河南省许昌市烟粉虱种群发生动态及与气象因子的相关性

魏培玲[1] 李自玲[1] 李文峰[2] 高新菊[3] 王恒亮[3] 赵俊卿[1]
王 然[4*] 吴青君[5*]

（1. 许昌市农业科学院，河南 许昌 461000；2. 许昌市气象局，河南 许昌 461113；3. 河南省农业科学院植物保护研究所，郑州 450002；4. 北京市农林科学院植物保护研究所，北京 100097；5. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所，蔬菜生物育种全国重点实验室，北京 100081）

摘要：为明确河南省许昌市烟粉虱*Bemisia tabaci*种群发生动态及其与气象因子的关系，于2024年和2025年在城区和农区布设人工调查与智能监测设备，开展烟粉虱种群动态监测，同步采集分析关键气象因子数据，对二者进行相关性分析和主成分分析。结果表明：许昌市烟粉虱始见期为5月中下旬至6月中下旬，终见期为11月下旬至12月上旬，种群数量基本呈双峰型分布，峰值分别出现在9月上中旬和10月上旬，2025年高峰期较2024年整体提前11~17 d，城区监测点始见期差异明显，在2025年较2024年提前23~30 d。2024年智能设备监测与人工监测的高峰期具有一致性。相关性分析显示，烟粉虱种群数量与旬平均气温、最高/最低气温、极端最高/最低气温、平均相对湿度、降雨量均呈极显著正相关，与旬平均风速呈极显著负相关；农区烟粉虱种群数量还与旬日照时数呈显著负相关。主成分分析进一步证实，气温综合指标是影响烟粉虱种群动态的主导因子，累计贡献率达56.12%。表明许昌市烟粉虱种群动态受到多种因素的共同影响，其中气温是影响烟粉虱种群动态的主要因素。

关键词：烟粉虱；城市；农田；高度；种群动态；气象因子

Population dynamics of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* in Xuchang, Henan Province and its correlation with meteorological factors

Wei Peiling[1] Li Ziling[1] Li Wenfeng[2] Gao Xinju[3] Wang Hengliang[3] Zhao Junqing[1]
Wang Ran[4*] Wu Qingjun[5*]

（1. Xuchang Academy of Agricultural Sciences, Xuchang 461000, Henan Province, China; 2. Xuchang Meteorological Bureau, Xuchang 461113, Henan Province, China; 3. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan Province, China; 4. Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 5. State Key Laboratory of Vegetable Biobreeding, Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China）

Abstract: To clarify the population dynamics of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* in Xuchang City, Henan Province and its relationship with meteorological factors, manual surveys and intelligent monitoring devices were deployed in urban and agricultural areas of Xuchang in 2024 and 2025 to monitor the population dynamics of *B. tabaci*, while key meteorological data were simultaneously collected and analyzed. The results showed that the initial occurrence period of *B. tabaci* spanned mid-to-late May to

基金项目：国家重点研发计划项目(2022YFD1401200)，国家自然科学基金项目(32472548)
* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：wangran@baafs.net.cn，wuqingjun@caas.cn
收稿日期：2026-05-23

mid-to-late June, while the final occurrence period from late November to early December. The population basically exhibited a bimodal distribution, with peaks appearing in early-to-mid September and early October. Compared with 2024, the population peak periods in 2025 were generally 11−17 days earlier. The initial occurrence period at urban monitoring sites showed a marked difference, occurring approximately 23−30 days earlier. The population peak periods monitored by intelligent devices in 2024 were consistent with those from manual surveys. Correlation analysis showed that the population abundance of *B. tabaci* was extremely significantly and positively correlated with ten-day mean temperature, maximum and minimum temperature, extreme maximum and minimum temperature, average relative humidity, and precipitation, while exhibiting an extremely significant negative correlation with ten-day mean wind speed. In agricultural areas, the population abundance was also significantly negatively correlated with the ten-day sunshine duration. Principal component analysis further confirmed that the comprehensive temperature index was the dominant factor, with a cumulative contribution rate of 56.12%. These findings indicate that the population dynamics of *B. tabaci* in Xuchang City are affected by multiple factors, among which temperature serves as the primary influencing factor.

Key words: *Bemisia tabaci*; urban; farmland; height; population dynamics; meteorological factor

烟粉虱 *Bemisia tabaci* 属于半翅目粉虱科小粉虱属 *Bemisia*，主要分布在热带和亚热带地区，是一种全球均有发生的重要害虫。烟粉虱寄主范围广泛，可为害蔬菜、花卉、园林植物等600余种植物，其主要通过直接吸取汁液造成植物枯萎，还可分泌蜜露诱发煤污病，导致植物光合作用能力下降，影响植物生长；且作为传毒媒介可高效传播150多种植物病毒，使番茄 *Solanum lycopersicum*、辣椒 *Capsicum annuum*、茄子 *Solanum melongena* 等茄科作物减产50%~100%，造成严重的经济损失（De Barro et al.，2011；闫明辉等，2021；张楠等，2022；胡明鑫等，2023）。近年来，随着种植结构的不断调整优化，加之化学杀虫剂的不合理使用，烟粉虱在田间大面积发生，成为蔬菜、大豆 *Glycine max*、棉花 *Gossypium hirsutum* 等作物的主要害虫及病毒病的传播媒介（Horowitz et al.，2020；杨静，2024）。与此同时，河南省许昌、郑州、开封、平顶山、漯河等市，以及安徽省阜阳市、河北省廊坊市均报道烟粉虱在城市中也时有暴发，空气中大量的烟粉虱可能被人体吸入鼻腔、口腔或飞入眼中，严重影响城市居民的户外活动及出行（http://www.kepu.gov.cn/kpyx/2025-09/23/content_406104.html）。

害虫监测与预报预警是农业安全生产风险防控的第一道防线，是保障农作物高产稳产的重要基础（曾娟等，2022）。增强农业害虫的监测预警能力，提高监测数据的准确性及预报信息的时效性，是高效开展病虫害防控的基础（刘万才等，2011）。绝大多数重大农作物病虫害的发生规律与气象因子密切相关。气象因子作为关键生态因子，显著影响害虫、病原物及其寄主植物的生长发育过程（叶彩玲等，2005；王淑梅，2009）。相比大范围气象因子，局地气象因子具有直接相关、更容易精准观测等特点，常被作为病虫害预测模型中的关键输入因子，主要包括温度、湿度、降雨、风、光照等核心气象因子（张雪雪等，2019；马健等，2025）。如陈鹏和叶辉（2007）发现导致云南省六库镇橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 成虫种群随时间变动的主要因素是低温；张柳等（2025）研究发现月平均气温是影响云南省元江哈尼族彝族傣族自治县杧果 *Mangifera indica* 园橘小实蝇种群变化的关键气象因子；陈鑫等（2025）发现平均温度是影响新疆维吾尔自治区库尔勒棉区棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 成虫种群数量的主要气象因子；赵鹏等（2025）通过田间调查发现最高气温及其持续天数是影响北京市大兴区梨园梨小食心虫 *Grapholita molesta* 发生的重要因子之一，与其他气象因子也有一定的相关性。

近年来，受温室气体排放量的影响，全球气候发生了显著变化，气温呈持续上升趋势，极端干旱、极端高温、极端降水等气候事件呈现不确定性增加趋势，这使得有害生物分布区域不断扩大，发生世代增加，生态适应性变异，进而暴发成灾（门兴元和戈峰，2025；马春森等，2025）。受此影响河南省许昌市烟粉虱对露地及设施栽培的辣椒、茄子、番茄等造成严重危害，不仅传播病毒病，还诱发媒污病，导致减产甚至绝收，即使每季用药7~10次，防控效果仍不理想。自2018年以来，每年7月至10月，城市上空烟

粉虱频繁暴发，对居民生活与公众健康构成较大干扰。为明确烟粉虱的垂直空间分布规律及由田间向城市扩散的机制，实现其发生动态的精准监测，本研究于2024年和2025年在许昌市城区和农区共选择3个代表性监测点，开展不同高度及田间的烟粉虱种群动态监测，并定量分析其发生动态与温度、湿度、风速等气象因子的关系，以期阐明城区与农田烟粉虱暴发的可能原因，为制订高效防控策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试监测设备：规格为15 cm×25 cm、含有高效信息素的黄色粘虫板，中捷四方生物科技有限公司；睿眼轻便悬挂式害虫智能监测设备，杭州睿坤科技有限公司，自带15 cm×10 cm黄色粘虫板。

供试气象资料：本研究涉及的气象资料由许昌市气象局提供，主要包括2024年和2025年旬平均气温X_1、旬平均最高气温X_2、旬平均最低气温X_3、旬极端最高气温X_4、旬极端最低气温X_5、旬平均相对湿度X_6、旬降水量X_7、旬平均风速X_8、旬日照时数X_9共9个气象因子。

1.2 方法

1.2.1 许昌市城区和农区烟粉虱的监测

城区监测地点设在许昌市魏都区许昌市农业科学院行政办公区，于2024—2025年每年的5月1日，在距离地面0.5 m及9 m两个垂直高度层分别设置3个位点，间隔8 m，均悬挂1张15 cm×25 cm含有高效信息素的黄色粘虫板。农区监测地点设在许昌市建安区蒋李集镇，涉及两个监测点，一个位于蒋李集镇试验基地附近的办公区域，黄色粘虫板布置方法与城区监测点一致；另一个监测点设置在主要种植甘蓝*Brassica oleracea*、辣椒及大豆的田间，在距离地面0.5 m高度处均匀设置3个点，间隔8 m，各悬挂1张15 cm×25 cm含有高效信息素的黄色粘虫板，布设时间同城区。同时分别在城区、农区这3个监测点，在距离地面1.3 m处分别悬挂睿眼轻便悬挂式害虫智能监测设备1台，与布设的黄色粘虫板区域紧邻，间距约3 m。

在烟粉虱发生初期（即田间初见成虫至种群密度显著上升前）每7~10 d更换1次黄色粘虫板；在烟粉虱发生高峰期（即种群数量快速上升阶段），每1~2 d更换1次。每次更换时同步记录单板诱捕的烟粉虱成虫数量，并基于重复取样数据计算单位时间平均诱捕量，进而构建种群动态变化趋势图。智能设备监测与人工监测同时进行，智能监测设备后台会自动识别黄色粘虫板上烟粉虱数量，每日09: 00记录新增烟粉虱数量及总数，黄色粘虫板更换时间与人工监测一致，更换后点击换板，数据会自动更新记录。

1.2.2 烟粉虱种群动态与气象因子的相关性分析

使用Excel 2019软件进行数据统计，并利用SPSS 27统计软件对河南省许昌市9个气象因子数据与2024—2025年监测得到的烟粉虱种群数量进行相关性分析和主成分分析，使用Origin Pro2021软件绘图。

2 结果与分析

2.1 许昌市农区和城区的烟粉虱种群动态

2024年和2025年，采用黄色粘虫板对烟粉虱成虫种群动态进行了连续2年的定点监测。烟粉虱成虫始见期两年间集中在5月中下旬至6月中下旬，其中在农区监测点成虫始见期两年间均集中于5月中下旬至6月中下旬；而城区监测点成虫始见期在两年间存在明显差异，始见期在2025年较2024年提前23~30 d；除城区距离地面0.5 m监测点外，2025年其他监测点的烟粉虱发生高峰期整体呈提前趋势，较2024年早11~17 d；城区与农区烟粉虱的终见期基本一致，集中于11月下旬至12月上旬（表1）。

许昌市农区和城区各监测点两年间烟粉虱种群数量变化趋势总体相似，除2024年城区监测点烟粉虱种群数量呈多峰型外，其余各监测点烟粉虱种群数量均表现为双峰型，且第1个高峰的种群数量明显高于第2个高峰（图1）。在农区监测点，于烟粉虱发生高峰期，2024年办公区距离地面0.5 m和9 m高度处的单板诱虫量平均分别为28 600头和17 992头，田间距离地面0.5 m处的单板诱虫量平均为6 396头；2025年这3个监测点的单板诱虫量分别上升至29 184、18 204和21 248头（表1）。在城区监测点烟粉虱发生高峰期的诱集量亦明显上升，2024年距离地面0.5 m和9 m高度处的单板诱虫量平均分别为5 005头和2 097头，2025年分别达29 761头和15 123头（表1），表明城区环境中烟粉虱的增幅最明显。

2.2 人工监测与智能设备监测结果的对比

为评估智能设备对烟粉虱的监测效果，将其与人工监测数据进行对比。由于2025年智能设备监

测数据不完整，因此本研究仅比对2024年智能设备监测结果。2024年，在烟粉虱种群中、高密度期（7月5日至11月4日），智能设备监测结果（图2-A）与人工监测数据（图2-B）基本一致，农区办公区和田间及城区3个监测点人工监测烟粉虱发生高峰日在9月15日、9月20日和9月10日，智能设备监测对应峰值出现在9月18日、9月23日和9月8日。然而，在烟粉虱发生初期（始见期至初盛期）以及末期（终见期前低密度阶段），智能设备监测结果与人工监测结果的偏差较大（图2）。

表1　2024年和2025年河南省许昌市农区和城区不同监测高度烟粉虱的发生期

Table 1　Occurrence period of *Bemisia tabaci* at different monitoring heights in agricultural and urban areas of Xuchang, Henan Province in 2024 and 2025

地点 Site	距地高度 Height above ground/m	始见日 First appearance date	高峰日 Peak date	终见日 Last appearance date	高峰期单板诱虫量 Peak-period catch per card
农区办公区 Office area in agricultural area	0.5	2024-06-14	2024-09-15	2024-12-02	28 600（2024）
		2025-06-16	2025-09-03	2025-11-26	29 184（2025）
	9.0	2024-06-28	2024-09-20	2024-12-02	17 992（2024）
		2025-06-23	2025-09-03	2025-11-26	18 204（2025）
农区田间 Field in agricultural area	0.5	2024-06-14	2024-09-20	2024-12-02	6 396（2024）
		2025-06-16	2025-09-03	2025-11-26	21 248（2025）
城区 Urban area	0.5	2024-06-13	2024-09-10	2024-11-26	5 005（2024）
		2025-05-14	2025-09-10	2025-12-03	29 761（2025）
	9.0	2024-06-13	2024-09-21	2024-11-26	2 097（2024）
		2025-05-21	2025-09-10	2025-11-26	15 123（2025）

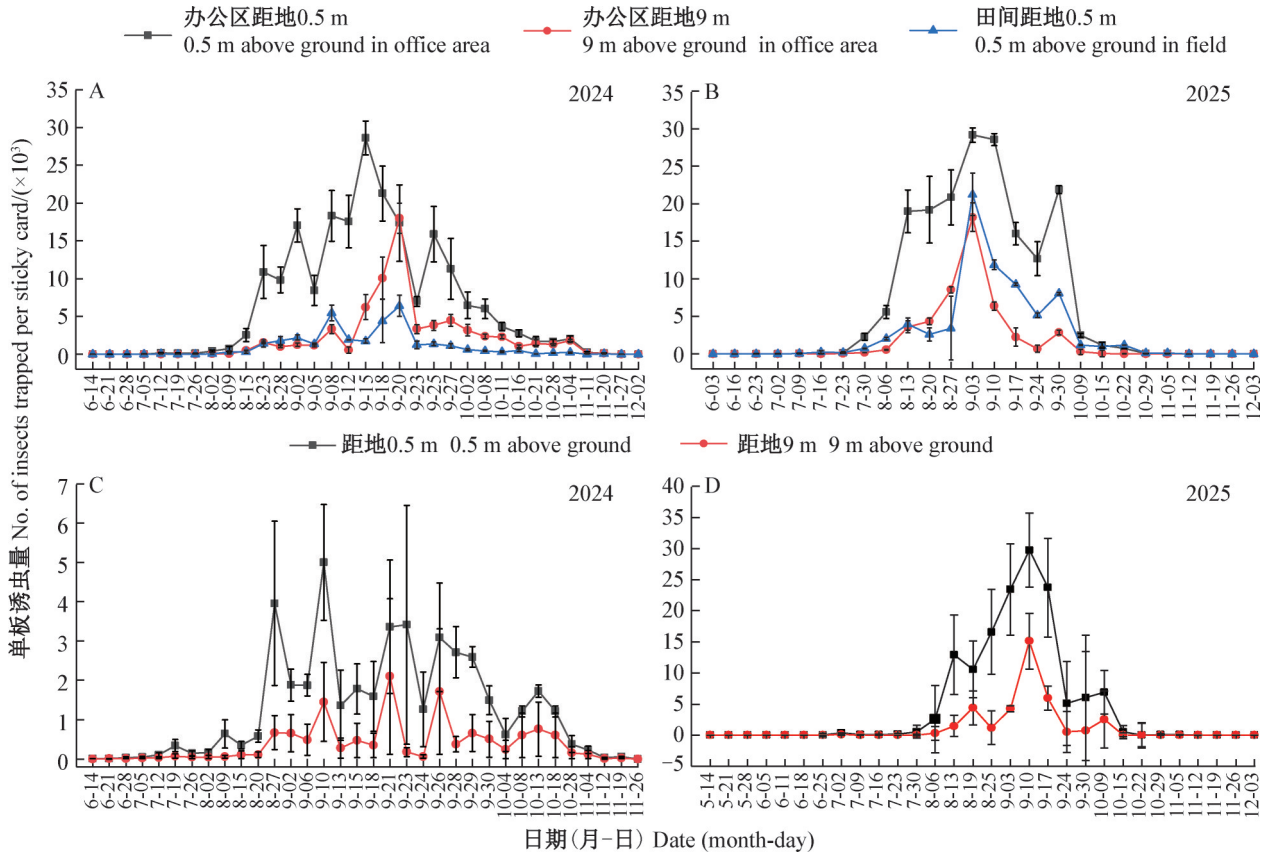


图1　2024年和2025年河南省许昌市农区（A~B）和城区（C~D）不同高度烟粉虱发生动态

Fig. 1　Occurrence dynamics of *Bemisia tabaci* at different heights in agricultural (A−B) and urban areas (C−D) of Xuchang, Henan Province in 2024 and 2025

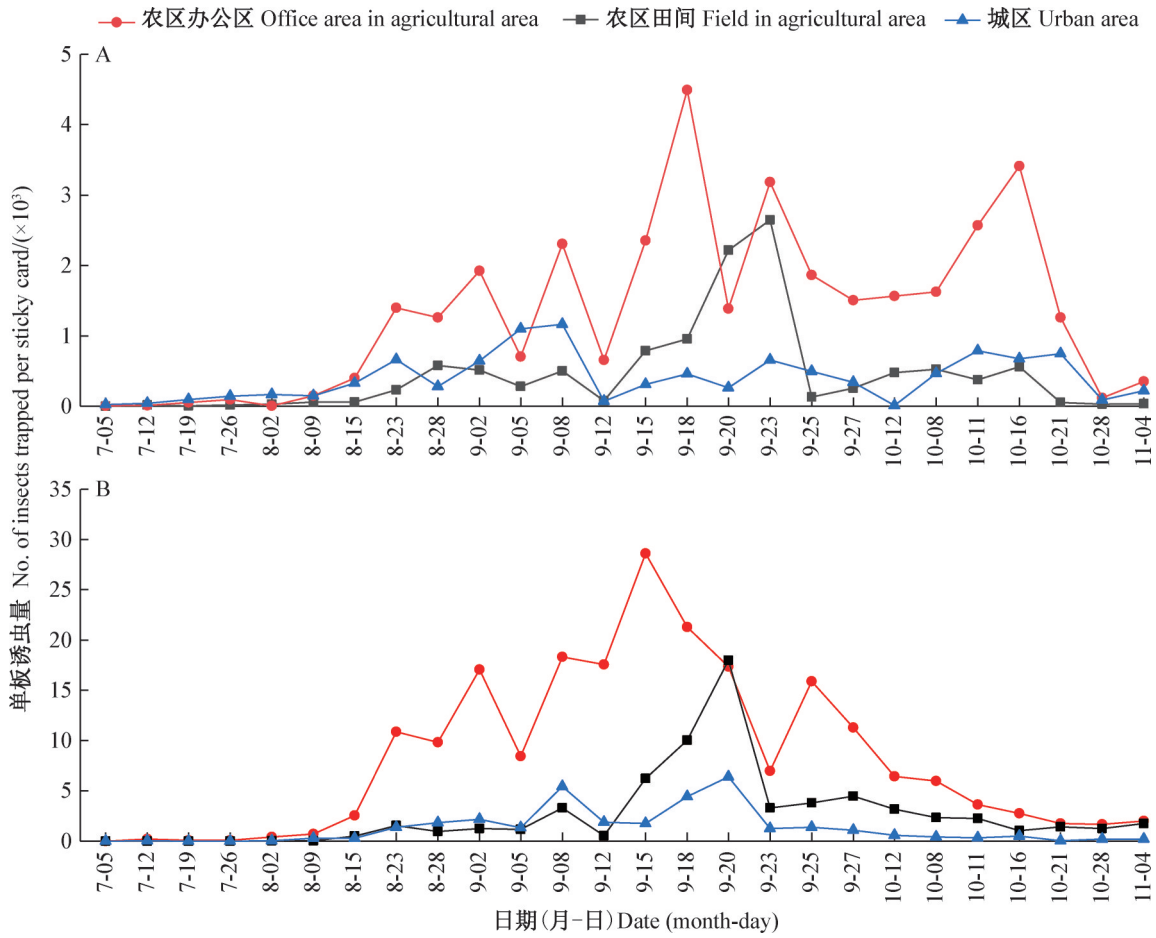


图2 2024年河南省许昌市农区和城区智能设备(A)与人工(B)监测下的烟粉虱发生动态

Fig. 2 Population dynamics of *Bemisia tabaci* in agricultural and urban areas of Xuchang, Henan Province in 2024 monitored by intelligent devices (A) and manual observation (B)

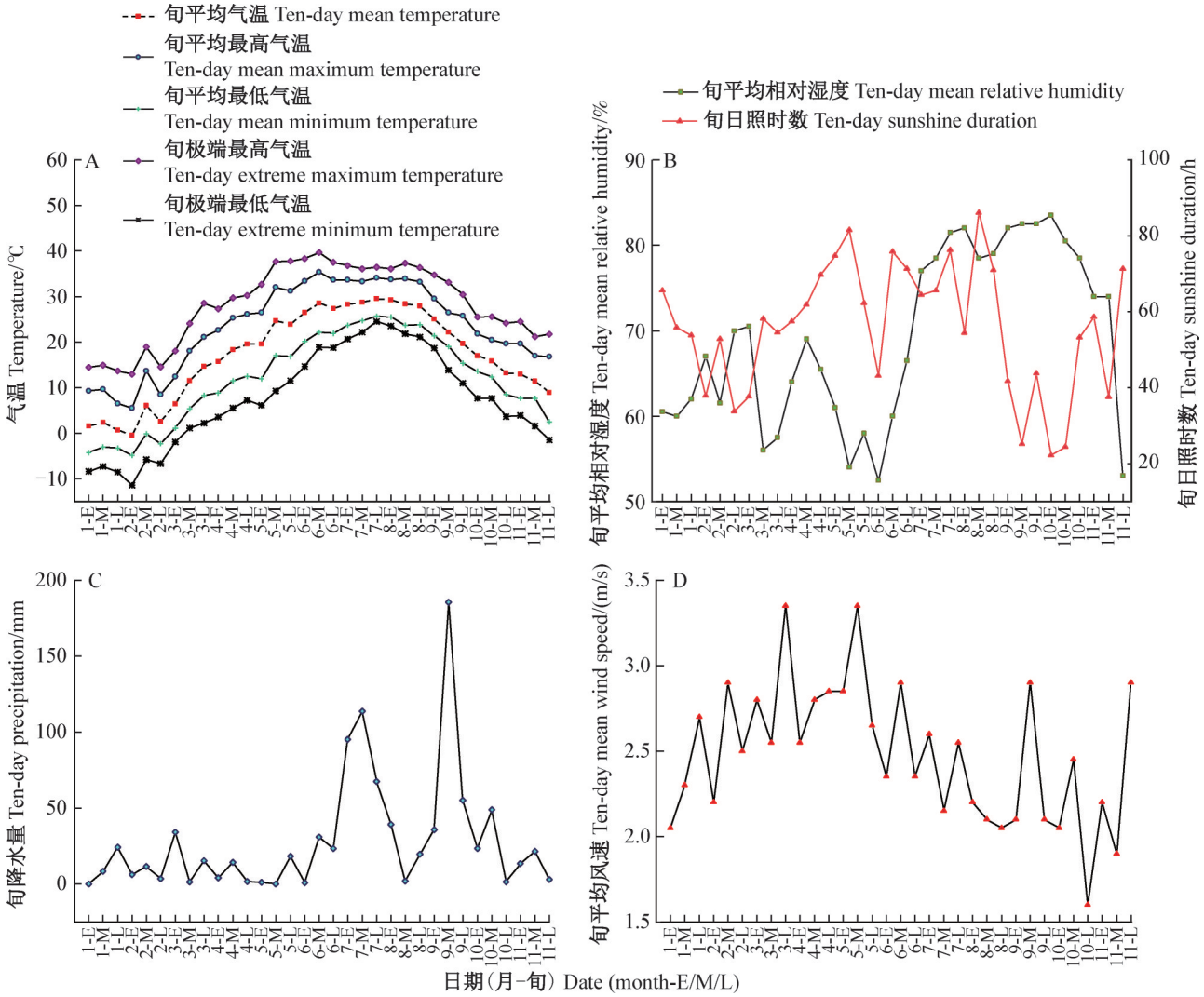
2.3 相关气象因子动态的分析

对许昌市2024年和2025年的9个气象因子进行动态分析,结果显示,旬平均气温在1—11月为−0.45~29.55 ℃,全年温差较大,在烟粉虱发生的5—10月为13.25~29.55 ℃,此时段的温差较小,与该时段烟粉虱生长发育、存活和繁殖的温度具有一致性;旬平均最高气温、旬平均最低气温、旬极端最高气温和旬极端最低气温在1—11月分别为5.55~34.1、−4.9~25.7、13.0~39.7和−11.4~24.5 ℃,在烟粉虱发生的5—10月则分别为19.7~34.1、24.15~25.7、24.15~39.7和−6.15~24.5 ℃(图3-A)。旬平均相对湿度在1—11月为52.5%~83.5%,其中7月中旬至10月中旬为78.5%~83.5%;旬日照时数在1—11月为22.2~75.85 h,在9月中旬至10月中下旬为22.2~25.2 h,日照时数较低(图3-B)。旬平均降水量在1—11月为0~185.55 mm,其中9月中旬降雨量最大,达185.55 mm(图3-C)。旬平均风速在1—11月为1.6~2.9 m/s,其中在5月中旬达最高,为3.35 m/s(图3-D)。

2.4 许昌市烟粉虱种群数量与气象因子的相关性分析

相关性分析结果显示,在农区办公区,距离地面0.5 m高度处烟粉虱种群数量与旬平均气温X_1、旬平均最高气温X_2、旬平均最低气温X_3、旬极端最高气温X_4、旬极端最低气温X_5、旬平均相对湿度X_6均呈极显著正相关(P<0.01),与旬平均风速X_8呈显著负相关(P<0.05),与旬降水量X_7呈显著正相关(P<0.05),与旬日照时数X_9呈显著负相关(P<0.05);距离地面9 m高度处烟粉虱种群数量与X_1、X_2、X_3、X_5、X_6均呈极显著正相关(P<0.01),与X_8呈极显著负相关(P<0.01),与X_4呈显著正相关(P<0.05),与X_9呈显著负相关(P<0.05);在农区田间,距离地面0.5 m高度处烟粉虱种群数量与X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7均呈极显著正相关(P<0.01),与X_8呈极显著负相关(P<0.01),与X_9呈显著负相关(表2)。在城区距离地面

0.5 m和9 m高度处烟粉虱种群数量均与X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7呈极显著正相关(P<0.01)，均与X_8呈极显著负相关(P<0.01)，而与X_9无显著相关性(表3)。说明温度、湿度、风速和日照时数对烟粉虱种群动态均有较大影响，城市中日照时数对烟粉虱种群动态的影响较小。另外，9个气象因子相互之间有18~21个呈极显著相关(P<0.01)，有2~4个呈显著相关(P<0.05)，说明各气象因子之间存在显著的相互作用。



E、M、L表示上、中、下旬。E, M, and L indicate the early, middle, and late ten-day periods of a month.

图3　2024年和2025年河南省许昌市相关气象因子动态

Fig. 3　Temporal dynamics of key meteorological factors in Xuchang, Henan Province during 2024 and 2025

图中数据均为2024年和2025年两年的平均数。Data in the figure represent the two-year average of 2024 and 2025.

2.5　主要气象因子的主成分分析

各个气象因子之间存在严重共线性，因此将9个气象因子进行主成分分析。提取到初始特征值>1的主成分共3个，第1主成分的特征值为5.051，方差贡献率为56.12%，代表了全部性状信息的56.12%，是最主要的主成分；第2主成分的特征值为2.047，方差贡献率为22.74%，累计代表了全部性状信息的78.87%；第3主成分的特征值为0.980，方差贡献率为10.89%，累计代表了全部性状信息的89.75%。表明这3个主成分可展现出影响许昌市烟粉虱种群数量变化的气象因子89.75%以上的性状信息，因此这3个主成分可作为影响许昌市烟粉虱种群数量动态的气象因素综合指标。

第1主成分的主要影响因子为旬平均气温X_1、旬平均最高气温X_2、旬平均最低气温X_3、旬极端最高气温X_4、旬极端最低气温X_5，因子载荷分别为0.996、0.979、0.989、0.959、0.976(表4)，说明第1主成分主要反映的是与烟粉虱种群数量变动相关的气

温特性，将其视为气温综合指标。第2主成分的主要影响因子为旬平均相对湿度X_6、旬降水量X_7、旬平均风速X_8、旬日照时数X_9，因子载荷分别为0.865、0.646、−0.542、−0.711，其中旬平均风速和旬日照时数为负向作用（表4），说明第2主成分主要反映了影响烟粉虱种群数量变动的气象因子中湿度、风速与日照的特性，将其视为风−湿−日反向协同指标。第3主成分的主要影响因子为旬平均风速X_8和旬日照时数X_9，因子载荷分别为0.801和−0.368，其中旬日照时数为负向作用（表4），说明第3主成分主要反映了影响烟粉虱种群数量变动的气象因子中风速与日照的特性，将其视为风−日照反向协同指标。

表2 河南省许昌市农区烟粉虱种群数量与9个气象因子的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of *Bemisia tabaci* population size with nine meteorological factors in agricultural areas of Xuchang, Henan Province

参数 Parameter	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Y_1	0.468**	0.389**	0.559**	0.344**	0.587**	0.639**	0.266*	−0.372**	−0.230*
Y_2	0.381**	0.309**	0.468**	0.255*	0.495**	0.586**	0.207	−0.405**	−0.233*
Y_3	0.468**	0.383**	0.560**	0.339**	0.591**	0.663**	0.278**	−0.385**	−0.217*
X_1		0.982**	0.980**	0.945**	0.968**	0.259*	0.210*	0.018	0.322**
X_2			0.933**	0.969**	0.918**	0.119	0.110	0.064	0.418**
X_3				0.888**	0.990**	0.406**	0.297**	−0.047	0.188
X_4					0.867**	0.055	0.070	0.147	0.387**
X_5						0.443**	0.312**	−0.086	0.182
X_6							0.650**	−0.454**	−0.492**
X_7								−0.051	−0.403**
X_8									0.107

*和**分别表示在0.05和0.01水平（双尾）显著相关。Y_1：农区办公区距地0.5 m处烟粉虱种群数量；Y_2：农区办公区距地9 m处烟粉虱种群数量；Y_3：农区田间距地0.5 m处烟粉虱种群数量；X_1：旬平均气温；X_2：旬平均最高气温；X_3：旬平均最低气温；X_4：旬极端最高气温；X_5：旬极端最低气温；X_6：旬平均相对湿度；X_7：旬降水量；X_8：旬平均风速；X_9：旬日照时数。* or ** indicates significant correlation at the 0.05 or 0.01 level (two-tailed). Y_1: *B. tabaci* population size in office area at 0.5 m above ground in agricultural area; Y_2: *B. tabaci* population size in office area at 9 m above ground in agricultural area; Y_3: *B. tabaci* population size in field at 0.5 m above ground in agricultural area; X_1: ten-day mean temperature; X_2: ten-day mean maximum temperature; X_3: ten-day mean minimum temperature; X_4: ten-day extreme maximum temperature; X_5: ten-day extreme minimum temperature; X_6: ten-day mean relative humidity; X_7: ten-day precipitation; X_8: ten-day mean wind speed; X_9: ten-day sunshine duration.

3 讨论

城市及农田生态系统中烟粉虱的暴发对城市居民生活及农区农业生产带来巨大影响，监测烟粉虱成虫的种群数量变化是对其进行预测的主要手段之一。本研究于2024—2025年连续2年对河南省许昌市农区和城区不同高度的烟粉虱种群发生动态及气象数据进行了分析，发现每年5月中下旬到6月中下旬烟粉虱开始出现，之后随着气温的升高，烟粉虱种群数量急剧增加，在9月上中旬达到第1个明显高峰，后受降雨量的影响，烟粉虱种群数量下降，在9月底10月初达到第2个小高峰。10月以后，气温开始下降，烟粉虱种群数量逐渐减少，至12月上旬消失。姚尧等（2024）研究表明河南省洛阳市烟田烟粉虱成虫大致在6月下旬至7月上旬开始发生，8月下旬至9月中旬为盛发期，其种群峰值出现时间会因不同年份气候变化有所差异，这与本研究结果一致。丁雪玲等（2018）研究发现福建省建瓯市露地烟粉虱始见期为3月下旬，种群夏季高峰期在7月中下旬，秋季高峰期在10月中下旬；陈鹏等（2023）研究发现，山东省烟田烟粉虱种群数量在5月下旬逐渐上升，7月中旬至下旬达高峰，7月下旬至8月下旬逐渐降低。由此可知，烟粉虱的发生动态与特点具有显著的地域异质性，其高峰期出现时间与当地地理区位、气候特征（如积温、降水及湿度条件）密切相关。

昆虫是一类典型的变温动物，对自身温度的调控能力有限，外界环境的变化对其生命活动有很大的影响。本研究通过相关性分析与主成分分析发现，温度是影响烟粉虱种群数量变化的最重要的气

象因子，许昌市城区和农区监测地点不同高度及田间的烟粉虱种群数量变动与旬平均气温、旬平均最高气温、旬平均最低气温、旬极端最高气温、旬极端最低气温均极显著相关，这与前人的研究结果具有一致性（Shen et al.，2023；Turechek et al.，2023）。烟粉虱生长的最适温度为18~30 ℃，在此范围内随着温度的升高烟粉虱发育速率加快，超过34 ℃以上的高温会影响种群的发育繁殖，导致种群衰退（向玉勇等，2007；崔旭红等，2009）。许昌市5—9月的旬平均气温为19.55~29.55 ℃，极端最高气温为32.7~39.7 ℃，因此这个时段烟粉虱种群数量急剧上升并达到高峰。2025年烟粉虱始见期与高峰期较2024年提前，且2025年虫量及发生程度明显高于2024年，这可能与气候、寄主植物及烟粉虱越冬卵较上年较多有关。

表3 河南省许昌市城区烟粉虱种群数量与9个气象因子的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of *Bemisia tabaci* population size with nine meteorological factors in the urban area of Xuchang, Henan Province

参数 Parameter	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Y_1	0.519**	0.453**	0.607**	0.397**	0.629**	0.629**	0.340**	−0.381**	−0.180
Y_2	0.509**	0.445**	0.594**	0.389**	0.614**	0.610**	0.322**	−0.379**	−0.203
X_1		0.980**	0.978**	0.938**	0.966**	0.228*	0.242*	0.040	0.357**
X_2			0.929**	0.959**	0.914**	0.091	0.151	0.080	0.452**
X_3				0.881**	0.989**	0.383**	0.323**	−0.036	0.222*
X_4					0.859**	0.019	0.118	0.180	0.414**
X_5						0.417**	0.339**	−0.080	0.214*
X_6							0.626**	−0.454**	−0.489**
X_7								−0.045	−0.355**
X_8									0.138

*和**分别表示在0.05和0.01水平（双尾）显著相关。Y_1：城区距地0.5 m处烟粉虱种群数量；Y_2：城区距地9 m处烟粉虱种群数量；X_1：旬平均气温；X_2：旬平均最高气温；X_3：旬平均最低气温；X_4：旬极端最高气温；X_5：旬极端最低气温；X_6：旬平均相对湿度；X_7：旬降水量；X_8：旬平均风速；X_9：旬日照时数。* or ** indicates significant correlation at the 0.05 or 0.01 level (two-tailed). Y_1: *B. tabaci* population size at 0.5 m above ground in urban area; Y_2: *B. tabaci* population size at 9 m above ground in urban area; X_1: ten-day mean temperature; X_2: ten-day mean maximum temperature; X_3: ten-day mean minimum temperature; X_4: ten-day extreme maximum temperature; X_5: ten-day extreme minimum temperature; X_6: ten-day mean relative humidity; X_7: ten-day precipitation; X_8: ten-day mean wind speed; X_9: ten-day sunshine duration.

表4 气象因子中3个主成分相关矩阵的特征向量

Table 4 Eigenvectors of the three principal component correlation matrix for meteorological factors

主成分 Principal component	特征向量 Eigenvector								
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
F_1	0.996	0.979	0.989	0.959	0.976	0.288	0.259	0.029	0.313
F_2	−0.046	−0.157	0.093	−0.186	0.110	0.865	0.646	−0.542	−0.711
F_3	−0.001	−0.023	0.000	0.069	−0.032	−0.107	0.430	0.801	−0.368

X_1：旬平均气温；X_2：旬平均最高气温；X_3：旬平均最低气温；X_4：旬极端最高气温；X_5：旬极端最低气温；X_6：旬平均相对湿度；X_7：旬降水量；X_8：旬平均风速；X_9：旬日照时数。X_1: Ten-day mean temperature; X_2: ten-day mean maximum temperature; X_3: ten-day mean minimum temperature; X_4: ten-day extreme maximum temperature; X_5: ten-day extreme minimum temperature; X_6: ten-day mean relative humidity; X_7: ten-day precipitation; X_8: ten-day mean wind speed; X_9: ten-day sunshine duration.

环境湿度主要包括空气相对湿度和土壤含水量，其变化直接影响昆虫体内含水量，进而影响昆虫个体发育及群体发生规律。同时，降雨还可通过物理冲刷作用改变昆虫种群发生动态（常晓娜等，2008）。有研究表明，高湿（相对湿度在90%以上）和低湿（相对湿度在21%以下）环境均不利于烟粉虱成虫存活，烟粉虱若虫在相对湿度30%以下发育最快；相对湿度在60%左右有利于温室内烟粉虱种

群的增长；降雨量和降雨时长的增加可使烟粉虱成虫虫口减退率达90%以上（陈夜江等，2001；林克剑等，2004；顾爱祥等，2019）。本研究发现许昌市农区和城区监测地点烟粉虱种群数量变化均与旬相对湿度极显著相关，与旬降雨量极显著或显著相关，这与上述研究结果一致。2024年和2025年9月许昌市的旬相对湿度在80%以上，降雨量最高达185.55 mm，导致烟粉虱虫口数量急剧下降；而5—9月相对湿度在69%左右，降雨量为55%左右，适宜烟粉虱生存，因此此时其种群数量急剧上升。

烟粉虱的飞行能力很弱，主要靠气流扩散，风速会影响烟粉虱的起飞及飞行方向。本研究发现许昌市城区与农区监测点烟粉虱种群动态与旬平均风速极显著负相关。有研究报道，低风速有助于烟粉虱起飞并能使之到达一定高度，但当风速达1.0~5.0 m/s时起飞虫量与风速呈负相关（Isaacs et al.，1999；周福才等，2007），这与本研究结果基本一致。2024年和2025年许昌市全年风速超过1.6 m/s，这会在一定程度上压低烟粉虱种群数量。烟粉虱一般顺风飞行，进入城市并暴发成灾可能与风向也有关，仍需要进一步研究验证。

对昆虫而言，光照并非其生存的必备条件，但外界光照条件（光性质及光周期）会直接或间接影响其行为活动、趋性反应及整体生活习性（刘倩等，2015）。张慧杰等（2005）通过田间调查发现烟粉虱在光照充足的时候比较活跃，空中捕获量会增加。常燕和祝树德（2007）通过室内研究发现烟粉虱成虫具有强趋光性，光周期对各虫态存活率、产卵量、成虫寿命和种群增长均有显著影响。本研究发现在许昌市农区距离地面0.5 m和9 m高度处烟粉虱种群的数量变化与旬日照时数呈显著负相关，这与上述研究结果有一定差异，推测可能与温度、湿度等有关，这些要素占主导地位时抵消了光周期的促进作用，同时烟粉虱成虫偏好在植物叶片背面取食，使得长日照强光下其种群数量被抑制，最终使两者呈现负相关。

近年来，人工智能与物联网等技术的快速发展为农业害虫智能化监测提供了新路径。2024年，本研究在许昌市农区与城区设置烟粉虱智能监测设备，其监测的烟粉虱发生高峰期与人工监测结果高度一致，而在烟粉虱发生初期与末期二者存在较大偏差。推测出现这种差异的主要原因是在烟粉虱发生初期及后期，其他趋黄性昆虫出现在黄色粘虫板上，使得智能监测仪器无法正确识别烟粉虱的数量，导致监测数据不准确。尽管存在上述局限，该智能监测设备仍展现出显著的应用价值，可大幅度降低劳动力投入。依托其高频次、长时序数据采集能力，有望进一步拓展至种群动态建模、发生期预测与风险预警等应用方面，从而为烟粉虱的精准化防控决策提供支撑。

综上所述，本研究采用黄色粘虫板通过人工与智能设备对河南省许昌市烟粉虱的种群发生动态进行监测，明确了烟粉虱种群发生动态特征，并初步分析了许昌市烟粉虱的发生规律及与气象因子之间的关系。研究结果将为许昌市或相同气候区辣椒、大豆、蔬菜等重要经济作物的烟粉虱防控提供参考依据，同时也为近年来河南省及其他省份烟粉虱进入城市并暴发的原因解析提供了依据。

参 考 文 献（References）

Chang XN, Gao HJ, Chen FJ, Zhai BP. 2008. Effects of environmental moisture and precipitation on insects: a review. Chinese Journal of Ecology, 27(4): 619−625 (in Chinese) [常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 翟保平. 2008. 环境湿度和降雨对昆虫的影响. 生态学杂志, 27(4): 619−625]

Chang Y, Zhu SD. 2007. Effect of photoperiods on development and reproduction of the *Bemisia tabaci*. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 35(36): 11894−11896 (in Chinese) [常燕, 祝树德. 2007. 光周期对烟粉虱生长发育及繁殖的影响. 安徽农业科学, 35(36): 11894−11896]

Chen P, Guan ES, Wang DH, Zhou XH, Zhang XX, Zhang AS. 2023. Study on population dynamics and spatial distribution characteristics of *Bemisia tabaci* in Shandong tobacco fields. Shandong Agricultural Sciences, 55(1): 118−123 (in Chinese) [陈鹏, 管恩森, 王大海, 周仙红, 张秀霞, 张安盛. 2023. 山东烟田烟粉虱种群消长动态和空间分布特征研究. 山东农业科学, 55(1): 118−123]

Chen P, Ye H. 2007. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Liuku, Yunnan with an analysis of the influencing factors. Acta Entomologica Sinica, 50(1): 38−45 (in Chinese) [陈鹏, 叶辉. 2007. 云南六库桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析. 昆虫学报, 50(1): 38−45]

Chen X, Song BM, Jia MY, Hu DQ, Wang DM, Pan HS. 2025. Effect of meteorological factors on the population dynamics of *Helicoverpa armigera* adults in the Korla cotton-growing region of Xinjiang. Chinese Journal of Applied Entomology, 62(3): 689−698 (in Chinese) [陈鑫, 宋冰梅, 贾孟瑶, 胡得琴, 王冬梅, 潘洪生. 2025. 新疆库尔勒棉区棉铃虫成虫种群动态与气象因子相关性分析. 应用昆虫学报, 62(3): 689−698]

Chen YJ, Luo HW, Huang J, Yang AL. 2001. Eeffect of humidity on the experimental population of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). Entomological Journal of East China, 10(2): 76−80 (in Chinese) [陈夜江, 罗宏伟, 黄建, 杨阿龙. 2001. 湿度对烟粉虱实验种群的影响. 华东昆虫学报, 10(2): 76−80]

Cui XH, Zheng D, Pu GL, Liu WX. 2009. Effects of temperature on development, survival and fecundity of B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Journal of Plant Protection, 36(6): 571−572 (in Chinese) [崔旭红, 郑丹, 蒲桂林, 刘万学. 2009. 温度对B型、Q型烟粉虱生长发育、存活和繁殖的影响. 植物保护学报, 36(6): 571−572]

De Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, Dinsdale AB. 2011. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. Annual Review of Entomology, 56: 1−19

Ding XL, Zheng Y, Yao FL, Lu XS, He YX. 2018. Factors affecting the population dynamics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Fujian Province. Chinese Journal of Applied Entomology, 55(6): 1074−1080 (in Chinese) [丁雪玲, 郑宇, 姚凤銮, 卢学松, 何玉仙. 2018. 福建省烟粉虱种群消长动态及影响因素分析. 应用昆虫学报, 55(6): 1074−1080]

Gu AX, Zhang WD, Zhou FC, Wu YH, Zhang HB, Han DB. 2019. Effects of temperature and rainfall on vegetable *Bemisia tabaci*. Journal of Environmental Entomology, 41(2): 310−315 (in Chinese) [顾爱祥, 张网定, 周福才, 邬亚红, 张海波, 韩杜斌. 2019. 温度和降水对蔬菜烟粉虱的影响. 环境昆虫学报, 41(2): 310−315]

Horowitz AR, Ghanim M, Roditakis E, Nauen R, Ishaaya I. 2020. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. Journal of Pest Science, 93(3): 893−910

Hu MX, Yang ZZ, Li Y, Zhang N, Wang F, Bai YC, Jiao XG, Zhang LX, Liu BM. 2023. Cryptic *Bemisia tabaci* species harboring tomato yellow leaf curl virus and endosymbionts and insecticide resistance monitoring in Tianjin. Journal of Plant Protection, 50(1): 101−110 (in Chinese) [胡明鑫, 杨泽众, 李妍, 张楠, 王芳, 白义川, 焦晓国, 张李香, 刘佰明. 2023. 天津市烟粉虱隐种鉴定及其携带TYLCV、内共生菌. 植物保护学报, 50(1): 101−110]

Isaacs R, Willis MA, Byrne DN. 1999. Modulation of whitefly take-off and flight orientation by wind speed and visual cues. Physiological Entomology, 24(4): 311−318

Lin KJ, Wu KM, Wei HY, Guo YY. 2004. Effects of temperature and humidity on the development, survival and reproduction of B biotype of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) from Beijing. Journal of Plant Protection, 31(2): 166−172 (in Chinese) [林克剑, 吴孔明, 魏洪义, 郭予元. 2004. 温度和湿度对B型烟粉虱发育、存活和生殖的影响. 植物保护学报, 31(2): 166−172]

Liu Q, Gou YP, Liu CZ. 2015. Effects of different temperatures on the growth, development and fecundity of *Bradysia difformis*. Plant Protection, 41(5): 85−87, 109 (in Chinese) [刘倩, 苟玉萍, 刘长仲. 2015. 温度对异迟眼蕈蚊生长发育和繁殖的影响. 植物保护, 41(5): 85−87, 109]

Liu WC, Liu Y, Gong YF. 2011. The long-term task of developing digital monitoring and forecasting of major crop pests. China Plant Protection, 31(1): 25−29 (in Chinese) [刘万才, 刘宇, 龚一飞. 2011. 论重大有害生物数字化监测预警建设的长期任务. 中国植保导刊, 31(1): 25−29]

Ma CS, Lin QC, Zhao F. 2025. Impacts of global climate change on crop pests and diseases. Plant Protection, 51(5): 55−73 (in Chinese) [马春森, 林清彩, 赵飞. 2025. 全球气候变化对作物病虫害的影响. 植物保护, 51(5): 55−73]

Ma J, Liu J, Huang WJ, Feng HQ. 2025. A review and prospect of 50 years of crop diseases and pests monitoring and forecast technologies in China. Plant Protection, 51(5): 87−97 (in Chinese) [马健, 刘杰, 黄文江, 封洪强. 2025. 我国农作物病虫害监测预警技术50年回顾与展望. 植物保护, 51(5): 87−97]

Men XY, Ge F. 2025. Approaches and applications of ecological pest management through farmland landscape optimization. Plant Protection, 51(5): 257−266, 355 (in Chinese) [门兴元, 戈峰. 2025. 基于农田景观的害虫生态防控方法与实践. 植物保护, 51(5): 257−266, 355]

Shen XN, Wang XD, Yang NW, Wan FH, Lü ZC, Guo JY, Liu WX. 2023. Characteristics of the accessible chromatin landscape and transcriptome under different temperature stresses in *Bemisia tabaci*. Genes, 14(10): 1978

Turechek WW, Rennberger G, Adkins S, Lucas L, Parks F, Mellinger HC, Smith HA. 2023. The effect of subfreezing temperatures on survival of *Bemisia tabaci* MEAM1. Crop Protection, 170: 106262

Wang SM. 2009. Review of research on pests forecast based on weather. China Plant Protection, 29(12): 13−16 (in Chinese) [王淑梅. 2009. 基于气象视角的农作物病虫害预测预报研究概况. 中国植保导刊, 29(12): 13−16]

Xiang YY, Guo XJ, Zhang F, Li ZZ, Luo C. 2007. Effects of temperature and humidity on the development and reproduction of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype B. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 22(5): 152−156 (in Chinese) [向玉勇, 郭晓军, 张帆, 李子忠, 罗晨. 2007. 温度和湿度对北京地区B型烟粉虱个体发育和种群繁殖的影响. 华北农学报, 22(5): 152−156]

Yan MH, Li JJ, Liu JL, Yan FM, Bai RE. 2021. Biology and morphology of life stages for Q *Bemisia tabaci*. China Cucurbits and Vegetables, 34(8): 15−20 (in Chinese) [闫明辉, 李静静, 刘佳磊, 闫凤鸣, 白润娥. 2021. 瓜菜害虫Q型烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)形态特征研究. 中国瓜菜, 34(8): 15−20]

Yang J. 2024. m^6A regulates resistance to imidacloprid in Q type whitefly *Bemisia tabaci*. PhD thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [杨静. 2024. m^6A 调控Q型烟粉虱对吡虫啉的抗性机制. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院]

Yao Y, Zhou JX, Miao P, Wang ZY, Hu CY, Qin DH, Xue X, Li WL. 2024. Cryptic species and population dynamics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in tobacco fields in Luoyang. Henan Science, 42(6): 797−803 (in Chinese) [姚尧, 周俊学, 苗圃, 王政阳, 胡常远, 覃德华, 薛娴, 李文亮. 2024. 洛阳烟田烟粉虱隐种类型和消长动态研究. 河南科学, 42(6): 797−803]

Ye CL, Huo ZG, Ding SL, Shi SJ, Wang SY, Hou TT. 2005. Advance in study on formation of meteorological environment causing crop's diseases and insect pests. Journal of Natural Disasters, 14(1): 90−97 (in Chinese) [叶彩玲, 霍治国, 丁胜利, 施生锦, 王素艳, 侯婷

婷. 2005. 农作物病虫害气象环境成因研究进展. 自然灾害学报, 14(1): 90−97]

Zeng J, Wang JQ, Wang FX, Jiang YY, Liu J, Wei QW. 2022. On the theoretical framework and practical significance of “Management Measures for Monitoring and Forecasting Crop Diseases and Pests”. China Plant Protection, 42(1): 5−9, 17 (in Chinese) [曾娟, 王建强, 王福祥, 姜玉英, 刘杰, 魏启文. 2022. 论《农作物病虫害监测与预报管理办法》的理论框架与实践意义. 中国植保导刊, 42(1): 5−9, 17]

Zhang HJ, Duan GQ, Zhang ZB, Wang XM, Wang JJ, Zhang LP. 2005. Temporal and spatial niche dynamics in diurnal cycle of *Bemisia tabaci* adult and its spatial pattern. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 11(1): 55−58 (in Chinese) [张慧杰, 段国琪, 张战备, 王晓民, 王娇娟, 张丽萍. 2005. 烟粉虱成虫的昼夜时空动态及空间格局. 应用与环境生物学报, 11(1): 55−58]

Zhang L, Yu DH, Li HW, Shi WP, Wang YN, Yu YX, Chen AD. 2025. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* in mango orchard in Yuanjiang County, Yunnan Province with an analysis of related climatic factors. Journal of Environmental Entomology, 47(1): 192−198 (in Chinese) [张柳, 余代宏, 李红卫, 石旺鹏, 王雅娜, 于艳雪, 谌爱东. 2025. 云南元江地区芒果园桔小实蝇发生特点与关键气象因子分析. 环境昆虫学报, 47(1): 192−198]

Zhang N, Yang ZZ, Wang FP, Hu MX, Wang F, Xu WH, Bai YC, Gu XS, Guo ZJ, Jiao KL, et al. 2022. Molecular identification and genetic diversity analysis on *Bemisia tabaci* parasitic wasp, *Eretmocerus* spp. in Tianjin. Journal of Environmental Entomology, 44(4): 815−822 (in Chinese) [张楠, 杨泽众, 王富平, 胡明鑫, 王芳, 徐维红, 白义川, 谷希树, 郭兆将, 焦克龙, 等. 2022. 天津地区寄生烟粉虱的桨角蚜小蜂分子鉴定和遗传多样性分析. 环境昆虫学报, 44(4): 815−822]

Zhang XX, Wang B, Tian YY, Yuan L, Jiang YY, Dong YY, Huang WJ, Zhang JC. 2019. Research progress on forecasting mechanism and methodology for crop disease and insect pest. Journal of Agricultural Science and Technology, 21(5): 110−120 (in Chinese) [张雪雪, 王斌, 田洋洋, 袁琳, 姜玉英, 董莹莹, 黄文江, 张竞成. 2019. 作物病虫害预测机理与方法研究进展. 中国农业科技导报, 21(5): 110−120]

Zhao P, Yang XL, Sun SJ, Gao XH, Zhang SD, Liu XX. 2023. The effect of temperature and humidity on the population dynamics of *Grapholita molesta* in pear orchards in Daxing District, Beijing. Chinese Journal of Applied Entomology, 60(1): 216−222 (in Chinese) [赵鹏, 杨雪琳, 孙圣杰, 高旭辉, 张松斗, 刘小侠. 2023. 北京市大兴区梨园梨小食心虫发生动态与温湿度的关系. 应用昆虫学报, 60(1): 216−222]

Zhou FC, Wang Y, Ren SX, Zhu SD, Zhou ZH. 2007. Flight behaviors of *Bemisia tabaci* and corresponding IPM strategies. Chinese Journal of Applied Ecology, 18(2): 451−455 (in Chinese) [周福才, 王勇, 任顺祥, 祝树德, 周泽华. 2007. 烟粉虱的飞行行为与害虫综合治理策略. 应用生态学报, 18(2): 451−455]

（责任编辑：李美娟）