

宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾的空间分布型及抽样技术

张治科* 南紫瑶

(宁夏农林科学院植物保护研究所, 银川 750002)

摘要: 为科学测报番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 并对其精准防控, 2022 年采用 Z 形抽样法对宁夏回族自治区(简称宁夏)银川市西夏区设施番茄基地内番茄潜叶蛾虫口密度进行调查, 通过适合度检验、聚集指标和 Iwao 回归分析等方法分析番茄潜叶蛾的空间分布型, 并建立理论抽样模型和基于幼虫密度防治指标的序贯抽样技术模型。结果显示, 西夏区番茄上番茄潜叶蛾的虫口密度为 0~4 头/叶, 其中虫口密度为 0 和 1 头/叶的频次较多, 且频次与虫口密度负相关; 经空间分布型适合度检验, 西夏区番茄上番茄潜叶蛾的空间分布型符合奈曼分布和负二项分布; 经聚集度指标检验, 西夏区番茄上番茄潜叶蛾呈聚集分布; 经 m^*-m 回归分析, 西夏区番茄上番茄潜叶蛾个体间相互吸引, 分布的个体成分为个体群; 根据建立的番茄潜叶蛾田间理论抽样数模型和序贯抽样模型可为该害虫的防控提供指导。

关键词: 番茄潜叶蛾; 番茄; 空间分布型; 聚集度指标; 抽样技术; 聚集分布

Spatial distribution patterns and sampling techniques of tomato leafminer *Tuta absoluta* larvae on tomatoes in greenhouses

Zhang Zhike* Nan Ziyao

(Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002,
Ningxia Hui Autonomous Region, China)

Abstract: To provide a theoretical basis for the scientific prediction and precise control of tomato leafminer *Tuta absoluta*, the population density of *T. absoluta* was investigated using Z-shaped sampling method in Xixia District, Yinchuan City, Ningxia Hui Autonomous Region, in 2022. Spatial distribution patterns of *T. absoluta* were analyzed using the χ^2 test for spatial distribution fitness, aggregation index, and Iwao regression analysis. A theoretical sampling model and a sequential sampling technology model based on larval density control indicators were established in this study. The results showed that the population density of *T. absoluta* larvae on greenhouse tomato leaves in Xixia District ranged from 0 to four per leaf, with the highest frequencies being 0 and one per leaf. The frequency was negatively correlated with insect population density. The spatial distribution pattern of *T. absoluta* followed the negative binomial distribution and Neyman pattern, as determined by χ^2 fitting for spatial distribution fitness, and exhibited an aggregation distribution according to the aggregation index test. Further analysis with m^*-m regression showed that individuals of *T. absoluta* attracted each other, and the individual components of distribution formed distinct groups. Establishing a theoretical optimal sampling number model and a sequential sampling model can guide the prevention and control of *T. absoluta* in the field.

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

基金项目: 中央引导地方科技发展专项(2022FRD05037), 宁夏自然科学基金(2022AAC02053), 银川市农业园区科技人才服务团队项目

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zhangzhike98@163.com

收稿日期: 2023-09-06

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 属鳞翅目麦蛾科, 寄主植物包括豆科、茄科、十字花科、禾本科、苋科、菟丝子科、菊科、藜科、旋花科和锦葵科等 11 科 50 多种(张桂芬等, 2022a)。该害虫起源于南美洲西部秘鲁, 自 20 世纪 50 年代至今逐渐发展为世界性重要害虫(杨石有等, 2023)。2017 年 8 月番茄潜叶蛾入侵我国新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州(张桂芬等, 2019), 2018 年 3 月该害虫在云南省临沧市番茄保护地发生为害, 随后该害虫分别从西南和西北向东向南迅速扩散蔓延(洗晓青等, 2019), 目前已在我国贵州、湖南、江西、广西、四川和云南等 13 个省(区)发生为害(Zhang et al., 2020; 屈春侠等, 2021; 张桂芬等, 2022b)。自 2021 年宁夏回族自治区(简称宁夏)监测到该害虫以来, 部分产地的番茄产量损失可达 80% 以上(张治科等, 2022), 严重影响了番茄产业的高质量发展。番茄潜叶蛾繁殖率高, 传播能力强(Sadique et al., 2022), 低龄幼虫和卵个体微小, 难以识别, 容易错过防治最佳时期(张润志等, 2019; 张桂芬等, 2020), 并且该害虫偏好在幼嫩且未被害的叶片上产卵, 进而大面积为害作物(阿米热·牙生江等, 2021)。番茄潜叶蛾幼虫可为害所有发育阶段番茄的任何部位, 严重影响番茄的商品价值(张治科等, 2022)。因此, 通过开展番茄潜叶蛾的种群监测掌握番茄潜叶蛾的空间分布特征及抽样技术, 对防控该害虫具有重要意义。

由于个体间的相互作用和对生境条件的适应不同, 昆虫种群形成不同的空间分布。空间分布是物种在一定生存环境空间的扩散分布形式, 也是昆虫种群的重要属性之一, 按照分布形式主要分为泊松分布、正二项分布和负二项分布, 按照图式主要分为随机分布、均匀分布和聚集分布。昆虫种群的分布形式通常由物种自身的生物学特性、发育阶段、寄主植物以及外界气候环境等生境条件共同决定的(徐汝梅, 1987; 夏鹏亮等, 2014; 陈潜等, 2018)。国内外学者主要根据传统统计学的方法(频数法和聚集度指标法)或现代统计学中的地统计学方法确定昆虫空间分布, 目前已经确定了一些昆虫的空间分布, 如花期设施蔬菜辣椒上西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的空间分布符合奈曼分布和负二项分布, 属于聚集分布, 是由环境异质性引起的(张治科等, 2018); 甘草田中甘草萤叶甲 *Diorhabda tarsalis* 幼虫的空间分布符合负二项分布, 成虫的空间分布符合核心分布和负二项分布, 均为聚集分布(张治科等, 2005); 固沙植物沙蒿上沙蒿金叶甲 *Chrysolina aeru-*

ginosa 的空间分布符合负二项分布, 属聚集分布, 个体间相互吸引, 有密度依赖性等特征(张治科等, 2007); 玉米田内桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 幼虫的空间分布符合负二项分布, 属于聚集分布(李少华等, 2022); 设施枣树上枣瘿蚊 *Dasineura jujubifolia* 幼虫的空间分布呈聚集分布, 分布的基本成分为个体间相互吸引(阎雄飞等, 2022); 在重度受害样地中短毛切梢小蠹 *Tomicus brevipilosus* 呈随机分布(武承旭等, 2020); 在轻度、中度和重度桉树林中云斑天牛 *Batocera lineolata* 幼虫种群的空间分布模型分别为高斯模型、球型模型和球型模型, 具有明显的空间依赖性(王晨等, 2023); 在杧果树上杧小果普瘿蚊 *Procontarinia fructiculi* 幼虫呈聚集分布, 聚集强度与种群密度成正比(龙秀珍等, 2021)等; 而目前关于番茄潜叶蛾的空间分布与抽样技术鲜有报道。

为进一步明确宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾的空间分布型并采取相应的防控措施, 本研究于 2022 年 6 月对宁夏银川市西夏区园林场和军马场设施番茄上番茄潜叶蛾虫口密度进行调查, 利用传统统计学方法分析其空间分布特征, 基于 Iwao 回归模型建立其理论抽样数和序贯抽样模型, 以为番茄潜叶蛾田间精准抽样调查、种群密度分析及高效防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物: 番茄品种为奥粉一号, 种子由永宁仁义果蔬种苗专业合作社提供。

1.2 方法

1.2.1 宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾的调查

2022 年 6 月在宁夏银川市西夏区芦花乡($106^{\circ} 86'40''$ E, $38^{\circ} 39'21''$ N, 海拔 1 075.5 m) 和军马场($106^{\circ} 79'12''$ E, $38^{\circ} 32'15''$ N, 海拔 1 069.0 m) 设施番茄种植基地进行番茄潜叶蛾空间分布调查。选择 12 个大棚进行调查, 每个大棚面积为 $600\sim700\text{ m}^2$, 每个大棚作为 1 个样地, 即样地 1~样地 12。2022 年 2 月底—3 月初种植奥粉一号, 株距为 35 cm, 行距为 45 cm, 待番茄株高为 160~200 cm 时, 每个设施大棚采用 Z 形抽样法选取 12 株番茄, 调查每片叶片上番茄潜叶蛾幼虫的数量, 即虫口密度 x , 每株番茄共调查 6 片叶片, 其中上、中、下部位各 2 片叶片, 并记录不同虫口密度出现的频次, 即实测频次 f 。采用 Excel 2016 和生物统计软件 DPS 17.10 对调查数据进行整理。

1.2.2 番茄潜叶蛾空间分布型的适合度检验

根据调查数据整理获得番茄潜叶蛾虫口密度的频次分布表,计算各样地番茄潜叶蛾虫口密度的样本均数 m 和样本方差 s^2 ;根据理论频次分布公式计算奈曼分布、奈曼A型分布、负二项分布(包括最大或然法、零频率分布法、矩法)、泊松分布和二项分布等各分布型的理论频次,其中二项分布是正态分布,泊松分布是随机分布,其他均属于聚集分布。使用DPS 17.10软件对理论频次与实测频次 f 进行 χ^2 检验,并得出概率值,进而确定样地番茄潜叶蛾的空间分布型。

1.2.3 番茄潜叶蛾空间分布型的聚集度指标检验

根据传统统计学,采用丛生指标 I 、聚块指数、久野指数 C_a 、扩散系数 C 和负二项分布指标 K 等聚集度指标对宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾幼虫的分布特征进行分析。丛生指标 $I=s^2/m-1$;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。聚块指数 $=m^*/m$, $m^*=\sum_{j=1}^Q x_j(x_j-1)/\sum_{j=1}^Q x_j$, m^* 为平均拥挤度, x_j 为第 j 个样方的种群个体数, Q 为样方总数;当聚块指数 <1 时为均匀分布,当聚块指数 $=1$ 时为随机分布,当聚块指数 >1 时为聚集分布。久野指数 $C_a=(s^2-m)/m^2$;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。扩散指数 $C=s^2/m$;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。负二项分布指标 $K=m^2/(s^2-m)$;当 $K<0$ 时为均匀分布,当 $0<K<8$ 时为聚集分布,当 K 趋于无穷大时为泊松分布。

1.2.4 番茄潜叶蛾空间分布型的线性回归方程检验

采用Iwao提出的 m^*-m 回归分析法对番茄潜叶蛾的空间分布型进行判断,即 $m^*=\alpha+\beta m$,式中 α 为分布的基本成分的分布性质, β 为成分的空间分布图式。当 $\alpha<0$ 时,个体间相互排斥,当 $\alpha=0$ 时,分布的基本成分为单个个体,当 $\alpha>0$ 时分布的个体成分为个体群,个体间相互吸引。当 $\beta<1$ 时为均匀分布,当 $\beta=1$ 时为随机分布,当 $\beta>1$ 时为聚集分布。

1.2.5 番茄潜叶蛾的田间理论抽样数

根据理论抽样原理,应用Iwao(1972)的统计方法建立理论抽样数模型,即 $N=\frac{(\alpha+1)/m+(\beta-1)}{D^2}t^2$,式中 N 为抽样数, D 为允许误差, t 为保证可靠概率为95%条件下的正态离差值。将1.2.4所得的 α 值和 β 值代入,即可得到理论抽样数模型。利用该模式计算不用允许误差下番茄潜叶

蛾的抽样数。

1.2.6 番茄潜叶蛾的抽样模型

采用Iwao(1972)的序贯抽样理论建立模型, $T_n=nm_0\pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_0+(\beta-1)m_0^2]}$,式中 T_n 为累计虫数的上限值和下限值, m_0 为达到经济阈值的种群密度, n 为田间累积抽样数。将1.2.4所得 α 值和 β 值代入,得到序贯抽样模型。根据序贯抽样模型,可计算不同经济阈值的调查叶片数和虫量,制作序贯抽样表。根据序贯抽样表,若田间抽样虫量大于累计虫数的上限,则需要防治;若田间抽样虫量低于累计虫数的下限,则不需要防治;若田间抽样虫量处于累计虫数的上限和下限之间,表明还需继续抽样。

2 结果与分析

2.1 番茄潜叶蛾空间分布型的适合度检验

通过对12个样地获得的番茄潜叶蛾数据进行整理得到频次分布表,其中番茄潜叶蛾的虫口密度为0~4头/叶,其中虫口密度为0和1头/叶的频次较多(表1)。计算各样地番茄潜叶蛾虫口密度的样本均数和样本方差(表2)以及奈曼分布、奈曼A型分布、负二项分布(最大或然法)、负二项分布(零频率分布法)、负二项分布(矩法)、泊松分布、二项分布的理论频次。

经 χ^2 检验,12个样地二项分布的理论频次与实测频次的概率值均 <0.001 ,表明番茄潜叶蛾的空间分布不符合二项分布;经 χ^2 检验,除了样地3和样地10,其余样地泊松分布的理论频次与实测频次的概率值均小于0.050,甚至样地1、样地2、样地7、样地8和样地12泊松分布的理论频次与实测频次的概率值均小于0.010,表明番茄潜叶蛾的空间分布不符合泊松分布;经 χ^2 检验,12个样地奈曼分布、奈曼A型分布及负二项分布的最大或然法和矩法的理论频次与实测频次的概率值均大于0.050,表明番茄潜叶蛾的空间分布符合奈曼分布、奈曼A型分布及负二项分布的最大或然法和矩法分布;经 χ^2 检验,除了样地3和样地4,其他样地负二项分布的零频率分布法的理论频次与实测频次的概率值均大于0.050,表明番茄潜叶蛾的空间分布也符合负二项分布的零频率分布法分布。综上,宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾幼虫的呈聚集分布(表3)。

2.2 番茄潜叶蛾空间分布型的聚集度指标检验

12个样地内番茄潜叶蛾幼虫的丛生指数均大于0、聚块指数均大于1.000、久野指数均大于0、扩

散系数均大于1.000、负二项分布指标均大于0,各聚集度指标均符合聚集分布的要求,故判定宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾幼虫属于聚集分布。12个样地

的负二项分布指标均较小,说明其聚集度均较大,其中样地1、样地2、样地4和样地8的平均拥挤度最大,均大于1.000(表4)。

表1 宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾幼虫的频次分布表

Table 1 Frequency distribution of *Tuta absoluta* on greenhouse tomatoes in Ningxia

虫口密度 Population density $x/$ (head/leaf)	样地1 Sample plot 1			样地2 Sample plot 2			样地3 Sample plot 3			样地4 Sample plot 4		
	实测频次 Measured frequency f	fx	fx^2									
0	50	0	0	1	2	3	41	0	0	42	0	0
1	12	12	12	14	14	14	21	21	21	18	18	18
2	6	12	24	4	8	16	6	12	24	7	14	28
3	4	12	36	4	12	36	4	12	36	4	12	36
4	-	-	-	1	4	16	-	-	-	1	4	16
虫口密度 Population density $x/$ (head/leaf)	样地5 Sample plot 5			样地6 Sample plot 6			样地7 Sample plot 7			样地8 Sample plot 8		
	实测频次 Measured frequency f	fx	fx^2									
0	50	0	0	47	0	0	53	0	0	56	0	0
1	14	14	14	18	18	18	12	12	12	10	10	10
2	6	12	24	4	8	16	5	10	20	3	6	12
3	2	6	18	3	9	27	2	6	18	2	6	18
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	16
虫口密度 Population density $x/$ (head/leaf)	样地9 Sample plot 9			样地10 Sample plot 10			样地11 Sample plot 11			样地12 Sample plot 12		
	实测频次 Measured frequency f	fx	fx^2									
0	50	0	0	53	0	0	51	0	0	56	0	0
1	15	15	15	13	13	13	15	15	15	10	10	10
2	5	10	20	5	10	20	4	8	16	4	8	16
3	2	6	18	1	3	9	2	6	18	2	6	18

表2 宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾虫口密度的样方均数及样本方差

Table 2 Mean and variance of *Tuta absoluta* population density on greenhouse tomatoes in Ningxia

样地 Sample plot	样本均值 Mean of sample	样本方差 Variance of sample	样地 Sample plot	样本均值 Mean of sample	样本方差 Variance of sample
1	0.500	0.761	7	0.389	0.551
2	0.528	0.873	8	0.361	0.657
3	0.625	0.745	9	0.431	0.559
4	0.667	0.930	10	0.361	0.459
5	0.444	0.588	11	0.403	0.526
6	0.486	0.620	12	0.333	0.507

表3 宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾的空间分布型适合度检验

Table 3 Fitness test of the spatial distribution of *Tuta absoluta* on greenhouse tomatoes in Ningxia

样地 Sample plot	奈曼分布 Neyman distribution		奈曼A型分布 Neyman A-type distribution		负二项分布 Negative binomial distribution						泊松分布 Poisson distribution		二项分布 Binomial distribution		
					最大或然法 Maximum probability method			零频率分布法 Zero frequency method		矩法 Moment method					
	χ^2	概率值 Probability value	χ^2	概率值 Probability value	χ^2	概率值 Probability value	χ^2	概率值 Probability value	χ^2	概率值 Probability value	χ^2	概率值 Probability value	χ^2	概率值 Probability value	
1	1.381	1.000	1.094	1.000	0.802	1.000	0.999	1.000	1.691	1.000	13.882	<0.001	48.960	<0.001	
2	2.149	0.143	2.085	0.149	2.246	0.134	3.449	0.063	2.507	0.113	17.880	<0.001	71.127	<0.001	
3	0.930	1.000	0.941	1.000	0.770	1.000	-	-	0.828	1.000	3.371	0.066	20.118	<0.001	
4	0.864	0.353	0.770	0.380	0.882	0.348	4.953	0.026	0.998	0.318	6.455	0.040	28.747	<0.001	
5	0.617	1.000	0.485	1.000	0.530	1.000	2.800	1.000	0.725	1.000	4.881	0.027	18.612	<0.001	
6	1.045	1.000	1.108	1.000	0.874	1.000	4.249	1.000	0.919	1.000	5.355	0.021	26.073	<0.001	
7	0.518	1.000	0.361	1.000	0.405	1.000	1.502	1.000	0.678	1.000	7.486	0.006	27.378	<0.001	
8	0.471	0.493	0.707	0.401	0.390	0.532	0.550	0.459	0.584	0.445	35.048	<0.001	229.635	<0.001	
9	0.241	1.000	0.201	1.000	0.138	1.000	2.760	1.000	0.249	1.000	4.080	0.043	18.514	<0.001	
10	0.615	1.000	0.502	1.000	0.629	1.000	2.976	1.000	0.717	1.000	3.265	0.071	10.767	0.001	
11	0.289	1.000	0.310	1.000	0.167	1.000	2.643	1.000	0.237	1.000	4.626	0.032	21.727	<0.001	
12	0.462	1.000	0.316	1.000	0.295	1.000	0.580	1.000	0.655	1.000	11.716	0.001	42.539	<0.001	

表4 宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾空间分布型的聚集度指标检验

Table 4 Aggregation index test of *Tuta absoluta* on greenhouse tomatoes in Ningxia

样地 Sample lot	平均拥挤度 Crowding degree	丛生指数 Clumping index	聚块指数 Patchiness index	久野指数 Kuno index	扩散系数 Diffusion coefficient	负二项分布指标 Negative binomial distribution index
1	1.021	0.521	2.042	1.042	1.521	0.959
2	1.181	0.653	2.237	1.237	1.653	0.808
3	0.817	0.192	1.306	0.306	1.192	3.263
4	1.061	0.394	1.592	0.592	1.394	1.691
5	0.768	0.324	1.729	0.729	1.324	1.372
6	0.761	0.274	1.565	0.565	1.274	1.771
7	0.806	0.417	2.071	1.071	1.417	0.934
8	1.179	0.818	3.266	2.266	1.818	0.441
9	0.728	0.297	1.690	0.690	1.297	1.450
10	0.633	0.272	1.753	0.753	1.272	1.328
11	0.708	0.305	1.757	0.757	1.305	1.321
12	0.855	0.521	2.564	1.564	1.521	0.640

2.3 番茄潜叶蛾空间分布型的线性回归方程检验

利用平均拥挤度 m^* 和样本平均数 m 进行线性模型回归分析, 得出西夏区设施番茄上番茄潜叶蛾

分布的线性回归方程为 $m^* = 0.614 + 0.569m$ ($R^2 = 0.821$)。由线性回归方程可知 $\alpha = 0.614$, $\beta = 0.569$ 。 $\alpha > 0$, 表明番茄潜叶蛾个体间相互吸引, 分布的个体成

分为个体群; $\beta>0$, 表明番茄潜叶蛾为聚集分布, 与聚集度指标检验结果一致。

2.4 番茄潜叶蛾的理论抽样数

根据 $\alpha=0.614$ 建立番茄潜叶蛾田间理论抽样数模型, 即 $N=(1.614/m-0.431)t^2/D^2$ 。利用此模型得到

不同允许误差下番茄潜叶蛾不同密度的抽样数(表5)。当允许误差相同时, 抽样数随着番茄潜叶蛾密度的增加而减小; 当番茄潜叶蛾密度相同时, 抽样数随着允许误差的减小而增大, 表明田间理论抽样数与允许误差和虫口密度均呈负相关关系。

表5 不同允许误差下番茄潜叶蛾幼虫的抽样数

Table 5 Sampling number of *Tuta absoluta* larvae under different allowable errors

允许误差 Allowable error	番茄潜叶蛾密度/(头/叶) Density of <i>Tuta absoluta</i> /(larvae/leaf)													
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
0.1	6 036	2 935	1 901	1 385	1 075	720	610	523	455	248	145	83	41	12
0.2	1 509	734	475	346	269	180	152	131	114	62	36	21	10	3
0.3	671	326	211	154	119	80	68	58	51	28	16	9	5	1

2.5 番茄潜叶蛾幼虫的抽样模型

经拟合得出番茄潜叶蛾的序贯抽样模型为 $T_n = nm_0 \pm t \sqrt{n[1.614m_0 - 0.431m_0^2]}$ 。根据模型, 得到番

茄潜叶蛾幼虫序贯抽样表(表6)。在田间抽样时, 根据虫量与累计虫量的关系采取不同的防控措施。

表6 番茄潜叶蛾幼虫的序贯抽样表

Table 6 Sequential sampling of *Tuta absoluta* larvae

经济阈值/(头/叶) Economic threshold/ (larvae/leaf)	调查的叶片数 No. of surveyed leaves													
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
0.4	抽样上限 Upper limit of sampling	15	25	36	45	55	64	74	83	92	101	110	119	128
	抽样下限 Lower limit of sampling	1	7	12	19	25	32	38	45	52	59	66	73	80
0.8	抽样上限 Upper limit of sampling	25	44	63	82	100	118	135	153	171	188	205	223	257
	抽样下限 Lower limit of sampling	7	20	33	46	60	74	89	103	118	132	147	161	191
1.2	抽样上限 Upper limit of sampling	34	62	89	116	142	169	195	220	246	272	297	323	374
	抽样下限 Lower limit of sampling	14	34	55	76	98	119	141	164	186	208	231	253	298
1.6	抽样上限 Upper limit of sampling	43	79	114	149	184	218	252	286	320	354	387	421	454
	抽样下限 Lower limit of sampling	21	49	78	107	136	166	196	226	256	286	317	347	408
2.0	抽样上限 Upper limit of sampling	51	95	139	182	224	266	308	350	392	434	476	517	559
	抽样下限 Lower limit of sampling	29	65	101	138	176	214	252	290	328	366	404	443	520

3 讨论

阿米热·牙生江等(2021)研究结果显示在极低密度下番茄潜叶蛾呈均匀分布, 而在高密度和低密度下呈聚集分布。本研究通过空间分布型适合度 χ^2 检验发现, 设施大棚内番茄潜叶蛾的空间分布不符

合二项分布和泊松分布, 而符合聚集分布, 本研究调查对象为盛发期番茄潜叶蛾, 其虫口密度较大, 故呈聚集分布, 与阿米热·牙生江等(2021)研究结果吻合, 而在极低密度下其空间分布型还需继续研究。此外不同温度下番茄潜叶蛾的分布密度和分布型也

可能会不同(Mohamed et al., 2022),下一步可以对温差较大的不同省的番茄潜叶蛾空间分布型进行调查。

本研究通过聚集度指标检验发现12个样地内番茄潜叶蛾幼虫的丛生指数均大于0、聚块指数均大于1.000、久野指数均大于0、扩散系数均大于1.000、负二项分布指标均大于0,各聚集度指标均符合聚集分布的要求,故判定宁夏设施番茄上番茄潜叶蛾幼虫属于聚集分布,且各样地的负二项分布指标均较小,说明其聚集度较大,与白纹伊蚊*Aedes albopictus* 成蚊(许峰等,2021)、辣椒田蜘蛛(王小强等,2018)和三叶斑潜蝇*Liriomyza trifolii*(常亚文等,2016)等的空间分布型相似,表明番茄潜叶蛾的某些习性可能与这些昆虫的相似,番茄潜叶蛾的具体防治技术或许可以借鉴这些害虫的防治策略。本研究通过 m^*-m 回归分析表明,番茄潜叶蛾个体间相互吸引,分布的个体成分是个体群,空间分布图式为聚集分布,这与设施番茄的生长、分布情况以及番茄潜叶蛾的产卵、取食等生活习性密切相关,可为番茄潜叶蛾预测、预报及防控技术提供科学依据。

本试验仅对宁夏银川市西夏区设施番茄条件下番茄潜叶蛾的空间分布型进行研究,且此时番茄潜叶蛾处于盛发期,今后还需进一步研究不同气候、土壤类型、田间管理和番茄品种等条件下番茄潜叶蛾的空间分布型及抽样调查技术,并对得到的模型进行验证和优化,以形成更适合当地的番茄潜叶蛾抽样调查技术,从而更好地指导番茄潜叶蛾的防控工作,进而推动宁夏番茄产业的高质量发展。

参 考 文 献 (References)

- 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, 田子华, 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 Q, Xu ZC, Zhang LS, Lu PF, Zhang YF. 2018. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Arhopalus rusticus* larvae and adults. *Acta Ecologica Sinica*, 38(3): 975–983 (in Chinese) [陈潜, 许志春, 张连生, 陆鹏飞, 张永福. 2018. 褐梗天牛幼虫和成虫空间分布的地统计学研究. 生态学报, 38(3): 975–983]
- Iwao S. 1972. Application of 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. *Researches on Population Ecology*, 14: 97–128
- 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]
- Long XZ, Wei DW, Gao XY, He Z, Jiang XD, Mo JY, Huang ZW, Huang HL, Zeng XR, Yu YH. 2021. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Procontarinia fructiculi* Jiao, Wang, Bu & Kolesik larvae. *Journal of Southern Agriculture*, 52(7): 1835–1842 (in Chinese) [龙秀珍, 韦德卫, 高旭渊, 何瞻, 江小冬, 莫贱友, 黄战威, 黄慧俐, 曾宪儒, 于永浩. 2021. 杠小果普瘦蚊幼虫的空间分布型和抽样技术研究. 南方农业学报, 52(7): 1835–1842]
- Mohamed SA, Azrag AGA, Obala F, Ndlela S. 2022. Estimating the demographic parameters of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) using temperature-dependent development models and their validation under fluctuating temperature. *Biology*, 11(2): 181
- Qu CX, Tang LL, Yu ZY. 2021. Damage and control of tomato leaf miner. *Northwest Horticulture*, (6): 47–48 (in Chinese) [屈春侠, 唐兰兰, 于忠友. 2021. 番茄潜叶蛾危害与防控. 西北园艺(综合), (6): 47–48]
- Sadique M, Ishtiaq M, Naeem-Ullah U, Faried N. 2022. Spatio-temporal distribution of *Tuta absoluta* (Meyrick 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) from Pakistan. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(4): 3023–3032
- Wang C, Dong CP, Long XJ, Chen GF, Chen BW, Yao J, Bai YY. 2023. Geostatistical analysis on the spatial distribution characteristics of *Batocera lineolata* larvae in eucalypti plantations. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 43(1): 99–107 (in Chinese) [王晨, 董昌平, 龙训建, 陈桂芳, 陈本文, 姚佳, 白耀宇. 2023. 基于地统计学的重庆市桉树云斑天牛幼虫空间分布特征研究. 西南林业大学学报(自然科学), 43(1): 99–107]
- Wang XQ, Cao XY, Liu HL, Wu XL, Pu DQ, Li YJ, Fang C. 2018. Spatial distribution of mixed spider populations in pepper fields. *Journal of Southern Agriculture*, 49(11): 2204–2209 (in Chinese) [王小强, 曹馨月, 刘虹玲, 伍兴隆, 蒲德强, 李跃建, 房超. 2018. 辣椒田蜘蛛混合种群空间分布型分析. 南方农业学报, 49(11): 2204–2209]
- Wu CX, Zang LP, Zhang SF, Kong XB, Liu F, Zhang Z, Li Y, Xu FL, Huang GY. 2020. Spatial distribution patterns of three sympatric *Tomicus* species initially infesting *Pinus yunnanensis* trunks. *Acta Ecologica Sinica*, 40(11): 3646–3655 (in Chinese) [武承旭, 臧丽鹏, 张苏芳, 孔祥波, 刘福, 张真, 李猷, 徐芳玲, 黄桂英. 2020. 云南松三种同域共存切梢小蠹梢转干期的空间分布格局. 生态学报, 40(11): 3646–3655]
- Xia PL, Wang R, Wang CJ, Lin GP, Liu YH. 2014. Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China. *Acta Ecologica Sinica*, 34(5): 1198–1204 (in Chinese) [夏鹏亮, 王瑞, 王昌军, 林国平, 刘映红. 2014. 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析. 生态学报, 34(5): 1198–1204]

- Xian XQ, Zhang GF, Liu WX, Wan FH. 2019. Risk assessment of the invasion of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) into China. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 49–55 (in Chinese) [洗晓青, 张桂芬, 刘万学, 万方浩. 2019. 世界性害虫番茄潜麦蛾入侵我国的风险分析. 植物保护学报, 46(1): 49–55]
- Xu F, Wang T, Song CL, Zhou YB. 2021. Aggregation tendency and distribution pattern of adult *Aedes albopictus* mosquitoes captured by mosquito ovitraps. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 32(4): 481–486 (in Chinese) [许峰, 王唐, 宋灿磊, 周毅彬. 2021. 诱蚊诱卵器捕获白纹伊蚊成蚊聚集趋势及分布型的研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 32(4): 481–486]
- Xu RM. 1987. Insect population ecology. Beijing: Beijing Normal University Press (in Chinese) [徐汝梅. 1987. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社]
- Yan XF, Cheng XH, Hao Z, Wang TH, Qin FL, Li G. 2022. Spatial distribution patterns and sampling techniques of *Dasineura jujubifolia* larvae on facility jujube trees. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 46(4): 201–208 (in Chinese) [阎雄飞, 程鑫辉, 郝哲, 王庭昊, 秦富林, 李刚. 2022. 枣瘿蚊幼虫在设施枣树上的空间分布型及抽样技术. 南京林业大学学报(自然科学版), 46(4): 201–208]
- Yang SY, Zhang R, Li HL, Huang JM, Kong Q, Yuan SY. 2023. Decrement and synergistic efficacy of pesticide adjuvants to indoxacarb against *Tuta absoluta* (Meyrick). *Journal of Environmental Entomology*, 45(2): 536–542 (in Chinese) [杨石有, 张蕊, 李宏琳, 黄镜梅, 孔琼, 袁盛勇. 2023. 农药助剂对茚虫威防治番茄潜叶蛾的减量增效作用. 环境昆虫学报, 45(2): 536–542]
- Yashengjiang A, Fu KY, Shataer A, Ding XH, He J, Ahmat T, 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 Bio-safety*, 30(2): 102–109 (in Chinese) [阿米热·牙生江, 付开赟, 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, Ma DY, Liu WX, Wang YS, Fu WJ, Wang J, Gao YH, Wan FH. 2019. The arrival of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in China. *Journal of Biosafety*, 28(3): 200–203 (in Chinese) [张桂芬, 马德英, 刘万学, 王玉生, 付文君, 王俊, 高有华, 万方浩. 2019. 中国新发现外来入侵害虫——南美番茄潜叶蛾(鳞翅目: 麦蛾科). 生物安全学报, 28(3): 200–203]
- Zhang GF, Ma DY, Wang YS, Gao YH, Liu WX, Zhang R, Fu WJ, Xian XQ, Wang J, Kuang M, et al. 2020. First report of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(7): 1912–1917
- Zhang GF, Xian XQ, Zhang YB, Zhang R, Ma DY, Liu WX, Gao YH, Wang J, Yang ZL, Li QH, et al. 2020. Warning of the dispersal of a newly invaded alien species, tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Plant Protection*, 46(2): 281–286 (in Chinese) [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, 等. 2020. 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, Liu WX, Han L, Wan FH, Liu WC, Li P, Xian XQ, Wang YS, Zhang XM, et al. 2022a. Selectivity of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), to pupation site in four cultivation patterns of greenhouse tomato. *Plant Protection*, 48(6): 141–152 (in Chinese) [张桂芬, 张毅波, 刘万学, 韩力, 万方浩, 刘万才, 李萍, 洗晓青, 王玉生, 张晓明, 等. 2022a. 设施番茄4种栽培方式下番茄潜叶蛾对化蛹场所的选择性研究. 植物保护, 48(6): 141–152]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, Liu WX, Li P, Liu WC, Liu H, Feng XD, Lü ZC, Wang YS, et al. 2022b. Damage of an important and newly invaded agricultural pest, *Phthorimaea soluta*, and its prevention and management measures. *Plant Protection*, 48(4): 51–58 (in Chinese) [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, 等. 2022b. 新发重大农业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 of *Lycopersicon esculenta*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(1): 50 (in Chinese) [张润志. 2019. 番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* (Povolny)幼虫. 应用昆虫学报, 56(1): 50]
- Zhang ZK, Wu SY, Lei ZR. 2022. Occurrence, harm and control of tomato leaf miner, a new agricultural invasive organism in Ningxia. *China Cucurbits and Vegetables*, 35(11): 111–116 (in Chinese) [张治科, 吴圣勇, 雷仲仁. 2022. 宁夏地区新发农业害虫番茄潜叶蛾的发生危害及防控. 中国瓜菜, 35(11): 111–116]
- Zhang ZK, Wu SY, Lei ZR, Kang PZ, Du YN, Zhang LR. 2018. Spatial distribution pattern of *Frankliniella occidentalis* during pepper flowering stage in Ningxia. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 46(3): 142–147 (in Chinese) [张治科, 吴圣勇, 雷仲仁, 康萍芝, 杜玉宁, 张丽荣. 2018. 宁夏辣椒花期西花蓟马的空间分布特征研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 46(3): 142–147]
- Zhang ZK, Yang CX, Gao LY. 2005. Preliminary study on spatial distribution pattern of *Diorhabda tarsalis* Weise. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 14(2): 74–77 (in Chinese) [张治科, 杨彩霞, 高立原. 2005. 甘草萤叶甲空间分布型初步研究. 西北农业学报, 14(2): 74–77]
- Zhang ZK, Yang CX, Gao LY. 2007. Study on the spatial distribution pattern of *Chrysolina aeruginosa* Falld and its sampling technique. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 35(4): 99–104 (in Chinese) [张治科, 杨彩霞, 高立原. 2007. 沙蒿金叶甲空间分布型及抽样技术研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 35(4): 99–104]

(责任编辑:张俊芳)