环境昆虫学报 2020，42（1）：52－59
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2020. 01. 7

张红梅，尹艳琼，赵雪晴，李向永，王燕，刘莹，陈福寿，谌爱东. 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.

草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性

张红梅，尹艳琼，赵雪晴，李向永，王　燕，刘　莹，陈福寿*，谌爱东*
（云南省农业科学院农业环境资源研究所，昆明 650205）

摘要： 为掌握草地贪夜蛾的主要生物学特性，本文在5个恒温条件下：20℃、25℃、28℃、32℃和35℃，采用玉米苗作为饲料，测定了不同虫态的发育历期、繁殖力、发育起点温度和有效积温。结果表明：在20～35℃温度条件下，草地贪夜蛾的发育历期随着温度的升高逐渐下降，完成一个世代发育历期在23.0～48.3 d；其中，卵、幼虫、蛹、成虫和世代发育起点温度分别为：12.70℃、11.11℃、11.01℃、5.65℃和9.21℃，有效积温分别为：39.40日·度、201.25日·度、134.12日·度、171.06日·度和636.53日·度；20～32℃是卵、幼虫、蛹和成虫产卵的适宜温度，15℃、35℃恒温条件下不适宜草地贪夜蛾的生长发育。根据本试验测定的发育起点温度与有效积温，推测草地贪夜蛾在滇中、滇西、滇南、滇东南、滇西南、滇东北、滇西北年发生世代分别为2.18～8.59代、2.28～10.15代、3.43～12.13代、3.15～8.46代、2.75～9.39代、1.38～6.87代、1.11～6.72代。

关键词： 草地贪夜蛾；温度；发育历期；起点温度；有效积温
中图分类号： Q968.1；S433.4　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2020）01－0052－08

The growth and development characteristics of *Spodoptera frugipetda* under different temperature conditions

ZHANG Hong-Mei，YIN Yan-Qiong，ZHAO Xue-Qing，LI Xiang-Yong，WANG Yan，LIU Ying，CHEN Fu-Shou*，CHEN Ai-Dong*（Institute of Agriculture Environment and Resources，Yunnan Academy of Agricultural Sciences，Kunming 650205，China）

Abstract: In order to study the main biological characteristics of *Spodoptera frugipetda*，the developmental duration，fecundity，developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of different stages were measured on maize seedlings were used as feed under five temperature conditions：20℃，25℃，28℃，32℃ and 35℃，in laboratory. The results showed that the development duration of *S. frugipetda*（egg，larvae，pupae and adult）was gradually decreased with the increase of temperature within the range from 20℃ to 35℃，and the generation development duration was 23.0 ～ 48.3 d. The developmental threshold temperatures of egg，larvae，pupa，adult and whole generation were 12.70℃，11.11℃，11.01℃，5.65℃ and 9.21℃，respectively. And the effective accumulate temperatures were 39.4 d·℃、201.25 d·℃、134.12 d·℃、171.06 d·℃ and 636.53 d·℃. The optimum temperature for eggs，larvae，pupa developing and adults oviposition was 20～32℃. However，the temperature of 15℃

基金项目：云南省财政专项（YAAS201902）；国家重点研发计划（2017YFD0201000）；云南省重点研发计划（2019IB007）：中国－南亚东南亚植物保护创新联合实验；云南省农业跨境有害生物协同绿色防控创新团队
作者简介：张红梅，副研究员，主要研究方向农业害虫生物防治研究，E－mail：bshrjs999@163.com
*通讯作者 Author for correspondence：陈福寿，研究员，主要研究方向农业害虫生物防治研究，E－mail：chenfsh36@163.com；谌爱东，博士，研究员，主要研究方向农业害虫种群灾害机制及绿色防控技术，E－mail：chenad68@163.com
收稿日期 Received：2019－10－07；接受日期 Accepted：2019－11－28

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

and 35℃ were not conducive to *S. frugiperda* growth and development. Base on the tested developmental threshold temperature and effective accumulative temperature, the paper speculated that the generation numbers of *S. frugipetda* in the middle regions, west, south, southeast, southwest, northeast and northwest were 2.18 ~ 8.59, 2.28 ~ 10.15, 3.43 ~ 12.13, 3.15 ~ 8.46, 2.75 ~ 9.39, 1.38 ~ 6.87 and 1.11 ~ 6.72 respectively in Yunnan Province.

Key words: *Spodoptera frugipetda*; temperature; developmental duration; threshold temperature; effective accumulated temperature

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)，又称秋黏虫 (fall armyworm)，属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuida 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*，是一种原产于美洲热带和亚热带地区，广泛分布在美洲各国的重大迁飞性害虫 (Todd and Poole, 1980)，具有适应性广、迁飞距离远、繁殖能力强、危害损失重等特点 (Rose *et al.*, 1975; Johnson, 1987; Westbrook *et al.*, 2016)，幼虫可为害玉米、水稻、甘蔗、高粱等 300 多种植物 (Sparks, 1979; Ashley *et al.*, 1989; Hardke *et al.*, 2015; Montezano *et al.*, 2018)。2016 年从美洲入侵非洲后快速在撒哈拉以南的 44 个国家快速蔓延 (姜玉英等，2019)，2018 年入侵亚洲的印度、斯里兰卡等 8 个国家，目前已在全球 100 多个国家发生，给玉米生产造成毁灭性的打击 (Abrahams *et al.*, 2017)。

2019 年 1 月 11 日，在云南普洱市江城首次确认草地贪夜蛾发生为害，随后在德宏州和保山市相继发现草地贪夜蛾 (全国农业技术推广服务中心，2019 a; 2019 b)，到 8 月底，已经在云南 16 个地州 129 个县近 67 万 hm^2 玉米、甘蔗等上发生危害。

云南地处低纬度高原，地形地貌复杂，气候的区域差异和垂直变化十分明显，周年都可以种植玉米，常年玉米种植面积约 170 万 hm^2，这给草地贪夜蛾的发生提供了适宜的环境和食料，因此开展草地贪夜蛾的生物学生态学研究对其当地种群预测预报和综合防控有重大的意义。

1　材料与方法

1.1　虫源

2019 年 4 月 27 日，草地贪夜蛾高龄幼虫采集自滇西弥渡县 (海拔 1 905 m，N 100 °25 ′17.02 ″，E 25 °28 ′10.51 ″) 春玉米地，并带回室内在塑料大棚养虫笼内用玉米苗喂养，提供土壤让其化蛹，羽化的成虫放入养虫笼中用 10% 蜂蜜水喂养，提供盆栽的玉米小苗让其产卵饲养，F_1 代成虫的卵块作为本实验的虫源。

把成虫刚产的卵块放在人工气候箱饲养 (RXZ 智能型人工气候箱，宁波市科技园新江南仪器有限公司)，气候箱温度波动范围在 ±1℃。

1.2　实验设计

把刚产的卵块置于人工气候箱饲养，温度设置为 20℃、25℃、28℃、32℃ 和 35℃ 共 5 个处理温度的恒温条件下饲养，气候箱的相对湿度为 65% ±5%，光周期为 L∶D = 14 h∶10 h。

每个温度取刚产的卵块 10 块，分别放在培养皿中，培养皿底部垫有抽纸，加湿棉球保持水分，每 6 h 观察 1 次卵块的孵化情况，记录卵的历期。

把刚孵化的初龄幼虫转移到圆形的透气塑料盒 (直径 14.5 cm，高 9.5 cm) 中饲养，单盒单头饲养并编号，每个温度取相同的卵块上刚孵化的幼虫，塑料盒中放有整株新鲜玉米小苗喂养，玉米苗根部用湿润棉花包裹，保持玉米苗新鲜，并及时更换清理粪便。每个温度观察 50 头幼虫，重复 3 次，共 150 头幼虫，每 12 h 观察 1 次草地贪夜蛾幼虫发育蜕皮情况，记录幼虫龄期及幼虫成活的头数。

待幼虫化蛹时，记录蛹的历期及化蛹的头数；待蛹的体色完全变为红棕色时，称蛹重，并每天观察记录蛹的历期。

待蛹羽化后，分别记录成虫正常羽化的数量，并用 10% 蜂蜜水饲养成虫，记录成虫的寿命。把刚羽化的成虫按 ♀∶♂ = 1∶1 配对放在相应的温度下产卵，成虫放在养虫笼 (长、宽、高均为 30 cm) 内让其产卵，养虫笼内提供盆栽的玉米小苗供成虫产卵，同时提供 10% 蜂蜜水饲养，每 12 h 记录成虫的产卵块数，把收集的卵块放在显微镜下统计每块卵的粒数，并放置在相应的温度下让其孵化，同时记录孵化的头数。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.3 发育起点温度和有效积温

在不同温度下观察获得不同虫态的平均发育历期（N），按照有效积温法则和最小二乘法原理可得到不同虫态的发育起点温度（C）和有效积温（K）。计算公式如下：

$$V = \frac{1}{N}$$

$$T = C + KV$$

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{n-2}\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2}\right)}$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n-2) \sum (V - \bar{V}^2)}}$$

$$r = \frac{\sum TV - \frac{\sum T \sum V}{n}}{\sqrt{\left[\sum V^2 - \frac{(\sum V)^2}{n}\right]\left[\sum T^2 - \frac{(\sum T)^2}{n}\right]}}$$

其中，N 为发育历期，V 为发育速率（发育历期的倒数关系），T 为处理试验温度，T' 为理论温度，n 为试验温度处理的数，C 为发育起点温度，K 为有效积温，S_c 和 S_k 分别是 C 和 K 的标准差，r 为相关系数。

1.4 草地贪夜蛾的发育世代计算

通过草地贪夜的世代发育起点温度、有效积温和气象数据可计算出当地的草地贪夜蛾的年发生世代数。以云南部分州、县气象数据（气象资料来源：天气预报网，https://www.baidutianqi.com/history/60842.htm），可计算云南草地贪夜蛾的年发生世代数。年发生世代数 = 全年有效积温的总和（大于等于发育起点温度的总和）/1 个世代的有效积温。

1.5 数据处理

试验数据以平均值和标准误表示。采用 Excle 2007 和 SSPS 21.0 软件对所有数据进行单因素方差分析，Duncan's 新复极差进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 发育历期及蛹重

在 20～35℃ 温度条件下，草地贪夜蛾的各虫态和世代的发育历期随温度的升高而逐渐下降（表 1），温度对卵、幼虫、蛹、成虫的发育历期均有显著性影响（$P < 0.05$）。其中，20℃ 条件下，卵、幼虫、蛹和成虫的发育历期最长，分别为：5.53 d、17.40 d、14.94 d 和 10.80 d。35℃ 条件下，卵、幼虫、蛹、成虫的发育历期最短，分别为：1.95 d、9.92 d、6.97 d 和 4.50 d，但不适宜卵的发育，卵粒易失水分、孵化率低，且幼虫、蛹和成虫死亡数相对较多。

温度对整个世代的发育历期有显著性影响（$F = 146.0437$，$P < 0.05$）。20℃ 条件下，草地贪夜蛾整个世代的发育历期最长为 48.3 d；35℃ 条件下，整个发育历期最短为 23.0 d。

在 20～35℃ 温度条件下，温度对草地贪夜蛾蛹重有显著性影响（$F = 14.8242$，$P < 0.05$），随着温度的升高蛹重逐渐减少，20℃ 蛹重最重为 0.2129 g/头，35℃ 蛹重最轻为 0.1447 g/头。

表 1 草地贪夜蛾在不同温度下的各虫态发育历期及蛹重

Table 1 Developmental duration during and pupa weight different developmental stages of *Spodoptera frugipetda* at different temperatures

温度（℃）Temperature	卵期（d）Egg stage	幼虫期（d）Larva stage	蛹期（d）Pupa stage	成虫期（d）Adult stage	世代历期（d）Generation period	蛹重（g/头）Pupa weight
20	5.53 ± 0.39 a	17.40 ± 0.75 a	14.94 ± 1.00 a	10.8 ± 0.75 a	48.30 ± 1.71 a	0.2129 ± 0.0149 a
25	3.57 ± 0.04 b	13.50 ± 1.59 b	8.17 ± 0.46 b	8.87 ± 0.35 b	34.85 ± 0.77 b	0.2071 ± 0.0078 ab
28	2.37 ± 0.12 c	11.79 ± 1.55 bc	8.67 ± 0.80 b	8.30 ± 0.90 b	31.59 ± 0.60 c	0.2081 ± 0.0191 ab
32	2.01 ± 0.09 cd	10.66 ± 2.23 c	6.73 ± 0.25 c	6.50 ± 0.46 c	26.11 ± 0.34 d	0.1867 ± 0.0059 b
35	1.95 ± 0.34 d	9.92 ± 2.10 c	6.97 ± 0.25 c	4.50 ± 0.50 d	23.00 ± 1.00 e	0.1447 ± 0.0110 c

注：表中数值为平均值 ± 标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在 0.05 水平差异显著。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant different at 0.05 level.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2　存活率

在 20～35℃温度条件下，幼虫发育到 6 龄时幼虫的存活率在 70.50%～96.75%，温度对幼虫的存活率有显著性影响（$F=92.3648$，$P<0.05$），20～32℃幼虫存活率较高在 84.25%～96.75%之间，在 20～32℃随温度的升高幼虫的存活率逐渐提高，35℃存活率最低为 70.5%。

在 20～35℃温度条件下，温度对草地贪夜蛾化蛹率（老熟幼虫化蛹后成活的比例）有显著性影响（$F=76.8638$，$P<0.05$），28℃化蛹率最高为 96.26%，32℃化蛹率次之为 94.22%，20～25℃化蛹率在 84.58%～88.00%，35℃化蛹率最低为 71.35%。

温度对草地贪夜蛾蛹存活率显著性影响（$F=218.9733$，$P<0.05$），25℃下蛹存活率最高为 91.44%，20℃次之为 85.60%，35℃蛹的存活率最低仅为 55.41%（见表 2）。

表 2　温度对草地贪夜蛾幼虫和蛹存活率的影响

Table 2　Effects of temperatures on survival rate of *Spodoptera frugipetda* larvae and pupa

温度（℃）Temperature	6 龄幼虫存活率（%）Survival rate of 6th instar	化蛹率（%）Rate of pupation	蛹存活率（%）Survival rate of pupa
20	84.25 ± 2.50 c	88.00 ± 2.16 b	85.60 ± 2.15 b
25	90.50 ± 1.29 b	84.58 ± 2.71 c	91.44 ± 1.90 a
28	93.75 ± 1.71 ab	96.25 ± 0.96 a	78.23 ± 1.61 c
32	96.75 ± 0.96 a	94.22 ± 2.16 a	76.21 ± 2.16 c
35	70.50 ± 3.41 d	71.75 ± 2.63 d	55.41 ± 1.33 d

注：表中数值为平均值 ± 标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在 0.05 水平差异显著。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant different at 0.05 level.

2.3　繁殖力

在 20～35℃温度条件下，除 35℃成虫不能正常的产卵，其余温度对草地贪夜蛾成虫产卵的卵块数和卵粒数有显著性的影响，卵块数（$F=27.9079$，$P<0.05$）、卵粒数（$F=173.4073$，$P<0.05$），在 20～32℃温度条件下，随着温度的升高成虫产卵的卵块数和卵粒数在减少，20～25℃产卵量较高在 605 粒/♀～667 粒/♀；在 20～35℃温度条件下，温度对卵的孵化率有显著性影响（$F=317.1921$，$P<0.05$），20～35℃卵孵化率在 28.5%～90.0%，20～28℃孵化率较高在 82.75%～90.00%，32℃孵化率为 58.75%（见表 3）。

表 3　温度对草地贪夜蛾成虫产卵的影响

Table 3　Effects of temperatures on adults oviposition of *Spodoptera frugipetda*

温度（℃）Temperature	卵块数（块/♀）Egg mass number (per female)	卵粒数（头/♀）Oviposition number (per female)	卵的孵化率（%）Hatchability
20	5.50 ± 1.29 a	667 ± 58 a	86.75 ± 1.71 a
25	4.75 ± 0.50 ab	605 ± 57 a	90.00 ± 1.15 a
28	4.00 ± 0.82 b	533 ± 52 b	82.75 ± 5.19 b
32	1.75 ± 0.50 c	201 ± 51 c	58.75 ± 2.75 c
35	–	–	28.50 ± 2.89 d

注：表中数值为平均值 ± 标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在 0.05 水平差异显著。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant different at 0.05 level.

在 20～35℃温度条件下，成虫随温度升高寿命逐渐降低，在 20℃、25℃、28℃、32℃和 35℃、成虫寿命分别为 10.80 d、8.87 d、8.30 d、6.50 d、4.50 d，温度对草地贪夜蛾成虫产卵前期有显著性

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的影响（$F = 7.9470$，$P < 0.05$），35℃成虫不产卵，20℃、25℃、28℃、32℃成虫产卵前期分别为：4 d、2 d、2 d、2 d；温度对草地贪夜蛾成虫产卵期有显著性的影响（$F = 5.8704$，$P < 0.05$），产卵期分别为：4 d、5 d、4 d、3 d，产卵高峰期分别在成虫羽化后的6～7 d、3～6 d、3～4 d、4 d（见表4）。

表4 草地贪夜蛾成虫在不同温度条件下的产卵期

Table 4 Oviposition period of *Spodoptera frugipetda* at different temperature

温度（℃）Temperature	产卵前期（d）Pre-oviposition period	产卵期（d）Ovipostion period	成虫寿命（d）Adult life
20	4.00 ± 0.80 a	4.00 ± 0.50 ab	10.80 ± 0.75 a
25	2.00 ± 0.56 b	5.00 ± 0.92 a	8.87 ± 0.35 b
28	2.00 ± 0.44 b	4.00 ± 0.25 ab	8.30 ± 0.90 b
32	2.00 ± 0.10 b	3.00 ± 0.50 b	6.50 ± 0.46 c
35	–	–	4.50 ± 0.50 d

注：表中数值为平均值 ± 标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在0.05水平差异显著。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant different at 0.05 level.

2.4 草地贪夜蛾各虫态及世代的发育起点温度和有效积温

卵、幼虫、蛹、成虫、全世代草地贪蛾发育速率与温度呈显著正相关。草地贪夜蛾整个世代发育起点温度为9.21℃，其中，卵、幼虫、蛹和成虫的发育起点温度分别为12.70℃、11.11℃、11.01℃和5.65℃；全世代有效积温为636.53日·度，卵、幼虫、蛹和成虫的有效积温分别为39.40日·度、201.25日·度、134.12日·度和171.06日·度（见表5）。

表5 草地贪夜蛾各虫态及世代的发育起点温度和有效积温

Table 5 The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of different developmental stages and generation of *Spodoptera frugipetda*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度（$C \pm S_c$）/℃ Developmental threshold temperature	有效积温（$K \pm S_k$）/（日·度）Effective accumulated temperature	回归方程 Regression equation	相关系数（r）Correlation coefficient
卵 Egg	12.7 ± 0.90	39.40 ± 2.40	V = 0.0254T − 0.3223	0.9818*
幼虫 Larva	11.11 ± 3.15	201.25 ± 6.41	V = 0.0050T − 0.0552	0.9861*
蛹 Pupa	11.01 ± 2.17	134.12 ± 7.85	V = 0.0075T − 0.0821	0.9012*
成虫 Adult	5.65 ± 2.89	171.06 ± 3.09	V = 0.0058T − 0.0330	0.9695*
世代 Generation time	9.21 ± 1.46	636.53 ± 7.39	V = 0.0016T − 0.0145	0.9930*

注：* 表示发育速率和温度的相关性达显著水平（$P < 0.05$）。Note: * Indicate significant correlation between developmental rate and temerature at 0.05 level.

2.5 云南不同地区草地贪夜蛾的发育世代预测

根据2018年云南部分州、市、县的气象数据资料，可以计算出各地大于9.21℃草地贪夜蛾一个世代发育的起点温度的最高有效积温总和、最低有效积温总和，预测年最多发生世代数和最低发生世代数。草地贪夜蛾在云南1年发生1.11～12.13代，以年平均世代为2.89～8.89代为主（见表6），推测草地贪夜蛾在滇中、滇西、滇南、滇东南、滇西南、滇东北、滇西北年发生世代分别为2.18～8.59代、2.28～10.15代、3.43～12.13代、3.15～8.46代、2.75～9.39代、1.38～6.87代、1.11～6.72，其中元江年发生世代数最高为5.63～12.13代，昭通最低为1.38～5.86代。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 6　云南草地贪夜蛾发生世代数预测

Table 6　Generation numbers prediction of *Spodoptera frugipetda* in Yunnan

地点 Place	最高世代数（代/年） Maximum generations	最低世代数（代/年） Minimum generations
滇南（元江） South Yunnan Province（Yuanjiang Country）	12.13	5.63
滇西（芒市） West Yunnan Province（Mangshi City）	10.15	3.65
滇西南（勐海） Southwest Yunnan Province（Menghai Country）	9.39	2.78
滇南（普洱） South Yunnan Province（Puer City）	8.98	3.43
滇西南（沧源） Southwest Yunnan Province（Cangyuan Country）	8.96	2.75
滇中（宜良） Central Yunnan Province（Yiliang Country）	8.59	2.18
滇东南（文山） Southeast Yunnan Province（Wenshan City）	8.46	3.15
滇西（保山隆阳区） West Yunnan Province（Longyang District Baoshan Prefecture）	7.97	2.40
滇西（弥渡） West Yunnan Province（Midu Country）	7.94	2.28
滇中（玉溪红塔区） Central Yunnan Province（Hongta District Yuxi Prefecture）	7.58	2.27
滇东北（会泽） Northeast Yunnan Province（Huize Country）	6.87	1.80
滇西北（永胜） Northwest Yunnan Province（Yongsheng Country）	6.72	1.40
滇西北（丽江古城区） Northwest Yunnan Province（Gucheng District Lijiang Prefecture）	6.06	1.11
滇东北（昭通昭阳区） Northeast Yunnan Province（Zhaoyang District Zhaotong Prefecture）	5.86	1.38

3　讨论与结论

温度是影响昆虫发育、繁殖的重要因素。本文研究结果表明，在 20～35℃恒温条件下，草地贪夜蛾各虫态及全世代随着温度的升高发育历期在逐渐下降，发育速率在加快，蛹重逐渐减少，草地贪夜蛾的整个世代发育历期为 23.0～48.3 d，这与鲁智慧等（2019）报道在 17～37℃一个世代发育历期在 22.57～58.73 d，Kebede（2018）报道 28℃世代发育历期约 30 d 基本一致，何莉梅等（2019）报道在 20℃一个世代的发育历期为 72.14 d 有一定差异，主要原因是何莉梅（2019）报道主要采用人工饲料（黄豆粉和麦胚粉制成）饲养草地贪夜蛾，本文采用玉米苗饲养草地贪夜蛾。

在 20～35℃温度条件下，35℃草地贪夜蛾卵孵化率、蛹存活率均较低，成虫不能产卵，在 15℃条件下，草地贪夜蛾卵的孵化率低，幼虫基本不能存活，不能完成一个世代的发育，卵放在恒温 11℃和 13℃的条件下不能孵化。说明高温和低温均不利于草地贪夜蛾的正常发育。在饲养发现卵在温度较低和水分重条件下生长发育时卵块上的鳞毛容易发霉不利于卵孵化，温度过高卵粒容易干瘪不利于孵化，刚孵化的初龄幼虫较快的分散，没有充足的食料，幼虫容易逃离，所以在饲养过程水分和新鲜的食料是必要条件，在 20～32℃卵的孵化率在 58.75%～90.00%，20～25℃卵的孵化率较高，卵适宜在 20～32℃生长发育。

在 20～35℃温度条件下，幼虫在 3 龄前取食量少，粪便较少，3 龄至老熟幼虫，幼虫取食量大，粪便多，20～35℃条件下草地贪夜蛾发育到 6 龄幼虫存活率在 70.50%～96.75%，25～32℃存活率较高在 90.50%～96.75%，这与 Schlenmmer（2018）报道草地贪夜蛾最适宜为 26～32℃相吻合，20℃幼虫存活率为 84.25%，35℃幼虫存活率最低，幼虫适宜在 20～32℃生长发育。通过室内

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

种群饲养观察发现高龄幼虫自残率严重，这与 Chapman（1999）等报道自残率在 40% ~50% 相符，有待进一步研究。

幼虫进入老熟幼虫至化蛹时，取食量、体重和体长减少，老熟幼虫喜欢寻找在隐蔽处打孔结茧化蛹，在 20 ~35℃化蛹率在 71.75% ~96.25%，蛹的存活率在 55.41% ~91.44%，20 ~32℃化蛹率较高为 84.58% ~ 96.25%，蛹的存活率在 76.21% ~91.44%，蛹适宜在 20 ~32℃生长发育，饲养过程发现化蛹和蛹期是草地贪夜蛾发育阶段脆弱期，对温度、湿度更敏感，温度过高蛹容易干瘪，温度低蛹的存活率低，室内把蛹埋在土壤 8 ~10 cm 中在低温 4℃保存 5 ~20 d，蛹的羽化率和产卵量明显降低，保存的时间越长，羽化率更低，甚至不羽化。

成虫喜欢在夜间活动产卵，产卵在玉米的叶正背面和茎秆上，白天喜欢停留在隐蔽处，常在玉米下部茎秆上停留，随着温度的升高成虫的寿命、产卵量、孵化率逐渐下降，20 ~32℃产卵量在 201 ~667 粒，孵化率在 58.75% ~90.00%，20 ~28℃成虫产卵量较高在 533 ~667 粒，孵化率较高在 82.75% ~90.00%，成虫产卵的数量低于 Pitre *et al.*（1983）、Kebed（2018）报道的数量，与何莉梅（2019）报道符合。在种群饲养过程中采用不同颜色的丝尼膜诱集成虫产卵，在绿色上的卵块数较多，这与 Nascimento（2018）等报道成虫对绿光、黄光趋性较强一致，有待进一步研究。综合来看，草地贪夜蛾卵、幼虫、蛹和成虫适宜在 20 ~32℃温度条件下生长发育，这与今年云南草地贪夜蛾受害株率较重（赵雪晴等，2019）热带亚热带地区西双版纳、临沧、普洱、文山气温相吻合。

根据 2018 年云南部分州、县气象数据统计和本文草地贪夜蛾世代发育起点温度 9.21℃和有效积温为 636.53 日·度，可预测云南年发生世代为 1.11 ~12.13 代，以年平均发生世代数为 2.89 ~9.89 代，滇中玉溪、宜良年平均发生世代为 4 ~5 代，滇西德宏、保山、弥渡年平均发生世代为 5 ~7 代，滇南普洱、元江年平均发生世代数为6 ~9 代，滇东南文山、滇西南勐海、沧源年平均发生世代数为 6 代、滇东北、滇西北年平均发生世代数为 3 ~4 代。这给当地预测预报和综合防治提供科学依据。但昆虫的生长发育受寄主作物、降雨量、光照、湿度等生态因子的影响，在预测发育期还要结合其他生态因子考虑。

参考文献（References）

Abrahams P，Beale T，Cock M，*et al.* Fall Armyworm Status Impacts and Control Options in Africa: Preliminary Evidence Note [R]. UK: CABI，2017.

Ashley TR，Wiseman BR，*et al.* The fall armyworm: A bibliography [J]. *Florida Entomologist*，1989，72（1）: 152 –202.

Chapman JW，Williams T，Escribano A，*et al.* Age – related cannibalism and horizontal transmission of anuclear polyhedrosis virus in larval *Spodoptera frugiperda* [J]. *Ecological Entomology*，1999，24（3）: 268 –275.

Hardke JT，Lorenz GM，Leonard BR. Fall armyworm（Lepidoptera: Noctuidae）ecology in Southeastern Cotton [J]. *Journal of Integrated Pest Management*，2015，6（1）: 10.

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. Analyze the dynamics and future trends of invaded the fall armyworm，*Spodoptera frugiperda* in 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]

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（4/5/6）: 543 –549.

Kebede M. Out – break，distribution and management of fall armyworm，*Spodoptera frugiperda* JE Smith in Africa: The status and prospects [J]. *Academy of Agriculture Journal*，2018，3（10）: 551 –568.

Lu ZH，He SQ，Yan 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，Spechta，Sosa – Gomez，*et al.* Host plants of *spodoptera frugiperda*（Lepidoptera: Noctuidae）in the Americas [J]. *African Entomology*，2018，26（2）: 286 –301.

National Agro – Tech Extension and Service Center. The Major Pests of Invaded the Fall Armyworm，*Spodoptera frugiperda* in Yunnnan Province. Carry out Investigation and Monitoring Immediately Everywhere [R]. Plant Pest Information，2019: NO. 7，2019 –01 –18. [全国农业技术推广服务中心. 重大害虫草地贪夜蛾已侵入云南，各地要立即开展调查监测 [R]. 植物病虫情报，2019 年第 7 期，2019 –01 –18]

National Agro–Tech Extension and Service Center. *Spodoptera frugiperda* Are Killing Winter Corn in 3 Cities and States in Southwest Yunnan Province [R]. Plant Pest Information，2019: No. 8，2019 –02 –01. [全国农业技术推广服务中心. 草地贪夜蛾在云南西南部

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 市州为害冬玉米 [R]. 植物病虫情报，2019 年第 8 期，2019 - 02 - 01]

Nascimento IN，Oliveira GM，Souza MS，*et al.* Light - emitting diodes (LED) as luminous lure for adult *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith，1797) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Experimental Agriculture International*，2018，25 (4): 1 - 8.

Pitre HN，Mulrooney JE，Hogg DB. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: Crop preferencesand egg distribution on plants [J]. *Journal of Economic Entomology*，1983，76 (3): 463 - 466.

Rose A，Silversides R，Lindquist O. Migration flight by an aphid，*Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae)，and a noctuid，*Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *The Canadian Entomologist*，1975，107 (6): 567 - 576.

Schlemmer M. Effect of Temperature on Development and Reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [D]. Evanston North - West University，2018.

Sparks AN. Fall armyworm symposium: A review of the biology of the fall armyworm [J]. *Florida Entomologist*，1979，62 (2): 82.

Todd EL，Poole RW. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera guenee* from the Western Hemisphere [J]. *Annals of the Entomological Society of America*，1980，73 (6): 722 - 738.

Westbrook J，Nagoshi R，Meagher R，*et al.* Modeling seasonal migration of fall armyworm moths [J]. *International Journal of Biometeorology*，2016，60 (2): 255 - 267.

Zhao XQ，Qu TY，Li YH，*et al.* Seasonal occurrence characteristics of the fall armyworm，*Spodoptera frugiperda*，in Yunnan in 2019 Spring and Summer [J]. *Plant Protection*，2019，45 (5): 84 - 90. [赵雪晴，屈天尧，李亚红，等. 2019 年云南省草地贪夜蛾春夏季发生特征 [J]. 植物保护，2019，45 (5): 84 - 90]

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net