



刘小宇, 荣志云, 王连刚, 姚超, 张路生, 迟金强, 林倩, 董秀霞, 姚晓灵, 徐德坤, 萧玉涛, 李向东, 郑方强. 草地贪夜蛾的有效积温和发育始点及其发生世代预测 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (1): 1-10.

## 草地贪夜蛾的有效积温和发育始点 及其发生世代预测

刘小宇<sup>1</sup>, 荣志云<sup>2</sup>, 王连刚<sup>3</sup>, 姚超<sup>4</sup>, 张路生<sup>5</sup>, 迟金强<sup>6</sup>, 林倩<sup>7</sup>,  
董秀霞<sup>8</sup>, 姚晓灵<sup>1</sup>, 徐德坤<sup>9</sup>, 萧玉涛<sup>10\*</sup>, 李向东<sup>1\*</sup>, 郑方强<sup>1\*</sup>

(1. 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018; 2. 山东省荣成市上庄镇人民政府, 山东荣成 264313;

3. 山东省青岛市农业技术推广中心植物保护处, 山东青岛 266071; 4. 山东省泰安市气象局, 山东泰安 271000;

5. 山东省滨州市植保站, 山东滨州 256600; 6. 山东省威海市农业农村事务服务中心, 山东威海 264200;

7. 山东省烟台市农业技术推广中心, 山东烟台 264001; 8. 聊城市茌平区农业农村局, 山东茌平 252100;

9. 山东省临沂市植保站, 山东临沂 264001; 10. 中国农业科学院深圳基因组研究所, 深圳 518120)

**摘要:** 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 自 2019 年 6 月入侵山东后, 同年于山东部分地区发现其为害夏玉米, 对当地玉米 *Zea mays* L. 的生产造成威胁。为了明确温度对该害虫的影响和在山东不同地区的发生世代数, 进行了温度对其生长发育、生存的研究, 测定了其适温范围、发育始点和有效积温, 并按地理位置预测了不同地区的发生世代数, 为草地贪夜蛾在各地区的监测预警和科学防治提供了理论依据。室内设置 6 个梯度温度 (15、18、21、24、27、30℃), 以新鲜嫩玉米粒为食料饲喂幼虫, 观察了不同温度下草地贪夜蛾各阶段的发育历期和存活率, 利用直线回归法和直接最优法计算该害虫各虫态/虫龄的发育始点和有效积温, 并根据山东各地区的月平均气温数据计算理论发生世代数。在温度设置范围内, 15℃ 时, 幼虫和蛹死亡率显著最高, 分别为 22.57%、85.71%; 18℃ 时, 幼虫和蛹死亡率分别为 21.09%、23.19%; 15℃ 时卵发育至蛹的死亡率为 97.37%, 18℃ 为 51.82%。根据直线回归法计算草地贪夜蛾卵、幼虫、蛹、全世代的发育始点分别为 14.16、14.00、14.77、12.72℃, 有效积温分别为 38.21、155.42、114.36、523.33 日·度; 直接最优法计算的发育始点分别为 13.41、14.39、15.12、13.30℃, 有效积温分别为 41.96、149.20、110.47、497.78 日·度。根据发育始点和有效积温分别计算各地的年理论发生世代数, 结果为鲁北地区发生 3.6~3.9 代, 鲁南地区发生 3.5~3.7 代, 鲁中地区发生 3.5~3.8 代, 鲁西地区发生 3.2~3.5 代; 胶东半岛地区 2.5~3.4 代。根据本试验得出适宜草地贪夜蛾生长发育的温度为 24~30℃; 山东各地区草地贪夜蛾理论发生世代之间存在差异, 将其发生世代的不同大体分为胶东半岛 2.5~3.5 代区, 鲁西 3.0~3.5 代区, 鲁中、鲁南、鲁北为 3.5~4.0 代区, 表现为南北向地区差异不大, 东西向地区有较大差异。

**关键词:** 草地贪夜蛾; 发育历期; 有效积温; 发育始点; 世代

中图分类号: Q963; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 01-0001-10

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200604); 山东现代农业产业体系 (SDAIT-02-10)

作者简介: 刘小宇, 女, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态与害虫综合治理, E-mail: lllxiaoyu@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 萧玉涛, 研究员, 研究方向昆虫分子生物学研究和寄主及环境适应性机制, E-mail: xiaoyutao@caas.cn; 李向东, 教授, 研究方向玉米病虫害绿色防控, E-mail: xiangdli@sdau.edu.cn; 郑方强, 博士, 教授, 研究方向昆虫生态与害虫综合治理, E-mail: fqzheng@sdau.edu.cn

收稿日期 Received: 2021-05-11; 接受日期 Accepted: 2021-09-26

## The developmental zeros , effective accumulative temperatures and theoretical number of annual generations of *Spodoptera frugiperda* in Shandong Province

LIU Xiao-Yu<sup>1</sup> , RONG Zhi-Yun<sup>2</sup> , WANG Lian-Gang<sup>3</sup> , YAO Chao<sup>4</sup> , ZHANG Lu-Sheng<sup>5</sup> , CHI Jin-Qiang<sup>6</sup> , LIN Qian<sup>7</sup> , DONG Xiu-Xia<sup>8</sup> , YAO Xiao-Ling<sup>1</sup> , XU De-Kun<sup>9</sup> , XIAO Yu-Tao<sup>10\*</sup> , LI Xiang-Dong<sup>1\*</sup> , ZHENG Fang-Qiang<sup>1\*</sup> ( 1. College of Plant Protection , Shandong Agricultural University , Tai'an 271018 , Shandong Province , China; 2. Shangzhuang Town People's Government of Rongcheng City , Rongcheng 264313 , Shandong Province , China; 3. Plant Protection Office , Qingdao Agricultural Technology Extension Center , Qingdao 266071 , Shandong Province , China; 4. Tai'an Meteorological Bureau of Shandong Province , Tai'an 271000 , Shandong Province , China; 5. Binzhou Plant Protection Station , Binzhou 256600 , Shandong Province , China; 6. Weihai Agricultural and Rural Affairs Service Center of Shandong Province , Weihai 264200 , Shandong Province , China; 7. Yantai Agricultural Technology Extension Center of Shandong Province , Yantai 264001 , Shandong Province , China; 8. Agricultural and Rural Bureau of Chiping District , Liaocheng City , Chiping 252100 , Shandong Province , China; 9. Linyi Plant Protection Station of Shandong Province , Linyi 264001 , Shandong Province , China; 10. Agricultural Genomics Institute at Shenzhen , Chinese Academy of Agricultural Sciences , Shenzhen 518120 , China)

**Abstract:** The fall armyworm , *Spodoptera frugiperda* ( J. E. Smith ) , invaded Shandong Province in June in 2019 and then infested maize in many areas , posing a great threat to *Zea mays* L. production. The effects of temperatures on the growth and survival of *S. frugiperda* in Shandong Province were studied , and the developmental zeros and the effective accumulative temperatures of the pest were determined , the number of occurrence generations of *S. frugiperda* in five representative regions was predicted. All the research provided theoretical basis for monitoring , prediction and scientific control of the pest. *S. frugiperda* larvae fed with fresh maize kernels were reared at constant series temperatures ( 15 , 18 , 21 , 24 , 27 , 30℃ ) in the laboratory. The durations and survival rates of different developmental stages were observed. The developmental zeros and effective accumulative temperatures of *S. frugiperda* at each stage / instar and the whole generations were determined by the linear regression method and the direct optimal method , and theoretical number of generations was calculated according to the meteorological data in Shandong Province. From 15℃ to 30℃ , the developmental durations of each stage and whole generations were significantly shortened with the increase of temperatures. At 15℃ , the mortality rates of larvae and pupae were 22.57% and 85.71% ; at 18℃ , the mortality rates of larvae and pupae were 21.09% and 23.19% respectively. The mortalities of preadults ( from eggs to pupae ) were 97.37% at 15℃ and 51.82% at 18℃. According to the linear regression method , the developmental zeros of eggs , larvae , pupae , whole generations were 14.16 , 14.00 , 14.77 , 12.72℃ , respectively and the effective accumulative temperatures were 38.21 , 155.42 , 114.36 , 523.33 day • degree , respectively; Based on the direct optimization method , the developmental zeros of eggs , larvae , pupae , whole generation were 13.41 , 14.39 , 15.12 , 13.30℃ , respectively and the effective accumulative temperatures were 41.96 , 149.20 , 110.47 , 497.78 day • degree , respectively. According to the developmental zeros and the effective accumulative temperatures from five representative regions of Shandong Province , the theoretical number of annual generations in five representative regions was calculated , which was 3.6 ~ 3.9 generations in Northern Shandong , 3.5 ~ 3.7 generations in Southern Shandong , 3.5 ~ 3.8 generations in Central Shandong , 3.2 ~ 3.5 generations in Western Shandong and 2.5 ~ 3.4 generation in Jiaodong Peninsula ( Eastern Shandong ) . The results showed that the suitable temperature range for the growth and survival of *S. frugiperda* was 24 ~ 30℃; the theoretical number of generations of *S. frugiperda* in Shandong were roughly divided into 2.5 ~ 3.5 generations in Jiaodong Peninsula , 3.0 ~ 3.5 generations in

Western Shandong, and 3.5~4.0 generations in Central, Southern and Northern Shandong.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*; developmental durations; developmental zeros; effective accumulative temperature; generation

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 俗称秋黏虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 是一种重要的迁飞性农业害虫 (Rose *et al.*, 1975; Todd and Poole, 1980; Johnson, 1987; 江幸福等, 2019)。2016 年自美洲入侵至非洲, 2018 年自非洲入侵至亚洲, 并于 2018 年底自缅甸入侵我国云南, 后迅速向东和向北迁飞蔓延, 扩散至中国大部分省市 (Deshmukh *et al.*, 2018; 杨普云等, 2019; 杨学礼等, 2019; 陈辉等, 2020)。从入侵至非洲和亚洲来看, 其主要为害玉米 (Montezano *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018; 姜玉英等, 2019), 幼虫喜欢为害玉米心叶丛和灌浆期的玉米籽粒, 严重时导致玉米颗粒无收 (Day *et al.*, 2017; Prasanna *et al.*, 2018; 姜玉英等, 2019; 吴孔明等, 2020), 在我国还报道为害高粱 *Sorghum bicolor* (顾佰铨等, 2019)、甘蔗 *Saccharum officinarum* (刘杰等, 2019)、小麦 *Triticum aestivum* L. (徐丽娜等, 2019)、马铃薯 *Solanum tuberosum* L. (赵猛等, 2019) 等作物。

在山东省, 自从 2019 年 6 月中旬在临沂郯城诱集到第 1 头雄蛾之后, 相继于该年度的 7~9 月在枣庄滕州、日照、青岛、潍坊、烟台栖霞和威海荣成的玉米幼苗和果穗上发现草地贪夜蛾幼虫为害, 且于 10 月上旬在泰安晚种的玉米幼苗上发现有幼虫为害, 11 月下旬还能在枣庄滕州的小麦秋苗上为害 (山东省农业农村厅, 2019)。2020 年 8 月在泰安调查玉米穗期害虫时, 发现其取食为害玉米籽粒, 10 月上旬在临沂临沭晚播的玉米上还能发现为害嫩叶和玉米的幼嫩果穗。从 2019 年和 2020 年草地贪夜蛾入侵至山东省的发生看, 该害虫在夏玉米苗期和穗期均能为害, 且胶东半岛地区发生区域和程度明显高于内地。现已发现草地贪夜蛾于每年 6 月中下旬至 7 月初自南方迁飞进入山东境内, 此时山东玉米正处于苗期, 山东省是黄淮海夏玉米主产区, 常年播种面积在  $3.4 \times 10^6$  ha 左右, 一旦监测和控制不利, 将会大面积发生, 给玉米安全生产带来严重威胁。草地贪夜蛾在山东省发生几代? 不同生态区域是否有差异?

均不得知。本试验自 2019 年至 2020 年以玉米籽粒为食料, 研究了温度对草地贪夜蛾生长发育和存活的影响, 明确了不同温度下各虫态的发育历期, 计算出了各虫态和全世代的发育始点和有效积温, 预测了草地贪夜蛾在山东不同生态区域发生的世代数, 为草地贪夜蛾的监测预警和科学防治提供了可靠理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源及饲养

草地贪夜蛾最初虫源由中国农业科学院深圳昆虫基因组研究所提供, 该所的虫源采自云南省德宏傣族景颇族自治州瑞丽市 (Jin *et al.*, 2021)。其试虫放置于人工气候箱 (宁波东南仪器有限公司 RXZ~380C, L:D=14:10、RH70%±5%) 中, 饲喂新鲜玉米籽粒 (登海 511) 形成稳定的种群, 后来与来自山东威海和烟台的虫源进行杂交复壮扩繁, 形成实验室种群。

试虫的饲养过程如下, 羽化的成虫按雌雄 1:1 配对放置于硬质塑料杯 ( $\Phi=9$  cm、 $H=12$  cm) 内, 杯口覆盖纱布以提供产卵场所, 以 10% 蜂蜜水吸附于浸润的脱脂棉上给成虫补充营养。卵块收集后, 置于塑料培养皿 ( $\Phi=9$  cm) 中待孵化, 孵化后的幼虫置于 6 孔细胞培养板 (每孔  $\Phi=3.7$  cm、 $H=1.8$  cm) 中单头精心饲养至化蛹, 待其羽化。

### 1.2 温度处理

试验设置 6 个梯度温度 (15、18、21、24、27、30℃) 处理, 每个处理观察的卵量重复 3 次, 每次观察 40 粒发育正常的卵, 共观察 120 粒卵。每天定时观察试虫在不同温度下各虫态的生长发育情况并记录各虫态或虫龄发育历期。

### 1.3 发育始点和有效积温计算

基于 5 个温度 (18、21、24、27、30℃) 下的卵、幼虫 (虫龄)、蛹和全世代的发育历期, 根据有效积温法则, 采用直线回归法 (张孝羲和张跃进, 2002) 和直接最优法 (李典谟等, 1986) 计算草地贪夜蛾各发育阶段的发育始点 ( $C$ ) 和有效积温 ( $K$ )。

## 1.4 数据分析

方差分析和线性拟合运用 DPS 数据处理软件 (9.05 版) 进行处理, 多重比较用 LSD 法 (唐启义, 2018)。

## 1.5 山东省代表性地区发生世代数预测

山东省不同地区 2019 年和 2020 年的月平均气温数据分别从泰安泰山区 (代表鲁中), 威海荣成市、烟台福山区、青岛胶州市 (代表胶东), 滨州无棣县 (代表鲁北), 临沂郯城县 (代表鲁南) 和聊城茌平区 (代表鲁西) 的气象局获得。根据计算获得的全世代有效积温和不同地区提供的月平均气温数据计算各地的世代数 (下式)。

世代数 = 大于发育始点的月平均气温的累加值 / 全世代有效积温

## 2 结果与分析

### 2.1 草地贪夜蛾不同温度的发育历期与各发育阶段的死亡率

不同温度下草地贪夜蛾各虫态/虫龄的发育历期存在显著差异 (表 1)。15 ~ 30℃ 范围内, 草地贪夜蛾的卵、幼虫、蛹与全世代的发育历期都随着温度的升高而显著缩短。15℃ 时仅幼虫期发育就需 59.47 d, 完成一个世代则需发育 133.40 d, 而 30℃ 时完成一个世代仅需 32.27 d。虽然各温度下发育历期差异显著, 但 24 ~ 30℃ 时的历期差值显著小于 15 ~ 24℃。因 15℃ 时雌雄成虫不能正常交配和产卵繁殖后代, 不存在产卵前期。

表 1 不同温度下草地贪夜蛾各阶段的发育历期

Table 1 Developmental durations of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	不同温度下的发育历期 (d) Developmental durations at different temperatures					
	15℃	18℃	21℃	24℃	27℃	30℃
卵 Egg	9.92 ± 0.02 a	8.35 ± 0.03 b	6.26 ± 0.04 c	3.96 ± 0.02 d	3.13 ± 0.03 e	2.59 ± 0.04 f
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larvae	9.24 ± 0.09 a	7.78 ± 0.08 b	3.96 ± 0.02 c	2.12 ± 0.03 d	2.17 ± 0.03 d	1.72 ± 0.04 e
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larvae	8.04 ± 0.11 a	5.73 ± 0.09 b	2.80 ± 0.03 c	2.08 ± 0.03 d	1.90 ± 0.03 e	1.37 ± 0.04 f
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larvae	7.73 ± 0.08 a	5.98 ± 0.06 b	2.86 ± 0.03 c	2.06 ± 0.04 d	2.00 ± 0.03 d	1.60 ± 0.04 e
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larvae	9.39 ± 0.08 a	6.75 ± 0.10 b	3.16 ± 0.04 c	2.14 ± 0.03 d	1.85 ± 0.05 e	1.35 ± 0.04 f
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> larvae	12.20 ± 0.15 a	8.27 ± 0.07 b	4.37 ± 0.04 c	2.25 ± 0.05 d	1.97 ± 0.03 e	1.23 ± 0.04 f
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> larvae	13.18 ± 0.22 a	8.87 ± 0.09 b	4.57 ± 0.05 c	2.99 ± 0.07 e	3.24 ± 0.04 d	2.68 ± 0.04 f
幼虫 Larvae	59.47 ± 0.66 a	42.97 ± 0.38 b	21.66 ± 0.12 c	13.55 ± 0.11 d	13.08 ± 0.10 e	9.86 ± 0.08 f
预蛹 Prepupae	8.14 ± 0.24 a	5.48 ± 0.09 b	3.00 ± 0.08 c	1.62 ± 0.05 d	1.19 ± 0.03 e	1.00 ± 0.00 f
蛹 Pupae	57.80 ± 2.05 a	38.71 ± 0.27 b	18.29 ± 0.13 c	11.08 ± 0.12 d	9.92 ± 0.07 e	7.72 ± 0.06 f
产卵前期 Pre-oviposition period	—	8.25 ± 0.49 a	5.67 ± 0.20 b	5.06 ± 0.37 b	3.54 ± 0.17 c	3.38 ± 0.29 c
全世代 Whole generation	133.40 ± 2.39 a	108.25 ± 0.83 b	62.90 ± 0.36 c	42.39 ± 0.36 d	38.38 ± 0.24 e	32.27 ± 0.28 f

注: 不同处理下平均值后标有不同小写字母的, 说明在 5% 水平下二者间差异显著。Note: Under different treatments, the average value was marked with different lowercase letters, which indicated that the difference was significant at the level of 5%.

草地贪夜蛾在不同温度下的死亡率见表 2。15℃ 时其各个虫态/虫龄的死亡率都极高, 卵发育至蛹的死亡率达到 97.3%, 18℃ 时卵发育至蛹的死亡率为 51.8%, 其他温度下的死亡率之间没有显著差异, 在 14.4% ~ 17.3% 之间。结合表 1 发育历期和表 2 的各发育阶段死亡率的比较得出, 草地贪夜蛾生长发育和存活的适宜温度范围为 24 ~ 30℃。

### 2.2 草地贪夜蛾的发育始点和有效积温

由于 15℃ 下, 草地贪夜蛾各阶段的死亡率很高, 且无法顺利完成整个的繁殖过程, 因此本试验利用 5 个温度 (18 ~ 30℃) 的各阶段虫态/虫龄的发育速率计算草地贪夜蛾的发育始点和有效积温。利用直线回归法求得的有效积温与发育始点 (表 3), 草地贪夜蛾的卵、幼虫、蛹的有效积温分别为 38.21、155.42、114.36 日·度, 发育始点分

表 2 不同温度下草地贪夜蛾各发育阶段的死亡率

Table 2 Mortality of *Spodoptera frugiperda* at different developmental stages at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	不同温度下发育阶段的死亡率 ( % ) Mortality at different temperatures					
	15℃	18℃	21℃	24℃	27℃	30℃
卵 Egg	8.45 ± 1.80 a	6.53 ± 1.75 a	5.76 ± 0.02 a	4.76 ± 1.89 a	5.14 ± 1.68 a	4.14 ± 1.53 a
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larvae	4.58 ± 1.59 ab	7.53 ± 1.93 a	2.22 ± 1.10 b	0.83 ± 0.83 b	2.41 ± 1.19 b	1.86 ± 1.06 b
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larvae	7.23 ± 2.01 a	5.23 ± 1.69 ab	1.14 ± 0.80 b	1.52 ± 1.44 b	0.62 ± 0.62 b	0.63 ± 0.62 b
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larvae	1.95 ± 1.11 ab	3.07 ± 1.35 a	0.57 ± 0.57 ab	1.42 ± 1.20 ab	0.00 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00 b
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larvae	1.32 ± 0.92 a	2.53 ± 1.25 a	0.58 ± 0.57 a	0.88 ± 0.87 a	1.24 ± 0.87 a	1.27 ± 0.89 a
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> larvae	4.70 ± 1.73 a	2.60 ± 1.29 ab	0.00 ± 0.00 b	0.88 ± 0.88 b	0.63 ± 0.63 b	1.28 ± 0.90 ab
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> larvae	7.02 ± 2.14 a	4.00 ± 1.60 ab	0.58 ± 0.58 c	1.19 ± 1.25 bc	0.63 ± 0.63 c	0.00 ± 0.00 c
幼虫 Larvae	22.57 ± 1.33 a	21.09 ± 1.26 a	4.70 ± 0.55 b	6.03 ± 0.99 b	5.14 ± 0.61 b	4.72 ± 0.54 b
预蛹 Prepupae	73.48 ± 3.83 a	13.19 ± 2.83 b	2.34 ± 1.16 c	3.64 ± 1.78 c	2.55 ± 1.26 c	1.30 ± 0.91 c
蛹 Pupae	85.71 ± 5.50 a	23.19 ± 3.78 b	4.19 ± 1.55 c	2.83 ± 1.61 c	3.92 ± 1.57 c	2.63 ± 1.29 c
卵 - 蛹 Egg-pupa	97.3 ± 0.011a	51.8 ± 0.035 b	17.3 ± 0.034 c	16.2 ± 0.027 c	16.0 ± 0.027 c	14.4 ± 0.025 c

注：不同处理下平均值后标有不同小写字母的，说明在 5% 水平下二者差异显著。Note: Under different treatments , the average value was marked with different lowercase letters , which indicated that the difference was significant at the level of 5% .

表 3 草地贪夜蛾不同发育阶段的发育始点和有效积温 ( 直线回归法)

Table 3 Developmental zeros and effective accumulative temperatures at different developmental stages of *Spodoptera frugiperda* ( linear regression method)

发育阶段 Developmental stage	有效积温常数 <i>K</i> ( 日 · 度 ) Effective accumulative temperature			发育始点 <i>C</i> ( °C ) Developmental zero			变异系数 Coefficient of variation
	雌 Female	雄 Male	雌 + 雄 Female + Male	雌 Female	雄 Male	雌 + 雄 Female + Male	
卵 Egg	36.69 ± 0.57 a	39.88 ± 1.22 a	38.21 ± 0.17	14.61 ± 0.22 a	13.87 ± 0.20 a	14.16 ± 0.02	0.09
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larvae	23.45 ± 0.46 a	22.06 ± 0.49 a	23.63 ± 0.55	14.76 ± 0.18 a	15.26 ± 0.16 a	14.76 ± 0.17	0.10
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larvae	20.08 ± 0.70 a	18.27 ± 0.84 a	18.74 ± 0.57	14.74 ± 0.26 a	15.03 ± 0.36 a	14.85 ± 0.26	0.11
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larvae	23.39 ± 0.62 a	24.13 ± 0.84 a	23.28 ± 0.25	13.42 ± 0.20 a	13.17 ± 0.30 a	13.21 ± 0.27	0.11
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larvae	18.03 ± 0.31 a	17.90 ± 0.34 a	18.10 ± 0.32	15.26 ± 0.20 a	15.36 ± 0.14 a	15.26 ± 0.17	0.07
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> larvae	14.53 ± 0.13 a	15.56 ± 0.54 a	15.47 ± 0.12	17.23 ± 0.12 a	16.79 ± 0.10 a	17.02 ± 0.09	0.26
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> larvae	34.50 ± 4.55 a	38.66 ± 1.05 b	36.60 ± 1.89	14.08 ± 1.73 a	13.08 ± 0.09 a	13.51 ± 0.52	0.13
幼虫 Larvae	153.50 ± 1.34 a	157.43 ± 1.50 a	155.42 ± 0.77	14.06 ± 0.07 a	13.94 ± 0.06 a	14.00 ± 0.03	0.08
预蛹 Prepupa	12.78 ± 0.08 a	13.51 ± 0.04 a	13.16 ± 0.04	16.00 ± 0.04 a	15.76 ± 0.02 a	15.86 ± 0.02	0.09
蛹 Pupae	105.78 ± 0.64 b	124.77 ± 1.77a	114.36 ± 1.04	14.85 ± 0.04 a	14.70 ± 0.07 a	14.77 ± 0.04	0.06
产卵前期 Pre-oviposition period	49.41 ± 2.67	—	—	11.38 ± 0.64	—	—	0.24
世代 Whole generation	513.75 ± 6.23 b	532.61 ± 8.15 a	523.33 ± 6.59	12.68 ± 0.06 a	12.77 ± 0.07 a	12.72 ± 0.07	0.06

注：相同发育阶段，雌雄虫平均值后标有不同小写字母的，说明在 5% 水平下二者差异显著。Note: At the same developmental stage , there were different small letters after average value of female and male , which indicated that there was significant difference between them at the level of 5% .

别为 14.16、14.00、14.77℃，雌雄完成一个世代发育所需要的有效积温为 523.33 日·度，发育始点为 12.72℃，卵、幼虫、蛹与全世代的发育速率与温度呈线性关系（表 4）（ $P < 0.05$ ），相关系数  $r$  都较大（ $r > 0.94$ ）。利用直接最优法计算的有效积温与发育始点见表 5，卵、幼虫、蛹发育所需要的有效积温分别为 41.96、149.20、110.47 日·度，发育始点分别为 13.41、14.39、15.12℃，雌雄完成一个世代所需的有效积温为 497.78 日·度，发

育始点为 13.30℃。上述两种方法均表明，雄虫从卵到蛹所需的有效积温高于雌虫，其中雌雄蛹期之间的差异最为显著，与雄虫各虫态/虫龄的发育历期稍长于雌虫有关，与何莉梅等（2019）研究发现在 20~35℃ 时雄虫从卵到蛹期的发育历期长于雌性的结果相符合。从两种方法计算的卵、幼虫、预蛹、蛹、产卵前期、全世代的变异系数看，直接最优法的变异系数多低于直线回归法，但相差很小，故直接最优法的结果略好于直线回归法。

表 4 草地贪夜蛾温度与发育速率的回归方程

Table 4 Regression equations between temperatures and developmental rates of *Spodoptera frugiperda*

发育阶段 Developmental stage	回归方程 Regression equation	相关系数 $r$ Correlation coefficient
	雌 + 雄 Female + Male	
卵 Egg	$T = 14.16 + 38.21V$	0.94
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larvae	$T = 14.76 + 23.63V$	0.83
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larvae	$T = 14.85 + 18.74V$	0.83
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larvae	$T = 13.21 + 23.28V$	0.75
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larvae	$T = 15.26 + 18.10V$	0.84
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> larvae	$T = 17.02 + 15.47V$	0.86
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> larvae	$T = 13.51 + 36.60V$	0.65
幼虫 Larvae	$T = 14.00 + 155.42V$	0.97
预蛹 Prepupae	$T = 15.86 + 13.16V$	0.91
蛹 Pupae	$T = 14.77 + 114.36V$	0.96
产卵前期 Pre-oviposition period	$T = 11.38 + 49.41V$	0.67
全世代 Whole generation	$T = 12.72 + 523.33V$	0.95

表 5 草地贪夜蛾不同发育阶段的发育始点和有效积温（直接最优法）

Table 5 Developmental zeros and effective accumulative temperatures at different developmental stages of *Spodoptera frugiperda* (direct optimal method)

发育阶段 Developmental stage	有效积温常数 $K$ ( 日 · 度)			发育始点 $C$ ( °C)			变异系数 Coefficient of variation
	Effective accumulative temperature			Developmental zero			
	雌 Female	雄 Male	雌 + 雄 Female + Male	雌 Female	雄 Male	雌 + 雄 Female + Male	
卵 Egg	40.78 ±0.48 a	42.89 ±0.69 a	41.96 ±0.22	13.61 ±0.08 a	13.28 ±0.09 a	13.41 ±0.04	0.07
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larvae	23.82 ±0.48 a	25.07 ±0.45 a	24.46 ±0.28	14.91 ±0.09 a	14.62 ±0.10 a	14.76 ±0.09	0.10
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larvae	21.99 ±0.13 a	21.00 ±0.69 a	21.41 ±0.51	13.92 ±0.11 a	14.21 ±0.25 a	14.06 ±0.17	0.08
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larvae	23.97 ±0.41 a	24.01 ±0.18 a	24.10 ±0.36	13.73 ±0.18 a	13.72 ±0.15 a	13.71 ±0.16	0.11
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larvae	20.40 ±0.11 a	20.37 ±0.11 a	14.79 ±0.02	14.82 ±0.05 a	14.80 ±0.01 a	20.42 ±0.11	0.05
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> larvae	19.67 ±0.21 a	20.86 ±0.16 a	20.28 ±0.11	15.73 ±0.04 a	15.58 ±0.04 a	15.65 ±0.02	0.11
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> larvae	38.06 ±2.28 a	40.36 ±1.47 a	39.09 ±0.59	13.47 ±0.42 a	13.10 ±0.19 a	13.30 ±0.15	0.13

续表 5 Continued table 5

发育阶段 Developmental stage	有效积温常数 $K$ (日·度) Effective accumulative temperature			发育始点 $C$ (°C) Developmental zero			变异系数 Coefficient of variation
	雌 Female	雄 Male	雌 + 雄 Female + Male	雌 Female	雄 Male	雌 + 雄 Female + Male	
幼虫 Larvae	147.24 ± 1.21 a	151.17 ± 1.51 a	149.20 ± 1.27	14.46 ± 0.08 a	14.33 ± 0.05 a	14.39 ± 0.06	0.08
预蛹 Prepupae	14.11 ± 0.12 a	14.96 ± 0.44 a	14.55 ± 0.29	15.57 ± 0.04 a	15.42 ± 0.09 a	15.52 ± 0.05	0.08
蛹 Pupae	101.21 ± 0.54 b	119.91 ± 1.05 a	110.47 ± 0.81	15.19 ± 0.01 a	15.05 ± 0.03 a	15.12 ± 0.02	0.06
产卵前期 Pre-oviposition period	59.26 ± 4.20	—	—	10.91 ± 0.68	—	—	0.16
全世代 Whole generation	486.98 ± 5.69 b	508.39 ± 7.13 a	497.78 ± 6.19	13.30 ± 0.07 a	13.32 ± 0.06 a	13.30 ± 0.06	0.05

注：相同发育阶段，雌雄虫平均值后标有不同小写字母的，说明在 5% 水平下二者差异显著。Note: At the same developmental stage, there were different small letters after the average values of female and male, which indicated that there was significant difference between them at the level of 5%.

2.3 草地贪夜蛾在山东代表性地区发生世代数的预测

根据山东各地区代表性地市 2019 年和 2020 年的月平均气温计算有效积温，得出理论年发生世代数（表 6）。临沂郯城县（鲁南）3.5 ~ 3.7 代、滨州无棣县（鲁北）3.6 ~ 3.9 代、泰安泰山区（鲁中）3.5 ~ 3.8 代、聊城茌平区（鲁西）3.2 ~ 3.5 代、青岛胶州市（胶东）3.1 ~ 3.4 代、烟台福山区（胶东）2.8 ~ 3.2 代、威海荣成市（胶东）2.5 ~ 3.0 代。结果表明，直接最优法与直线

表 6 山东部分地区草地贪夜蛾理论年世代数  
Table 6 Theoretical number of annual generations of *Spodoptera frugiperda* in some regions of Shandong Province

地区 Region	直接最优法 Direct optimal method		直线回归法 Linear regression method	
	2019 年理论年世代数 Theoretical number of annual generations	2020 年理论年世代数 Theoretical number of annual generations	2019 年理论年世代数 Theoretical number of annual generations	2020 年理论年世代数 Theoretical number of annual generations
	in 2019	in 2020	in 2019	in 2019
鲁南（临沂郯城县） Southern Shandong (Tancheng, Linyi)	3.6	3.5	3.7	3.6
鲁北（滨州无棣县） Northern Shandong (Wudi, Binzhou)	3.8	3.6	3.9	3.6
鲁中（泰安泰山区） Central Shandong (Taishan, Taian)	3.7	3.5	3.8	3.5
鲁西（聊城茌平区） Western Shandong (Chiping, Liaocheng)	3.5	3.2	3.5	3.2
胶东（青岛胶州市） Jiaodong Peninsula (Jiaozhou, Qingdao)	3.3	3.1	3.4	3.2
胶东（烟台福山区） Jiaodong Peninsula (Fushan, Yantai)	3.1	2.8	3.2	2.8
胶东（威海荣成市） Jiaodong Peninsula (Rongcheng, Weihai)	3.0	2.5	3.0	2.6

回归法计算的理论年发生世代数基本一致。由于 2019 年各地市平均有效积温总数大于 2020 年, 致使理论发生世代数也略大于 2020 年。再由于山东东西向气温差异较大(常年相差 4~8℃), 一般情况是东部沿海地区温度明显低于西部, 故东西向相比, 发生世代数差异也较明显, 且在胶东地区越往东发生代数越少, 胶东总体发生 2.5~3.4 代, 而鲁西地区发生 3.2~3.5 代。山东南北向气温差异较小(一般相差 1~2℃), 有时鲁北平均还高于鲁南, 从本研究的结果看, 鲁北(3.6~3.9 代)、鲁中(3.5~3.8 代)和鲁南(3.5~3.7 代)的发生世代数, 差异不大。

### 3 结论与讨论

昆虫是变温动物, 其代谢、生长发育和存活受温度高低的影响最敏感。温度的差异会直接影响昆虫的地理分布和发生的年世代数。本研究表明, 草地贪夜蛾在 18~30℃ 范围内, 发育历期随着温度的升高而逐渐缩短, 30℃ 时发育历期最短(32.27 d)。从温度设置范围看, 适宜草地贪夜蛾生长发育的范围是 24~30℃, 与 Plessis 等(2020)的发育最适温度是 26~30℃ 和何莉梅等(2019)的生长和繁殖适宜温度为 20~30℃ 相符合。本试验没有设置 30℃ 以上的温度, 从其他作者设置 30℃ 以上温度的研究看, 温度在 35℃ (张红梅等, 2020) 和 37℃ (鲁智慧等, 2019) 时, 发育明显受阻且存活率低, 而在 32℃ 时发育快且死亡率低。综合各作者的结果看, 适宜草地贪夜蛾生长发育的温度范围应在 24~32℃。本研究观察的幼虫历期与赵琳超等(2020)在 18~30℃ 之间观测的幼虫期差异较大, 他们在 18℃ 时的幼虫期为 35.95 d, 明显低于本试验的 42.97 d; 24℃ 时幼虫期为 31.89 d, 大于本研究的 13.55 d。本试验的全世代发育历期在 21℃ 为 62.90 d, 显著大于鲁智慧等(2019)在 22℃ 时的 47.07 d, 由此可见不同试验间存在一定差异。但可从试验结果看出, 温度低于 18℃, 草地贪夜蛾的生长发育明显受阻。从温度影响草地贪夜蛾存活和生殖的情况看, 主要是低温 15℃ 和 18℃ 引起的死亡率较高、发育历期过长, 尤其在 15℃ 时成虫无法正常交配完成繁殖过程, 与何莉梅等(2019)的结果一致。鲁智慧等(2019)研究发现草地贪夜蛾在 32℃ 时, 成虫可以正常繁殖产卵, 而在 35℃ 和 37℃ 时, 蛹不能正常羽化, 雌

蛾不产卵, 表明 35℃ 已不适宜草地贪夜蛾的生殖(张红梅等, 2020)。综合各研究者的结果看, 低于 20℃ 和高于 32℃ 均不利于草地贪夜蛾的存活和生殖。据 2019 年和 2020 年草地贪夜蛾在山东的发生为害情况看, 多发现于胶东半岛的 7~8 月份, 当然, 山东的虫源肯定是从南方种群随夏季西南季风向东北方向迁飞而来, 西南季风更有利于草地贪夜蛾沿着山东南部海岸线(日照)向胶东半岛的青岛、烟台和威海扩散, 胶东半岛处于夏季海洋性季风气候, 气温偏低, 7~8 月份的平均气温在 23~30℃, 日最高气温达 32℃, 也适合草地贪夜蛾的生长发育。而在同时期的鲁北、鲁中、鲁南的平均气温为 24~36℃, 日最高气温有时达到 39℃, 显著高于胶东半岛地区。从气温和季风的双重因素来看, 7~8 月胶东半岛地区草地贪夜蛾的发生程度会高于山东其它地区。

试验基于不同温度下的发育历期, 根据直线回归法计算得出, 草地贪夜蛾的发育始点为 12.72℃, 有效积温为 523.33 日·度; 根据直接最优法求得的发育始点为 13.30℃, 有效积温为 497.78 日·度, 在发育始点上与谢殿杰等(2019)利用直线回归法求得发育始点(12.60℃)差异不大, 与其测得的有效积温为 584.00 日·度存在一定差异; 与张红梅等(2020)根据直线回归法计算的发育始点为 9.21℃、有效积温为 636.53 日·度差异较大。综合温度对草地贪夜蛾生长发育和存活的影响看, 本研究结果与许多研究表现出的差异, 可能与饲养条件有关, 本试验利用新鲜玉米籽粒饲养幼虫, 而谢殿杰等(2019)和张红梅等(2020)利用玉米苗喂养幼虫, 从营养角度讲, 玉米籽粒的营养成分含量肯定高于叶片, 对草地贪夜蛾的生长发育和存活更加有利, 这方面我们已通过饲喂玉米叶片和籽粒的研究得以证实, 同时也发现饲喂不同玉米品种的叶片对草地贪夜蛾的生长发育、存活和生殖也有影响(刘小宇, 2021); 或许与玉米某些品种苗期叶片中存在较高含量的抗虫物质(如丁布等)从而影响其生长发育与存活有关。

山东地处于中国大陆东部沿海地区, 省内气温地区间差异较大, 试验根据山东各地市间地理位置的差异划分了 5 个区域, 并选择其中代表地市对草地贪夜蛾发生世代数的理论值进行了预测, 结果显示山东各地区气温差异东西大于南北, 致使鲁中、鲁北和鲁南地区, 草地贪夜蛾年理论发



生世代数差异不大, 发生 3.5 ~ 4 代, 鲁西年理论发生世代数为 3.2 ~ 3.5 代, 而胶东半岛发生代数最少为 2.5 ~ 3.4 代, 与谢殿杰等 (2019) 预测山东南部发生 3 ~ 4 代基本一致。根据不同地区草地贪夜蛾发生世代的的不同可以将山东各地进行世代区域划分, 山东半岛为发生 2.5 ~ 3.5 代区, 鲁西为发生 3 ~ 3.5 代区, 鲁中、鲁南、鲁北发生世代数较多属于发生 3.5 ~ 4 代区。山东世代数区域的划分为不同区域草地贪夜蛾的监测预警和精准防控提供了科学理论依据。

致谢: 感谢山东省相关地市气象局提供月平均气温数据。

### 参考文献 (References)

- Chen H, Yang XL, Zhan AD, et al. Immigration timing and origin of the first fall armyworms (*Spodoptera frugiperda*) detected in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (6): 1270 – 1278. [陈辉, 杨学礼, 谌爱东, 等. 我国最早发现为害地草地贪夜蛾的入侵时间及其虫源分布 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (6): 1270 – 1278]
- Day R, Abrahams P, Bateman M, et al. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa [J]. *Outlooks on Pest Management*, 2017, 28 (5): 196 – 201.
- Deshmukh S, Kalleshwaraswamy CM, Asokan R, et al. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India [J]. *Pest Management in Horticulture Ecosystem*, 2018, 24 (1): 23 – 29.
- Gu RC, Tang YL, Wu YY, et al. Comparison of gut bacteria between *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata* feeding on sorghum in Chongqing area [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2019, 41 (8): 6 – 13. [顾倬铨, 唐运林, 吴燕燕, 等. 重庆地区取食高粱的草地贪夜蛾与玉米黏虫肠道细菌比较 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2019, 41 (8): 6 – 13]
- He LM, Ge SS, Chen YC, et al. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 18 – 26. [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 等. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 18 – 26]
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM. Occurrence dynamics and future trend of *Spodoptera frugiperda* invading China [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 33 – 35. [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (2): 33 – 35]
- Jiang YY, Liu J, Wu QL, et al. Investigation on winter breeding and overwintering areas of *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (1): 212 – 217. [姜玉英, 刘杰, 吴秋琳, 等. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查 [J]. 植物保护, 2021, 47 (1): 212 – 217]
- Jin MH, Tao JH, Li Q, et al. Genome editing of the *SfABCC2* gene confers resistance to CryIF toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20 (3): 815 – 820.
- Johnson SJ. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1987, 8 (4 – 6): 543 – 549.
- Li DM, Wang MM. Methods of rapidly estimating the developmental threshold temperature and effective accumulative temperature [J]. *Entomological Knowledge*, 1986, 23 (4): 184 – 186. [李典谟, 王莽莽. 快速估计发育起点及有效积温法的研究 [J]. 昆虫知识, 1986, 23 (4): 184 – 186]
- Liu J, Jiang YY, Li H, et al. A preliminary report on sugarcane damage by *Spodoptera frugiperda* [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (6): 35 – 36, 66. [刘杰, 姜玉英, 李虎, 等. 草地贪夜蛾为害甘蔗初报. 中国植保导刊, 2019, 39 (6): 35 – 36, 66]
- Liu XY. Effect of Diet and Temperature on Growth, Development and Reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2021. [刘小宇. 食料和温度对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2021]
- Lu ZH, He SQ, Yang NS, et al. Effects of temperatures on the development and reproduction of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith) [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 27 – 31. [鲁智慧, 和淑琪, 严乃胜, 等. 温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 27 – 31]
- Montezano DG, Specht A, Sosa – Gómez DR, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. *African Entomology*, 2018, 26 (2): 286 – 300.
- Plessis HD, Schlemmer ML, Berg Jvd. The effect of temperature on the development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Insects*, 2020, 11 (4): 228 – 238.
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, et al. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management. First Edition [M]. Mexico: CIMMYT/USAID, 2018: 2 – 10.
- Rose AH, Silversides RH, Lindquist OH. Migration flight by an aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) and a noctuid, *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) [J]. *Canadian Entomologist*, 1975, 107 (6): 567 – 576.
- Shandong Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs. Notice of Shandong provincial department of agriculture and rural affairs on strengthening the investigation of *Spodoptera frugiperda* in wheat field before winter [EB/OL]. (2019 – 12 – 02) [2019 – 12 – 03]. [http://nync.shandong.gov.cn/zwgk/tzgg/tfwj/201912/t20191203\\_3379673.html](http://nync.shandong.gov.cn/zwgk/tzgg/tfwj/201912/t20191203_3379673.html). [山东省农业农村厅. 山东省农业农村厅关于加强草地贪夜蛾冬前麦田调查的通知 [EB/OL]. (2019 – 12 – 02) [2019 – 12 – 03]. [http://nync.shandong.gov.cn/zwgk/tzgg/tfwj/201912/t20191203\\_3379673.html](http://nync.shandong.gov.cn/zwgk/tzgg/tfwj/201912/t20191203_3379673.html)]
- Sun XX, Hu CX, Jia HR, et al. Case study on the first immigration of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* invading into China [J].

- Journal of Integrative Agriculture* ,2019 ,18: 2 –10.
- Todd EL , Poole RW. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the western hemisphere [J]. *Annals of the Entomological Society of America* , 1980 , 73 ( 6 ) : 722 –738.
- Wu LM. Management strategies of fall armyworm ( *Spodoptera frugiperda* ) in China [J]. *Plant Protection* ,2020 ,46 ( 2 ) : 1 –5. [吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略 [J]. 植物保护, 2020 , 46 ( 2 ) : 1 –5]
- Xu LN , Hu BJ , Su WH , *et al.* Fall armyworm damaging early sowing wheat in Anhui Province [J]. *Plant Protection* ,2019 ,45 ( 6 ) : 87 –89. [徐丽娜, 胡本进, 苏卫华, 等. 安徽发现草地贪夜蛾为害早播小麦 [J]. 植物保护, 2019 , 45 ( 6 ) : 87 –89]
- Xie DJ , Tang JH , Zhang L , *et al.* Annual generation numbers prediction and division of fall armyworm , *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Plant Protection* ,2021 ,47 ( 1 ) : 61 –67 ,116. [谢殿杰, 唐继洪, 张蕾, 等. 我国草地贪夜蛾年发生世代区划分 [J]. 植物保护, 2021 , 47 ( 1 ) : 61 –67 ,116]
- Yang PY , Zhu XM , Guo JF , *et al.* Strategy and advice for managing the fall armyworm in China [J]. *Plant Protection* ,2019 ,45 ( 4 ) : 1 –6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议 [J]. 植物保护, 2019 , 45 ( 4 ) : 1 –6]
- Yang XL , Liu YC , Luo MZ , *et al.* The first discovery of *Spodoptera frugiperda* in Jiangcheng county , Yunnan Province [J]. *Yunnan Agriculture* ,2019 ,1: 72. [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 等. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾 [J]. 云南农业, 2019 ,1: 72]
- Zhang HM , Yin YQ , Zhao XQ , *et al.* The growth and development characteristics of *Spodoptera frugiperda* under different temperature condition [J]. *Journal of Environment Entomology* ,2020 ,42 ( 1 ) : 52 –59. [张红梅, 尹艳琼, 赵雪晴, 等. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性 [J]. 环境昆虫学报, 2020 , 42 ( 1 ) : 52 –59]
- Zhang XX , Zhang YJ. Forecast and Prediction for Crop Pests [M]. Beijing: China Agricultural Press ,2006: 74 –84. [张孝羲, 张跃进. 农作物有害生物预测学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 74 –84]
- Zhao LC , Liao YX , Chen ZM , *et al.* Impacts of temperatures on the growth and development of larvae and pupae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University* ,2020 , 43 ( 1 ) : 41 –47. [赵琳超, 廖用信, 陈壮美, 等. 不同温度对草地贪夜蛾幼虫和蛹生长发育的影响 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2020 , 43 ( 1 ) : 41 –47]
- Zhao M , Yang JG , Wang ZY , *et al.* *Spodoptera frugiperda* were found damaging potato in Shandong Province [J]. *Plant Protection* , 2019 ,45 ( 6 ) : 84 –86 ,97. [赵猛, 杨建国, 王振营, 等. 山东发现草地贪夜蛾为害马铃薯 [J]. 植物保护, 2019 , 45 ( 6 ) : 84 –86 ,97]