

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20250059

番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层的空间分布格局

魏玉红, 周昭旭, 刘月英, 罗进仓*

甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070

摘要:【目的】明确番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层的空间格局及抽样技术,为其早期监测和防控提供依据。【方法】将处于营养生长阶段的盆栽番茄(9个复叶)放入养虫纱笼中,每笼1株,笼中释放3日龄成虫5~15对,3d后调查记录植株冠层不同部位的卵量。根据卵量占比、聚集度指标、Iwao回归法及Taylor幂法则分析卵在植株冠层的空间分布特征,并使用相对方差RV和确定系数 R^2 确定最适抽样方式。【结果】在植株冠层,番茄潜叶蛾卵以叶片上卵量最多,占全株卵量的78.0%(其中叶正面54.3%、叶背面23.7%),显著高于叶柄(9.1%)、茎秆(6.8%)和顶芽(6.1%)的卵量,叶正面卵量显著高于叶背面,叶柄、茎秆和顶芽之间的卵量差异不显著。在植株冠层垂直分布中,以植株中部的卵量(49.7%)最多,显著高于上部(29.8%)和下部(20.5%)的卵量;叶片上的卵量以中部数量最多(48.4%),显著高于下部卵量(19.2%),而与上部卵量(32.4%)差异不显著,上部与下部卵量差异不显著;叶柄、茎秆和顶芽3个部位的卵量差异不显著。在冠层叶片水平分布上,外层卵量(46.2%)显著高于中层(31.0%)和内层(22.8%)。聚集度指标、Iwao回归法($m^* = -0.1255 + 3.5583m, r = 0.9036, p < 0.01$)及Taylor幂法则($\lg S^2 = 0.4887 + 1.3442 \lg m, r = 0.9503, p < 0.01$)测定结果均表明,卵在植株冠层呈聚集分布,个体间相互排斥,聚集分布的原因与密度(m)呈正相关($\lambda = -0.1876 + 4.4395m, r = 0.9468, p < 0.01$)。在几种抽样方式中,在植株冠层上、中、下部位分别各随机抽取2~5个叶片的取样方式,其相对方差RV为28.9%~29.7%,与总体样本的相对方差RV(30.9%)接近,其确定系数 R^2 为0.864~0.924,可用于田间抽样计划。【结论】在番茄植株冠层,番茄潜叶蛾卵呈聚集分布,叶片上的卵量显著多于叶柄、茎秆和顶芽卵量,植株中部的卵量高于植株上部和下部,植株冠层外层的卵量高于中层和内层。抽样方式以上、中、下部位分别各随机抽取2个以上叶片的取样方式为佳。

关键词: 番茄潜叶蛾; 卵; 空间格局; 抽样方式; 番茄; 植株冠层

Spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs in tomato canopy

WEI Yuhong, ZHOU Zhaoxu, LIU Yueying, LUO Jincang*

Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China

Abstract: 【Aim】 To clarify the spatial pattern and sampling technology of *Tuta absoluta* eggs in the canopy of tomato plants, thereby providing a basis for the early monitoring and control of this pest. 【Method】 The potted tomato plants (each with 9 compound leaves) in the vegetative growth stage were placed in indoor insect-rearing cages (one plant per cage), and 5-15 pairs of 3-day-old moths were released into each cage. After 3 days, the number of eggs in different parts of the plant canopy was investigated and recorded. The spatial distribution characteristics of eggs in plant canopy were analyzed based on the proportion of eggs, aggregation index, Iwao's regression method, and Taylor's power law. The relative variance (RV) and the determination coefficient (R^2) were calculated to determine the optimal sampling method. 【Result】 In the canopy, most eggs were on leaves, accounting for 78.0% (54.3% on the adaxial surface and 23.7% on the abaxial surface) of eggs on the whole plant, which was significantly higher than that on petioles (9.1%), stems (6.8%), and apexes (6.1%). The number of eggs on the adaxial surface was significantly higher than that on the abaxial surface, and there was no significant difference in the number of eggs among petioles, stems, and apexes. Regarding the vertical distribution of eggs in the canopy, the number of eggs in the middle part (49.7%) was the highest, which was significantly higher than that in the upper part (29.8%) and lower part (20.5%). The number of eggs on the middle leaves was the highest (48.4%), which was significantly higher than that on the lower leaves (19.2%) and had no significant difference from

收稿日期(Received): 2025-04-27 接受日期(Accepted): 2025-05-30

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1400200); 甘肃省农业科学院院列项目(2022GAAS44、2024ZBS03); 甘肃省科技计划(23YFNA0004)

作者简介: 魏玉红,女,高级农艺师。研究方向: 农业昆虫防治。E-mail: 727339710@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), 罗进仓, E-mail: jincang1964@sohu.com

that on the upper leaves (32.4%). There was no significant difference in the number of eggs between upper and lower leaves, or between petioles, stems, and apexes. In terms of the horizontal distribution of eggs on canopy leaves, the number of eggs in the outer layer (46.2%) was significantly higher than that in the middle layer (31.0%) and the inner layer (22.8%). The results of the aggregation index, Iwao's regression method ($m^* = -0.1255 + 3.5583m$, $r = 0.9036$, $p < 0.01$), and Taylor's power law ($\lg S^2 = 0.4887 + 1.3442 \lg m$, $r = 0.9503$, $p < 0.01$) all showed that the eggs presented aggregated distribution in the canopy of plants, with repelling between individuals. The reason of the aggregated distribution was positively correlated with density (m) ($\lambda = -0.1876 + 4.4395m$, $r = 0.9468$, $p < 0.01$). Among several sampling methods, randomly selecting 2–5 leaves from the upper, middle, and lower parts of the plant canopy can be used for field sampling. This method showed the relative variance (RV) (28.9%–29.7%) close to that of whole sampling (30.9%) and the R^2 of 0.864–0.924, being suitable for field sampling. 【Conclusion】 In the tomato canopy, the eggs of *T. absoluta* demonstrate aggregated distribution, and the number of eggs on leaves is significantly higher than that on petioles, stems, and apexes. The number of eggs is higher in the middle part than in the upper and lower parts of plants, and higher in the outer layer than in the middle and inner layers of the canopy. The suitable sampling method is randomly selecting more than 2 leaves from each of the upper, middle, and lower parts.

Key words: *Tuta absoluta*; eggs; spatial pattern; sampling method; tomato; plant canopy

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 是近年我国新发现的重大农业入侵害虫。该虫于 1917 年在秘鲁中部被发现并定名, 20 世纪 60 年代扩散到南美洲, 并成为南美洲番茄 *Solanum lycopersicum* L. 上最具毁灭性的害虫之一 (Biondi *et al.*, 2018; Desneux *et al.*, 2010)。自 2006 年在西班牙卡斯蒂利亚省被发现以来 (Urbaneja *et al.*, 2007), 番茄潜叶蛾迅速在欧洲和地中海地区扩散蔓延 (Desneux *et al.*, 2010), 并快速入侵至非洲和亚洲, 成为全球番茄产业的主要威胁 (Biondi *et al.*, 2018; Pandey *et al.*, 2023)。2017 年我国在新疆伊犁地区首次发现 (张桂芬等, 2019), 该虫已扩散传播至 22 个省 (市、自治区、直辖市), 发生面积占番茄种植面积的 95.7% (李萍等, 2025)。

番茄潜叶蛾以幼虫为害, 幼虫孵化后潜入叶片、嫩茎、果实等处 (Desneux *et al.*, 2010), 危害方式隐蔽, 加之植株冠层的庇护作用 (张桂芬等, 2018; Biondi *et al.*, 2018), 幼虫一旦潜入为害部位就会造成防治困难, 因此有效控制番茄潜叶蛾为害的关键是对卵和初孵幼虫的防治。为此, 一些学者研究了番茄潜叶蛾卵在植株冠层 (Galdino *et al.*, 2015; Leite *et al.*, 1995; Shiberu & Getu, 2017; Torres *et al.*, 2001) 和植株间 (阿米热·牙生江等, 2021; 王海旭等, 2024; Gonring *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2018) 的空间分布特征, 为番茄潜叶蛾早期监测预警方案和综合防控策略的制定提供理论依据。

番茄是番茄潜叶蛾的嗜食寄主和为害最严重的作物 (张桂芬等, 2022; Idriss *et al.*, 2020)。番茄

幼苗期因植株矮小、叶片稀疏, 有利于药剂的喷施, 也是番茄潜叶蛾防治的关键时期。因此, 本文选用营养生长阶段的番茄植株, 研究了番茄潜叶蛾卵在植株冠层的空间分布特征, 以期为该虫的监测和防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试番茄

供试番茄品种为金红低架王。幼苗种植于塑料盆 (高 20 cm、直径 20 cm) 中, 参考 Faria *et al.* (2008) 方法, 盆中装满土壤与腐殖质 (4 : 1) 的混合物, 每盆一株, 放置于玻璃温室中生长。试验时植株处于营养生长阶段, 生育期约 50 d, 株高约 55~60 cm, 有 9 个复叶, 每个复叶生长有 5~13 片不等的叶片。

1.2 供试虫源

供试昆虫参照 Galdino *et al.* (2015) 的方法, 用盆栽番茄在气候室中饲养繁殖, 气候室温度 25 ℃、光周期 12 h、相对湿度约 55%。将盆栽番茄放置于养虫纱笼 (70 cm×70 cm×70 cm) 中。

1.3 试验方法

将供试植株放于养虫笼中 (每笼一株), 每笼释放 5~15 对番茄潜叶蛾成虫 (约 3 日龄), 3 d 后统计每株植株上的产卵数量。从植株顶端开始, 沿主茎自上而下将复叶和茎秆位置编号, 每个复叶中的叶片沿水平方向自内向外编号, 分别调查记录顶芽及不同位置茎秆、叶柄和叶片 (正面、背面) 上的卵粒数, 按照卵在植株上的分布位置绘制出每株样本的卵量分布图 (Faria *et al.*, 2008)。

1.4 数据统计与分析方法

1.4.1 卵在植株冠层的分布特征 参考 Galdino *et al.* (2015)、Leite *et al.* (1995, 1999)、Torres *et al.* (2001) 方法,根据每株样本的卵量分布图,沿垂直方向将植株划分为上、中和下部 3 部分(各占 1/3),分别统计各部分的卵量(包括叶柄、茎秆、叶片);沿水平方向将每个复叶划分为内、中和外层 3 部分(各占 1/3),统计各部分叶片上的卵量。以卵量占比(%)分析番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层的分布特征(Shiberu & Getu, 2017)。每株的调查数据作为一个重复,差异显著性检验采用 Duncan 氏

新复极差法。

1.4.2 卵在植株冠层空间格局测定 以叶片为样本单位,计算出每株番茄的平均卵量(m)和方差(S^2),采用聚集度指标法和回归分析法(Iwao 回归分析法和 Taylor 幂法则)(阿米热·牙生江等, 2021; 丁岩钦, 1994; 王海旭等, 2024; 徐汝梅, 1987)测定番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层的空间分布格局。

(1) 聚集度指标法。选用丛生指数(I)、久野指数(C_A)、聚块指数(m^*/m)和负二项分布参数(K)等聚集度指标,其计算公式和判别标准见表 1。

表 1 聚集度指标计算公式及判别标准
Table 1 Calculation formula and criterion of aggregation index

聚集度指标 Aggregation index	计算公式 Computing formula	判别标准 Criterion of discrimination		
		聚集分布 Aggregation distribution	均匀分布 Uniform distribution	随机分布 Random distribution
丛生指数(I) Clumping index	$I = (S^2/m) - 1$	$I > 0$	$I < 0$	$I = 0$
负二项分布参数(K) Negative binomial distribution index	$K = m^2 / (S^2 - m)$	$0 \leq K < 8$	$K < 0$	$K > 8$
久野指数(C_A) Kuno index	$C_A = 1/K$	$C_A > 0$	$C_A < 0$	$C_A = 0$
聚块指数($m^*/C_A m$) Patchiness index	m^*/m	$m^*/m > 1$	$m^*/m < 1$	$m^*/m = 1$
平均拥挤度(m^*) Meancrowding	$m^* = m + (S^2/m) - 1$	/	/	/

(2) Iwao 回归分析法: $m^* = \alpha + \beta m$ 。在平均拥挤度(m^*)与平均数(m)的线性关系式中, α 为昆虫分布的基本成分, β 为基本成分的空间分布型。当 $\alpha = 0$ 时,分布的基本成分为单个个体;当 $\alpha > 0$ 时,个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群;当 $\alpha < 0$ 时,个体间相互排斥。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。

(3) Taylor 幂法则: $\lg S^2 = \lg a + b \lg m$ 。当 $\lg a > 0$ 且 $b > 1$,种群呈聚集分布,表现出密度依赖性; $\lg a > 0$ 且 $b = 1$,种群呈聚集分布,但无密度依赖性; $\lg a < 0$ 且 $b < 1$,种群呈均匀分布,且随着密度增加分布越均匀。

(4) 聚集因素分析。根据聚集均数(λ)分析昆虫分布的聚集原因。 $\lambda = mr / (2K)$, m 为平均密度, K 为负二项分布参数, r 为自由度为 $2K$ 的 $\chi^2_{0.05}$ 值。当 $\lambda < 2$ 时,昆虫聚集的原因由环境作用引起;当 $\lambda \geq 2$ 时,昆虫聚集的原因由昆虫自身的习性和环境因素引起的或其中之一引起。

1.4.3 抽样方式的比较 根据每株样本的原始调查数据,分别在植株的上、中、下部位随机抽取 1、2、3、4、5 个叶片及在植株的上、中、下部位分别各随机抽取 1、2、3、4、5 个叶片。统计抽取样本的平均密

度($m \pm SE$,以叶片为样本单位)。使用精确度(相对方差 relative variance, RV)和代表性标准(R^2)评价抽样方式。

当平均密度的相对方差(RV)小于 25% 时,表示该取样方式的精确度已达到抽样要求。相对方差(RV)的计算公式为: $RV = 100 \times (SE/m)$, 式中, RV = 相对方差(%), SE = 平均密度的标准误差, m = 平均密度。

当样本的平均密度(m)与每株卵量之间线性回归的确定系数(R^2)呈显著正相关($P < 0.05$)时,表示该取样方式适合用于采样。

2 结果与分析

2.1 番茄潜叶蛾卵在植株冠层的分布特征

2.1.1 卵在植株不同部位的分布 调查结果表明(图 1),番茄潜叶蛾卵在番茄植株不同部位上的分布数量差异显著($F_{4,75} = 29.57, p < 0.001$),以叶片正面的卵量(54.3%)最多,显著高于叶背面(23.7%)、顶芽(6.1%)、叶柄(9.1%)和茎秆(6.8%)上的卵量($p < 0.001$);其次为叶背面;顶芽、茎秆和叶柄上的卵量最低且差异不显著($p > 0.05$)。

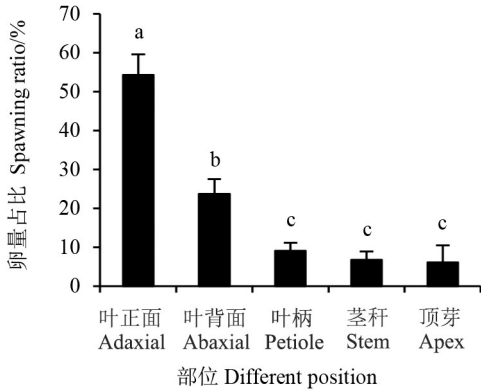


图 1 番茄潜叶蛾卵在番茄植株不同部位上的占比
Fig.1 The proportion of *T. absoluta* eggs in different position of tomato plant

图中数据为平均值±标准误,不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 (Duncan 氏新复极差法)。

The data in the figure are means±SE. Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level (Duncan's).

2.1.2 卵在植株冠层的垂直分布 由图 2 可知,番茄潜叶蛾卵在植株冠层的垂直分布差异明显 ($F_{2,45} = 10.21, p < 0.001$), 番茄潜叶蛾卵以中部分布的数量最多, 占全株卵量的 49.7%, 显著高于上部 (占 29.8%; $t = 2.23, df = 15, p = 0.042$) 和下部 (占 20.5%; $t = 4.06, df = 15, p = 0.001$) 的卵量, 上部和下部卵量差异不显著 ($t = 0.16, df = 15, p = 0.264$)。

茎秆和叶柄上的卵量在植株上部、中部和下部的分布差异不显著 (茎秆: $F_{2,30} = 0.11, p = 0.897$; 叶柄: $F_{2,33} = 0.61, p = 0.551$)。叶片上的卵量差异显著 ($F_{2,45} = 7.66, p = 0.001$), 以中部卵量最多 (48.4%), 显著高于下部卵量 (19.2%, $t = 4.01, df = 15, p = 0.001$), 而与上部卵量 (32.4%) 差异不显著 ($t = 1.45, df = 15, p = 0.168$); 上部卵量与下部卵量差异不显著 ($t = 1.51, df = 15, p = 0.151$) (图 2)。

2.1.3 卵在植株冠层叶片上的水平分布 由图 3 可知, 番茄潜叶蛾卵在植株冠层叶片上的水平分布差异明显 ($F_{2,42} = 10.74, p < 0.001$), 以外层分布的卵量 (46.2%) 最多, 显著高于内层 (22.8%, $t = 3.83, df = 14, p = 0.002$) 和中层 (占 31.0%, $t = 2.18, df = 14, p = 0.047$); 内层与中层的卵量差异不显著 ($t = 1.45, df = 14, p = 0.170$)。

2.2 番茄潜叶蛾卵在植株冠层的空间格局

2.2.1 聚集度指标测定结果 测定结果显示 (表 2), 在调查的 16 个样本中, 丛生指数 (I) 和久野指数 (C_A) 均大于 0, 聚块指数 (m^*/m) 均大于 1、负二

项分布参数 (K) 大于 0 小于 8, 表明番茄潜叶蛾卵在植株冠层叶片中呈聚集分布。

2.2.2 Iwao 的 $m^* - m$ 回归分析法 对平均拥挤度 (m^*) 与平均密度 (m) 进行线性拟合, 得到回归方程: $m^* = -0.125 5 + 3.558 3m$ ($r = 0.903 6, p < 0.01$), 其参数 $\alpha = -0.125 5 < 0, \beta = 3.558 3 > 1$, 表明番茄潜叶蛾卵在植株冠层的分布格局呈聚集分布, 且个体间相互排斥。

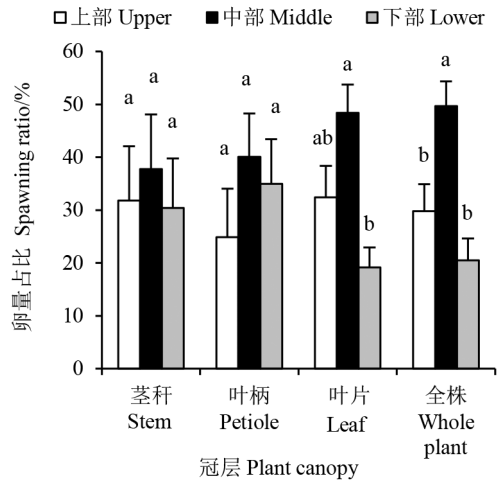


图 2 番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层的垂直分布

Fig.2 Vertical distribution of *T. absoluta* eggs on tomato plant canopy

图中数据为平均值±标准误,不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 (Duncan 氏新复极差法)。

The data in the figure are means±SE. Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level (Duncan's).

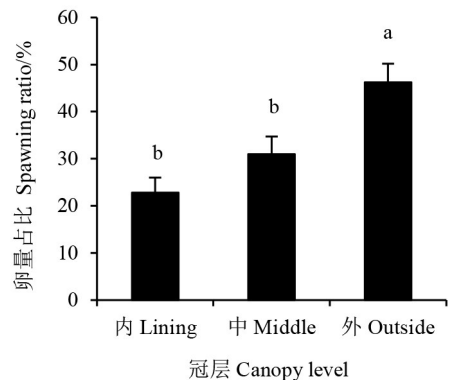


图 3 番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层叶片上的水平分布

Fig.3 Horizontal distribution of *T. absoluta* eggs on tomato plant canopy leaves

图中数据为平均值±标准误,不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 (Duncan 氏新复极差法)。

The data in the figure are means±SE. Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level (Duncan's).

2.2.3 Taylor 幂法则 对 Taylor 关系式 $\lg S^2 = \lg a + b \lg m$ 拟合,得到方差(S^2)与平均密度(m)的回归方程: $\lg S^2 = 0.4887 + 1.3442 \lg m$ ($r = 0.9503$, $p < 0.01$),其参数 $\lg a = 0.4887 > 0$ 、 $b = 1.3442 > 1$,表明番茄潜叶蛾卵在植株冠层的分布格局在一切密度下均呈聚集分布,聚集强度随密度的增大而增加。

2.2.4 聚集因素分析 由表 2 可知,番茄潜叶蛾卵在植株冠层叶片上呈聚集分布的原因除自身的习性外,还与环境因素相关。在调查的 16 个样本中,有 9 个样本的聚集均数(λ) >2 ,其中 7 个样本的平均密度在 0.70~3.02 粒·叶⁻¹,2 个样本的平均密

度分别为 0.29 和 0.57 粒·叶⁻¹;有 7 个样本的聚集均数(λ) <2 ,其平均密度 0.58 粒·叶⁻¹以下。这一结果表明,聚集分布的原因显然与密度有关。对聚集均数(λ)与平均密度(m)之间进行线性拟合,得到关系式 $\lambda = -0.1876 + 4.4395m$ ($r = 0.9468$, $p < 0.01$),表明两者之间呈显著正相关。将 $\lambda = 2$ 代入方程,得到 $\lambda = 2$ 时的密度 $m = 0.49$ 粒·叶⁻¹,即当 $m < 0.49$ 粒·叶⁻¹时,其聚集是由环境因素引起的;当 $m \geq 0.49$ 粒·叶⁻¹时,其聚集原因可能是由昆虫自身的习性和环境因素引起或其中之一引起。

表 2 番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层内的聚集度指标

Table 2 Aggregation index of *T. absoluta* eggs in tomato plant canopy

样号 No. of Sample	叶片数 Leaflet number	密度/ (粒·叶 ⁻¹) Density	方差 Variance	平均拥挤度 Mean crowding	久野指数 Kuno index	聚块指数 Patchiness index	丛生指数 Clumping index	负二项分布参数 Negative binomial distribution index	聚集均数 Aggregation mean
1	146	0.57	1.22	1.71	2.00	3.00	1.14	0.50	2.19
2	69	0.58	0.79	0.94	0.62	1.62	0.36	1.60	1.50
3	101	0.99	2.90	2.95	1.95	2.95	1.93	0.51	3.82
4	77	1.32	3.00	2.59	0.96	1.96	1.27	1.04	3.84
5	137	2.71	17.33	8.11	1.99	2.99	5.40	0.50	10.41
6	94	3.02	34.55	13.46	3.46	4.46	10.44	0.29	15.94
7	31	0.48	0.92	1.40	1.88	2.89	0.91	0.53	1.81
8	37	1.05	3.44	3.32	2.15	3.15	2.26	0.46	4.20
9	53	1.00	2.62	2.62	1.62	2.62	1.62	0.62	3.51
10	60	0.08	0.11	0.42	4.08	5.08	0.34	0.24	0.48
11	32	0.06	0.12	1.06	16.00	17.00	1.00	0.06	1.01
12	52	0.17	0.30	0.92	4.33	5.33	0.75	0.23	1.00
13	64	0.70	1.23	1.45	1.06	2.06	0.75	0.94	2.14
14	41	0.32	0.37	0.49	0.55	1.55	0.17	1.83	0.79
15	73	0.29	1.51	4.55	14.81	15.81	4.26	0.07	4.09
16	48	0.52	0.94	1.32	1.53	2.53	0.80	0.65	1.80

2.3 抽样方式比较

由表 3 可知,除在植株上部随机抽取 1 和 2 叶 2 种方式外,其他几种取样方式的相对方差(RV)均高于 25%,表明可能受总体样本(植株间)误差的影响。本次研究中,抽取的 16 株番茄样本的卵量在 7~430 粒·株⁻¹,平均卵量为 (98.27 ± 30.39) 粒·株⁻¹,相对方差为 30.92%。与总体样本(RV)的相对方差相比,上部和中部随机取样以及上、中、下部同时取样等几种取样方式的相对方差(RV)与总体样本较接近,尤其是后者的相对方差(RV)为 27.48%~29.73%,与总体样本的相对方差基本一致,且与允许的 25%的精确度参数差异不大,因此从精确度考虑,上、中、下部同时取样的方式更适用

于采样。几种植株下部取样方式的相对方差(RV)为 42.33%~53.90%,远高于取样允许的误差和总体样本的相对方差,因此不适用于采样。

从代表性标准(R^2)来看,上部和中部随机取样的方式中,有几种取样方式的确定系数(R^2)达到了显著正相关,但 R^2 值偏低,最高只有 0.735。上、中、下部随机各取 2、3、4 和 5 叶这 4 种取样方式的 R^2 均达到极显著水平($P < 0.05$),且数值在 0.864 以上,表明其与总体样本的相关性更高。

综合考虑精确度(相对方差 RV)和代表性标准(R^2)的判定结果,在植株上、中、下部位分别各随机抽取 2 个以上叶片的取样方式为用于评估番茄植株冠层番茄潜叶蛾卵密度的最佳取样方式。

表3 评估番茄植株上番茄潜叶蛾卵密度的抽样方式比较

Table 3 Comparison of sampling methods for evaluating egg density of *T. absoluta* in tomato plants

取样方式 Sampling site	抽样量/(叶) Sampling quantity	密度/(粒·叶 ⁻¹) Density	相对方差 Relative variance/%	确定系数 Determination coefficient
上部 Upper	1	1.67±0.36	21.66	0.249
	2	1.13±0.24	21.80	0.331
	3	1.09±0.34	30.84	0.624*
	4	1.00±0.30	30.00	0.637*
	5	1.11±0.30	26.95	0.735**
中部 Middle	1	1.07±0.33	31.21	0.125
	2	1.37±0.44	32.44	0.657**
	3	1.49±0.54	36.06	0.550*
	4	1.05±0.27	25.71	0.431
	5	1.16±0.46	39.29	0.586*
下部 Lower	1	1.87±0.97	51.97	0.501
	2	1.23±0.66	53.90	0.255
	3	0.91±0.38	42.33	0.537*
	4	0.98±0.47	47.79	0.405
	5	0.92±0.41	44.94	0.450
上、中、下 Upper, middle and lower, respectively	1	1.54±0.44	29.00	0.544*
	2	1.29±0.38	29.73	0.924**
	3	1.16±0.34	29.19	0.864**
	4	0.96±0.26	27.48	0.872**
	5	1.06±0.31	28.89	0.922**

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

3 讨论

对番茄潜叶蛾卵的监测为其防控过程中的重要环节。要精准监测田间番茄潜叶蛾卵的密度,必须掌握其空间分布特征。本研究表明,番茄潜叶蛾卵主要分布于叶片上,其卵量占 78% (叶正面 54.3%、叶背面 23.7%),而顶芽(6.1%)、茎秆(6.8%)和叶柄(9.1%)上的卵量较少且差异不明显。这一研究结果与相关研究报道基本一致。Shiberu & Getu (2017) 报道,番茄潜叶蛾卵以叶片上最多占 95.77% (叶正面 60.56%、叶背面 35.21%),茎秆(0.85%)、花(1.41%)和果实(1.97%)上的卵量最低;Desneux *et al.* (2010) 曾报道,番茄潜叶蛾雌虫优先在叶片上产卵(占 73%),其次为叶脉和嫩茎(占 21%),果萼(5%)和幼果(1%)上的卵量最少;Faria *et al.* (2008) 报道,番茄潜叶蛾卵主要产于叶片上,其次为主茎和生长点。这些研究均表明,番茄潜叶蛾卵主要产于叶片上,这显然与其生物学特性有关。番茄潜叶蛾幼虫主要以叶片薄壁组织为食,1、2 龄幼虫对饥饿高度敏感且移动能力较差(Galdino *et al.*, 2015),卵产于叶片有利于低龄幼虫取食及提高存活率。

本研究表明,番茄潜叶蛾卵在植株上、中、下 3 部分、茎秆和叶柄上的分布数量差异不显著,与 Torres *et al.* (2001) 的结果基本一致。Torres *et al.*

(2001) 报道,在番茄 3 个生育期(花前、果实发育前和果实发育后)叶柄上的卵量在上、中、下 3 部分相似。本研究发现,在营养期番茄植株上,叶片上的卵量以植株中部最多,显著高于植株下部叶片上的卵量,但与上部叶片上的卵量差异不显著;而植株上部和下部叶片上的卵量差异不显著。Torres *et al.* (2001) 报道,在番茄花前,植株上、中、下 3 部分叶片上的卵量差异不显著;在果实发育前和果实发育后的番茄植株上,上部和中部的卵量多于下部。Leite *et al.* (1995) 调查了 3 种处于营养生长阶段番茄叶片上卵的分布情况,发现以植株中部的卵量最多(0.29 粒·叶⁻¹),其次是上部(0.26 粒·叶⁻¹)和下部(0.21 粒·叶⁻¹)且二者差异不显著。Galdino *et al.* (2015)、Gonring *et al.* (2020) 报道,在番茄营养生长阶段,植株中部叶片上的产卵量最高;而在繁殖阶段,植株上部和中部叶片上的卵量最高。上述研究结果不尽相同,可能与品种、植株生育期和种群密度有关,如 Leite *et al.* (1999) 报道,番茄潜叶蛾在普通番茄上部(0.44 粒·叶⁻¹)和中部(0.62 粒·叶⁻¹)叶片上的产卵量多于基部(0.10 粒·叶⁻¹),而多毛番茄 *L. hirsutum* 上、中、下部的卵量(0.02、0.09 和 0.00 粒·叶⁻¹)差异不显著。尽管这些研究结果略有差异,但番茄潜叶蛾卵在番茄植株上的总体分布趋势基本一致,即番茄潜叶蛾卵主要

产于植株的中、上部叶片,因为这些部位叶片更嫩且营养价值更高,这也从中、上部幼虫数量及虫道数多于下部(王彩凤等,2024; Galdino *et al.*, 2015; Leite *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2001)得到证明。本研究发现,在植株冠层水平分布上,以外层叶片上的卵量最多,显著高于中层和内层的卵量,这也与成虫偏好在幼嫩的叶片上产卵有关。

目前,有关番茄潜叶蛾卵在植株冠层的空间格局还未见报道。本研究结果表明,番茄潜叶蛾卵在番茄植株冠层呈聚集分布,个体间相互排斥,聚集强度随密度增大而增加,与阿米热·牙生江等(2021)、王海旭等(2024)、Gonring *et al.* (2020)、Venkataramanaiah *et al.*, (2021)等报道基本一致,但在分布的基本成分方面有所不同。王海旭等(2024)报道,在番茄植株间,卵是以个体群的形式呈聚集分布,个体间相互吸引,这可能与成虫的产卵习性及其在植株间低的飞行效率有关。番茄潜叶蛾雌成虫主要以单粒散产的方式产卵(Uchoa-Fernandes *et al.*, 1995),这种产卵方式不仅有利于提高1龄幼虫的存活率(Galdino *et al.*, 2015),也造成卵在植株内虽呈聚集分布但个体间相互排斥。Martins *et al.* (2018)研究表明,番茄作物结构和高度形成的屏障作用造成雌虫的飞行效率较低,导致雌蛾倾向于在遇到的第一株番茄植株上产卵,而且在行内比在行间更频繁地完成卵的扩散,造成番茄潜叶蛾卵的最大密度出现在番茄作物边缘。本研究表明,番茄潜叶蛾卵在植株冠层叶片上呈聚集分布的原因与密度(m)呈正相关,当 $m < 0.49$ 粒·叶⁻¹时,其聚集是由环境因素引起的;当 $m \geq 0.49$ 粒·叶⁻¹时,其聚集原因可能是由昆虫自身的习性和环境因素引起或其中之一所引起。这一结果阿米热·牙生江等(2021)、王海旭等(2024)报道的卵在植株间的聚集原因一致。

研究表明,番茄潜叶蛾卵密度评估的最佳样本为植株冠层中部和上部之间的叶对(复叶)(Gonring *et al.*, 2020),植株冠层上部3个复叶(包含至少7片完全展开的叶片)的卵量与整株卵量具有更好的相关性(Gomide *et al.*, 2001)。但每个复叶有5~13个叶片,以复叶作为取样单位,会增加调查成本。因此本研究评估了以叶片为取样单位的几种取样方式的精准度。结果表明,在植株冠层上、中、下部位分别各随机抽取2个以上叶片的取样方式

相对方差(RV)在29.73%以下,虽略高于25%的精确度标准(Gomide *et al.*, 2001; Gonring *et al.*, 2020),但与总体样本的相对方差(30.92%)基本一致,且与植株总卵量间的确定系数(R^2)达到0.864~0.924,因此可作为评估番茄植株冠层番茄潜叶蛾卵密度的取样方式。调查的叶片数量越多,对卵的评估密度越准确,这就需要根据调查目的来确定取样方式。以植株上、中、下部各随机调查2个叶片的取样方式,用于大田普查及指导防治的卵量监测调查,可满足抽样的精确度要求。本文利用调查的数据,用3个理论抽样数模型(Iwao、Taylor及负二项分布)进行拟合,得出的理论抽样数远高于植株的总叶片数,因此用于植株冠层番茄潜叶蛾卵的抽样计划还有待进一步研究。

参考文献

- 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.
- 丁岩钦,1994. *昆虫生态学*. 北京:科学出版社.
- 李萍,马德英,葛兆悦,王帅宇,孙作文,张东霞,黄俊霞,张桂芬,郭永旺,2025. 番茄潜叶蛾在我国的发生分布及防控技术应用概况. *中国植保导刊*, 45(3): 48-53.
- 王彩凤,赵劲宇,于伟硕,庾琴,马力,郜杏桃,王美琴,张东霞,郑卫锋,郝赤,闫喜中,2024. 山西太谷地区番茄潜叶蛾种群发生动态、空间分布及其田间防治. *应用昆虫学报*, 61(4): 720-730.
- 王海旭,袁玲,丁嘉欣,薛育,刘思源,顾欣,王新谱,2024. 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. *应用昆虫学报*, 61(4): 731-740.
- 徐汝梅,1987. *昆虫种群生态学*. 北京:北京师范大学出版社.
- 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.
- 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.
- 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,2022. 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.
- BIONDI A, GUEDES R N C, WAN F H, DESNEUX N, 2018. E-

- cology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63: 239–258.
- DESNEUX N, WAJNBURG E, WYCKHUYS K A G, BURGIO G, ARPAIA S, NARVÁEZ-VASQUEZ C A, GONZÁLEZ-CABRERA J, RUESCAS D C, 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 prospect for biological control. *Journal of Pest Science*, 83: 197–215.
- FARIA C A, TORRES J B, FERNANDES A M V, FARIAS A M I, 2008. Parasitism of *Tuta absoluta* in tomato plants by *Trichogramma pretiosum* Riley in response to host density and plant structures. *Ciência Rural*, 38(6): 1504–1509.
- GALDINO T V S, PICANÇO M C, FERREIRA D O, SILVA G A R, DE SOUZA T C, SILVA G A, 2015. Is the performance of a specialist herbivore affected by female choices and the adaptability of the offspring? *PLoS ONE*, 10: e0143389.
- GOMIDE E V A, VILELA E F, PICANÇO M, 2001. Comparação de procedimentos de amostragem de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro estaqueado. *Neotropical Entomology*, 30: 697–705.
- GONRING A R, WALERIUS A H, PICANÇO M M, BACCI L, MARTINS J C, PICANÇO M C, 2020. Feasible sampling plan for *Tuta absoluta* egg densities evaluation in commercial field tomato. *Crop Protection*, 136: e105239.
- IDRISS G E A, DU PLESSIS H, KHAMIS F M, EKESI S, TANGA C M, MOHAMED S A, 2020. Host range and effects of plant species on preference and fitness of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Horticultural Entomology*, 113(3): 1729–1289.
- LEITE G L D, PICANÇO M, SILVA D J H, MATA A C, JHAM G N, 1995. Distribuição de oviposição de *Scrobipalpaloides absoluta* noobipalpaloi *Lycopersicon esculentum*, *L. hirsutum* e *L. peruvianum*. *Horticultura Brasileira*, 13: 47–51.
- LEITE G L D, PICANÇO M, AZEVEDO A A, GONRING A H R, 1999. Efeito de tricomas, aleloquímicos e nutrientes na resistência de *Lycopersicon hirsutum* à traça-do-tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(11): 2059–2064.
- LEITE G L D, PICANÇO M, JHAM G N, MARQUINI F, 2004. Intensity of *Tuta absoluta* (Meyrick 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicum esculentum* Mill. leaves. *Ciência e Agrotecnologia*. 28: 42–48.
- MARTINS J C, PICANÇO M C, SILVA R S, GONRING A H, GALDINO T V, GUEDES R N, 2018. Assessing the spatial distribution of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs in open-field tomato cultivation through geostatistical analysis. *Pest Management Science*, 74(1): 30–36.
- PANDEY M, BHATTARAI N, PANDEY P, CHAUDHARY P, KATUWAL D R, KHANAL D, 2023. A review on biology and possible management strategies of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick), Lepidoptera: Gelechiidae in Nepal. *Heliyon*, 9(6): e16474.
- SHIBERU T, GETU E, 2017. Biology of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under different temperature and relative humidity. *Journal of Horticulture and Forestry*, 9(8): 66–73.
- TORRES J B, FARIA C A, EVANGELISTE W S, PRATISSOLI D, 2001. Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immature in processing, with notes on plant phenology. *International Journal of Pest Management*, 47(3): 173–178.
- UCHOA-FERNANDES M A, DELLA LUCIA T M C, VILELA E F, 1995. Mating, oviposition and pupation of *Scrobipalpaloides absoluta* (Meyr.) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 24(1): 159–164.
- URBANEJA A, VERCHER R, NAVARRO V, GARCIA-MARIE F, PORCUNA J L, 2007. La polilla del tomate, *Tuta absoluta*. *Phytoma Espana*, 194: 16–23.
- VENKATARAMANAIAH P, KOTESWARA RAO S R, HARI PRASAD K V, SEKHAR M R, 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.

(责任编辑:郭莹)