

# 草地贪夜蛾幼虫龄期对自相残杀行为的影响

王道通, 张蕾, 程云霞, 江幸福\*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

**摘要** 对群体饲养下草地贪夜蛾幼虫在不同龄期的自相残杀行为进行了比较研究, 结果表明: 在4种密度(5、10、20头/瓶和30头/瓶)下, 不同龄期的幼虫自相残杀率差异显著, 不同密度下的自相残杀行主要集中在5龄幼虫, 其自相残杀率均在5龄第2天时最高, 在5、10、20和30头/瓶中分别为 $(14.34 \pm 3.28)\%$ 、 $(17.94 \pm 3.26)\%$ 、 $(18.21 \pm 3.47)\%$ 和 $(27.05 \pm 5.52)\%$ , 幼虫在5龄前的自相残杀行为并不明显。进一步测定发现, 相同数量的4龄和5龄幼虫混合后在3种密度(4、10和20头/瓶)下的自相残杀率无显著差异( $F=2.29, df=2, P>0.05$ ), 但随着幼虫密度的增加, 死亡的4龄幼虫占总死亡个体的比例升高, 而死亡的5龄幼虫所占比例下降。这说明草地贪夜蛾同一龄期的幼虫自相残杀行为具有明显的龄期依赖性, 自相残杀行主要发生在高龄幼虫间。低龄和高龄幼虫同时存在时低龄幼虫被残杀的比例较高。试验结果对于草地贪夜蛾的室内大量饲养具有一定借鉴作用。

**关键词** 草地贪夜蛾; 自相残杀; 幼虫龄期; 幼虫密度

**中图分类号:** S 435.132    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019589

## Larval stage related cannibalism in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*

WANG Daotong, ZHANG Lei, CHENG Yunxia, JIANG Xingfu\*

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection,  
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract** The cannibalistic behaviors of *Spodoptera frugiperda* larvae reared under different densities were investigated. The results showed that when reared under four different densities (5, 10, 20 and 30 larvae/jar) the cannibalism rates among different instars were significantly different with most of the cannibalistic behaviors occurred at 5th instar. The cannibalism rates of the larvae reared under the four different densities all reached the highest at the 5th instar 2nd day, which was  $(14.34 \pm 3.28)\%$ ,  $(17.94 \pm 3.26)\%$ ,  $(18.21 \pm 3.47)\%$ , and  $(27.05 \pm 5.52)\%$ , respectively. The cannibalistic behaviors before the 5th instar were not obvious. Further, when same numbers of 4th and 5th instar were mixed and reared at three densities (4, 10 and 20 larvae/jar) respectively, the cannibalism rates showed no significant difference ( $F=2.29, df=2, P>0.05$ ), but with the increase of larvae density, the proportion of 4th instar in the total death increased, while the proportion of 5th instar declined. These results indicate that the cannibalism of the larvae is obviously age-dependent, and the cannibalistic behavior mainly occurs for older larvae. When young larvae and older larvae were reared together, the mortality of the young larvae increased with the increase of the density. The results provided useful information for the mass rearing of the *Spodoptera frugiperda* in laboratory.

**Key words** *Spodoptera frugiperda*; cannibalism; larval instar; larval density

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

属鳞翅目 Lepidoptera, 夜蛾科 Noctuidae, 灰翅夜蛾属, 是一种世界性的农业害虫<sup>[1-2]</sup>。早在 18 世纪就有草地贪夜蛾在佐治亚州为害作物的记录, 而后其在北美洲和南美洲都有分布, 并且在 1977 年给美国

东南部地区带来了 2.97 亿美元的损失<sup>[2-4]</sup>。2016 年 1 月, 草地贪夜蛾被确定入侵了非洲的西部地区, 随后 2017 年的一项调查结果显示非洲 12 个玉米种植国平均产量损失达到了 41.3%<sup>[5-6]</sup>。2019 年 1 月, 草地贪夜蛾入侵我国云南省部分地区, 专家初步

收稿日期: 2019-10-30    修订日期: 2019-11-06

基金项目: 国家自然科学基金(31672019, 31871951); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2019YJ06); 国家绿肥产业技术体系(CARS-22); 国家重点研发计划(2019YFD0300101, 2017YFD0201701, 2017YFD0201802); 北京市自然科学基金(6172030); 中国农业科学院重大科研任务(CAAS-ZDRW202007)

\* 通信作者 E-mail: xfjiang@ippcaas.ac.cn

判断发现的幼虫为从缅甸首批入侵我国的成虫种群所繁育。截至 2019 年 10 月,该虫已扩散到我国 20 余个省市地区<sup>[7-9]</sup>。草地贪夜蛾之所以能在非洲和亚洲迅速传播扩散,除了人为因素和环境适宜以外,其本身可以借助盛行风进行长距离迁飞是重要原因。在适宜温度下根据室内吊飞结果其平均飞行速度可达 4 km/h 左右,另外其也可以在适生区持续繁殖<sup>[10-12]</sup>。草地贪夜蛾的幼虫需经过 6 个龄期的发育,少数情况下有 7 个龄期,5 龄和 6 龄幼虫的食物摄入量占到了整个幼虫期的 93.5%<sup>[13]</sup>。

自相残杀即生物取食同类的行为,在鳞翅目昆虫中并不少见,比如:棉铃虫、甜菜夜蛾等<sup>[14-19]</sup>。有研究表明昆虫的自相残杀行为可能会提高存活率、发育速度及繁殖力进而使其在种群竞争中获得直接优势,更有利于自身的生存和繁殖<sup>[20-21]</sup>。Chapman 研究证明,在食物资源缺乏的情况下,草地贪夜蛾的发育速度与被吃掉的幼虫数量呈正相关,同时自相残杀也可以通过消灭种内竞争者而使幸存个体获得间接优势<sup>[22]</sup>。草地贪夜蛾幼虫在食物充足的情况下仍会发生自相残杀,尤其是在较高的饲养密度下。自相残杀行为主要出现在 5 龄和 6 龄幼虫之间,在幼虫早期自相残杀行为并不常见,并且性别不会对自相残杀行为产生影响<sup>[14,22]</sup>。在已有研究中,幼虫饲养密度设置少而低<sup>[14,23]</sup>,且主要是研究同一龄期幼虫间的自相残杀行为,还不能较为全面地反映幼虫残杀的行为习性。因此,我们期望明确不同幼虫密度下龄期以及不同龄期幼虫组合对草地贪夜蛾自相残杀行为的影响,并为草地贪夜蛾的幼虫种群数量动态变化规律与预测预报提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验密度的设定

饲养瓶规格为 750 mL,高 14 cm,直径 8 cm。饲养密度设为 1、5、10、20、30 头/瓶,其中 1 头/瓶为对照,每个密度处理 150~300 头幼虫,处理自幼虫孵化后第 2 天即 1 龄开始。草地贪夜蛾幼虫放置在人工气候箱内饲养,试验温度为(27±1)℃,相对湿度为(70±5)%,光周期设为 L//D=16 h//8 h。饲料为新鲜的苗期玉米叶片,幼虫孵化出后每日更换饲料并清理虫粪(幼虫进入 5~6 龄时,高密度处理每日更换饲料两次以上,确保所有幼虫均有充足的食料),整个幼虫期保持瓶内密度恒定,直至幼虫不

再取食为止。幼虫老熟后,把老熟幼虫放入含水量为 10%~15% 的过筛壤土中让其化蛹。

不同龄期幼虫组合的自相残杀试验采取相同数量的 4 龄和 5 龄幼虫混合饲养,幼虫密度设置为 4、10、20 头/瓶,每处理 3 次重复。饲养条件同上,且保证食物充足,2 d 后调查各组合密度下 4 龄和 5 龄幼虫的死亡情况,并计算自相残杀率。

### 1.2 试验测定指标及测定方法

幼虫自相残杀率定义为群体饲养下潜在的受害者被吃掉的比例,已有研究表明幼虫由其他原因导致的死亡率不会受到饲养密度和食物数量的显著影响,因此不同处理的死亡率差异主要是由自相残杀导致<sup>[14]</sup>。由自相残杀以外的原因导致的草地贪夜蛾幼虫死亡率相对稳定,因此试验中所有不见的幼虫都被默认为自相残杀导致。幼虫孵化第 2 天进行分密度饲养处理,并保证试验期间幼虫的食物供应充足,直至化蛹为止,在幼虫 4 龄前每个龄期调查 1 次,4 龄后每天调查 1 次。以对照的死亡率来表示由其他原因导致的死亡率,对其余 4 个饲养密度下的死亡率进行校正。

$$\text{自相残杀率} = \frac{\text{被食幼虫数}}{\text{饲养密度数}-1} \times 100\%;$$

$$\text{校正自相残杀率} =$$

$$\frac{\text{自相残杀率}-\text{死亡率}}{1-\text{死亡率}} \times 100\%;$$

公式中死亡率为饲养密度 1 头/瓶的各龄期死亡率。

### 1.3 数据处理与分析

所用统计分析软件为 SPSS 23,数据均用平均值±标准误表示。分别对同一龄期幼虫不同密度饲养下的自相残杀率,两种龄期(4 龄和 5 龄)组合的幼虫不同密度混合饲养下的自相残杀率及 4 龄和 5 龄幼虫的被残杀率进行单因素方差分析,若差异显著则采用 Tukey's HSD 法进行多重比较。另外,分别对不同密度下的 4 龄和 5 龄幼虫的被残杀率进行独立样本 t 检验。在数据分析之前,对原始数据进行平方根反正弦转换。差异显著性水平均为 0.05。

## 2 结果与分析

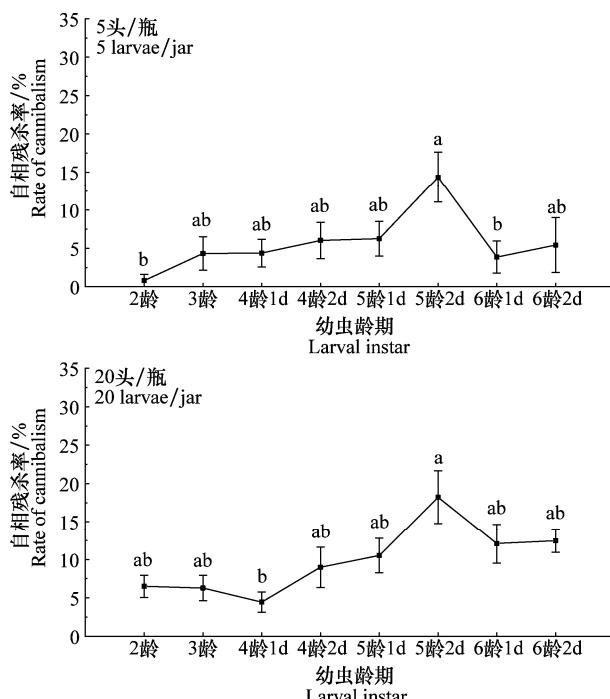
### 2.1 不同幼虫龄期对草地贪夜蛾自相残杀行为的影响

不同幼虫龄期的自相残杀率在各个密度下均存在显著差异(5 头/瓶 F=4.13,df=7,P<0.01;10 头/瓶 F=2.60,df=7,P<0.05;20 头/瓶 F=

3.74,  $df=7$ ,  $P<0.01$ ; 30头/瓶  $F=2.60$ ,  $df=7$ ,  $P<0.05$ )。幼虫在对照密度(1头/瓶)饲养下,各个龄期的死亡率不存在显著性差异( $F=0.81$ ,  $df=7$ ,  $P>0.05$ ),且各个龄期的幼虫死亡率均较低,死亡率最高时仅为(2.31±1.32)%。

在5头/瓶的密度下,幼虫只有在5龄第2天时的自相残杀率和2龄、6龄第1天时的自相残杀率存在显著差异( $P<0.05$ ),其余龄期的自相残杀率不存在显著差异( $P>0.05$ )。自相残杀率在幼虫5龄第2天时达到最高,为(14.34±3.28)%;在幼虫2龄时最低,仅为(0.80±0.80)% (图1)。

在10头/瓶的密度下,幼虫在5龄第2天时的自相残杀率和4龄第1天、6龄第2天的自相残杀率差异显著( $P<0.05$ ),其余龄期的自相残杀率不存在显著差异( $P>0.05$ )。自相残杀率在5龄第2天时达到最高,为(27.05±5.52)%;幼虫2龄时最低,仅为(5.30±1.79)%。5龄前幼虫的自相残杀率均未达到10%,5龄后的自相残杀率均达到了10%以上(图1)。



不同小写字母表示经Tukey's HSD多重比较存在显著差异( $P<0.05$ )。下同

Data marked with different letters are significantly different (Tukey's HSD test,  $P<0.05$ ). The same applies below

图1 各密度下草地贪夜蛾幼虫不同龄期的校正自相残杀率

Fig. 1 Corrected cannibalism rates in different instars of *Spodoptera frugiperda* larvae at each density

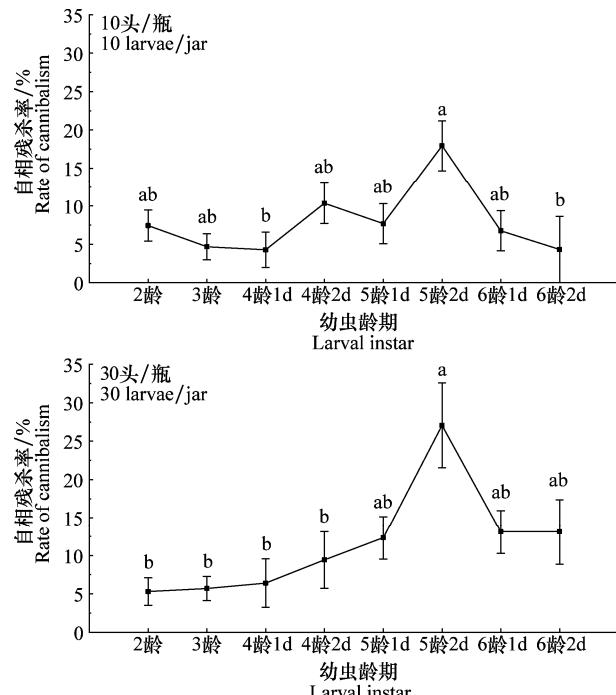
## 2.2 不同龄期组合的幼虫对草地贪夜蛾自相残杀行为的影响

3种幼虫组合密度,4、10头/瓶和20头/瓶的自相残杀率依次为(55.56±11.11)%、(33.33±0.00)%和(45.61±6.33)%三者之间差异不显著( $F=2.29$ ,  $df=2$ ,  $P>0.05$ )(图2)。随着幼虫密度的增大,死亡

最低,仅为(4.28±2.32)% (图1)。

在20头/瓶的密度下,幼虫在5龄第2天时的自相残杀率和4龄第1天的自相残杀率存在显著差异( $P<0.05$ ),其余龄期的自相残杀率不存在显著差异( $P>0.05$ )。自相残杀率在幼虫5龄第2天时最高,达到了(18.21±3.47)%;在幼虫4龄第1天时最低,仅为(4.44±1.32)%。5龄前幼虫的自相残杀率均较低,5龄后自相残杀率均达到了10%以上(图1)。

在30头/瓶的密度下,幼虫在5龄第2天时的自相残杀率和幼虫2龄、3龄、4龄第1天、4龄第2天的自相残杀率均存在显著差异( $P<0.05$ ),其余龄期的自相残杀率不存在显著性差异( $P>0.05$ )。幼虫在5龄第2天的自相残杀率最高,为(27.05±5.52)%;幼虫2龄时最低,仅为(5.30±1.79)%。5龄前幼虫的自相残杀率均未达到10%,5龄后的自相残杀率均达到了10%以上(图1)。



的4龄幼虫在总死亡个体中的占比越来越大,死亡的5龄幼虫在总死亡个体中的占比越来越小。在4头/瓶中,死亡的4龄幼虫在总死亡个体中的比例达到60%,死亡的5龄幼虫占比40%。在20头/瓶中,死亡的4龄幼虫在总死亡个体中的比例达到了84.62%,死亡的5龄幼虫占15.38% (图3a)。

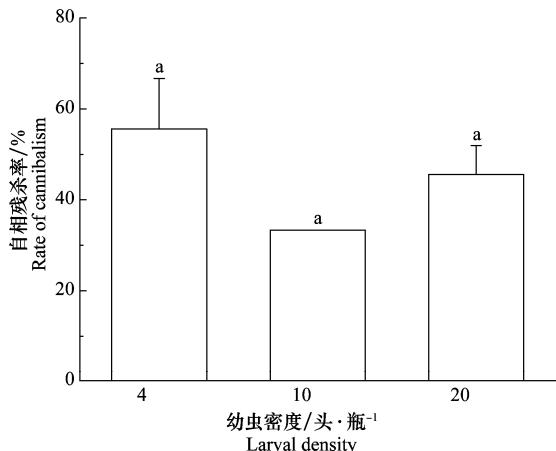
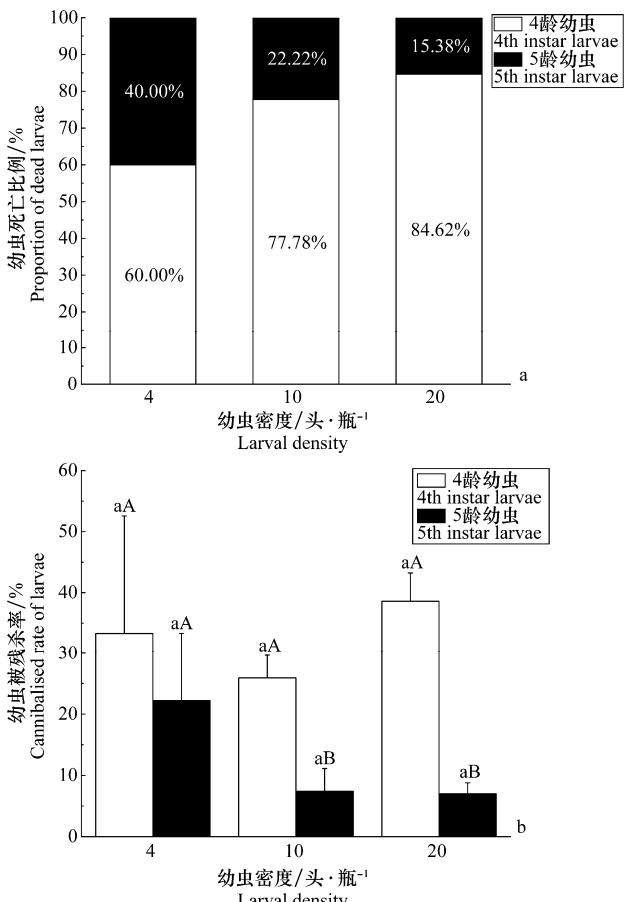


图2 不同密度下混合饲养的草地贪夜蛾4龄和5龄幼虫的自相残杀率

Fig.2 Cannibalism rate of 4th and 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* mixed population at different densities



相同小写字母表示不同密度间同一龄期幼虫的被残杀率无显著差异(Tukey's HSD多重比较,  $P>0.05$ )。不同大写字母表示同一密度下4龄和5龄幼虫的被残杀率存在显著差异( $t$ 检验,  $P<0.05$ )

Same small letters indicate no significant difference of the 4th or 5th instar mortalities among different densities (Tukey's HSD test,  $P>0.05$ ). Different capital letters indicate the mortalities of the 4th and 5th instar at same densities are significant different ( $t$ -test,  $P<0.05$ )

图3 不同密度下混合饲养的草地贪夜蛾4龄和5龄幼虫的自相残杀行为

Fig.3 Cannibalistic behavior of 4th and 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* mixed reared at different densities

不同密度对4龄幼虫和5龄幼虫被残杀率均无显著影响(4龄幼虫  $F=0.244$ ,  $df=2$ ,  $P>0.05$ ; 5龄幼虫  $F=0.50$ ,  $df=2$ ,  $P>0.05$ , 如图3b)。在4头/瓶中,4龄幼虫和5龄幼虫的被残杀比率无显著差异( $t=0.50$ ,  $P>0.05$ )。在10头/瓶中,4龄幼虫和5龄幼虫的被残杀率存在显著差异( $t=3.54$ ,  $P<0.05$ ), 分别为(25.93±3.70)%和(7.41±3.70)%。在20头/瓶中,4龄幼虫和5龄幼虫的被残杀率分别为(38.6±4.64)%、(7.02±1.75)%, 差异显著( $t=6.36$ ,  $P<0.05$ )。

### 3 讨论

自相残杀行为是种群内捕食者和被捕食者的相互作用, 在生物种群中可以影响种群动态和种群结构<sup>[21]</sup>。自相残杀行为发生的同时也会带来生存风险, 一是自相残杀行为发生时捕食者会因为受害者的防御反应而受伤或死亡; 二是病原菌会通过自相残杀进行传播, 比如昆虫虹彩病毒、核多角体病毒等<sup>[14, 24-26]</sup>。在本次试验中, 各密度下, 不同龄期的草地贪夜蛾幼虫的自相残杀率均有显著性差异, 没有直接观察到3龄以前的幼虫发生自相残杀行为, 幼虫自4龄开始生长发育明显加快, 自相残杀习性开始显现, 5龄时自相残杀率达到最高。幼虫6龄时进食最多, 但活动量下降, 在6龄第2天时就有老熟幼虫的出现, 虫体出现皱缩, 体节凹陷明显, 丧失自相残杀能力, 试验也在6龄第2天结束。在已有的研究中, 甜菜夜蛾在自相残杀行为上的表现与本次试验较为一致, 且与Chapman的研究结果也较为一致<sup>[14, 17]</sup>。

草地贪夜蛾不同龄期组合的幼虫种群自相残杀试验结果表明, 在3种密度下, 4龄幼虫的被残杀率都高于5龄幼虫, 其中10头/瓶和20头/瓶密度处理中二者存在显著差异。本研究明确了草地贪夜蛾自相残杀的受害者多为相对低龄的幼虫。并且在试验过程中发现幸存的4龄幼虫也多虫体较小, 发育不良, 5龄幼虫则发育正常。Reed和Richardson等研究证明了被寄生的和个体较小的昆虫幼虫更容易成为自相残杀的对象<sup>[15, 27-28]</sup>。另外, 不同龄期组成的草地贪夜蛾幼虫种群可能更易发生自相残杀行为, Kakimoto等研究证明了不同龄期组成的棉铃虫种群自相残杀行为发生更加频繁, 并且被残杀的对象都趋向于低龄幼虫<sup>[30]</sup>。本试验因调查时间间隔

不同,需做进一步研究。

本试验和已有研究都证明了幼虫龄期是影响草地贪夜蛾自相残杀的一个重要因子<sup>[14,30]</sup>。另外,幼虫密度和寄主种类也是影响草地贪夜蛾自相残杀的重要因素<sup>[30-31]</sup>。草地贪夜蛾的自相残杀是对生存环境的一种行为反应,对种群数量调节具有重要意义。我国南方地区的气候环境条件适宜草地贪夜蛾的持续繁殖,并且其强大的飞行能力可以使其进行选择性的迁飞,从而在我国南北方进行迁移扩散<sup>[32]</sup>。其种群的自相残杀行为不仅会影响其种群动态,而且还会影响其在新的迁入区的定殖与成灾,因此,草地贪夜蛾的种内自相残杀行为需进一步系统研究。

## 参考文献

- [1] TOOD 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.
- [2] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82–87.
- [3] MITCHELL E R, MCNEIL J N, WESTBROOK J K, et al. Seasonal periodicity of fall armyworm, (Lepidoptera: Noctuidae) in the Caribbean basin and northward to Canada [J]. Journal of Entomological Science, 1991, 26(1): 39–50.
- [4] SOUTHERN P S. Insect detection, evaluation and prediction report [R]. Southeastern Branch. Insect Detection, Evaluation and Prediction Committee, Entomological Society of America, 1982, 5: 37.
- [5] 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. DOI:10.1371/journal.pone.0165632.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10–19.
- [10] JOHNSON S J. 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.
- [11] 谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 等. 温度对草地贪夜蛾飞行能力的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 13–17.
- [12] WILD S. African countries mobilize to battle invasive caterpillar [J]. Nature, 2017, 543(7643): 13–14.
- [13] LUGINBILL P. The fall army worm Vol. 34 [M]. US Dept. of Agriculture. 1928.
- [14] CHAPMAN J W, WILLIAMS T, ESCRIBANO A, et al. Age-related cannibalism and horizontal transmission of a nuclear polyhedrosis virus in larval *Spodoptera frugiperda* [J]. Ecological Entomology, 1999, 24(3): 268–275.
- [15] REED D J, BEGON M, THOMPSON D J. Differential cannibalism and population dynamics in a host-parasitoid system [J]. Oecologia, 1996, 105(2): 189–193.
- [16] BARBER G W. The cannibalistic habits of the corn ear worm [J]. Technical Bulletins, 1936, 10(499): 1–19.
- [17] ELVIRA S, WILLIAMS T, CABALLERO P. Juvenile hormone analog technology: effects on larval cannibalism and the production of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) nucleopolyhedrovirus [J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(3): 577–582.
- [18] DHANDAPANI N, JAYARAJ S, RABINDRA R J. Cannibalism on nuclear polyhedrosis virus infected larvae by *Heliothis armigera* (Hübn.) and its effect on viral infection [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 1993, 14(4): 427–430.
- [19] 王娟, 江幸福, 吴德龙, 等. 幼虫密度对甜菜夜蛾生长发育与繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2008(8): 889–894.
- [20] DUELLI P. Is larval cannibalism in lacewings adaptive? (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. Population Ecology, 1981, 23(2): 193–209.
- [21] CHURCH S C, SHERRATT T N. The selective advantages of cannibalism in a neotropical mosquito [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 1996, 39(2): 117–123.
- [22] CHAPMAN J W. Fitness consequences of cannibalism in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. Behavioral Ecology, 1999, 10(3): 298–303.
- [23] 赵胜园, 罗倩明, 孙小旭, 等. 草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的形态特征和生物学习性比较[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(5): 26–35.
- [24] FOX L R. Cannibalism in natural populations [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1975, 6(1): 87–106.
- [25] RUDOLF V H, ANTONOVICS J. Disease transmission by cannibalism: rare event or common occurrence? [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2007, 274 (1614): 1205–1210.
- [26] WILLIAMS T, HERNANDEZ O. Costs of cannibalism in the presence of an iridovirus pathogen of *Spodoptera frugiperda* [J]. Ecological Entomology, 2006, 31(2): 106–113.

纸就可以获得较好的产卵诱集效果,但在大量人工饲养过程中,牛皮纸更容易进行标准化操作,推荐用作卵块承载介质,可更加便利地应用于草地贪夜蛾卵寄生蜂的扩繁。

## 参考文献

- [1] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. *The Florida Entomologist*, 1979, 62(2): 82–87.
- [2] LIU Huan, LAN Tianming, FANG Dongming, et al. Chromosome level draft genomes of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest in China [J/OL]. bioRxiv, 2019: 671560. DOI: 10.1101/671560.
- [3] 张磊, 柳贝, 姜玉英, 等. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 20–27.
- [4] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10–19.
- [5] 王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(3): 479–487.
- [6] 吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 1–9.
- [7] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 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.
- [8] 马千里, 吴吉英子, 宋紫霞, 等. 与美国对比分析草地贪夜蛾在我国的危害发展趋势[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 929–936.
- [9] 高希武. 我国害虫化学防治现状与发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 19–22.
- [10] 强胜, 陈国奇, 李保平, 等. 中国农业生态系统外来种入侵及其管理现状[J]. 生物多样性, 2010, 18(6): 647–659.
- [11] PITRE H N, MULROONEY J E, HOGG D B. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1983, 76(3): 463–466.
- [12] 巴吐西, 张云慧, 张智, 等. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及其对种群生命表的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 13–18.
- [13] THOMPSON J N. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1988, 47(1): 3–14.
- [14] 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 等. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 13–18.
- [15] BUENO R C O D F, BUENO A D F, XAVIER M F D C, et al. *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygastriidae) parasitism on eggs of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebidae) compared with its natural host *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2014, 107(4): 799–808.
- [16] MD S A. Natural enemies of the fall armyworm and the corn earworm in sorghum and maize in Irapuato, Guanajuato, Mexico [J]. *Southwestern Entomologist*, 2018, 43(3): 715–722.
- [17] RIOS-VELASCO C, GALLEGO-MORALES G, CAMBERO-CAMPOS J, et al. Natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Coahuila, México [J]. *Florida Entomologist*, 2011, 94(3): 723–726.
- [18] DEQUECH S T B, CAMERA C, STURZA V S, et al. Population fluctuation of *Spodoptera frugiperda* eggs and natural parasitism by *Trichogramma* in maize [J]. *Acta Scientiarum Agronomy*, 2013, 35(3): 295–300.
- [19] SHYLESHA A N, JALALI S K, GUPTA A, et al. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies [J]. *Journal of Biological Control*, 2018, 35(3): 145–151.
- [20] 唐璞, 王知知, 吴琼, 等. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 370–381.
- [21] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的天敌昆虫资源、应用现状及存在的问题与建议[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 658–673.
- [22] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的昆虫病原微生物资源及其应用现状[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 1–9.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 98 页)

- [27] SEMLITSCH R D, WEST C A. Size-dependent cannibalism in noctuid caterpillars [J]. *Oecologia*, 1988, 77(2): 286–288.
- [28] RICHARDSON M L, MITCHELL R F, RRAGEL P F, et al. Causes and consequences of cannibalism in noncarnivorous insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2010, 55(1): 39–53.
- [29] KAKIMOTO T, FUJISAKI K, MIYATAKE T. Egg laying preference, larval dispersion, and cannibalism in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2003, 96(6): 793–798.
- [30] VALICENTE F H, TUELHER E D S, PENA R C, et al.

选择性及其种群生命表[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 17–23.

- Cannibalism and virus production in *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae fed with two leaf substrates inoculated with Baculovirus spodoptera [J]. *Neotropical Entomology*, 2013, 42(2): 191–199.
- [31] RAFFA K F. Effect of host plant on cannibalism rates by fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae [J]. *Environmental Entomology*, 1987, 16(3): 672–675.
- [32] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 12–18.

(责任编辑: 杨明丽)