

短管赤眼蜂对草地贪夜蛾和斜纹夜蛾不同日龄卵的寄生能力及子代蜂适合度

朱凯辉^{1#}, 周金成^{1#}, 张柱亭², 张琛¹,
车午男¹, 张礼生^{3*}, 董辉^{1*}

(1. 沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866; 2. 凯里学院, 凯里 556011;
3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 原产于美洲, 是新近入侵我国的重大危险性入侵害虫。短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* 是美洲当地寄生草地贪夜蛾卵的重要自然天敌。该蜂早在 1979 年就被引入我国。为检测短管赤眼蜂对不同日龄草地贪夜蛾卵的寄生适应性, 本研究以发育 12 h 内、24~36 h 和 48~60 h 的草地贪夜蛾卵为研究对象, 以斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 卵为对照, 探究了短管赤眼蜂对不同日龄草地贪夜蛾卵和斜纹夜蛾卵的寄生效果及子代蜂的适合度。结果表明: 短管赤眼蜂对两种寄主不同日龄的卵块寄生率均达到 100%, 但对草地贪夜蛾卵表现出更高的卵粒寄生率。与斜纹夜蛾卵育出的子代蜂相比, 草地贪夜蛾卵育出的子代蜂个体偏小, 平均单卵出蜂数较低。研究结果将为今后应用短管赤眼蜂防治草地贪夜蛾提供基础数据。

关键词 短管赤眼蜂; 草地贪夜蛾; 卵寄生蜂; 斜纹夜蛾; 引进天敌

中图分类号: S 476.3, S 433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019401

Parasitic efficacy and offspring fitness of *Trichogramma pretiosum* against *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura* at different egg ages

ZHU Kaihui¹, ZHOU Jincheng¹, ZHANG Zhuting², ZHANG Chen¹,
CHE Wunan¹, ZHANG Lisheng³, DONG Hui¹

(1. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;
2. Kaili University, Kaili 556011, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of
Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract *Spodoptera frugiperda*, which is native to the Americas, is a new dangerous invasive pest in China. *Trichogramma pretiosum* has been demonstrated as one of the most important natural enemy against *Spodoptera frugiperda* in Americas. This *Trichogramma* specie has been introduced in China since 1979. To test the adaptability of *T. pretiosum* on *S. frugiperda* eggs at different ages, the *S. frugiperda* eggs, which have developed 0–12 h, 24–36 h, or 48–60 h, were examined, and the *S. litura* eggs were used as the control. We investigated parasitic capacity and offspring fitness parameters of *T. pretiosum* females as influenced by host species and egg age. The results showed that the parasitic rate of egg masses is 100% regardless of host species and egg age. *T. pretiosum* females supplied with *S. frugiperda* eggs performed higher parasitic rate of eggs than those supplied with *S. litura* eggs. However, offspring wasps emerged from *S. frugiperda* eggs showed reduced offspring number per host egg and smaller body size when compared with those emerged from *S. litura* eggs. Our results will supply a primary data for the application of introduced *T. pretiosum* against *S. frugiperda* in future.

Key words *Trichogramma pretiosum*; *Spodoptera frugiperda*; egg parasitoids; *Spodoptera litura*; introduced natural enemy

收稿日期: 2019-08-07 修订日期: 2019-08-12

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201000)

* 通信作者 E-mail: biocontrol@163.com; zhangleesheng@163.com

为并列第一作者

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科灰翅夜蛾属,是一种原产于美洲地区的多食性和迁飞性害虫^[1]。2019 年 1 月该虫被报道首次入侵我国云南,随后迅速北上迁飞扩散,截至 8 月 6 日已席卷我国 22 个省份,受害玉米、甘蔗等作物约 60 万 hm^2 。草地贪夜蛾虽然入侵我国不足 7 个月,但其在我国的扩散速度、为害面积均创造了空前的记录,其入侵速度远远超过了我国目前记录在案的所有其他入侵害虫,是目前威胁我国秋粮生产的头号危险性入侵害虫^[2-4]。由于该虫为害面积广,传播速度快,使得现有的应急防控手段已无法从根本上完全扑杀入侵种群。该虫在我国定殖并周年为害已成定局。因此,对该虫的防控应立足于建立长效防控机制以预防其暴发成灾^[5]。

入侵地本土生态抑制因子的缺失是草地贪夜蛾在我国暴发的根本原因之一。天敌逃逸假说认为,专食性天敌的缺乏是入侵生物在入侵地泛滥成灾的重要原因^[5-7]。因此,从入侵害虫原产地寻找可利用的专食性天敌是目前国内外防治入侵害虫的“模式方法”。早在 1888 年,为防治入侵美国加利福尼亚地区的一种原产于澳大利亚的吹绵蚧 *Icerya purchasi*,美国从澳大利亚引进了其专食性天敌澳洲瓢虫 *Rodolia cardinalis*,成功抑制了吹绵蚧种群的扩张^[7]。可见,专食性天敌的筛选和利用对重新恢复针对草地贪夜蛾的生态平衡具有重大意义。因此,筛选适宜的专食性天敌是建立针对草地贪夜蛾长效防控体系的最关键环节。

草地贪夜蛾具有发育速度快,高龄幼虫具有钻蛀性,后期扩散能力强等特点,对高龄幼虫和迁飞成虫的防治难度较大^[1]。据报道,草地贪夜蛾单雌一生生产卵可达 1 000 余粒,其迁飞种群迁入田间后产下大量卵块,成为该虫在各地田间为害的源头^[1, 5]。因此,对该虫的防治应立足于“防小防早”的基本方针,重点防控草地贪夜蛾卵期及幼虫前期以防止其后期暴发成灾。然而,该虫卵期的发育速度极快,25℃条件下仅需 3 d 就可孵化。因此,我国现有规模化生产的多数卵寄生蜂品种可能都难以在卵期对该虫形成有效控制。首先,我国本土天敌与草地贪夜蛾缺乏长期的协同进化历史,可能难以在该虫卵块孵化前成功搜寻、识别并寄生卵块;其次,草地贪夜蛾产下的卵块上常具有一层较厚的鳞毛层,对卵期寄生蜂起到一定防御作用^[5](图 1~图 2)。类似的研究也表明,与草地贪夜蛾同属的甜菜夜蛾 *S. exigua* 卵块上的鳞毛层可有效屏蔽多种赤眼蜂的

寄生。在实验室条件下,包括目前大规模应用的松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*、玉米螟赤眼蜂 *T. ostrinae* 和螟黄赤眼蜂 *T. chilonis* 等对甜菜夜蛾卵粒的寄生率均低于 5%^[8]。综合诸多因素,我们认为仅利用目前我国本土规模化生产的赤眼蜂产品来防治入侵害虫草地贪夜蛾可能无法达到理想效果。

我国早在 20 世纪就先后从美国和法国引进了短管赤眼蜂 *T. pretiosum* 用于防治田间鳞翅目害虫,但一直未得到大规模应用^[9]。在草地贪夜蛾的原产地美洲,短管赤眼蜂是当地草地贪夜蛾卵的优势天敌^[10-11]。在南美洲的巴西,在草地贪夜蛾卵的所有天敌种类中,短管赤眼蜂占比可达 82.73%,是所有其他种类卵寄生蜂总和的 4.5 倍^[10]。因此,我们认为短管赤眼蜂可能是对草地贪夜蛾卵具备专性寄生能力的高效生防作用物,具备极高的应用潜力。为验证短管赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生适应性,本研究选取了发育 0~12 h、24~36 h 和 48~60 h 的草地贪夜蛾和其近缘种斜纹夜蛾 *S. litura* 的卵块作为试验材料,调查和统计了短管赤眼蜂对两种卵的卵块寄生率、卵粒寄生率以及短管赤眼蜂子代的羽化率、单卵平均出蜂数和个体蜂的大小(以后足胫节长度表示)。研究结果将为短管赤眼蜂的大规模繁育和田间应用提供基础性数据资料。

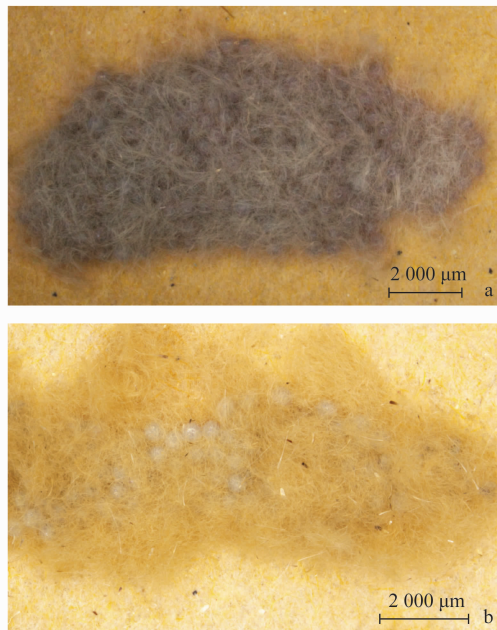


图 1 具有鳞毛丛的草地贪夜蛾(a)和斜纹夜蛾(b)卵块

Fig. 1 *Spodoptera frugiperda* (a) and *Spodoptera litura* (b) egg mass with scale-hair

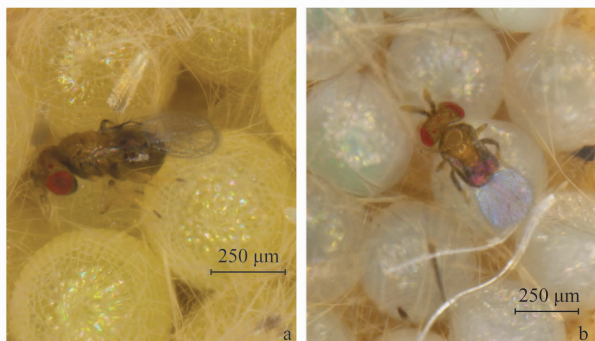


图2 在鳞毛丛内寄生草地贪夜蛾卵(a)和斜纹夜蛾卵(b)的短管赤眼蜂

Fig. 2 *Trichogramma pretiosum* females parasite *Spodoptera frugiperda* (a) and *Spodoptera litura* (b) eggs with scale-hair

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾室内种群采自贵州省黔东南州凯里市丹寨县附近的玉米田。斜纹夜蛾室内种群由南京农业大学农作物生物灾害综合治理重点实验室提供。草地贪夜蛾和斜纹夜蛾幼虫在室内以人工饲料饲养,待成虫羽化后分别置于圆柱形养虫笼(直径20 cm,高35 cm)内,笼壁覆牛皮纸作为两种夜蛾成虫的产卵介质。以无菌脱脂棉蘸取10%蜂蜜水每12 h饲喂成虫1次。每隔12 h分别将产于牛皮纸上的草地贪夜蛾或斜纹夜蛾卵块剪下,作为供试卵块。

本试验中的短管赤眼蜂室内种群自1998年引种至沈阳农业大学生物防治研究室以来,以米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵为中间寄主已连续饲养20年以上,繁育约600代。寄主米蛾以麦麸繁育,以纱窗网作为米蛾产卵介质。收集新鲜的米蛾卵将其粘在涂有阿拉伯胶的白色纸卡上制成寄主卵卡,每卡300粒卵,用于繁育短管赤眼蜂。该短管赤眼蜂品系为胞内共生菌 *Wolbachia* 诱导的孤雌产雌品系,无需交配即可产下近100%的雌性子代。育出的雌蜂以10%蜂蜜水每日饲喂,并供以足量米蛾卵卡供其寄生。短管赤眼蜂、米蛾、斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的繁育条件均为(26±1)℃,RH 60%~80%,光周期 L//D=16 h//8 h。

1.2 试验设计

本试验预设2个试验因素,分别为寄主卵种类和寄主卵卵龄。寄主卵种类分别为草地贪夜蛾卵块和斜纹夜蛾卵块。寄主卵卵龄划分为3个水平,分别为卵产出后发育0~12 h、24~36 h和48~60 h。

将当天产的卵块切下后单个单管分装于指形管内,草地贪夜蛾和斜纹夜蛾卵块各分为3组:第1组卵块切下后立即接入短管赤眼蜂供其寄生;第2组卵块置于24℃下发育24 h后再接入短管赤眼蜂;第3组卵块置于24℃下发育48 h后再接入短管赤眼蜂。每组各设6个试验重复。每个卵块各接入5头羽化1 d内的短管赤眼蜂雌蜂,寄生24 h后移出雌蜂。将寄生后的卵块置于体视显微镜下用镊子轻轻剥去卵块上的鳞毛层,以方便统计卵块中的卵粒数(图1)。之后,每隔12 h观察卵块是否有幼虫孵化,将孵化的幼虫用小毛笔轻轻刷掉,以防止草地贪夜蛾初孵幼虫在没有食物来源时取食卵粒。待孵化幼虫除净后,卵粒变黑即说明卵被赤眼蜂寄生,记录卵块上的孵化卵粒数和被寄生卵粒数。待赤眼蜂子代全部羽化后,记录羽化卵粒数、羽化蜂数、平均单卵出蜂数。每卵块抽取5头子代雌蜂测量其后足胫节长度以表示其个体大小。

1.3 数据处理

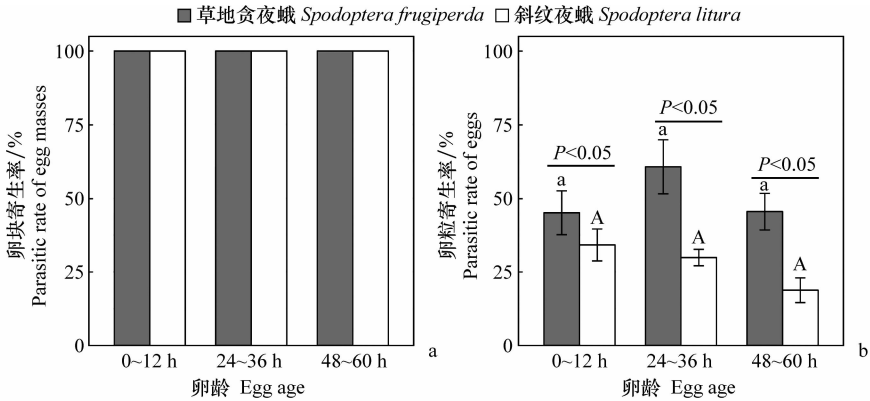
采用广义线性模型下的双因素方差分析分别检验寄主卵种类和寄主卵龄对雌蜂寄生率(二项分布)、子代羽化率(二项分布)、平均单卵出蜂数(正态分布)和子代蜂个体大小(正态分布)的影响。不同处理组合下各试验指标的多重比较采用 Tukey's HSD 法进行检验^[12]。本试验所得数据均使用 R 统计软件进行分析^[13]。因本试验中卵块寄生率无统计学变异,各处理卵块的寄生率均为100%,故未对不同处理的卵块寄生率进行统计检验。

2 结果与分析

2.1 卵块寄生率和卵粒寄生率

供试草地贪夜蛾和斜纹夜蛾的3个发育阶段的卵块均被寄生,卵块寄生率均达到100%,两者无显著差异(图3a)。

双因素方差分析表明,寄主种类对卵粒寄生率有显著影响($F_{1,30}=11.83, P<0.05$)。各卵龄下草地贪夜蛾的卵粒寄生率(0~12 h:45.05%±7.44%;24~36 h:60.69%±9.17%;48~60 h:45.48%±6.22%)均显著高于斜纹夜蛾的卵粒寄生率(0~12 h:34.14%±5.44%, $z=2.50, P<0.05$;24~36 h:29.84%±2.79%, $z=6.58, P<0.05$;48~60 h:18.75%±4.12%, $z=6.48, P<0.05$)。但同种寄主卵块的卵粒寄生率不受卵龄影响($F_{2,30}=1.84, P=0.18$) (图3b)。



$P<0.05$ 表示相同卵龄的两种寄主的卵粒寄生率差异显著。相同小写字母表示不同卵龄草地贪夜蛾的卵粒寄生率无显著差异;相同大写字母表示不同卵龄的斜纹夜蛾的卵粒寄生率无显著差异。误差柄表示标准误
 $P<0.05$ indicates significant differences in parasitic rate of eggs between two host species at same egg ages. The same lowercase letters indicate the insignificant differences in parasitic rate of eggs among *S. frugiperda* at different egg-ages; the same uppercase letters indicate the insignificant differences in parasitic rate of eggs among *S. litura* at different egg-ages. The error bars indicate the standard errors

图 3 卵龄和寄主种类对卵块寄生率(a)和卵粒寄生率(b)的影响

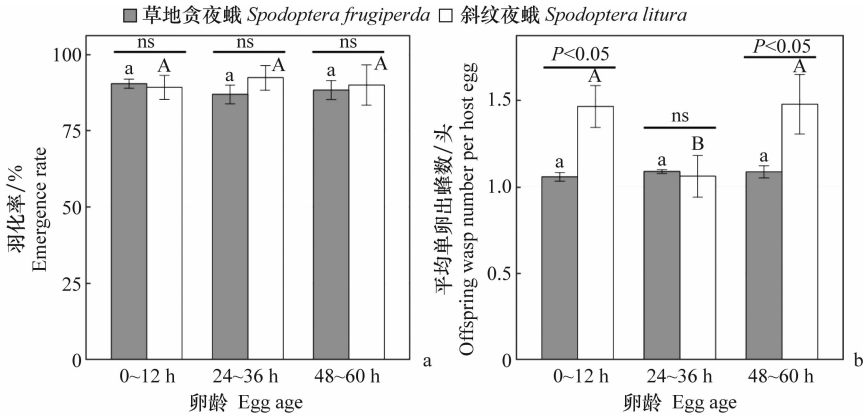
Fig. 3 Parasitic rate of egg masses (a) and eggs (b) as influenced by host species and egg age

2.2 子代羽化率和平均单卵出蜂数

子代羽化率不受寄主种类($F_{1,30}=0.66, P=0.42$)、寄主卵龄($F_{2,30}=0.15, P=0.86$)及两因素间交互作用($F_{2,30}=0.31, P=0.74$)的影响(图 4a)。

平均单卵出蜂数受寄主种类的影响显著($F_{1,30}=9.76, P<0.05$),但不受寄主卵龄的影响($F_{2,30}=2.57, P=0.094$)。尽管未达到统计学意义的差异显著性,但寄主卵龄和寄主种类间的交互作用对平均单卵出蜂数有一定影响($F_{2,30}=2.99, P=$

0.065)。0~12 h 和 48~60 h 的草地贪夜蛾卵单卵出蜂数(0~12 h: 1.06 头±0.024 头; 48~60 h: 1.08头±0.035 头)显著低于斜纹夜蛾卵(0~12 h: 1.46 头±0.12 头, $z=2.86, P<0.05$; 48~60 h: 1.47头±0.17 头, $z=2.74, P<0.05$),但 24~36 h 的草地贪夜蛾卵和斜纹夜蛾卵的平均单卵出蜂数之间无显著差异($z=0.19, P=0.85$),分别为 1.09 头±0.011 头和 1.06 头±0.12 头(图 4b)。



ns表示相同卵龄的两种寄主间子代蜂羽化率或平均单卵出蜂数无显著差异; $P<0.05$ 表示相同卵龄的两种寄主间平均单卵出蜂数差异显著。相同小写字母表示不同卵龄草地贪夜蛾卵的子代蜂羽化率或平均单卵出蜂数无显著差异;相同大写字母表示不同卵龄的斜纹夜蛾卵的子代蜂羽化率或平均单卵出蜂数无显著差异。误差柄表示标准误。下同
ns indicates insignificant differences between two host species at the same egg ages; $P<0.05$ indicates significant differences between two host species at same egg-ages. The same lowercase letters indicate the insignificant differences among different egg-ages of *S. frugiperda*; the same uppercase letters indicate the insignificant differences among different egg-ages of *S. litura*. The error bars indicate the standard errors. The same below

图 4 卵龄和寄主种类对子代蜂羽化率(a)和单卵出蜂数(b)的影响

Fig. 4 Emergence rate of offspring (a) and offspring wasp number per egg (b) as influenced by host species and egg age

2.3 子代蜂个体大小

子代蜂个体大小受寄主种类($F_{1,144}=785.30,$

$P<0.05$)和寄主卵龄($F_{2,144}=5.07, P<0.05$)的显著影响,但不受两者的交互作用影响($F_{2,144}=0.47,$

$P=0.63$)。相同卵龄下,斜纹夜蛾卵育出的子代蜂个体大小(0~12 h: $159.53 \mu\text{m} \pm 0.28 \mu\text{m}$, $z=16.84$, $P<0.05$; 24~36 h: $159.33 \mu\text{m} \pm 0.16 \mu\text{m}$, $z=16.23$, $P<0.05$; 48~60 h: $159.82 \mu\text{m} \pm 0.026 \mu\text{m}$, $z=15.47$, $P<0.05$)。显著大于草地贪夜蛾卵育出的子代蜂(0~12 h: $154.78 \mu\text{m} \pm 0.14 \mu\text{m}$; 24~36 h: $154.75 \mu\text{m} \pm 0.23 \mu\text{m}$; 48~60 h: $155.46 \mu\text{m} \pm 0.21 \mu\text{m}$) 48~60 h 的两种寄主卵育出的子代蜂个体大小均显著大于 0~12 h ($z=2.44$, $P<0.05$) 和 24~36 h ($z=2.99$, $P<0.05$) 寄主卵育出的子代蜂(图 5)。

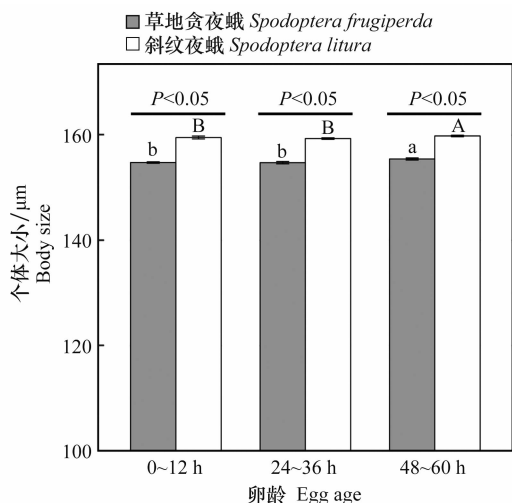


图 5 卵龄和寄主种类对子代蜂个体大小的影响

Fig. 5 Body size of offspring wasps as influenced by host species and egg age

3 讨论

研究结果表明,相对于斜纹夜蛾卵,短管赤眼蜂对草地贪夜蛾卵具有较强的寄生能力,但其子代蜂生长发育表现低于我们的预期。类似研究也发现,短管赤眼蜂对草地贪夜蛾的寄生偏好显著高于美洲当地的另外一种近缘夜蛾种类 *S. cosmioides*^[14]。尽管本试验并未检验我国几种主要赤眼蜂品种对草地贪夜蛾卵的寄生能力,但类似研究已经暗示了我国本土赤眼蜂种类对草地贪夜蛾卵的寄生效率可能不高。有研究检验了 5 种在我国应用较广的赤眼蜂种类对甜菜夜蛾卵的寄生能力,发现即使在实验室条件下,松毛虫赤眼蜂、玉米螟赤眼蜂、黏虫赤眼蜂 *T. leucaniae* 和螟黄赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的寄生率低于 5%,仅稻螟赤眼蜂 *T. japonicum* 能勉强达到 10% 的寄生率^[8]。该研究的作者通过观察

发现,甜菜夜蛾卵表的鳞毛成功防御了 5 种赤眼蜂对其寄生。而甜菜夜蛾与草地贪夜蛾同属于灰翅夜蛾属,拥有相似的生物学特性,可以预见这几种赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力可能也不高。在本研究中,短管赤眼蜂对草地贪夜蛾的卵粒寄生率在 50% 左右,具有一定的防治潜力,但是我们在试验中也发现,当草地贪夜蛾鳞毛层较厚或卵粒多层堆积时,短管赤眼蜂也只能寄生外围表层的卵粒,使该蜂无法进一步提高其寄生率。值得注意的是,国外研究发现夜蛾黑卵蜂可以对草地贪夜蛾卵的内层卵粒进行寄生,且其寄生时会规避与短管赤眼蜂的竞争^[11]。因此,如果夜蛾黑卵蜂能够实现完善成熟的工厂化繁育,可以考虑在田间应用过程中搭配使用夜蛾黑卵蜂与短管赤眼蜂以提高对草地贪夜蛾的防控效果。

我们还发现,即使草地贪夜蛾卵已接近孵化,短管赤眼蜂依然可以实现对其寄生并使子代顺利完成发育。除此以外,短管赤眼蜂对不同卵龄的草地贪夜蛾卵均具有较高的寄生率。这一特性说明短管赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生作用可以覆盖几乎整个卵期,这对将来田间应用短管赤眼蜂防治草地贪夜蛾具有重要意义。另外,我们还发现斜纹夜蛾卵育出的子代蜂适合度高于草地贪夜蛾卵育出的子代蜂。这种子代生长发育的差异可能是由于寄主大小、寄主营养质量及寄主的免疫功能等因素造成。因此,尚需更全面的研究来检验短管赤眼蜂在不同寄主上的生长发育表现出差异的原因。

短管赤眼蜂可通过米蛾 *C. cephalonica* 或地中海粉螟 *Anagasta kuehniella* 的卵作为中间寄主进行大规模繁育,繁殖成本相对较低,因而已被美洲国家广泛应用于防治草地贪夜蛾等夜蛾科害虫^[11,15]。然而,草地贪夜蛾之前在我国并未广泛分布,其田间天敌短管赤眼蜂反而早于草地贪夜蛾被引进至我国。在引进我国之后,该蜂仅报道过用于防治小菜蛾 *Plutella xylostella* 等少数鳞翅目害虫,尚未在田间得到大规模应用^[16-19]。短管赤眼蜂自 1979 年引进我国以来已近 40 年,近年来我国有关该蜂的应用和基础性研究已不多见。据我们所知,近 5 年来有关短管赤眼蜂的中文研究文献仅有 2 篇^[20-21],我们推测目前国内仍保有短管赤眼蜂种群的研究单位可能不多。此外,国内现有的研究仅围绕该蜂孤雌产雌的特性进行了一些理论研究,但关于该蜂的工厂

化繁育和寄生草地贪夜蛾的生物学特性尚需要全面梳理^[22-23]。尽管我国已经建立了利用柞蚕卵 *Antheraea pernyi* 繁育赤眼蜂的大卵繁蜂技术体系^[24],但据我们所知,短管赤眼蜂无法寄生柞蚕卵。因此,在当前草地贪夜蛾已经入侵我国的条件下,若想充分发挥短管赤眼蜂对草地贪夜蛾的生态防控作用,势必需要考虑利用米蛾卵等小卵作为替代寄主来实现该蜂的大规模繁育。本研究首次于国内报道了原产于美洲的引进天敌短管赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力及生物学特性,研究结果将为今后利用该蜂防治入侵性草地贪夜蛾提供参考。

参考文献

- [1] TODD E L, POOLE R W. Keys and illustrations for the army-worm 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] 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.
- [3] 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.
- [4] 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/OL]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 683 - 694.
- [5] 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.
- [6] 李志刚, 吕欣, 押玉柯, 等. 粤港两地田间发现夜蛾黑卵蜂与螟黄赤眼蜂寄生草地贪夜蛾[J/OL]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 760 - 765.
- [7] 万方浩, 侯有明, 蒋明星. 入侵生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [8] 许晶. 六种赤眼蜂对主要农业害虫的寄生选择及适应性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [9] 殷永升, 常金玉. 国外引进的赤眼蜂与中国蜂种利用的比较研究[J]. 昆虫天敌, 1987, 9(1): 45 - 47.
- [10] 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.
- [11] CARNEIRO T R, FERNANDES O A. Interspecific interaction between *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs [J]. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2012, 84(4): 1127 - 1135.
- [12] FARAWAY J J. Extending the linear model with R: Generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models [M]. Second edition. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- [13] 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/>.
- [14] GOULART M M P, BUENO A D F, BUENO R C O D F, et al. Host preference of the egg parasitoids *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum* in laboratory [J]. Revista Brasileira de Entomologia, 2011, 55(1): 129 - 133.
- [15] PREZOTTI L, PARRA JRP, VENCOSKY R, et al. Effect of the size of the founder population on the quality of sexual populations of *Trichogramma pretiosum*, in laboratory [J]. Biological Control, 2004, 30(2): 174 - 180.
- [16] 何余容, 吕利华, 陈科伟. 两种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生能力和种间竞争[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 837 - 841.
- [17] 何余容, 吕利华, 庞雄飞. 拟澳洲赤眼蜂和短管赤眼蜂在菜芯地的扩散动态[J]. 昆虫天敌, 2000, 22(3): 97 - 101.
- [18] 王贵儒, 刘志诚, 王志勇, 等. 甘蔗田赤眼蜂优势种及引进赤眼蜂种的田间释放研究[J]. 昆虫天敌, 1985, 7(1): 13 - 18.
- [19] 欧海英, 琳琳, 罗梅, 等. 几种赤眼蜂对灰白蚕蛾寄生能力的影响[J]. 昆虫知识, 2006, 43(5): 669 - 672.
- [20] 杨志强, 王丽艳, 梁洪宇, 等. 短管赤眼蜂 *Argonaute* 蛋白基因家族鉴定及表达分析[J]. 植物保护, 2017, 43(6): 38 - 45.
- [21] 张志凌. 高温胁迫和抗生素对携带 *Wolbachia* 短管赤眼蜂生殖的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [22] 张海燕, 王倩, 付海滨, 等. 赤眼蜂种间沃尔巴克氏体水平人工转染供体蜂种的筛选[J]. 中国生物防治, 2009, 25(3): 281 - 284.
- [23] 潘雪红, 何余容. *Wolbachia* 在短管赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂种间的水平传递[J]. 西北农业学报, 2011, 20(4): 186 - 188.
- [24] 张俊杰, 阮长春, 臧连生, 等. 我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 638 - 646.

(责任编辑: 杨明丽)