

温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响

鲁智慧^{1#}, 和淑琪^{1#}, 严乃胜¹, 赵文杰¹, 姚万福²,
陈亚平¹, 杨 通¹, 姜玉英^{3*}, 桂富荣^{1,4*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南省生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201;

2. 云南省元江县植保植检站, 元江 653300; 3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125;

4. 云南省高原特色农业产业研究院, 昆明 650201)

摘要 草地贪夜蛾是新近入侵我国的重大农业害虫,为了弄清其入侵生物学特性,为草地贪夜蛾的监测预警及综合治理提供理论依据,本研究在光照培养箱内设置6个温度(17、22、27、32、37、42℃)饲养草地贪夜蛾,测定其不同阶段的存活率、发育历期、体重及繁殖力等,探究温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响。结果表明,草地贪夜蛾在42℃条件下仅能短暂存活,在17~32℃范围内可正常生长发育,其幼虫期、蛹期及世代历期均随着温度的升高而缩短,17℃条件下世代历期和幼虫期分别为(58.73±1.46)d和(21.79±1.03)d,37℃条件下则分别仅为(22.57±0.84)d和(11.12±0.31)d。成虫寿命在17~27℃范围内差异不大,之后随温度升高而缩短,37℃下成虫寿命仅为27℃下的1/4左右,且在该温度下成虫无法正常羽化,雌成虫不产卵。17~32℃下雌成虫产卵前期随温度的升高而缩短,产卵期则随温度升高而有所延长,平均单雌产卵量在27℃下最高,为(565.50±143.40)粒。说明温度升高会导致草地贪夜蛾发育历期缩短,年发生世代数增加,幼虫取食量增大,对作物的为害加重。

关键词 草地贪夜蛾; 温度; 发育历期; 产卵量

中图分类号: S 435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019390

Effects of temperatures on the development and reproduction of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith)

LU Zhihui¹, HE Shuqi¹, YAN Naisheng¹, ZHAO Wenjie¹, YAO Wanfu²,
CHEN Yaping¹, YANG Tong¹, JIANG Yuying³, GUI Furong^{1,4}

(1. State Key Laboratory of Conservation and Utilization of Biological Resources of Yunnan, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Yuanjiang County Plant Protection and plant Quarantine Station, Yuanjiang 653300, China; 3. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China;

4. Yunnan Plateau Characteristic Agricultural Industry Research Institute, Kunming 650201, China)

Abstract To clarify the biological characteristics and provide theoretical evidence for monitoring, early warning and comprehensive management of *Spodoptera frugiperda*, a new invasive species in China, the species was reared at six different temperatures (17, 22, 27, 32, 37, 42℃) in artificial climate incubators, and their survival rate, developmental duration and body weight at different stages, as well as the female adult fecundity were recorded and analyzed. The results showed that the larvae of *S. frugiperda* could develop a complete generation from 17℃ to 32℃. The developmental duration of larvae, pupae and the whole generation period was shortened with the increase of temperature, which were (58.73±1.46)d and (21.79±1.03)d, respectively at 17℃, and only (22.57±0.84)d and (11.12±0.31)d respectively at 37℃. The adult longevities reared at temperatures from 17℃ to 27℃ showed no significant difference, however, it was decreased significantly with the increase of temperatures from 32℃ to 42℃. The adult longevity at 37℃ was only about 1/4 of that at 27℃, and the pupae at 37℃ could not

收稿日期: 2019-07-31 修订日期: 2019-08-09

基金项目: 农业农村部种植业管理司和全国农业技术推广服务中心草地贪夜蛾应急调研指导项目;中央财政2019年外来入侵物种防控项目

* 通信作者 E-mail: jiangyuying@agri.gov.cn; furonggui18@sina.com

为并列第一作者

emerge normally into adults, and the female adults did not lay eggs. The pre-oviposition period of female adults shortened with the increase of temperature, while the oviposition period prolonged with the increase of temperature at 17–32°C. The average fecundity was the highest at 27°C as (565.50±143.40) eggs per female. The results indicated that with the increase of temperature at certain range, the developmental period of *S. frugiperda* shortened, and the annual generation number increased, which would result in aggravation of crop damage by the invasive species.

Key words *Spodoptera frugiperda*; temperature; developmental duration; fecundity

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)

隶属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 英文名为 fall armyworm, 俗称秋黏虫^[1]。该虫原产于美洲, 是重大迁飞性害虫^[2]。2016 年初, 草地贪夜蛾扩散到中非和西非^[3], 2018 年 5 月, 确认草地贪夜蛾在印度定殖, 同年 12 月扩散至东南亚大部分地区^[4]。2019 年 1 月我国云南省普洱市江城县首先发现草地贪夜蛾, 到 6 月, 该虫已扩散至我国 20 余个省(区、市), 并还在继续向我国北部扩散^[5-6], 给我国玉米产业造成了极大威胁。

草地贪夜蛾无滞育现象, 其世代长短与所处的环境温度密切相关。Schlemmer 报道其最佳发育温度为 26~32°C, 产卵的最佳温度为 18~26°C^[7]。低温会使草地贪夜蛾的生长速率降低且死亡率升高。此外, 成虫的寿命也取决于其所处环境的温度及食物种类, 在一定温度范围内, 雌蛾繁殖力随温度升高而增加^[7]。2019 年上半年, 云南省大部分地区主要气候特征为高温少雨, 为草地贪夜蛾在云南省大面积传播扩散提供了有利条件。草地贪夜蛾适生区域广泛, 入侵云南后可在低海拔温热地区全年繁殖为害, 并可以云南为虫源基地, 继续向我国其他地区扩散^[8]。本文通过测定不同温度下草地贪夜蛾的生长发育及繁殖情况明确草地贪夜蛾在入侵地的生物学特性, 为开展草地贪夜蛾的监测预警及综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾幼虫采自云南省玉溪市(101°58'E, 23°35'N, 海拔 421 m), 在人工气候箱(MGC-300A, 上海一恒科学仪器有限公司)内饲养(温度为 27°C±0.5°C, 相对湿度 RH 为 75%±5%, 光周期 L//D=16 h//8 h), 化蛹羽化出成虫并产卵后, 取同一头雌虫产下的卵粒供试。

1.2 温度设置

将光照培养箱温度设置为 17、22、27、32、37°C 和 42°C 共 6 个温度梯度, 每个温度处理误差为±0.5°C, 培养箱内相对湿度 RH 均为 75%±5%, 光周期为 L//D=16 h//8 h。

1.3 试验处理

取同一雌虫产下的卵 360 粒, 分为 6 组, 分别放入垫有滤纸片的培养皿($d=9$ cm)中, 皿内放入湿棉花持续保湿, 用保鲜膜封住培养皿, 在保鲜膜上扎上透气孔后分别放入 6 个不同温度的光照培养箱中。待卵孵化后, 取各温度下孵化的幼虫 30 头分别接入装有新鲜玉米叶片的指形管($d=2$ cm)中进行单头饲养, 管口用 150 目的纱网封口, 并在管壁上编号以便观察记录。每天定时清理管中粪便并更换玉米叶片, 观察记录幼虫及蛹的发育历期, 蜕皮、化蛹当天称量幼虫及蛹的重量, 同时记录死亡虫数。

成虫羽化后, 1 雌 1 雄进行配对, 放入自制的成虫饲养盒中(两个透明塑料杯口对口用透明胶带粘连在一起)饲养, 盒中放入浸润 10% 蜂蜜水的脱脂棉球供成虫补充营养(每天补充清水保持棉球湿润), 饲养盒上标记成虫编号。每天定时观察记录成虫数量及塑料杯内壁雌虫的产卵情况, 记录雌虫的产卵前期、产卵期及日产卵量等数据。

1.4 数据处理

各温度处理下, 每个虫龄的存活率=发育到下一虫龄的虫数/该虫龄虫数^[9]。草地贪夜蛾发育历期、体重及繁殖力数据的统计分析采用 SPSS 22.0 和 Excel 2007 软件进行。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)方法测定各处理间的差异显著性, 处理间差异显著性比较采用 LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 温度对草地贪夜蛾各龄幼虫和蛹存活率的影响

不同温度下草地贪夜蛾各龄期幼虫的存活率如表 1 所示。除 42°C 条件下幼虫存活率低(1 龄幼虫

存活率仅为 21.87%,2~6 龄幼虫全部死亡),不能完成一个完整的世代外,其余温度条件下草地贪夜蛾各龄期幼虫的存活率都在 84%以上,其中 32℃条件下各龄期幼虫存活率均在 96%以上。在 17~

37℃之间,6 龄幼虫的存活率均达 100%,说明该龄期对温度的耐受性较强。22~27℃有利于草地贪夜蛾蛹的存活,温度过高或过低都会降低蛹的存活率。

表 1 不同温度下草地贪夜蛾各龄幼虫及蛹的存活率¹⁾

温度/℃		存活率/% Survival rate					
Temperature	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	蛹 Pupa
17	(96.67±3.33)aA	(84.63±4.83)bB	(100.00±0.00)aA	(96.30±3.70)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA	(72.22±2.78)cC
22	(100.00±0.00)aA	(88.50±1.51)bB	(100.00±0.00)aA	(95.83±4.17)aA	(96.67±3.33)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA
27	(100.00±0.00)aA	(88.89±1.11)aA	(96.30±3.70)aA	(92.50±3.82)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA
32	(96.67±3.33)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA	(96.67±3.33)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA	(93.73±3.29)aA
37	(93.89±3.09)aA	(96.30±3.70)aA	(100.00±0.00)aA	(95.83±4.17)aA	(100.00±0.00)aA	(100.00±0.00)aA	(51.52±1.52)bB
42	(21.87±3.33)b	(0.00±0.00)c	—	—	—	—	—

1) 表中数值均为平均值±标准误。同列不同小写字母表示同一虫态在不同温度下的存活率差异显著,同行不同大写字母表示同一温度下不同虫态之间存活率差异显著($P<0.05$)。
The data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the survival rate at six temperatures at the same stage, and different uppercase letters in same row indicate significant difference in the survival rate of seven stages at the same temperature ($P<0.05$).

2.2 温度对草地贪夜蛾发育历期的影响

草地贪夜蛾在 17~32℃下均可完成一个完整的世代。在 17℃及 22℃条件下,草地贪夜蛾低龄幼虫的发育历期较 27~37℃明显延长;在 17℃和 22℃条件下幼虫发育历期随龄期的增加出现先缩短后延长的情况,在 27~37℃范围内,相同温度下草地贪夜蛾幼虫的发育历期随龄期增加而增长。

在所有饲养温度下,3 龄以后的幼虫发育历期均随龄期的增加而增长,其中 6 龄幼虫的发育历期显著长于其他龄期幼虫的发育历期($F=17.430, P=0.0003$);相同龄期的草地贪夜蛾幼虫发育历期随饲养温度的升高而缩短(表 2)。说明在 17~37℃范围内,随着温度升高,各龄期幼虫的生长发育速度相应加快。

表 2 不同温度下草地贪夜蛾幼虫发育历期比较¹⁾

温度/℃		发育历期/d Development period				
Temperature	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar
17	(3.74±0.28)aB	(3.44±0.33)ABCD	(2.72±0.16)aD	(2.86±0.17)aCD	(3.59±0.18)aBC	(6.86±0.18)aA
22	(3.66±0.12)aB	(2.56±0.23)bCD	(2.06±0.22)bD	(2.57±0.17)aCD	(2.96±0.13)bC	(5.91±0.21)bA
27	(1.30±0.08)bD	(1.56±0.12)cCD	(1.68±0.19)bcC	(1.85±0.17)bC	(2.40±0.17)cB	(4.77±0.18)cA
32	(1.22±0.10)bC	(1.21±0.08)cC	(1.48±0.11)cdBC	(1.48±0.10)bcBC	(1.77±0.10)dB	(4.45±0.15)cA
37	(1.00±0.00)bB	(1.00±0.00)cB	(1.06±0.06)dB	(1.36±0.10)cB	(1.65±0.14)dB	(5.46±0.30)bA

1) 表中数值均为平均值±标准误。同列不同小写字母表示同一龄期在不同温度下的发育历期差异显著,同行不同大写字母表示同一温度下不同龄期之间的发育历期差异显著($P<0.05$)。
The data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in development period of the same instar larvae at five temperatures; and different uppercase letters in same row indicate significant difference in development period among six instar larvae at the same temperature ($P<0.05$).

草地贪夜蛾的卵期、幼虫期、蛹期及世代历期均随着温度的升高而缩短(表 3),世代历期从 17℃的(58.73±1.46)d 缩短到 37℃的(22.57±0.84)d,差异极显著($F=79.114, P=0.0008$)。17~32℃各试验温度下草地贪夜蛾蛹期及世代历期差异均达显著水平;幼虫期除 32℃外在其余试验温度下差异均显著(表 3)。17℃下幼虫期达(21.79±1.03)d,显著长于 22~37℃下的幼虫期($F=100.895, P=0.005$);

37℃下幼虫期最短,仅(11.12±0.31)d,与 32℃下幼虫期无显著差异;17℃下蛹期为(18.63±0.53)d,37℃下蛹期仅(6.19±0.16)d。17~27℃下成虫寿命在 14~15 d,差异不显著;32℃条件下的成虫寿命下降至 27℃下的 60%,37℃下的成虫寿命仅为 27℃下的 1/4 左右($F=13.471, P=0.0001$),且 37℃下蛹均无法正常羽化,成虫大部分出现翅畸形的情况。

表 3 不同温度下草地贪夜蛾各虫态发育历期比较¹⁾

Table 3 Comparison of developmental period of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

温度/℃ Temperature	卵期/d Egg stage	幼虫期/d Larval duration	蛹期/d Pupa duration	成虫寿命/d Adult longevity	世代历期/d Generational period
17	(3.50±0.22)a	(21.79±1.03)a	(18.63±0.53)a	(15.00±1.42)a	(58.73±1.46)a
22	(2.80±0.20)ab	(19.43±0.36)b	(12.32±0.37)b	(14.25±2.03)a	(47.07±2.06)b
27	(2.30±0.21)b	(13.00±0.39)c	(8.40±0.26)c	(14.84±1.12)a	(34.36±2.05)c
32	(2.25±0.25)b	(11.81±0.22)cd	(6.21±0.10)d	(8.90±0.37)b	(29.15±0.33)d
37	(2.17±0.17)b	(11.12±0.31)d	(6.19±0.16)d	(3.69±0.62)c	(22.57±0.84)e

1) 表中数值均为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

2.3 温度对草地贪夜蛾体重的影响

由于草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫体重非常轻,用精度为 0.000 1 g 的分析天平也无法准确称量,故本研究从 3 龄开始称量幼虫的体重。结果表明,草地贪夜蛾幼虫体重均随着龄期的增加而增加,并从 5 龄开始显著增加(表 4)。37℃ 下 3~5 龄幼虫的体重显著高于 17℃ 和 22℃ 下相同龄期幼虫的体重

($F_{3龄}=8.908, P=0.004; F_{4龄}=3.767, P=0.006; F_{5龄}=2.757, P=0.031$)。试验中观察发现,草地贪夜蛾在化蛹前会吐出大量水分,身体开始皱缩,体重下降,并导致部分温度下的蛹重低于 6 龄幼虫体重。22℃ 下的蛹重最大,为(245.57±5.41)mg,显著高于其他温度下的蛹重($F=34.187, P=0.047$)。

表 4 不同温度下草地贪夜蛾幼虫和蛹体重比较¹⁾

Table 4 Larvae and pupa body weight of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

温度/℃ Temperature	体重/mg Body weight				
	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	蛹 Pupa
17	(5.66±0.88)bC	(14.94±1.64)bC	(50.17±5.21)bB	(204.83±12.35)aA	(215.69±7.19)bA
22	(4.73±0.64)bD	(15.34±2.37)bD	(51.41±4.74)bC	(185.79±14.57)aB	(245.57±5.41)aA
27	(3.28±0.58)bC	(14.59±2.75)bC	(79.95±10.54)aB	(201.19±15.46)aA	(198.82±3.45)cA
32	(4.99±0.56)bD	(21.94±2.83)abC	(66.70±7.60)abB	(168.76±7.99)aA	(170.06±3.67)dA
37	(10.68±1.72)aB	(28.55±4.60)aB	(83.96±13.30)aB	(182.93±18.53)aA	(191.79±5.27)cdA

1) 表中数值均为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平有显著差异,同行不同大写字母表示在 0.05 水平有显著差异。
Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, different uppercase letters in the same line indicate significant difference at 0.05 level.

2.4 温度对草地贪夜蛾繁殖力的影响

在 17~27℃ 下草地贪夜蛾的产卵前期显著长于产卵期($F_{17℃}=6.592, P=0.006; F_{22℃}=2.609, P=0.0051; F_{27℃}=2.069, P=0.002$),产卵前期随温度的升高而缩短,产卵期则随温度升高而有所延长(图 1),32℃ 下草地贪夜蛾的产卵前期与产卵期相当。17℃ 和 22℃ 下草地贪夜蛾雌成虫的产卵前期分别为(18.60±3.08)d 和(17.40±3.16)d,显著高于 27℃ 和 32℃ 下的产卵前期($F=14.823, P=0.015$);17~27℃ 下产卵期无显著差异,32℃ 下产卵期明显延长,达 27℃ 下的 1.98 倍,为(4.80±0.49)d ($F=3.571, P=0.039$)。

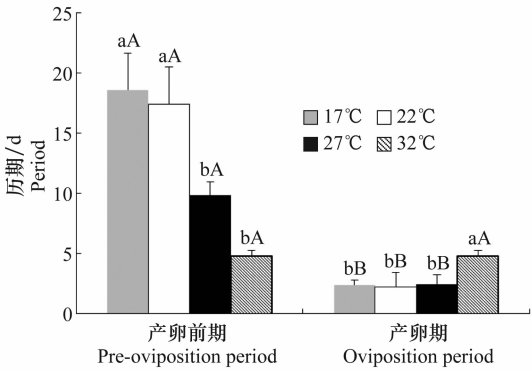
草地贪夜蛾的平均单雌产卵量在 17~27℃ 下随温度的升高而增加,27℃ 下达到最高,为(565.50±143.40)粒/雌,32℃ 下产卵量有所下降,但平均单雌产卵量在 17、22、27、32℃ 之间差异不显著(图 2),

37℃ 下雌成虫均不产卵。不同温度下雌虫所产卵的孵化率比较发现,22~27℃ 下雌虫所产卵的孵化率较高(未发表数据),温度过高或过低均会导致其所产卵的孵化率下降。22℃ 下成虫单雌日均产卵量最大,为(274.67±112.18)粒/雌·d,其次为 27℃ 下的单雌日均产卵量。37℃ 下雌成虫不产卵,说明 37℃ 不利于草地贪夜蛾的繁殖。

3 讨论

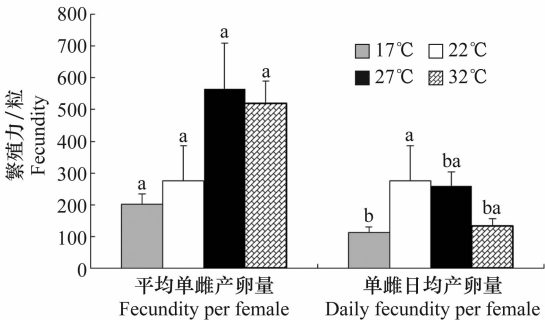
昆虫为变温动物,在其生命进程中温度是最为重要的一个生物气候因素,温度变化可对其生长发育、繁殖等生命活动产生深远的影响^[10]。昆虫在生长发育过程中,完成某一发育阶段所需的有效积温都是固定的,故温度升高可致有效积温积累加速,发育历期也就随着温度的升高而缩短^[11]。刘永华等^[12]的研究表明,黄斑长翅卷叶蛾 *Accleris fim-*

briana Thunberg 的卵、幼虫及蛹的发育历期、产卵前期和世代发育历期均随温度升高而显著缩短。黄小娟等^[13]研究发现,在 20℃ 至 30℃ 范围内马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker) 幼虫的发育进度随着温度的升高而加快,20℃ 下的发育历期明显长于其他温度下的发育历期。本研究表明,草地贪夜蛾在 17~37℃ 范围内可正常生长发育,幼虫在 32℃ 条件下存活率相对较高,在 42℃ 最低,6 龄幼虫对温度耐受力较高;22~27℃ 有利于蛹的存活。温度对发育历期及繁殖力有较大影响,草地贪夜蛾的卵期、幼虫期、蛹期、成虫寿命及世代历期均随温度的升高而缩短。



图中数值均为平均值±标准误。不同小写字母表示不同温度下产卵前期或产卵期差异显著。不同大写字母表示同一温度下产卵前期与产卵期差异显著($P<0.05$)
Data in figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference in pre-oviposition period or oviposition periods at different temperatures; different uppercase letters indicate significant difference between pre-oviposition period and oviposition period at the same temperature ($P<0.05$)

图 1 不同温度条件下草地贪夜蛾的产卵前期和产卵期
Fig. 1 Pre-oviposition and oviposition period of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures



图中数值均为平均值±标准误。不同小写字母表示不同温度下平均单雌产卵量或单雌日均产卵量在0.05水平存在显著差异
Data in figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference of average fecundity or daily fecundity per female at different temperatures ($P<0.05$)

图 2 不同温度条件下草地贪夜蛾的单雌日均产卵量
Fig. 2 Daily egg production of single female *Spodoptera frugiperda* under different temperature conditions

幼虫体重的增加量是衡量该害虫为害作物程度的重要指标^[14]。王宏民等^[15]的研究表明,在一定温度范围内,同龄期的黄粉虫 *Tenebrio molitor* 体重随着温度的升高而升高;冯雨艳等^[16]的研究显示,不同温度下豆天蛾 *Clanis bilineata* 3~5 龄幼虫体重日均增加量在一定温度范围内随温度升高而升高。本研究显示,低龄草地贪夜蛾体重增加幅度较小,进入高龄以后,前一龄期到后一龄期的体重增加幅度变大,对寄主植物的为害程度也随之大幅增加。在本试验温度范围内,37℃ 下 3~5 龄幼虫的体重均显著高于 17℃ 和 22℃ 下的体重,因此,温度升高会导致草地贪夜蛾幼虫的取食量增加,从而加重对作物的为害。

生物的繁殖力受温度影响较大,过高或过低的环境温度均不利于生物的繁衍^[17]。昆虫在低温条件下虽能生存,但低温会导致成虫性腺不能发育成熟,无法交配或交配后产卵量少;而持续的高温会破坏昆虫细胞的线粒体,抑制酶、激素的活性,影响成虫交配行为,且会使成虫寿命变短,发育不全,翅不能正常展开;雄虫不易产生精子或精子形成后失去活力;雌虫产卵量减少或产下的卵多为未受精的无效卵^[14]。张金祥等^[18]在探究不同温度对家蚕产卵量影响时发现,28℃ 以上的高温导致家蚕产卵量显著降低。但建国等^[19]也发现,小菜蛾成虫繁殖力与温度之间呈抛物线相关,低温导致小菜蛾繁殖力下降,而高温又能压低正常雌虫的产卵量,过高温度下成虫则无后代产生。本研究中草地贪夜蛾雌成虫在 17℃ 条件下可产卵,但产卵前期长,产卵期短,产卵量较少;32℃ 及以下的温度可导致草地贪夜蛾成虫寿命显著缩短,37℃ 下成虫的寿命仅为 27℃ 下的 1/4。草地贪夜蛾雌成虫在 37℃ 下不产卵,32℃ 下虽然产卵期延长,但单雌日均产卵量不大,且雌成虫产下的无效卵增多,说明该温度已对其繁殖产生不利影响。22~27℃ 下饲养的雌成虫单雌日均产卵量大,所产卵多为有效卵,是草地贪夜蛾繁殖的适宜温度,这与 Schlemmer^[7]确定产卵的最佳温度为 18~26℃ 基本一致。

参考文献

[1] 吴秋琳,姜玉英,吴孔明,等. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护,2019,45(2):1-6.

分子特征分析[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 20-27.

[19] 郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1-10.

[20] SIDANA J, SINGH B, SHARMA O. Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India [J]. Current Science, 2018, 115(4): 621.

[21] KALLESHWARASWAMY C M, ASOKAN R, SWAMY H M, 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 Horticultural Ecosystems, 2018, 24(1): 23-29.

[22] IPPC. First detection of fall army worm on the border of Thailand [EB/OL]. IPPC Official Pest Report, No. THA-03/1. FAO; Rome, Italy. 2018, <https://www.ippc.int/>.

[23] IPPC. First detection report of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in Myanmar [EB/OL]. IPPC Official Pest Report, No. MMR-19/2. FAO; Rome, Italy. 2019, <https://www.ippc.int/>.

[24] IPPC. Report of first detection of fall armyworm (FAW) in Republic of Korea [EB/OL]. IPPC Official Pest Report, No. KOR-08/2. FAO; Rome, Italy. 2019, <https://www.ippc.int/>.

[25] IPPC. Report of first detection of *Spodoptera frugiperda*-fall armyworm (FAW) in Egypt [EB/OL]. IPPC Official Pest Report, No. EGY-01/1. FAO; Rome, Italy. 2019, <https://www.ippc.int/>.

[26] IPPC. Report of first detection of *Spodoptera frugiperda*-fall armyworm (FAW) in Japan [EB/OL]. IPPC Official Pest Report, No. JPN-08/6. FAO; Rome, Italy. 2019, <https://www.ippc.int/>.

[27] FAO. Briefing note on FAO actions on fall armyworm [R]. Rome, Italy. 2019, <http://www.fao.org/3/a-bs183e.pdf>.

[28] PASHLEY D P, MARTIN J A. Reproductive incompatibility between host strains of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1987, 80(6): 731-733.

[29] DUMAS P, LEGEI F, LEMAITRE C, et al. *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two host strains or two distinct species? [J]. Genetica, 2015, 143(3): 305-316.

[30] NAGOSHI R N, DHANANI I, ASOKAN R, et al. Genetic characterization of fall armyworm infesting South Africa and India indicate recent introduction from a common source population [J/OL]. PLoS ONE, 2019, 14(5): e0217755.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 31 页)

[2] TODD E L, POOLE R W. 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.

[3] GOERGEN G, KUMAR P L, SANKUNG S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa [J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632.

[4] CABL. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) [EB/OL]. (2019-02-18)[2019-03-04]. <https://www.cabi.org/ISC/datasheet/29810>.

[5] 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.

[6] 章婉贤, 黄长安, 谭煜婷, 等. 广东省草地贪夜蛾应急防控体系的构建[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(1): 1-7.

[7] SCHLEMMER M. Effect of temperature on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [D]. Evanston: North-West University, 2018.

[8] 喜超, 姜玉英, 木霖, 等. 草地贪夜蛾在云南的潜在适生区分析及经济损失预测[J]. 南方农业学报, 2019, 50(6): 1226-1233.

[9] 乔利, 张方梅, 张权, 等. 小贯小绿叶蝉试验种群生命表研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 100-103.

[10] FLORES-MEJIA S, FOURNIER V, CLOUTIER C. Temperature responses of a plant-insect system using a food-web performance approach [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2014, 153(2): 142-155.

[11] BALE J S, MASTERS G J, HODKINSON I D, et al. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores [J]. Global Change Biology, 2002, 8(1): 1-16.

[12] 刘永华, 刘娟, 阎雄飞, 等. 温度对黄斑长翅卷叶蛾生长发育及繁殖的影响[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(4): 444-448.

[13] 黄小娟, 周玉江, 宋舟, 等. 温度对马尾松毛虫发育进度及繁殖能力的影响[J]. 中国森林病虫, 2014, 33(3): 14-17.

[14] 牟吉元. 普通昆虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 78-82, 352-362.

[15] 王宏民, 李亚芳, 杨萌萌, 等. 温度对黄粉虫体重增加、食物转化率及消化酶活性的影响[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(3): 434-439.

[16] 冯雨艳, 马光昌, 金启安, 等. 温度对豆天蛾发育历期及取食量的影响[J]. 热带作物学报, 2014, 35(12): 2442-2444.

[17] 赵敏, 冀焕红, 何钊, 等. 喙尼琵琶甲成虫存活及产卵量的影响因子[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(1): 173-180.

[18] 张金祥, 高建华, 姚琼莲. 家蚕蛹期不同温度保护对产卵量及不受精卵的影响[J]. 北方蚕业, 2010, 31(3): 19-22.

[19] 但建国, 梁广文, 庞雄飞. 不同温度条件下小菜蛾实验种群的研究[J]. 华南农业大学学报, 1995(3): 11-16.

(责任编辑: 杨明丽)