

# 阿克苏地区苹果树上二斑叶螨的 分布特征及空间格局\*

胡玉龙<sup>1,2\*\*</sup> 朱晓锋<sup>1</sup> 王克<sup>1</sup> 徐兵强<sup>1</sup> 路伟<sup>2,3\*\*\*</sup> 李海强<sup>1\*\*\*</sup>

(1. 新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所, 农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 新疆农业生物安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业大学农学院, 棉花教育部工程研究中心, 自治区农林有害生物监测与安全防护重点实验室, 乌鲁木齐 830052; 3. 中国农业科学院西部农业研究中心, 昌吉 831100)

**摘要** 【目的】二斑叶螨 *Tetranychus urtica* 广泛分布于世界各地的温带和亚热带地区, 是一种世界范围内的重要农业害虫, 其寄主广泛, 能为害果树、蔬菜、花卉等上千种植物。危害时, 幼螨和若螨通过吸食植物茎叶部汁液使叶肉细胞失水坏死, 严重时造成叶片枯黄、脱落, 影响农作物的品质, 严重发生时常带来较大的损失。本研究明确了二斑叶螨在苹果树上的分布特征及空间格局, 旨在为二斑叶螨的科学防治提供参考依据。【方法】采用聚集度指标法, Iwao  $m^*-m$  模型和 Taylor 幂法则模型, 研究二斑叶螨在苹果园的分布特征及空间格局。【结果】建立 Taylor 幂法则模型, 结果显示二斑叶螨整体上呈聚集分布 ( $a = 0.9131 < 1$ ,  $b = 1.8064 > 1$ ,  $m \neq 1$ ,  $C > 1$ )。在苹果树东、南、西、北 4 个方向空间分布型均为聚集分布, 在针对东、南、西、北 4 个方向二斑叶螨拟合的回归方程中,  $a$  分别为 0.5939、0.5932、0.6176 和 0.6035,  $b$  分别为 1.6525、1.6531、1.8397 和 1.9444, 而扩散系数  $C$  分别为 5.20、2.04、3.81 和 3.37。Iwao  $m^*-m$  回归模型显示二斑叶螨整体上呈聚集分布 ( $\alpha = -1.0339 < 0$ ,  $\beta = 1.8414 > 1$ ), 在东、南、西、北 4 个方向也均呈聚集分布。Taylor 幂法则模型在针对上、中、下 3 层二斑叶螨拟合的回归方程中,  $a$  分别为 0.6913、0.7861 和 0.7398,  $b$  分别为 1.8455、1.7382 和 1.8587, 而扩散系数  $C$  分别为 7.10、9.28 和 10.05。二斑叶螨在果树上、中、下 3 层的 Iwao  $m^*-m$  回归模型显示二斑叶螨整体上呈聚集分布 ( $\alpha = -1.0598 < 0$ ,  $\beta = 1.8240 > 1$ ), 在上、中、下 3 层也均呈聚集分布。【结论】二斑叶螨在苹果树东、南、西、北 4 个方向和上、中、下 3 层呈聚集分布, 平均虫口密度无显著差异。

**关键词** 二斑叶螨; 空间分布型; 聚集分布; 苹果树

## Spatial distribution characteristics and patterns of *Tetranychus urtica* in apple trees in the Aksu region

HU Yu-Long<sup>1,2\*\*</sup> ZHU Xiao-Feng<sup>1</sup> WANG Ke<sup>1</sup> XU Bing-Qiang<sup>1</sup>  
LU Wei<sup>2,3\*\*\*</sup> LI Hai-Qiang<sup>1\*\*\*</sup>

- (1. Ministry of Agriculture Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Biosafety, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Institute of Plant Protection Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;  
2. Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests of the University of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Ministry of Education, Engineering Research Centre of Cotton, Xinjiang Agricultural University, College of Agriculture, Urumqi 830052, China;  
3. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, China)

**Abstract** [Aim] To investigate the occurrence and spatial distribution of *Tetranychus urtica* in apple trees. [Methods] The concentration index method, the Iwao  $m^*-m$  model and the Taylor power law model, were used to investigate the distribution

\*资助项目 Supported projects: 新疆维吾尔自治区“天山英才”青年拔尖人才项目(2023TSYCCX0025); 新疆维吾尔自治区“天山英才”三农骨干人才计划(2023SNGG032); 新疆苹果产业技术体系(XJLGCYJSTX04)

\*\*第一作者 First author, E-mail: 3072489989@qq.com

\*\*\*共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: teerakon@sina.com; jacky81611@163.com

收稿日期 Received: 2025-11-18; 接受日期 Accepted: 2026-01-14

characteristics and spatial patterns of the *T. urtica* in apple orchards. **[Results]** A Taylor power law model was established, revealing that the *T. urtica* has an overall clustered distribution ( $a = 0.9131 < 1$ ,  $b = 1.8064 > 1$ ,  $m \neq 1$ ,  $C > 1$ ). Aggregated distribution patterns were observed in all four cardinal directions (east, south, west, north) around apple trees. In regression equations fitted for these four directions, the  $a$  values were 0.5939, 0.5932, 0.6176, and 0.6035, respectively, with  $b$  values of 1.6525, 1.6531, 1.8397, and 1.9444, respectively. The diffusion coefficients ( $C$ ) were 5.20, 2.04, 3.81, and 3.37, respectively. The Iwao  $m^*-m$  regression model also indicates that *T. urtica* has an overall clustered distribution ( $\alpha = -1.0339 < 0$ ,  $\beta = 1.8414 > 1$ ), with clustering also observed in the east, south, west, and north sectors of apple trees. The Taylor power law model fitted regression equations for upper, middle, and lower canopy layers yielded coefficients of 0.6913, 0.7861, and 0.7398 respectively, with  $b$  values of 1.8455, 1.7382, and 1.8587, and diffusion coefficients ( $C$ ) of 7.10, 9.28, and 10.05. The Iwao  $m^*-m$  regression model for *T. urtica* across the upper, middle, and lower tiers of fruit trees indicated an overall clustered distribution ( $\alpha = -1.0598 < 0$ ,  $\beta = 1.8240 > 1$ ), with clustering observed across all three tiers. **[Conclusion]** *T. urtica* has a clustered distribution in apple trees irrespective of aspect or canopy level, with no significant variation in average population density.

**Key words** *Tetranychus urtica*; spatially distributed; clustered distribution; apple tree

二斑叶螨 *Tetranychus urtica* 属于蛛形纲 Arachnida, 真螨目 Acariformes, 叶螨科 Tetranychidae, 叶螨属 *Tetranychus*, 广泛分布于世界各地的温带和亚热带地区 (Van Leeuwen *et al.*, 2010), 是一种世界范围内的重要农业害螨 (Grbić *et al.*, 2011; Abdelgaleil *et al.*, 2019)。二斑叶螨通过吸食植物茎叶部汁液使叶肉细胞失水坏死, 严重时造成叶片枯黄、脱落, 影响植物光合作用, 破坏植物的正常生理机能, 导致农作物品质明显下降 (姚强, 2018)。二斑叶螨寄主植物广泛, 能为害果树、蔬菜、花卉等上千种植物 (Grbić *et al.*, 2011; Dermauw *et al.*, 2013)。二斑叶螨自 1983 年首次在北京天坛公园被发现以来, 已迅速扩散至全国多个省份, 成为我国果树、蔬菜、棉花等多种作物上的重要害螨。此后, 二斑叶螨也已上升为苹果生产上危害最大的害螨之一 (周玉书等, 1996; 谌有光, 1997; 程立生, 1999)。

空间分布型是指节肢动物种群在田间的分布形式, 研究种群的空间分布型有助于设计相应的抽样技术, 对于节肢动物种群的有效管理具有重要意义 (刘长仲, 2016)。不仅能够揭示出种群的空间结构及种群分布特性, 还是确定正确抽样技术和资料代换的基础, 同时对了解种群的繁衍、猖獗、扩散行为和种群管理等有一定的实际应用价值 (Lloyd, 1967; Liebhold *et al.*, 1991; 丁

岩钦等, 1994; 康乐和陈永林, 1995; 陆永跃等, 2002; 高书晶等, 2004; 周福才等, 2006)。常用的昆虫种群空间分布型研究方法有聚集度指标、频次分布和回归模型 3 种 (丁岩钦, 1994)。由于频次分布法损失的信息较多, 因此近几十年来多使用聚集度指标法结合回归模型来研究昆虫种群的空间分布型。常用的聚集度指标有扩散系数  $C$ 、丛生系数  $I$  和负二项分布系数  $K$  等 9 种; 常用的回归模型为 Iwao  $m^*-m$  模型和 Taylor 幂法则模型 (王伟等, 2016; 阎雄飞等, 2019)。

二斑叶螨是一种重大的入侵性害螨, 一般仅在内地发生。近些年随着人员交流增加、苗木调运等因素, 二斑叶螨在新疆多种农作物及果树上均有发生及为害。由于其体积微小, 不易被发现, 加之抗药性强防治难度大, 给新疆农林作物带来较大的损失。近些年, 二斑叶螨在南疆阿克苏地区苹果园发生较为严重, 目前已成为当地苹果树上主要的害螨之一, 亟待开展相关生物学及防控技术的研究。目前关于二斑叶螨在苹果园的空间分布格局研究相关报道较少, 刘长仲等 (2002) 明确了二斑叶螨在甘肃地区苹果树冠的聚集规律, 但甘肃属黄土高原产区, 与新疆南疆极端干旱绿洲生态系统有所不同。阿克苏位于塔里木盆地北缘, 阿克苏河流域多年平均降水量仅 45 mm, 平原区约 50 mm, 潜在蒸散高达 1 890 mm (王志成等, 2018; 阿曼妮萨·库尔班等,

2021)。阿克苏地区果园完全依赖冰川融雪灌溉,形成“高温-低湿-强光-骤干”的独特微气候;同时,阿克苏地区苹果物候比中国东部苹果主产区(如山东、陕西等地)提早 15-20 d,与二斑叶螨越冬出蛰-快速繁殖期高度重叠,极易导致种群暴发式上升(Farazmand, 2020)。可能改变叶螨水平扩散路径与垂直分布节点,使二斑叶螨在苹果树上的分布与传统聚集程度有所不同。为此本研究以阿克苏苹果园为对象,在极端干旱绿洲生态条件下研究其分布特征,以揭示其与东部/甘肃产区的差异,为精准防控提供依据。于树冠东、南、西、北 4 个方位及上、中、下 3 层垂直结构,对二斑叶螨种群数量开展全方位系统调查,并采用聚集度指标法、Iwao  $m^*-m$  模型和 Taylor 幂法则模型分析其空间分布格局,旨在为二斑叶螨的科学防控提供理论依据与参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查方法

试验于 2024 年 6-8 月在新疆维吾尔自治区阿克苏市温宿县红旗坡农场苹果园(41°26'13"N, 80°16'26"E)开展,种植苹果品种为红富士,树龄 15 年,株行距为 5 m × 4 m,二斑叶螨发生普遍。2024 年 6-7 月,在该苹果园每 7 d 调查一次二斑叶螨成螨以及若螨,采用 5 点取样法选取苹果树 10 株。在果树的东、南、西、北 4 个方向,每个方向选择树冠的上、中、下 3 层抽样选点,每株树 12 个方位,每个方位随机选择一条不少于 20 cm 的枝条,随机选择 5 片叶,记录每片叶上的活动成螨数。园子最外侧 3 行树不作为选取对象。

### 1.2 空间分布型检验

**1.2.1 二斑叶螨聚集度指标测定** 分别计算苹果园东、南、西、北和上、中、下各个方向的平均虫口密度  $m$  和方差  $S^2$ ,分析不同微地形中二斑叶螨的分布特征;再分别计算扩散系数  $C$ (丁岩钦等, 1978; 李少华等, 2022)、丛生指数  $I$ (David and Moore, 1954; 张治科和南紫瑶,

2023)、扩散型指数  $I_\delta$ (丁岩钦, 1994; 林兆里等, 2012)、负二项分布  $K$  值(Waters, 1959; 陈红星和童晓立, 2014)、久野指数  $C_A$ (Kuno, 1969; 常亚文等, 2016)、平均拥挤度  $m^*$ (Lloyd, 1967; 王锬等, 2022)、聚块性指数  $m^*/m$ (Lloyd, 1967; 高磊等, 2017)、 $L_a$  指标(兰星平, 1993; 阎雄飞等, 2019)和  $Z$  指标(张连翔等, 1997; 阎雄飞等, 2014)这 9 种聚集度指标。计算公式分别为:

$$C = S^2/m;$$

$$I = S^2/m - 1;$$

$$I_\delta = n \frac{\sum_{i=1}^n (x_i(x_i - 1))}{X(X - 1)};$$

$$C_A = (S^2 - m)/m^2;$$

$$K = m^2/(S^2 - m);$$

$$m^* = m + S^2/m - 1;$$

$$m^*/m = 1 + (S^2 - m)/m^2;$$

$$L_a = m - m/S^2 + 1;$$

$$Z = S^2/m - 1 + S^2.$$

式中,  $n$  为抽样数,  $x_i$  为第  $i$  个样方中的虫口数,  $X$  为总虫口数。

当  $C > 1$ 、 $I > 0$ 、 $I_\delta > 1$ 、 $C_A > 0$ 、 $0 \leq K < 8$ 、 $m^* > 1$ 、 $m^*/m > 1$ 、 $L_a/m > 1$ 、 $Z/S^2 > 1$  时均为聚集分布;当  $C = 1$ 、 $I = 0$ 、 $I_\delta = 1$ 、 $C_A = 0$ 、 $K \rightarrow +\infty$ 、 $m^* = 1$ 、 $m^*/m = 1$ 、 $L_a/m = 1$ 、 $Z/S^2 = 1$  时均为随机分布,当  $C < 1$ 、 $I < 0$ 、 $I_\delta < 1$ 、 $C_A < 0$ 、 $K < 0$ 、 $m^* < 1$ 、 $m^*/m < 1$ 、 $L_a/m < 1$ 、 $Z/S^2 < 1$  时均为均匀分布。按照相应判断标准判定苹果园中二斑叶螨的空间分布型。

**1.2.2 二斑叶螨回归分析** Taylor 幂法则模型为  $\lg S^2 = \lg a + b \lg m$ 。利用二斑叶螨种群的方差  $S^2$  和平均虫口密度  $m$ ,在模型拟合后,可获得两项参数。 $a$  随样方面积与算法差异而变动,主要反映生境异质性的作用; $b$  与样方尺度无关,仅刻画种群自身的聚集特征,参数的不同组合形式揭示不同空间分布型的信息。兰星平(1993)分析讨论了  $a$ 、 $b$  的 9 种组合形式的分布型: $a = 1$ 、 $b = 1$ : 随机分布; $a = 1$ 、 $b > 1$ 、 $m > 1$  为聚集分布, $m = 1$  为随机分布, $m < 1$  为均匀分布; $a = 1$ 、 $b < 1$ 、 $m > 1$  为均匀分布, $m = 1$  为随机分布, $m <$

1 且  $m^{b-1} > 1$  为聚集分布,  $m^{b-1} = 1$  为随机分布,  $m^{b-1} < 1$  为均匀分布;  $a > 1, b = 1$  为聚集分布, 种群聚集度不具有密度依赖性;  $a > 1, b > 1$  且  $m \geq 1$  为聚集分布;  $a > 1, b < 1$  为聚集分布,  $C > 1$  为聚集分布,  $C = 1$  为随机分布;  $a < 1, b = 1$  为均匀分布;  $a < 1, b > 1, m \neq 1$ , 若  $C > 1$  为聚集分布, 若  $C = 1$  为随机分布,  $C < 1$  为均匀分布;  $a < 1, b < 1$ , 且  $m \geq 1$  为均匀分布。按以上标准判定阿克苏苹果二斑叶螨在东、南、西、北 4 个树冠方向及上、中、下 3 层树冠的空间分布型。

Iwao  $m^*-m$  回归分析模型为  $m^* = \alpha + \beta m$ 。将二斑叶螨种群的平均拥挤度  $m^*$  和平均虫口密度  $m$  代入模型计算获得  $\alpha$  和  $\beta$  两个参数,  $\alpha$  说明分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度,  $\beta$  为基本成分的空间分布型 (常亚文等, 2016)。 $\alpha > 0$ , 分布的基本成分为个体群, 且个体间相互吸引;  $\alpha = 0$ , 分布的基本成分为单个个体;  $\alpha < 0$ , 个体间相互排斥。 $\beta > 1$ , 为聚集分布;  $\beta = 1$ , 为随机分布;  $\beta < 1$ , 为均匀分布 (王锐等, 2022)。

### 1.3 数据分析

使用 Excel 2021 版计算平均密度及各个参数, 使用 R4.5.1 中的 tidyverse 包对“数据-空间”一体化整理与快速可视化; emmeans 包在“空间因子”框架下给出校正虫口差异, 对二斑叶螨东、南、西、北 4 个方向和上、中、下 3 层的平均密度和 9 种参数进行单因素方差分析, 使用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验 (Breusch and Pagan, 1979)。使用 R4.5.1 构建回归模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 东、南、西、北 4 个方位上二斑叶螨的空间分布特征

对 2024 年 6-8 月每 7 d 调查一次的二斑叶螨种群数据进行分析, 结果显示, 阿克苏地区苹果树冠东、南、西、北 4 个方向的平均虫口密度分别为 1.46、0.84、1.19 和 1.03 头/叶, 4 个方位间无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 1)。

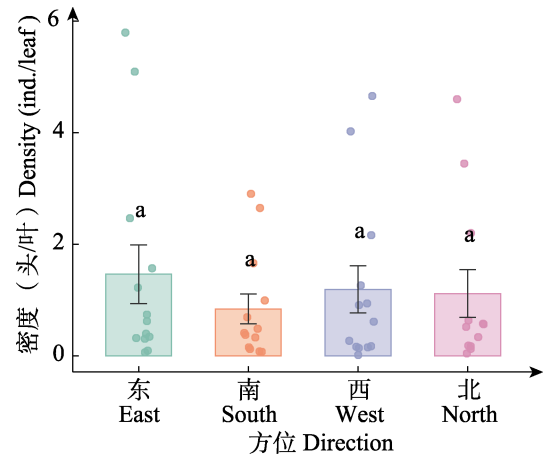


图 1 二斑叶螨在阿克苏地区苹果树上东南西北 4 个方向的平均虫口密度

Fig. 1 Average population density of *Tetranychus urticae* on apple trees in Aksu region in the four cardinal directions

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。  
Data are mean±SE. Different letters above bars indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P < 0.05$ ). The same below.

### 2.2 上、中、下 3 层二斑叶螨的空间分布特征

对 2024 年 6-8 月每 7 d 调查一次的二斑叶螨种群数据进行分析, 结果显示, 阿克苏地区苹果树冠上、中、下 3 层的平均虫口密度、分别为 2.54、2.91 和 2.85 头/叶, 三者间无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 2)。

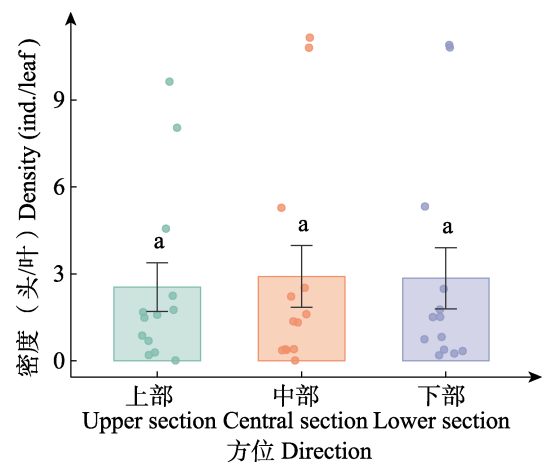


图 2 二斑叶螨在阿克苏地区苹果树上中下 3 层的平均虫口密度

Fig. 2 Average insect density of *Tetranychus urticae* on apple trees in Aksu region in the upper, middle, and lower three canopy layers

### 2.3 东、南、西、北 4 个方位上二斑叶螨的空间型

**2.3.1 聚集度指标分析** 依据 9 种聚集度指标的判断标准, 二斑叶螨在阿克苏苹果园东、南、西、北 4 个方向的空间分布型均符合聚集分布。各聚集度指标显示的聚集程度与东、南、西、北 4 个方向所关联, 9 种聚集度指标显示二斑叶螨的聚集程度随东、西、北、南顺序降低。9 种聚集度指标东、南、西、北 4 个方向之间均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。负二项分布  $K$  值显示出的聚集

程度与  $K$  值呈反比,  $K$  值越大, 聚集程度越低 (图 3: A-I)。

**2.3.2 回归分析** 利用二斑叶螨在苹果树上东、南、西、北 4 个方向中的平均虫口密度  $m$  和方差  $S^2$  建立 Taylor 幂法则模型, 发现二斑叶螨整体上呈聚集分布 ( $a = 0.6843 < 1, b = 1.8582 > 1, m \neq 1, C > 1$ )。二斑叶螨在东、南、西、北 4 个方向空间分布型均为聚集分布, 在针对东、南、西、北 4 个方向二斑叶螨拟合的回归方程中,  $a$  分别为 0.5939、0.5932、0.6176 和 0.6035,  $b$

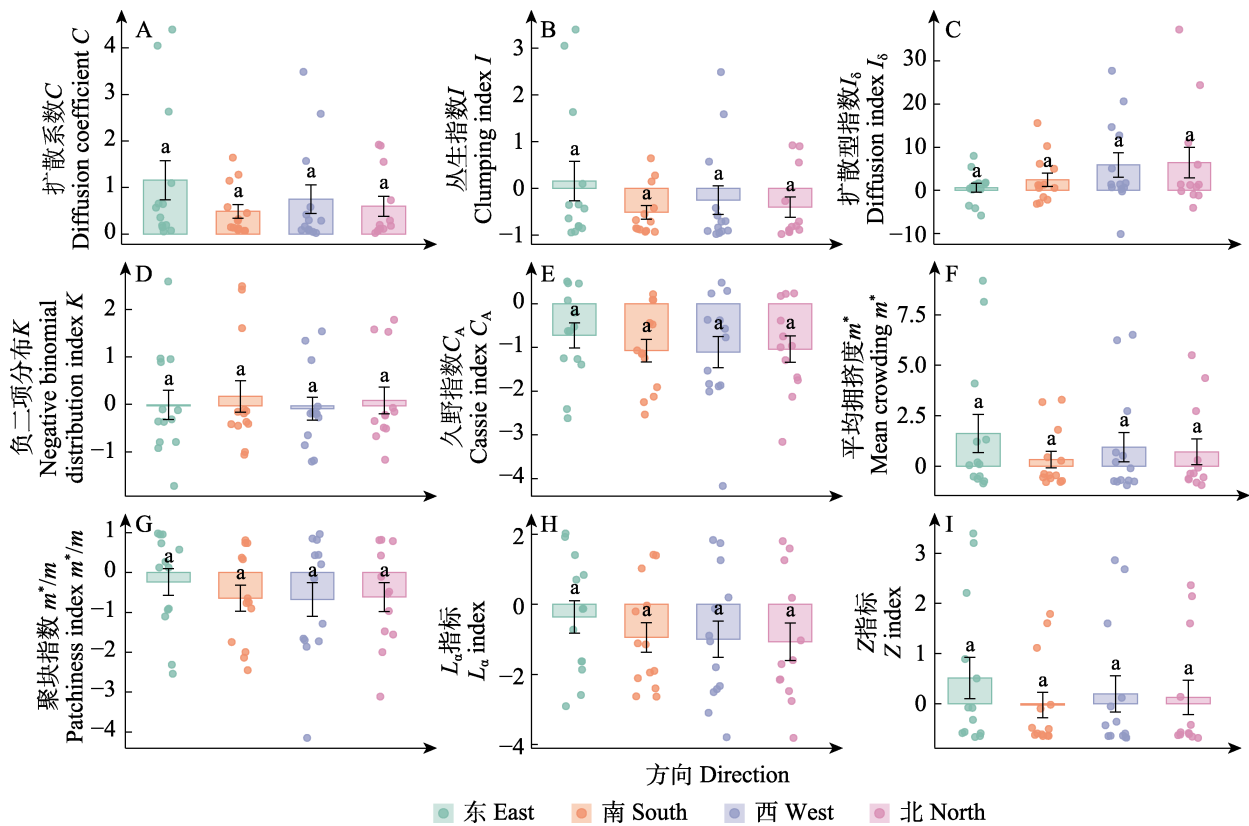


图 3 二斑叶螨在阿克苏地区苹果树上东南西北 4 个方向的 9 种聚集度指标差异

Fig. 3 Differences in nine aggregation indices of *Tetranychus urticae* on apple trees in Aksu region in the four cardinal directions

A. 扩散系数  $C$ ; B. 丛生指数  $I$ ; C. 扩散型指数  $I_{\delta}$ ; D. 负二项分布  $K$  值; E. 久野指数  $C_A$ ; F. 平均拥挤度  $m^*$ ; G. 聚块性指数  $m^*/m$ ; H.  $L_a$  指标; I.  $Z$  指标。图中数据扩散系数  $C$ 、丛生指数  $I$ 、扩散型指数  $I_{\delta}$  和平均拥挤度  $m^*$  为平均数  $\pm$  标准误。负二项分布  $K$  值、久野指数  $C_A$ 、聚块性指数  $m^*/m$ 、 $L_a$  指标和  $Z$  指标的数据存在极端值,

因此使用  $y = \text{sign}(x) \cdot \ln(|x| + 1)$  对 5 种指数进行了带符号的对数转换, 不影响后续方差分析结果。

A. Diffusion coefficient  $C$ ; B. Clumping index  $I$ ; C. Diffusivity index  $I_{\delta}$ ; D. Negative binomial distribution index  $K$ ; E. Cassie index  $C_A$ ; F. Mean crowding  $m^*$ ; G. Patchiness index  $m^*/m$ ; H.  $L_a$  index; I.  $Z$  index. The data in the figure show the diffusion coefficient  $C$ , clumping index  $I$ , diffusivity index  $I_{\delta}$ , and mean crowding  $m^*$  as the mean  $\pm$  SE. The data for the negative binomial distribution index  $K$ , cassie index  $C_A$ , patchiness index  $m^*/m$ ,  $L_a$  index, and  $Z$  index contained outliers. Therefore, a signed logarithmic transformation was applied to the five indices using the formula  $y = \text{sign}(x) \cdot \ln(|x| + 1)$ , which did not affect the subsequent variance analysis results.

分别为 1.652 5、1.653 1、1.839 7 和 1.944 4 (表 1), 而扩散系数  $C$  分别为 5.20、2.04、3.81 和 3.37。

利用二斑叶螨在苹果树上东、南、西、北 4 个方向中的平均拥挤度  $m^*$  和平均虫口密度  $m$  建立 Iwao  $m^*-m$  回归模型, 发现二斑叶螨整体上呈

聚集分布 ( $\alpha = -1.033 9 < 0$ ,  $\beta = 1.841 4 > 1$ )。在东、南、西、北 4 个方向也均呈聚集分布 (表 2)。2 种回归模型拟合结果均显示二斑叶螨在整体上呈聚集分布, 东、南、西、北 4 个方向对 Taylor 幂法则模型和 Iwao  $m^*-m$  回归模型拟合结果均无影响。

表 1 阿克苏苹果园东南西北 4 个树冠方向中二斑叶螨的 Taylor 幂法则模型

Table 1 Taylor's power laws model of *Tetranychus urticae* in four canopy orientations in an apple orchard in Aksu

树冠方位 Crown orientation	重复次数 Repetition	回归模型 Regression model	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$	$a$	$b$
东部树冠 Eastern crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.593 9 + 1.652 5 \lg m$	0.875 8	0.593 9	1.652 5
南部树冠 Southern crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.593 2 + 1.653 1 \lg m$	0.875 1	0.593 2	1.653 1
西部树冠 Western crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.617 6 + 1.839 7 \lg m$	0.937 7	0.617 6	1.839 7
北部树冠 Northern crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.603 5 + 1.944 4 \lg m$	0.946 1	0.603 5	1.944 4
整体 Whole	52	$\lg S^2 = \lg 0.684 3 + 1.858 2 \lg m$	0.926 4	0.684 3	1.858 2

$S^2$ : 方差;  $m$ : 平均虫口密度。下表同。 $S^2$ : Variance;  $m$ : Mean density of larvae. The same below.

表 2 阿克苏苹果园东南西北 4 个树冠方向中二斑叶螨的 Iwao  $m^*-m$  回归模型

Table 2 Iwao  $m^*-m$  regression models for *Tetranychus urticae* in four canopy orientations in an apple orchard in Aksu

树冠方位 Crown orientation	重复次数 Repetition	回归模型 Regression model	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$	$\alpha$	$\beta$
东部树冠 Eastern crown	13	$m^* = -0.993 5 + 1.983 6 m$	0.989 8	-0.993 5	1.983 6
南部树冠 Southern crown	13	$m^* = -0.932 2 + 1.643 2 m$	0.980 5	-0.932 2	1.643 2
西部树冠 Western crown	13	$m^* = -1.102 8 + 1.870 6 m$	0.981 1	-1.102 8	1.870 6
北部树冠 Northern crown	13	$m^* = -0.918 9 + 1.593 8 m$	0.983 9	-0.918 9	1.593 8
整体 Whole	52	$m^* = -1.033 9 + 1.841 4 m$	0.975 6	-1.033 9	1.841 4

$m^*$ : 平均拥挤度。下表同。 $m^*$ : Mean crowding. The same below.

## 2.4 上、中、下 3 层二斑叶螨的空间型

**2.4.1 聚集度指标分析** 依据 9 种聚集度指标的判断标准, 二斑叶螨在阿克苏苹果园上、中、下 3 层的空间分布型均符合聚集分布。各聚集度指标显示的聚集程度与上、中、下 3 层所关联, 9 种聚集度指标显示二斑叶螨的聚集程度随空间的升高而降低。9 种聚集度指标在上、中、下 3 层间无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 4: A-I)。

**2.4.2 回归分析** 利用二斑叶螨在果树上、中、下 3 层中的平均虫口密度  $m$  和方差  $S^2$  建立 Taylor 幂法则模型, 发现二斑叶螨整体上呈聚集分布

( $a = 0.913 1 < 1$ ,  $b = 1.806 4 > 1$ ,  $m \neq 1$ ,  $C > 1$ )。二斑叶螨在上、中、下 3 层空间分布型均为聚集分布, 在针对上、中、下 3 层二斑叶螨拟合的回归方程中,  $a$  分别为 0.691 3、0.786 1 和 0.739 8,  $b$  分别为 1.845 5、1.738 2 和 1.858 7 (表 3), 而扩散系数  $C$  分别为 7.10、9.28 和 10.05。

利用二斑叶螨在果树上、中、下 3 层中的平均拥挤度  $m^*$  和平均虫口密度  $m$  建立 Iwao  $m^*-m$  回归模型, 发现二斑叶螨整体上呈聚集分布 ( $\alpha = -1.059 8 < 0$ ,  $\beta = 1.824 0 > 1$ ), 在上、中、下 3 层也均呈聚集分布 (表 4)。2 种回归模型拟合结

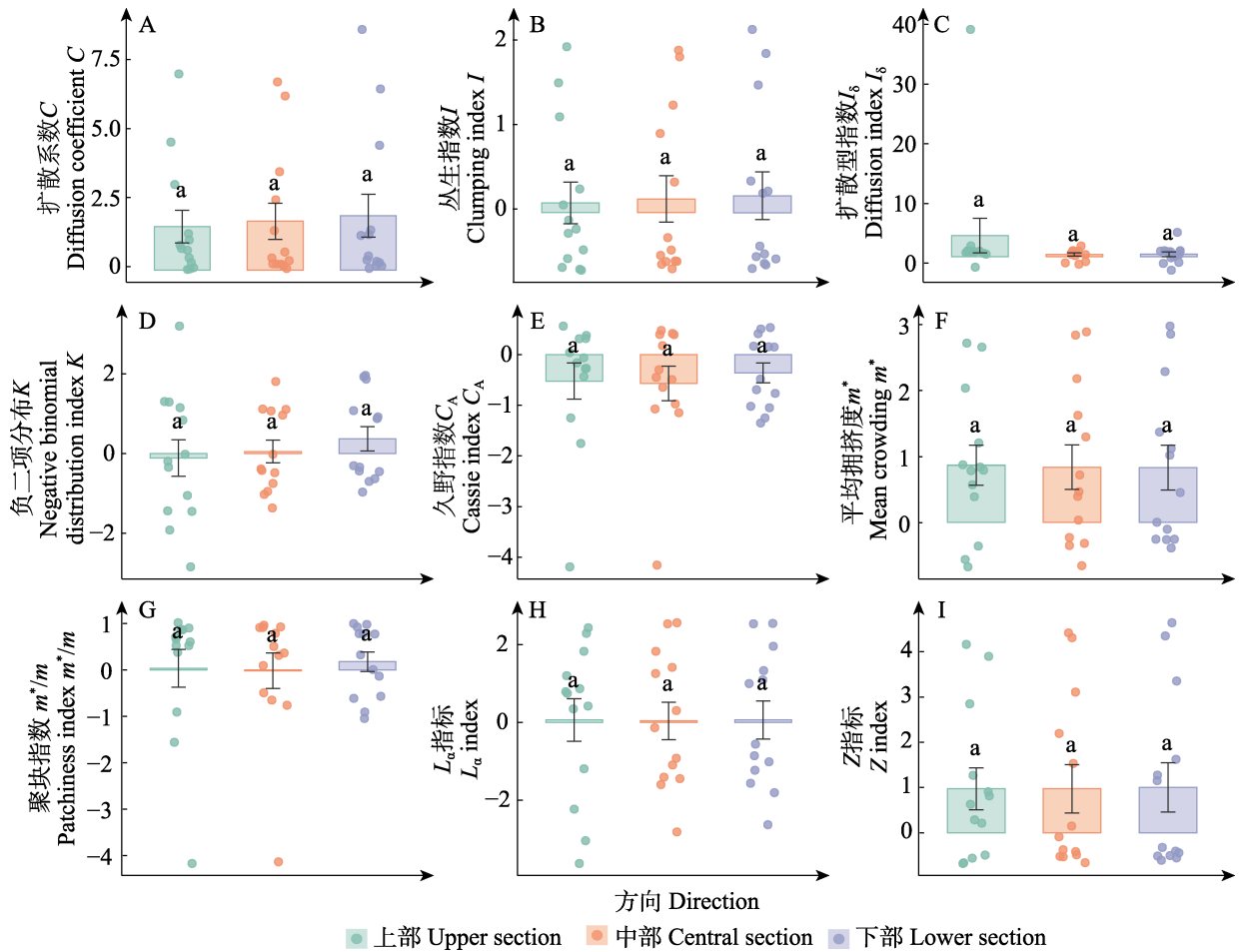


图 4 二斑叶螨在阿克苏地区苹果树上、中、下 3 层的 9 种聚集度指标差异  
 Fig. 4 Differences in nine aggregation indices of *Tetranychus urticae* on apple trees in Aksu region in the upper, middle, and lower three canopy layers

表 3 阿克苏苹果园上中下 3 层树冠中二斑叶螨的 Taylor 幂法则模型  
 Table 3 Taylor' power laws model of *Tetranychus urticae* in the upper, middle and lower three canopy layers of an apple orchard in Aksu

树冠方位 Crown orientation	重复次数 Repetition	回归模型 Regression model	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$		
			$a$	$b$	
上层树冠 Upper layer crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.6913 + 1.8455 \lg m$	0.9272	0.6913	1.8455
中层树冠 Middle layer crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.7861 + 1.7382 \lg m$	0.9385	0.7861	1.7382
下层树冠 Lower layer crown	13	$\lg S^2 = \lg 0.7398 + 1.8587 \lg m$	0.8606	0.7398	1.8587
整体 Whole	39	$\lg S^2 = \lg 0.7404 + 1.8064 \lg m$	0.9131	0.7404	1.8064

果均显示二斑叶螨在整体上呈聚集分布,上、中、下 3 层对 Taylor 幂法则模型和 Iwao  $m^*-m$  回归模型拟分析结果均无影响。

### 3 结论与讨论

二斑叶螨可为害草莓、月季、板栗等 800 余

种寄主植物,新疆地区气候干燥、夏季高温,适宜叶螨类害虫的发生与繁殖。目前,二斑叶螨在新疆地区已普遍发生,对农林作物产量造成严重影响(甘丽萍和张新虎, 2004; 牛永浩, 2006; Dermauw *et al.*, 2013)。二斑叶螨在南疆香梨园、北疆棉田及设施蔬菜中广泛分布,具有寄主广、

表 4 阿克苏苹果园上中下 3 层树冠中二斑叶螨的 Iwao  $m^*-m$  回归模型  
Table 4 Iwao  $m^*-m$  regression models for *Tetranychus urticae* in the upper, middle and lower three canopy layers of an apple orchard in Aksu

树冠方位 Crown orientation	重复次数 Repetition	回归模型 Regression model	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$	$\alpha$	$\beta$
上层树冠 Upper layer crown	13	$m^* = -1.0608 + 1.8023m$	0.9644	-1.0608	1.8023
中层树冠 Middle layer crown	13	$m^* = -0.9975 + 1.7598m$	0.9929	-0.9975	1.7598
下层树冠 Lower layer crown	13	$m^* = -1.1027 + 1.9025m$	0.9894	-1.1027	1.9025
整体 Whole	39	$m^* = -1.0598 + 1.8240m$	0.9831	-1.0598	1.8240

繁殖快、世代多、抗药性强等特点,常造成叶片褪绿、焦枯、脱落,严重影响作物产量与品质。此外,二斑叶螨可借助风、雨等媒介在多种杂草和作物间转移扩散,完成种群扩张,其大量繁殖后防治难度非常大(朱天生和张萍,2004)。关于二斑叶螨在苹果树上的研究较少,目前尚未开展空间分布相关研究,为此我们在新疆阿克苏地区开展了二斑叶螨发生情况及空间分布的研究,旨在为苹果园二斑叶螨的科学防控提供理论依据。

空间分布研究的重要性在于其直接决定了害虫监测与防控的精准度。杜浩等(2020)在香蕉园斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的研究中指出,1-4 龄幼虫呈聚集分布且聚集强度随密度升高而增强,若忽视该空间异质性,沿用传统五点取样极易高估或低估虫口密度,导致防治阈值偏差。同样,蒋杰贤等(2015)发现长期化学农药胁迫使桃蚜 *Myzus persicae* 与其天敌草间钻头蛛 *Hylyphantes graminicola* 的空间结构比例均大于 0.75,种群由聚集分布转为随机分布,削弱了天敌的“跟随效应”,说明空间格局变化可作为农药干扰下天敌失活的早期预警信号。姜雪菲等(2024)利用遥感耦合虫口密度与失叶率,证实落叶松毛虫 *Dendrolimus superans* 重度灾害区呈明显斑块分布,若按传统均匀抽样布点,会遗漏高虫口密度中心(毕守东等,2011;常虹等,2012)。因此,本研究对 2024 年 6-8 月每 7 d 调查的新疆阿克苏苹果园二斑叶螨空间分布类型,及其与苹果树树冠上、中、下 3 层和东、南、西、北 4 个方向的关系进行了分析,同时分析了阿克苏地区苹果树上东、南、西、北 4 个方向的平均

虫口密度。结果表明,苹果树东、南、西、北 4 个方向和上、中、下 3 层的平均虫口密度无显著差异。基于聚集度指标、Taylor 幂法则模型和 Iwao  $m^*-m$  回归模型的分析结果显示,二斑叶螨呈聚集分布,这与甘肃苹果园二斑叶螨的分布型一致(刘长仲等,2002)。López 和 Ferragut(2024)发现德克萨斯柑橘螨 *Eutetranychus banksi* 未成熟螨比成熟螨更具聚集性,其中雌性成螨聚集性最低,且叶螨在树冠外围叶片上密度更高,雌性成螨和活动态螨与总种群高度相关( $r = 0.98$ )。本研究下一步计划参照该试验,进一步探究二斑叶螨在苹果树上的空间分布特征。虫口密度是害虫监测预报和防治的重要理论基础和依据,密度-迁移、密度-出生率/死亡率、密度-空间分布型等基础研究,可为区域性害虫持续治理提供理论支撑(张灿明等,2019)。夏伟等(2014)研究发现截形叶螨 *Tetranychus truncatus* 呈聚集分布,聚集度随密度升高而增强,其聚集原因由自身习性与环境因素共同造成( $\lambda > 2$ )。Iwao 回归方程为  $m^* = 27.673 + 1.451m$ ,表明个体间相互吸引,基本成分为个体群。辽宁苹果园苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* 前期和中期为负二项分布,呈聚集型;后期趋于随机分布,且聚集强度与密度呈负相关,即低密度时聚集性强,高密度时扩散。该螨在树冠南部和中下层聚集度较高,可能与光照、温度、营养条件有关,与本研究结果有相似之处。其 Iwao 模型中  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 1$ ,个体间相互吸引,基本成分为个体群(闫文涛等,2011)。甘肃李始叶螨 *Eotetranychus pruni* 在各密度下均为聚集分布,基本成分为疏松个体群,群内个体随

机分布。个体群面积约为 4 片叶,不随密度变化。聚集度随密度升高而降低,达到一定密度后趋于稳定。该螨在树冠各方位均呈聚集型,其中北方个体拥挤度最高,中部聚集度最强(罗进仓等,1994)。

综上,本文研究了二斑叶螨在苹果树园的空间分布特征和空间格局,并建立 Taylor 幂法则模型,结果显示二斑叶螨整体上呈聚集分布( $a = 0.913$   $1 < 1$ ,  $b = 1.806$   $4 > 1$ ,  $m \neq 1$ ,  $C > 1$ )。在苹果树东、南、西、北 4 个方向和上、中、下 3 层的密度均无显著差异。在苹果树东、南、西、北 4 个方向空间分布型均为聚集分布。Iwao  $m^*-m$  回归模型显示二斑叶螨整体上呈聚集分布( $\alpha = -1.033$   $9 < 0$ ,  $\beta = 1.841$   $4 > 1$ ),在东、南、西、北 4 个方向也均呈聚集分布。二斑叶螨在苹果树上、中、下 3 层的 Iwao  $m^*-m$  回归模型显示二斑叶螨整体上呈聚集分布( $\alpha = -1.059$   $8 < 0$ ,  $\beta = 1.824$   $0 > 1$ ),在上、中、下 3 层也均呈聚集分布。Taylor 幂法则模型显示下层的斜率( $b = 1.858$   $7$ )和上层斜率( $b = 1.845$   $5$ )较高,聚集性更强。中层斜率( $b = 1.738$   $2$ )较低,聚集性比上下两层较弱。Iwao  $m^*-m$  回归模型显示  $\beta$  值上层( $\beta = 1.902$   $5$ )聚集性最强,高于中层( $\beta = 1.802$   $3$ )和下层( $\beta = 1.759$   $8$ )。Taylor 幂法则模型显示东部( $b = 1.944$   $4$ )和南部( $b = 1.928$   $8$ )的聚集性最强,西部( $b = 1.653$   $1$ )最弱。Iwao  $m^*-m$  回归模型显示东部聚集性最强( $\beta = 1.983$   $6$ ),可能因资源斑块化最显著。西部聚集性最弱( $\beta = 1.593$   $8$ ),可能环境更均质或竞争压力更大。南部与北部参数接近,空间分布模式相似。研究结果表明上层和东部树冠聚集程度较强,与刘长仲等(2002)二斑叶螨在苹果树上层、南面聚集程度较高的研究结果有所不同。后续将结合之前和本文研究结果,进一步完善苹果二斑叶螨空间分布试验,探究雌性成虫和活动态螨与总种群的相关性,深入研究二斑叶螨各个螨态的聚集程度,并针对不同螨态的二斑叶螨在苹果树上的分布情况采用不同类型的防治方法,例如对卵聚集程度高的方位使用杀卵剂,对成螨聚集程度高的方位使用杀螨剂。

## 参考文献 (References)

- Amannisa-Kuerban, Mansuer-Shabiti, Zhao JQ, Aikedan-Yisake, 2021. The characteristics of climate change and its influence on the agricultural production in Aksu river basin. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 60(6): 102–109. [阿曼妮萨·库尔班, 满苏尔·沙比提, 赵景敬, 艾克旦·依萨克, 2021. 阿克苏河流域气候变化特征及其对农业生产的影响. 中山大学学报(自然科学版), 60(6): 102–109.]
- Abdelgaleil S, Badawy M, Mahmoud NF, 2019. Acaricidal activity, biochemical effects and molecular docking of some monoterpenes against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 156: 105–115.
- Breusch TS, Pagan AR, 1979. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47(5): 1287–1294.
- Bi SD, Ke SB, Xu JF, Zhou XZ, Dang FH, Zou YD, 2011. Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes. *Acta Ecologica Sinica*, 31(2): 455–464. [毕守东, 柯胜兵, 徐劲峰, 周夏芝, 党凤花, 邹运鼎, 2011. 三种海拔高度茶园中两种害虫与其天敌间的数量和空间关系. 生态学报, 31(2): 455–464.]
- David FN, Moore PG, 1954. Notes on contagious distributions in plant populations. *Annals of Botany*, 18(1): 47–53.
- Chang H, Zhang XZ, Duan MC, Yu ZR, Liu YH, 2012. Spatial distribution pattern of carabid assemblage in agricultural landscape of Miyun County, Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(6): 1545–1550. [常虹, 张旭珠, 段美春, 宇振荣, 刘云慧, 2012. 北京密云农业景观步甲群落空间分布格局. 应用生态学报, 23(6): 1545–1550.]
- 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. [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 HX, Tong XL, 2014. Spatial distribution of gall thrips, *Gynaikothrips uzeli* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), in *Ficus benjamina*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(5): 828–832. [陈红星, 童晓立, 2014. 垂叶榕榕管蓟马空间分布型及其抽样模型. 环境昆虫学报, 36(5): 828–832.]
- Cheng LS, 1999. Should pay attention to the spread of two-spotted mite in our country. *Plant Protection*, 25(4): 55–56. [程立生, 1999. 应重视二斑叶螨在我国的传播危害. 植物保护, 25(4): 55–56.]
- Du H, Zhi JZ, Li ZK, Zhou JS, Yang SQ, Chen WQ, 2020. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Spodoptera litura* larvae in banana parks. *Chinese Journal of Tropical Crops*,

- 41(11): 2267–2272. [杜浩, 只佳增, 李宗镡, 周劲松, 杨绍琼, 陈伟强, 2020. 香蕉园斜纹夜蛾幼虫的空间分布格局和抽样技术. 热带作物学报, 41(11): 2267–2272.]
- Dermauw W, Wybouv N, Rombauts S, Menten B, Vontas J, Grbić M, Clark RM, Feyereisen R, Van Leeuwen T, 2013. A link between host plant adaptation and pesticide resistance in the polyphagous spider mite *Tetranychus urticae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(2): 393–394.
- Ding YQ, 1994. *Mathematical Ecology of Insects*. Beijing: Science Press. 2–3. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 2–3.]
- Ding YQ, Li DM, Chen YP, 1978. Studies on the patterns of distribution of the oriental migratory locust and its practical significance. *Acta Entomologica Sinica*, 21(3): 243–259. [丁岩钦, 李典谟, 陈玉平, 1978. 东亚飞蝗分布型的研究及其应用. 昆虫学报, 21(3): 243–259.]
- Gan LP, Zhang XH, 2004. Study of biological character of *Tetranychus urticae* (Koch). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 13(3): 66–69. [甘丽萍, 张新虎, 2004. 二斑叶螨实验种群生物学特性的研究. 西北农业学报, 13(3): 66–69.]
- Gao L, Li L, Tian G, Luo L, Xu B, Lu GL, Wang F, Luo QQ, Xu Y, 2017. Spatial distribution and sampling of the larvae of Chinese rose beetle, *Adoretus sinicus* on turfgrass. *Plant Protection*, 43(2): 117–121. [高磊, 李丽, 田龚, 罗萝, 徐冰, 路广亮, 王凤, 罗卿权, 徐颖, 2017. 草坪害虫中喙丽金龟幼虫的空间分布与理论抽样数. 植物保护, 43(2): 117–121.]
- Gao SJ, Pang BP, Yu Y, 2004. Seasonal dynamics and structures of insect communities in wheat fields. *Chinese Journal of Ecology*, 23(6): 47–50. [高书晶, 庞保平, 于洋, 2004. 麦田昆虫群落的时间动态与结构分析. 生态学杂志, 23(6): 47–50.]
- Grbić M, Van Leeuwen T, Clark RM, Rombauts S, Rouzé P, Grbić V, Osborne EJ, Dermauw W, Cao Thi Ngoc P, Ortego F, Hernández-Crespo P, Diaz I, Martínez M, Navajas M, Sucena É, Magalhães S, Nagy L, Pace RM, Djuranović S, Smaghe G, Iga M, Christiaens O, Veenstra JA, Ewer J, Villalobos RM, Hutter JL, Hudson SD, Velez M, Yi SV, Zeng J, Pires-daSilva A, 2011. The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations. *Nature*, 479(7374): 487–492.
- Jiang JX, Wan NF, Ji XY, 2015. Geostatistics and GIS analysis of spatial patterns of *Myzus persicae* and *Hylyphantus graminicola* in peach orchards under chemical pesticide stress. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 23(7): 906–913. [蒋杰贤, 万年峰, 季香云, 2015. 基于地统计学和GIS的化学农药胁迫下桃树桃蚜与草间钻头蛛种群空间格局. 中国生态农业学报, 23(7): 906–913.]
- Jiang XF, Bao GD, Zhai C, Liu T, Ren ZB, Ding MM, Zhang W, Du YX, 2024. Study on quantitative inversion of spatial pattern of forest leaf eating pest disaster. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 44(1): 125–134. [姜雪菲, 包广道, 翟畅, 刘婷, 任志彬, 丁铭铭, 张微, 杜云霞, 2024. 森林食叶害虫空间分布格局遥感定量反演研究. 西南林业大学学报(自然科学), 44(1): 125–134.]
- Kuno E, 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Researches on Population Ecology*, 11(2): 127–136.
- Kang L, Chen YL, 1995. Dynamics of grasshopper communities under different grazing intensities in Inner Mongolia steppes. *Insect Science* 2(3): 265–281. [康乐, 陈永林, 1995. 内蒙古草原不同放牧强度下的蝗虫群落动态研究. 昆虫科学, 2(3): 265–281.]
- Lan XP, 1993. Application of La index in determining the spatial distribution pattern of insect population and sampling investigation. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 21(1): 20–26. [兰星平, 1993. La 指标在测定昆虫种群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 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.]
- Liebhald AM, Zhang X, Hohn ME, 1991. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environmental Entomology*, 20(5): 1407–1417.
- Lin ZL, Xu JH, Xu LP, 2012. The spatial distribution pattern and sampling technique of egg masses of *Chilo sacchariphagus* on sugarcane plants. *Plant Protection*, 38(3): 59–62. [林兆里, 徐金汉, 许莉萍, 2012. 甘蔗条螟卵空间分布型及其抽样技术. 植物保护, 38(3): 59–62.]
- Liu CZ, Wang G, Wang WX, 2002. Spatial pattern of *Tetranychus urticae* population in apple tree garden. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(8): 993–996. [刘长仲, 王刚, 王万雄, 2002. 苹果园二斑叶螨种群空间格局研究. 应用生态学报, 13(8): 993–996.]
- Liu CZ, 2016. *Plant Entomology*. Beijing: China Forestry Publishing House. 102–117. [刘长仲, 2016. 植物昆虫学. 北京: 中国林业出版社. 102–117.]
- Lloyd M, 1967. Mean crowding. *Journal of Animal Ecology*, 36(1): 1–30.
- López S, Ferragut F, 2024. Population structure, spatial aggregation, and sampling plan for the Texas citrus mite, *Eutetranychus banksi* (Acari: Tetranychidae) on citrus. *Pest Management Science*, 80(12): 6375–6388.
- Luo JC, Chen M, Lü HP, Luo L, Luo GH, 1994. Spatial pattern of *Eotetranychus pruni* in apple orchards. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 3(4): 32–36. [罗进仓, 陈明, 吕和平, 罗兰, 罗光宏, 1994. 苹果园李始叶螨空间格局研究. 西北农业学报, 3(4): 32–36.]

- Lu YY, Liang GW, Zeng L, 2002. Spatial pattern of the eggs of the banana pseudostem weevil *Odoiporus longicollis*. *Entomological Knowledge*, 39(3): 203–205. [陆永跃, 梁广文, 曾玲, 2002. 香蕉假茎象鼻虫卵空间分布型研究. *昆虫知识*, 39(3): 203–205.]
- Niu YH, 2006. Studies on the biology and control of *Tetranychus urticae* Koch. Doctor dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [牛永浩, 2006. 二斑叶螨(*Tetranychus urticae* Koch)生物学特性及防治技术研究. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Shen YG, 1997. Vigilance against the damage by the spread of two spotted mites in fruit producing areas of China. *Plant Protection Technology and Extension*, 17(5): 24–25. [湛有光, 1997. 警惕二斑叶螨在我国果产区蔓延为害. *植保技术与推广*, 17(5): 24–25.]
- Van Leeuwen T, Vontas J, Tsagkarakou A, Dermauw W, Tirry L, 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40(8): 563–572.
- Wang K, Zhang LL, Li B, Du GZ, Chen B, 2022. Spatial distribution of larvae *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in mountainous corn plants and field. *Journal of Southern Agriculture*, 53(10): 2894–2903. [王锴, 张丽兰, 黎斌, 杜广祖, 陈斌, 2022. 山地玉米植株及田间草地贪夜蛾幼虫的空间分布特征. *南方农业学报*, 53(10): 2894–2903.]
- Wang W, Zhang RF, Liu HY, Zhang Y, Yao J, 2016. Spatial distribution pattern of common meadow bug *Lygus pratensis* (Linnaeus) in Xinjiang cotton fields. *Journal of Plant Protection*, 43(6): 972–978. [王伟, 张仁福, 刘海洋, 张瑜, 姚举, 2016. 新疆棉田牧草盲蝽的空间分布规律. *植物保护学报*, 43(6): 972–978.]
- Wang ZC, Fang GH, Zhang H, Tang XC, Duan LZ, 2018. Sensitivity analysis of crop water requirement to meteorological factors in Aksu irrigation area. *Desert and Oasis Meteorology*, 12(3): 33–39. [王志成, 方功焕, 张辉, 唐新成, 段雷振, 2018. 阿克苏河灌区作物需水量对气候变化的敏感性分析. *沙漠与绿洲气象*, 12(3): 33–39.]
- Waters WE, 1959. A quantitative measure of aggregation in insects. *Journal of Economic Entomology*, 52(6): 1180–1184.
- Xia W, Wang LS, Wu XH, Qu HL, Jiao XD, Wang X, Zhang JP, 2014. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Tetranychus truncatus* on jujube tree. *Journal of Environmental Entomology*, 36(3): 327–334. [夏伟, 王立生, 吴雪海, 屈荷丽, 焦旭东, 王鑫, 张建萍, 2014. 截形叶螨在枣树上的空间分布型及抽样技术研究. *环境昆虫学报*, 36(3): 327–334.]
- Yao Q, 2018. The study on the metabolic resistance and risk assessment of *Tetranychus urticae* Koch to three important acaricides. Doctor dissertation. Guangzhou: South China Agricultural University. [姚强, 2018. 二斑叶螨对三种重要杀螨剂的抗性选育及抗性风险评估. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学.]
- Yan WT, Qiu GS, Zhou YS, Zhang HJ, Chen HJ, Zhang P, Liu CL, Zheng YC, 2011. Spatial distribution pattern and temporal dynamics of *Panonychus ulmi* in apple orchards. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(11): 3053–3059. [闫文涛, 仇贵生, 周玉书, 张怀江, 陈汉杰, 张平, 刘池林, 郑运成, 2011. 苹果全爪螨的空间分布格局及时序动态. *应用生态学报*, 22(11): 3053–3059.]
- 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, Pu TX, Li G, Liu YH, 2019. Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* adults and sampling techniques for this species in the jujube growing region of northern Shaanxi. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 585–594. [阎雄飞, 蒲泰勋, 李刚, 刘永华, 2019. 枣飞象成虫在陕北枣区的空间分布型及抽样技术. *应用昆虫学报*, 56(3): 585–594.]
- Zhang CM, Pan PF, A Jin, Zhang C, Liu Y, Wang SH, Yao JW, 2019. Effect of population density on the migration behavior of *Hepialus* sp. larvae. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 34(1): 169–174. [张灿明, 潘鹏飞, 阿金, 张聪, 刘英, 王顺和, 姚建文, 2019. 虫口密度对蝠蛾幼虫迁移行为的影响. *云南农业大学学报(自然科学)*, 34(1): 169–174.]
- Zhou FC, Ren XX, Du YZ, 2006. Spatial patterns of *Bemisia tabaci* (Gennadius) population in cotton fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(7): 1239–1244. [周福才, 任训祥, 杜予州, 2006. 棉田烟粉虱种群空间分布格局研究. *应用生态学报*, 17(7): 1239–1244.]
- Zhang LX, Lü SB, Wen HR, Jin XM, 1997. Model Z-V and sampling method in the research of spatial patterns of population. *Journal of Northwest Forestry University*, 12(1): 75–79. [张连翔, 吕尚彬, 温豁然, 金秀梅, 1997. 种群空间格局研究的 Z-V 模型及其抽样设计方法. *西北林学院学报*, 12(1): 75–79.]
- Zhou YS, Pu CS, Liu CL, 1996. Vigilance against the damage by the spread of two spotted mites in the northern fruit area. *Plant Protection*, 22(5): 51–52. [周玉书, 朴春树, 刘池林, 1996. 警惕二斑叶螨在北方果区为害蔓延. *植物保护*, 22(5): 51–52.]
- Zhu TS, Zhang P, 2004. Occurrence and control of *Tetranychus urticae* in fragrant pear orchards of southern Xinjiang. *Plant Protection*, 30(4): 89–90. [朱天生, 张萍, 2004. 南疆香梨园二斑叶螨发生危害与防治. *植物保护*, 30(4): 89–90.]
- Zhang ZK, Nan ZY, 2023. Spatial distribution patterns and sampling techniques of tomato leafminer *Tuta absoluta* larvae on tomatoes in greenhouses. *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.]