

寄生不同龄期草地贪夜蛾的斑痣悬茧蜂 生长发育表现

尚 丹^{1#}, 周金成^{1#}, 张柱亭², 董前进¹, 宁素芳¹, 董 辉^{1*}

(1. 沈阳农业大学, 沈阳 110866; 2. 凯里学院, 凯里 556011)

摘要 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 又称秋黏虫, 是新入侵我国的外来物种。为探究本土天敌斑痣悬茧蜂寄生不同龄期草地贪夜蛾幼虫后的生长发育表现, 本研究检测了斑痣悬茧蜂寄生 2 龄、3 龄和 4 龄草地贪夜蛾幼虫后子代蜂幼虫发育历期、茧历期、羽化率、茧重、成蜂个体大小和成蜂寿命。结果表明, 寄主龄期对子代蜂的幼虫发育历期、茧历期和成蜂寿命存在显著影响。与寄生 4 龄幼虫的子代蜂相比, 寄生 2 龄和 3 龄幼虫的子代蜂幼虫发育历期分别平均延长了 2.08 d ($z=5.42, P<0.05$) 和 1.64 d ($z=4.23, P<0.05$); 寄生 2 龄幼虫的子代蜂茧历期平均延长了 0.46 d ($z=3.51, P<0.05$), 但寄生 4 龄幼虫的子代蜂茧历期与寄生 3 龄幼虫的子代蜂茧历期无显著差异。4 龄幼虫体内羽化的子代蜂成蜂寿命比在 2 龄和 3 龄幼虫体内羽化的子代蜂成蜂寿命分别平均延长了 1.46 d ($z=-2.60, P<0.05$) 和 1.68 d ($z=-2.98, P<0.05$)。寄主龄期对子代蜂羽化率、茧重和成蜂个体大小无显著影响。随寄主龄期增大, 子代蜂的发育速度加快, 但寿命缩短。研究结果将为揭示斑痣悬茧蜂与寄主草地贪夜蛾的互作关系提供参考。

关键词 草地贪夜蛾; 斑痣悬茧蜂; 生物防治; 寄主龄期

中图分类号: S476.3, S433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019472

Development performance of *Meteorus pulchricornis* in different instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

SHANG Dan¹, ZHOU Jincheng¹, ZHANG Zhuting², DONG Qianjin¹, NING Sufang¹, DONG Hui¹

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Kaili University, Kaili 556011, China)

Abstract The *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), also known as fall armyworm, is a new invasive species in China. To investigate the developmental performance of *Meteorus pulchricornis* in different instar larvae of *S. frugiperda*, we examined the development duration of larvae and cocoon, emergence rate, cocoon weight, adult body size and adults' lifespan of *M. pulchricornis* when they developed in 2nd, 3rd, and 4th instar larvae of *S. frugiperda*, respectively. The results showed the developmental duration of larvae and cocoon, as well as the adults' lifespan of offspring were significantly influenced by host instar. Compared with *M. pulchricornis* offspring developed in 4th instar larvae of *S. frugiperda*, the larval durations of *M. pulchricornis* developed in 2nd and 3rd instar larvae of *S. frugiperda* were prolonged by 2.08 d ($z=5.42, P<0.05$) and 1.64 d ($z=4.23, P<0.05$), respectively. The cocoon duration of *M. pulchricornis* developed in 4th instar larvae of *S. frugiperda* was significantly shortened by 0.46 d ($z=3.51, P<0.05$) than those developed in 2nd instar larvae of *S. frugiperda*, but not different from those developed in 3rd instar larvae of *S. frugiperda*. Compared with that of *M. pulchricornis* emerged from 4th instar larvae of *S. frugiperda*, the adults' lifespan of *M. pulchricornis* emerged from 2nd and 3rd instar larvae was significantly shortened by 1.46 d ($z=-2.60, P<0.05$) and 1.68 d ($z=-2.98, P<0.05$), respectively. The emergence rate, cocoon weight, and adults' body size were not influenced by host instar. Our research revealed that both the development rate and adults' lifespan of *M. pulchricornis* increased

收稿日期: 2019-09-09 修订日期: 2019-09-18

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201000)

* 通信作者 E-mail: biocontrol@163.com

为并列第一作者

with host instars. The results will be helpful to make an illustration of the interaction of *M. pulchricornis* and its host *S. frugiperda*.

Key words *Spodoptera frugiperda*; *Meteorus pulchricornis*; biological control; host instar

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 又名秋黏虫, 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属, 原产于北美^[1]。该虫可取食至少 350 种植物, 且具有较强的迁飞能力和繁殖力^[2-4]。2019 年 1 月首次报道在我国云南省普洱市江城县发现草地贪夜蛾^[5]。截至 9 月, 草地贪夜蛾已入侵我国 24 个省 1 300 多个县, 为害面积超过 90 万 hm^2 ^[2]。

我国的气候条件和作物种植结构十分适合草地贪夜蛾的生长, 因而该虫极有可能演变成常发性重大害虫。化学防治等应急防控措施可在短时间内有效控制草地贪夜蛾种群数量。然而, 随着化学杀虫剂使用频率的增加, 可以预见该虫对杀虫剂抗药水平将不断上升, 且会造成环境污染^[6-8]。因此对草地贪夜蛾的防控应考虑使用生物防治等绿色防控手段, 以实现草地贪夜蛾的长效防控^[9]。

斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* 是一种寄生鳞翅目夜蛾科害虫幼虫的寄生蜂^[10], 是我国本土的甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 和斜纹夜蛾 *S. litura* 的重要寄生性天敌。而草地贪夜蛾与甜菜夜蛾和斜纹夜蛾亲缘关系较近^[11-12], 我们推测其也可能是草地贪夜蛾的候选天敌。由于草地贪夜蛾是新近入侵我国的重大害虫, 斑痣悬茧蜂等本土天敌可能对该虫的寄生适应性存在差异。一方面, 寄主体内的营养结构可能对斑痣悬茧蜂子代蜂的发育产生影响。另一方面, 寄主的免疫机制也可能对子代蜂生长发育产生影响。因此, 需要评价草地贪夜蛾幼虫是否是斑痣悬茧蜂的适应性寄主。

据报道, 斑痣悬茧蜂可寄生斜纹夜蛾或甜菜夜蛾 1~6 龄幼虫, 但偏好 2 龄和 3 龄。然而, 草地贪夜蛾高龄幼虫具有钻蛀性, 目前尚未见报道该蜂具有寄生钻蛀性害虫的能力。因此, 评价斑痣悬茧蜂对草地贪夜蛾幼虫的寄生能力应根据田间实际情况, 选取 4 龄之前的草地贪夜蛾幼虫作为目标寄主。为探究斑痣悬茧蜂寄生不同龄期草地贪夜蛾后子代的适应性, 本文研究了该蜂寄生草地贪夜蛾 2 龄、3 龄和 4 龄幼虫后子代蜂的生长发育状况。研究结果将对评价该蜂对草地贪夜蛾的寄生适应性提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾幼虫于 2019 年 6 月采自贵州省黔东南州天柱县附近的玉米田。将采集的幼虫放于布丁盒内, 每日喂以新鲜玉米叶至其羽化。羽化的成虫置于圆柱形养虫笼(直径 20 cm, 高 35 cm)内产卵, 笼壁用纱布包裹, 笼内放入折叠的 A4 纸作为产卵介质。每隔 12 h 用脱脂棉蘸取 10% 的蜂蜜水为草地贪夜蛾补充营养。每日将所产卵块取出, 待草地贪夜蛾幼虫孵出后, 将其放入同一个布丁盒内以人工饲料饲养。草地贪夜蛾人工饲料参考 Bowling 1967 年^[15]提出的饲料配方, 在此基础上加入了韦氏盐、微量复合维生素和甲醛。本研究选取发育至 2 龄、3 龄和 4 龄的草地贪夜蛾幼虫作为供试寄主。

斑痣悬茧蜂室内种群由江苏科技大学生物技术学院提供, 为孤雌产雌品系, 雌蜂无需交配即可产下 100% 的雌性子代。该蜂以 2 龄末期的斜纹夜蛾幼虫为寄主已连续饲养 20 代以上。羽化后的雌蜂以 10% 蜂蜜水每日饲喂。试验统一选取 2 日龄雌蜂作为供试雌蜂。

1.2 试验方法

在方形透明塑料盒(长 14 cm、宽 11.5 cm、高 6 cm)底部的一半平铺一层厚 1.5 mm 的人工饲料。每盒分别接入 60 头 2 龄、3 龄或 4 龄草地贪夜蛾幼虫, 释放 2 头饲喂过蜂蜜水的斑痣悬茧蜂。24 h 后取出寄生蜂和寄主, 将寄主单头放入上述规格的布丁盒中用人工饲料饲养直至寄生蜂出茧、羽化。记录子代蜂的幼虫发育历期(寄生到结茧的时间历期)、茧重、茧历期(结茧至成蜂羽化的历期)、羽化率、成蜂寿命以及成蜂个体大小(后足胫节长度)。试验在人工气候箱(温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 70% $\pm 5\%$, 光周期 L//D=14 h//10 h)中进行。

1.3 数据处理

本研究采用广义线性模型下的双因素方差分析检验寄主龄期对子代蜂的幼虫发育历期(泊松分布)、茧重(正态分布)、茧历期(泊松分布)、羽化率(二项分布)、成蜂寿命(泊松分布)以及成蜂个体大

小(正态分布)的影响。各处理组合下各试验指标的多重比较采用 Tukey 氏 HSD 法进行检验^[16]。本试验所得数据均使用 R 统计软件进行分析^[17]。

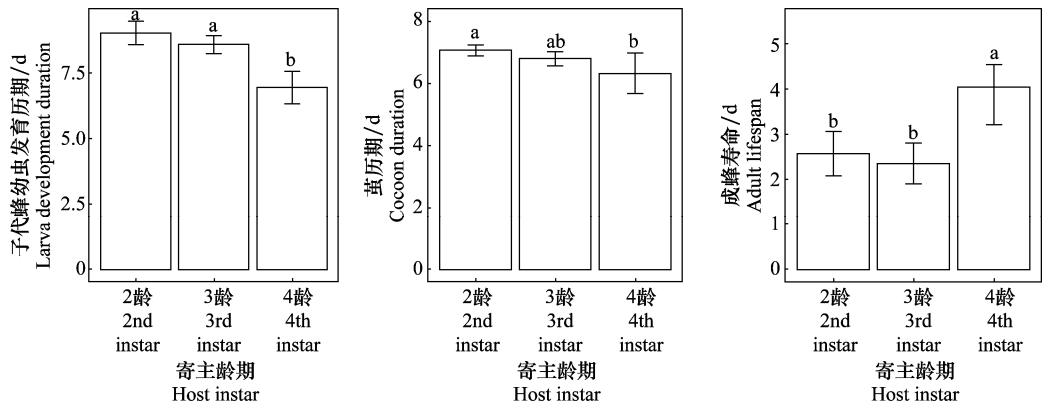
2 结果与分析

双因素方差分析表明,寄主龄期对子代蜂幼虫发育历期有显著影响($F_{2,90}=15.49, P<0.05$)。与草地贪夜蛾 4 龄幼虫体内发育的子代蜂幼虫发育历期($6.93\text{ d}\pm0.30\text{ d}$)相比,寄生 2 龄幼虫和 3 龄草地贪夜蛾幼虫的子代蜂幼虫发育历期分别为 $9.01\text{ d}\pm0.19\text{ d}$ 和 $8.57\text{ d}\pm0.22\text{ d}$,平均延长了 2.08 d ($z=5.42, P<0.05$)和 1.64 d ($z=4.23, P<0.05$)。但在草地贪夜蛾 2 龄和 3 龄幼虫体内发育的子代蜂幼虫发育历期无显著差异($z=1.51, P=0.29$)(图 1)。

寄主龄期对子代蜂茧历期存在显著影响($F_{2,87}=$

$6.73, P<0.05$)。在草地贪夜蛾 4 龄幼虫体内发育的子代蜂茧历期($6.33\text{ d}\pm0.19\text{ d}$)比 2 龄幼虫体内发育的子代蜂茧历期($6.79\text{ d}\pm0.13\text{ d}$)少 0.46 d ($z=3.51, P<0.05$),但与 3 龄幼虫无显著差异($z=1.97, P=0.12$)。2 龄和 3 龄草地贪夜蛾幼虫体内发育的子代蜂的茧历期无显著差异($z=2.04, P=0.10$)(图 1)。

寄主龄期对子代蜂成蜂寿命存在显著影响($F_{2,72}=7.86, P<0.05$)。相比于草地贪夜蛾 4 龄幼虫体内发育的子代蜂成蜂寿命($4.04\text{ d}\pm0.54\text{ d}$),在 2 龄和 3 龄幼虫体内发育的子代蜂成蜂寿命分别为 $2.58\text{ d}\pm0.28\text{ d}$ 和 $2.36\text{ d}\pm0.29\text{ d}$,平均短 1.46 d ($z=-2.60, P<0.05$)和 1.68 d ($z=-2.98, P<0.05$)。但 2 龄和 3 龄幼虫体内发育的子代蜂成蜂的寿命无显著差异($z=0.54, P=0.54$)(图 1)。



误差柄表示95%置信区间。相同小写字母表示不同龄期之间无显著差异。下同
The error bars indicate the 95% confidence interval. The same lowercase letters indicate the insignificant differences among different instar of *Spodoptera frugiperda*. The same applies below

图 1 寄主龄期对子代蜂幼虫发育历期、茧历期和成蜂寿命的影响

Fig. 1 Larval developmental duration, cocoon duration, and adult lifespan of offspring as influenced by host instar

寄主龄期对子代蜂茧重无显著影响($F_{2,90}=2.05, P=0.13$)。在 2、3、4 龄草地贪夜蛾幼虫体内发育的子代蜂茧重平均分别为 $6.8\text{ mg}\pm0.3\text{ mg}$ 、 $7.2\text{ mg}\pm0.2\text{ mg}$ 和 $6.4\text{ mg}\pm0.1\text{ mg}$,如图 2 所示。

寄主龄期对子代蜂后足胫节长无显著影响($F_{2,72}=2.31, P=0.11$)。在 2、3、4 龄草地贪夜蛾幼虫体内发育的子代蜂后足胫节长平均分别为(1.59 ± 0.01)、(1.56 ± 0.01)mm 和 (1.61 ± 0.02)mm,如图 2 所示。

寄主龄期对子代蜂羽化率无显著影响($F_{2,90}=2.16, P=0.12$)。在草地贪夜蛾 2、3、4 龄幼虫体内发育的子代蜂羽化率平均分别为 $71\%\pm7\%$ 、 $85\%\pm6\%$ 和 $93\%\pm7\%$,如图 3 所示。

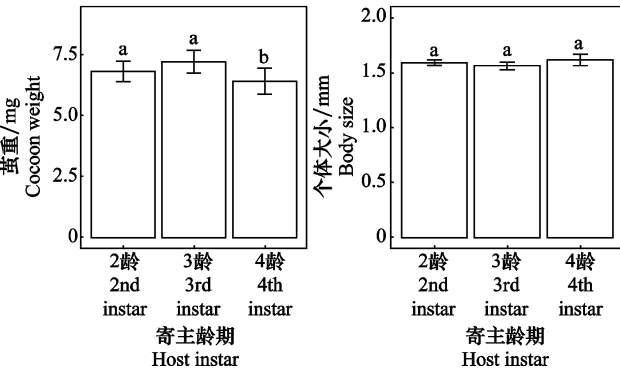


图 2 寄主龄期对子代蜂茧重和个体大小的影响

Fig. 2 Cocoon weight and body size of offspring as influenced by host instar

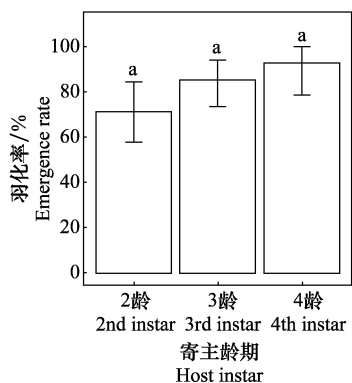


图3 寄主龄期对子代蜂羽化率的影响

Fig. 3 Emergence rate of offspring wasps as influenced by host instar

3 讨论

研究表明,随着寄主龄期的增加,斑痣悬茧蜂子代蜂的发育速度加快,子代蜂成蜂寿命延长。一般而言,寄主个体的大小决定了寄主体内营养含量。在本研究中,草地贪夜蛾4龄幼虫个体较大,体内营养相对充足,而2龄和3龄幼虫个体较小,体内的营养也相对较少。有研究表明,寄主过小会影响子代蜂卵的孵化从而导致子代蜂发育速度降低,为使子代蜂获得充足的营养,有些寄生蜂在较小寄主体内时会延迟其孵化和发育的时间,待寄主长大后才开始发育^[18]。另一方面,充足的营养也有助于提高子代蜂的适合度,延长其寿命。本研究结果揭示了寄主龄期可能是影响斑痣悬茧蜂发育速率和寿命的决定因素。

本研究还发现,不同龄期的草地贪夜蛾幼虫对斑痣悬茧蜂的个体大小和羽化率均无显著影响。寄生草地贪夜蛾后,斑痣悬茧蜂的羽化率均能维持在70%以上。说明草地贪夜蛾体内的免疫系统无法有效防御斑痣悬茧蜂的寄生。一般而言,寄生蜂对寄主害虫的寄生具有高度的专一性。由于长期的协同进化关系,寄生蜂针对其适宜寄主进化出一些生理生化策略来抵消寄主的免疫功能。例如,有些寄生蜂在寄主体内产卵的同时会注入蜂毒、类病毒颗粒等寄生因子来抵消寄主的免疫作用^[19-20]。由于缺乏协同进化关系,本土寄生蜂对外来入侵物种常缺乏相应的抑制因子。然而,斑痣悬茧蜂的寄主范围相对较广,可寄生至少鳞翅目12个科的害虫^[21]。另一方面,斑痣悬茧蜂被认为是甜菜夜蛾和斜纹夜蛾的重要寄生性天敌,而这两种害虫与草地贪夜蛾同属灰翅夜蛾属^[14]。因此,斑痣悬茧蜂寄生时产生的

寄生因子可能对草地贪夜蛾同样有效,进而使其子代在草地贪夜蛾体内顺利发育并羽化。

斑痣悬茧蜂为我国本土天敌,存在有两性生殖和孤雌产雌两种品系,但分布于我国的斑痣悬茧蜂均为孤雌产雌品系,在开发利用上占据很大的优势。田间应用主要依靠雌蜂在寄主体内产卵来控制害虫,孤雌蜂可不用交配直接产卵,这既能节约时间又能提高防控效率。此外,斑痣悬茧蜂还具有诸多优点。基于此,我们认为斑痣悬茧蜂可用于防控新入侵我国的害虫草地贪夜蛾。关于具体的防控细节,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 683–694.
- [3] 张丽红. 草地贪夜蛾的识别与防治[J]. 现代农村科技, 2019(7): 26.
- [4] ASHLEY T R, WISEMAN B R, DAVIS F M, et al. The fall armyworm: a bibliography[J]. Florida Entomologist, 1989, 72(1): 152–202.
- [5] 张武鸣, 覃雪明, 赵庆阳, 等. 草地贪夜蛾对玉米的为害特性及防控技术初探[J]. 种子科技, 2019, 37(6): 125–126.
- [6] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(4): 401–408.
- [7] GROSSNIKLAUS B C, LANZREIN B. Endocrine interrelationship between the parasitoid *Chelonus* sp. and its host *Trichoplusia ni* [J]. Archives of Physiology and Biochemistry, 1990, 14: 201–216.
- [8] 李永平, 张帅, 王晓军, 等. 草地贪夜蛾抗药性现状及化学防治策略[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 14–19.
- [9] 卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 等. 草地贪夜蛾的生物防治及潜在入侵风险[J]. 热带作物学报, 2019, 40(6): 1237–1244.
- [10] 周金成, 张柱亭, 尚丹, 等. 寄生经历和寄主龄期对斑痣悬茧蜂寄生草地贪夜蛾幼虫效能的影响[J/OL]. 植物保护: 1–6 [2019–09–09]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019388>.
- [11] ASKARI A, COPPEL H C. Observations on courtship and mating behavior of *Meteorus pulchricornis*, a gypsy moth parasitoid [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1977, 70: 655–659.
- [12] BERRY J A, WALKER G P. *Meteorus pulchricornis* (Westmael) (Hymenoptera: Braconidae: Euphorinae): an exotic polyphagous parasitoid in New Zealand [J]. New Zealand Journal of Zoology, 2004, 31: 33–44.

- [5] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286–301.
- [6] JUÁREZ M L, SCHÖFL G, VERA M T, et al. Population structure of *Spodoptera frugiperda* maize and rice host forms in South America: are they host strains? [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2014, 152(3): 182–199.
- [7] GROOT A T, MARR M, SCHÖFL G, et al. Host strain specific sex pheromone variation in *Spodoptera frugiperda* [J]. Frontiers in Zoology, 2008, 5(1): 20.
- [8] 张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 19–24.
- [9] 唐运林, 顾偲铄, 吴燕燕, 等. 入侵重庆地区的草地贪夜蛾种群生物型鉴定[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(7): 1–7.
- [10] 陈冬平, 陈志廷, 徐汉虹, 等. 不同分子标记对入侵广州草地贪夜蛾的寄主型鉴别能力比较[J/OL]. 华南农业大学学报: 1–5[2019–09–06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20190617.1027.002.html>.
- [11] 徐丽娜, 胡本进, 苏贤岩, 等. 入侵安徽省草地贪夜蛾的遗传分析[J/OL]. 植物保护, 2019, 45(5): 47–53.
- [12] PAVINATO V A C, MARTINELLI S, DE LIMA P F, et al. Methodology microsatellite markers for genetic studies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. Genetics and Molecular Research, 2013, 12(1): 370–380.
- [13] CHI H, SU H Y. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(1): 10–21.
- [14] 钟柳. 湛江市甘蔗产业化研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2018.
- [15] 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.
- [16] 王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 683–694.
- [17] MOREAU J, BENREY B, THIÉRY D. Grape variety affects larval performance and also female reproductive performance of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 2006, 96(2): 205–212.
- [18] 刘世涛, 王忠跃, 刘永强, 等. 斜纹夜蛾在葡萄上的种群生命表[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 58–61.
- [19] 牟芳, 孙丽娟, 段方猛, 等. 三种寄主植物对小菜蛾实验种群特征的影响[J]. 植物保护学报, 2015, 42(3): 289–296.
- [20] 王世英, 朱启旋, 谭煜婷, 等. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 742–747.
- [21] 徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 61–64.
- [22] KEBEDE M. Out-break, distribution and management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* J E Smith in Africa: The status and prospects [J]. Academy of Agriculture Journal, 2018, 3(10): 551–568.
- [23] 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.
- (责任编辑: 杨明丽)
- ~~~~~
- (上接 58 页)
- [13] 郭林芳, 孟玲, 李保平. 斑痣悬茧蜂寄生对甜菜夜蛾幼虫行为的影响[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(5): 71–74.
- [14] 叶昕海, 杨义, 梅洋, 等. 草地贪夜蛾基因组注释及分析[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 706–717.
- [15] BOWLING C C. Rearing of two lepidopterous pests of rice on a common artificial diet [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1967, 60(6): 1215–1216.
- [16] FARAWAY I J. Extending the linear model with R [M]. Second edition. Boca Rotan: CRC Press, 2016.
- [17] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [EB/OL]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [2019–03–11]. <https://www.r-project.org/>.
- [18] 胡浩, 孟玲, 李保平. 斑痣悬茧蜂对不同龄期斜纹夜蛾幼虫的寄生功能反应[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 176–180.
- [19] ASGARI S, RIVERS D B. Venom proteins from endoparasitoid wasps and their role in host-parasite interactions [J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56: 313–335.
- [20] 严智超, 叶昕海, 王蓓蓓, 等. 寄生蜂毒液蛋白组成、功能及进化的研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(1): 1–10.
- [21] 徐宇航, 周金成, 李保平. 斑痣悬茧蜂在黏虫寄主体内与中红侧沟茧蜂竞争下的存活和发育表现[J]. 昆虫学报, 2016, 59(3): 322–327.
- (责任编辑: 杨明丽)