

海南三亚辣椒害虫调查及蓟马种群动态与气象因子的关系

韩小龙^{1,2#}, 吴明月², 罗 丰², 刘 勇², 邹 祥², 林樱桃², 谢 文^{3,4}, 孔祥义^{2*}

(1. 海南大学 热带农林学院, 海南 儋州 571737 中国; 2. 三亚市热带农业科学研究院, 海南 三亚 572000 中国; 3. 三亚中国农业科学院国家南繁研究院, 海南 三亚 572024 中国; 4. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081 中国)

摘 要: 为明确海南三亚地区辣椒田间主要害虫种类组成及蓟马种群动态与气象因子的关系, 于 2024 年 11 月—2025 年 5 月辣椒生长季, 对辣椒田间害虫种类及蓟马种群动态规律进行了系统调查, 并分析了蓟马种群与关键气象因子的关联。结果表明, 三亚辣椒田间的优势害虫为蓟马类害虫, 其中瓜蓟马(*Thrips palmi*)和花蓟马(*Frankliniella intonsa*)为优势种。蓟马类害虫在辣椒各生育期均有发生, 但种群动态呈现明显阶段性差异: 苗期为发生低谷期, 开花挂果期为种群高峰期, 且此阶段花蓟马数量显著超过瓜蓟马; 开花采收期危害程度降低, 调查末期瓜蓟马数量再度占据优势。相关性分析表明, 开花挂果期的气象因子对蓟马类害虫种群数量的影响显著, 其与平均气温、最低气温、平均地表气温、日最高/最低地表气温及最高湿度均呈显著正相关。本研究揭示了辣椒田间为害虫种类、为害虫优势种群、优势种群蓟马类为害动态及气象因子对蓟马类害虫种群动态的关键影响, 为三亚地区辣椒蓟马类害虫的精准监测与防治策略制定提供了科学依据。

关键词: 辣椒; 蓟马; 种群动态; 优势种群; 海南三亚; 气象因子

中图分类号: S433 文献标志码: A 文章编号: 1674-7054(2026)04-0699-10

韩小龙, 吴明月, 罗丰, 等. 海南三亚辣椒害虫调查及蓟马种群动态与气象因子的关系[J]. 热带生物学报(中英文), 2026, 17(4): 699–708. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20250131 CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswwb.20250131



辣椒(*Capsicum annuum* L.)是中国重要的蔬菜作物, 在海南省热带农业产业中占据重要地位^[1-2]。三亚市作为中国重要的冬季蔬菜生产基地, 其辣椒是冬种瓜菜的重要品种之一, 2023 年全省辣椒种植面积达 47 861 ha, 占当年海南蔬菜种植面积的 17.4%^[3], 其安全生产对保障我国冬季蔬菜供应至关重要。三亚市属热带季风海洋性气候, 年均温达 25.4℃, 年降水量达 1 347 mm^[4], 高温多雨的环境条件极易引发农业生态系统中害虫种群结构的演替^[5]。然而, 目前针对三亚地区辣椒田间危害害虫的系统调查尚显不足, 尤其缺乏对优势害虫种群动态及其影响因子的深入解析。因此, 系统开展辣椒害虫优势种群监测, 明确害虫发生规律及制定防控策略具有重要意义。

辣椒在生产过程中易遭受多种害虫危害, 其中蓟马(缨翅目 Thysanoptera)是主要类群之一。该类害虫个体微小、繁殖周期短、世代重叠严重、隐匿性强, 可通过锉吸汁液直接危害辣椒, 导致辣椒叶片枯萎和花朵凋落^[6]; 还可传播多种植物病毒(如番茄斑萎病毒 *Orthotospovirus tomatomaculae*, tomato spotted wilt virus, TSWV), 引起辣椒产量下降、果实品质受损, 严重时甚至造成绝收, 对辣椒安全生产构成严重威胁, 从而造成巨大的经济损失^[7-8]。因此, 开展蓟马种群监测预警显得尤为必要。研究表明, 气象因子是影响蓟马种群动态的关键环境因素, 温度、湿度、风速等均可显著调节其发育速率、繁殖能力、迁飞行为及传播效率^[9-10]。国内外关于气象因素对蓟马种群数量动态影响有

© CC BY 4.0 收稿日期: 2025-10-11

修回日期: 2025-10-28

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(No.2024YFD1400100); 海南省科技专项(No.ZDYF2024XDNY250); 海南省自然科学基金项目(No.321QN377)。

*第一作者: 韩小龙(2001—), 男, 海南大学热带农林学院 2023 级硕士研究生。E-mail: hanxiaolong0213@163.com

*通信作者: 孔祥义(1980—), 男, 研究员, 硕士生导师。研究方向: 热带瓜菜病虫害综合防控。E-mail: kongxiangyi20@163.com

所报道^[11-12],但不同地理和气候环境下蓟马对气象因子的响应存在明显差异。目前,关于热带滨海地区如三亚的辣椒蓟马种群动态与气象因子关系的研究尚未见报道,相关预测模型与防控依据仍属空白。因此,明确其间关系,对预测发生高峰期、构建精准防控体系具有重要指导意义。

为明确三亚地区辣椒田主要害虫种类组成、优势种群发生规律及其与关键气象因子的关系,本研究于 2024—2025 年,在三亚市辣椒主产区设立 4 处标准试验样地,通过系统监测样点,开展害虫群落定点调查。研究内容重点监测蓟马类害虫的种群动态,并结合气象数据分析温度、湿度、降雨等因素对其种群波动的影响。研究成果旨在明确以三亚为代表的热带滨海地区辣椒主要害虫种类、优势种及其种群动态变化规律,揭示关键环境因子对辣椒蓟马种群动态的作用机制,为热带地区辣椒害虫的监测、蓟马种群发生预测及绿色防

控提供理论依据和实践支撑,保障冬季蔬菜生产安全。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验用黄色、蓝色诱虫板,均购自中捷四方生物科技股份有限公司,尺寸为 25 cm×23 cm,厚度为 0.03 cm,产品执行标准为 GB/T 24689.4—2009《植物保护机械 诱虫板》^[13],双面均匀涂抹环保型胶。

1.2 调查地点概况 调查地点选择在海南省三亚市崖州区,调查点详细信息见表 1。4 块试验田种植品种均为‘博辣 5 号’线椒(湖南兴蔬种业有限公司),均采用地膜覆盖、双行单株种植、正常肥水管理。农户常规施用杀虫剂(田块 2、3、4)有啉虫脒、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、烯啶·呋虫胺、联苯·乙螨唑、螺虫·噻虫啉、螺虫乙酯、敌敌畏等,平均 7~14 d 施药 1 次。

表 1 试验田概况

Tab. 1 General conditions of the experimental field

调查点 Treatment	杀虫剂施用情况 Pesticide application status	调查时间 Survey period	经纬度 Coordinates	面积/ha Area
1	不施用 Nonuse	2024-12-09—2025-01-27	18°23'13.9" N, 109°9'26.0" E	0.129
2	常规施用 Conventional	2024-12-09—2025-04-07	18°23'15.5" N, 109°9'30.0" E	0.062
3	常规施用 Conventional	2024-11-25—2025-04-07	18°24'2.0" N, 109°10'57.6" E	0.128
4	常规施用 Conventional	2024-11-25—2025-04-07	18°36'15.2" N, 109°10'18.1" E	0.141

1.3 调查时间 于 2024 年 11 月—2025 年 5 月三亚辣椒主要种植期进行调查(表 1),均在辣椒移栽定植后 7 d 后开始调查。调查点 3 和调查点 4(常规施用)辣椒田块于 2024-11-25—2025-04-07 进行调查,调查点 2(常规施用)辣椒田块于 2024-12-09—2025-04-07 进行调查,调查点 1(不施用)辣椒田块因害虫为害导致植株提前死亡,故

调查期为 2024-12-09—2025-01-27。根据辣椒田间观察及文献^[14]确定辣椒生育期,各调查点辣椒生育期划分见表 2。

1.4 实验方法

1.4.1 害虫种类及种群动态调查方法 采用色板诱集法进行调查,田间采用五点取样法选取 5 个调查点悬挂色板进行调查,每点插入两根竹竿,分

表 2 生育期划分

Tab. 2 Growth stage division

调查点 Site	苗期 Seedling stage	开花现蕾期 Flower budding stage	开花挂果期 Flowering and fruit setting stages	开花采收期 Flowering and harvesting stages
1	2024-12-09—2025-01-06	2025-01-06—2025-01-27	—	—
2	2024-12-09—2025-01-06	2025-01-06—2025-01-27	2025-01-27—2025-03-03	2025-03-03—2025-04-07
3	2024-11-25—2024-12-23	2024-12-23—2025-01-13	2025-01-13—2025-03-03	2025-03-03—2025-04-07
4	2024-11-25—2024-12-23	2024-12-23—2025-01-13	2025-01-13—2025-03-03	2025-03-03—2025-04-07

别悬挂一片蓝色诱虫板和黄色诱虫板, 悬挂高度始终高于辣椒植株顶点 20 cm, 使用铁丝绑定, 每 7 d 调查一次, 每次悬挂诱虫板 24 h 后调查统计板上诱集的害虫种类及数量, 并将无法鉴定的昆虫浸泡在 $12.85\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙醇中带回实验室鉴定, 直至辣椒无花无果。因蓝色诱虫板对蓟马类害虫的诱集效果显著优于黄色诱虫板^[15-16], 故本研究选用蓝色诱虫板数据用于蓟马种群动态分析。

1.4.2 害虫种类鉴定方法 利用体视显微镜(尼康 SMZ745T 型号)参照《中国经济昆虫志》和《中国昆虫生态大图鉴》对昆虫标本开展形态学方法鉴定^[17-18], 依据触角的形状和节数, 前胸形状、刚毛数及长短, 刚毛排列位置, 中胸背板的网纹或刚毛排列, 腹部背板的微梳毛等形态特征进行鉴别。无法鉴别的物种, 通过请教相关专家进行鉴定, 以确保鉴定结果的准确性。

1.5 数据分析 利用 Berger-Parker 优势度指数(d)评估昆虫群落中的优势种, 其计算公式 $d=N_i/N$, 其中 N_i 表示单次调查中某种昆虫的个体数量,

N 为同期调查中所有昆虫的总个体数量。采用 IBM SPSS Statistics v27.0 软件进行相关分析, 以探究蓟马类害虫种群动态与气象因子的关系, 所采用的气象数据来源于三亚市热带农业科学研究院崖州区长期观测站的连续监测数据。所有统计图表均使用 GraphPad Prism v9.0.2 绘图软件制作。

2 结果与分析

2.1 害虫种类分析 常规施用杀虫剂与不施用杀虫剂调查点的害虫种类基本相同(表 3), 均包含 4 目 6 科, 但各点害虫的种类数量存在少许差异, 如调查点 1、3、4 的辣椒田间主要害虫物种数相同, 均为 13 种, 其中缨翅目蓟马科占比最多, 均为 6 种, 半翅目种类占比次之; 而调查点 2 的物种数较少, 为 12 种, 蓟马科仍为 6 种。

2.2 害虫优势度分析 不施用杀虫剂辣椒田(调查点 1)苗期以瓜蓟马(优势度指数为 0.757)为绝对优势种, 开花现蕾期以桃蚜(0.434)和瓜蓟马(0.376)为优势害虫。而常规施用杀虫剂辣椒田的

表 3 辣椒田间主要害虫种类
Tab. 3 Major pest species in pepper fields

目 Order	科 Family	物种 Species	调查点 Site			
			不施用杀虫剂 No insecticide		常规施用杀虫剂 Conventional pesticide	
			1	2	3	4
缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripidae	瓜蓟马 <i>Thrips palmi</i>	√	√	√	√
		花蓟马 <i>Frankliniella intonsa</i>	√	√	√	√
		普通大蓟马 <i>Megalurothrips usitatus</i>	√	√	√	√
		褐蓟马 <i>Thrips serratus</i>	√	√	√	√
		黄胸蓟马 <i>Thrips hawaiiensis</i>	√	√	√	√
		榕管蓟马 <i>Gynaikothrips ficorum</i>	√	√	√	√
	蚜科 Aphididae	桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	√	√	√	√
		棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	√	—	—	—
	粉虱科 Aleyrodidae	烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	√	√	√	√
		柑橘黑刺粉虱 <i>Aleurocanthus woglumi</i>	—	—	√	√
	叶蝉科 Cicadellidae	茶小绿叶蝉 <i>Empoasca pirusuga</i>	√	√	√	√
		棉叶蝉 <i>Amrasca biguttula</i>	√	√	√	√
双翅目 Diptera	潜蝇科 Agromyzidae	美洲斑潜蝇 <i>Liriomyza sativae</i>	√	√	√	√
鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Coccinellidae	黄曲条跳甲 <i>Phyllotreta striolat</i>	√	√	√	√

注: √ 表示害虫存在(存在辣椒发育任何时期); — 表示不存在。
Note: √ indicates detected (Occurrence at any development stage of the chili plant); — indicates not detected.

3 个田块(调查点 2、3、4)整个生育期基本以蓟马和烟粉虱发生为主,其中蓟马以瓜蓟马、花蓟马为优势种(表 4),开花采收期偶有烟粉虱为优势种(调查点 4)。

2.3 优势害虫蓟马种群动态 不施用杀虫剂辣椒田(调查点 1)的瓜蓟马种群基数在苗期持续增长,于开花现蕾期(1 月 20 日)达峰值(1145.8 头·板⁻¹)。相比之下,各常规施用杀虫剂的蓟马种群均呈先升后降趋势,出现多次高峰,高峰期基本集中于 2 月上旬至 3 月上旬(图 1)。

不施用杀虫剂辣椒田(调查点 1)中瓜蓟马在整个生育期的数量高于花蓟马。而常规施用杀虫剂调查点蓟马种群优势结构呈现规律性时序更替,表现在 12 月至翌年 2 月上旬及 3 月下旬以后,瓜蓟马在种群中占据主导地位,尤其在 1 月至 2 月上旬优势极显著;2 月中旬至 3 月中旬花蓟马

数量反超,形成明显的种群优势转换。所有调查点蓟马种群均在 3 月末至 4 月初降至年度最低水平(97.6~227.4 头·板⁻¹)(图 1)。

2.4 蓟马种群动态与气象因子的主成分分析 对比数据发现,主成分分析方法可行(KMO≥0.6 且巴特利特检验 $P<0.05$),且 PC1、PC2 和 PC3 的累计方差贡献率为 82.875%,其中 PC1(温度因子相关)方差贡献率高达 53.882%,是蓟马种群影响最为显著的气象要素(图 2)。

PC2 特征值为 2.290,与平均风速和极大风速呈正相关且系数最大,分别为 0.794、0.778,表明 PC2 为风速和降雨量指标。PC3 与最高相对湿度呈负相关且系数为-0.731 数值较大,表明 PC3 为湿度指标。

2.5 马种群动态与气象因子的灰色关联度分析 基于调查点 1 的植株死亡导致辣椒生育期数据不

表 4 害虫优势度分析
Tab. 4 Dominance of pest species in pepper fields

生育期 Growth stage	调查点 Site	优势度 Dominance	物种 Species	优势度 Dominance	物种 Species	优势度 Dominance	物种 Species
苗期 Seedling stage	1	0.757 101	S ₁	0.076 287	S ₉	0.061 269	S ₄
	2	0.657 657	S ₁	0.140 636	S ₄	0.075 602	S ₁₀
	3	0.570 898	S ₁	0.348 556	S ₉	0.029 486	S ₂
	4	0.468 288	S ₁	0.271 984	S ₉	0.090 467	S ₂
开花现蕾期 Flower budding stage	1	0.433 835	S ₇	0.376 028	S ₁	0.059 531	S ₉
	2	0.792 117	S ₁	0.073 852	S ₂	0.050 398	S ₄
	3	0.685 846	S ₁	0.223 397	S ₉	0.040 579	S ₄
	4	0.462 144	S ₁	0.399 146	S ₉	0.045 123	S ₄
开花挂果期 Flowering and fruit Setting stages	1	-	-	-	-	-	-
	2	0.414 561	S ₂	0.384 969	S ₁	0.104 933	S ₉
	3	0.394 965	S ₁	0.346 355	S ₂	0.152 868	S ₉
	4	0.388 912	S ₂	0.341 856	S ₁	0.177 893	S ₉
开花采收期 Flowering and harvesting stages	1	-	-	-	-	-	-
	2	0.407 412	S ₁	0.303 866	S ₂	0.173 452	S ₉
	3	0.288 505	S ₁	0.210 268	S ₂	0.065 744	S ₁₁
	4	0.334 236	S ₉	0.281 495	S ₁	0.274 787	S ₂

注: S₁, 瓜蓟马; S₂, 花蓟马; S₃, 普通大蓟马; S₄, 褐翅蓟马; S₅, 黄胸蓟马; S₆, 榕管蓟马; S₇, 桃蚜; S₈, 棉蚜; S₉, 烟粉虱; S₁₀, 柑橘黑刺虱; S₁₁, 茶小绿叶蝉; S₁₂, 棉叶蝉; S₁₃, 美洲斑潜蝇; S₁₄, 黄曲条跳甲。

Note: S₁, *Thrips palmi*; S₂, *Frankliniella intonsa* (Trybom); S₃, *Megalurothrips usitatus*; S₄, *Thrips serratus*; S₅, *T. hawaiiensis* (Morgan); S₆, *Gynaikothrips ficorum*; S₇, *Aeolothrips fasciatus*; S₈, *Myzus persicae* (Sulzer); S₉, *Aphis gossypii*; S₁₀, *Bemisia tabaci* (Gennadius); S₁₁, *Aleurocanthus woglumi* Ashby; S₁₂, *Empoasca pirusuga* Matumura; S₁₃, *Amrasca biguttul*; S₁₄, *Liriomyza sativae* Blanchard; S₁₅, *Phyllotreta striolat* (Fabricius).

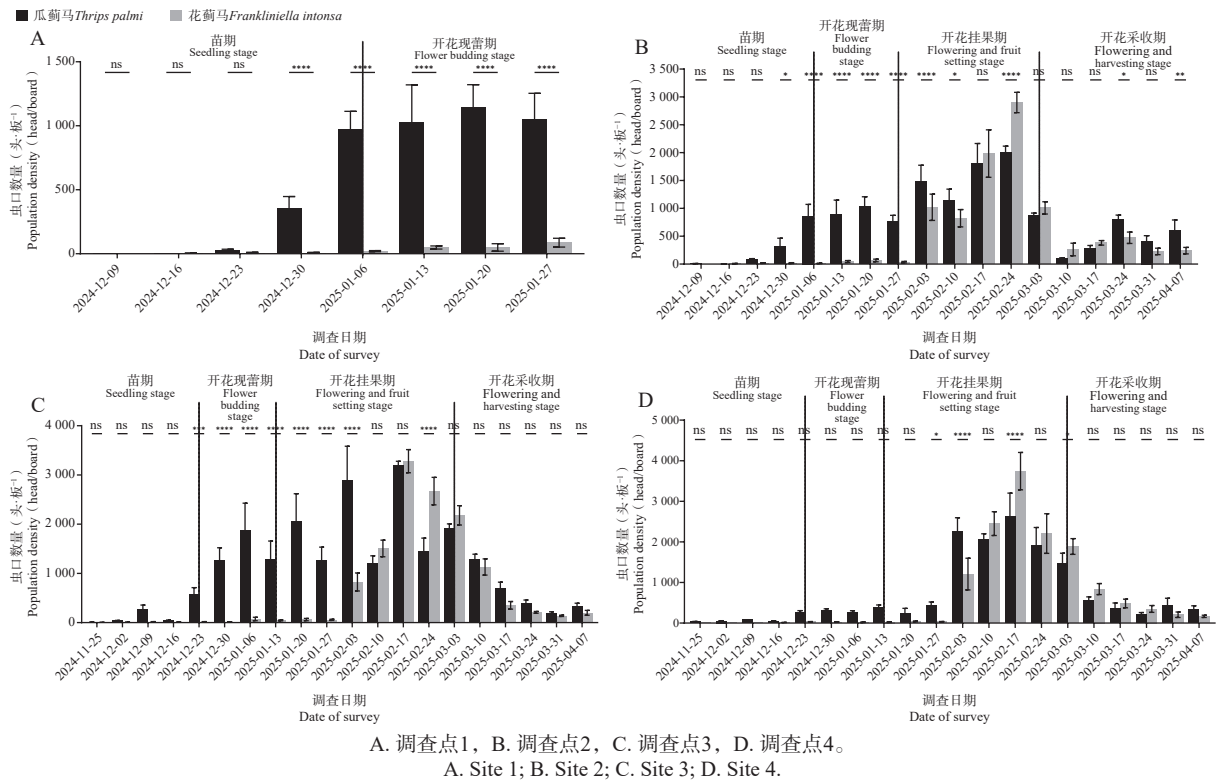


图1 辣椒田间瓜蓟马和花蓟马种群动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of *T. palmi* and *F. intonsa* in chili fields注: 相邻调查日差异性采用双因素方差分析; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$ 。Note: Differences between consecutive survey dates were analyzed by two-way ANOVA; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$ 。

完整, 不具备灰色关联度分析条件, 继而选取常规施药田调查点 2、3、4 的完整生育期数据进行分析。灰色关联度分析结果表明, 温度因子(最高气温、平均气温)与湿度因子对 3 处田块中蓟马种群数量的影响最为显著, 而日平均降雨量在所有田块中均为影响最小的气象因子(图 3)。

各调查点影响蓟马种群的关键气象因子存在差异, 调查点 2 以最低气温影响最大($r=0.742$), 其次为日最低地表气温和最低相对湿度; 调查点 3 同样要受最低气温主导($r=0.749$), 其次为最高和最低相对湿度; 调查点 4 则以平均风速作用最为显著($r=0.721$), 日最大风速和最低地表气温次之(图 3)。

2.6 蓟马种群动态与气象因子的相关性分析 相关性分析结果显示, 气象因子与蓟马种群数量的相关性在不同生育期存在差异。辣椒苗期不论施用或者不施用杀虫剂, 温度(平均、最高、最低气温及地表温度)、湿度(平均、最低相对湿度)及风速(平均、极大风速)指标均与蓟马虫量呈负相关, 其中调查点 2 和 3 的最高气温与最高地表气温负相关性显著。开花现蕾期, 最高气温与最低地表气

温及平均、最低相对湿度也是负相关。至开花挂果期, 所有温度、湿度及风速因子与蓟马数量转为显著正相关, 尤其在调查点 2 田块的平均气温、地表气温及最高相对湿度与蓟马数量正相关显著, 调查点 4 的日最低地表气温也显著正相关。开花采收期后, 各点相关性出现分化, 但调查点 2 田块中平均气温和日最高地表气温再度呈现显著的负相关关系(图 4)。

3 讨论

本研究系统调查了海南三亚地区辣椒田间主要害虫种类、优势种群结构及蓟马类害虫的种群动态变化, 重点探讨了气象因子对蓟马发生规律的影响。结果表明, 无论施药与否, 蓟马均为三亚辣椒田最主要的害虫类群, 瓜蓟马和花蓟马为优势种。蓟马在热带茄科作物害虫群落中的关键地位已有研究报道。例如赵海燕等^[19]对海南茄子(*Solanum melongena* L.)田昆虫群落结构的研究表明, 同属茄科的茄子其优势害虫为瓜蓟马。程春喜^[20]在海南南部地区瓜菜蓟马危害调查中同样发现, 茄科作物上蓟马优势种为瓜蓟马, 其次为花蓟

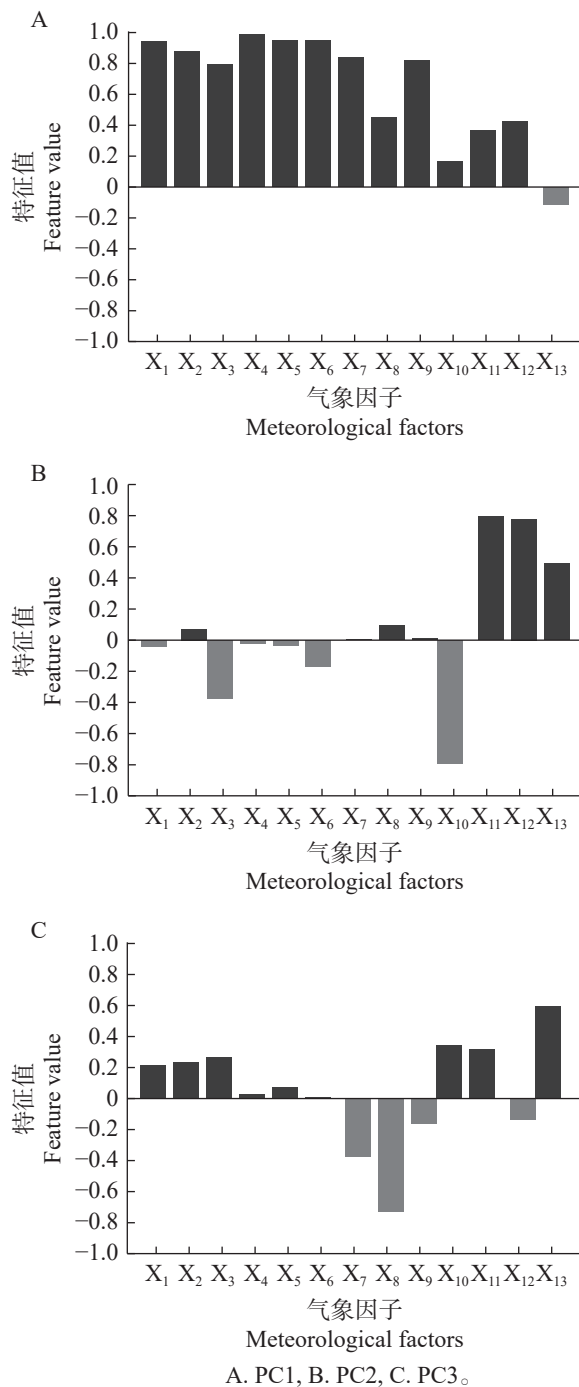


图2 气象因子的主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of meteorological factors.

注: X₁, 平均气温; X₂, 最高气温; X₃, 最低气温; X₄, 平均地表气温; X₅, 日最高地表气温; X₆, 日最低地表气温; X₇, 平均相对湿度; X₈, 最高相对湿度; X₉, 最低相对湿度; X₁₀, 平均日降雨量; X₁₁, 平均风速; X₁₂, 极大风速; X₁₃, 极小风速。下同。

Note: X₁, Means air temperature; X₂, Maximum air temperature; X₃, Minimum air temperature; X₄, Mean surface temperature; X₅, Daily maximum surface temperature; X₆, Daily minimum surface temperature; X₇, Mean relative humidity; X₈, Maximum humidity; X₉, Minimum humidity; X₁₀, Mean daily precipitation; X₁₁, Mean wind speed; X₁₂, Maximum wind speed; X₁₃, Minimum wind speed. Similarly hereinafter.

马和普通大蓟马,进一步验证了蓟马在热带茄科作物害虫组成中的关键地位。张安盛等^[21]的研究也表明,山东日光温室菜椒上的重要害虫同样为瓜蓟马。相比之下,蒋兴川等^[22]报道云南不同生态区辣椒花期蓟马种类以西花蓟马(*Frankliniella occidentalis*)、花蓟马、黄胸蓟马、瓜蓟马、烟蓟马(*Thrips tabaci*)和八节黄蓟马(*Thrips flavidulus*)为主。穆常青等^[23]则报道,北京地区温室彩椒上西花蓟马的危害日益严重。本研究所显示的海南三亚辣椒田间害虫组成差异,可能与当地气候条件、栽培模式及生态环境差异等因素有关。

蓟马动态调查结果显示:全程不施杀虫剂田块中瓜蓟马种群从苗期开始数量逐步积累,到开花现蕾期(1月20日)达到峰值(1145.8头·板⁻¹);而常规施用杀虫剂田块蓟马种群则呈现多次波动,总体为先升后降趋势,高峰期集中于2月上旬至3月上旬。未施用杀虫剂田块因为无杀虫剂防控干预,害虫种群持续繁殖,呈现单峰型暴发趋势,继而导致植株严重受害直至死亡;而常规用杀虫剂田块,因杀虫剂干预,因此在一定程度上抑制了种群连续增长,但因施药间隔、抗性发展及药剂持效期等因素,仍难以完全遏制种群复苏,从而出现多次种群再猖獗现象^[24]。本研究中,施用杀虫剂田块蓟马种群动态与辣椒生育期存在关联,表现为苗期发生量较低,花期后出现多次高峰。本研究发现,瓜蓟马与花蓟马在不同时期交替转换为优势种,呈现规律多演替动态,开花现蕾期和挂果初期以瓜蓟马为主,开花挂果中期花蓟马数量上升达到高峰,至采收期瓜蓟马再次占据优势。该结果与吴明月等^[25]研究结论存在明显差异:其研究报道常规施用杀虫剂田块花蓟马在整个生育期内持续为单一优势种,未发生显著时序更替。本研究与前人结果差异可能源于气象条件和寄主品种的共同影响:从气象因子来看,本研究调查期间的2025年1月,日最低温度均值为17.2℃,且2025年2月仅有1d降水;而前人研究期间的2021年1月,日最低温度均值为13.5℃,其后续观测期的2022年2月曾有5d出现降雨,二者间温度与降水的差异可能对蓟马的发育周期和种群动态产生影响。此外,辣椒品种方面存在差异,本研究采用的为‘博辣5号’而前人采用的为‘湘辣17号’,两种辣椒在植株形态、次生代谢物组成、

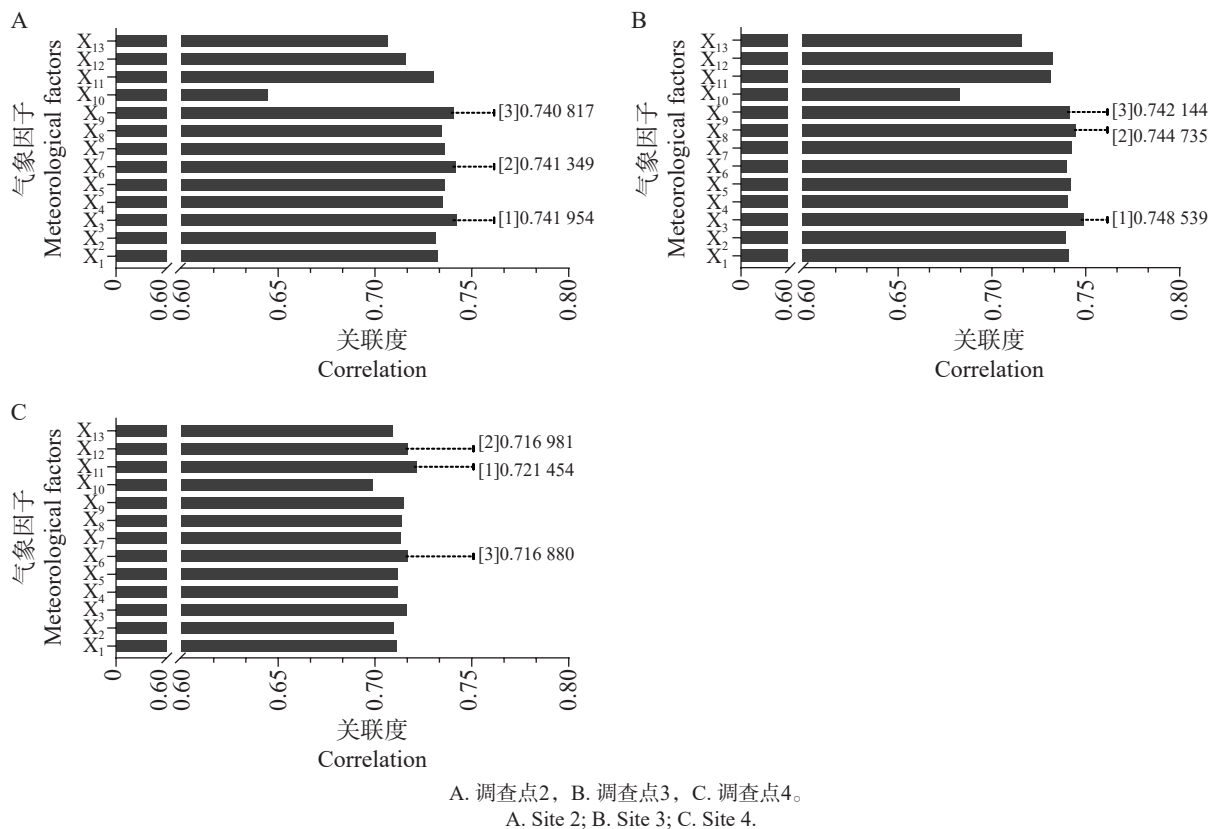


图3 蓟马种群动态与气象因子的灰色关联度

Fig. 3 Grey relational analysis (GRA) between Thrips population dynamics and meteorological factors

抗虫性等方面存在遗传差异,这些特性可能对田间蓟马种群结构与数量造成影响。并且,本研究蓟马动态变化特征与植株生理状态、营养供给以及蓟马生态习性可能存在相关联系^[26]。各调查点植株于1月中旬至1月底由现蕾期陆续进入开花坐果期。此时期田间花朵数量大幅增加,蓟马种群数量呈现同步增长趋势,其中花蓟马种群数量急剧上升并超越瓜蓟马成为优势种。这种物候变化与蓟马种群动态的同步性表明,田间花朵数量的增长与蓟马特别是花蓟马的种群数量增长存在正相关关系。这与已有研究相印证,花蓟马具有显著的访花习性,开花期间的花器组织及幼果为蓟马提供了丰富的营养与繁殖场所,蓟马更倾向于聚集在花器丰富的生境中^[27]。蓟马种群数量的显著增长可能与促进其聚集信息素的释放有关,花蓟马释放特定信息素对其产生引诱作用,从而促进种群增长^[28]。李姣等^[29]的研究表明,花蓟马聚集释放的信息素可能对瓜蓟马产生趋避效应,从而影响其种群时序格局,引致花蓟马在开花挂果期形成种群优势。在田间采收期,因为花器数量减少并且采收操作破坏了田间隐匿环境,各调

查田块中蓟马总体数量均呈现明显下降。最后,在调查末期瓜蓟马在数量上出现反超花蓟马的趋势,推测可能因其具备更强的环境适应能力,并通过寄主转移等策略在一定程度上实现了种群恢复,但是二者均维持较低水平。

气象因素对蓟马类害虫的种群动态具有显著调控作用。通过主成分分析、灰色关联度分析及相关性分析均表明,温度和湿度是影响蓟马种群动态的关键气象因子。温度方面,本章研究在开花挂果期发现多项温度指标与蓟马数量呈显著正相关,这与温度是影响蓟马种群动态关键因子的普遍认识一致^[5]。从生物学角度来看,瓜蓟马成虫产卵适温区是20~30℃,其中25℃下成虫的平均产卵量及产卵率值均达最大,卵期及若虫期的发育速率随温度的升高而加快、发育历期相应缩短^[9],表明适宜的温度条件可促进蓟马的繁殖与发育。在观测期内,苗期前期温度较高(超过25℃)且温度日较差变幅较大(2~9℃),大幅波动的温度条件不利于蓟马种群建立;而进入开花现蕾期后日均温稳定在20~25℃,温度日较差收窄并维持在5℃左右小幅波动,趋于稳定的温度环境则为种群

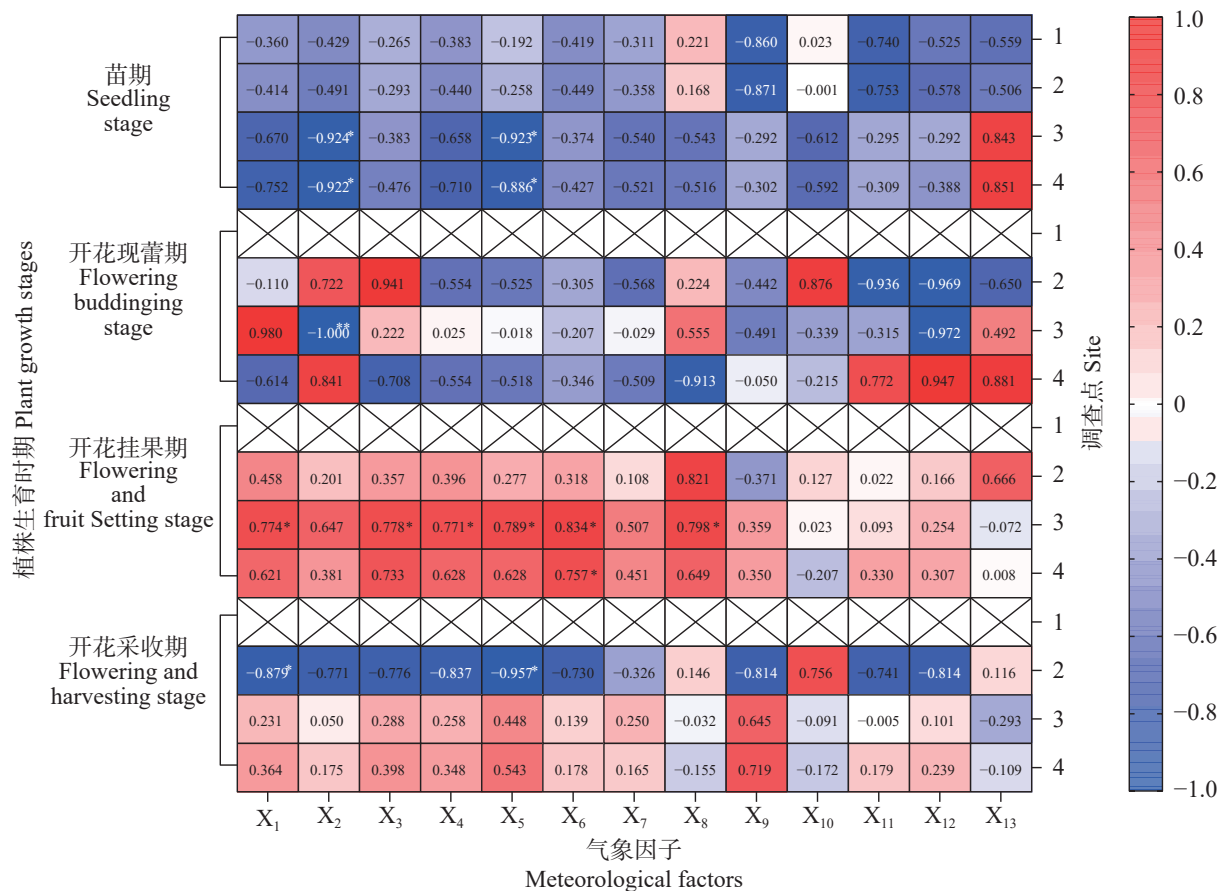


图4 蓟马种群动态与气象因子间的相关性

Fig. 4 Relationship between Thrips population dynamics and meteorological factors in chili fields.

注: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.Note: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.

增长提供了有利条件。这种温度日较差的阶段差异可能是导致不同生育期气象因子与蓟马种群数量相关方向发生转变的重要环境诱因。湿度方面, Moraiet 等^[30]研究表明蓟马种群动态与相对湿度显著负相关, 而 Selvaraj 等^[12]则认为西花蓟马种群动态与相对湿度显著正相关, 二者差异可能源于不同地区湿度变化特征的不同。本研究观测到, 苗期湿度日变幅较大(10%~20%), 此时蓟马种群数量与湿度呈负相关, 较大幅波动的湿度条件对种群建立不利; 而开花挂果期湿度日变幅缩小至 3%~10%, 湿度与种群数量呈正相关, 表明, 稳定的湿度环境更有利于蓟马种群建立。此外, 田间植株观测发现: 苗期辣椒植株矮小、枝叶稀疏、田间覆盖度低; 开花期植株枝繁叶茂、覆盖度提高, 花器与嫩叶数量增多。据此推测, 寄主植物物候阶段的差异也可能是导致辣椒苗期与花期蓟马种群对气象因子响应方向发生转变的影响因素之一。

此外, 各调查点的主导气象因子存在一定差异, 如点 2 以最低气温影响最大, 点 3 受最低气温、湿度二者共同作用, 点 4 以风速为主导因子, 反映出小气候差异对气象与害虫关系的调节作用。因此, 在构建蓟马发生预测模型时, 需结合当地气象特征及田间实际情况进行参数优化, 以提升预报准确性。

综上所述, 本研究基于对蓟马种群动态规律及其影响机制的解析。建议在海南三亚辣椒蓟马防控中建立以物候期为基础、气象预警为补充的综合预警防控体系。具体而言, 生产上应重点关注开花现蕾期至坐果期的防控力度, 此阶段植株花器资源丰富、温湿度条件适宜, 蓟马种群数量易快速上升, 特别是花蓟马易在该阶段形成明显的种群高峰。当田间环境出现日均温持续于 20~25℃、湿度日波动小于 10% 的气象条件时, 应适当加强蓟马监测并及时开展防控。同时, 应根据不同生育期的优势种演替规律采取差异化防

控策略:开花前重点防控瓜蓟马,花期着重控制花蓟马,采收前期需防范瓜蓟马种群的恢复性增长。此外,不同田块的小气候特征存在差异,针对高温区、高湿区和通风区等不同生境制定相应的防控方案,以提升区域整体防控效果。

4 结 论

本研究系统调查了海南三亚辣椒田间害虫优势种及动态变化,明确了辣椒田间主要害虫有4目6科15种,其中缨翅目蓟马类害虫为最主要危害类。在蓟马类害虫中,瓜蓟马和花蓟马为优势种,但其种群优势随辣椒生育期变化而变化(开花挂果期以花蓟马为主,其他生育期则以瓜蓟马占优)。整个生育期内,蓟马种群动态呈多峰型变化,高峰期出现在2月上旬至3月上旬。种群数量受气象因子的显著影响,其中温度和湿度是本研究监测期间蓟马种群动态变化的关键气象因子。开花挂果期温度与蓟马数量呈显著正相关,温度日较差收窄至5℃及湿度日变幅低于10%的稳定环境显著促进种群建立。本研究结果不仅阐明了热带地区辣椒害虫的发生规律及其关键驱动因素,还为制定基于生育期的精准防治策略提供了理论依据,对保障中国冬季辣椒安全生产具有重要指导意义。

参考文献:

- [1] 简玮,朱月季.海南辣椒产销模式存在的问题与对策[J].中国蔬菜,2019(9):12-17. <https://doi.org/10.19928/j.cnki.1000-6346.2019.09.003>
- [2] 梁伟红,罗微,刘燕群,等.海南冬季瓜菜产业风险及可持续发展对策研究[J].江苏农业科学,2013,41(10):431-433. <https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2013.10.056>
- [3] 海南省统计局,国家统计局海南调查总队.海南统计年鉴2024[M].北京:中国统计出版社,2024:4-5.
- [4] 王春乙.海南气候[M].北京:气象出版社,2014:7-8.
- [5] 韩冬银,李磊,陈俊谕,等.气象因素对芒果蓟马种群数量动态的影响[J].环境昆虫学报,2019,41(3):553-558. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2019.03.15>
- [6] Reitz S R, Yearby E L, Funderburk J E, et al. Integrated management tactics for *Frankliniella* thrips (Thysanoptera: Thripidae) in field-grown pepper [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2003, 96(4): 1201-1214. <https://doi.org/10.1093/jee/96.4.1201>
- [7] Moritz G, Kumm S, Mound L. Tospovirus transmission depends on thrips ontogeny [J]. *Virus Research*, 2004, 100(1): 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2003.12.022>
- [8] Wijkamp I, Almarza N, Goldbach R, et al. Distinct levels of specificity in thrips transmission of tospoviruses [J]. *Phytopathology*, 1995, 85(10): 1069-1074. <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-1069>
- [9] 吴佳教,张维球,梁广文.温度对节瓜蓟马发育及产卵力的影响[J].华南农业大学学报,1995,16(4):14-19.
- [10] 韩云,唐良德,付步礼,等.土壤含水量和土壤类型对豆大蓟马蛹期发育和羽化的影响[J].环境昆虫学报,2015,37(4):710-714. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2015.04.2>
- [11] 曲明静,刘爱娜,曾庆朝,等.气象因子对青岛市花生田西花蓟马种群数量的影响[J].花生学报,2019,48(4):43-48. <https://doi.org/10.14001/j.issn.1002-4093.2019.04.007>
- [12] Selvaraj S, Adiroubane D. Influence of weather parameters on the incidence of thrips, *Thrips tabaci* Lindemann in cotton [J]. *Journal of Cotton Research and Development*, 2012, 26, 234-237.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.植物保护机械 诱虫板:GB/T 24689.4—2009[S].2009.
- [14] 陈芳,刘宇鹏,曾晓珊,等.移栽期对辣椒产量、光合特性及气象因子的响应[J].中国农学通报,2024,40(10):109-119.
- [15] Mao L G, Chang Y M, Yang F L, et al. Attraction effect of different colored cards on thrips *Frankliniella intonsa* in cowpea greenhouses in China [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 13603. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32035-8>
- [16] 陈华平,贝亚维,顾秀慧,等.棕榈蓟马(*Thrips palmi*)对不同颜色粘卡的嗜好及其蓝色粘卡诱虫量的研究[J].应用生态学报,1997,8(3):335-337.
- [17] 张巍巍,李元胜.中国昆虫生态大图鉴[M].重庆:重庆大学出版社,2011:139-140.
- [18] 韩运发.中国经济昆虫志 第五十五册:缨翅目[M].北京:科学出版社,1997:263-270.
- [19] 赵海燕,秦双,吉训聪,等.海南茄子田昆虫群落结构与时序动态[J].中国植保导刊,2015,35(12):9-15. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6820.2015.12.002>
- [20] 程春喜.海南南部地区瓜菜上蓟马发生及传毒调查分析[D].福州:福建农林大学,2023. <https://doi.org/10.27018/d.cnki.gfjnu.2023.000712>
- [21] 张安盛,于毅,庄乾营,等.棕榈蓟马成虫在日光温室菜椒上的种群动态和空间分布[J].植物保护学报,2014,41(2):210-215. <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2014.02.013>
- [22] 蒋兴川,李志华,蒋智林,等.云南不同生态区辣椒花期蓟马种类及多样性指数比较[J].云南农业大学学报,2013,28(4):451-457. [https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-390X\(n\).2013.04.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-390X(n).2013.04.001)
- [23] 穆常青,杨海霞,谷培云,等.9种药剂对温室彩椒西花蓟马的田间防效评价[J].中国蔬菜,2014(10):37-39. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6346.2014.10.008>
- [24] 刘至幸,李光平,王铁辉,等.昆明地区西花蓟马田间

- 种群抗药性监测及药剂防治效果评价[J]. 应用昆虫学报, 2025, 62(3): 699–707. <https://doi.org/10.7679/j.issn.2095-1353.2025.066>
- [25] 吴明月, 李少卡, 李启珊, 等. 三亚辣椒害虫发生规律及蓟马种群动态分析[J]. 热带生物学报, 2024, 15(6): 655–663. <https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.20240109>
- [26] 孙建伟, 张暄翊, 张愉力, 等. 花蓟马在黄花菜上的发生动态及抽样技术研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2025, 60(1): 240–248. <https://doi.org/10.13432/j.cnki.jgsau.2025.01.026>
- [27] 渠汇, 啜泽润, 张文兵, 等. 花蓟马发生与防治研究进展[J]. 中国植保导刊, 2023, 43(8): 18–24. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6820.2023.08.005>
- [28] 蒋兴川, 李志华, 曹志勇, 等. 蔬菜花期蓟马的种群动态与空间分布研究[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(6): 1628–1636.
- [29] 李姣. 花蓟马聚集信息素人工合成及其活性评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2014. <https://doi.org/10.27244/d.cnki.gnjnu.2014.000009>
- [30] Moraiet M A, Ansari M S, Ahmad S. Screening of onion cultivars for resistance against Thrips tabaci in relation to weather conditions [J]. Indian Journal of Plant Protection, 2020, 44(3):296-303.

Survey of pest species in pepper fields and the relationship between thrips population dynamics and meteorological factors in Sanya, Hainan

Han Xiaolong^{1,2#}, Wu Mingyue², Luo Feng², Liu Yong², Zou Xiang², Lin Yingtao²,
Xie Wen^{3,4}, Kong Xiangyi^{2*}

(1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. Sanya Institute of Tropical Agricultural Sciences, Sanya, Hainan 572000, China; 3. Sanya Nanfan Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya, Hainan 572024, China; 4. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To clarify the species composition of major pests in pepper fields in Sanya, Hainan, and the relationship between thrips population dynamics and meteorological factors, a systematic survey of pest species and thrips population dynamics was conducted during the pepper growing season from November 2024 to May 2025, and their association with key meteorological factors was analyzed. The results showed that the dominant pests in Sanya pepper fields were thrips, with *Thrips palmi* and *Frankliniella intonsa* being the dominant species. Thrips pests occurred at all the growth stages of pepper, but their population dynamics exhibited distinct growth stage-specific differences: the seedling stage was a low-incidence period, and the flowering and fruit-setting stages were the peak population period, during which the number of *F. intonsa* significantly exceeded that of *T. palmi*. The damage decreased during the flowering and harvesting stages, and by the end of the survey, *T. palmi* once again became dominant. Correlation analysis indicated that meteorological factors during the flowering and fruit-setting stages had a significant influence on thrips population numbers, showing significant positive correlations with average temperature, minimum temperature, average surface temperature, daily maximum/minimum surface temperature, and maximum humidity. All these findings reveal the pest species composition, dominant pest populations, dynamics of dominant thrips pests, and the key influence of meteorological factors on thrips population dynamics in pepper fields, providing a scientific basis for the precise monitoring and formulation of control strategies against thrips pests in pepper fields in the Sanya region.

Keywords: pepper; thrips; population dynamics; dominant species; Sanya, Hainan; meteorological factors.

(责任编辑: 邹游兴)