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*

陈 鑫[1, 2**] 宋冰梅[2, 3] 贾孟瑶[1, 2] 胡得琴[2, 3] 王冬梅[2] 潘洪生[2***]

（1. 新疆农业大学农学院，棉花教育部工程研究中心，乌鲁木齐 830052；
2. 新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所，国家植物保护库尔勒观测实验站，乌鲁木齐 830091；
3. 新疆大学生命科学与技术学院，新疆生物资源和基因工程重点实验室，乌鲁木齐 830046）

摘 要 **【目的】** 明确新疆库尔勒棉区棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 成虫种群动态和发生规律，分析其与气象因子的相关性，为棉铃虫监测预警和防控技术的制定提供参考。**【方法】** 2021-2024 年使用高空诱虫灯监测新疆库尔勒棉区棉铃虫成虫种群动态，并分析其与小型气象站收集的气象数据的相关性。**【结果】** 新疆库尔勒棉区棉铃虫主要发生在 4 月上旬至 9 月下旬，一年 4 代，越冬代成虫始见日出现在每年的 4 月上旬，5 月下旬是第 1 代棉铃虫成虫发生高峰期，但虫量相对较少；6 月下旬至 7 月上旬第 2 代棉铃虫成虫的种群数量出现明显的峰值，是棉铃虫为害的主要时期；8 月上旬是第 3 代棉铃虫成虫的发生高峰期，但虫量与第 2 代相比明显下降;8 月下旬开始棉铃虫成虫种群数量逐渐减少,并保持在较低的水平。2021-2024 年棉铃虫成虫种群动态与气象因子相关性分析表明：棉铃虫成虫种群数量与平均温度、最高温度呈显著性正相关（P<0.05），相关系数 r 分别为 0.48 和 0.50；广义线性回归分析表明：平均温度是影响棉铃虫成虫种群数量的主要气象因子。**【结论】** 新疆库尔勒棉区棉铃虫成虫种群动态与温度具有显著正相关性，这为该地区棉铃虫的预测预报和综合防治奠定了理论基础。

关键词 库尔勒棉区；棉铃虫；高空诱虫灯；种群动态；气象因子

Effect of meteorological factors on the population dynamics of *Helicoverpa armigera* adults in the Korla cotton-growing region of Xinjiang

CHEN Xin[1, 2**] SONG Bing-Mei[2, 3] JIA Meng-Yao[1, 2] HU De-Qin[2, 3]
WANG Dong-Mei[2] PAN Hong-Sheng[2***]

(1. Engineering Research Center of Cotton, Ministry of Education, College of Agricultural, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. National Plant Protection Scientific Observation and Experiment Station of Korla, Institute of Plant Protection, Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract **[Aim]** To clarify the population dynamics and occurrence patterns of *Helicoverpa armigera* adults in the Korla cotton-growing region of Xinjiang, and analyze the correlation between these and meteorological factors, to improve the monitoring, early warning, prevention, and control, of this pest. **[Methods]** The population dynamics of *H. armigera* adults in the Korla cotton-growing region of Xinjiang were monitored using high-altitude lamp traps from 2021 to 2024, and correlated with meteorological data collected from small meteorological stations in the Korla region. **[Results]** *H. armigera* in the Korla cotton-growing region of Xinjiang has four generations annually, with most activity occurring from early April to late September. Overwintering generation adults first appear in early April, followed by a relatively low peak in the abundance of first-generation adults in late May. A significant increase in the population of second-generation adults is observed between

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2022YFD1400300）；新疆棉花产业技术体系（XJARS-03）

**第一作者 First author，E-mail：912716703@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：panhongsheng0715@163.com

收稿日期 Received：2025-02-25；接受日期 Accepted：2025-03-23

late June and early July, which is the main period of infestation. The third-generation adult population peaks in early August, but at a noticeably lower level compared to the second generation. From late August onward, adult populations gradually decline and remain at minimal levels. There are significant positive correlations between the population dynamics of *H. armigera* and meteorological factors recorded between 2021 and 2024, including between population abundance and both mean (r=0.48, P<0.05) and maximum temperature (r=0.50, P<0.05). Generalized linear regression indicates that average temperature was the main meteorological factor affecting the abundance of *H. armigera* adults. **[Conclusion]** There was a significant positive correlation between the population dynamics of *H. armigera* adults and temperature in the Korla cotton-growing region of Xinjiang. This finding provides an important theoretical foundation for the prediction and comprehensive control of *H. armigera*.

Key words Korla cotton-growing region; *Helicoverpa armigera*; high-altitude trap lamp; population dynamics; meteorological factors

棉铃虫是影响棉花生产的主要害虫之一，具有多食性、高繁殖力、兼性滞育等特点（Tay *et al.*，2013；Downes *et al.*，2017）。此外，棉铃虫还具有远距离迁飞习性，可随气流长时间转移至新的生境继续为害，扩大了不同地理种群间的基因交流频率，从而有利于提高棉铃虫对不同环境的适应性（金琳，2017）。以上特点导致棉铃虫在条件适宜时极易暴发成灾，已给全球农作物生产安全带来严重威胁（Jones *et al.*，2018；Kumari *et al.*，2024）。20 世纪 70-80 年代，棉铃虫在世界范围内间歇性暴发成灾，20 世纪 90 年代初在我国大面积暴发。据统计，1992 年棉铃虫在我国各种作物上累计发生面积达 2 192 万 hm^2，造成直接经济损失逾百亿元，严重制约了棉花与其它多种作物的生产（陆宴辉等，2018）。棉铃虫主要以幼虫危害棉花的嫩头、叶片、蕾、花和幼铃（Liu *et al.*，2024），啃食棉花嫩尖、嫩叶，形成孔洞或缺刻，造成“无头棉”（李铜，2024）；棉蕾被蛀食后，苞叶张开发黄，2-3 d 后脱落；花的柱头和花药被害后，不能授粉结铃；青铃被蛀成孔洞后，常诱发病菌侵染，造成烂铃（帕热提·艾山，2024）。

气象因子是影响昆虫种群动态的重要因素，棉铃虫幼虫喜中温高湿环境，在适宜的温度、湿度和降水环境极易暴发成灾（赵平等，2022；黄建，2024），其中，温度和湿度最易影响棉铃虫的发育速度、存活率和繁殖能力（Mironidis，2014）。23-26 ℃是棉铃虫交配与产卵的最佳温度范围，而过高或过低的相对湿度均会缩短其雌成虫的寿命，适量的降水量同样有利于棉铃虫种群的增长（Liu *et al.*，2024）。当连续 2 d 出现超过 16 h 的湿润天气后，棉铃虫卵孵化时间及幼虫生长发育速度会加快（李胄和唐保善，2017；赵平等，2022），1991-2015 年的数据分析表明，随着气候变暖，第 1 代和第 2 代棉铃虫相对数量有所下降，但第 3 代则呈现上升趋势（Huang and Hao，2020）。长期观测发现气候变化导致气温升高可能改变棉铃虫各代次的数量分布，因此应对棉铃虫进行长期监测，掌握棉铃虫的种群动态与发生规律以便更好的进行预测预报（Huang，2021）。

害虫监测与预报一直是农业生产领域内安全风险防控的前哨，是农业健康生产的基础（曾娟等，2022），增强对害虫的监测预警能力，提高其准确性和时效性，是害虫防控工作的迫切需求（刘万才等，2011）。目前，国内外针对害虫种群及迁飞动态的监测方法包括田间调查、性诱剂、灯光诱集（姜玉英等，2021；唐继洪等，2022）。其中，灯诱又分为黑光灯、太阳能杀虫灯、虫情测报灯、高空探照灯和地面灯等多种类型，而高空探照灯可诱集空中迁飞昆虫种群，与性信息素相比，其作用的范围更大，时效性强（丁奎婷等，2023）。与大田调查相比，其耗费的人力较少，具有较大的优势（唐继洪等，2022），故其广泛应用于亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*（王丽丽等，2024）、黏虫 *Mythimna separata*（姜玉英等，2016）、草地螟 *Loxostege sticticalis*（张熠琀等，2022）等多种害虫的预测预报与种群调查。棉铃虫成虫属于夜行性害虫，具有较强的趋光性，灯诱既可以诱杀棉铃虫成虫，又可监测其种群发生

动态（王淑玲，2019；张晓雪等，2023；黄健，2024）。目前，南疆库尔勒棉区棉铃虫成虫的发生情况及其与该地区气象因子的相关性鲜有报道。基于此，本研究于 2021-2024 年在新疆兼具天山南北气候特点的巴音郭楞蒙古自治州（简称“巴州”）的库尔勒棉区，采用高空诱虫灯监测棉铃虫成虫的种群动态，并分析其与气象因子的相关性，以期为棉铃虫的预测预报提供虫情信息，同时为当地棉铃虫的综合防控提供理论指导。

1　材料与方法

1.1　供试材料

1.1.1　监测工具　监测工具为高空诱虫灯（以下简称“高空灯”），该装置的结构组成包括 NTC9200A 防震型投光灯（浙江皇隆照明科技有限公司）、自制大型白铁皮漏斗和钢筋支架。光源为 J1000 W 的金卤灯（欧司朗照明有限公司），光通量为 105 000 lm，发出的光柱可对 500 m 高度以内的空中迁飞昆虫产生明显的诱集作用。探照灯下方白铁皮漏斗连接自制的尼龙纱布集虫笼，用于收集诱集到的昆虫。

1.1.2　气象数据来源　气象数据均收集自新疆巴州库尔勒市和什力克乡新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所库尔勒试验基地（41.45°N，85.48°E）的小型气象站（ET-107，北京天诺基业科技有限公司）。主要包括多种类型的气象传感器，如 HMP50-ET 温湿度传感器、TE525ET 雨量桶、034B-ETM 风速风向传感器或 WindSonic1-ETM 二维超声风速传感器、CS305 净辐射传感器、107/108 土壤温度探头、CS616 土壤水分传感器等，一套 CR1 000M 测量与控制模块，一套 3 m 铝制支架以及一块 7 Ah 可充电电池。可使用交流电或 10 W 的太阳能板为电池充电。该装置可监测空气温湿度、土壤温湿度、总辐射量、风速、风向、降雨量及气压等多种气象数据。

1.2　试验方法

高空灯设置在新疆巴州库尔勒市和什力克乡新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所库尔勒试验基地空旷的地面上，周边主要种植作物为棉花，还有少量的小麦、玉米等农作物。高空灯从 4 月上旬开始监测，9 月下旬结束，其开关由定时器自动控制，每晚 21：00 定时开启，次日 07：00 关闭，每日工作 10 h。每天上午 10：00 将集虫笼带回室内，统计每日诱捕到的棉铃虫雌雄成虫数量。

1.3　数据分析

首先对高空灯诱捕到的棉铃虫和小型气象站收集到的气象数据进行记录与整理，然后使用 Excel 2019 和 Origin 2019 绘制棉铃虫种群动态图和气象数据变化图，分析高空灯下棉铃虫诱捕量的动态变化特征以及气象变化规律；如正态检验发现数据不符合正态分布，则利用 SPSS 20.0 进行 Spearman（斯皮尔曼）相关性分析。使用 R 语言对相关性结果呈现为显著的变量和前一代的种群数量进行方差膨胀因子分析（VIF），根据 VIF<2 的原则进行变量筛选，以避免变量自相关程度过高。将筛选出来的变量作为解释变量，当代棉铃虫种群数量作为响应变量建立以 log 为链接函数的负二项分布的广义线性模型作为全模型。利用 step 函数对全模型执行逐步回归，以 AIC 最小为原则筛选出最优模型。

2　结果与分析

2.1　棉铃虫成虫种群动态

2021-2024 年高空灯下诱捕的棉铃虫成虫种群数量波动较大，2022 年种群数量最多达 30 386 头，6 月份是棉铃虫成虫的暴发期，诱虫量为 16 220 头，占总诱虫量的 53.38%，6 月 20 日为全年最高值，有 1 952 头（图 1）。通过 4 年的监测，库尔勒棉区棉铃虫总共分为 4 代，越冬代棉铃虫成虫（G_0）大约在 4 月中旬出现，4 月下旬是越冬代成虫羽化高峰期；第 1 代棉铃虫（G_1）羽化高峰期在 5 月下旬，这一时期虫量发生的相对较少；6 月下旬至 7 月上旬第 2 代棉铃虫（G_2）的种群数量出现明显的峰值，且持续一段时间，

其峰值极显著高于其它世代（P<0.01），是棉铃虫为害棉花的主要时期；8 月上旬是第 3 代棉铃虫（G_3）的羽化高峰期，但其发生虫量与第 2 代相比数量明显下降（P=0.33）；8 月下旬开始棉铃虫种群数量逐渐减少，保持在较低的水平（表 1，图 1）。

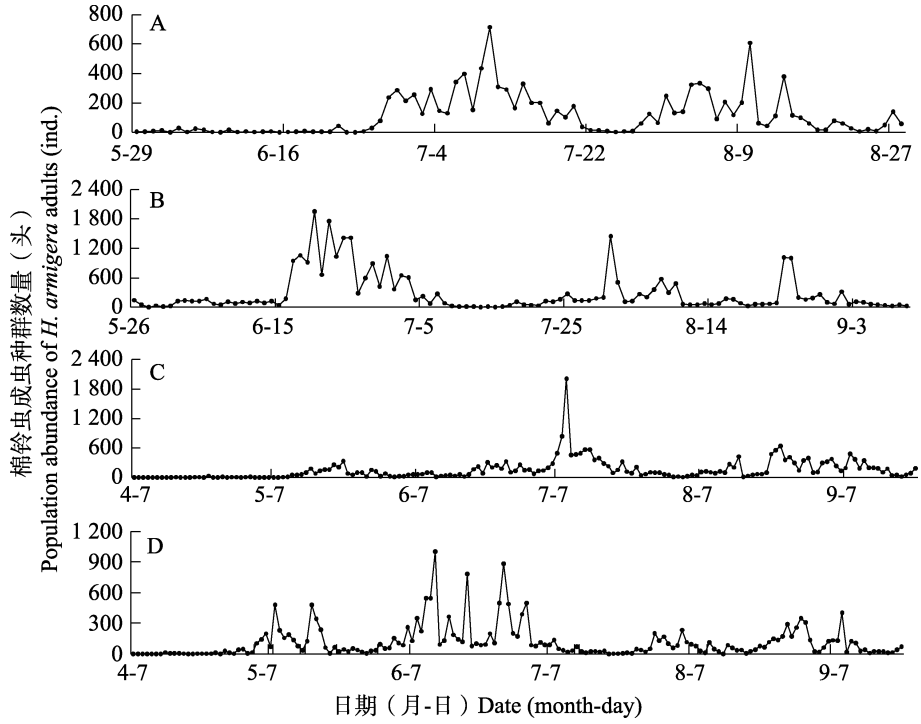

图 1　2021-2024 年库尔勒棉区棉铃虫成虫种群动态

Fig. 1　Population dynamics of *Helicoverpa armigera* adults in the Korla cotton-growing region from 2021 to 2024

A. 2021；B. 2022；C. 2023；D. 2024.

表 1　2021-2024 年库尔勒棉区棉铃虫成虫各世代出现时间

Table 1　The period of each generation of *Helicoverpa armigera* adults in the Korla cotton-growing region from 2021 to 2024

	日期 Date	2021	2022	2023	2024
4 月 April	上旬 The first ten-day period	—	—	●	●
	中旬 The middle ten-day period	—	—	●	●
	下旬 The last ten-day period	—	—	●	●
5 月 May	上旬 The first ten-day period	—	—	●	◂
	中旬 The middle ten-day period	—	—	◂	◂
	下旬 The last ten-day period	—	—	◂	◂
6 月 June	上旬 The first ten-day period	◂	◂	◂	▲
	中旬 The middle ten-day period	◂	▲	▲	▲
	下旬 The last ten-day period	▲	▲	▲	▲
7 月 July	上旬 The first ten-day period	▲	▲	▲	▲
	中旬 The middle ten-day period	▲	▸	▲	▶
	下旬 The last ten-day period	▸	▸	▶	▶

续表 1 (Table 1 continued)

	日期 Date	2021	2022	2023	2024
8 月 August	上旬 The first ten-day period	▶	▶	▶	▶
	中旬 The middle ten-day period	▶	▶	▶	▶
	下旬 The last ten-day period	▼	▼	▼	▼
9 月 September	上旬 The first ten-day period	—	—	▼	▼
	中旬 The middle ten-day period	—	—	▼	▼
	下旬 The last ten-day period	—	—	▼	▼

—: 未开展监测; ●: 越冬代（G_0）; ◀: 第 1 代（G_1）; ▲: 第 2 代（G_2）; ▶: 第 3 代（G_3）; ▼: 第 4 代（G_4）。
—: No monitoring carried out; ●: Overwintering generation (G_0); ◀: 1st generation (G_1); ▲: 2nd generation (G_2); ▶: 3rd generation (G_3); ▼: 4th generation (G_4).

2.2　棉铃虫成虫不同世代发生期的气象因子

2021、2022 年和 2023 年日平均温度和日最高温度最大值均出现在棉铃虫的 G_2 代发生时期（图 2：A-C），日平均温度分别为 26.17、26.51 和 27.04 ℃，日最高温度分别为 33.36、33.73 和 34.09 ℃。2024 年的日平均温度、日最高温度与日最低温度最大值均出现在棉铃虫的 G_3 代发生时期，分别为 26.56、33.95 和 19.75 ℃。2021-2024 年日相对湿度的最大值均出现在棉铃虫的 G_3 代发生时期，分别为 48.04%、51.93%、53.80%和 53.64%。不同世代时期的日降雨量没有明显的变化规律（图 2：D，E）。

2.3　棉铃虫成虫种群数量与气象因子相关性

对库尔勒棉区 2021-2024 年棉铃虫成虫世代种群数量（N）与同世代日平均温度（T_avg）、日最高温度（T_max）、日最低温度（T_min）、日相对湿度（RH）、日降雨量（P）的 Spearman 相关性发现，库尔勒棉区棉铃虫成虫种群数量（N）与日平均温度（T_avg）、日最高温度（T_max）均具有显著正相关关系（P<0.05），相关系数分别为 0.48 和 0.50（图 3）。

2.4　棉铃虫成虫种群数量与气象因子的回归分析

广义线性模型分析结果表明，全模型中当代温度和前一代种群数量解释了 21.09%的当代棉铃虫种群数量的总方差。其中当代平均温度对其具有显著性影响，随着当代平均温度的逐渐增加，当代棉铃虫的种群数量逐渐上升。逐步回归剔除了前一代种群数量这一固定因子，最优模型解释了 20.48%的当代棉铃虫种群数量的总方差，这表明前一代种群数量对当代的种群数量影响较小（0.61%的总方差），最优模型结果与全模型一致（表 2，图 4）。

3　讨论

监测棉铃虫的种群动态是对其进行预测预报的主要手段之一，对提升棉花生产能力以及保障棉花产业的可持续发展具有至关重要的作用（Feng *et al.*，2010；杨龙，2020）。本文于 2021-2024 年通过高空灯监测新疆库尔勒棉区棉铃虫成虫种群动态，并分析其与气象数据的相关性。结果表明，新疆库尔勒棉区棉铃虫成虫的始见期为 4 月上旬，越冬代成虫羽化的高峰期集中在 4 月下旬，第 1 代棉铃虫成虫高峰期为 5 月下旬。第 2 代棉铃虫的羽化高峰期在 6 月下旬至 7 月上旬，这一世代棉铃虫成虫出现明显的峰值，且持续一段时间，其峰值显著高于其它世代。8 月上旬是第 3 代棉铃虫的羽化高峰期，其发生虫量与第 2 代相比明显下降；8 月下旬开始棉铃虫种群数量逐渐减少，保持在较低的水平。同时，该地区不同世代棉铃虫成虫种群数量与当前世代的平均温度、平均最高温度均具有正相关关系。因此，温度是影响新疆库尔勒棉区棉铃虫成虫种群动态的主要气象因子。

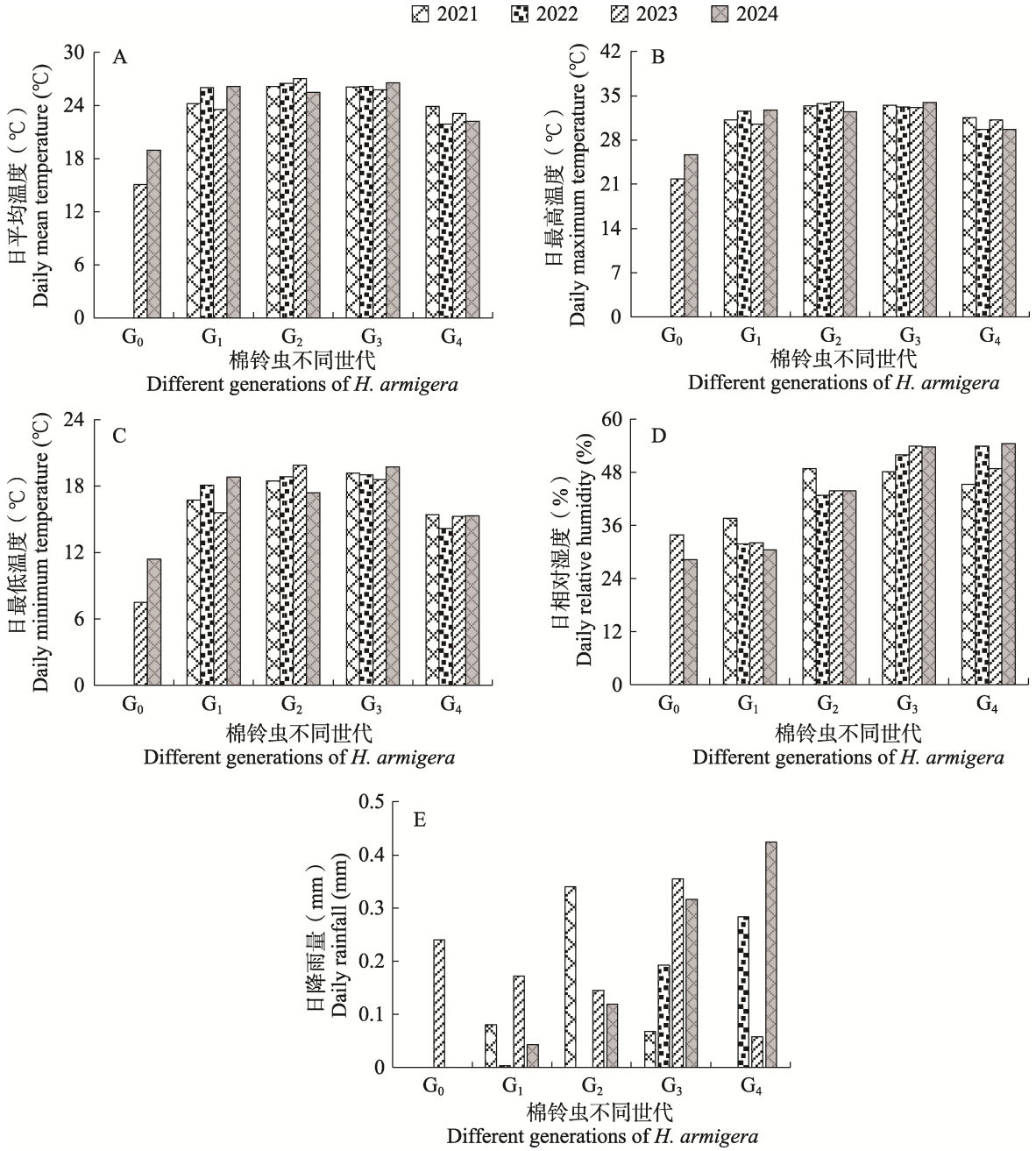

图 2　2021-2024 年库尔勒棉区棉铃虫成虫不同世代发生期的气象因子

Fig. 2　Meteorological factors in different generations of *Helicoverpa armigera* adults in the Korla cotton-growing region from 2021 to 2024

A. 日平均气温；B. 日最高温度；C. 日最低温度；D. 日相对湿度；E. 日降雨量。

G_0：越冬代；G_1：第 1 代；G_2：第 2 代；G_3：第 3 代；G_4：第 4 代。

A. Daily mean temperature. B. Daily maximum temperature; C. Daily minimum temperature; D. Daily relative humidity; E. Daily precipitation. G_0: Overwintering generation; G_1: 1st generation; G_2: 2nd generation; G_3: 3rd generation; G_4: 4th generation.

诱虫灯是监测虫情的一个窗口，田间发生虫量一定程度上可以通过灯诱虫量反映，诱虫量也是害虫预测预报的基础（叶位等，2024）。利用棉铃虫成虫的趋光性进行诱捕可减少田间害虫的发生量，趋光性技术已应用于多种害虫的诱捕（李志勇等，2024）。然而，气象因子是影响害

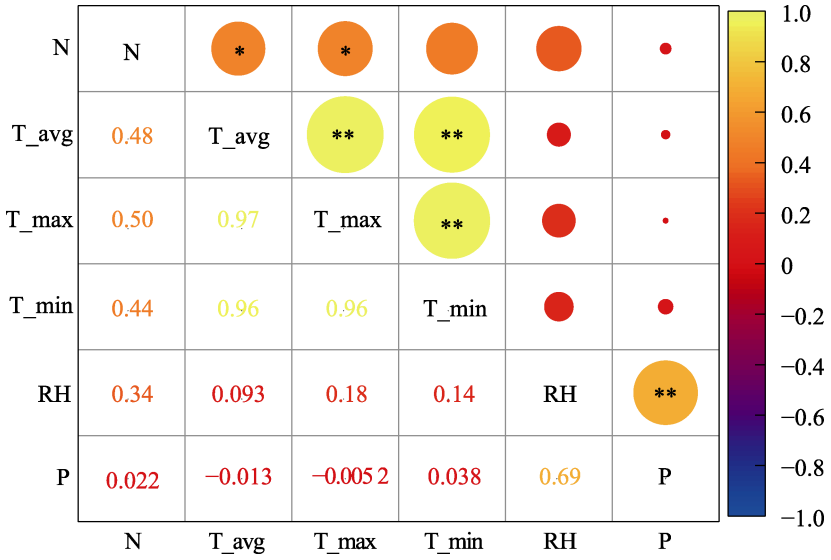

图 3　库尔勒棉区棉铃虫成虫种群数量与气象因子 Spearman 等级相关热图

Fig. 3　Correlation heat map of Spearman rank of *Helicoverpa armigera* adult populations and meteorological factors in the Korla cotton-growing region

N：种群数量；T_avg：日平均温度；T_max：日最高温度；T_min：日最低温度；RH：相对湿度；P：降雨量。试验采用双变量相关性分析中的 Spearman 相关系数进行分析，左下角数字代表相关系数，颜色深浅和圆圈大小代表相关性，颜色越深圆圈越大代表相关性越强（*：$P \leqslant 0.05$，**：$P \leqslant 0.01$）。

N: Population size; T_avg: Daily mean temperature; T_max: Daily maximum temperature; T_min: Daily minimum temperature; RH: Relative humidity; P: Precipitation.

The study employed Spearman's rank correlation coefficient from bivariate correlation analysis for statistical evaluation. The numerical values in the lower left quadrant denote correlation coefficients, while the chromatic intensity and circular dimensions serve as visual indicators of correlation strength - with deeper hues and larger diameters representing more robust correlations (* denotes statistical significance at $P \leqslant 0.05$ level, ** denotes statistical significance at $P \leqslant 0.01$ level).

表 2　气象因子对 2021-2024 年棉铃虫成虫不同世代种群数量的影响

Table 2　Effects of meteorological factors on the population abundance of different generations of *Helicoverpa armigera* adults from 2021 to 2024

模型 Model	变量 Variables	估计 Estimate	*Z*	*P*	AICc	R^2
最优模型 Optimization model	截距 Intercept	4.882 7	29.75	<0.001***	203.05	0.204 8
	平均温度 Mean temperature	0.863 5	3.85	<0.001***		
全模型 Whole model	截距 Intercept	4.879 8	29.89	<0.001***	206.33	0.210 9
	平均温度 Mean temperature	0.822 5	4.70	<0.001***		
	前一代种群数量 Parental generation population size	- 0.078 1	- 0.47	0.642		

虫发生及诱虫灯诱捕的一个主要原因（Nowinszky *et al.*，2014）。本研究发现库尔勒地区每年棉铃虫成虫的始见期为 4 月上旬，越冬代成虫羽化的高峰期集中在 4 月下旬。罗兰等（2018）对新疆不同区域棉铃虫发生期及田间消长动态分析发现，吐鲁番市棉铃虫越冬代成虫发生期约为 4 月上旬至 5 月上旬，越冬代成虫羽化盛期在 4 月下旬，这与本文研究结果一致。棉铃虫主要以滞育蛹越冬，当气温下降到一定程度，高龄的棉铃虫便会钻入地表土层，然后化蛹并以蛹的形式越冬（Reddy *et al.*，2015）。玛伊热·艾则孜等（2016）研究了 9 个不同种群棉铃虫的抗寒能力，发现随

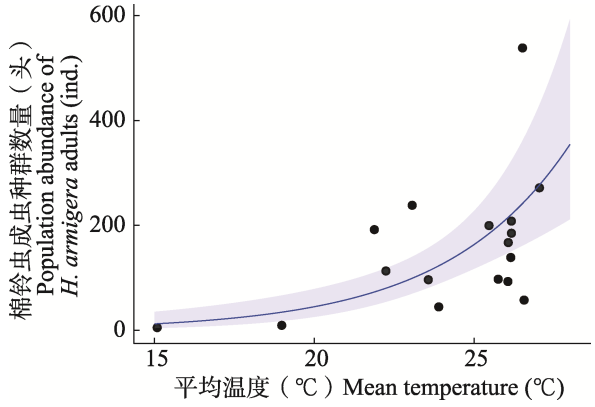

图 4　棉铃虫成虫种群数量与平均温度的关系

Fig. 4　Relationship between population abundance of *Helicoverpa armigera* adults and mean temperature

纬度升高棉铃虫不同地理种群的滞育蛹和非滞育蛹的过冷却点均呈下降趋势。越冬代棉铃虫发生量对翌年一代棉铃虫卵量和田间幼虫量具有较大影响。越冬代成虫发生量较大，一代卵及田间幼虫量也较大，若当地种植小麦、玉米面积较大，将为第 1 代棉铃虫提供相对适宜的发生环境，从而为第 2 代幼虫为害棉花提供基础（Huang and Hao，2020）。温度变化模式以及极端温度事件的发生频率和强度的变化会影响昆虫对温度升高的反应，特别是对于那些通常经历昼夜温差并接近热性能极限的物种（黄建，2024）。这意味着温度波动可能会影响棉铃虫的生长发育速度、繁殖率及存活率（Zhong *et al.*，2024）。通过对种群数量与气象因子动态分析发现，第 1 代棉铃虫成虫发生高峰期通常在 5 月下旬，该世代棉铃虫整体虫量相对较少，可能是因为这一时期少雨和温度偏低，棉铃虫未处在最适合发育繁殖的环境（赵平等，2022）。第 2 代棉铃虫成虫的羽化高峰期集中在 6 月下旬至 7 月上旬，这一世代棉铃虫成虫出现明显的峰值，并且持续一段时间，其峰值显著高于其它世代，这主要是因为这一时期气温适宜，有利于棉铃虫的发育和繁殖（Liu *et al.*，2024）。

气象因子对不同害虫的影响不同，温度和降雨量是影响种群动态最重要的因素，进一步影响诱虫灯的诱虫效果（郑光楠等，2023）。棉铃虫的发育主要受气象条件制约，温度、相对湿度、降水量均对棉铃虫的发育过程具有影响，尤其以温度影响最为显著（吴孔明和郭予元，2007；段桂云等，2008；赵平等，2022）。本文通过气象因子与棉铃虫成虫种群数量的相关性分析发现，2021-2024 年平均温度、平均最高温度与棉铃虫成虫种群数量均具有显著正相关关系，这表明无论是在特定地区还是更广泛的地理范围内，温度对于棉铃虫种群的增长有着直接的影响。在气候变暖的大趋势下，可能需要更加重视对棉铃虫的监测与防治。

在实际生产中，往往是多种气象因子在害虫种群动态变化中起着综合作用，温度只作为关键的气象因子之一，不同温度尤其是短时极端高温条件下对棉铃虫种群动态的影响有待进一步探究。此外，不同的农业种植模式和管理方式也会与气象因子相互作用，从而进一步影响棉铃虫的种群动态。例如，作物轮作、间作套种等种植模式可能会改变棉铃虫赖以生存的环境，对其种群数量起到一定的调控作用（杨龙，2020）。同时，灌溉、施肥以及防虫措施等方式也可能通过改变田间的小气候或生态系统结构，间接地影响棉铃虫的生存与繁殖（朱甲明，2017）。因此，气象因子、农业种植模式和管理方式等多重因素之间的相互作用可能共同决定了害虫种群的动态变化规律。未来需要结合长期监测数据，深入研究这些综合作用的具体机制及其对害虫防控的影响。

综上所述，本文以探究南疆库尔勒地区棉铃虫的发生情况与变化趋势为切入点，采用高空灯诱捕棉铃虫成虫，并分析其种群动态与气象因子的相关性，初步掌握了新疆巴州地区棉铃虫发生规律与气象因子的关系，发现在该地区棉铃虫成虫可完整发生 4 代，且温度是影响棉铃虫成虫种群动态的主要气象因子。

参考文献 (References)

Ding KT, Du SJ, Yang NW, Liu WX, Guo JY, 2023. Research progress on comprehensive control techniques of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China. *Journal of Biosafety*, 32(4): 291–302. [丁奎婷, 杜素洁, 杨念婉, 刘万学, 郭建洋, 2023. 草地贪夜蛾综合防控技术研究进展. 生物安全学报, 32(4): 291–302.]

Downes S, Kriticos D, Parry H, Paull C, Schellhorn N, Zalucki MP, 2017. A perspective on management of *Helicoverpa armigera*: Transgenic Bt cotton, IPM, and landscapes. *Pest Management Science*, 73(3): 485–492.

Duan GY, Duan WG, Tian QM, Cao H, Wang XQ, 2008. Analysis on the rule of pest propagation to cotton and the climatic factor in Jiuquan City. *Desert and Oasis Meteorology*, 2(1): 38–40. [段桂云, 段文广, 田庆明, 曹华, 王秀琴, 2008. 酒泉市棉花病虫害发生规律与气象条件的初步分析. 沙漠与绿洲气象, 2(1): 38–40.]

Feng HQ, Gould F, Huang YX, Jiang YY, Wu KM, 2010. Modeling the population dynamics of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) over a wide area in northern China. *Ecological Modelling*, 221(15): 1819–1830.

Huang J, Hao HF, 2020. Effects of climate change and crop planting structure on the abundance of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Ecology and Evolution*, 10(3): 1324–1338.

Huang J, 2021. Effects of climate change on different geographical populations of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae). *Ecology and Evolution*, 11(24): 18357–18368.

Huang J, 2024. Research progress on the relationship between the occurrence and development of *Helicoverpa armigera* and climatic conditions. *Desert and Oasis Meteorology*, 18(1): 1–11. [黄健, 2024. 棉铃虫发生发展与气候条件的关系研究进展. 沙漠与绿洲气象, 18(1): 1–11.]

Jiang YY, Liu J, Zeng J, 2016. Using vertical-pointing searchlight-traps to monitor population dynamics of the armyworm *Mythimna separate* (Walker) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 191–199. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 2016. 高空测报灯监测粘虫区域性发生动态规律探索. 应用昆虫学报, 53(1): 191–199.]

Jiang YY, Liu J, Zeng J, Huang C, Zhang T, 2021. Occurrence of, and damage caused by, major migratory pests and techniques for monitoring and forecasting these in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(3): 542–551. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 黄冲, 张涛, 2021. 我国农作物重大迁飞性害虫发生为害及监测预报技术. 应用昆虫学报, 58(3): 542–551.]

Jin L, 2017. Impacts of natural refuge on resistance evolution to Bt toxin Cry1AC and identification of dominant Bt resistance genes in *Helicoverpa armigera*. Doctor dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [金琳, 2017. 自然庇护所对棉铃虫 Cry1Ac 抗性演化的影响及显性 Bt 抗性基因的鉴定. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学.]

Jones CM, Lim KS, Chapman JW, Bass C, 2018. Genome-wide characterization of DNA methylation in an invasive lepidopteran pest, the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. *G3*: *Genes, Genomes, Genetics*, 8(3): 779–787.

Kumari P, Jarpla M, Reddy NA, Sarangi S, Rajkumari, Vasanthan E, Naveenkumar M, Asvitha M, 2024. Biological interactions and management strategies for the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): A review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(11): 490–507.

Li T, 2024. Occurrence and control of *Helicoverpa armigera* in Heze, Shandong. *Agricultural Engineering Technology*, 44(4): 60–61. [李铜, 2024. 山东菏泽地区棉花棉铃虫的发生与防治. 农业工程技术, 44(4): 60–61.]

Li Z, Tang BS, 2017. Study on the model of predicting the number of eggs per 100 plants of *Helicoverpa armigera* based on principal component analysis of precipitation index. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 26(10): 1554–1558. [李胄, 唐保善, 2017. 基于主成分分析降水量指标预测棉铃虫百株卵量模型研究. 西北农业学报, 26(10): 1554–1558.]

Li ZY, Lu YH, Dong SX, Yang HQ, Ye WP, 2024. Application of green control technology in integrated pest control of sweet and waxy maize. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2024(5): 154–156, 218. [李志勇, 鲁燕华, 董淑娴, 杨焕清, 叶汪萍, 2024. 绿色防控技术在甜糯玉米病虫害综合防治中的应用. 农业科技通讯, 2024(5): 154–156, 218.]

Liu WC, Liu Y, Gong YF, 2011. Discussion on the long-term task of digital monitoring and early warning construction of major pests. *China Plant Protection*, 31(1): 25–29. [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.]

Liu ZQ, Liu BY, Yu H, Zhang HH, He ZP, Zhuo ZH, 2024. The effects of global climate warming on the developmental parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 15(11): 888.

Lu YH, Jiang YY, Liu J, Zeng J, Yang XM, Wu KM, 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 19–24. [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨现明, 吴孔明, 2018. 种植业结构调整增加棉铃虫的灾变风险. 应用昆虫学报, 55(1): 19–24.]

Luo L, 2018. Analysis of population dynamics and influencing factors of *Helicoverpa armigera* in different regions of Xinjiang. Master dissertation. Urumq: Xinjiang Agricultural University. [罗兰, 2018. 新疆不同区域棉铃虫消长动态及影响因子分析. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.]

Mayire·Eziz, Sanawal, Xiamusia, Abdukadir·Bakri, Anwar·Kurban, 2016. A study on the cold resistance of different geographic populations of *Helicoverpa armigera* in Xinjiang. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 39(1): 70–74. [玛伊热·艾则孜, 萨纳瓦尔, 夏木斯亚, 阿不都卡迪尔·拜克力, 安尼瓦尔·库尔班, 2016. 新疆棉铃虫不同地理种群的抗寒性研究. 新疆农

业大学学报, 39(1): 70–74.]

Mironidis GK, 2014. Development, survivorship and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under fluctuating temperatures. *Bulletin of Entomological Research*, 104(6): 751–764.

Nowinszky L, Kiss O, Puskás J, 2014. Effect of weather conditions on light-trap catches of Trichoptera in Hungary (Central Europe). *Polish Journal of Entomology*, 83(4): 269–280.

Parhati · Aishan, 2024. Analysis of *Helicoverpa armigera* pests and control strategies in cotton planting areas. *Grain Oil And Feed Technology*, 2024(3): 18–20. [帕热提 · 艾山, 2024. 棉花种植区棉铃虫虫害及防治策略分析. 粮油与饲料科技, 2024(3): 18–20.]

Reddy GVP, Shi PJ, Hui C, Cheng XF, Ouyang F, Ge F, 2015. The seesaw effect of winter temperature change on the recruitment of cotton bollworms *Helicoverpa armigera* through mismatched phenology. *Ecology and Evolution*, 5(23): 5652–5661.

Tang JH, Lu H, Lü BQ, 2022. Dynamic monitoring and analysis of *Spodoptera frugiperda* trapped by searchlight in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 42(1): 51–55. [唐继洪, 卢辉, 吕宝乾, 2022. 海南草地贪夜蛾高空诱虫灯诱虫动态监测与分析. 热带农业科学, 42(1): 51–55.]

Tay WT, Soria MF, Walsh T, Thomazoni D, Silvie P, Behere GT, Anderson C, Downes S, 2013. A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *PLoS ONE*, 8(11): e80134.

Wang LL, Luan BH, Wang HT, Wang PS, Gao XX, Liu BY, 2024. Analysis of population dynamics and migration status of *Ostrinia furnacalis* under searchlight trap and ground light-trap. *Scientia Agricultura Sinica*, 57(20): 4071–4081. [王丽丽, 栾炳辉, 王洪涛, 王培松, 高兴祥, 刘保友, 2024. 两种诱虫灯下亚洲玉米螟种群动态及迁飞状态分析. 中国农业科学, 57(20): 4071–4081.]

Wang SL, 2019. Occurrence regularity and comprehensive control technology of *Helicoverpa armigera* in Mosuowan reclamation area. *Rural Science and Technology*, 2019(6): 28–30. [王淑玲, 2019. 莫索湾垦区棉铃虫的发生规律与综合防治技术. 农村科技, 2019(6): 28–30.]

Wu KM, Guo YY, 2007. Genotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China. *Plant Protection*, 33(5): 6–11. [吴孔明, 郭予元, 2007. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律. 植物保护, 33(5): 6–11.]

Yang L, 2020. Effects of cropland use changes on population abundance of *Helicoverpa armigera* (Hübner): A landscape perspective. Doctor dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [杨龙, 2020. 景观尺度下作物种植结构调整对棉铃虫种群发生的影响. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Ye W, Di XY, Yang MF, Yan B, Zhu JY, 2024. Population dynamics and analysis of rice water weevil in Pingba, Guizhou. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 43(5): 87–92. [叶位, 狄雪塬, 杨茂发, 严斌, 朱家云, 2024. 贵州平坝灯诱稻水象甲种群动态与分析. 山地农业生物学报, 43(5): 87–92.]

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 of crop pests and diseases". *China Plant Protection*, 42(1): 5–9, 17. [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 XX, Luo MY, Lin ZY, 2023. Overview of integrated control of *Helicoverpa armigera*. S*ichuan Agricultural Science and Technology*, 2023(7): 55–57. [张晓雪, 罗明勇, 林志艺, 2023. 棉铃虫综合防治概述. 四川农业科技, 2023(7): 55–57.]

Zhang YY, Liu J, Zhao SM, Yin XJ, Zhang YH, Bian Y, Zeng J, Jiang YY, 2022. Occurrence characteristics and causes of meadow moth *Loxostege sticticalis* outbreaks in China in 2021. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1372–1384. [张熠扬, 刘杰, 赵素梅, 尹祥杰, 张云慧, 卞悦, 曾娟, 姜玉英, 2022. 2021 年我国草地螟发生特点与原因分析. 应用昆虫学报, 59(6): 1372–1384.]

Zhao P, Cai XL, Su JK, Li YY, 2022. Correlation analysis between meteorological factors and the number of *Helicoverpa armigera* adults in the field. *China Agricultural Abstracts - Agricultural Engineering*, 34(3): 49–52. [赵平, 蔡晓玲, 苏金凯, 李月英, 2022. 气象因素与大田棉铃虫成虫量的相关性分析. 中国农业文摘-农业工程, 34(3): 49–52.]

Zheng GN, Yang XH, Wei ML, Zheng XL, 2023. Population dynamics of *Monochamus alternatus* adults in Guangxi and its correlation with pine stand and meteorological factors. *Scientia Silvae Sinicae*, 59(1): 128–142. [郑光楠, 杨秀好, 韦曼丽, 郑霞林, 2023. 广西松褐天牛成虫种群动态规律及其与林分和气象因子相关性. 林业科学, 59(1): 128–142.]

Zhong TF, Gong LW, Pan YR, Li JW, Lu AY, Liu LM, Wu HY, Zhao ZH, Wang LY, 2024. Performance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in responses to different amplitudes of alternating temperatures across permissive warm temperature regimes. *Journal of Economic Entomology*, 117(3): 1041–1046.

Zhu JM, 2017. Occurrence and control measures of *Helicoverpa armigera* in Altay region. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2017(6): 28. [朱甲明, 2017. 阿勒泰地区棉铃虫发生与防治措施. 新疆农业科技, 2017(6): 28.]