/D)^2[(5.01/m) - 0.54]$ 。当 D 分别取 0.1、0.2 和 0.3 时, 即在不同允许误差, 置信概率在 95% 的情况下确保其允许误差 $t = 1.96$, 得到番茄潜叶蛾不同密度在不同允许误差下的理论抽样数。同理, 将 $\alpha = 2$ 、 $\alpha = 7.38$ 代入, 建立番茄潜叶蛾幼虫和卵在田间理论抽样数模型(表 3, 表 4), 即 $N = (t/D)^2[(8.38/m) - 0.52]$ 和 $N = (t/D)^2[(3/m) + 1.75]$ 。

2.5 序贯抽样

拟合得到番茄潜叶蛾序贯抽样模型, 得出番茄潜叶蛾序贯抽样表(表 5-表 8)。

$$T_n = nm_0 \pm t\sqrt{n[5.01m_0 - 0.54m_0^2]} \quad (\text{大棚卵}),$$

$$T_n = nm_0 \pm t\sqrt{n[3.11m_0 - 0.07m_0^2]} \quad (\text{大棚幼虫}),$$

$$T_n = nm_0 \pm t\sqrt{n[3m_0 - 1.75m_0^2]} \quad (\text{露地卵}),$$

$$T_n = nm_0 \pm t\sqrt{n[8.38m_0 - 0.52m_0^2]} \quad (\text{露地幼虫}).$$

表 3 不同允许误差下番茄潜叶蛾卵的大棚及露地抽样数

Table 3 Sample numbers of *Tuta absoluta* eggs in greenhouses and open fields with different allowable errors

卵密度 (粒/叶) Density of eggs (grain/leaf)	允许误差 Allowable error					
	0.1		0.2		0.3	
	大棚 Greenhouse	露地 Open field	大棚 Greenhouse	露地 Open field	大棚 Greenhouse	露地 Open field
0.1	19 038	12 197	4 760	3 049	2 116	1 355
0.2	9 416	6 435	2 354	1 608	1 046	715
0.3	6 208	4 514	1 552	1 128	690	502
0.4	4 604	3 553	1 151	888	512	395
0.5	3 642	2 977	910	744	405	331
0.7	2 542	2 319	636	580	282	258
0.9	1 931	1 953	483	488	215	217
1.0	1 717	1 825	429	456	191	203
1.5	1 076	1 440	269	360	120	160
2.0	755	1 249	189	312	84	139
2.5	562	1 133	141	283	62	126
3.0	434	1 056	109	264	48	117
3.5	342	1 002	86	250	38	111
4.0	274	960	68	240	30	107
4.5	220	928	55	232	24	103
5.0	177	903	44	226	19	100

表 4 不同允许误差下番茄潜叶蛾幼虫的大棚及露地抽样数

Table 4 Sample numbers of *Tuta absoluta* larvae in greenhouses and open fields with different allowable errors

幼虫密度 (头/叶) Density of larvae (ind./leaf)	允许误差 Allowable error					
	0.1		0.2		0.3	
	大棚 Greenhouse	露地 Open field	大棚 Greenhouse	露地 Open field	大棚 Greenhouse	露地 Open field
0.1	11 920	31 993	2 980	7 998	1 325	3 555
0.2	5 947	15 897	1 487	3 974	661	1 766
0.3	3 956	10 531	989	2 633	440	1 170
0.4	2 960	7 848	740	1 962	329	872
0.5	2 363	6 239	591	1 560	263	693
0.7	1 680	4 399	420	1 100	187	489
0.9	1 301	3 377	325	844	145	375
1.0	1 168	3 019	292	755	130	335
1.5	770	1 946	198	487	86	216
2.0	570	1 410	143	352	63	157
2.5	451	1 088	113	272	50	121
3.0	372	873	93	218	41	97
3.5	315	720	79	180	35	80
4.0	272	605	68	151	30	67
4.5	239	516	60	129	26	57
5.0	212	444	53	111	23	49

表 5 番茄潜叶蛾卵序贯抽样表 (大棚)

Table 5 *Tuta absoluta* eggs sequential sampling table (greenhouse)

调查的 叶片数 Number of blades investigated	经济阈值 (粒/叶) Economic threshold (grain/leaf)									
	0.4		0.8		1.2		1.6		2.0	
	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling
20	20	1	33	1	44	4	55	9	65	15
40	33	1	56	8	76	20	96	32	115	45
60	45	3	77	19	107	37	135	57	163	77
80	56	8	98	30	136	56	173	83	209	111
100	67	13	118	42	165	75	210	110	255	145
140	88	24	156	68	221	115	284	164	345	215
180	108	36	194	94	276	156	356	220	434	286
200	118	42	213	107	303	177	391	249	478	322
240	138	54	250	134	357	219	462	306	565	395
280	157	67	287	161	411	261	532	364	652	468
300	167	73	305	175	438	282	567	393	695	505

表 6 番茄潜叶蛾幼虫序贯抽样表 (大棚)
Table 6 *Tuta absoluta* larvae sequential sampling table (greenhouse)

调查的 叶片数 Number of blades investigated	经济阈值 (头/叶) Economic threshold (ind./leaf)									
	0.4		0.8		1.2		1.6		2.0	
	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling
20	17	1	30	3	41	8	52	13	62	19
40	6 030	3	52	13	72	25	92	37	111	50
60	41	8	72	25	101	43	129	63	157	83
80	52	13	91	38	129	63	166	90	203	117
100	62	19	121	51	157	83	203	117	248	152
140	82	31	149	76	212	124	275	173	337	223
180	102	42	185	103	266	166	346	230	424	296
200	111	49	204	117	293	187	281	259	468	332
240	130	63	240	145	346	230	451	317	554	406
280	148	76	276	173	398	274	520	376	640	480
300	158	82	293	187	425	295	554	406	683	517

表 7 番茄潜叶蛾卵序贯抽样表 (露地)
Table 7 *Tuta absoluta* eggs sequential sampling table (open field)

调查的 叶片数 Number of blades investigated	经济阈值 (粒/叶) Economic threshold (grain/leaf)									
	0.4		0.8		1.2		1.6		2.0	
	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling
20	16	0	26	6	33	15	37	27	42	38
40	28	4	46	18	61	35	71	57	82	78
60	39	9	65	31	88	56	105	87	122	118
80	49	15	84	44	114	78	138	118	162	158
100	59	21	102	58	140	100	171	149	202	198
140	78	34	138	86	192	144	237	211	282	278
180	97	47	174	114	243	189	303	273	362	358
200	107	53	191	129	269	211	336	304	402	398
240	125	67	226	158	320	256	401	367	482	478
280	143	81	261	187	370	302	467	429	562	558
300	153	87	278	202	395	325	499	461	602	598

3 结论与讨论

本文通过抽样调查研究了番茄植株上番茄潜叶蛾的卵数和幼虫数,发现番茄潜叶蛾卵和幼虫在宁夏大棚及露地番茄种植区内的空间分布

格局均为聚集分布,其聚集可能是由番茄潜叶蛾的生物学特性、田间施药及环境因素的共同作用导致,其中环境因素可能是影响聚集的主要原因,并绘制了卵和幼虫在不同密度下的最适理论抽样数和序贯抽样数模型。

表 8 番茄潜叶蛾幼虫序贯抽样表 (露地)
Table 8 *Tuta absoluta* larvae sequential sampling table (open field)

调查的 叶片数 Number of blades investigated	经济阈值/(粒/叶) Economic threshold/(grain/leaf)									
	0.4		0.8		1.2		1.6		2.0	
	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling	抽样上限 Upper limit of sampling	抽样下限 Lower limit of sampling
20	24	1	38	1	51	1	62	2	74	6
40	38	1	63	1	86	10	107	21	127	33
60	51	1	86	10	118	26	149	43	178	62
80	64	1	108	20	149	43	189	67	227	93
100	75	5	129	31	180	60	228	92	275	125
140	98	14	171	53	239	97	305	143	369	191
180	120	24	210	78	296	136	379	197	461	259
200	130	30	230	90	325	155	416	224	506	294
240	151	41	269	115	381	195	490	278	596	364
280	171	53	307	141	436	236	562	334	686	434
300	181	59	326	154	464	256	598	362	730	470

阿米热·牙生江等 (2021) 对新疆大棚内番茄潜叶蛾的种群空间分布进行了调查研究,发现无论在高密度还是低密度下,种群均呈聚集分布,但在极低密度下呈均匀分布。张治科和南紫瑶 (2023) 通过对番茄潜叶蛾空间分布型的适合度检验,发现大棚内番茄潜叶蛾的种群空间分布为聚集分布。Cocco 等 (2015) 对欧洲温室番茄潜叶蛾的空间分布型调查,发现该虫在植株间呈聚集分布。本研究中,番茄潜叶蛾卵和幼虫在大棚内的空间分布格局均呈聚集分布,与阿米热·牙生江等 (2021) 及张治科等 (2023) 研究结论一致。此外,番茄潜叶蛾卵和幼虫种群在露地番茄种植区的空间分布格局也呈聚集分布,这一结果与 Venkataramanaiah 等 (2021) 在印度田间调查的结论一致。番茄潜叶蛾的田间分布密度低于大棚,且在大棚内空间分布格局更为明显。推测除温度 (阿米热·牙生江等, 2021) 外,湿度或其他环境因素也可能对番茄潜叶蛾的分布格局和密度产生影响。本研究中,种群聚集均数表明番茄潜叶蛾卵和幼虫的聚集是由其自身行为和环境因素共同作用引起,其中环境可能是影响其聚集的主要原因。

理论抽样和序贯抽样技术是目前病虫害防

治中应用最广泛的抽样方法。本文根据对大棚及露地中番茄潜叶蛾卵和幼虫数量的调查,分别得出卵和幼虫在大棚和露地的理论抽样公式 (卵: $N = (t/D)^2[(5.01/m) - 0.54]$, $N = (t/D)^2[(3/m) + 1.75]$; 幼虫: $N = (t/D)^2[(3.11/m) - 0.07]$, $N = (t/D)^2[(8.38/m) - 0.52]$)。通过对序贯抽样设置的抽样允许误差和置信水平,计算出理论最大抽样数,确定是否需要防治的同时,可避免过量抽样。侯则颖和王新谱 (2023) 应用 Iwao 抽样模型,建立了苜蓿田中直条根瘤象 *Sitona cylindricollis* 成虫和幼虫的理论抽样数公式,并列出了理论抽样数。李少华等 (2022) 通过 Iwao 回归模型抽样技术,明确了桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 在不同密度下的理论抽样数,并确定了序贯抽样的最大理论抽样数。Cocco 等 (2015) 在对温室番茄潜叶蛾的序贯抽样研究中发现,二项式序贯抽样更实用且更有效。

本文对宁夏温室大棚及露地番茄种植区内的番茄潜叶蛾卵和幼虫的空间分布格局进行了系统调查,并绘制了最适抽样数模型。鉴于影响该虫空间分布格局的因素众多,本文仅调查了夏季 (该虫在当地的盛发期) 的番茄潜叶蛾分布情况,对于该虫在不同季节和寄主品种等条件下的

空间分布格局有待进一步调查研究, 以期为宁夏地区对番茄潜叶蛾的综合治理提供更加准确的理论指导。

参考文献 (References)

- Abbes K, Harbi A, Elimem M, Hafsi A, Chermiti B, 2016. Bioassay of three solanaceous weeds as alternative hosts for the invasive tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and insights on their carryover potential. *African Entomology*, 24(2): 334–342.
- Araujo SM, Ribeiro CM, 2022. *Phthorimaea absoluta* (tomato leafminer). CABI Compendium. CABI International.
- Bawin T, Dujeu D, De Backer L, Francis F, Verheggen FJ, 2016. Ability of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to develop on alternative host plant species. *Canadian Entomologist*, 148(4): 434–442.
- Biondi A, Guedes RNC, Wan FH, Desneux N, 2018. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: Past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63: 239–258.
- CABI, 2024. Invasive species compendium, *Tuta absoluta* (tomato leafminer) datasheet. 2024-05-10, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/49260>.
- Campos MR, Biondi A, Adiga A, Guedes RNC, Desneux N, 2017. From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* 10 years after invading Europe. *Journal of Pest Science*, 90(3): 787–796.
- Cocco A, Serra G, Lentini A, Deliperi S, Delrio G, 2015. Spatial distribution and sequential sampling plans for *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops. *Pest Management Science*, 71(9): 1311–1323.
- Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys KAG, Burgio G, Arpaia S, Narváez-Vasquez CA, González-Cabrera J, Catalán Ruescas D, Tabone E, Frandon J, Pizzol J, Poncet C, Cabello T, Urbaneja A, 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3): 197–215.
- Ding YQ, 1980. Principles and Applications of Insect Population Mathematical Ecology. Beijing: Science Press. 126–134. [丁岩钦, 1980. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京: 科学出版社. 126–134.]
- Hai YQ, Liu Y, 2022. Morphological and biological characteristics of tomato leaf miners. *China Plant Protection*, 42(8): 24–28. [海永强, 刘媛, 2022. 番茄潜叶蛾的形态特征和生物学特性. 中国植保导刊, 42(8): 24–28.]
- Hou ZY, Wang XP, 2023. Distribution types and population dynamics of *Sitona cylindricollis* in alfalfa fields in Ningxia. *China Plant Protection*, 43(3): 33–37. [侯则颖, 王新谱, 2023. 宁夏苜蓿田直条根瘤象分布类型和种群动态. 中国植保导刊, 43(3): 33–37.]
- Iwao'S, 1970. Analysis of contagiousness in the action of mortality factors on the western tent caterpillar population by using the m^*-m relationship. *Researches on Population Ecology*, 12: 100–110.
- Karadjova O, Ilieva Z, Krumov V, Petrova E, Ventsislavov V, 2013. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): Potential for entry, establishment and spread in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(3): 563–571.
- Li M, Zhou G, He Z, Tan JC, Liu YJ, Wu YP, 2014. Spatial distribution patterns and the environmental interpretations of *Basilepta melanopus* (Coleoptera: Eumolpidae) 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其环境解释. 林业科学, 50(10): 173–180.]
- 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. [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.]
- Taylor LR, 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annual Review of Entomology*, 29(1): 321–357.
- Venkataramanaiah P, Koteswara Rao SR, Hari Prasad KV, Sekhar MR, 2021. Spatial distribution pattern of South American tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) on open field tomato in Andhra Pradesh. *Journal of Entomological Research*, 45(3): 537–540.
- Wang H, Chang CY, Qin WC, Tian HG, Wang XP, 2017. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Neolycaena tengstroemi* eggs. *Journal of Northwest Forestry University*, 32(6): 220–223. [王辉, 常春燕, 秦伟春, 田会刚, 王新谱, 2017. 白斑新灰蝶卵的空间分布型及抽样技术. 西北林学院学报, 32(6): 220–223.]
- Wei W, Yang MF, Liao QR, Yang H, Chen WL, 2013. The spatial distribution patterns and sampling technique of *Lissorhoptrus oryzophilus* larvae under two seedling-raising methods. *Acta Phytophylacica Sinica*, 40(2): 128–132. [巍巍, 杨茂发, 廖启荣, 杨洪, 陈文龙, 2013. 两种育秧方式下稻水象甲幼虫的空间分布型及其抽样技术. 植物保护学报, 40(2): 128–132.]

- Xu RM, Cheng XY, 2005. Insect Population Ecology-Fundamentals and Frontiers. Beijing: Science Press. 340–342. [徐汝梅, 成新跃, 2005. 昆虫种群生态学-基础与前沿. 北京: 科学出版社. 340–342.]
- Yashengjiang AMR, Fu KY, Shataer ADL, Ding XH, He J, Ahmat TEX, Wang J, Li XW, Guo WC, 2021. Spatial distribution patterns and theoretical sampling of *Tuta absoluta* (Meyrick) of larvae and eggs in a tomato-producing greenhouse in Xinjiang, China. *Journal of Biosafety*, 30(2): 102–109. [阿米热·牙生江, 付开赞, 阿地力·沙塔尔, 丁新华, 何江, 吐尔逊·阿合买提, 王俊, 李晓维, 郭文超, 2021. 番茄潜叶蛾幼虫和卵在新疆大棚番茄的空间分布型及理论抽样数. 生物安全学报, 30(2): 102–109.]
- Zhang GF, Liu WX, Wan FH, Xian XQ, Zhang YB, Guo JY, 2018. Bioecology, damage and management of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), a worldwide quarantine pest. *Journal of Biosafety*, 27(3): 155–163. [张桂芬, 刘万学, 万方浩, 洗晓青, 张毅波, 郭建洋, 2018. 世界毁灭性检疫害虫番茄潜叶蛾的生物生态学及危害与控制. 生物安全学报, 27(3): 155–163.]
- Zhang GF, Xian XQ, Zhang YB, Zhang R, Ma DY, Liu WX, Gao YH, Wang J, Yang ZL, Li QH, Wang YS, Xue YT, Wan FH, 2022a. Warning of the dispersal of a newly invaded alien species, tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Plant Protection*, 46(2): 281–286. [张桂芬, 洗晓青, 张毅波, 张蓉, 马德英, 刘万学, 高有华, 王俊, 杨子林, 李庆红, 王玉生, 薛延韬, 万方浩, 2022a. 警惕南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 在中国扩散. 植物保护, 46(2): 281–286.]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, Liu WX, Li P, Liu WC, Liu H, Feng XD, Lv ZC, Wang YS, Huang C, Guo JY, Wan FH, Ma DY, Zhang XM, Gui FR, Li YH, Luo R, Wang HQ, Wang J, 2022b. Damage of an important and newly invaded agricultural pest, *Phthorimaea absoluta*, and its prevention and management measures. *Plant Protection*, 48(4): 51–58. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 刘万学, 李萍, 刘万才, 刘慧, 冯晓东, 吕志创, 王玉生, 黄聪, 郭建洋, 万方浩, 马德英, 张晓明, 桂富荣, 李亚红, 罗荣, 王慧卿, 王俊, 2022b. 新发重大农业入侵害虫番茄潜叶蛾的发生为害与防控对策. 植物保护, 48(4): 51–58.]
- Zhang RZ, 2019. *Tuta absoluta* (Povolny) larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(1): 50. [张润志, 2019. 番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* (Povolny) 幼虫. 应用昆虫学报, 56(1): 50.]
- Zhang XX, 2001. Insect Ecology and Forecasting. Beijing: China Agriculture Press. 60–70. [张孝羲, 2001. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 60–70.]
- Zhang ZK, Nan ZY, 2023. Spatial distribution patterns and sampling techniques of tomato leafminer *Tuta absoluta* larvae on tomatoes in greenhouse. *Journal of Plant Protection*, 50(6): 1571–1578. [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.]