文章编号：1005-0906(2026)01-0111-07 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20260113

漯河地区亚洲玉米螟越冬代种群与温度关系分析

侯艳红[1],杜梦园[1],李卫华[1],陈 莉[1],沈海龙[1],王文豪[1],刘 迪[1],
陈 琦[1],范志业[1],师兴凯[1],李世民[1],黄建荣[2]
(1.漯河市农业科学院/国家农业科学植物保护郾城观测实验站,河南 漯河 462300;
2.河南省农业科学院植物保护研究所/河南省0号昆虫雷达野外科学观测研究站,郑州 450002)

摘 要：为了解亚洲玉米螟越冬代种群与温度的相关关系,指导玉米螟预测预报和田间防治策略,本研究对2006-2023年河南省漯河市自动虫情测报灯和当地温度的历史数据进行分析。结果表明,18年来河南漯河地区1-6月有效温度累积值显著升高100.32 ℃,超过发育起点温度天数显著增加9.37 d;玉米螟越冬代发生关键时间始见日、高峰日和终见日分别显著提前了14.91、10.08和11.17 d。线性回归发现,有效温度累积值与越冬代的发生关键时间呈显著负相关,有效温度累积值每上升10 ℃,始见日、高峰日和终见日分别提前1.35、0.81和0.53 d。

关键词：玉米;亚洲玉米螟;越冬代;发生期提前;有效温度累积值;相关分析
中图分类号：S435.131 **文献标识码**：A

Analysis on the Relationship between Overwintering Generation of *Ostrinia furnacalis* and Temperature in Luohe Area

HOU Yan-hong[1], DU Meng-yuan[1], LI Wei-hua[1], CHEN Li[1], SHEN Hai-long[1], WANG Wen-hao[1], LIU Di[1], CHEN Qi[1], FAN Zhi-ye[1], SHI Xing-kai[1], LI Shi-min[1], HUANG Jian-rong[2]
(1. *Luohe Academy of Agricultural Sciences / National Agricultural Observing and Experimental Station for Plant Protection in Yancheng, Luohe* 462300;
2. *Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences / Entomological Radar Station Zero of Henan Province for Field Scientific Observation and Research, Zhengzhou* 450002, China)

Abstract: To clarify the relationship between overwintering generation of Asian corn borer(ACB), Ostrinia furnacalis(Guenée)and the temperature, and to provide a reference for prediction and control strategies of this pest, an investigation on historical data under monitoring light and local temperature, was carried out in 2006-2023, in Luohe City, Henan Province. The results showed that effective accumulated temperature and the days above developmental threshold temperature had significantly increased 100.32 ℃ and 9.37 d from January to June among an 18-year period, respectively. Additionally, the first occurrence day, peak occurrence day, and last occurrence day(key occurrence dates) of the overwintering generation of ACB had significantly advanced by 14.91, 10.08, and 11.17 days, respectively. Linear regression analysis revealed a significant negative correlation between the effective accumulated temperature and the corresponding key occurrence dates of the overwintering generation. For every 10 ℃ increase in the effective accumulated temperature, the first occurrence day, peak occurrence day, and last occurrence day advanced by 1.35, 0.81, and 0.53 days, respectively.

Key words: Maize; *Ostrinia furnacalis*(Guenée); Overwintering generation; Advanced phenology; Effective temperature accumulation; Correlation analysis

---

录用日期：2024-11-15
基金项目：河南省0号昆虫雷达野外科学观测研究站开放基金项目、河南省重大科技专项(201300111500)、河南省现代农业产业技术体系(HARS-22-01-Z4)、河南省农业科学院基础性科研工作项目(2024JC07)、河南省农业科学院杰出青年基金项目(2023JQ03)
作者简介：侯艳红(1986-),女,河南汝南人,副研究员,主要从事农业昆虫与害虫防治。E-mail:xiyangfall@163.com
杜梦园为本文并列第一作者。
李世民和黄建荣为本文通信作者。E-mail:ldachong66@sina.com E-mail:hjr130705@126.com

昆虫作为变温动物，具有与环境接近的温度，对环境温度变化较为敏感。温度变化会影响昆虫生长发育、取食繁殖，进而影响其每年发生世代数、发生区域、危害时期、发生量等[1-3]。Raza等[4]调查1 600种昆虫，发现其中940种受到全球温度升高的影响[5]。

昆虫的生长发育需要在一定温度范围内完成，在这个范围内，其温度升高会缩短发育历期，提高生长速率，增加年发生世代[6-7]。在13～28 ℃不同温度下，柿广翅蜡蝉越冬卵的发育历期随温度升高而逐渐缩短[8]。对玉米螟滞育解除研究发现，温度升高会显著缩短越冬幼虫的化蛹历期[9-10]，从22 ℃时的72 d缩短到28 ℃时的34 d[11]。升温使得天幕毛虫的爆发周期由以前的15年缩短到3～5年[12]。温度一旦超过种群的上限，将会延缓其生长速率[13]。另外温度对昆虫的繁殖、交配和生殖力等产生作用。温度升高会提高高温适生昆虫的产卵能力，进而导致种群发生量变大，危害加重。升温显著增加柳弗叶甲的产卵量，并能提高高产卵量个体的比例，使得柳弗叶甲累计产卵量提升，虫口基数和密度变大，最终导致害虫发生量增加[14]。赵鹏等[15]对北京大兴区梨小食心虫的发生动态研究时发现，随着日平均气温升高，梨小食心虫的种群密度也提升。环境温度一旦偏离最适温度，也有可能导致昆虫不育甚至死亡。极端高温不会造成小菜蛾成虫立即死亡，但会导致雌虫的可育卵显著减少[16]。

研究表明，春天温度上升，影响昆虫越冬死亡率和越冬残存虫量，进而影响翌年种群密度[17]。温度升高降低二化螟的越冬死亡率，同时又显著增加该虫的繁殖力，导致其种群数量不断增加[18]。目前对玉米螟越冬代种群的研究多集中在生态位[19]、发生动态[20]等方面，温度对其种群规律影响较少涉及。本研究2006-2023年利用虫情测报灯对玉米螟越冬种群发生动态进行连续监测，结合气象资料进行有效温度累积值分析，明确有效温度累积值、越冬代发生关键时间在年度上的变化趋势，并对两者进行相关性分析，为玉米螟越冬种群预测预报和田间防治策略的调整提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 越冬蛾种群监测调查

1.1.1 监测地点与工具

监测地点：漯河市农业科学院五里岗试验基地。

监测工具：自动虫情测报灯，河南省鹤壁佳多科工贸有限责任公司生产，型号JBD2型，功率20 W，波长365 nm，灯具离地高度1.5 m，自动光控系统开关灯。

1.1.2 监测方法

2006-2023年每年4-6月，早上7点自动关灯，晚上7点自动开灯，每天将收集到的昆虫带回室内分类、鉴定，统计诱集玉米螟的数量。

1.2 温度数据来源与计算公式

1.2.1 气象数据资料

河南漯河1-6月气象数据由河南省漯河市气象局提供。

1.2.2 计算公式

越冬代玉米螟发育有效温度累积值(W_i)计算公式如下：

$$W_i = \sum_{i=1}^{n}(T_i - C)$$

W_i为各年越冬代玉米螟发育有效温度累积值，n为试验年份，从2006-2023年共18年；T_i为玉米螟越冬代的每日实际平均气温，C为玉米螟发育起点温度，(T_i-C)为越冬玉米螟的每日有效温度。漯河市玉米螟越冬老熟幼虫的发育起点温度采用12 ℃[21-22]。从1月1日开始统计有效温度，至最晚终见日(6月22日)结束。因每年的始见日不同，始见日有效温度累积值采用始见期中间值的累积值，18年来的始见期在4月中下旬，始见日中间值时间采用4月20日。高峰日和终见日有效温度累积值方法与此相同，时间分别采用5月25日和6月10日。

1.3 数据统计与分析

将发生日期折算成朱利安日历，如1月1日为1 d、1月2日为2 d，以此类推。本研究将始见日、高峰日和终见日称为玉米螟的发生关键时间。运用DPS统计软件进行线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 越冬代种群

2006-2023年玉米螟越冬蛾种群发生规律见图1。年度越冬蛾捕捉量差异较大，平均为1 071头，其中2006年数量最高，为2 779头；2020年最低，为252头。越冬蛾高峰日一般集中在5月下旬，峰日蛾量为46～342头；越冬蛾发生期主要在4月下旬至6月上旬，持续时间一般为47～60 d；始见期和终见期一般分别在4月中下旬和6月上中旬。

2.2 有效温度累积

根据漯河市气象局气象数据，2006-2023年玉米螟越冬蛾发生期有效温度累积情况见图2。始见日有效温度累积值为47.31～181.92 ℃，均值为112.71 ℃；高峰日有效温度累积值一般在278.37～

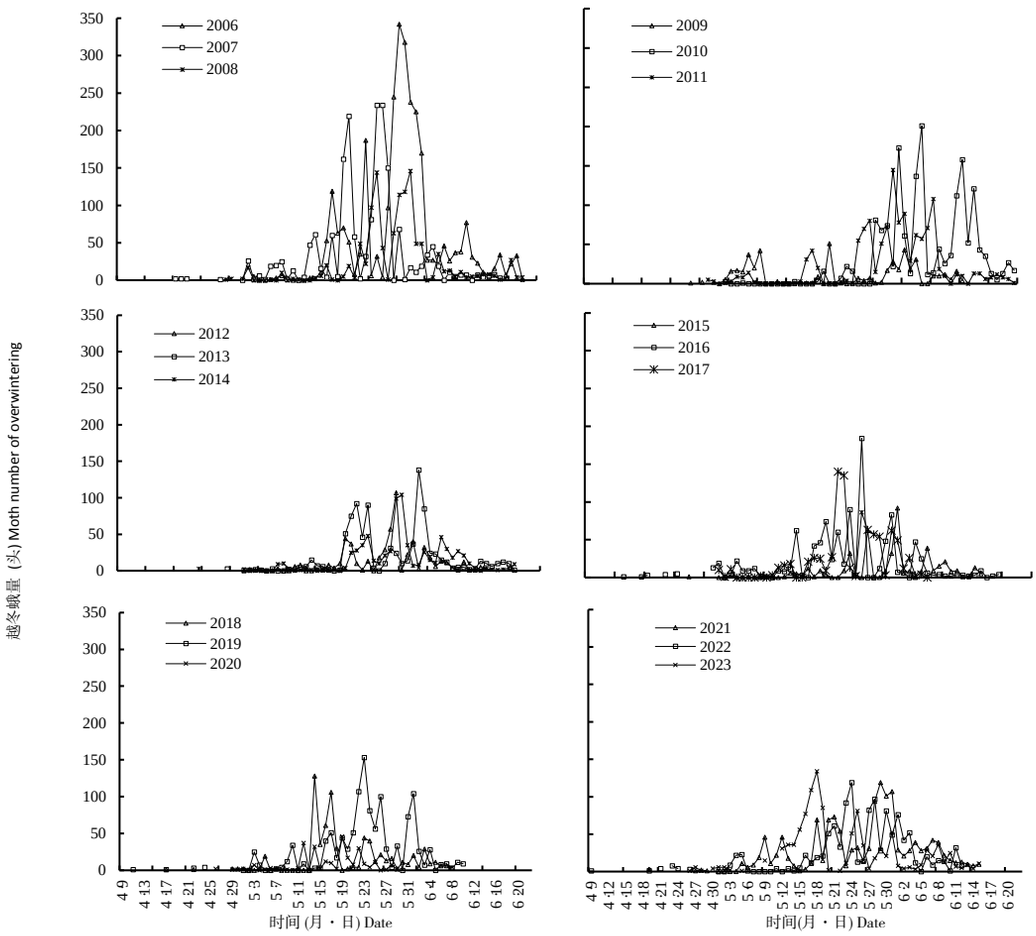

图1　2006–2023年玉米螟越冬蛾灯下种群动态

Fig.1　Population dynamics of the ACB overwintering moths trapped by light from 2006 to 2023

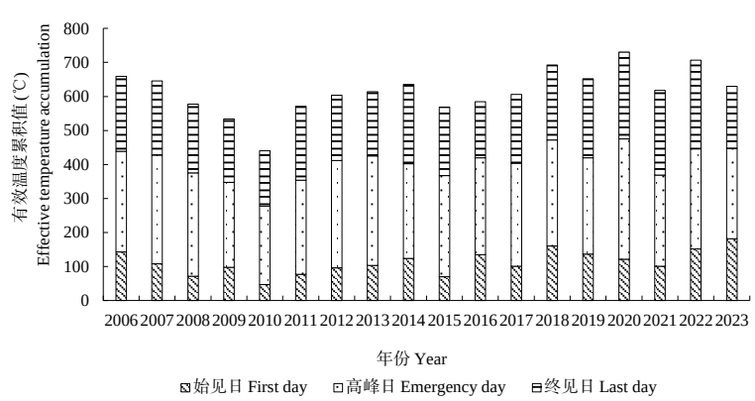

图2　玉米螟越冬蛾发生关键时间的有效温度累积情况

Fig.2　Accumulation of effective temperature during the key occurrence period of ACB overwintering months

475.54 ℃,平均为404.57 ℃;终见日有效温度累积值平均为614.94 ℃(440.37 ~ 730.53 ℃)。

2.3　越冬代发生关键时间和有效温度累积值在年度上的差异分析

以年度(2006–2023年)为变量,分析发现玉米螟越冬代发生关键时期(始见日、高峰日和终见日)随年度推移而提前,越冬代发生关键期有效温度累积值(始见日有效温度累积值、高峰日有效温度累积值和终见日有效温度累积值)随年度推移而升高(图3)。在18年的时间序列上,越冬代始见日(P=0.006)、高峰日(P=0.022)和终见日(P=0.014)在年度间均差异显著,均随年度推移有提早趋势。回归分析发现,始见日、高峰日和终见日分别与年度存在显著负相关,18年来分别显著提前了14.91、10.08和11.17 d。

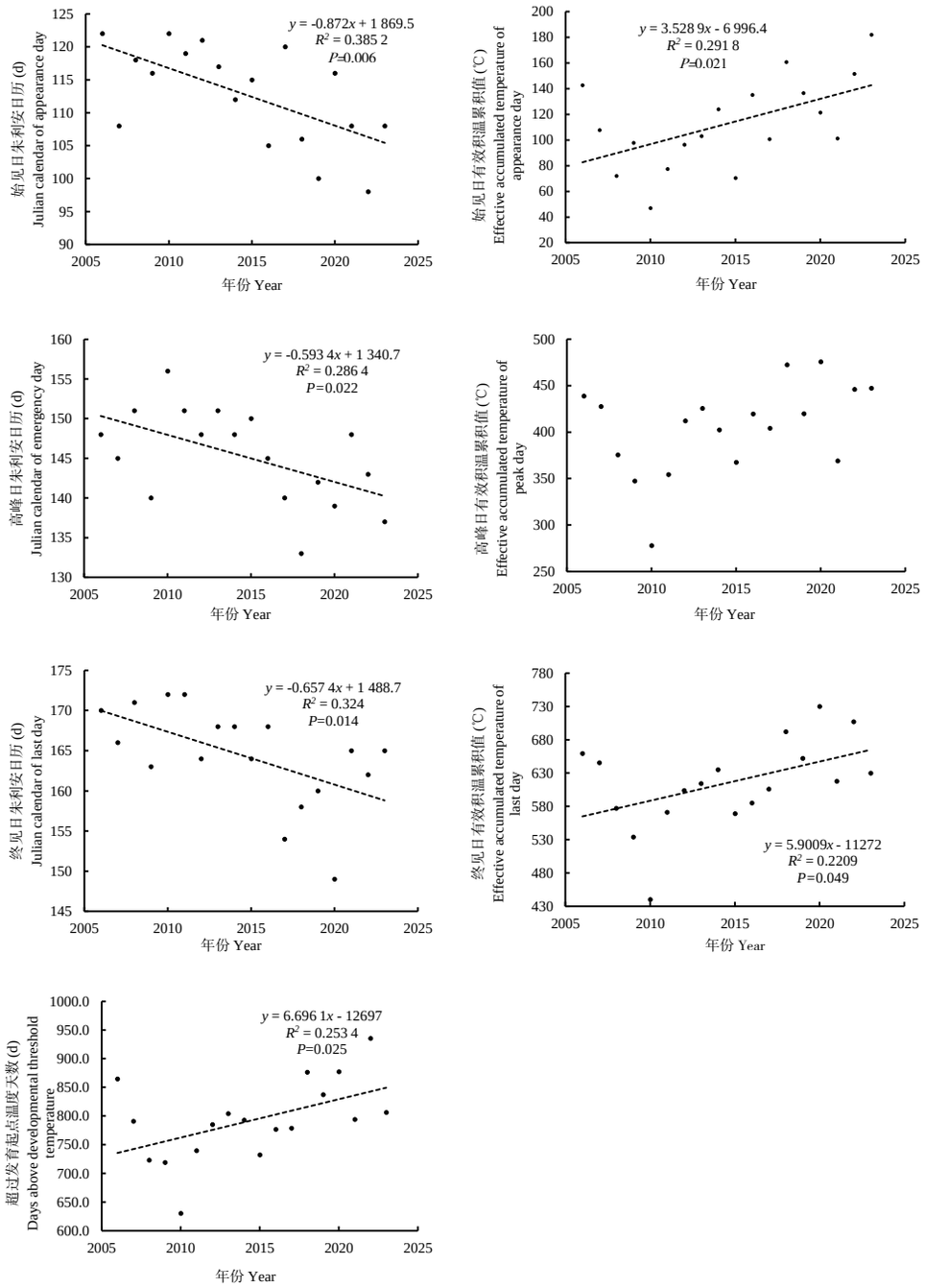

图3 玉米螟越冬蛾发生关键时间和有效温度累积值随年度变化趋势

Fig.3 Dynamics of key occurrence period and effective temperature accumulation of ACB overwintering moths along yearly sequence

有效温度累积值在时间序列上的表现不尽相同。始见日有效温度累积值和终见日有效温度累积值在年度间差异显著,均随年度推移呈升高趋势。进一步回归分析发现,始见日和终见日有效温度累积值与年度存在一元线性正相关,18年来分别升高了59.99 ℃和100.32 ℃。高峰日有效温度累积值在年度间的差异不显著。超过发育起点温度天数也随年度推移呈显著增加趋势,与年度呈正相关,18年来超过发育起点温度天数显著增加了9.37 d。

2.4 越冬代发生关键时间与有效温度累积值的相关分析

一元线性回归分析表明,在2006-2023年的时间序列上,玉米螟越冬代发生关键时间与对应有效温度累积值均呈显著相关(图4)。始见日与始见日有效温度累积值($P<0.001$)、高峰日与高峰日有效温度累积值($P<0.001$)、终见日与终见日有效温度累积值($P=0.012$)均呈一元线性负相关。随着漯河当地气温升高,玉米螟越冬代成虫的始见日、高峰日和

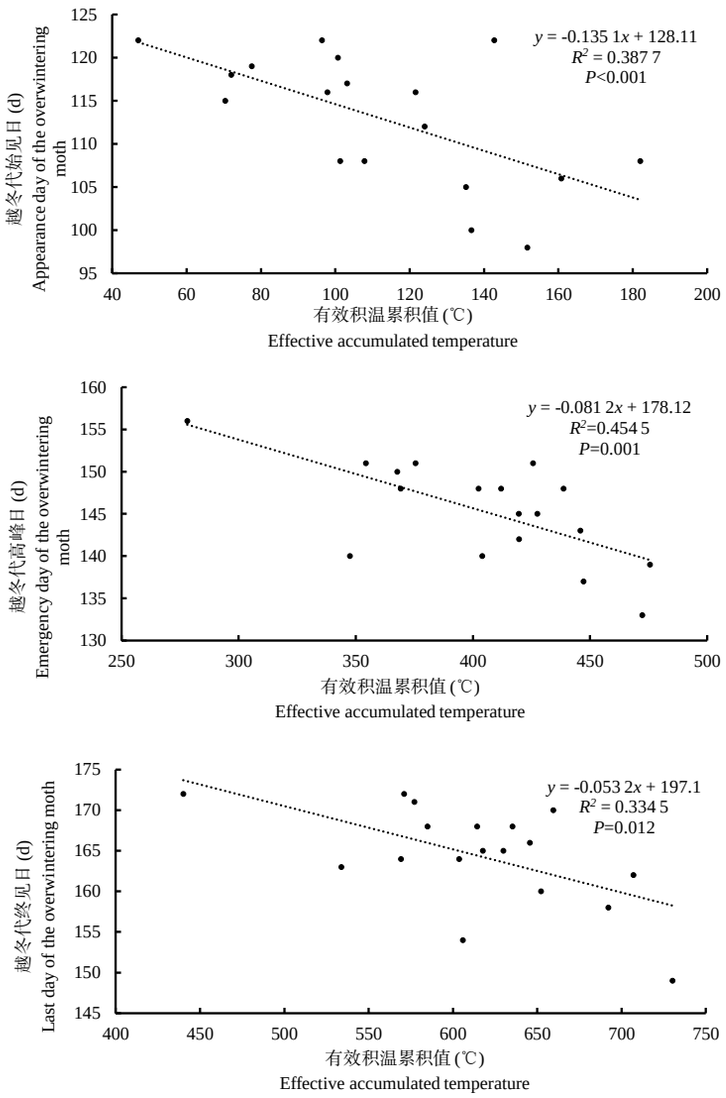

图4　玉米螟越冬代发生关键时间随有效温度累积值升高的变化趋势及相关性

Fig.4　Variation in the phenology of ACB overwintering generation with the increase in effective temperature accumulation and the correlation

终见日显著提前,且发生关键时间与对应有效温度累积值显著相关,有效温度累积值每上升10 ℃,始见日、高峰日和终见日分别提前1.35、0.81和0.53 d。

3　结论与讨论

玉米螟是我国玉米各产区的关键性和常发性害虫,在漯河地区以老熟幼虫越冬,平均年捕获越冬蛾1 071头(252～2 779头),始见期和终见期一般分别在4月中下旬和6月中上旬,高峰日集中在5月下旬。侯月敏等[23]调查发现,黑龙江哈尔滨地区始见期在6月初,终见期在7月下旬,高峰期在7月初。这可能是与两地所处的纬度有关,河南漯河纬度明显低于黑龙江哈尔滨地区,春季均温和气温上升速度高于哈尔滨地区,其越冬代种群的发生期偏早。在玉米螟越冬代发生期间,其始见日有效温度累积值为112.71 ℃(47.31～181.92 ℃),高峰日为404.57 ℃(278.37～475.57 ℃),终见日为614.94 ℃(440.37～730.53 ℃)[24]。

2006-2023年来漯河地区春季增温趋势明显,始见日和终见日有效温度累积值随年度推移显著升高,18年来分别升高了59.99 ℃和100.32 ℃,超过发育起点温度天数增加了9.37 d。这与全球气候变暖大背景一致。张翠英等[25]分析发现,山东省西南地区的年平均气温呈上升趋势,并且与年度呈显著负相关。数据显示,18年间玉米螟越冬代始见日、高峰日和终见日分别显著提前了14.91、10.08和11.17 d,这与美国马铃薯小绿叶蝉62年间迁入时间提前

10 d[26]以及银缘琉璃灰蝶48年间在地中海首飞日提前(28.9±12.3) d[27]结果类似,其发生时间提前幅度大于漯河地区1980-2016年间东方黏虫越冬代[28]。一方面可能是因为全球气候变暖的速率增加,1980-2016年漯河地区全年平均气温增加速率为0.30 ℃/10年,2006-2023年为0.39 ℃/10年;另一方面黏虫属于迁飞性昆虫,其主要越冬区域内冬季气温变化可能不显著[29],越冬区的优势风向和农田环境等因素又进一步稀释了气温变化引起的迁飞期改变效应。

通过一元线性回归分析发现,有效温度累积值显著影响玉米螟越冬代发生关键时间,每上升10 ℃,始见日、高峰日和终见日分别提前1.35、0.81和0.53 d。这与小地老虎[30]、云杉高蚜[31]对气温响应类似,平均气温升高1 ℃,小地老虎越冬代成虫第一峰日、主峰日和一代成虫主峰日分别提前3 d以上,云杉高蚜的早春首迁日提前3~9 d,从而导致害虫在迁入地的危害提前。2006-2023年间1-6月河南省漯河地区有效温度累积值显著升高,玉米螟越冬代发生关键时间(始见日、高峰日和终见日)显著提前,且有效温度累积值与越冬代发生关键时间呈显著负相关。

参考文献:

[1] 霍治国,李茂松,王丽,等 . 气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J] . 中国农业科学,2012,45(10):1926-1934 .
HUO Z G, LI M S, WANG L, et al. Impacts of climate warming on crop diseases and pests in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(10): 1926-1934. (in Chinese)

[2] 董兆克,戈峰 . 温度升高对昆虫发生发展的影响[J] . 应用昆虫学报,2011,48(5):1141-1148 .
DONG Z K, GE F. The fitness of insects in response to climate warming[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(5): 1141-1148. (in Chinese)

[3] DEUTSCH C A, TEWKSBURY J J, HUEY R B, et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(18): 6668-6672.

[4] RAZA M M, KHAN M A, ARSHAD M, et al. Impact of global warming on insects[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2015, 48(1): 84-94 .

[5] SPARKS T H, YATES T J. The effect of spring temperature on the appearance dates of British butterflies 1883- 1993[J]. Ecography, 1997, 20: 368-374.

[6] 付晓伟,吴孔明 . 迁飞性昆虫对全球气候变化的响应[J] . 中国农业科学,2015,48(增刊):1-15 .
FU X W, WU K M. Responses of migratory insects to global climate change[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(S1): 1-15. (in Chinese)

[7] 张柱亭,类成平,孙嵬,等 . 气候变化对沈阳地区亚洲玉米螟发生世代的影响[J] . 玉米科学,2014,22(4):137-139 .
ZHANG Z T, LEI C P, SUN W, et al. Effect of global warming on generations of *Ostrinia furnacalis* in Shenyang Region[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(4): 137-139. (in Chinese)

[8] 金银利,马全朝,郑艳磊,等 . 温度对茶树柿广翅蜡蝉越冬卵发育的影响[J] . 植物保护,2024,50(1):219-224 .
JIN Y L, MA Q C, ZHENG Y L, et al. Effects of temperature on the development of overwintering eggs of *Ricania sublimbata* Jacobi on the tea plant[J]. Plant Protection, 2024, 50(1): 219-224. (in Chinese)

[9] 丁新华,王小武,付开赟,等 . 温度、相对湿度对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*(Guenée)越冬幼虫化蛹及羽化的影响[J] . 新疆农业科学,2022,59(11):2668-2674 .
DING X H, WANG X W, FU K Y, et al. Effects of temperature and relative humidity on pupation and eclosion of Asian corn borer overwintering larvae[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2022, 59(11): 2668-2674. (in Chinese)

[10] 鲁新,周大荣,李建平 . 亚洲玉米螟越冬幼虫化性与复苏后发育历期的关系[J] . 玉米科学,1998,6(S1):100-102 .
LU X, ZHOU D R, LI J P. Relation between overwintering larvae characterization and post- recovery development period of Asian corn borer[J]. Journal of Maize Sciences, 1998, 6(S1): 100-102. (in Chinese)

[11] 河海敏,陈前武,杨慧中,等 . 亚洲玉米螟南昌种群滞育的解除[J] . 应用昆虫学报. 2018,55(1):96-103 .
HE H M, CHEN Q W, YANG H Z, et al. Termination of diapause in the Nanchang population of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*(Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2018, 55(1): 96-103. (in Chinese)

[12] 张国庆 . 森林健康与林业有害生物管理[J] . 四川林业科技,2008,29(6):77-80 .
ZHANG G Q. Forest health and forestry pest management[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2008, 29(6): 77-80. (in Chinese)

[13] 马罡,马春森 . 三种麦蚜在温度梯度中活动行为的临界高温[J] . 生态学报,2007(6):2449-2459 .
MA G, MA C S. Upper critical temperatures for behaviors of three species of cereal aphids in leaf temperature gradients[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007(6): 2449-2459. (in Chinese)

[14] BJORKMAN C, KINDVALL O, HOGLUND S, et al. High temperature triggers latent variation among individuals: oviposition rate and probability for outbreaks[J]. PloS ONE, 2011, 6(1): e16590

[15] 赵鹏,杨雪琳,孙圣杰,等 . 北京市大兴区梨园梨小食心虫发生动态与温湿度的关系[J] . 应用昆虫学报. 2023,60(1):216-222 .
ZHAO P, YANG X L, SUN S J, et al. The effect of temperature and humidity on the population dynamics of *Grapholita molesta* in pear orchards in Daxing district, Beijing[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2023, 60(1): 216-222. (in Chinese)

[16] 张薇 . 小菜蛾对高温的生态学响应及昆虫高温相关基因数据库的构建[D] . 北京:中国农业科学院:2014 .

[17] 李淑华 . 气候变化与害虫的生长繁殖、越冬和迁飞[J] . 华北农学报,1994,9(2):110-114 .
LI S H. The relationship between climate change and pest generation reproduction, overwintering and migration flight[J]. Acta Agri-

cultural Boreali-Sinica, 1994, 9(2): 110-114. (in Chinese)

[18] YAMAMURA K, YOKOZAWA M, NISHIMORI M, et al. How to analyze long- term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields[J]. Population Ecology, 2006, 48(1): 31-48.

[19] 杨宸,何康来,王振营 . 亚洲玉米螟蛀孔和越冬幼虫在玉米上的空间分布[J] . 玉米科学,2021,29(6):157-163 .
YANG C, HE K L, WANG Z Y. Spatial distribution of holes and overwintering larvae of the Asian corn borer in born stalk[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(6): 157-163. (in Chinese)

[20] 刘培斌,王凯,张海东,等 . 辽宁沈阳亚洲玉米螟越冬代发生动态及监测技术研究[J] . 中国植保导刊,2020,40(9):39-43 .
LIU P B, WANG K, ZHANG H D, et al. Study on the occurrence dynamics and monitoring techniques of overwintering generation of Asian corn borer in Liaoning Province[J]. China Plant Protection, 2020, 40(9): 39-43. (in Chinese)

[21] 张鹤,林进添 . 昆虫对全球气候变暖的响应[J] . 环境昆虫学报,2015,37(6):1280-1286 .
ZHANG H, LIN J T. Responses of insects to global warming[J]. Journal of Environmental Entomology, 2015, 37(6): 1280-1286. (in Chinese)

[22] 余金咏,于泉林 . 冀东地区亚洲玉米螟化性探讨[J] . 玉米科学,2013,21(3):140-143,148 .
YU J Y, YU Q L. A preliminary Study on the voltinism of *Ostrinia furnacalis*(Guenée) in the eastern region of Hebei Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(3): 140-143, 148. (in Chinese)

[23] 侯月敏,宋显东,王振,等 . 哈尔滨市郊区亚洲玉米螟发生规律与卵块空间分布研究[J] . 植物保护,2018,44(4):151-157 .
HOU Y M, SONG X D, WANG Z, et al. Occurrence rules of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) and the spatial distribution of egg masses in the suburbs of Harbin[J]. Plant Protection, 2018, 44(4): 151-157. (in Chinese)

[24] 石凯,李健民,董永义,等 . 越冬代亚洲玉米螟成虫发生动态及其与温度关系初探--以通辽市开鲁县为例[J] . 环境昆虫学报,2020,42(1):121-127 .
SHI K, LI J M, DONG Y Y, et al. Preliminary study on the occurrence dynamics of overwintering adults of *Ostrinia furnacalis* and its relations with temperature--Taking Kailu County of Tongliao City as an example[J]. Journal of Environment Entomology, 2020, 42(1): 121-127. (in Chinese)

[25] 张翠英,刘继敏,成兆金,等 . 气候变化对鲁西南棉铃虫的影响[J] . 中国棉花,2008,35(9):9-20 .
ZHANG C Y, LIU J M, CHENG Z J, et al. Influence of climate change on cotton bollworn in southwest of Shandong Province[J]. China Cotton, 2008, 35(9): 9-20. (in Chinese)

[26] BAKER M B, VENUGOPAL P D, LAMP W O. Climate change and phenology: *Empoasca fabae*(Hemiptera: Cicadellidae) migration and severity of impact[J]. PLoS One, 2015, 10(5): e0124915.

[27] STEFANESCU C, PENUELAS J, FILELLA I. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 1494-1506.

[28] CHEN Q, ZHANG Y D, QI X H, et al. The effects of climate warming on the migratory status of early summer populations of *Mythimna separata*(Walker) moths: A case-study of enhanced corn damage in central-northern China, 1980-2016[J]. Ecology and Evolution, 2019, 9(21): 12332-12338.

[29] COHEN J M, LAJEUNESSE M J, ROHR J R. A global synthesis of animal phenological responses to climate change[J]. Nature Climate Change, 2018, 8: 224-228.

[30] 曾娟 . 中国小地老虎种群动态与发生为害演化趋势分析[D] . 北京:中国农业科学院:2021 .

[31] ZHOU X, HARRINGTON R, WOIWOD P, et al. Effects of temperature on aphid phenology[J]. Global Change Biology, 1995, 1(4): 303-313.

责任编辑:(栾天宇)

(上接第110页)

[25] 王志慧,贾尊尊,付开赟,等 . 新疆玉米有害生物发生、施药现状及减药对策分析[J] . 玉米科学,2021,29(4):97-103 .
WANG Z H, JIA Z Z, FU K Y, et al. Analysis of maize pest occurrence, pesticide application status and pesticide reduction countermeasures in Xinjiang[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(4): 97-103. (in Chinese)

[26] 王兴仔 . 亚洲玉米螟对氯虫苯甲酰胺敏感性差异及机制初探[D] . 南京:南京农业大学,2021 .

[27] 钱梦雅 . 亚洲玉米螟对四唑虫酰胺的抗性机理研究[D] . 合肥:安徽农业大学,2022 .

[28] 丁新华,王娜,王小武,等 . 小型无人机超低量喷雾防治玉米螟田间药效评价[J] . 新疆农业科学,2017,54(3):479-488 .
DING X H, WANG N, WANG X W, et al. Studies on the control effect of ultra low volume aerial spray using unmanned aerial vehicle (UAV) against the corn borer[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(3): 479-488. (in Chinese)

[29] 王利霞,贾文华,段爱菊,等 . 不同药剂对玉米螟的室内药效及毒力测定[J] . 天津农业科学,2014,20(6):103-106 .
WANG L X, JIA W H, DUAN A J, et al. Resistance monitoring and toxicology of Asian corn borer[J]. Tianjin Agricultural Science, 2014, 20(6): 103-106. (in Chinese)

[30] 李人杰,暴连群,张海航,等 . 5%阿维菌素水乳剂防治玉米田玉米螟田间药效试验[J] . 农药,2016,55(5):384-386 .
LI R J, BAO L Q, ZHANG H H, et al. Field efficacy test of 5% abamectin water emulsion against corn borer in corn field[J]. Pesticides, 2016, 55(5): 384-386. (in Chinese)

[31] 常秀辉,班兰凤,罗艳梅,等 . 4种杀虫剂对玉米螟不同生测方法的活性比较[J] . 农药,2015,54(11):840-841 .
CHANG X H, BAN L F, LUO Y M, et al. Comparison of the activity of four insecticides against corn borer by different bioassay methods[J]. Pesticides, 2015, 54(11): 840-841. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)